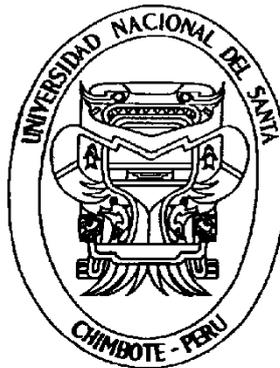


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA



“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROLADOR ELECTRÓNICO DE TENSIÓN PARA POTENCIA VARIABLE EN UN GENERADOR TRIFÁSICO DE UN KILOWATT”

**Tesis Para Optar el Título Profesional de:
INGENIERO EN ENERGIA**

Autores:

Bach. PUMARICA ROLDAN Edgardo José.

Bach. ZAFRA CORDOVA Lorenzo Manuel.

Asesor:

MG. AMANCIO RAMIRO ROJAS FLORES

NUEVO CHIMBOTE - PERU

2016

CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR

Doy conformidad del presente estudio, desarrollado en cumplimiento del objetivo propuesto y presento conforme al Reglamento General para optar el Título Profesional en la UNS (RES N° - 2002- CU – R – UNS).

Intitulado:

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROLADOR ELECTRÓNICO DE TENSIÓN PARA POTENCIA VARIABLE EN UN GENERADOR TRIFÁSICO DE UN KILOWATT”

Presentado por los Bachilleres:

- **PUMARICA ROLDAN Edgardo José.**
- **ZAFRA CORDOVA Lorenzo Manuel.**

Mg. Amancio Ramiro Rojas Flores
ASESOR

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROLADOR
ELECTRÓNICO DE TENSIÓN PARA POTENCIA VARIABLE EN
UN MOTOR – GENERADOR TRIFÁSICO DE UN KILOWATT”**

**Tesis Para Optar el Título Profesional de:
INGENIERO EN ENERGIA**

AUTORES:

Bach. PUMARICA ROLDAN Edgardo José.

Bach. ZAFRA CORDOVA Lorenzo Manuel.

Revisada y Evaluada por el Siguiete Jurado:

Mg. Robert Fabián Guevara Chinchayán
Presidente

Ing. Julio Hipolito Escate Ravello
Secretario

Mg. Amancio Ramiro Rojas Flores
Integrantes

Nuevo Chimbote, junio del 2016

PRESENTACIÓN

Señores miembros del jurado,

Presentamos la tesis titulada “**Diseño e implementación del controlador electrónico de tensión para potencia variable de un generador trifásico de un kilowatt**”, en cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Santa para obtener el título de Ingeniero Energía. El estudio ha tenido por finalidad diseñar e implementar un controlador electrónico de tensión para potencia variable en un generador trifásico de un kilowatt, que permitirá el mejor control de carga eléctrica que distribuirá este motor – generador trifásico de un kilowatt.

Esta investigación es de nivel experimental de tipo tecnológico ya que además de los conocimientos técnicos que se investigan, tendremos la oportunidad de plasmarlos en la elaboración del proyecto; con la utilización de los diferentes dispositivos eléctricos – electrónicos y mecánicos.

Por lo expuesto señores miembros del jurado, recibimos con beneplácito vuestros aportes y sugerencias para mejorar la presente tesis y a la vez esperamos que el presente trabajo sirva de aporte a quienes deseen continuar un estudio de esta naturaleza.

LOS AUTORES

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como propósito diseñar e implementar un controlador electrónico de tensión para potencia variable, en un generador trifásico de un kilowatt, usado en las prácticas de laboratorio por los estudiantes de ingeniería en energía en el control de procesos energéticos; para la implementación se utilizó el regulador de tensión LM2596, que es un circuito integrado monolítico capaz de conducir tres amperios de carga; dicho circuito es el encargado de brindar el voltaje necesario para la excitación del campo del generador. La metodología consiste en recolectar datos, de mediciones de parámetros eléctricos de tensión y corriente, haciendo uso de medidores como voltímetros digitales y amperímetros analógicos; para dichas tomas de datos se instalaron cargas resistivas variables (lámparas de automóviles). Con estos resultados, se espera decidir su óptimo funcionamiento en tiempo real del comportamiento electrónico – eléctrico - mecánico del sistema.

Dentro de los resultados, se visualizan gráficas de barras de corriente, tensión de excitación y potencia de entrega del generador, obteniéndose las características de funcionamiento el generador, asimismo la implementación del controlador electrónico de tensión para potencia variable en un generador trifásico de un kilowatt, de óptimo funcionamiento, el cual se convierta en una herramienta didáctica experimental de enseñanza – aprendizaje; permitiendo que los estudiantes adquieran habilidades y destrezas requeridas, para un entorno laboral competitivo y en permanentes cambios. A su vez el controlador electrónico de tensión, implementado en el módulo motor - generador, puede acoplarse sin ningún problema a otros módulos de similares características para lograr simulaciones y prácticas demostrativas conjuntas.

ABSTRACT

This research aims to design and implement an electronic controller for variable power voltage in a three-phase generator of a kilowatt, used in laboratory practice by engineering students in power in controlling energy processes; for implementing the voltage regulator LM2596, which is a monolithic integrated circuit capable of driving load 3 amps used; said circuit is responsible for providing the necessary voltage for driving the generator field. The methodology involves collecting measurement data of electrical parameters voltage and current using meters as digital voltmeters and ammeters analog; data collection for these variables resistive loads (lamps automobiles) were installed. With these results, it is expected to decide optimal real-time performance of mechanical-electrical-electronic system behavior.

Among the results are displayed bargraphs current, drive voltage and power output of the generator to obtain the operating characteristics of the generator, also the implementation of electronic voltage controller for variable power in a three-phase generator of a kilowatt of optimum performance, it becomes an experimental educational tool - learning; allowing students to acquire skills and required skills for a competitive work environment and permanent changes. In turn the electronic voltage controller implemented in the motor-generator module can be attached without any problem to other modules with similar characteristics to achieve joint demonstration simulations and practices.

| | |
|---|----|
| 2.2.4.4. Otras pruebas | 35 |
| 2.2.5. Excitatriz principal de un generador | 35 |
| 2.2.6. Sistemas de excitación electrónicos | 36 |
| 2.3. Introducción al alternador automotriz | 37 |
| 2.3.1. Características Generales del alternador automotriz | 37 |
| 2.3.2. Descripción y características de sus componentes | 38 |
| 2.3.2.1. Rotor | 38 |
| 2.3.2.2. Estator o Inducido | 39 |
| 2.3.2.3. Puente rectificador de diodos | 40 |
| 2.3.2.4. Regulador de tensión | 41 |
| 2.3.2.5. Carcasas, ventilador y demás elementos complementarios de la máquina | 41 |
| 2.3.3. Flujo de potencia y pérdidas en máquinas de corriente alterna | 42 |
| 2.3.3.1. Pérdidas eléctricas o pérdidas en el cobre | 42 |
| 2.3.3.2. Perdidas en el núcleo | 42 |
| 2.3.3.3. Perdidas mecánicas | 42 |
| 2.3.3.4. Pérdidas dispersas o misceláneas | 42 |
| 2.3.3.5. Modelo por fase del alternador | 43 |
| III. MARCO METODOLÓGICO | |
| 3.1. Hipótesis General | 45 |
| 3.2. Hipótesis Específica | 45 |
| 3.3. Variables | 45 |
| 3.3.1. Definición conceptual | 45 |
| 3.4. Metodología | 46 |
| 3.4.1. Nivel de la investigación | 46 |
| 3.4.2. Tipo de investigación | 46 |
| 3.4.3. Diseño de investigación | 46 |
| 3.5. Población y muestra | 46 |
| 3.6. Método de investigación | 46 |
| 3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos | 47 |
| 3.8. Métodos de análisis de datos | 47 |

| | |
|---|----|
| IV. DISEÑO DE INGENIERIA DE UNA FUENTE DE ALIMENTACIÓN | |
| 4.1. Desarrollo técnico de la propuesta | 50 |
| 4.2. Directrices de diseño de la fuente de alimentación | 50 |
| 4.2.1. Procedimiento del diseño | 51 |
| 4.2.2. Procedimiento (ajustable versión de salida: LM 2596) | 53 |
| 4.3. Selección de los elementos para el montaje del grupo motor – generador | 59 |
| 4.3.1. Ubicación de los elementos y accesorios en el módulo Motor – Generador | 59 |
| 4.3.2. Descripción del diseño del módulo didáctico del Grupo Motor – Generador | 64 |
| 4.3.3. Manual de operación del módulo motor Generador | 65 |
| 4.3.4. Modo de operación manual | 66 |
| V. RESULTADOS | |
| 5.1. Descripción de Gráficos | 68 |
| 5.2. Conclusiones | 78 |
| 5.3. Recomendaciones | 79 |
| BIBLIOGRAFÍA | 80 |
| ANEXO A: Presupuesto analítico desagregado | |
| Tabla 5: Elementos utilizados para el módulo motor generador | |
| Tabla 6: Servicios para el módulo motor generador | |
| Tabla 7: Presupuesto total del módulo motor generador | |
| ANEXO B: Tablas de datos de pruebas | |
| Tabla 8: Datos sin carga eléctrica. | |
| Tabla 9: Datos con carga eléctrica 2.6 Ω | |
| Tabla 10: Datos con carga eléctrica 1.3 Ω | |
| Tabla 11: Datos con carga eléctrica 0.86 Ω | |
| Tabla 12: Datos con carga eléctrica 0.65 Ω | |
| ANEXO C: PLANOS | |
| PLANO 1: Ubicación De Equipos Del Módulo Motor Generador | |
| PLANO 2: Distribución Eléctrica | |
| PLANO 3: Circuito Integrado LM2596 | |
| ANEXO D: Características técnicas del LM2596 | |

INTRODUCCIÓN

La Universidad Nacional del Santa, forma profesionales capacitados y dotados de una formación teórica – práctica que le permita insertarse satisfactoriamente al mercado laboral y al desarrollo de la región y el país, por tal motivo, es imprescindible acondicionar y actualizar los laboratorios con la incorporación de nuevos equipos con tecnología de punta, necesario para formar un profesional acorde con el perfil.

Sin embargo, la Universidad Nacional del Santa, en su laboratorio de máquinas eléctricas carece de equipos de Control Electrónico Industriales, que le permita a los estudiantes realizar mediciones para controlar la potencia del generador, donde puedan comprobar los conocimientos teóricos impartidos; por tal motivo se realizó el “Diseño e implementación del controlador electrónico de tensión para una potencia variable en un generador trifásico de un kilowatt”, implementado en un módulo motor – generador.

En este diseño e implementación de un controlador electrónico de tensión, se usó una fuente conmutada que es un dispositivo usado para entregar energía al rotor del generador eléctrico, con un rango controlado de voltaje de salida, para dicha alimentación la entrega de energía se hace controlado mediante ciclos de trabajo, frecuencias o de fases de las conmutaciones; estas fuentes conmutadas de tensión ofrecen no solo eficiencias más altas sino también flexibilidad mayor en los diseños. Recientes avances en tecnología de semiconductores y elementos magnéticos hacen de las fuentes conmutadas la opción más fuerte en ámbito de la conversión de la energía eléctrica.

Esta selección de reguladores de conmutación controla el flujo de potencia de carga, cerrando o abriendo una o más llaves de potencia conectadas en serie o en paralelo con la carga y haciendo uso de elementos que almacenan energía inductiva y capacitiva para convertir la corriente pulsante en continua.

Estos reguladores permiten entregar a la carga tensiones mayores o menores que la de entrada. No como los reguladores lineales en serie que controlan el voltaje de salida variando la caída de tensión en el elemento de paso conectado en serie con la carga con lo cual solo puede esperarse reguladores de tensión menores en la entrada.

Por último, el controlador electrónico de tensión es una ventaja para el estudiante de ingeniería en energía (área eléctrica) visualizar y manipular a un generador sincrónico de baja capacidad, el cual es capaz de alimentar cargas eléctricas de todo tipo (lineal o no lineal dentro del rango de su potencia nominal). Finalmente se presenta experimentación con el modulo motor - generador construido sus resultados conclusiones y recomendaciones finales de los mismos.

CAPÍTULO I
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

I. PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. REALIDAD DEL PROBLEMA

La Universidad Pública absorbe una gran cantidad de población estudiantil de la zona, la misma que debe poseer dotaciones e infraestructura adecuadas y acordes a las necesidades de cada carrera, que garantice la formación de profesionales calificados que serán los futuros integrantes de los procesos productivo; sin embargo, como institución pública, se evidencian, múltiples problemas que dan cuenta de su situación actual, lo que incide en el desarrollo armónico de las diferentes carreras profesionales que oferta la Universidad.

La Universidad Nacional del Santa, forma profesionales capacitados y dotados de una formación teórica – práctica que le permita insertarse satisfactoriamente al mercado laboral y al desarrollo de la región y el país, por tal motivo, es imprescindible acondicionar y actualizar los laboratorios con la incorporación de nuevos equipos con tecnología de punta, necesario para formar un profesional acorde con el perfil. Conviene subrayar que los laboratorios de prácticas de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería en Energía carece de equipos de Control Electrónico Industriales, que le permita a los estudiantes realizar mediciones para controlar la potencia del generador, donde puedan comprobar los conocimientos teóricos impartidos; por tal motivo proponemos la implementación de un equipo de generación con control electrónico de tensión para una potencia variable y así mejorar los métodos de enseñanza–aprendizaje.

1.2. Formulación del problema

¿De qué manera se podrá diseñar e implementar el controlador electrónico de tensión para potencia variable en un generador trifásico de un kilowatt, que sea utilizado en las prácticas de laboratorio por los estudiantes de ingeniería en energía?

1.3. Justificación

La Escuela Profesional de Ingeniería Energía, tiene entre sus objetivos a corto plazo el fortalecimiento de su laboratorio en el área eléctrica, partiendo de lo anteriormente expuesto, se justifica el diseño e implementación de un controlador electrónico de un kilowatt con potencia variable para un generador, que sirva para las realizaciones de prácticas del curso de Laboratorio de

Máquinas Eléctricas, de modo que los educandos adquieran aprendizajes con los cuales les permita impartir enseñanza en tiempo real de una manera sencilla y comprobable directamente a través de las mediciones obtenidas, asimismo es porque los equipos similares que existen en el mercado son bastante caros, y con el diseño propio se pretende economizar en su construcción. De esta manera se está desarrollando tecnología nacional para reducir la dependencia tecnológica de otros países.

Además, este controlador electrónico de tensión está concebido para realizar netamente actividades didácticas de carácter práctico, lo que ofrece al estudiante la oportunidad de comprender, verificar y analizar el comportamiento eléctrico-electrónico-mecánico y observar directamente el fenómeno físico.

1.4. Limitaciones

Las limitaciones del presente proyecto es que existe poca bibliografía relacionada con el tópico en estudio, sin embargo, esto se puede subsanar por cuanto los investigadores del presente proyecto tienen formación técnicos en electricidad y electrónica.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Diseñar, implementar y poner en marcha un controlador electrónico de tensión para potencia variable del generador trifásico de un kilowatt, equipado con sus instrumentos de medición.

1.5.2. Objetivos Específicos

- ❖ Diseñar la tarjeta electrónica de tensión para la excitación de campo de un Motor – Generador Trifásico de 1 KW.
- ❖ Diseñar el módulo motor-generador de conformidad con la normalización eléctrica con conexiones para los circuitos de fuerza y control.
- ❖ Construir el módulo motor-generador y los circuitos implementados, tal que sirva de base para futuras implementaciones y/o construcción de tableros de fuerza – generación eléctrica.

CAPÍTULO II
MARCO TEORICO

II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Controlador electrónico de tensión¹.

Son circuitos que controlan la carga y descarga de energía en sus elementos pasivos almacenadores de energía, es decir, condensadores y bobinas, consiguiendo un cambio en el nivel de una tensión continua; quedando el flujo de energía determinado por el uso y control de elementos conmutadores. Por lo que la conversión DC-DC significa la obtención de una tensión continua con unas características determinadas a partir de otro nivel de tensión que no las posee.

2.1.1. Reguladores en serie o lineales.

Controlan la tensión de salida ajustando continuamente la caída de tensión en un transistor de potencia conectado en serie entre la entrada no regulada a la carga. Puesto que el transistor debe conducir corriente continuamente, opera en su región activa o lineal. Aunque son más sencillos de utilizar que los reguladores de conmutación, tienden a ser muy ineficientes debido a la potencia consumida por el elemento en serie. Su eficiencia es alrededor del

20% y solamente resultan eficaces para baja potencia (< 5 W).

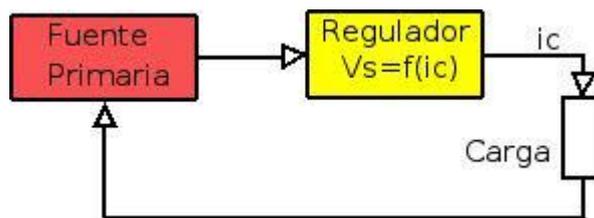


Figura 1: Diagrama de bloque de un regulador lineal serie.
Fuente: Puentes, W., (2012)

En la siguiente figura 2 vemos una aplicación con un **regulador lineal en serie**. Se establece una tensión de referencia mediante un **diodo zener**. La tensión de salida es atenuada por un **divisor de tensión** y comparada con la de **referencia del zener**. Si esta tensión es más alta que la de referencia el amplificador de error reduce la corriente de excitación para el transistor.

¹ Puentes, W., (2012) *Electrónica – Electronic*. Recuperado el 25 de julio de 2015, <http://electronica-electronics.com/fuentes/Reguladores-de-tension.html>

Inversamente si la salida reduce su tensión el amplificador aumenta su excitación al transistor para que la conducción de este aumente.

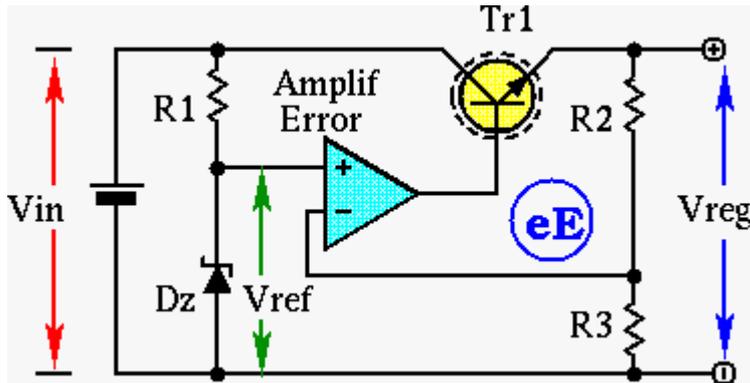


Figura 2: Aplicación con un regulador lineal serie.
Fuente: Puentes, W., (2012)

2.1.2. Reguladores en paralelo.

El regulador paralelo, es el regulador más simple, éste emplea a una resistencia fija como el elemento de paso en serie. Cuando varía el voltaje de entrada o los requerimientos de corriente en la carga se compensan mediante la modulación de la corriente que se drena a tierra a través del regulador.

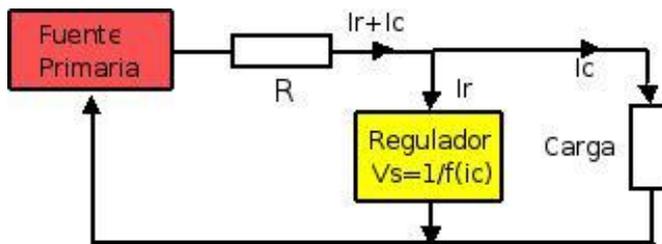


Figura 3: Diagrama de bloque de un regulador lineal paralelo.
Fuente: Puentes, W., (2012)

En la siguiente figura 4 vemos un **regulador lineal paralelo (Shunt)**. El funcionamiento es similar al anterior ejemplo excepto que el elemento de control está en paralelo con la carga de salida. Cuando la corriente de la carga varía, el transistor de control varia su resistencia de modo contrario al de la carga así de esta forma la resistencia en combinación en paralelo se mantiene constante. De esta forma se mantiene constante la corriente que circula por Rs.

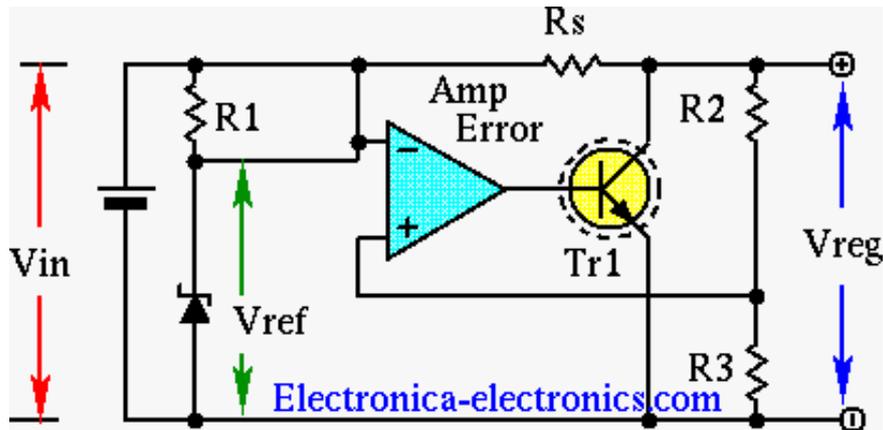


Figura 4: Aplicación con un regulador lineal paralelo shunt).

Fuente: Puentes, W., (2012)

2.1.3. Reguladores integrados de tres terminales²

Consideraciones para elegir un regulador:

- La tensión de salida.
- La corriente de salida.
- La diferencia de tensión entre la entrada y la salida.
- La regulación de línea.
- La regulación de carga.
- La disipación de potencia del dispositivo.

La diferencia de tensión entre la entrada y la salida es una de las especificaciones más importantes del regulador de tres terminales que deben ser tenidas en cuenta al diseñar una fuente de alimentación. El **valor diferencial** (diferencia de tensión entre el terminal de entrada y el terminal de salida) debe de estar comprendido dentro de un margen especificado por el fabricante. El mínimo valor diferencial, ordinariamente de 2,5V aproximadamente, se lo llama **tensión de des excitación**. Si el valor diferencial es menor que la tensión de des excitación no se producirá ninguna regulación.

² Hernández, J.M., (s.f.) *Diseños de Fuente de Corriente Directa*. Recuperados el 25 de noviembre de 2015, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, Sitio Web. http://profesores.fi-b.unam.mx/jesmafco/apuntes/aa/fuentes_CD.pdf

2.1.3.1. Reguladores

La función de un regulador de voltaje es convertir un voltaje de DC a la entrada a un voltaje DC a la salida específico, estable y mantenerlo independientemente de las condiciones de carga y del voltaje DC de entrada.

Un regulador de voltaje de DC, en general, está formado por los siguientes elementos:

- ❖ Elemento de referencia.
- ❖ Elemento de muestreo.
- ❖ Amplificador de error.
- ❖ Elemento de control.

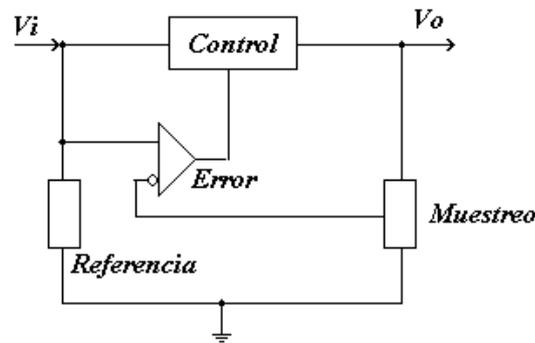


Figura 5: Elementos de un regulador de voltaje.

Fuente: Morales (http://profesores.fi-b.unam.mx/jesmafco/apuntes/aa/fuentes_CD.pdf)

2.1.3.1.1. Reguladores Continuos.

Existen dos tipos de reguladores continuos:

- ❖ Positivos
- ❖ Negativos

Los cuales se dividen a su vez en:

- ❖ Fijos
- ❖ Variables.

Los reguladores positivos serán utilizados para regular voltajes positivos, mientras que los reguladores negativos regularán voltajes negativos.

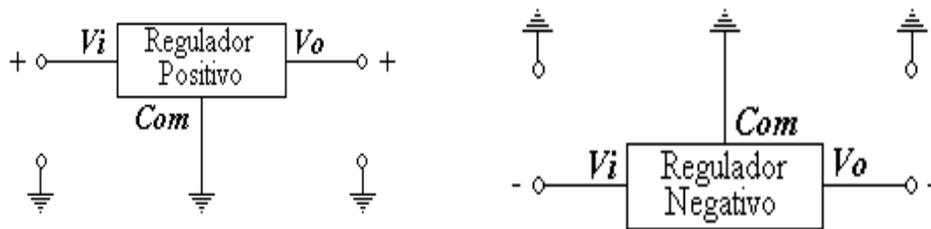


Figura 6: Reguladores positivo negativo.

Fuente: Morales (http://profesores.fi-b.unam.mx/jesmafco/apuntes/aa/fuentes_CD.pdf).

Fijos y variables.

Existe una amplia gama de reguladores de voltaje fijos para un gran rango de corrientes, son sencillos y ofrecen una forma barata de regular un voltaje de DC, con las siguientes ventajas:

- a. Uso sencillo.
- b. Pocos componentes externos adicionales.
- c. Desempeño confiable.
- d. Protección térmica interna.
- e. Protección contra cortocircuito interna.

Sus desventajas son:

- a. No pueden ajustarse precisamente dado que sus elementos de muestreo son Internos.
- b. La precisión puede variar hasta $\pm 5\%$ del valor nominal.
- c. El voltaje a la salida es limitado.
- d. Los límites de corriente tampoco son ajustables.
- e. Para soportar una corriente de carga mayor se requiere de componentes externos adicionales.

Una configuración común de un regulador serie fija es la siguiente:

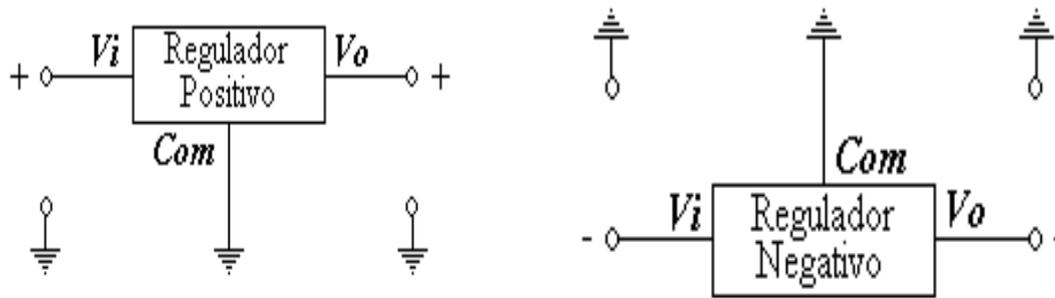


Figura 7 Configuración común de un regulador en serie.

Fuente: Morales (http://profesores.fi-b.unam.mx/jesmafco/apuntes/aa/fuentes_CD.pdf)

La principal aplicación de estos reguladores está en la región de las corrientes medias (hasta 500mA). La principal pérdida de estos reguladores es cuando las condiciones de carga extrema se presentan y provocan un calentamiento en el regulador disipando allí la mayoría de la potencia. La manera de calcular la potencia en este regulador es la siguiente:

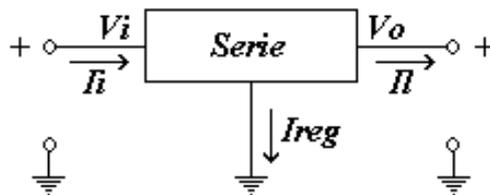


Figura 8: Pérdidas de un regulador en serie.

Fuente: Morales (http://profesores.fi-b.unam.mx/jesmafco/apuntes/aa/fuentes_CD.pdf)

$$P(\text{reg}) = V_i I_i - V_o I_o \quad (1)$$

$$I_i = I(\text{reg}) + I_o \quad (2)$$

Dado que I_i es mucho más grande que $I(\text{reg})$ tenemos que $I_i \approx I_o$. $P(\text{reg}) = I_o (V_i - V_o)$.

$$P(\text{reg}) = I_o * (V_i - V_o) \quad (3)$$

Los reguladores variables tienen la propiedad de ofrecer una salida de voltaje regulada con un valor ajustable por el usuario. Para poder lograrlo estos reguladores tienen una configuración “flotante” con la cual la regulación se maneja con una variación del voltaje diferencial cada vez que se decrementa el voltaje a la entrada. El voltaje diferencial del regulador se modula de manera que el voltaje a la salida, si se referencia a su terminal común $V_o(\text{reg})$, es igual a su voltaje de referencia interno $V(\text{ref})$.

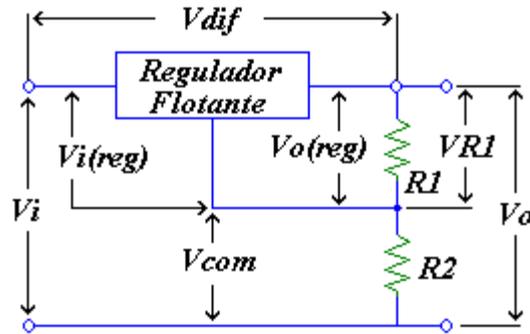


Figura 9: Reguladores de voltaje variable.

Fuente: Morales (http://profesores.fi-b.unam.mx/jesmafco/apuntes/aa/fuentes_CD.pdf)

$$V_o(\text{reg}) = V_{\text{ref}} = VR1 \quad (4)$$

$$VR1 = V_o \left(\frac{R1}{R1+R2} \right) \quad (5)$$

$$V_o = V_{\text{ref}} \left(1 + \frac{R2}{R1} \right) \quad (6)$$

El voltaje en la terminal común es:

$$V_{\text{com}} = V_o - VR1 = V_o - V_{\text{ref}} \quad (7)$$

El voltaje de entrada visto por el regulador es:

$$V_i(\text{reg}) = V_i - V_{\text{com}} \quad (8)$$

$$V_i(\text{reg}) = V_i + V_o + V_{\text{ref}} \quad (9)$$

$$V_i(\text{reg}) = V_{\text{dif}} + V_{\text{ref}} \quad (10)$$

Dado que $V(\text{ref})$ es un voltaje constante; la única limitación en el voltaje de entrada es el voltaje diferencial máximo. Esto hace que el regulador flotante se especial para aplicaciones de alto voltaje ($V_i > 40V$). Las limitaciones del voltaje de salida son las relaciones de voltaje de salida con respecto al voltaje de referencia.

$$\frac{R2}{R1} = \frac{V_o}{V_{\text{ref}}} - 1 \quad (11)$$

El regulador flotante puede servir también como un regulador de corriente mediante la siguiente configuración:

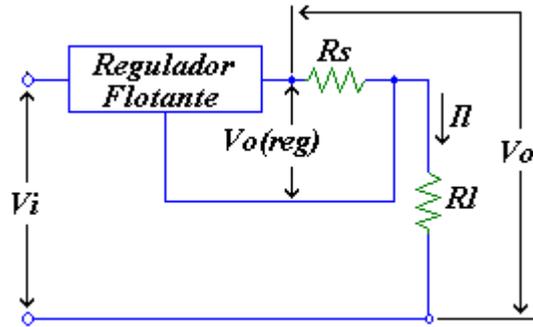


Figura 10: Reguladores de corriente variable.

Fuente: Morales (http://profesores.fi-b.unam.mx/jesmafco/apuntes/aa/fuentes_CD.pdf)

$$V_o = V_{ref} \left(1 + \frac{R_l}{R_s} \right) \quad (12)$$

$$V_o = V_l + V_o(\text{reg}) \quad (13)$$

$$V_o(\text{reg}) = V_{ref} \quad (14)$$

$$V_l = V_{ref} \left(1 + \frac{R_l}{R_s} \right) - V_{ref} \quad (15)$$

$$V_l = V_{ref} \left(\frac{R_l}{R_s} \right) \quad (16)$$

$$I_l = \frac{V_l}{R_l} \quad (17)$$

$$I_l = \frac{V_{ref}}{R_s} \quad (18)$$

Configuración típica de un regulador flotante.

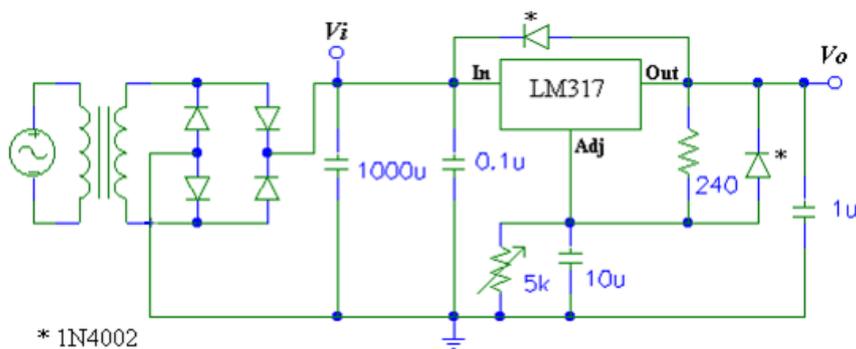


Figura 11: Configuración típica de un regulador flotante.

Fuente: Morales (http://profesores.fi-b.unam.mx/jesmafco/apuntes/aa/fuentes_CD.pdf)

Para este caso V_i deberá ser mayor a 4V.DC. y la salida se calculó como:

$$V_o = V_{ref} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad (19)$$

En estos reguladores $V_{ref} = 1.25$ V. típicamente.

2.1.3.1.2. Reguladores Continuos paralelos.

El regulador paralelo, es el regulador más simple, este emplea a una resistencia fija como el elemento de paso en serie. Cuando varía el voltaje de entrada o los requerimientos de corriente en la carga se compensan mediante la modulación de la corriente que se drena a tierra a través del regulador.

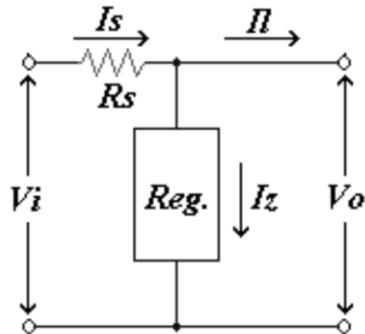


Figura 12: Regulador en paralelo.

Fuente: Morales (http://profesores.fi-b.unam.mx/jesmafco/apuntes/aa/fuentes_CD.pdf)

Cuando varía V_i .

$$\Delta I_z = \frac{\Delta V_i}{R_s} \quad (20)$$

Para variaciones de I_l .

$$\Delta I_z = \Delta I_l \quad (21)$$

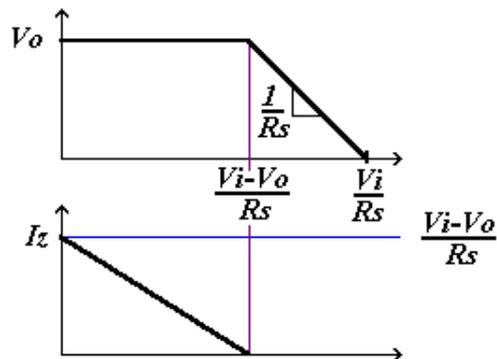


Figura 13: Señal en corto circuito.

Fuente: Morales (http://profesores.fi-b.unam.mx/jesmafco/apuntes/aa/fuentes_CD.pdf)

Cuando ocurre un cortocircuito tenemos que $V_o=0$ y $I_{c.c.} = V_i/R_s$.

2.1.4. Reguladores de conmutación

Utilizan un transistor de potencia como conmutador de alta frecuencia, de tal manera que la energía se transfiere desde la entrada a la carga en paquetes discretos. Los pulsos de intensidad se convierten después a una corriente

continua mediante un filtro inductivo y capacitivo. Puesto que, cuando opera como conmutador, el transistor consume menos potencia que en su región lineal, estos reguladores son más eficientes (hasta el 80%) que los lineales; además, son más pequeños y ligeros. Estos reguladores se pueden diseñar para operar directamente sobre la tensión de la red rectificada y filtrada, eliminando la necesidad de utilizar transformadores voluminosos. Los reguladores de conmutación se utilizan especialmente en sistemas digitales, donde a menudo es mucho más importante una alta eficiencia que un bajo rizado.

La tendencia actual en el diseño de fuentes de alimentación de varias salidas es utilizar reguladores de conmutación para aprovechar sus ventajas y utilizar después reguladores en serie para conseguir tensiones más limpias y mejor reguladas.

2.1.4.1. Regulador de Voltaje DC-DC. Módulo LM2596

Este circuito te permite tener un voltaje regulado a partir de una fuente de alimentación con un voltaje mayor, por ejemplo, si tienes una fuente de 12V puedes regularlos a 5V, 3.3V, 2.2V, etc, para el uso con microcontroladores, Arduino, PICsi, fuentes variables, drivers para leds, etc.

Este módulo está basado en el Regulador reductor DC-DC LM2596 que es un circuito integrado monolítico adecuado para el diseño fácil y conveniente de una fuente de conmutación tipo buck. Es capaz de conducir una corriente de hasta 3A. Maneja una carga con excelente regulación de línea y bajo voltaje de rizado. Este dispositivo está disponible con voltaje de salida ajustable. El módulo reduce al mínimo el uso de componentes externos para simplificar el diseño de fuentes de alimentación.

El módulo LM2596 es una fuente de alimentación conmutada, así que su eficiencia es significativamente mayor en comparación con los populares reguladores lineales de tres terminales, especialmente con tensiones de entrada superiores. Este regulador funciona a una frecuencia de conmutación de 150 kHz por lo tanto permite que los componentes del filtro sea de tamaño más pequeño que lo que sería con los reguladores de frecuencia de conmutación más bajas.

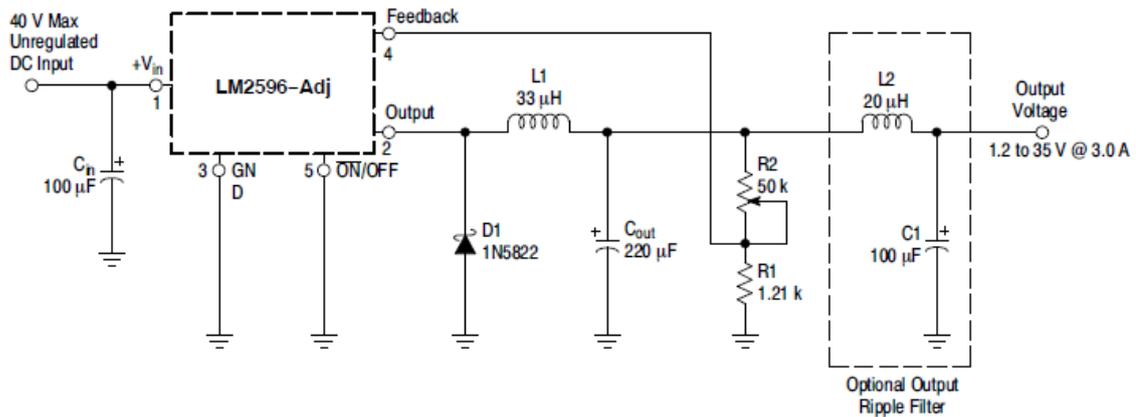


Figura 14: Configuración típica de un regulador LM 2596 ajustable 1.2 V. a 35 V.
Fuente: Texas Instruments (<http://www.alldatasheet.com/>)

Voltaje de salida ajustable

Para seleccionar el valor de la resistencia ajuste R1 y R2 (ver figura 14) utiliza la siguiente fórmula:

$$V_{out} = V_{ref} \left(1.0 + \frac{R2}{R1} \right) \quad \text{Donde } V_{ref} = 1.23 \text{ V} \quad (22)$$

2.2. Descripción general de la máquina síncrona³

Las máquinas síncronas son máquinas cuyo estator se encuentra alimentado por corriente alterna, en tanto el rotor tiene alimentación continua ya sea a través de un enrollado de campo o bien mediante imanes permanentes.

En términos prácticos, las máquinas síncronas tienen su mayor aplicación a altas potencia, particularmente como generadores ya sea a bajas revoluciones en centrales hidroeléctricas, o bien a altas revoluciones en turbinas de vapor o gas.

Cuando la máquina se encuentra conectada a la red, la velocidad de su eje depende directamente de la frecuencia de las variables eléctricas (voltaje y corriente) y del número de polos. Este hecho da origen a su nombre, ya que se dice que la máquina opera en sincronismo con la red. Por ejemplo, una máquina con un par de polos conectada a una red de 60 [Hz] girará a una velocidad fija de 3600 [RPM], si se tratara de una máquina de dos pares de polos la velocidad sería de 1800 [RPM] y así sucesivamente, hasta motores con 40 o más pares de polos que giran a bajísimas revoluciones.

³ Nizama, J.C., (2013) "Control digital de la excitación de un generador síncrono" Recuperado el 12 de enero de 2016, Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Mecánico-Eléctrica, Sitio Web. http://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1761/IME_171.pdf?sequence=1

Las máquinas síncronas también se emplean como motores de alta potencia (mayores de 10.000 [HP]) y bajas revoluciones.

Adicionalmente a la operación como motor y generador, el control sobre la alimentación del rotor hace que la máquina síncrona pueda operar ya sea absorbiendo o inyectando reactivos a la red en cuyo caso se conocen como reactor o condensador síncrono respectivamente. Particularmente esta última aplicación es utilizada para mejorar el factor de potencia del sistema eléctrico el cual tiende a ser inductivo debido a las características típicas de los consumos.

2.2.1. Generadores eléctricos de corriente continua

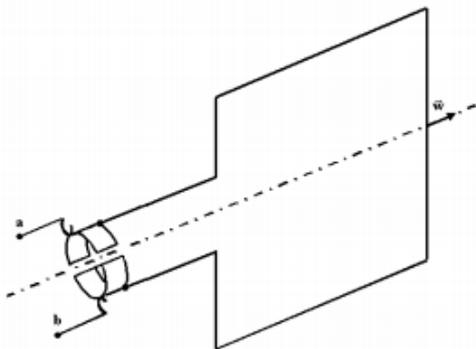


Figura 15: Bobina de corriente continua
Fuentes: Nizama, J.C., (2013)

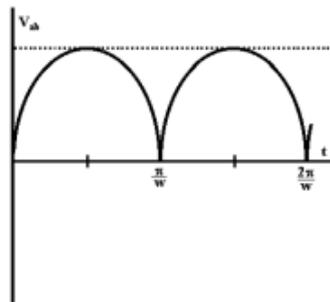


Figura 16: Corriente del Generador DC.

Si una bobina gira entre dos polos magnéticos fijos, la corriente en la armadura circula en un sentido durante la mitad de cada revolución, y en el otro sentido durante la otra mitad (figura 15). Para producir un flujo constante de corriente en un sentido, o corriente continua, (figura 16), en un aparato determinado, es necesario disponer de un medio para invertir el flujo de corriente fuera del generador una vez durante cada revolución. En las máquinas antiguas esta inversión se llevaba a cabo mediante el colector de delgas, un anillo de metal partido montado sobre el eje. Las dos mitades del anillo se aislaban entre sí y servían como bornes de la bobina. Las escobillas fijas de metal o de carbón se mantenían en contacto con el conmutador, que al girar conectaba eléctricamente la bobina a los cables externos. Cuando la armadura giraba, cada escobilla estaba en contacto de forma alternativa con las mitades del colector, cambiando la posición en el momento en el que la corriente invertía su sentido dentro de la

bobina de la armadura. Así se producía un flujo de corriente de un sentido en el circuito exterior al que el generador estaba conectado.

Los generadores modernos de corriente continua suelen estar formados por un gran número de bobinas agrupadas en hendiduras longitudinales en el rotor (inducido) y conectadas a los segmentos adecuados de un colector de delgas múltiple. Las escobillas conectan siempre la bobina que se mueve a través de un área de alta intensidad del campo, y como resultado la corriente que suministran las bobinas de la armadura es prácticamente constante.

El electroimán se excita por una corriente independiente o por autoexcitación, es decir, la propia corriente producida en la dinamo sirve para crear el campo magnético en las bobinas del inductor. Existen tres tipos de dinamo según sea la forma en que estén acoplados el inductor y el inducido: en serie, en derivación y en combinación.

2.2.2. Generadores de corriente alterna (alternadores).

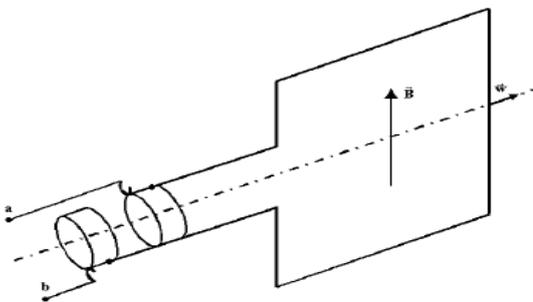


Figura 17: Bobina de corriente Alterna.
Fuentes: Nizama, J.C., (2013).

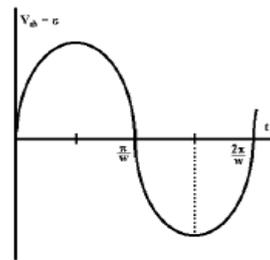


Figura 18: Corriente del Generador AC.

Como se decía antes, un generador simple sin conmutador producirá una corriente eléctrica que cambia de sentido a medida que gira la armadura (figura 17). Este tipo de corriente alterna es ventajosa para la transmisión de potencia eléctrica. En su forma más simple, un generador de corriente alterna se diferencia de uno de corriente continua en sólo dos aspectos: los extremos de la bobina de su armadura están sacados a los anillos colectores sólidos y las bobinas de campo se excitan mediante una fuente externa de corriente continua más que con el generador en sí (figura 18).

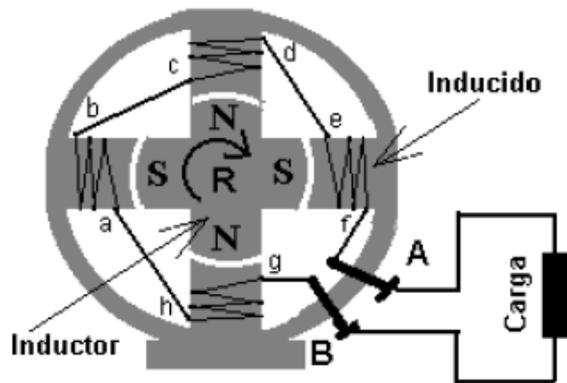


Figura 19: Generador de corriente Alterna.
Fuente: Nizama, J.C., (2013)

El generador de corriente alterna de baja velocidad se fabrican con hasta 100 polos, para mejorar su eficiencia y para lograr con más facilidad la frecuencia deseada (figura 19). Los alternadores accionados por turbinas de alta velocidad, sin embargo, son a menudo máquinas de dos polos. La frecuencia de la corriente que suministra un generador de corriente alterna es la de la red a la que se conecta, en nuestro caso 60 Hz lo que supone en un generador de dos polos a 3800 r.p.m. (revoluciones por minuto).

2.2.3. Principio de funcionamiento del generador síncrono.

A una máquina que convierte la energía mecánica en eléctrica se le denomina generador, alternador o dinamo.

El principio fundamental de operación de los alternadores sincrónicos, es que el movimiento relativo entre un conductor y un campo magnético induce un voltaje en el conductor. Una fuente externa de energía de corriente continua (CC) o excitador se aplica a través de anillos colectores en el rotor. La fuerza del flujo, y por lo tanto el voltaje inducido en la armadura se regula mediante la corriente continua o directa y el voltaje suministrado al campo. La corriente alterna es producida en la armadura debido a la inversión del campo magnético a medida que los polos norte y sur pasan por los conductores individuales.

La disposición más común es la de un electroimán cilíndrico que gira dentro de un conjunto de conductores estacionarios. La corriente que se genera mediante los alternadores aumenta hasta un pico, cae hasta cero, desciende hasta un pico negativo y sube otra vez a cero varias veces por segundo, dependiendo de la frecuencia para la que esté diseñada la máquina.

Este tipo de corriente se conoce como corriente alterna monofásica. Sin embargo, si la armadura la componen dos bobinas, montadas a 90° una de otra y con conexiones externas separadas, se producirán dos ondas de corriente, una de las cuales estará en su máximo cuando la otra sea cero, este tipo de corriente es conocida como corriente alterna bifásica.

Al agrupar tres bobinas de armadura en ángulos de 120° , se producirá corriente en forma de onda triple, conocida como corriente alterna trifásica. Se puede obtener un número mayor de fases incrementando el número de bobinas en la armadura, pero en la práctica de la ingeniería eléctrica moderna se usa sobre todo la corriente alterna trifásica.

Estructura general de un generador síncrono:

Una máquina eléctrica rotatoria trifásica se compone de un estator y rotor. Estos componentes se muestran en la figura 20.

- Estator: Su devanado consistente en espiras agrupadas en tres fases separadas por 120° .
- Rotor: consiste espiras concentradas en torno a polos y alimentadas con corriente continua a través del colector.

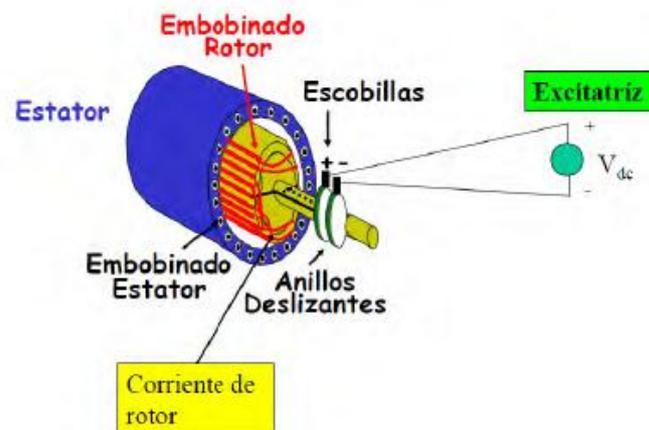


Figura 20: Estructura general de un generador eléctrico.
Fuente: Nizama, J.C., (2013).

Las formas constructivas pueden ser de:

Polos salientes. (Figura 21).

Rotor cilíndrico. (Figura 22).

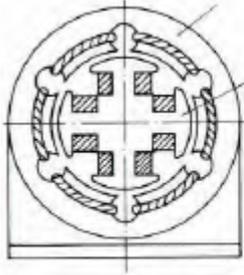


Figura 21: Bobina de corriente Alterna.
Fuentes: Nizama, J.C., (2013).

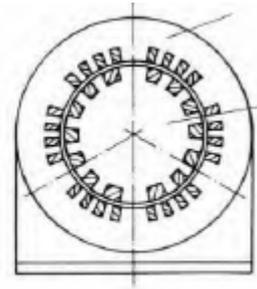


Figura 22: Corriente del Generador AC.

El funcionamiento de la máquina se basa en dos principios físicos:

Inducción: si una espira se mueve a través de un campo magnético, o si está situada en las proximidades de otro conductor por el que circula una corriente de intensidad variable, se establece o se induce una corriente eléctrica en ella.

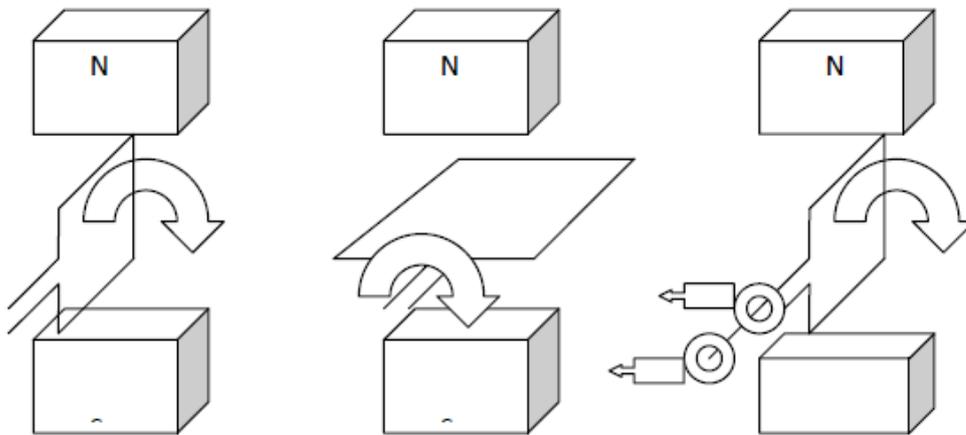


Figura 23: Espira en un campo magnético.
Fuente: Nizama, J.C., (2013).

Acción electrodinámica:

Si una corriente pasa a través de un conductor situado en el interior de un campo magnético, éste ejerce una fuerza mecánica sobre el conductor, tal como se muestra en la figura 23.

El campo magnético de un imán permanente sólo tiene fuerza suficiente como para hacer funcionar una dinamo pequeño o motor. Por ello, en máquinas grandes se emplean electroimanes. Tanto los motores como los generadores tienen dos unidades básicas: el inductor, que crea el campo magnético y que suele ser un electroimán, y la armadura o inducido, que es la estructura que sostiene los conductores que cortan el campo magnético y transporta la corriente inducida en un generador, o la corriente de excitación en el caso del motor. La

armadura es por lo general un núcleo de hierro dulce laminado, alrededor del cual se enrollan los cables conductores.

2.2.4. Circuito equivalente monofásico de un generador síncrono.

El circuito monofásico equivalente de un generador síncrono viene representado en la figura 24.

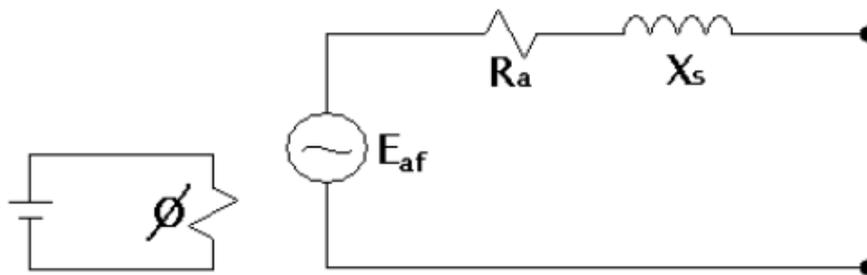


Figura 24: Circuito equivalente monofásico del GS.

Fuente: Nizama, J.C., (2013).

De este circuito, solo nos centraremos en el circuito de armadura, en la cual se tienen tres cantidades que son fundamentales en el comportamiento del generador síncrono, las cuales son:

- La tensión inducida (E_{af}), producidas gracias al flujo que se genera al circular la corriente de campo por su respectivo circuito.
- La resistencia de armadura (R_a).
- La reactancia síncrona (X_s).

Para determinar estos valores se realizan principalmente tres pruebas, la prueba resistencia de armadura, la prueba de vacío y la prueba de cortocircuito.

2.2.4.1. Prueba de resistencia de armadura.

Esta prueba consiste en hacer uso de una fuente de corriente continua en cada fase de la armadura, aplicando el método del voltio amperimétrico, como se muestra en la figura 25.

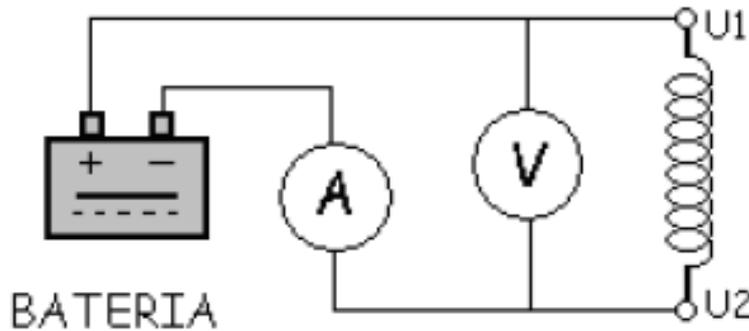


Figura 25: Conexión de la prueba de resistencia de armadura.
Fuente: Nizama, J.C., (2013).

De cuyas mediciones se obtiene que:

$$R_a = \frac{1}{2} \left(\frac{V_{DC}}{A} \right) \text{ Para conexiones en } Y \quad (23)$$

$$R_a = \frac{3}{2} \left(\frac{V_{DC}}{A} \right) \text{ Para conexiones en } \Delta \quad (24)$$

Cabe mencionar que si la prueba se realiza con corriente continua, el valor de la resistencia obtenida debe ser ajustado, en primer lugar por temperatura (a temperatura de trabajo), y posteriormente por el efecto piel, para finalmente obtener el valor de la resistencia en corriente alterna.

2.2.4.2. Prueba de vacío.

Esta prueba consiste, como dice su nombre, en colocar el generador en vacío, es decir sin carga alguna en sus bornes, haciéndolo girar a su velocidad nominal y con corriente de campo igual a cero.

Al ir aumentando gradualmente el valor de la corriente de campo, se obtienen diversos valores de E_{af} y ya que la corriente que circula por la armadura siempre será cero ($I_a = 0$) debido que se encuentra en vacío, se obtendrá que $E_{af} = V\phi$.

Gracias a ésta prueba, con los valores obtenidos, se puede formar "La curva de características de vacío" (E_{af} vs I_f) que permite encontrar la tensión interna generada por una corriente de campo dada. Ver figura 26.

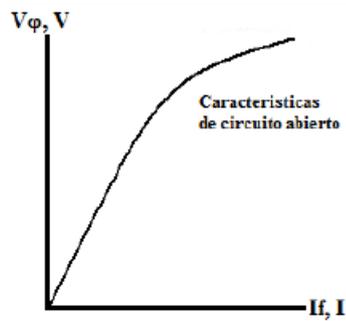


Figura 26: Curvas de las características de vacío.
Fuente: Nizama, J.C., (2013).

Se debe notar que, en un principio, la curva es prácticamente una recta, (ver figura 26), esto es debido a que al inicio la fuerza magnetomotriz se ejerce en el entrehierro, y el incremento de la corriente de campo es casi lineal.

2.2.4.3. Prueba de cortocircuito.

Finalmente se tiene la prueba de cortocircuito, el cual consiste en llevar nuevamente la corriente de campo a cero, para luego cortocircuitar los bornes del generador y proseguir a ir incrementando la corriente de campo, obteniéndose la figura 27.

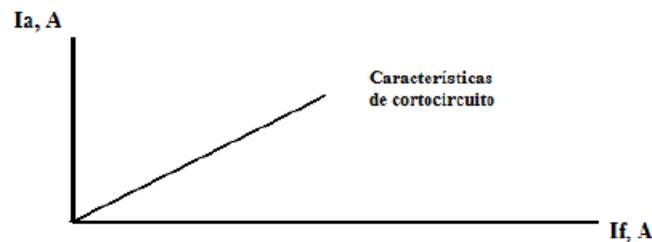


Figura 27: Curva de características de cortocircuito.
Fuente: Nizama, J.C., (2013).

Se observa que, al contrario de la curva en vacío, en esta prueba se obtiene una recta, esto es debido a que los campos magnéticos que se generan al conectar la armadura en cortocircuito, prácticamente se anulan, produciendo un campo neto pequeño como se muestra en el diagrama fasorial (figura 28) siguiente; provocando que la máquina no se sature, obteniendo así la recta de la gráfica.

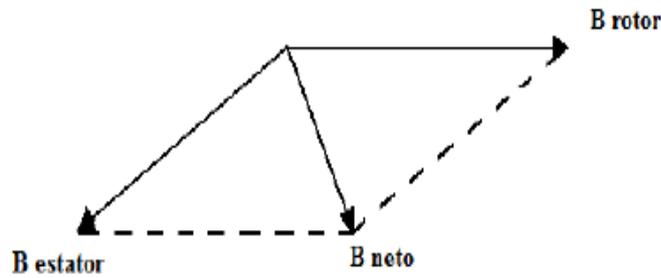


Figura 28: Diagrama fasorial de campos.

Fuente: Nizama, J.C., (2013).

Posteriormente, con los datos de las dos gráficas obtenidas, para un valor de corriente de campo dada, se tiene que:

$$Z_s = \frac{E_{af}}{I_a} \quad (24)$$

Entonces, haciendo uso del valor de la resistencia:

$$X_s = \sqrt{Z_s^2 - R_a^2} \quad (25)$$

Ya que generalmente X_s es $\gg R_a$ y se puede asumir que:

$$X_s = \frac{E_{af}}{I_a} \quad (26)$$

Por último, hay que tener en cuenta que estas ecuaciones son aplicables hasta el punto de saturación de la curva de vacío, ya que después, los valores obtenidos en las ecuaciones son aproximados.

2.2.4.4. Otras pruebas.

Como complemento, se puede decir que a los generadores síncronos se les debe someter a otras pruebas, entre las cuales tenemos:

Prueba de aislamiento: Mide el aislamiento entre las bobinas y también entre las bobinas y la carcasa.

Prueba de calentamiento: Mide la temperatura de trabajo del generador a plena carga. Pruebas bajo carga resistiva, inductiva, capacitiva y mixta.

2.2.5. Excitatriz principal de un generador⁴

Se hace referencia a la fuente que suministra la corriente de campo a la máquina principal. Cualquier máquina de corriente directa que se utilice con este fin puede

⁴ Suescún, I., (s.f.) "Centrales Hidráulicas" Recuperado el 18 de enero de 2016, Facultad de Ingeniería, de la Universidad de Antioquia, Sitio Web. <http://iaibana.udea.edu.co/grupos/centrales/files/capitulo%207.pdf>

denominarse excitatriz principal. En general se clasifican de acuerdo al método como se excitan:

1. Auto excitado.
2. Excitación independiente.

En las figuras 29 y 30 que se muestran a continuación pueden observarse:

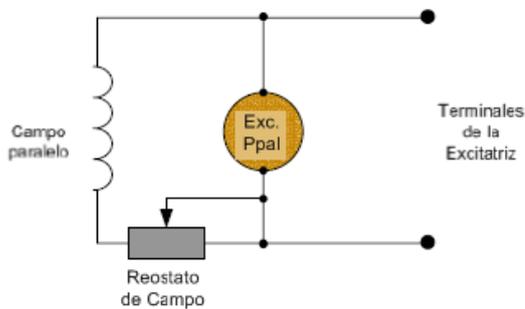


Figura 29: Excitatriz tipo shunt auto excitado.

Fuente: <http://jaibana.udea.edu.co/grupos/centrales/files/capitulo%207.pdf>

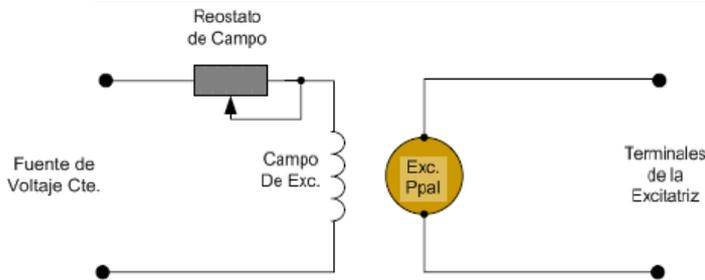


Figura 30: Excitatriz tipo de excitación independiente.

Fuente: <http://jaibana.udea.edu.co/grupos/centrales/files/capitulo%207.pdf>

En general, se tendrán que medir el voltaje y la corriente del generador, para ejercer un control de la corriente de excitación.

2.2.6. Sistemas de excitación electrónicos.

Las investigaciones muestran que, si el voltaje de campo del generador puede controlarse de manera proporcional al error de velocidad instantáneo, entonces pueden producirse torques amortiguadores considerables tendientes a mejorar la estabilidad transiente y dinámica (incluyendo la denominada estabilidad de estado estable).

El error de velocidad será el obtenido con respecto a la velocidad promedio del sistema.

2.3. Introducción al alternador automotriz⁵

El alternador es un generador de corriente eléctrica que transforma la energía mecánica que recibe en su eje en energía eléctrica, que sirve además de cargar la batería, para proporcionar corriente eléctrica a los distintos consumidores del vehículo como son el sistema de alimentación de combustible, el sistema de encendido, las luces, los limpiadores, etc.

El alternador sustituyó al dínamo debido a que esta última tenía unas limitaciones que se vieron agravadas a medida que se instalaban más accesorios eléctricos en el automóvil y se utilizaba el automóvil para trayectos urbanos con las consecuencias sabidas (circulación lenta y frecuentes paradas). La dinamo presentaba problemas tanto en bajas como en altas revoluciones del motor; en bajas revoluciones necesita casi 1500 rpm. Para empezar a generar energía, como consecuencia, cuando el motor estaba en mínimo no generaba corriente eléctrica. Una solución era hacer girar a más revoluciones mediante una transmisión con mayor multiplicación, pero esto tiene el inconveniente de que a altas revoluciones la dinamo tiene la limitación que le supone el uso de escobillas y colector.

2.3.1. Características Generales del alternador automotriz.

- ❖ Entrega de potencia incluso en velocidades del motor mínimas.
- ❖ El diodo además de convertir la corriente alterna en corriente continua, evita que la tensión de la batería se descargue a través del alternador cuando el motor está detenido o el alternador no genera corriente (avería).
- ❖ Mayor aprovechamiento eléctrico (es decir, a igualdad de potencia, los alternadores son más ligeros que otras máquinas).
- ❖ Larga duración (los alternadores de automóviles presentan una vida útil igual a la del motor del vehículo; hasta 150.000 Km, por lo que no requieren mantenimiento durante ese tiempo).

⁵ Hernández, J.M., (s.f.) *Diseños de Fuente de Corriente Directa*. Recuperados el 25 de noviembre de 2016, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, Sitio Web. http://profesores.fi-b.unam.mx/jesmafco/apuntes/aa/fuentes_CD.pdf

- ❖ Los alternadores más resistentes para vehículos industriales, se fabrican en versiones sin anillos colectores, bien sea con posibilidades de re lubricación o provistos de cojinetes con cámaras con reserva de grasa.
- ❖ Son insensibles a influencias externas tales como altas temperaturas, humedad, suciedad u vibraciones.
- ❖ Pueden funcionar en ambos sentidos de giro sin requerir medidas especiales, siempre que la forma del ventilador que lo refrigera, sea adecuada al sentido de giro correspondiente.
- ❖ Pueden girar a grandes revoluciones sin deterioro de sus partes móviles
- ❖ La gran mayoría de estos alternadores son de rotor de polos intercalados con anillos rozantes que hacen del mismo un conjunto compacto con características de potencias favorables y peso reducido.
- ❖ La relación longitud/diámetro elegida permite conseguir máxima potencia con escasa demanda de material. De ello se deriva la forma achatada típica de este alternador, de gran diámetro y poca longitud. Esta forma permite además una buena disipación de calor.

2.3.2. Descripción y características de sus componentes.

El alternador utilizado en automoción está constituido por los siguientes elementos:

- ❖ Un conjunto inductor que forman el rotor o parte móvil del alternador.
- ❖ Un conjunto inducido que forman el estator o parte fija del alternador.
- ❖ El puente rectificador de diodos.
- ❖ Regulador de voltaje.
- ❖ Carcasas, ventilador y demás elementos complementarios de la máquina.

2.3.2.1. Rotor.

El rotor o parte móvil del alternador, es el encargado de crear el campo magnético inductor el cual provoca en el devanado inducido la corriente eléctrica que suministra después el alternador. El rotor está formado a su vez por un eje o árbol sobre el cual va montado el núcleo magnético formado por dos piezas de acero forjado que llevan unos polos salientes o dedos entrelazados sin llegar a tocarse, de ahí la denominación de "alternador de polos intercalados", que

constituyen los polos del campo magnético inductor. En el interior de los polos, va montada una bobina inductora de hilo de cobre aislado y de muchas espiras, bobinada sobre un carrete material termoplástico. Cada uno de las dos mitades del núcleo llena 6 u 8 salientes, con lo que se obtiene un campo inductor de 12 o 16 polos. Sin embargo, el número de polos realizable tiene un límite. Un número de polos pequeño determinaría un rendimiento insuficiente de la máquina, mientras que un número demasiado grande aumentaría excesivamente las pérdidas magnéticas por fugas, por esta razón, estos alternadores se construyen según el margen de potencia, con 12 o 16 polos.

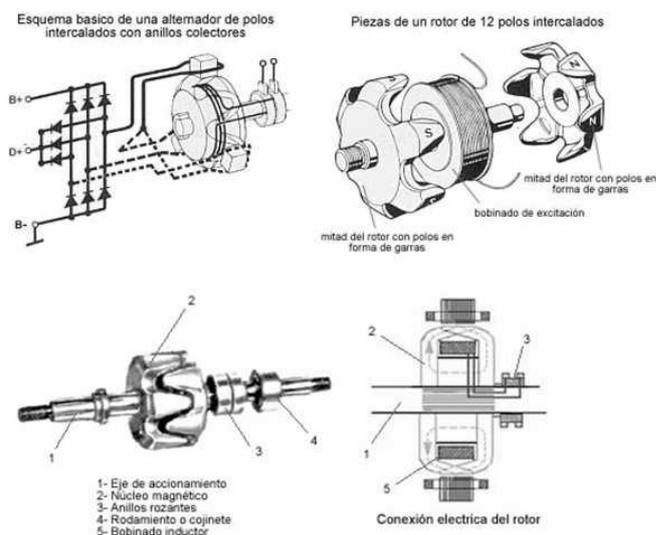


Figura 31: Rotor de polos intercalados, conexión y otros componentes del eje
Fuente: <http://www.greeleynet.com/cmorrison/rewinding.tex>.

2.3.2.2. Estator o Inducido

El estator es la parte del alternador que no tiene movimiento y es donde están alojadas las bobinas inducidas que generan la corriente eléctrica. El estator tiene una armazón que está formado por un paquete ensamblado de chapas magnéticas de acero suave laminado en forma de corona circular, troqueladas interiormente para formar en su unión las ranuras donde se alojan las bobinas inducidas.

Las bobinas que forman los conductores del inducido están constituidas generalmente por tres arrollamientos separados y repartidos perfectamente aislados en las 36 ranuras que forman el estator. Estos tres devanados o fases del alternador, pueden ir conectados según el tipo: en estrella o en triángulo,

obteniéndose de ambas formas una corriente alterna trifásica (figura 32), a la salida de sus bornes.

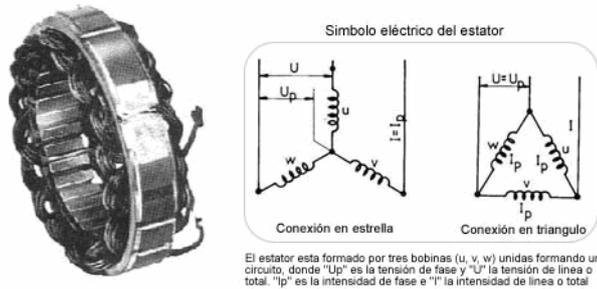


Figura 32: Estator del alternador automotriz y sus conexiones

Fuente: <http://www.greeleynet.com/cmorrison/rewinding.tex>.

2.3.2.3. Puente rectificador de diodos.

El puente de diodos es el encargado de transformar la corriente trifásica generada por el alternador a corriente continua, mediante la implementación de 8 diodos de alta potencia. La siguiente figura muestra el diagrama de conexión de los diodos de potencia:

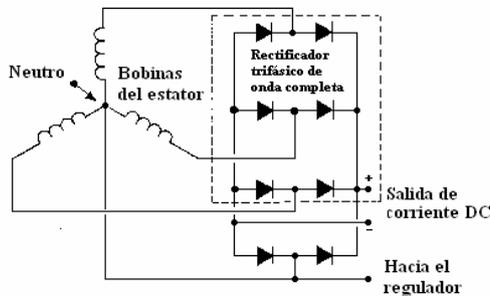


Figura 33: Diagrama de conexión de los diodos al estator.

Fuente: <http://www.greeleynet.com/cmorrison/rewinding.tex>.

Cuando se rectifica la corriente de bobinas trifásicas y se trasponen una junto a la otra, los picos se traslapan para producir una corriente continua con una ondulación muy pequeña (rizado) como se muestra en la figura 34.

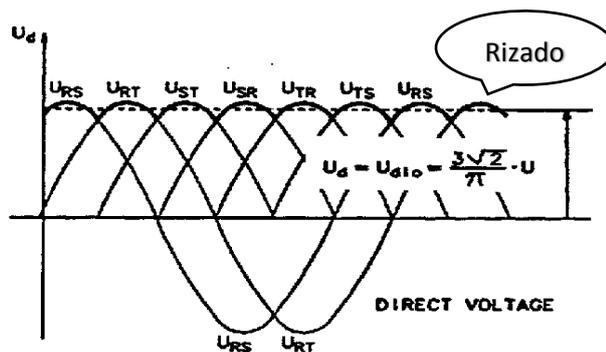


Figura 34: Tensión de salida del alternador trifásico rectificado.

Fuente: <http://www.greeleynet.com/cmorrison/rewinding.tex>.

2.3.2.4. Regulador de tensión.

El regulador controla la salida de alternador para prevenir altas o bajas cargas. En modelos más viejos de vehículos, este es un componente electromecánico separado que usa una bobina y puntos de contacto para abrir y cerrar el circuito hacia el alternador. En la mayor parte de vehículos actuales, este es un dispositivo incorporado en el alternador mismo, hace que la salida del alternador permanezca aproximadamente constante, controlando la cantidad de corriente de la batería al bobinado del rotor. Sin un regulador, el alternador siempre funcionaría a su máxima salida. Esto puede dañar ciertos componentes y sobrecargar la batería.

En la figura 35, se muestra un regulador de tensión común en los alternadores automotrices.

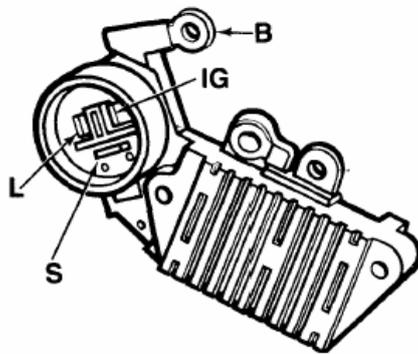


Figura 35: Regulador de tensión de un alternador de automóvil.

Fuente: <http://www.greeleynet.com/cmorrison/rewinding.tex>.

2.3.2.5. Carcasas, ventilador y demás elementos complementarios de la maquina

En la figura 36, se muestran todos los demás componentes complementarios del alternador.

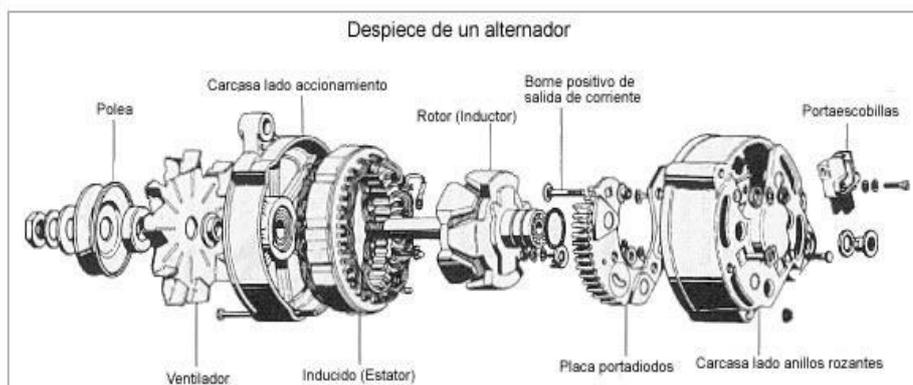


Figura 36 Componentes del alternador automotriz.

Fuente: <http://www.greeleynet.com/cmorrison/rewinding.tex>.

2.3.3. Flujo de potencia y pérdidas en máquinas de corriente alterna.

El generador de corriente alterna toman la potencia mecánica y producen eléctrica, sin embargo, no toda la potencia de entrada a estas máquinas se transforma en forma útil en eléctrica, pues hay pérdidas asociadas al proceso.

Las pérdidas que se presentan en las máquinas de corriente alternas se pueden dividir en 4 categorías básicas:

2.3.3.1. Pérdidas eléctricas o pérdidas en el cobre.

Las pérdidas en el cobre son perdidas por calentamiento resistivo que se presenta en los devanados, del estator y rotor de la máquina. Por ejemplo, las pérdidas en el cobre del estator están dadas por:

$$P_{cu} = 3I_A^2 R_A \quad (27)$$

Donde I_A es la corriente que fluye en cada fase del inducido y R_A es la resistencia de cada fase del inducido.

2.3.3.2. Perdidas en el núcleo

Las pérdidas en el núcleo son las perdidas por histéresis y por corrientes parasitas que se presentan en el núcleo del motor. Estas pérdidas varían conforme al cuadrado de la densidad del flujo (B).

2.3.3.3. Perdidas mecánicas

Estas pérdidas son las asociadas con los efectos mecánicos. Hay dos tipos de pérdidas mecánicas: por fricción y rozamiento con el aire. Las pérdidas por fricción son causadas por la fricción con los cojinetes, mientras que las pérdidas por rozamiento con el aire son causadas por la fricción entre las partes móviles de la máquina y el aire dentro de la caja de la misma.

A menudo las pérdidas mecánicas y las pérdidas en el núcleo se agrupan bajo el nombre de pérdidas rotacionales.

2.3.3.4. Pérdidas dispersas o misceláneas.

Sin importar que tanta precisión se tenga al considerar las pérdidas, siempre hay algunas que se escapan de las categorías anteriores. Todas estas pérdidas se agrupan en las dispersas.

2.3.3.5. Modelo por fase del alternador.

La fase del alternador puede ser modelada como un generador en serie con una resistencia por la cual fluye una corriente alterna I_c dando una tensión V entre las terminales de la fase en las cuales se conecta la carga, según se muestra en la figura 37.

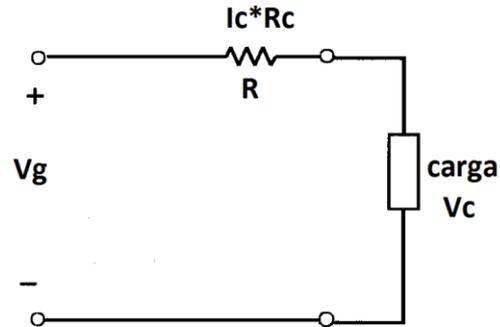


Figura 37: Modelo por fase del alternador.

Fuente: Calvopiña & Yugsi (2013).

Con este modelo se pueden determinar las pérdidas por cobre del alternador,

Utilizando la siguiente ecuación:

$$P_{cu} = I_c^2 * R_c \quad (28)$$

Además la potencia disipada por la carga se obtiene mediante la relación:

$$P_{carga} = V_c * I_c \quad (29)$$

CAPÍTULO III
MARCO METODOLOGICO

III. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Hipótesis General.

El diseño e implementación del controlador electrónico de tensión para potencia variable en un generador trifásico de un kilowatt mejora el control de carga eléctrica que distribuye el motor - generador trifásico de un kilowatt en los procesos energéticos.

3.2. Hipótesis Específica.

H₁: El diseño e implementación del controlador electrónico de tensión para potencia variable en un generador trifásico de un kilowatt mejora el control de carga en procesos eléctricos, solar, eólico y térmico.

3.3. Variables.

En la Tesis se ha manejado las siguientes variables:

Variable Independiente:

Controlador Electrónico de tensión.

Variable Dependiente:

Potencia variable en un generador trifásico de un kilowatt

3.3.1. Definición conceptual

❖ Controlador Electrónico de tensión.

Es un dispositivo electrónico de tensión donde se estabilizan las tensiones de corriente usadas para el proceso de otros elementos. Utilizando transistores de potencia como conmutador de alta frecuencia, de tal manera que la energía se transfiere desde la entrada a la carga.

❖ Potencia variable en un generador trifásico de un kilowatt.

El concepto de potencia variable permite un control total del generador a distintas condiciones eléctricas. Cuya corriente de campo es suministrada por una fuente externa separada de voltaje DC. Esta fuente externa es el controlador electrónico de tensión.

3.4. Metodología

3.4.1. Nivel de la investigación.

Es un nivel **experimental**, este nivel se aplica un nuevo sistema, modelo, tratamiento, programa, método o técnicas para mejorar y corregir la situación problemática que ha dado origen al estudio de la investigación.

3.4.2. Tipo de investigación.

La investigación es de tipo **tecnológico** ya que además de los conocimientos técnicos que se investigan, tendremos la oportunidad de plasmarlos en la elaboración del proyecto; con la utilización de los diferentes dispositivos y mecanismos adecuados a nuestras necesidades para mejorar su rendimiento, por cuanto se estudió y detalló a profundidad la problemática presente con respecto a la Implementación de un motor – generador trifásico de un kilowatt con campo magnético variable, controlado electrónicamente.

3.4.3. Diseño de investigación.

El método seleccionado para realizar esta investigación fue el diseño experimental, el cual tuvo como propósito construir y examinar los efectos que se manifiestan en la variable dependiente cuando se introduce y manipula la variable independiente, es decir se probará una relación causal.

3.5. Población y muestra

- ❖ Modulo motor – generador trifásico de un kilowatt.
- ❖ Parámetros eléctricos de la potencia variable.

3.6. Método de investigación

Los métodos de investigación a utilizarse para la realización de este proyecto son teóricos y empíricos.

a. Teóricos:

Los teóricos que se utilizan son:

Inductivo – deductivo: este método permite partir de conceptos generales ya conocidos, para inferir en él consecuencias particulares expresadas de una manera clara y concisa, mismo que se utilizara para la investigación conceptual y la elaboración del marco teórico.

Analítico – sintético: nos ayuda a sintetizar la información adquirida de textos, revistas para una mejor conceptualización, este método se lo emplea para la elaboración del marco teórico donde es necesario que se consulten varios documentos para ser analizados y sacar la idea central de cada concepto referido al tema.

b. Empíricos:

Dentro de lo empíricos se emplea el método del **diseño tecnológico** el cual permite la determinación de las características y ubicación de los instrumentos de medida.

3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas a utilizar fueron de tipo:

Para los efectos del desarrollo de la presente investigación se utilizaron las siguientes técnicas: La Observación Directa porque le permitió al investigador detectar la problemática presente, referente al Módulo Motor - Generador.

Los instrumentos utilizados sirvieron para recoger y registrar la información obtenida, Los instrumentos que se utilizaron fueron:

- ❖ Medidores de tensión.
- ❖ Medidores de corriente.

En el área de control y salida del generador que sirvió para registrar el procedimiento practicado por el investigador.

3.8. Métodos de Análisis de datos

En el procesamiento de los datos, se realizaron las siguientes acciones:

- a. **La Codificación:** A través de la codificación será posible organizar y ordenarlos criterios, los datos y los ítems, de acuerdo al procedimiento estadístico de la tabulación empleada, que nos permita la agrupación de los datos.
- b. **La Tabulación:** Mediante esta técnica nos permitirá elaborar los cuadros estadísticos con los datos obtenidos.
- c. **La Representación Estadística:** La representación de los resultados obtenidos se realizó mediante cuadros y gráfico de barras.

- d. **Análisis e Interpretación de Datos:** En lo referente al análisis de datos serán sometidos a un análisis y a un estudio sistemático, como a su interpretación pertinente, teniendo en cuenta los indicadores que estarán contrastados.

CAPÍTULO IV
DISEÑO DE INGENIERIA DE UNA
FUENTE DE ALIMENTACIÓN

4.1. DESARROLLO TÉCNICO DE LA PROPUESTA

Para impulsar el generador usaremos un motor de inducción tipo jaula de ardilla acoplado directamente al eje del generador a través de un acoplamiento mecánico flexible, debidamente soportado en una estructura metálica montado sobre bases de polímero para reducir las vibraciones.

Todo el conjunto se arma sobre una plataforma metálica instalada sobre ruedas de caucho suave con dispositivos de frenado para asegurar al piso la unidad. En esta plataforma metálica se extiende un panel posterior donde están instalados los equipos de fuerza, control y medición análoga-digital de parámetros eléctricos a visualizar y comandar durante la experimentación.

4.2. DIRECTRICES DE DISEÑO DE LA FUENTE DE ALIMENTACION⁶

Como en cualquier regulador de conmutación, el diseño del circuito de placa impresa es muy importante. Cambiar rápidamente corrientes asociado con la inductancia de cableado, la capacitancia parásita e inductancia parásita de las trazas de circuitos impresos pueden generar transitorios de tensión que pueden generar interferencias electromagnéticas (EMI) y afectan a la deseada operación. Como se indica en la Figura 38, para reducir al mínimo inductancia y los bucles de tierra, las longitudes de los cables indicada por líneas gruesas deben mantenerse lo más corto posible.

Para obtener los mejores resultados, de un solo punto de conexión a tierra (como se indica) o construcción plana de tierra se debe utilizar.

Por otro lado, el área de PCB conectado al pin 2 (emisor del conmutador interno) del LM2596 debe ser mantenido a un mínimo con el fin de minimizar el acoplamiento a sensibles circuitos.

Otra parte sensible del circuito es la retroalimentación. Es importante mantener el cableado de realimentación sensible corto. A asegurar esto, localice físicamente las resistencias de programación cerca al regulador, cuando se utiliza la versión ajustable de la Regulador LM2596.

⁶ Texas Instruments (s, f.). Diseño de Hardware recuperado 8 de diciembre 2015, Sitio Web. <http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Lm2596>

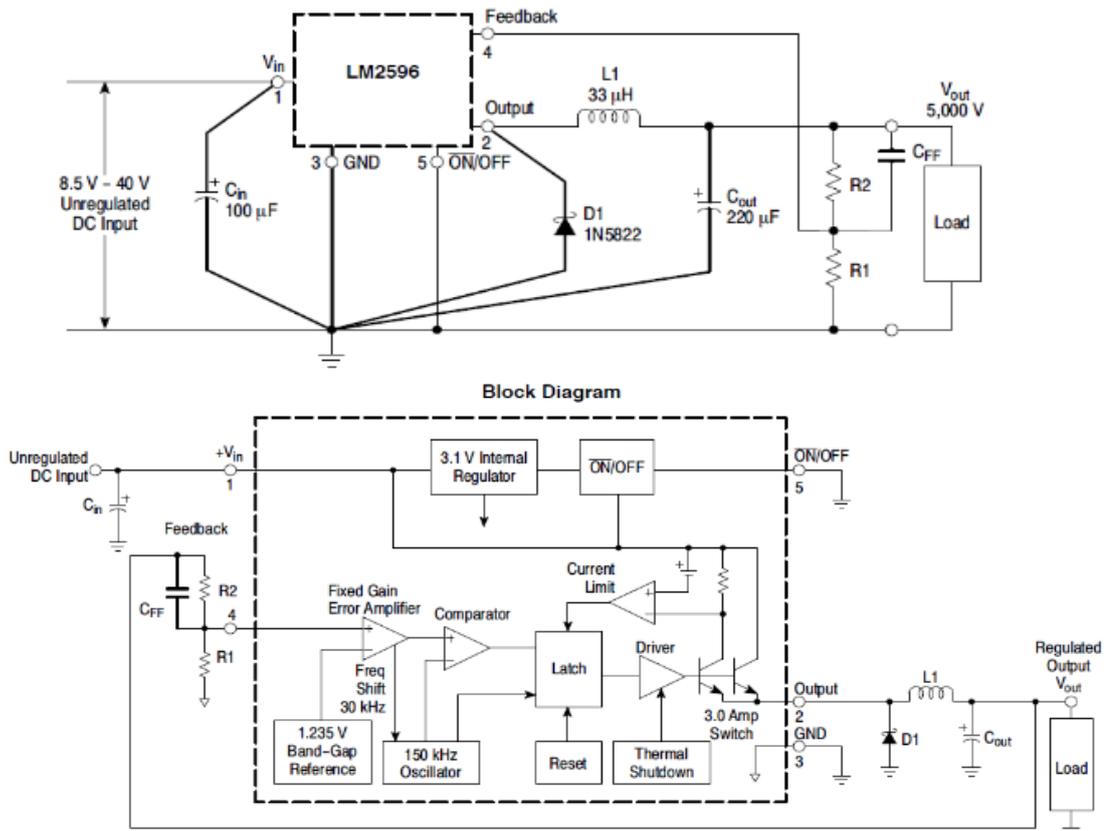


Figura 38: Circuito típico de voltajes ajustables.

Fuente: <http://www.alldatasheet.com/>

4.2.1. Procedimiento del diseño.

El LM2596 es un "Buck" o convertidor reductor que es el convertidor de modo de avance más elemental. Es básica esquemática se puede ver en la Figura 39.

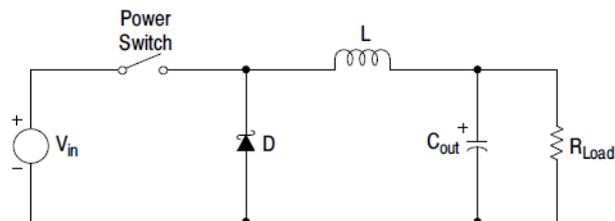


Figura 39: Circuito convertidor básico.

Fuente: <http://www.alldatasheet.com/>

El funcionamiento del regulador de esta topología tiene dos distintos períodos de tiempo. El primero ocurre cuando el interruptor en serie es en adelante, el voltaje de entrada está conectada a la entrada del inductor.

La salida del inductor es la tensión de salida y el rectificador (o capturas diodo) está polarizado inversamente. Durante esto período, ya que existe una fuente de tensión constante conectado a través del inductor, la corriente del inductor

comienza a linealmente la rampa hacia arriba, tal como se describe por la siguiente ecuación:

$$I_{L(on)} = \frac{(V_{IN} - V_{out})t_{on}}{L} \quad (30)$$

Durante este periodo "on", la energía se almacena en el núcleo el material en forma de flujo magnético. Si el inductor es correctamente diseñado, hay suficiente energía almacenada para llevar los requisitos de la carga durante el período "off".

El próximo período es el período "off" del interruptor de encendido.

Cuando el interruptor de encendido se apaga, el voltaje a través del inductor invierte su polaridad y se sujeta en un diodo caída de tensión por debajo del suelo por el diodo captura. El actual ahora fluye a través del diodo capturas manteniendo así la carga lazo de corriente. Esto elimina la energía almacenada del inductor. La corriente del inductor durante este tiempo es:

$$I_{L(off)} = \frac{(V_{out} - V_D)t_{off}}{L} \quad (31)$$

Este período termina cuando el interruptor de encendido está una vez más encendido. Reglamento del convertidor se lleva a cabo variando el ciclo de trabajo del interruptor de encendido. Es posible describir el ciclo de trabajo de la siguiente manera:

$$d = \frac{t_{on}}{T} \quad (32)$$

Donde:

t : Periodo de conmutación.

Para el convertidor reductor con componentes ideales, el deber ciclo también se puede describir como:

$$d = \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad (33)$$

La figura 40, muestra el convertidor buck, formas de onda idealizadas de la tensión de diodo de captura y la corriente del inductor.

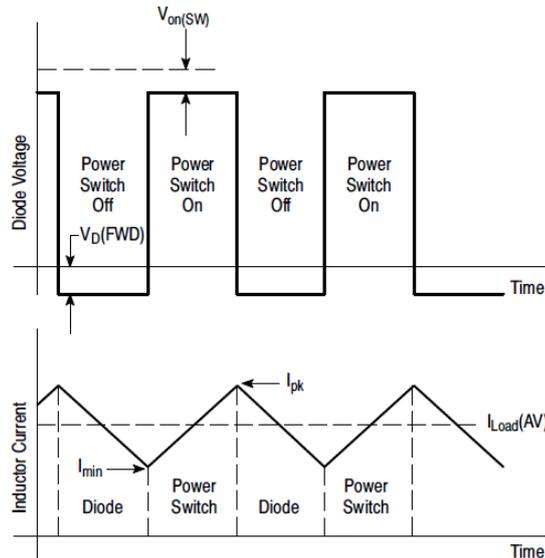


Figura 40: Formas de ondas de un circuito convertidor básico.

Fuente: <http://www.alldatasheet.com/>

4.2.2. Procedimiento (ajustable versión de salida: LM 2596).

❖ Parámetros:

V_{out} = salida de voltaje regulado. 1,23 a 12 VDC

$V_{in(max)}$ = Ingreso máximo de DC 20 VDC

$I_{carga(max)}$ = Máxima corriente de carga 3 amperios.

❖ Programación Voltaje de salida

Para seleccionar la resistencia de programación R1 y R2, utiliza la siguiente fórmula:

$$V_{out} = V_{ref} \left(1.0 + \frac{R2}{R1} \right) \quad \text{Donde } V_{ref} = 1.23 V \quad (34)$$

La resistencia R1 puede ser de entre 1,0 k Ω y 5,0 k Ω . (Para un mejor coeficiente de temperatura y la estabilidad con el tiempo, use 1% resistencias de película de metal).

$$V_{out} = 1.23 \left(1.0 + \frac{R2}{R1} \right) \quad \text{seleccionando } R1 = 1.0 k\Omega \quad (35)$$

$$R2 = R1 \left(\frac{V_{out}}{V_{ref}} - 1.0 \right) \quad (36)$$

Pero como tenemos una tensión de salida variable usaremos R2. Como una resistencia variable de control de 10K Ω .

❖ Selección del condensador de ingreso (C_{in})

Para evitar grandes distorsiones de tensión que aparece en la entrada y para un funcionamiento estable del convertidor, Se necesita condensador tántalo de derivación electrolítica entre el pin de entrada + V_{in} y el pin de tierra GND Este condensador debe ser situado cerca de la IC mediante cables cortos. Este condensador debe tener un valor bajo ESR (Resistencia serie equivalente).

Para obtener información adicional, consultamos la Tabla 1, y seleccionamos el valor de: 330 μ f, 25 V condensador electrolítico.

Tabla 1:

Valores recomendados de entrada y salida del capacitor.

| Nichicon PM Capacitors | | | | | | | | |
|------------------------|--|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| C_{in} (V) | Capacity/Voltage/ESR (μ FV/m Ω) | | | | | | | |
| 40 | 1500/35/26 | 1000/35/29 | 1000/35/29 | 680/35/36 | 560/25/55 | 560/25/55 | 470/35/46 | 470/35/46 |
| 26 | 1200/35/26 | 820/35 | 680/35/36 | 560/35/41 | 470/25/65 | 470/25/65 | 330/35/60 | |
| 22 | 1000/35/29 | 680/35/36 | 560/35/36 | 330/25/85 | 330/25/85 | 220/25/85 | | |
| 20 | 820/35/32 | 470/35/46 | 470/35/46 | 330/25/85 | 330/25/85 | 220/25/85 | | |
| 18 | 820/35/32 | 470/35/46 | 470/35/46 | 330/25/85 | 330/25/85 | 220/25/85 | | |
| 12 | 820/35/32 | 470/35/46 | 220/35/85 | 220/25/111 | | | | |
| 10 | 820/35/32 | 470/35/46 | 220/35/85 | | | | | |
| C_{out} (V) | 2 | 4 | 6 | 9 | 12 | 15 | 24 | 28 |
| $C_{\#}$ (nF) | 40 | 15 | 5 | 2 | 1.5 | 1 | 0.6 | 0.6 |

Fuente: <http://www.alldatasheet.com/>

❖ Selección de diodos de captura (D1)

- Puesto que la corriente pico máximo del diodo, supera el regulador de carga de corriente máxima de la corriente del diodo la calificación debe ser al menos 1,2 veces mayor que el máximo corriente de carga. Para un diseño óptimo el diodo debe tener una corriente nominal igual al límite máximo actual de la LM2596 para ser capaz de soportar un corto de salida continua.
- El valor de la tensión inversa del diodo debe ser al menos 1,25 veces la tensión de entrada máxima.
- Para el diseño se debe utilizar un diodo de 30V 1N5824 Schottky o cualquier diodo de recuperación rápida sugerido en la Tabla 2.

Tabla N 2:

Selección del diodo Schottky.

| VR | Schottky | | | | Fast Schottky | | | |
|------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|---------------------|---|---|---|---|
| | 3.0 A | | 4.0 A - 6.0 A | | 3.0 A | | 4.0 A - 6.0 A | |
| | Through Hole | Surfase Mount | Through Hole | Surfase Mount | Through Hole | Surfase Mount | Through Hole | Surfase Mount |
| 20 V | 1N 5820 MB320P SR302 | SK32 | 1N5823 SR502 SB520 | | MUR320 31DF1 HER302 (all diodes rated to at least 100V) | MUR320T3 MURD320 30WF10 (all diodes rated to at least 100V) | MUR420 HER602 (all diodes rated to at least 100V) | MURD620CT 50WF10 (all diodes rated to at least 100V) |
| 30 V | 1N 5821 MBR330 SR303 31DQ03 | SK33 30WQ03 | 1N5824 SR503 SB530 | 50WQ03 | | | | |
| 40 V | 1N 5822 MBR340 SR304 31DQ04 | SR34 30WQ04 MBRS340T3 MBRD340 | 1N5825 SR504 SB540 | MBRD640CT 50WQ04 | | | | |
| 50 V | MBR350 31DQ05 SR305 | SK35 30WQ05 | SB550 | 50WQ05 | | | | |
| 60 V | MBR360 DQ06 SR306 | MBRS360T3 MBRD360 | 50SQ080 | MBRD660CT | | | | |

Fuente: <http://www.alldatasheet.com/>

❖ Selección del inductor (L1)

- Utilizando la siguiente fórmula para calcular el Volt inductor x microsegundos [V x s] constante:

$$ExT = (V_{IN} - V_{OUT} - V_{SAT}) \times \frac{V_{OUT} + V_D}{V_{IN} - V_{SAT} + V_D} \times \frac{1000}{150KHz} (V \times \mu s) \quad (37)$$

Donde:

V_{SAT} = carga interna de saturación del interruptor = 1.16

V_D = caída de tensión directa del diodo = 0.5

$$ExT = (20 - 12 - 1.16) \times \frac{12 + 0.5}{20 - 1.16 + 0.5} \times \frac{1000}{150KHz} (V \times \mu s) \quad (38)$$

$$ExT = (6.84) \times \frac{12.5}{19.34} \times 6.6 (V \times \mu s) \quad (39)$$

$$ExT = 29.18 (V \times \mu s) \quad (40)$$

- El valor E x T calculado con el correspondiente número en el eje vertical del valor del Inductor seleccionar, se muestra en la Figura 41. Este E x T es una constante medida de la capacidad de manejo de energía de un inductor y depende del tipo de núcleo, la zona núcleo, el número de vueltas, y el ciclo de trabajo.

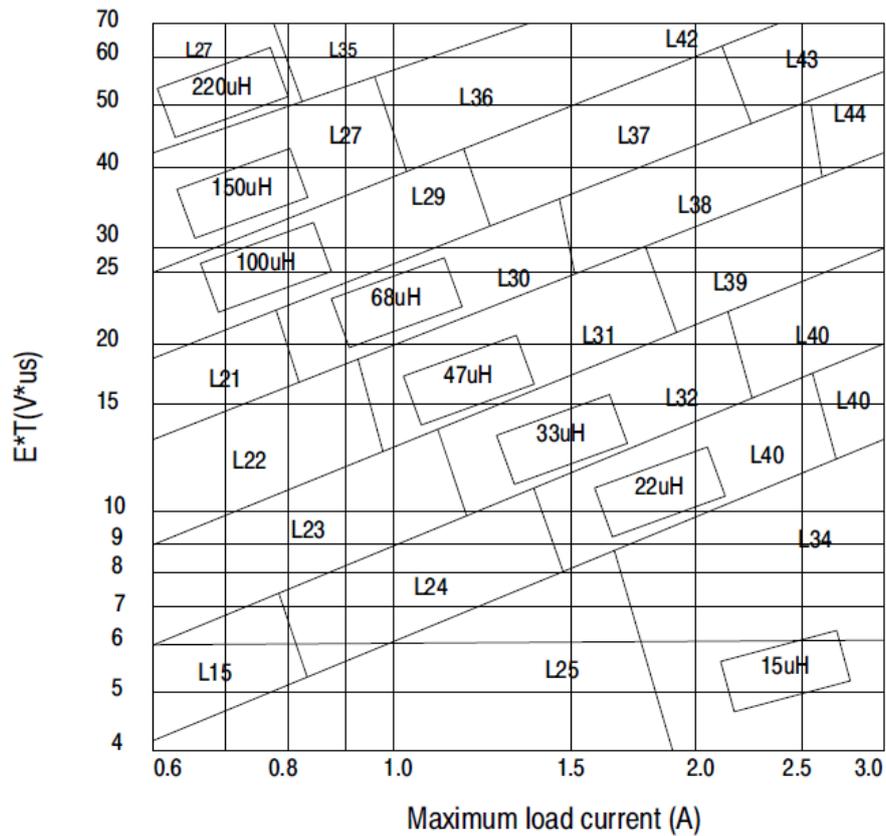


Figura 41: Selección de la inductancia.

Fuente: <http://www.alldatasheet.com/>

- El siguiente paso es identificar la región de la inductancia atravesado por el valor de T E X y el valor de la corriente de carga máxima en el eje horizontal como se muestra en la Figura 41.

$$I_{salida} (max) = 3.0 \text{ A}$$

Región de la inductancia = L40

- Seleccione un inductor adecuado de la Tabla 3. El inductor elegido debe estar dimensionado para una conmutación frecuencia de 150 kHz y para una corriente nominal de $1,15 \times I_{Load}$.

El valor de la corriente del inductor también puede ser determinado por el cálculo de la corriente de pico del inductor:

$$I_{p(max)} = I_{Load(max)} + \frac{(V_{in} - V_{out})t_{on}}{2L} \quad (41)$$

$$t_{on} = \frac{V_{out}}{V_{in}} * \frac{1.0}{f_{osc}} \quad (42)$$

Tabla 3:

Partes de la manufactura de los inductores.

| | Inductance (μ H) | Current (A) | Sohott | | Renco | | Pulse Engineering | | Coilcraft |
|-----|--------------------------|----------------|-----------------|------------------|---------------|------------------|-------------------|---------------|---------------|
| | | | Through Hole | Surfase Mount | Through Hole | Surfase Mount | Through Hole | Surfase Mount | Surfase Mount |
| L15 | 22 | 0.99 | 67148350 | 67148460 | RL-1284-22-43 | RL1500-22 | PE-53815 | PE-53815-S | DO3308-223 |
| L21 | 68 | 0.99 | 67144070 | 67144450 | RL-5471-5 | RL1500-68 | PE-53821 | PE-53821-S | DO3316-683 |
| L22 | 47 | 1.17 | 67144080 | 67144460 | RL-5471-6 | | PE-53822 | PE-53822-S | DO3316-473 |
| L23 | 33 | 1.4 | 67144090 | 67144470 | RL-5471-7 | | PE-53823 | PE-53823-S | DO3316-333 |
| L24 | 22 | 1.7 | 67148370 | 67148480 | RL-1283-22-43 | | PE-53824 | PE-53824-S | DO3316-223 |
| L25 | 15 | 2.1 | 67148380 | 67148490 | RL-1283-15-43 | | PE-53825 | PE-53825-S | DO3316-153 |
| L26 | 330 | 0.8 | 67144100 | 67144480 | RL-5471-1 | | PE-53826 | PE-53826-S | DO5022P-334 |
| L27 | 220 | 1 | 67144110 | 67144490 | RL-5471-2 | | PE-53827 | PE-53827-S | DO5022P-224 |
| L28 | 150 | 1.2 | 67144120 | 67144500 | RL-5471-3 | | PE-53828 | PE-53828-S | DO5022P-154 |
| L29 | 100 | 1.47 | 67144130 | 67144510 | RL-5471-4 | | PE-53829 | PE-53829-S | DO5022P-104 |
| L30 | 68 | 1.78 | 67144140 | 67144520 | RL-5471-5 | | PE-53830 | PE-53830-S | DO5022P-683 |
| L31 | 47 | 2.2 | 67144150 | 67144530 | RL-5471-6 | | PE-53831 | PE-53831-S | DO5022P-473 |
| L32 | 33 | 2.5 | 67144160 | 67144540 | RL-5471-7 | | PE-53832 | PE-53832-S | DO5022P-333 |
| L33 | 22 | 3.1 | 67148390 | 67148500 | RL-1283-22-43 | | PE-53833 | PE-53833-S | DO5022P-223 |
| L34 | 15 | 3.4 | 67148400 | 67148790 | RL-1283-15-43 | | PE-53834 | PE-53834-S | DO5022P-153 |
| L35 | 220 | 1.7 | 67144170 | | RL-5473-1 | | PE-53835 | PE-53835-S | |
| L36 | 150 | 2.1 | 67144180 | | RL-5473-2 | | PE-53836 | PE-53836-S | |
| L37 | 100 | 2.5 | 67144190 | | RL-5472-1 | | PE-53837 | PE-53837-S | |
| L38 | 68 | 3.1 | 67144200 | | RL-5472-2 | | PE-53838 | PE-53838-S | DO5040H-663ML |
| L39 | 47 | 3.5 | 67144210 | | RL-5472-3 | | PE-53839 | PE-53839-S | DO5040H-473ML |
| L40 | 33 | 3.5 | 67144220 | 67148290 | RL-5472-4 | | PE-53840 | PE-53840-S | DO5040H-333ML |
| L41 | 22 | 3.5 | 67144230 | 67148300 | RL-5472-5 | | PE-53841 | PE-53841-S | DO5040H-223ML |
| L42 | 150 | 2.7 | 67148410 | | RL-5473-4 | | PE-53842 | PE-53842-S | |
| L43 | 100 | 3.4 | 67144240 | | RL-5473-2 | | PE-53843 | | |
| L44 | 68 | 3.4 | 67144250 | | RL-5473-3 | | PE-53844 | | DO5040H-683ML |

Fuente: <http://www.alldatasheet.com/>

Valor adecuado del inductor es de 33 μ H /3.4 A. de acuerdo a la tabla 3

❖ Selección del capacitor de salida (C_{out})

Dado que el LM2596 es un regulador de conmutación en modo hacia adelante con el control de modo de tensión, su bucle abierto tiene 2 polos - 1 – cero características de frecuencia. La estabilidad del bucle se determina por el condensador de salida (capacitancia, ESR) y la inductancia los valores.

Para valores estables utilización operación recomendada de la salida condensadores en la Tabla 4. ESR condensadores electrolíticos de baja entre 220 μ F and 1500 μ F proporcionar mejores resultados.

El voltaje condensadores debe ser de al menos 1,5 veces mayor que la tensión de salida y, a menudo mucho más alto voltaje es necesario para satisfacer el requisito de baja ESR.

En este diseño se recomienda Nichicon PM condensadores: 470 F / 35 V o 220 F / V 35.

❖ Capacitor de compensación (C_{FF})

Se proporciona estabilidad adicional principalmente para voltajes de entrada más altas. Para un (C_{FF}) se utiliza la selección Tabla 1. El condensador de compensación entre 0,6 nF y 40 nF está cableado en paralelo con el ajuste de tensión de salida resistor R2, el tipo condensador puede ser de cerámica, plástico, etc.

En este diseño se recomienda usar un capacitor de compensación de 15 nf o 5 nf.



Figura 42: Fuente de alimentación con el LM 2596.

Descripción:

- Voltaje de entrada: 3.2 V-40 V
- Tensión de salida: 1.25 V-35 V
- Corriente de salida: 3A (máx.)
- Eficiencia de transferencia: 92% (máx.)
- Frecuencia de conmutación: 65 KHz
- Módulo tamaño: 43mm (longitud) * 21mm (ancho)

4.3 SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS PARA EL MONTAJE DEL GRUPO MOTOR - GENERADOR.

Tabla 4:

Elementos utilizados para el modulo motor generador.

| ITEM | CANTIDAD | UNIDAD | DESCRIPCION |
|------|----------|--------|---|
| 01 | 01 | U | Generador sincrónico trifásico de 1000W, 3600 rpm, 240 V, 60 Hz |
| 02 | 01 | U | Motor trifásico de 1hp, 1800 rpm, 220 V, 60 Hz. |
| 03 | 01 | U | Acoplamiento mecánico de quijada de goma 2" |
| 04 | 01 | U | Skid para montaje de grupo Motor – Generador. |
| 05 | 01 | U | Módulo de pruebas metálico, con doble fondo galvanizado. |
| 06 | 01 | U | Juego de bases anti vibratorio para motor. |
| 07 | 01 | U | Kit de pernos y tuercas galvanizados para fijación. |
| 09 | 01 | U | Kit de ruedas poliméricas con seguro anti deslizante. |
| 10 | 01 | U | Interruptor termo magnético trifásico 220 V. 20 A. |
| 11 | 03 | U | Porta fusibles tipo RT 03 - 32 AC 400 V 100KVA. |
| 12 | 03 | U | Fusibles tipo RT 03 – 32, 3 Amp. 220 V. |
| 13 | 01 | U | Contactador Trifásico LC1 D18; 18 Amp.; 220 V. |
| 14 | 12 | U | Conector hembra; banana 4mm; 30; 60 VCC; 59mm; |
| 15 | 02 | U | Pulsador Start-Stop para arranque del motor. |
| 16 | 01 | U | Piloto de señalización de línea out color rojo 220V. |
| 17 | 03 | U | Piloto de señalización de líneas color verde 220V. |
| 18 | 03 | U | Medidores Digitales de tensión 220 VAC. RST. |
| 19 | 03 | U | Amperímetro analógico AC YOCOGAWA hasta 10 A. |
| 20 | 01 | U | Amperímetro analógico DC hasta 30 A. |
| 21 | 01 | U | Amperímetro analógico DC hasta 5 A. |
| 22 | 02 | U | Voltímetro analógico DC hasta 20 A. |
| 23 | 01 | U | Tarjeta de Rectificación y Control de Voltaje DC. |
| 24 | 01 | U | Resistencias Shunt para acondicionamiento corriente DC |

4.3.1. Ubicación de los elementos y accesorios en el módulo motor generador.

El modulo Motor – Generador, ha sido constituido por las siguientes partes, cuyas imágenes se pueden ver a continuación:

- a) Estructura portante, con doble fondo didáctico y ruedas poliméricas con bloqueo.



Figura 43: Estructura del banco de pruebas.

- b) Delineado del tablero (100 x72 cm), ubicado en la parte frontal del banco de pruebas.



Figuras 44: Ubicación de las unidades de control y medidores analógicos y digitales.

- c) Motor asincrónico, tipo jaula de ardilla de 1hp, 1,660 rpm.





Figura 45 Motor síncrono - partes.

d) Generador síncrono, tipo polos salientes.



Figura 46: Generador síncrono - partes.

e) Acoplamiento mecánico de quijada de goma 2"



Figura 47 Acoplamiento mecánico de goma.

- f) Grupo Motor – Generador; acoplamiento mecánico flexible, montado sobre Skid metálico y bases de caucho.

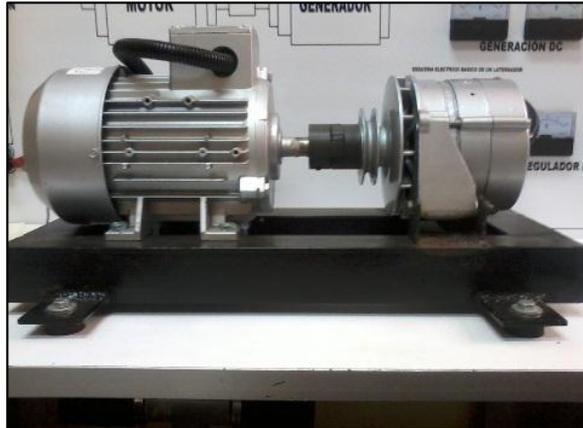


Figura 48: Grupo motor - generador.

- g) Tarjeta – Fuente de Voltaje Continuo VDC con sus sistemas de regulación.



Figura 49: Tarjeta - Fuente de Voltaje variable Continuo.

- h) Voltímetro y Amperímetro DC analógicos para visualización.



Figura 50 Voltímetro y Amperímetro DC.

i) Ubicación de los instrumentos de medida.



Figura 51: Ubicación de las unidades de medida.

j) Módulo motor - generado terminado.



Figura 52: Modulo motor – generador.

k) Pruebas del módulo generador





Figura 53: Realizando las pruebas del Módulo motor – generador.

4.3.2. Descripción del diseño del módulo didáctico del Grupo Motor – Generador.

El diseño del módulo didáctico parte del concepto de seguridad en la operación y confiabilidad del equipo, se lo diseño para que requiera el mínimo posible de mantenimientos, por cuanto se trata de un equipo experimental a ser utilizado y mantenido por personal no especializado.

El diseño mecánico comprende únicamente la fabricación de un skid metálico que sirve de base para el grupo motor- generador, los cuales se encuentran girando a la misma velocidad acoplados por un acoplamiento de goma flexible.

La máquina impulsora, aquella que simule la fuente primaria que accionará el generador, es un motor de inducción tipo jaula de ardilla de 1 Hp, cuyas características nominales son: voltaje 220 [V] trifásico, 1660 rpm a 60 Hz.

El arranque y parada se comanda usando un Contactor que funciona mediante un control básico con pulsadores de arranque y parada.

El generador sincrónico es una máquina de dos polos, la resistencia del bobinado de campo, alimentado mediante escobillas sobre anillos rozantes es de 40.7 [ohm] aproximadamente. El voltaje máximo de operación del campo es 12 [VDC] y la corriente máxima del devanado de campo es 300 [mA].

Se instalaron medidores analógicos para las magnitudes DC del campo del generador y medidores digitales full equipados para las magnitudes AC. Las lecturas se tomarán de la entrada principal del tablero de experimentación y a la salida del generador sincrónico.

4.3.3. Manual de operación del módulo motor - generador.

AVISO DE SEGURIDAD



ADVERTENCIA:

Antes de la instalación, puesta en servicio y manipulación del Sistema, es necesario leer cuidadosamente todas las instrucciones de seguridad y las notas de advertencias, incluyendo todos los rótulos de advertencia fijados a los equipos.

Hay que asegurarse de que los rótulos de advertencia se mantengan legibles y sustituir los rótulos perdidos o dañados.

Definiciones y Advertencias

PELIGRO:

Significa que se producirá la muerte, lesiones graves o daños materiales considerables si no se toman las precauciones adecuadas.



ADVERTENCIA:

Significa que se pueda producirse la muerte, lesiones graves o daños materiales si no se toman las precauciones adecuadas.



PERSONAL CALIFICADO

Para los fines de las instrucciones de uso y de la ejecución de prácticas de laboratorio en el módulo una “persona calificada” es alguien que está familiarizado con los equipos, utilización, puesta en servicio y operación del equipo que además conoce los peligros implicados.

Dicha persona deberá tener las siguientes calificaciones:

Formado y autorizado a poner en operación el módulo y el uso adecuado de equipos de protección de acuerdo con los procedimientos de seguridad establecidos.

4.3.4. Modo de operación manual.

SECUENCIA LÓGICA SUGERIDA EN OPERACIÓN NORMAL, Para llevar a cabo las prácticas de laboratorio descritas en el anexo.

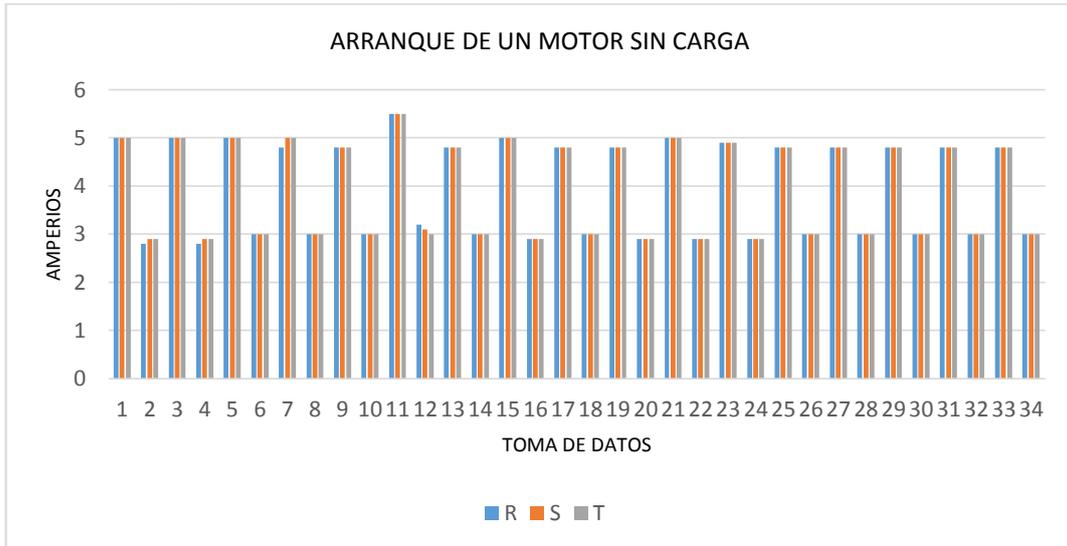
1. El Asistente de Laboratorio antes de operar a posición **ON** el interruptor principal del tablero deberá confirmar:
 - ❖ Potenciómetro de la Tarjeta de DC en Mínima Posición.
 - ❖ Conexiones del Motor Asíncrono realizadas.
 - ❖ Encendido de los 03 medidores digitales (RST).
 - ❖ Cargas desconectadas.
2. Una vez confirmadas estas condiciones, operar el interruptor principal a posición **ON**.
 - ❖ Luz de piloto encendido de color rojo.
 - ❖ Presionar el Botón **START** (arranque) del Variador del motor.
3. Continuar en orden de operación del módulo para realizar las pruebas del generador, mediante Potenciómetro de la Tarjeta de DC.

CAPÍTULO V

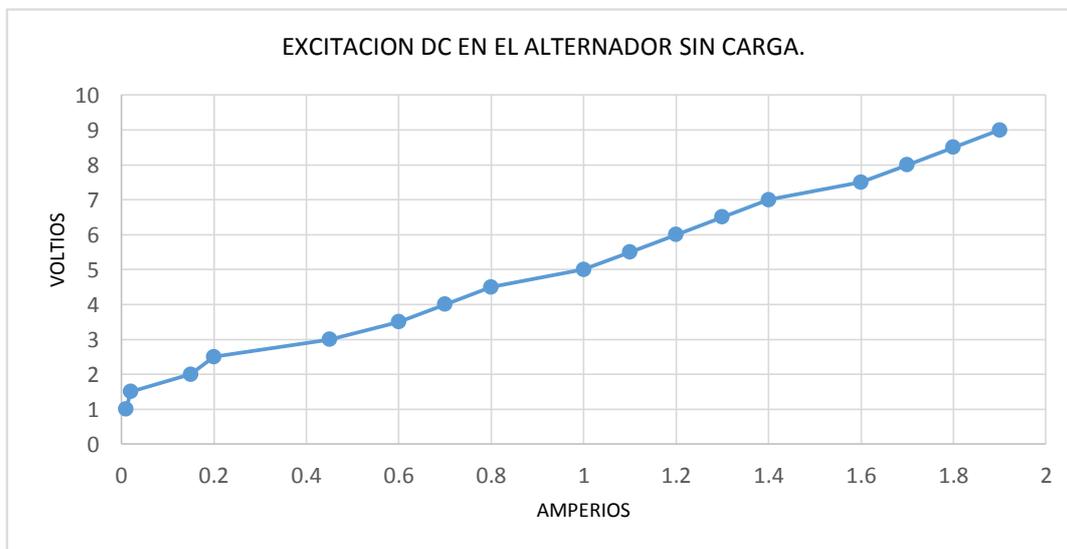
RESULTADOS

V. RESULTADOS

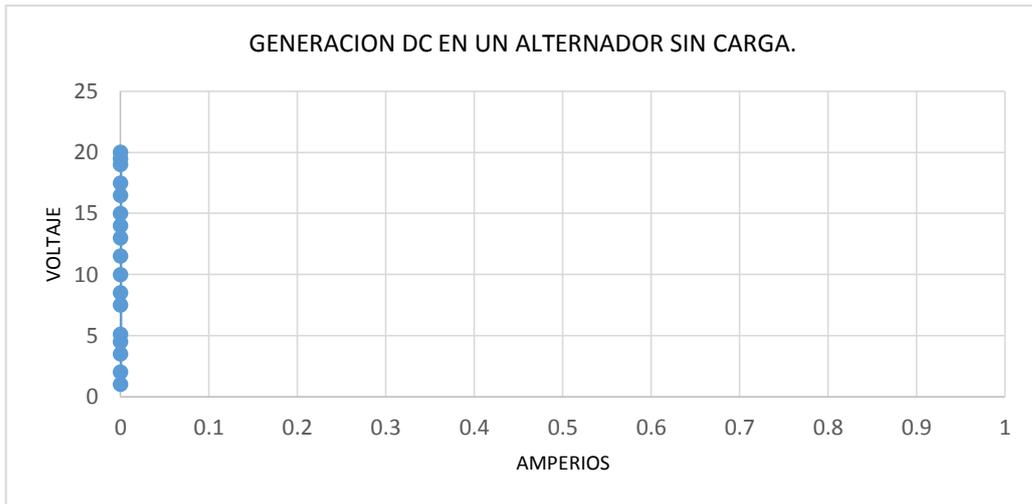
5.1. Descripción



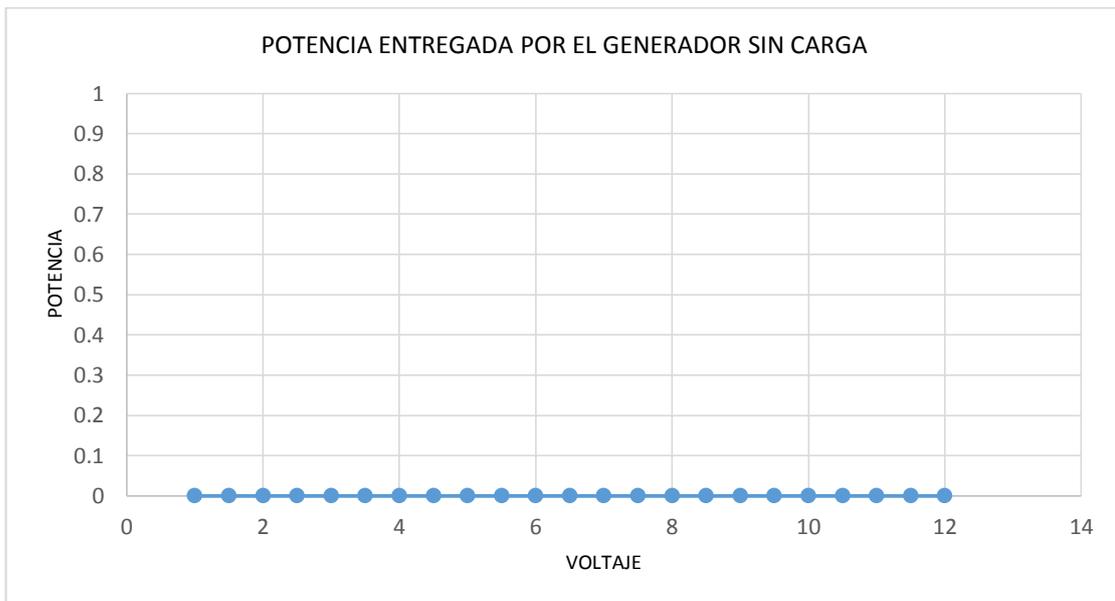
Grafica 1 Arranque de motor asíncrono trifásico 220 voltios sin carga



Grafica 2 Corriente y voltaje de excitación en el alternador sin carga.



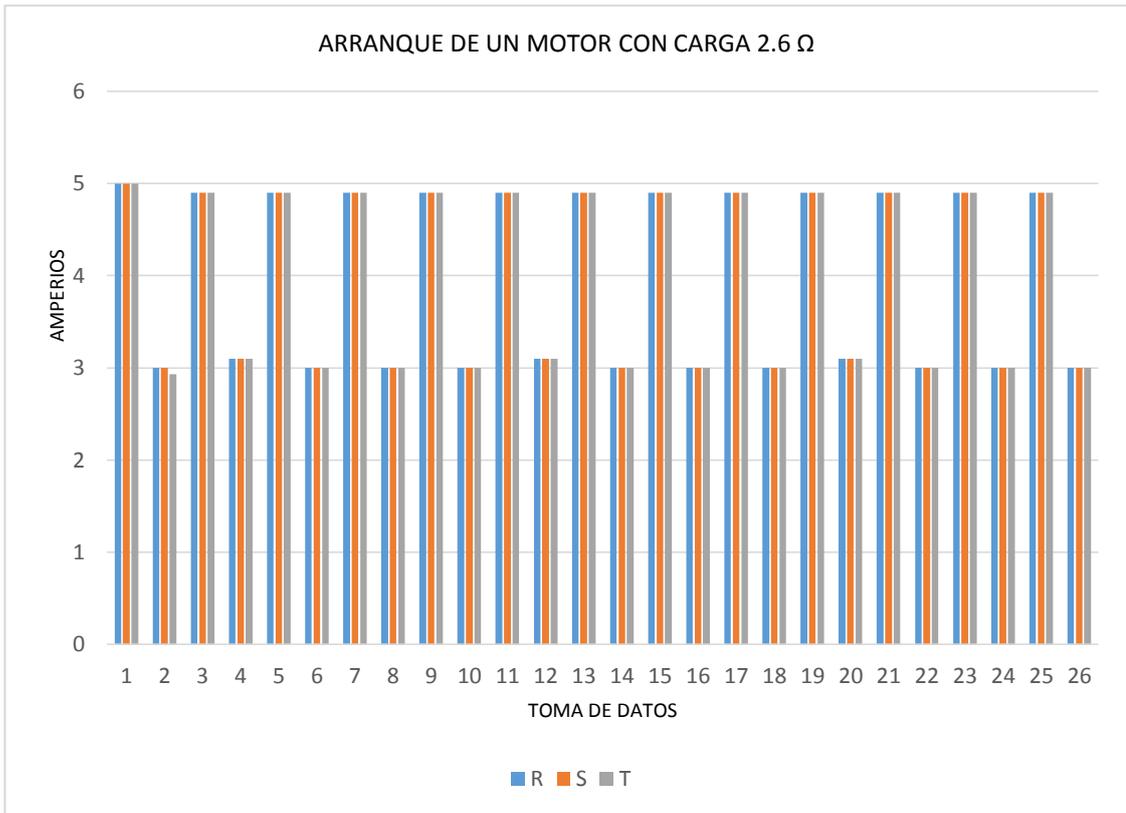
Gráfica 3: Corriente y voltaje de generación en el alternador sin carga.



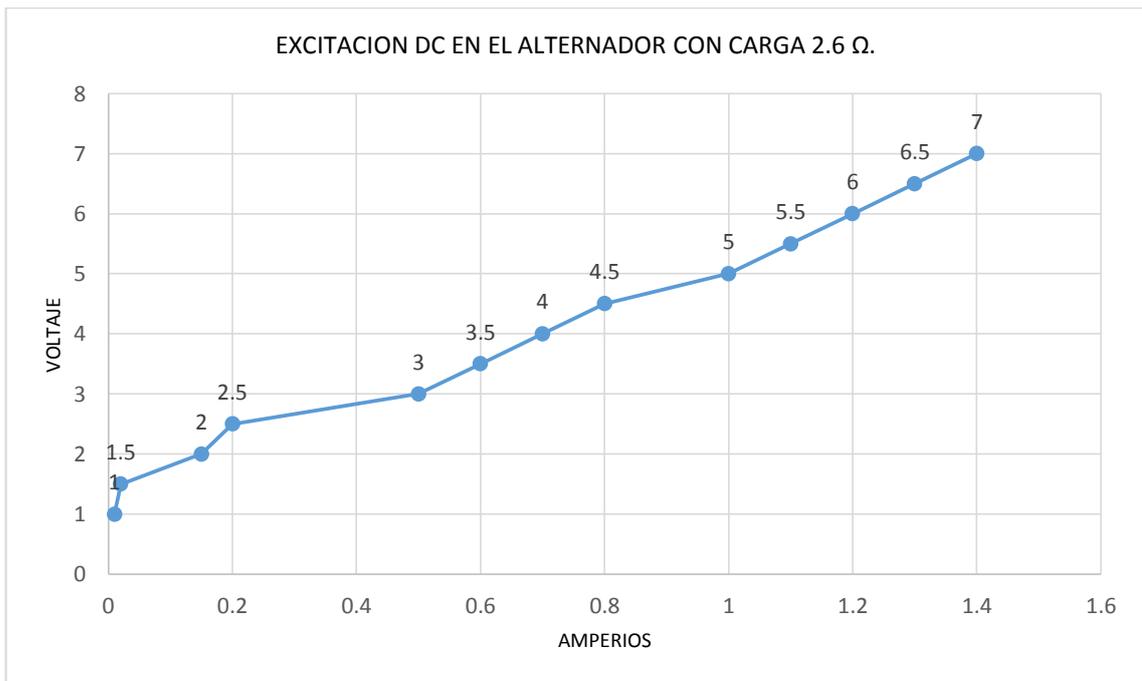
Gráfica 4: Potencia de generación en el alternador sin carga.

Descripción:

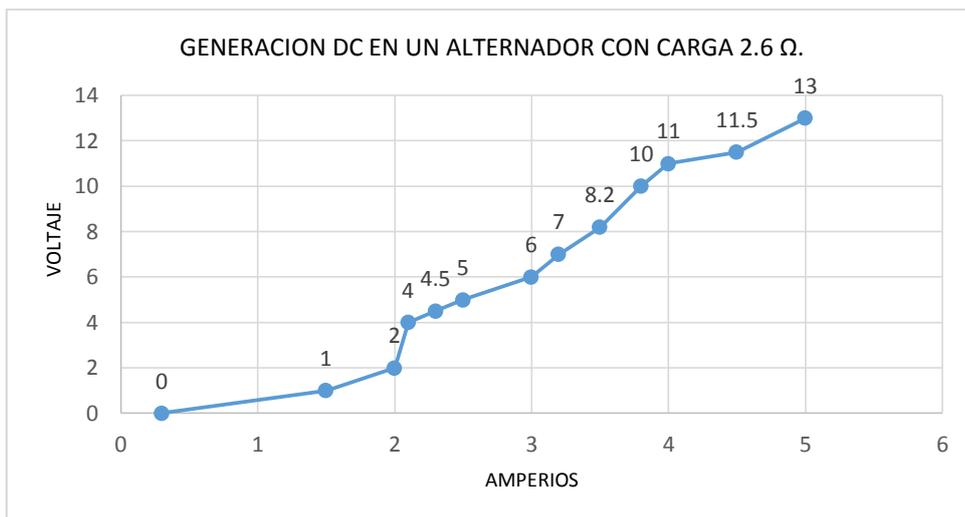
Los resultados graficados son los datos obtenidos Tabla N° 1 Anexo (B) sin carga eléctrica en el alternador; donde podemos apreciar en el grafica 1 el consumo de corriente en el arranque y trabajo del motor; en el grafica 2 el consumo de corriente y voltaje del alternador proporcionado por el controlador electrónico, en el grafica 3 la generación de la corriente y voltaje del alternador, y en el grafica 4 la generación de potencia del alternador.



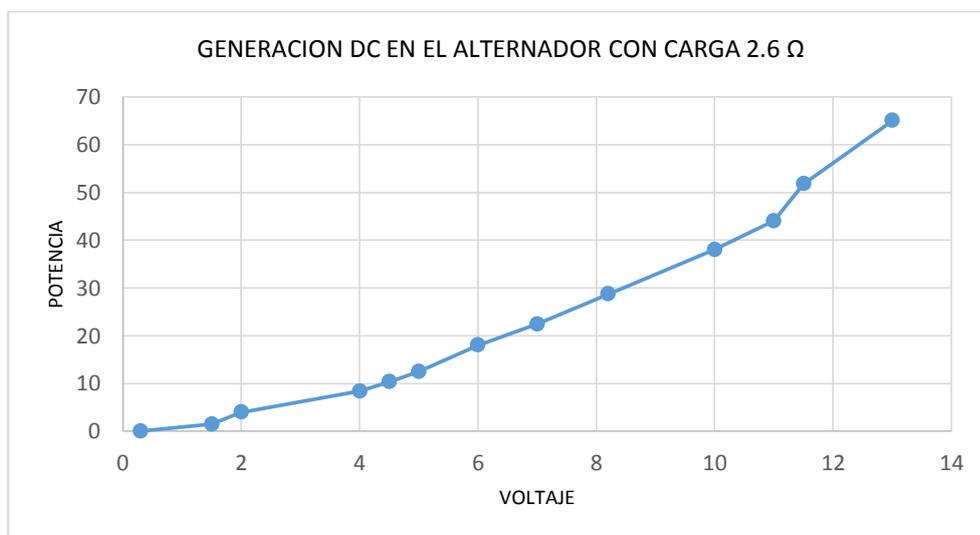
Grafica 5: Arranque de motor asíncrono trifásico 220 voltios con carga.



Grafica 6: Corriente y voltaje de excitación en el alternador con carga.



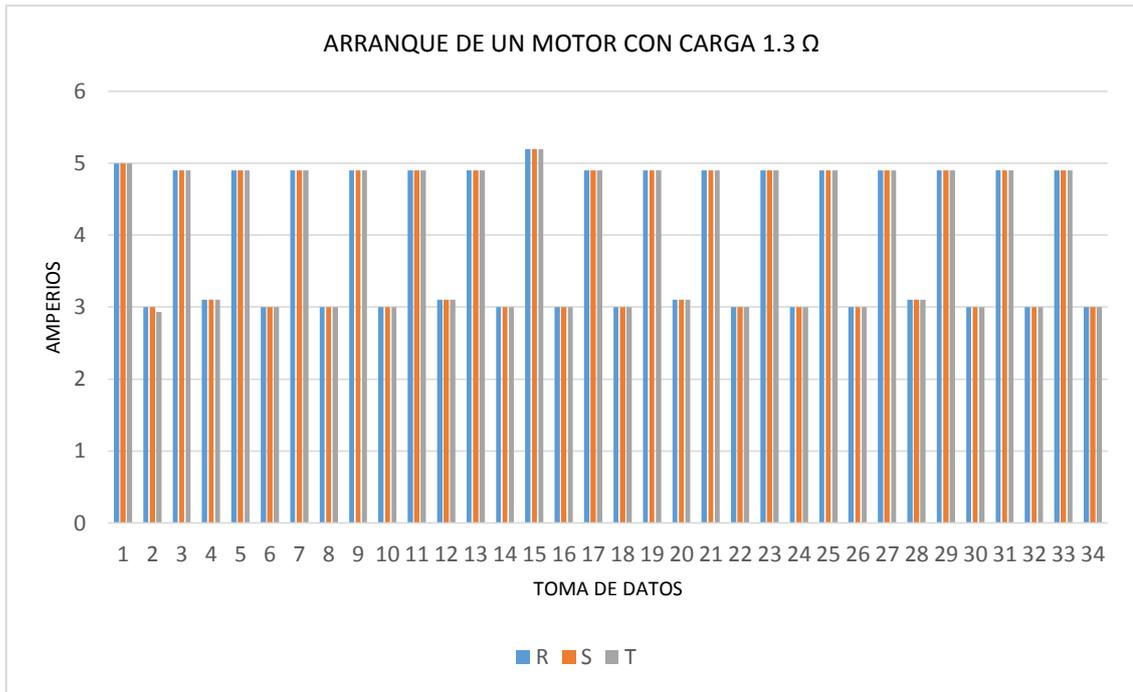
Grafica 7: Corriente y voltaje de generación en el alternador con carga.



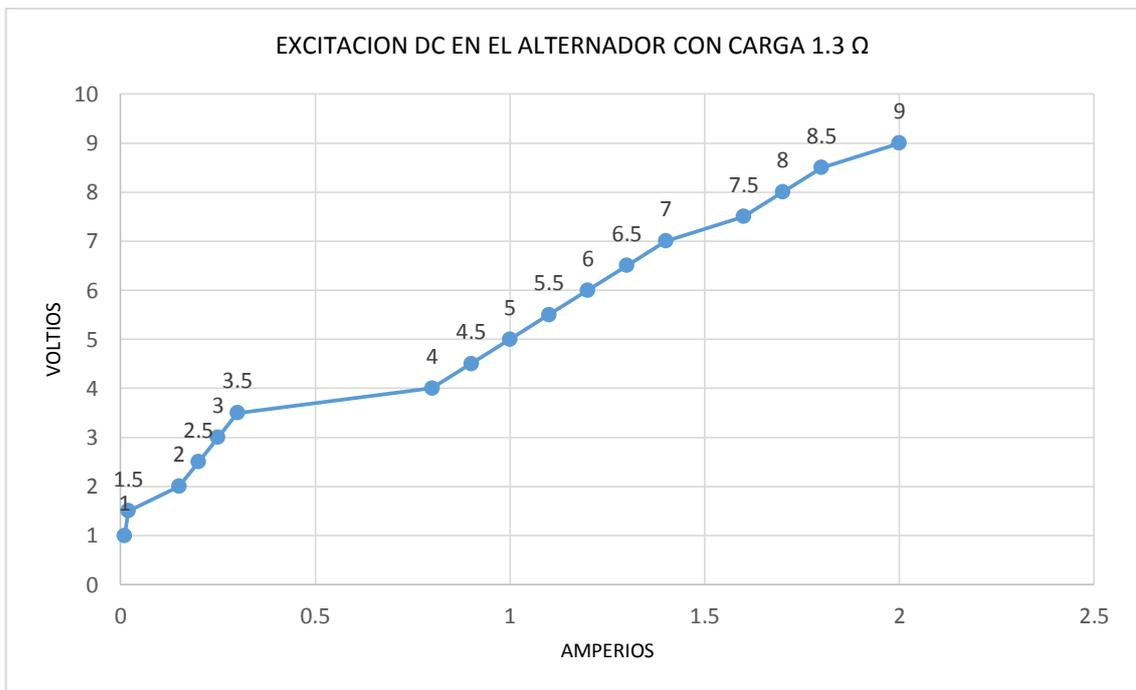
Grafica 8: Potencia de generación en el alternador con carga.

Descripción:

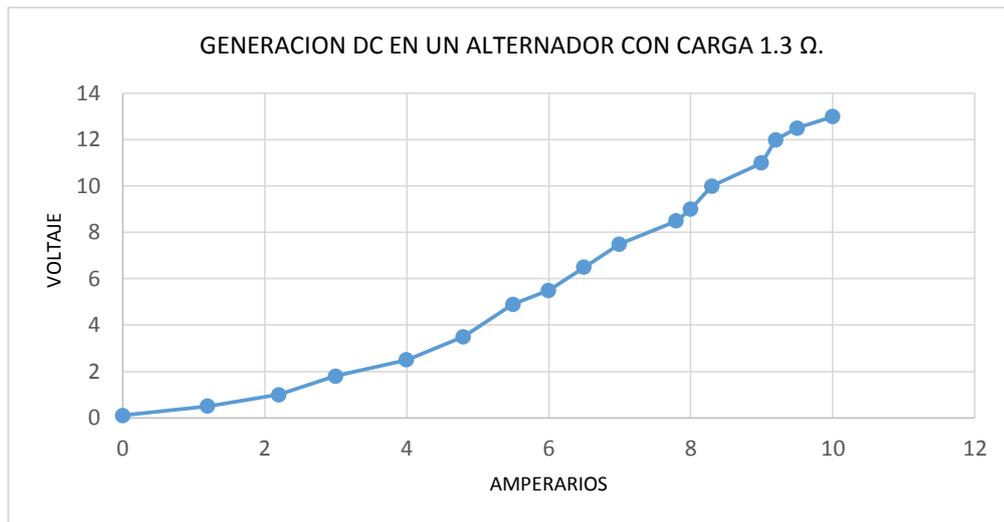
Los resultados graficados son los datos obtenidos Tabla N° 2 Anexo (B) con carga eléctrica resistiva de 2.6Ω ; donde podemos apreciar en el grafica 5 el consumo de corriente en el arranque y trabajo del motor; en el grafica 6 el consumo de corriente y voltaje del alternador proporcionado por el controlador electrónico; también podemos observar que a una tensión de 2.5 voltios y una corriente de 0.2 amperios empieza a encenderse el foco, en el grafica 7 la generación de la corriente y voltaje del alternador; donde también a 4 voltios y 2.1 amperios, empieza a encenderse el foco, y en el grafica 8 la generación de potencia del alternador.



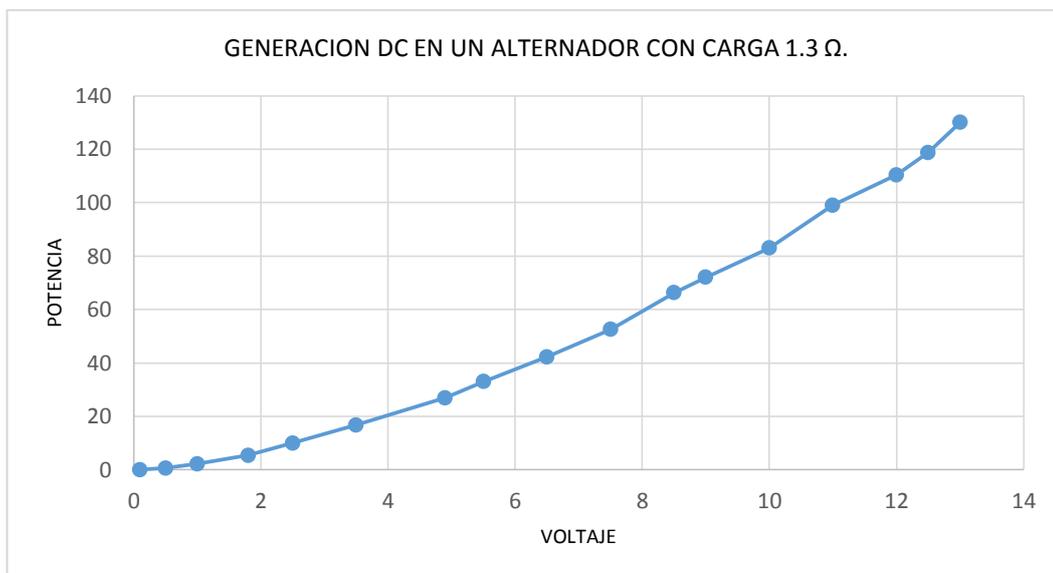
Grafica 9: Arranque de motor asíncrono trifásico 220 voltios con carga.



Grafica 10: Corriente y voltaje de excitación en el alternador con carga.



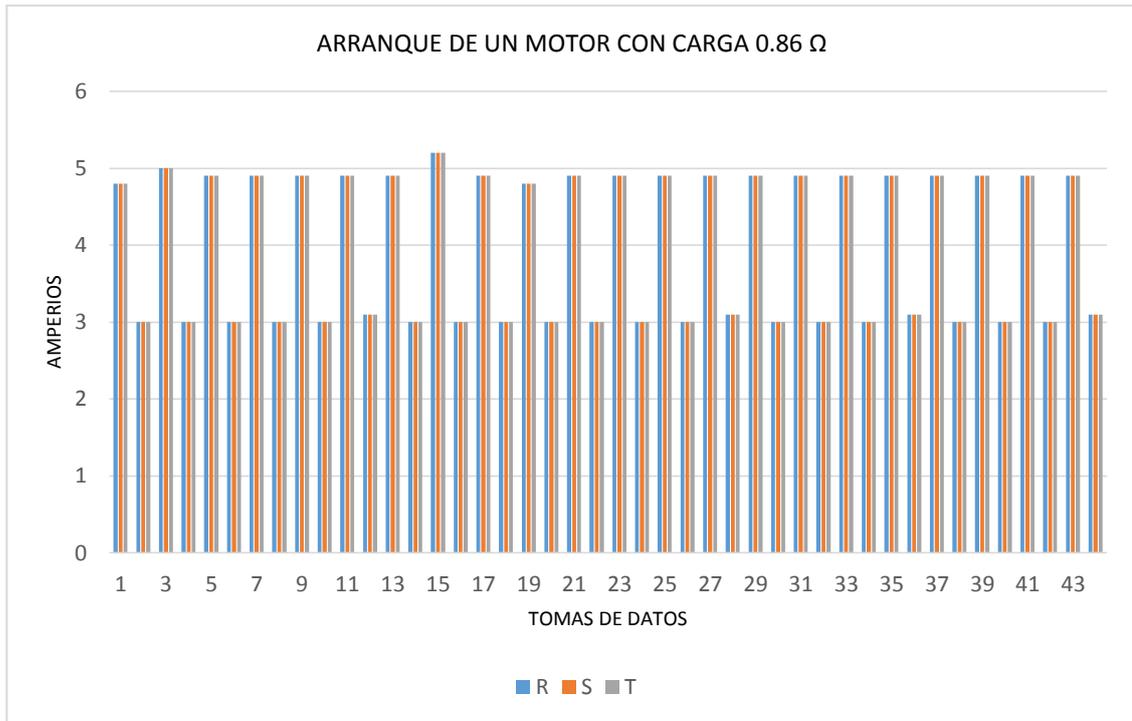
Grafica 11: Corriente y voltaje de generación en el alternador con carga.



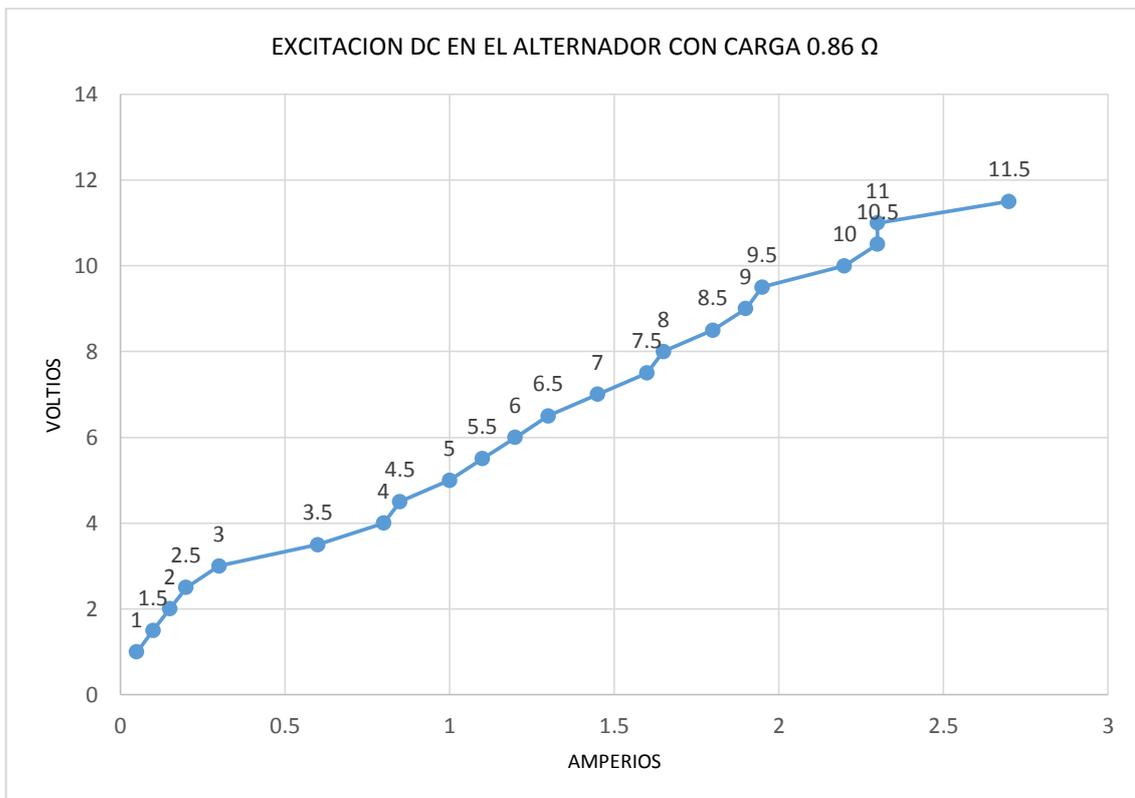
Grafica 12: Potencia de generación en el alternador con carga.

Descripción:

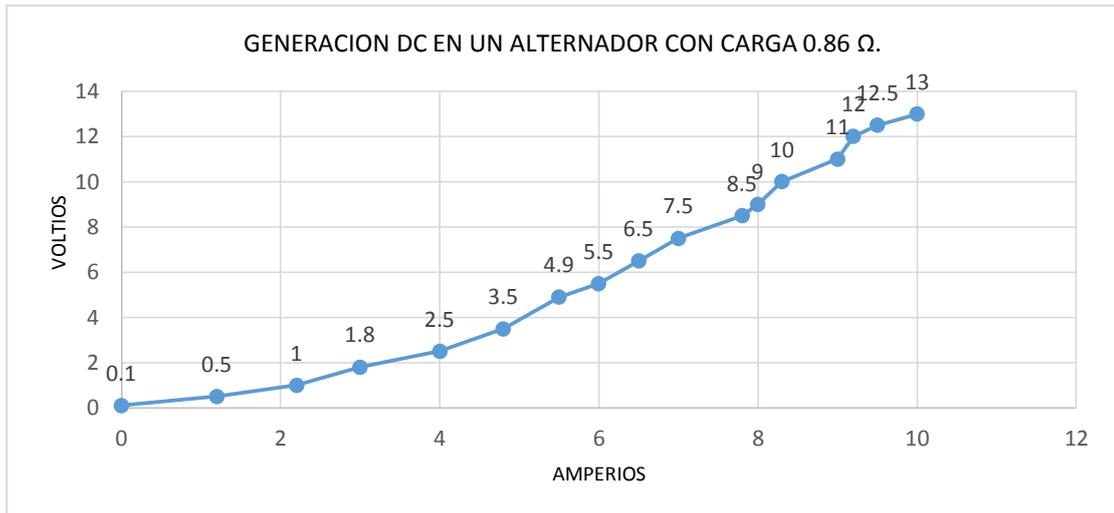
Los resultados graficados son los datos obtenidos Tabla N° 3 Anexo (B) con carga eléctrica resistiva de 1.3Ω ; donde podemos apreciar en el grafica 9 el consumo de corriente en el arranque y trabajo del motor; en el grafica 10 el consumo de corriente y voltaje del alternador proporcionado por el controlador electrónico; también podemos observar que a una tensión de 3 voltios y una corriente de 0.25 amperios empieza a encenderse los dos focos; y en el grafica 11 la generación de la corriente y voltaje del alternador; donde también a 2.5 voltios y 4 amperios, empieza a encenderse los dos focos, y en el grafica 12 la generación de potencia del alternador.



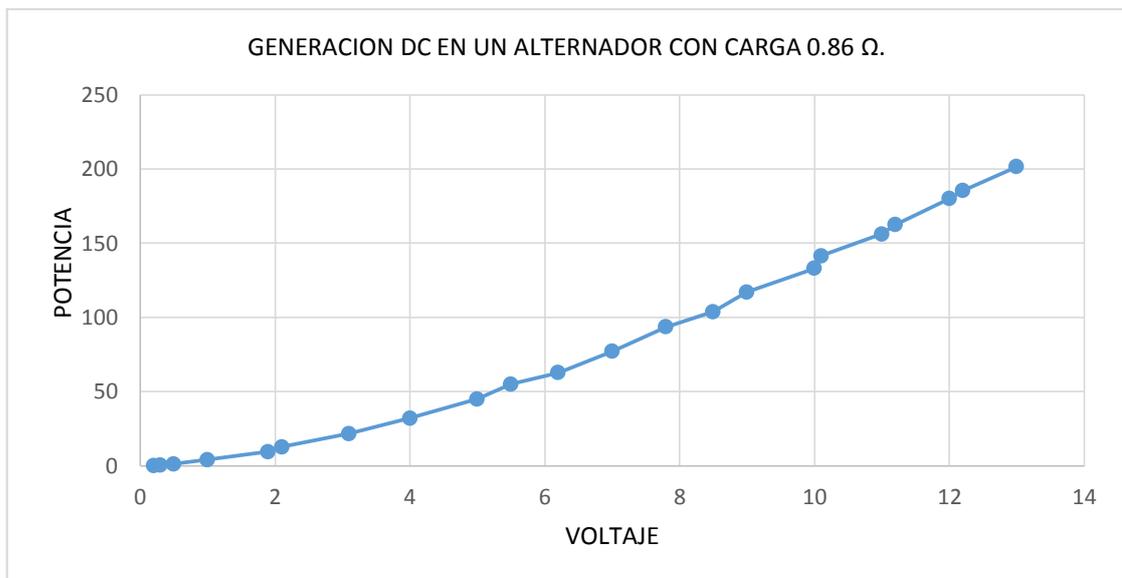
Grafica 13 Arranque de motor asíncrono trifásico 220 voltios con carga.



Grafica 14: Corriente y voltaje de excitación en el alternador con carga.



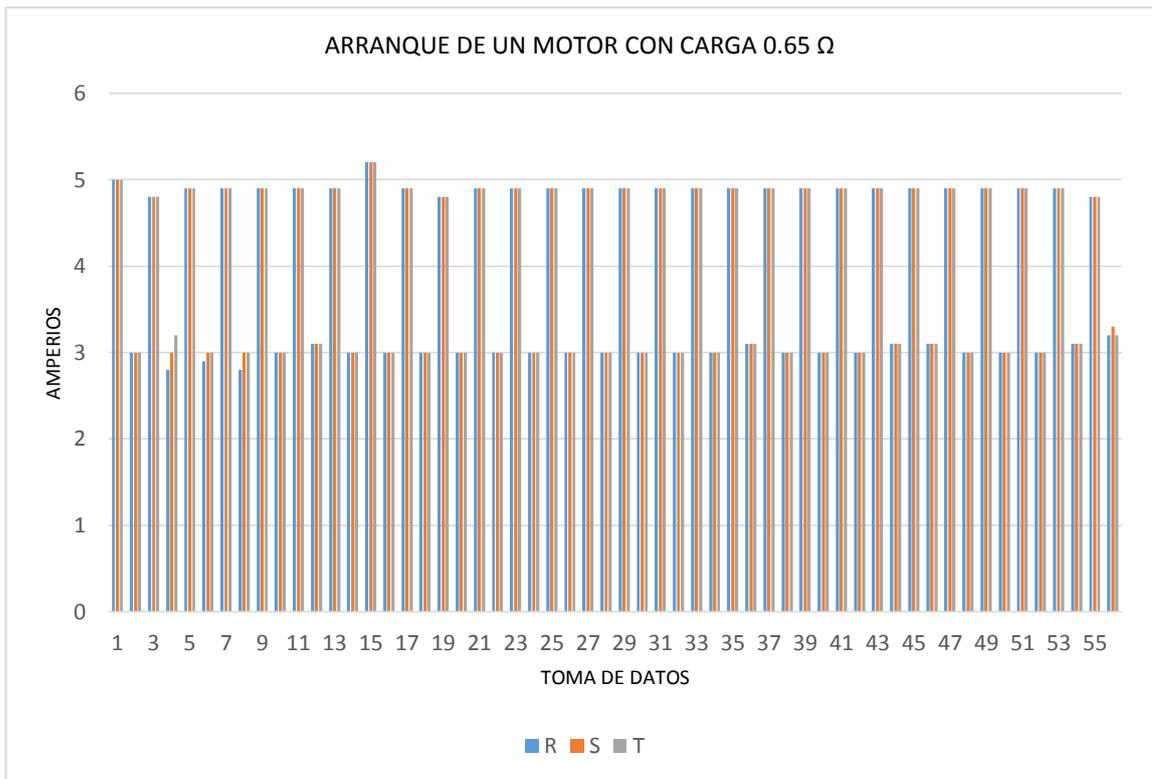
Grafica 15: Corriente y voltaje de generación en el alternador con carga.



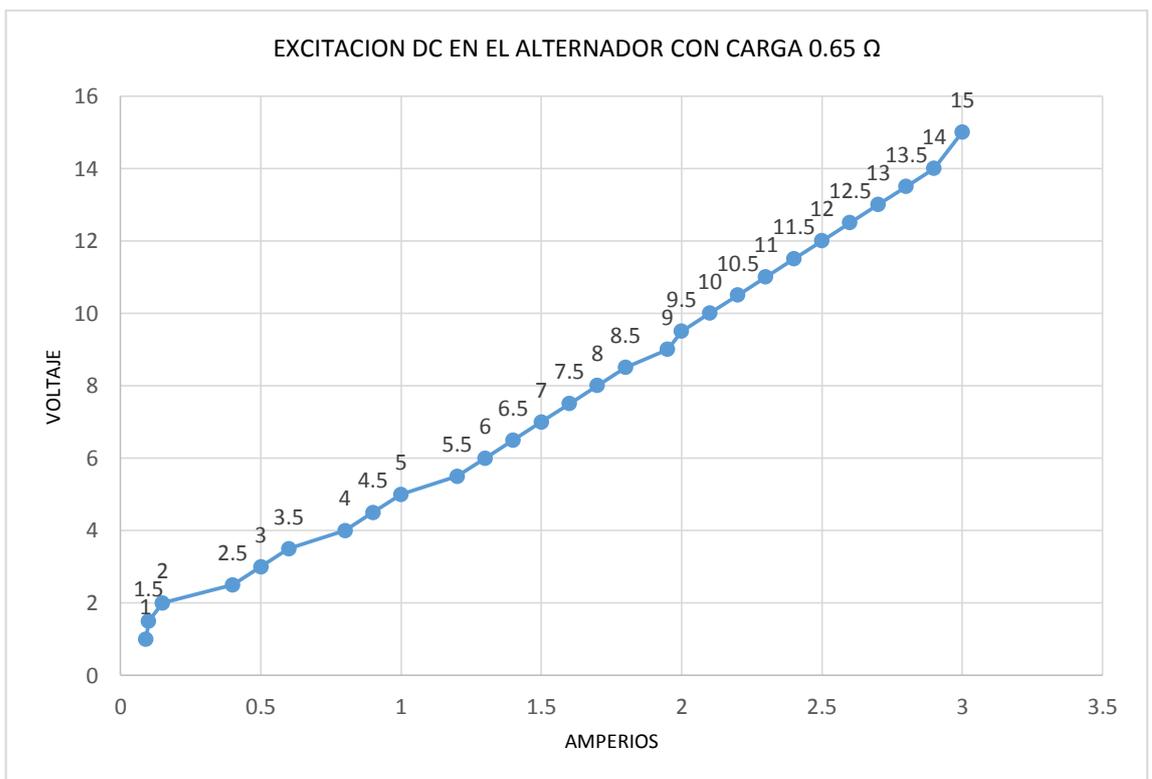
Grafica 16: Potencia de generación en el alternador con carga.

Descripción:

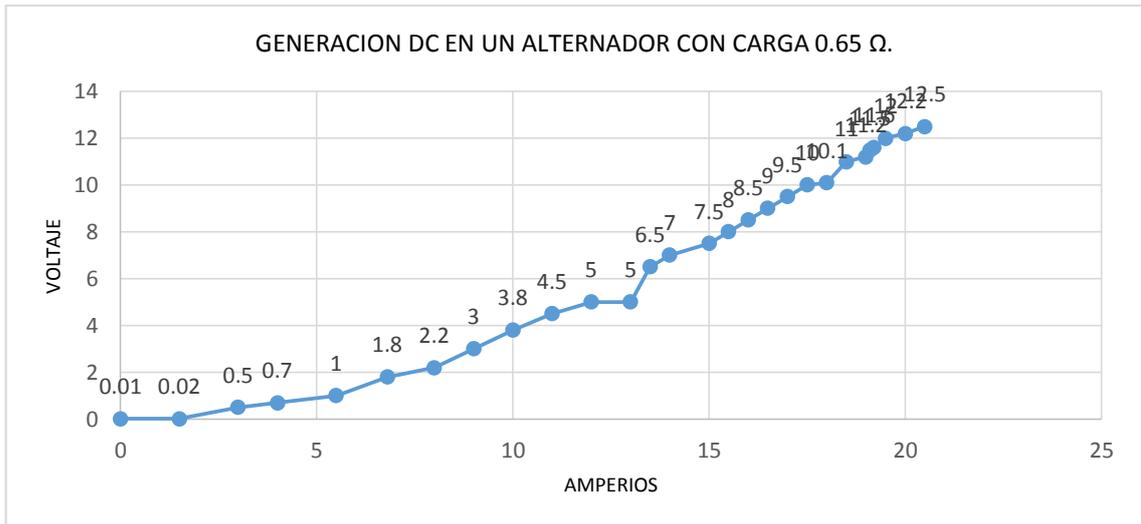
Los resultados graficados son los datos obtenidos Tabla N° 4 Anexo (B) con carga eléctrica resistiva de 0.86 Ω; donde podemos apreciar en el grafica 13 el consumo de corriente en el arranque y trabajo del motor; en el grafica 14 el consumo de corriente y voltaje del alternador proporcionado por el controlador electrónico; también podemos observar que a una tensión de 3 voltios y una corriente de 0.3 amperios empieza a encenderse los tres focos; y en el grafica 15 la generación de la corriente y voltaje del alternador; donde también a 1.9 voltios y 5 amperios, empieza a encenderse los tres focos, y en el grafica 16 la generación de potencia del alternador.



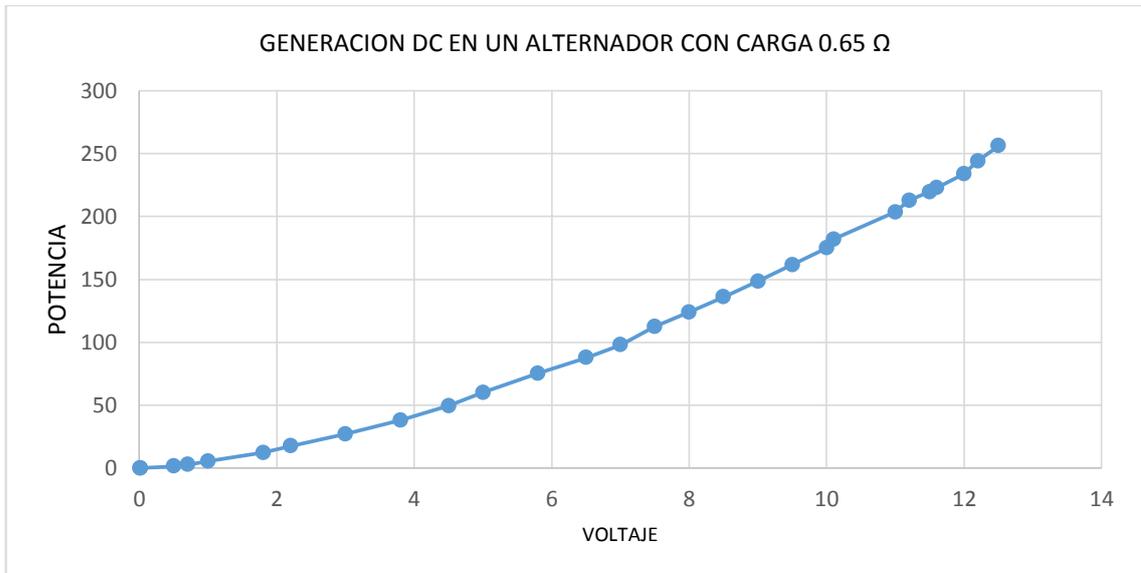
Grafica 17: Arranque de motor asíncrono trifásico 220 voltios con carga.



Grafica 18: Corriente y voltaje de excitación en el alternador con carga.



Grafica 19: Corriente y voltaje de generación en el alternador con carga.



Grafica 20: Corriente y voltaje de generación en el alternador con carga.

Descripción:

Los resultados graficados son los datos obtenidos Tabla N° 5 Anexo (B) con carga eléctrica resistiva de 0.65 Ω; donde podemos apreciar en el grafica 17 el consumo de corriente en el arranque y trabajo del motor; en el grafica 19 el consumo de corriente y voltaje del alternador proporcionado por el controlador electrónico; también podemos observar que a una tensión de 3 voltios y una corriente de 0.5 amperios empieza a encenderse los cuatro focos; y en el grafica 19 la generación de la corriente y voltaje del alternador; donde también a 1 voltios y 5.5 amperios, empieza a encenderse los cuatro focos, y en el grafica 20 la generación de potencia del alternador.

5.2. Conclusiones.

La propuesta fue diseñada, implementada y puesta en marcha en el laboratorio de máquinas eléctricas de la UNS y se aplicaron diversas pruebas con lo que se concluye lo siguiente:

- ❖ La implementación del controlador electrónico se caracterizó porque las pruebas realizadas comprobaron el funcionamiento del sistema garantizando el cumplimiento de los parámetros eléctricos-electrónicos-mecánicos establecidos en la hoja de diseño.
- ❖ Se determinó que la presente tesis, se convierta en una herramienta de uso didáctico para el desarrollo de los ensayos experimentales de los cursos Laboratorio de Máquinas Eléctricas y Laboratorio de Electricidad, correspondientes al Plan de Estudios de la Escuela de Ingeniería en Energía.
- ❖ El controlador electrónico de tensión, después de las pruebas de carga se tuvo parámetros eléctricos de excitación de 3 amperios / 15 voltios.
- ❖ El controlador electrónico de tensión ensamblado en el módulo motor-generator, puede acoplarse a otros módulos de similares características para lograr simulaciones y prácticas demostrativas conjuntas.
- ❖ Por características nominales el módulo convertidor de voltaje DC-DC Ajustable LM2596, con salidas de voltaje DC 1,23 - 30V, corriente 3A, eficiencia de conversión: 92%
- ❖ La implementación de este módulo ha despertado el interés por diseñar y construir nuevos módulos didácticos utilizados en la enseñanza de máquinas eléctricas, ya que los equipos de laboratorio, es difícil su adquisición por sus altos costos.
- ❖ La máxima corriente continua del generador para cargas resistivas, inductivas, capacitivas, es de 41.6 amperios.

5.3. Recommendations.

Dentro de la implementación de un proyecto de uso didáctico como lo fue éste, siempre se desea que haya una mejora continua del mismo; por lo tanto:

- ❖ Se recomienda a futuros tesisistas de pre-grado que tengan interés en este proyecto, complementar al módulo motor - generador con un variador de velocidad para controlar la velocidad giratoria del generador.
- ❖ Se recomienda extender la variable de estudio a otros tipos de parámetros eléctricos, pero en corriente alterna incluyendo cargas capacitivas e inductivas.
- ❖ Se recomienda replicar estos tipos de proyecto orientados a otras asignaturas y de esa manera ir implementando los laboratorios de prácticas de la EAP Ingeniería en Energía.

BIBLIOGRAFÍA

- **Aller, J. M.** (2008). *Máquinas Eléctricas Rotativas*; Universidad Simón Bolívar (Venezuela), Editorial Equinoccio. Sitio Web. <http://prof.usb.ve/jaller/Maquinas1.pdf>.
- **Cisneros, O.C., & Yugsi, E.**, (2013) *Implementación montaje de un motor generador trifásico de 5 Kilo watts*. (Tesis de grado, Universidad Técnica de Cotopaxi unidad Académica de ciencias de la Ingeniería Aplicada). Sitio Web. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/1664/1/T-UTC-1538.pdf>.
- **Hernández, J.M.**, (s.f.) *Diseños de Fuente de Corriente Directa*. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, Sitio Web. http://profesores.fib.unam.mx/jesmafco/apuntes/aa/fuentes_CD.pdf
- **Kosow, I.**, (2003). *Máquinas Eléctricas y Transformadores*; 5ta Edición Staten Island Community College City University of New York: Editorial Reverte. S.A.
- **Mata, N.H.**, (2001) *Fuente alimentación de reguladores lineales*. Universidad Tecnológica Nacional, Catedra de electrónica Aplicada II, Sitio Web. http://profesores.fi-b.unam.mx/jesmafco/apuntes/aa/fuentes_CD.pdf
- **Mora, F. J.**, (2003). *Máquinas Eléctricas*; Madrid – España, 5ta edición Mc Graw-Hill.
- **Nizama, J.C.**, (2013) *“Control digital de la excitación de un generador síncrono”* Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Mecánico-Eléctrica, Sitio Web. http://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1761/IME_171.pdf?sequence=1

- **Palomares O. G.**, (1998). *Como localizar fallas en fuentes de alimentación conmutadas* – Revista Electrónica y Servicios volumen N° 4 Pag. 53 impresión – Becanor Bolívar 385 Col. Obrera – México.
- **Puentes, W.**, (2012) *Electrónica – Electronic*. <http://electronica-electronics.com/fuentes/Reguladores-de-tension.html>
- **Ramirez, S.**, (2009). *Control y Protección de Sistemas Eléctricos de Potencia* - 1era Edición Universidad Nacional de Colombia – Manizales.
- **Roldan, J.**, (2010). *Motores Trifásicos Características Cálculos y Aplicaciones*. Madrid – España: 1ra Edición Paraninfo Thomson.
- **Roldan, J.**, (2001). *Motores Eléctricos Acondicionamiento de Máquinas de 30 tipos de Motores*. Madrid – España: 4ta Edición Paraninfo Thomson.
- **Suescún, I.**, (s.f.) “Centrales Hidráulicas” Facultad de Ingeniería, de la Universidad de Antioquia, Sitio Web. <http://jaibana.udea.edu.co/grupos/centrales/files/capitulo%207.pdf>
- **SYED A. N.**, (1991). *Máquinas Eléctricas y Electromecánicas*. México 1ra edición Mc Graw-Hill.
- **Tapia, L.**, (2005). *Máquinas Eléctricas*. Quito - Ecuador, Editorial - Limusa.
- **Texas Instruments** (s, f.). *Diseño de Hardware* <http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Lm2596>

ANEXOS

ANEXO A: PRESUPUESTO ANALÍTICO DESAGREGADO

Tabla 5:
Elementos utilizados para el modulo motor _ generador.

| ITM | CANT | UND | DESCRIPCION DE BIENES | P. Unit. (S/.) | SUB TOTAL (S/.) |
|-----------------------------|------|-----|---|-------------------|--------------------|
| 01 | 01 | U | Generador sincrónico trifásico de 1000W, 3600 rpm, 240 V, 60 Hz | 350.00 | 350.00 |
| 02 | 01 | U | Motor trifásico de 1hp, 1800 rpm, 220 V, 60 Hz. | 630.00 | 630.00 |
| 03 | 01 | U | Acoplamiento mecánico de quijada de goma 2" | 120.00 | 120.00 |
| 04 | 01 | U | Skid para montaje de grupo Motor – Generador. | 50.00 | 50.00 |
| 05 | 01 | U | Módulo de pruebas metálico, con doble fondo galvanizado. | 450.00 | 450.00 |
| 06 | 01 | U | Juego de bases anti vibratorio para motor. | 50.00 | 50.00 |
| 07 | 01 | U | Kit de pernos y tuercas galvanizados para fijación. | 15.00 | 15.00 |
| 09 | 01 | U | Kit de ruedas poliméricas con seguro anti deslizante. | 150.00 | 150.00 |
| 10 | 01 | U | Interruptor termo magnético trifásico 220 V. 20 A. | 200.00 | 200.00 |
| 11 | 03 | U | Porta fusibles tipo RT 03 - 32 AC 400 V 100KVA. | 35.00 | 35.00 |
| 12 | 03 | U | Fusibles tipo RT 03 – 32; 3 Amp. 220 V. | 15.00 | 15.00 |
| 13 | 01 | U | Contactador Trifásico LC1 D18; 18 Amp. 220 V. | 90.00 | 90.00 |
| 14 | 12 | U | Conector hembra; banana 4mm; 30; 60 VCC; 59mm; | 2.00 | 24.00 |
| 15 | 02 | U | Pulsador Start-Stop para arranque del motor. | 30.00 | 30.00 |
| 16 | 01 | U | Piloto de señalización de línea out color rojo 220V. | 10.00 | 10.00 |
| 17 | 03 | U | Piloto de señalización de líneas color verde 220V. | 10.00 | 30.00 |
| 18 | 03 | U | Medidores Digitales de tensión 220 VAC. RST. | 20.00 | 60.00 |
| 19 | 03 | U | Amperímetro analógico AC YOCOGAWA hasta 10 A. | 400.00 | 1200.00 |
| 20 | 01 | U | Amperímetro analógico DC hasta 30 A. | 40.00 | 40.00 |
| 21 | 01 | U | Amperímetro analógico DC hasta 5 A. | 40.00 | 40.00 |
| 22 | 02 | U | Voltímetro analógico DC hasta 20 A. | 40.00 | 80.00 |
| 23 | 01 | U | Tarjeta de Rectificación y Control de Voltaje DC. | 150.00 | 150.00 |
| 24 | 04 | U | Resistencias Shunt para acondicionamiento corriente DC | 15.00 | 60.00 |
| SUB TOTAL EN BIENES: | | | | | 3 879.00 |

Tabla 6:
Servicios utilizados para el modulo motor _ generador.

| ITM | CANT | UND | DESCRIPCION DE BIENES | P. Unit. (S/.) | SUB TOTAL (S/.) |
|-----------------------------|------|-----|---|-------------------|-----------------------|
| 01 | 01 | U | Construcción del módulo metálico | 250.00 | 250.00 |
| 02 | 01 | U | Maquinado mecánico de quijada de goma 2" | 80.00 | 80.00 |
| 03 | 01 | U | Acoplamiento mecánico de quijada de goma 2" | 120.00 | 120.00 |
| 04 | 01 | U | Construcción de la base metálica Motor – Generador. | 100.00 | 100.00 |
| 05 | 01 | U | Maquinado de carpintería para la ubicación de medidores | 140.00 | 140.00 |
| 06 | 01 | U | Instalación eléctrica del módulo Motor – Generador. | 160.00 | 160.00 |
| SUB TOTAL SERVICIOS: | | | | | 850.00 |

Tabla 7:
Presupuesto total del módulo motor _ generador.

| | |
|------------------------------------|-----------------|
| SUB TOTAL BIENES: | 3,879.00 |
| SUB TOTAL: | 4,729.00 |
| IMPUESTOS IMPREVISTOS 10 %: | 429.00 |
| TOTAL: | 5,201.90 |

SON: CINCO MIL DOCIENTOS UNO Y 90 /100 NUEVOS SOLES

ANEXO B:

TABLA 8:

DATOS SIN CARGA ELECTRICA

| SIN CARGA MOTOR | | | | | SIN CARGA | | | |
|-----------------|----------|-----|-----|-----|-----------|---------|--------------|---------------|
| | | R | S | T | | | EXITACION DC | GENERACION DC |
| 1 | I Disp. | 5 | 5 | 5 | 1 | I amp. | 0.01 | 0 |
| | I amp. | 2.8 | 2.9 | 2.9 | | U volt. | 1 | 1 |
| 2 | I Disp.. | 5 | 5 | 5 | 2 | I amp. | 0.02 | 0 |
| | I amp. | 2.8 | 2.9 | 2.9 | | U volt. | 1.5 | 2 |
| 3 | I Disp.. | 5 | 5 | 5 | 3 | I amp. | 0.15 | 0 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 | | U volt. | 2 | 3.5 |
| 4 | I Disp.. | 4.8 | 5 | 5 | 4 | I amp. | 0.2 | 0 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 | | U volt. | 2.5 | 4.5 |
| 5 | I Disp.. | 4.8 | 4.8 | 4.8 | 5 | I amp. | 0.45 | 0 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 | | U volt. | 3 | 5.1 |
| 6 | I Disp.. | 5 | 5 | 5 | 6 | I amp. | 0.6 | 0 |
| | I amp. | 3.2 | 3.1 | 3 | | U volt. | 3.5 | 7.5 |
| 7 | I Disp.. | 4.8 | 4.8 | 4.8 | 7 | I amp. | 0.7 | 0 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 | | U volt. | 4 | 8.5 |
| 8 | I Disp.. | 5 | 5 | 5 | 8 | I amp. | 0.8 | 0 |
| | I amp. | 2.9 | 2.9 | 2.9 | | U volt. | 4.5 | 10 |
| 9 | I Disp.. | 4.8 | 4.8 | 4.8 | 9 | I amp. | 1 | 0 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 | | U volt. | 5 | 11.5 |
| 10 | I Disp.. | 4.8 | 4.8 | 4.8 | 10 | I amp. | 1.1 | 0 |
| | I amp. | 2.9 | 2.9 | 2.9 | | U volt. | 5.5 | 13 |
| 11 | I Disp.. | 5 | 5 | 5 | 11 | I amp. | 1.2 | 0 |
| | I amp. | 2.9 | 2.9 | 2.9 | | U volt. | 6 | 14 |
| 12 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 12 | I amp. | 1.3 | 0 |
| | I amp. | 2.9 | 2.9 | 2.9 | | U volt. | 6.5 | 15 |
| 13 | I Disp.. | 4.8 | 4.8 | 4.8 | 13 | I amp. | 1.4 | 0 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 | | U volt. | 7 | 16.5 |
| 14 | I Disp.. | 4.8 | 4.8 | 4.8 | 14 | I amp. | 1.6 | 0 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 | | U volt. | 7.5 | 17.5 |
| 15 | I Disp.. | 4.8 | 4.8 | 4.8 | 15 | I amp. | 1.7 | 0 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 | | U volt. | 8 | 19 |
| 16 | I Disp.. | 4.8 | 4.8 | 4.8 | 16 | I amp. | 1.8 | 0 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 | | U volt. | 8.5 | 19.5 |
| 17 | I Disp.. | 4.8 | 4.8 | 4.8 | 17 | I amp. | 1.9 | 0 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 | | U volt. | 9 | 20 |

TABLA 9:

DATOS CON CARGA ELECTRICA 2.6 Ω

CON CARGA MOTOR

| | | R | S | T |
|----|----------|-----|-----|------|
| 1 | I Disp. | 5 | 5 | 5 |
| | I amp. | 3 | 3 | 2.93 |
| 2 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3.1 | 3.1 | 3.1 |
| 3 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 |
| 4 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 |
| 5 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 |
| 6 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3.1 | 3.1 | 3.1 |
| 7 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 |
| 8 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 |
| 9 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 |
| 10 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3.1 | 3.1 | 3.1 |
| 11 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 |
| 12 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 |
| 13 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 |

CARGA RESISTIVA 1 (FOCO)

| | | EXITACION DC | GENERACION DC |
|----|---------|--------------|---------------|
| 1 | I amp. | 0.01 | 0 |
| | U volt. | 1 | 0.3 |
| 2 | I amp. | 0.02 | 1 |
| | U volt. | 1.5 | 1.5 |
| 3 | I amp. | 0.15 | 2 |
| | U volt. | 2 | 2 |
| 4 | I amp. | 0.2 | 2.1 |
| | U volt. | 2.5 | 4 |
| 5 | I amp. | 0.5 | 2.3 |
| | U volt. | 3 | 4.5 |
| 6 | I amp. | 0.6 | 2.5 |
| | U volt. | 3.5 | 5 |
| 7 | I amp. | 0.7 | 3 |
| | U volt. | 4 | 6 |
| 8 | I amp. | 0.8 | 3.2 |
| | U volt. | 4.5 | 7 |
| 9 | I amp. | 1 | 3.5 |
| | U volt. | 5 | 8.2 |
| 10 | I amp. | 1.1 | 3.8 |
| | U volt. | 5.5 | 10 |
| 11 | I amp. | 1.2 | 4 |
| | U volt. | 6 | 11 |
| 12 | I amp. | 1.3 | 4.5 |
| | U volt. | 6.5 | 11.5 |
| 13 | I amp. | 1.4 | 5 |
| | U volt. | 7 | 13 |

TABLA 10:

DATOS CON CARGA ELECTRICA 1.3 Ω

CON CARGA MOTOR

| | | R | S | T |
|----|----------|-----|-----|------|
| 1 | I Disp.. | 5 | 5 | 5 |
| | I amp. | 3 | 3 | 2.93 |
| 2 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3.1 | 3.1 | 3.1 |
| 3 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 |
| 4 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 |
| 5 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 |
| 6 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3.1 | 3.1 | 3.1 |
| 7 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 |
| 8 | I Disp.. | 5.2 | 5.2 | 5.2 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 |
| 9 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 |
| 10 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3.1 | 3.1 | 3.1 |
| 11 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 |
| 12 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 |
| 13 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 |
| 14 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3.1 | 3.1 | 3.1 |
| 15 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 |
| 16 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 |
| 17 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 |

CARGA RESISTIVA 2 (FOCOS)

| | | EXITACION DC | GENERACION DC |
|----|---------|--------------|---------------|
| 1 | I amp. | 0.01 | 0 |
| | U volt. | 1 | 0.1 |
| 2 | I amp. | 0.02 | 1.2 |
| | U volt. | 1.5 | 0.5 |
| 3 | I amp. | 0.15 | 2.2 |
| | U volt. | 2 | 1 |
| 4 | I amp. | 0.2 | 3 |
| | U volt. | 2.5 | 1.8 |
| 5 | I amp. | 0.25 | 4 |
| | U volt. | 3 | 2.5 |
| 6 | I amp. | 0.3 | 4.8 |
| | U volt. | 3.5 | 3.5 |
| 7 | I amp. | 0.8 | 5.5 |
| | U volt. | 4 | 4.9 |
| 8 | I amp. | 0.9 | 6 |
| | U volt. | 4.5 | 5.5 |
| 9 | I amp. | 1 | 6.5 |
| | U volt. | 5 | 6.5 |
| 10 | I amp. | 1.1 | 7 |
| | U volt. | 5.5 | 7.5 |
| 11 | I amp. | 1.2 | 7.8 |
| | U volt. | 6 | 8.5 |
| 12 | I amp. | 1.3 | 8 |
| | U volt. | 6.5 | 9 |
| 13 | I amp. | 1.4 | 8.3 |
| | U volt. | 7 | 10 |
| 14 | I amp. | 1.6 | 9 |
| | U volt. | 7.5 | 11 |
| 15 | I amp. | 1.7 | 9.2 |
| | U volt. | 8 | 12 |
| 16 | I amp. | 1.8 | 9.5 |
| | U volt. | 8.5 | 12.5 |
| 17 | I amp. | 2 | 10 |
| | U volt. | 9 | 13 |

TABLA 11:

DATOS CON CARGA ELECTRICA 0.86 Ω

CON CARGA MOTOR

| | | R | S | T |
|----|----------|-----|-----|------|
| 1 | I Disp.. | 5 | 5 | 5 |
| | I amp. | 3 | 3 | 2.93 |
| 2 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3.1 | 3.1 | 3.1 |
| 3 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 |
| 4 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 |
| 5 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 |
| 6 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3.1 | 3.1 | 3.1 |
| 7 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 |
| 8 | I Disp.. | 5.2 | 5.2 | 5.2 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 |
| 9 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 |
| 10 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3.1 | 3.1 | 3.1 |
| 11 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 |
| 12 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 |
| 13 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 |
| 14 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3.1 | 3.1 | 3.1 |
| 15 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 |
| 16 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 |
| 17 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 |

CARGA RESISTIVA 3 (FOCOS)

| | | EXITACION DC | GENERACION DC |
|----|---------|--------------|---------------|
| 1 | I amp. | 0.01 | 0 |
| | U volt. | 1 | 0.1 |
| 2 | I amp. | 0.02 | 1.2 |
| | U volt. | 1.5 | 0.5 |
| 3 | I amp. | 0.15 | 2.2 |
| | U volt. | 2 | 1 |
| 4 | I amp. | 0.2 | 3 |
| | U volt. | 2.5 | 1.8 |
| 5 | I amp. | 0.25 | 4 |
| | U volt. | 3 | 2.5 |
| 6 | I amp. | 0.3 | 4.8 |
| | U volt. | 3.5 | 3.5 |
| 7 | I amp. | 0.8 | 5.5 |
| | U volt. | 4 | 4.9 |
| 8 | I amp. | 0.9 | 6 |
| | U volt. | 4.5 | 5.5 |
| 9 | I amp. | 1 | 6.5 |
| | U volt. | 5 | 6.5 |
| 10 | I amp. | 1.1 | 7 |
| | U volt. | 5.5 | 7.5 |
| 11 | I amp. | 1.2 | 7.8 |
| | U volt. | 6 | 8.5 |
| 12 | I amp. | 1.3 | 8 |
| | U volt. | 6.5 | 9 |
| 13 | I amp. | 1.4 | 8.3 |
| | U volt. | 7 | 10 |
| 14 | I amp. | 1.6 | 9 |
| | U volt. | 7.5 | 11 |
| 15 | I amp. | 1.7 | 9.2 |
| | U volt. | 8 | 12 |
| 16 | I amp. | 1.8 | 9.5 |
| | U volt. | 8.5 | 12.5 |
| 17 | I amp. | 2 | 10 |
| | U volt. | 9 | 13 |

TABLA 12:

DATOS CON CARGA ELECTRICA 0.65 Ω

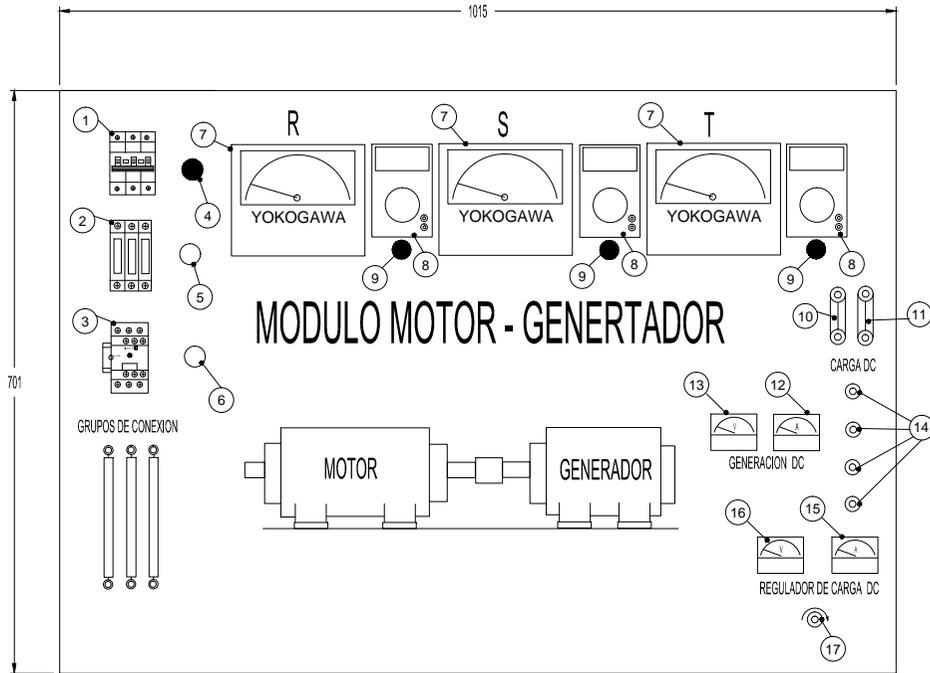
| CON CARGA MOTOR | | | | | CARGA RESISTIVA 4 (FOCOS) | | | |
|-----------------|----------|-----|-----|-----|---------------------------|--------------|---------------|------|
| | | R | S | T | | EXITACION DC | GENERACION DC | |
| 1 | I Disp. | 5 | 5 | 5 | 1 | I amp. | 0.09 | 0 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 | | U volt. | 1 | 0.01 |
| 2 | I Disp.. | 4.8 | 4.8 | 4.8 | 2 | I amp. | 0.1 | 1.5 |
| | I amp. | 2.8 | 3 | 3.2 | | U volt. | 1.5 | 0.02 |
| 3 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 3 | I amp. | 0.15 | 3 |
| | I amp. | 2.9 | 3 | 3 | | U volt. | 2 | 0.5 |
| 4 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 4 | I amp. | 0.4 | 4 |
| | I amp. | 2.8 | 3 | 3 | | U volt. | 2.5 | 0.7 |
| 5 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 5 | I amp. | 0.5 | 5.5 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 | | U volt. | 3 | 1 |
| 6 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 6 | I amp. | 0.6 | 6.8 |
| | I amp. | 3.1 | 3.1 | 3.1 | | U volt. | 3.5 | 1.8 |
| 7 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 7 | I amp. | 0.8 | 8 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 | | U volt. | 4 | 2.2 |
| 8 | I Disp.. | 5.2 | 5.2 | 5.2 | 8 | I amp. | 0.9 | 9 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 | | U volt. | 4.5 | 3 |
| 9 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 9 | I amp. | 1 | 10 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 | | U volt. | 5 | 3.8 |
| 10 | I Disp.. | 4.8 | 4.8 | 4.8 | 10 | I amp. | 1.2 | 11 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 | | U volt. | 5.5 | 4.5 |
| 11 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 11 | I amp. | 1.3 | 12 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 | | U volt. | 6 | 5 |
| 12 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 12 | I amp. | 1.4 | 13 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 | | U volt. | 6.5 | 5 |
| 13 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 13 | I amp. | 1.5 | 13.5 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 | | U volt. | 7 | 6.5 |
| 14 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 14 | I amp. | 1.6 | 14 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 | | U volt. | 7.5 | 7 |
| 15 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 15 | I amp. | 1.7 | 15 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 | | U volt. | 8 | 7.5 |
| 16 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 16 | I amp. | 1.8 | 15.5 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 | | U volt. | 8.5 | 8 |
| 17 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 17 | I amp. | 1.95 | 16 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 | | U volt. | 9 | 0.5 |
| 18 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 18 | I amp. | 2 | 16.5 |
| | I amp. | 3.1 | 3.1 | 3.1 | | U volt. | 9.5 | 9 |
| 19 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 19 | I amp. | 2.1 | 17 |

| | | | | |
|----|----------|-----|-----|-----|
| | I amp. | 3 | 3 | 3 |
| 20 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 |
| 21 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 |
| 22 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3.1 | 3.1 | 3.1 |
| 23 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3.1 | 3.1 | 3.1 |
| 24 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 |
| 25 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 |
| 26 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3 | 3 | 3 |
| 27 | I Disp.. | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| | I amp. | 3.1 | 3.1 | 3.1 |
| 28 | I Disp.. | 4.8 | 4.8 | 4.8 |
| | I amp. | 3.2 | 3.3 | 3.2 |

| | | | |
|----|---------|------|------|
| | U volt. | 10 | 9.5 |
| 20 | I amp. | 2.2 | 17.5 |
| | U volt. | 10.5 | 10 |
| 21 | I amp. | 2.3 | 18 |
| | U volt. | 11 | 10.1 |
| 22 | I amp. | 2.4 | 18.5 |
| | U volt. | 11.5 | 11 |
| 23 | I amp. | 2.5 | 19 |
| | U volt. | 12 | 11.2 |
| 24 | I amp. | 2.6 | 19.1 |
| | U volt. | 12.5 | 11.5 |
| 25 | I amp. | 2.7 | 19.2 |
| | U volt. | 13 | 11.6 |
| 26 | I amp. | 2.8 | 19.5 |
| | U volt. | 13.5 | 12 |
| 27 | I amp. | 2.9 | 20 |
| | U volt. | 14 | 12.2 |
| 28 | I amp. | 3 | 20.5 |
| | U volt. | 15 | 12.5 |

1 2 3 4 5 6 7 8

| ITEM | DESCRIPCION | CANT |
|------|---|------|
| 1 | Interruptor Termomagnético 3X 25 A schneider 10 KA @ 220 V. | 01 |
| 2 | Portafusibles trifásico de tipo RT 18 - 32 A. | 03 |
| 3 | Contacto Trifásico LC1D - 18 schneider @ 220 V. | 01 |
| 4 | Lampara indicadora de tensión 220 V. | 01 |
| 5 | Pulsador de arranque del Módulo Motor - Generador | 01 |
| 6 | Pulsador de parada del Módulo Motor - Generador | 01 |
| 7 | Medidores digitales de corriente del motor trifásico | 03 |
| 8 | Medidores digitales de tension del motor trifásico | 03 |
| 9 | Lamparas indicadoras de tensión R S T 220 V. | 03 |
| 10 | conector de cargar baja para las lamparas. | 01 |
| 11 | conector de cargar alta para las lamparas. | 01 |
| 12 | Medidor Análogo de salida del generador de 30 A. | 01 |
| 13 | Medidor Análogo de salida del generador de 20 V. | 01 |
| 14 | Lamparas de 150 watos de doble contacto | 04 |
| 15 | Medidor Análogo de corriente de la excitación del generador de 5 A. | 01 |
| 16 | Medidor Análogo de tensión de la excitación del generador de 12 V. | 01 |
| 17 | Controlador electronico de tensión del generador | 01 |



A
B
C
D
E
F

| | | | |
|--------|--------------------------|----------|-------------------|
| DIBUJO | Lorenzo Zafra Cordova | 28/04/16 | SIMBOLO ISO / DIN |
| DISEÑO | | | |
| REVISO | ng. Amancio Rojas Flores | | |
| APROBO | | | FORMATO A-4 |

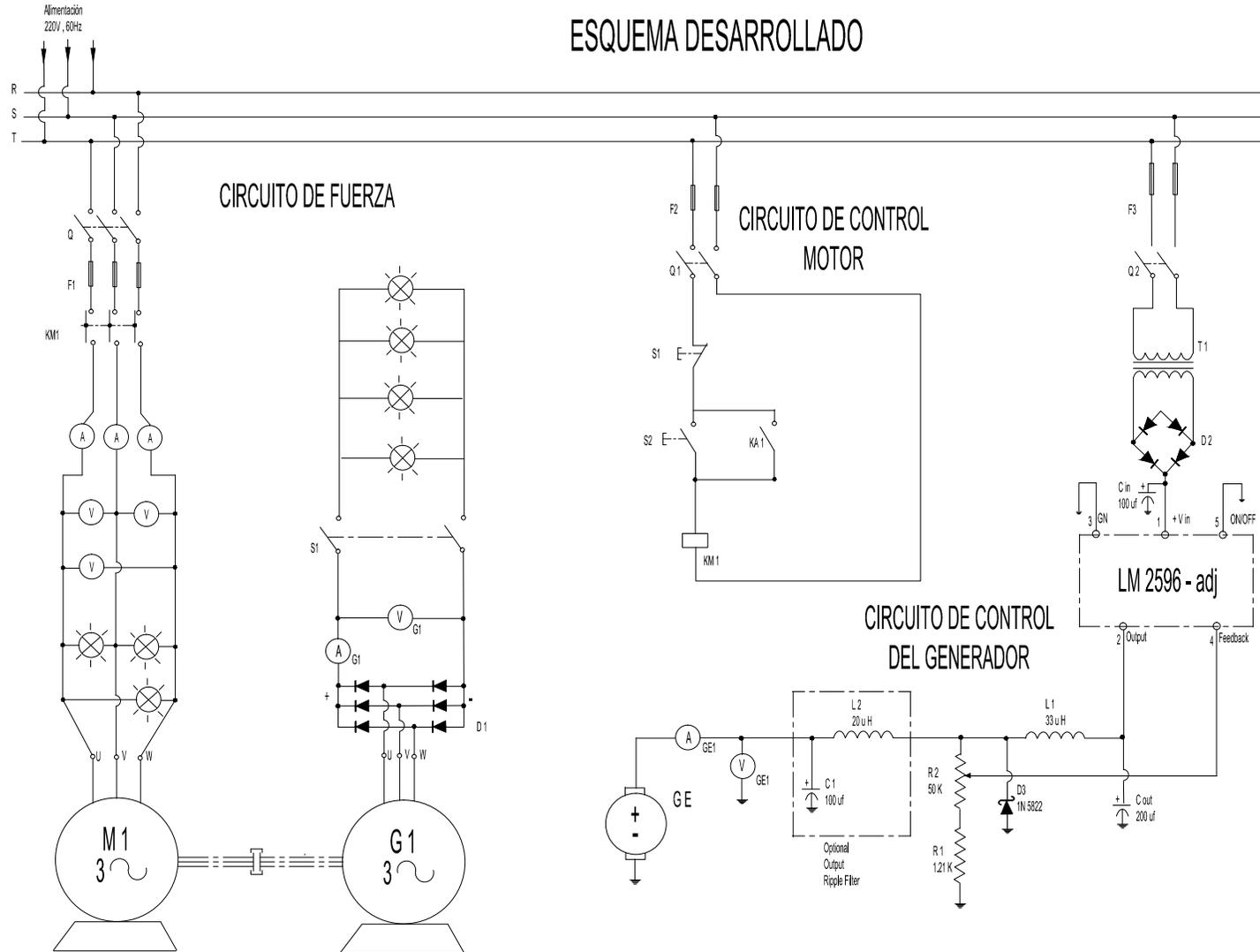
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
 URBANIZACION BELLAMAR S/N - ANCASH - SANTA - NUEVO CHIMBOTE
 Telef: 310445*1035

| | |
|----------|--------------------------------|
| PROYECTO | MODULO MOTOR - GENERADOR |
| CLIENTE | UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA |

| | |
|-------------|-------------------------|
| DESCRIPCION | DISTRIBUCION DE EQUIPOS |
|-------------|-------------------------|

| | | |
|--------|-------|----------|
| ESCALA | S / E | PLANO Nº |
| CANTID | 01 | 01 |
| CODIGO | | |

ESQUEMA DESARROLLADO



| LEYENDA | |
|-----------------|--|
| Símbolo | Descripción |
| Q 1 | INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO 3 x 25A Merl Geri 25KA@220V. |
| Q 2 | INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO 2 x 10A Merl Geri 25VA@220V. |
| Q 3 | INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO 2 x 10A Merl Geri 25KA@220V. |
| F 1 | FUSIBLE DEL TIPO 2x 5A DEL TIPO RT - 18 - 32A. |
| F 2 | FUSIBLE DEL TIPO 2x 2A DEL TIPO RT - 18 - 32A. |
| F 3 | FUSIBLE DEL TIPO 2x 5A DEL TIPO RT - 18 - 32A. |
| KM 1 | CONTACTOR TRIFASICO DE TIPO LCD 18 18A, 220V. |
| S 1 | PULSADOR DE PARADA. |
| S 2 | PULSADOR DE ARRANQUE. |
| KA 1 | CONTACTO AUXILIAR DEL CONTACTOR KM 1. |
| KM 1 | BOBINA DEL CONTACTOR TRIFASICO DE TIPO LCD 18 18A, 220V. |
| A | AMPERIMETRO ANALOGICO ALTERNIO YOCOGAWA DE 10 AMPERIOS. |
| V | VOLTIMETRO DIGITAL ALTERNIO GOLD POWER DT 800L. |
| ⊗ | LAMPARAS INDICADORAS DE FASE DE 220 VOLTIOS AC. |
| ⊙ | MOTOR ASINCRONO TRIFASICO DE 1 HP 220 VOLTIOS AC. |
| ⊙ | GENERADOR SINCRONO TRIFASICO DE 12 HP 220 VOLTIOS AC. |
| ⊗ | LAMPARAS DE 12 VOLTIOS DC (CARGAS DEL GENERADOR). |
| A _{DC} | MEJORADOR DE CORRIENTE DC ANALOGICO 50 AMPERIOS. |
| V _{DC} | MEJORADOR DE VOLTAJE DC ANALOGICO 20 VOLTIOS. |
| D 1 | BLOCK DE DIODOS PUNTE TRIFASICO DE 50 AMPERIOS. |
| T 1 | TRANSFORMADOR MONOFASICO DE 5 AMPERIOS 220 AC 12 AC. |
| D 2 | BLOCK DE DIODOS PUNTE MONOFASICO DE 5 AMPERIOS. |
| LM2596-adj | CIRCUITO INTEGRADO PARA UNA FUENTE DE ALIMENTACION CONTINUA. |
| D 3 | DIODO ESTABILIZADOR DE ALTA FRECUENCIA. |
| A _{DC} | MEJORADOR DE CORRIENTE DC ANALOGICO 5 AMPERIOS. |
| V _{DC} | MEJORADOR DE VOLTAJE DC ANALOGICO 20 VOLTIOS. |
| ⊙ | BOBINA DE ENTACCION DEL GENERADOR. |

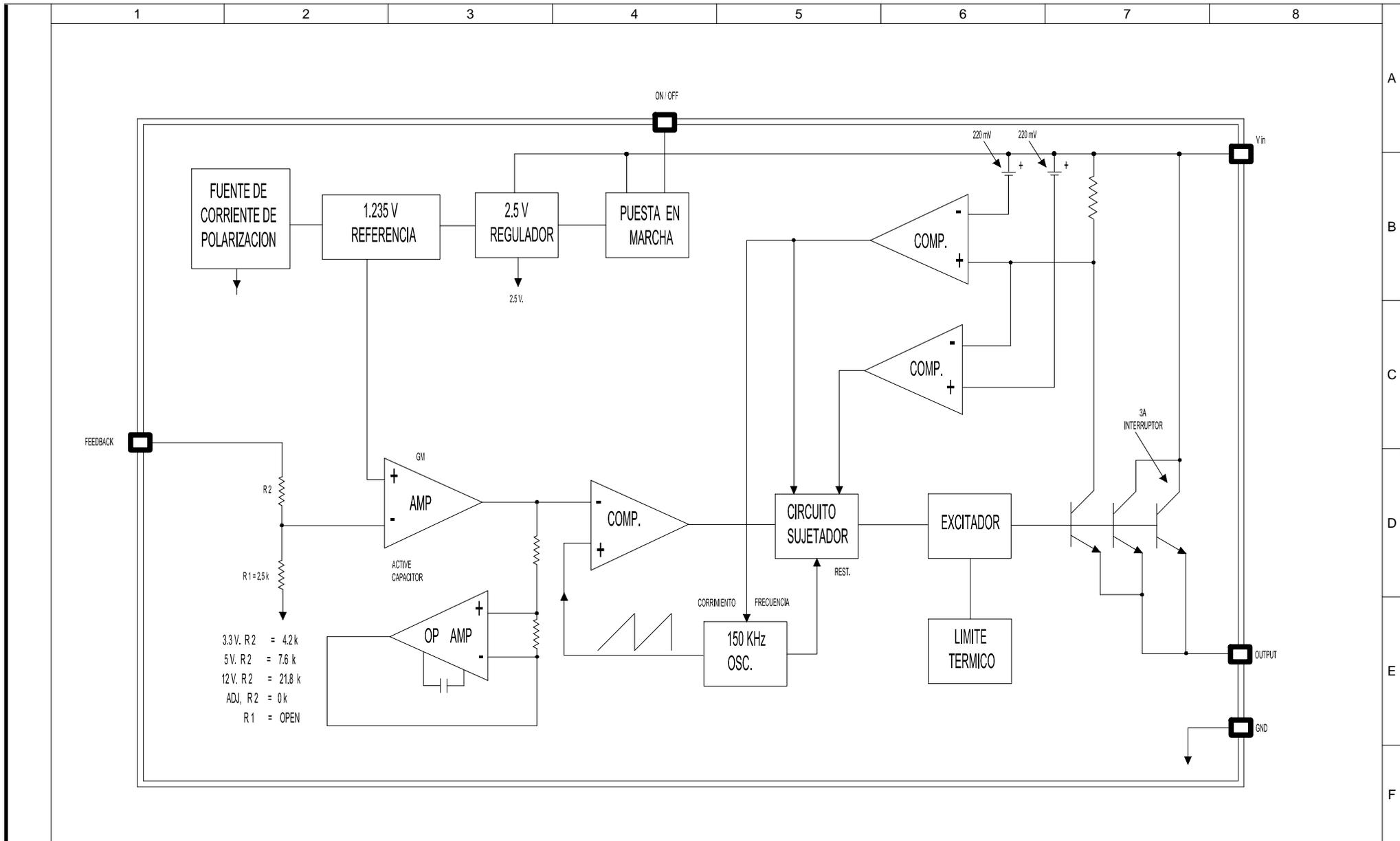
| | | | |
|--------|--------------------------|----------|-------------------|
| DIBUJO | Lorenzo Zafra Cordova | 28/04/16 | SIMBOLO ISO / DIN |
| DISEÑO | | | |
| REVISO | ng. Amancio Rojas Flores | | |
| APROBO | | | FORMATO A-4 |

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
 URBANIZACION BELLAMAR S/N - ANCASH - SANTA - NUEVO CHIMBOTE
 Telef: 310445*1035

| | |
|----------|--------------------------------|
| PROYECTO | MODULO MOTOR - GENERADOR |
| CLIENTE | UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA |

| | |
|-------------|-------------------|
| DESCRIPCION | ESQUEMA ELECTRICO |
|-------------|-------------------|

| | | |
|----------|-------|----------|
| ESCALA | S / E | PLANO N° |
| CANTIDAD | 01 | 02 |
| CODIGO | | |



| | | |
|--------|--------------------------|----------|
| DIBUJO | Lorenzo Zafra Cordova | 28/04/16 |
| DISEÑO | | |
| REVISO | ng. Amancio Rojas Flores | |
| APROBO | | |

| | |
|-------------------|-----|
| SIMBOLO ISO / DIN | |
| FORMATO | A-4 |



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
 URBANIZACION BELLAMAR S/N - ANCASH - SANTA - NUEVO CHIMBOTE
 Telef: 310445*1035

| | |
|----------|--------------------------------|
| PROYECTO | CONTROLADOR ELECTRÓNICO |
| CLIENTE | UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA |

DESCRIPCION
DIAGRAMA EN BLOQUES IC LM 2596

| | | |
|----------|-------|----------|
| ESCALA | c / e | PLANO N° |
| CANTIDAD | 01 | 02 |
| CODIGO | | |

LM2596

3.0 A, Step-Down Switching Regulator

The LM2596 regulator is monolithic integrated circuit ideally suited for easy and convenient design of a step-down switching regulator (buck converter). It is capable of driving a 3.0 A load with excellent line and load regulation. This device is available in adjustable output version and it is internally compensated to minimize the number of external components to simplify the power supply design.

Since LM2596 converter is a switch-mode power supply, its efficiency is significantly higher in comparison with popular three-terminal linear regulators, especially with higher input voltages.

The LM2596 operates at a switching frequency of 150 kHz thus allowing smaller sized filter components than what would be needed with lower frequency switching regulators. Available in a standard 5-lead TO-220 package with several different lead bend options, and D²PAK surface mount package.

The other features include a guaranteed $\pm 4\%$ tolerance on output voltage within specified input voltages and output load conditions, and $\pm 15\%$ on the oscillator frequency. External shutdown is included, featuring 80 μA (typical) standby current. Self protection features include switch cycle-by-cycle current limit for the output switch, as well as thermal shutdown for complete protection under fault conditions.

Features

- Adjustable Output Voltage Range 1.23 V – 37 V
- Guaranteed 3.0 A Output Load Current
- Wide Input Voltage Range up to 40 V
- 150 kHz Fixed Frequency Internal Oscillator
- TTL Shutdown Capability
- Low Power Standby Mode, typ 80 μA
- Thermal Shutdown and Current Limit Protection
- Internal Loop Compensation
- Moisture Sensitivity Level (MSL) Equals 1
- Pb-Free Packages are Available

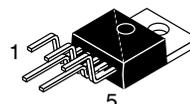
Applications

- Simple High-Efficiency Step-Down (Buck) Regulator
- Efficient Pre-Regulator for Linear Regulators
- On-Card Switching Regulators
- Positive to Negative Converter (Buck-Boost)
- Negative Step-Up Converters
- Power Supply for Battery Chargers



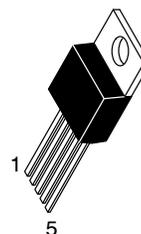
ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>



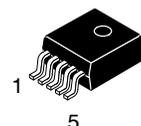
TO-220
TV SUFFIX
CASE 314B

Heatsink surface connected to Pin 3



TO-220
T SUFFIX
CASE 314D

- Pin
1. V_{in}
 2. Output
 3. Ground
 4. Feedback
 5. $\overline{\text{ON}}/\text{OFF}$



D²PAK
D2T SUFFIX
CASE 936A

Heatsink surface (shown as terminal 6 in case outline drawing) is connected to Pin 3

ORDERING INFORMATION

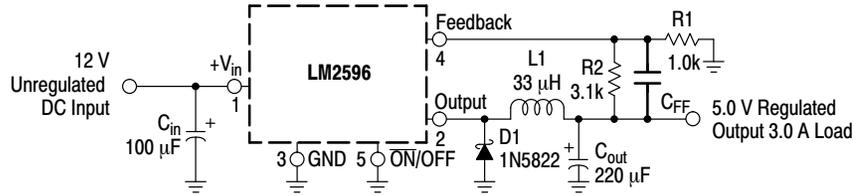
See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 23 of this data sheet.

DEVICE MARKING INFORMATION

See general marking information in the device marking section on page 23 of this data sheet.

LM2596

Typical Application (Adjustable Output Voltage Version)



Block Diagram

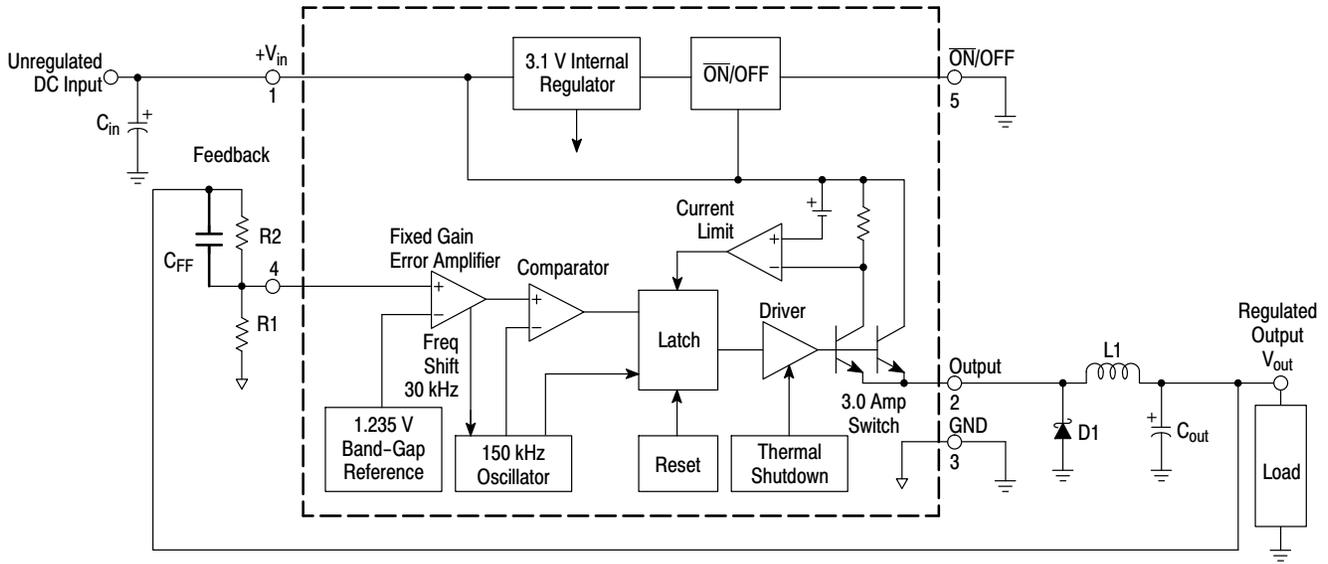


Figure 1. Typical Application and Internal Block Diagram

MAXIMUM RATINGS

| Rating | Symbol | Value | Unit |
|--|-----------------|-------------------------------------|----------------------|
| Maximum Supply Voltage | V_{in} | 45 | V |
| ON/OFF Pin Input Voltage | - | $-0.3\text{ V} \leq V \leq +V_{in}$ | V |
| Output Voltage to Ground (Steady-State) | - | -1.0 | V |
| Power Dissipation | | | |
| Case 314B and 314D (TO-220, 5-Lead) | P_D | Internally Limited | W |
| Thermal Resistance, Junction-to-Ambient | $R_{\theta JA}$ | 65 | $^{\circ}\text{C/W}$ |
| Thermal Resistance, Junction-to-Case | $R_{\theta JC}$ | 5.0 | $^{\circ}\text{C/W}$ |
| Case 936A (D ² PAK) | P_D | Internally Limited | W |
| Thermal Resistance, Junction-to-Ambient | $R_{\theta JA}$ | 70 | $^{\circ}\text{C/W}$ |
| Thermal Resistance, Junction-to-Case | $R_{\theta JC}$ | 5.0 | $^{\circ}\text{C/W}$ |
| Storage Temperature Range | T_{stg} | -65 to +150 | $^{\circ}\text{C}$ |
| Minimum ESD Rating (Human Body Model: C = 100 pF, R = 1.5 k Ω) | - | 2.0 | kV |
| Lead Temperature (Soldering, 10 seconds) | - | 260 | $^{\circ}\text{C}$ |
| Maximum Junction Temperature | T_J | 150 | $^{\circ}\text{C}$ |

Stresses exceeding Maximum Ratings may damage the device. Maximum Ratings are stress ratings only. Functional operation above the Recommended Operating Conditions is not implied. Extended exposure to stresses above the Recommended Operating Conditions may affect device reliability.

LM2596

PIN FUNCTION DESCRIPTION

| Pin | Symbol | Description (Refer to Figure 1) |
|-----|---------------------|--|
| 1 | V_{in} | This pin is the positive input supply for the LM2596 step-down switching regulator. In order to minimize voltage transients and to supply the switching currents needed by the regulator, a suitable input bypass capacitor must be present (C_{in} in Figure 1). |
| 2 | Output | This is the emitter of the internal switch. The saturation voltage V_{sat} of this output switch is typically 1.5 V. It should be kept in mind that the PCB area connected to this pin should be kept to a minimum in order to minimize coupling to sensitive circuitry. |
| 3 | GND | Circuit ground pin. See the information about the printed circuit board layout. |
| 4 | Feedback | This pin is the direct input of the error amplifier and the resistor network R2, R1 is connected externally to allow programming of the output voltage. |
| 5 | \overline{ON}/OFF | It allows the switching regulator circuit to be shut down using logic level signals, thus dropping the total input supply current to approximately 80 μA . The threshold voltage is typically 1.6 V. Applying a voltage above this value (up to $+V_{in}$) shuts the regulator off. If the voltage applied to this pin is lower than 1.6 V or if this pin is left open, the regulator will be in the "on" condition. |

OPERATING RATINGS (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.)

| Rating | Symbol | Value | Unit |
|--------------------------------------|----------|-------------|-------------|
| Operating Junction Temperature Range | T_J | -40 to +125 | $^{\circ}C$ |
| Supply Voltage | V_{in} | 4.5 to 40 | V |

LM2596

SYSTEM PARAMETERS

ELECTRICAL CHARACTERISTICS Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and those with boldface type apply over full Operating Temperature Range -40°C to $+125^\circ\text{C}$

| Characteristics | Symbol | Min | Typ | Max | Unit |
|--|---------------|----------------------|------------|----------------------|---------------|
| LM2596 (Note 1, Test Circuit Figure 15) | | | | | |
| Feedback Voltage ($V_{in} = 12\text{ V}$, $I_{Load} = 0.5\text{ A}$, $V_{out} = 5.0\text{ V}$,) | V_{FB_nom} | | 1.23 | | V |
| Feedback Voltage ($8.5\text{ V} \leq V_{in} \leq 40\text{ V}$, $0.5\text{ A} \leq I_{Load} \leq 3.0\text{ A}$, $V_{out} = 5.0\text{ V}$) | V_{FB} | 1.193 1.18 | | 1.267 1.28 | V |
| Efficiency ($V_{in} = 12\text{ V}$, $I_{Load} = 3.0\text{ A}$, $V_{out} = 5.0\text{ V}$) | η | - | 73 | - | % |
| Characteristics | Symbol | Min | Typ | Max | Unit |
| Feedback Bias Current ($V_{out} = 5.0\text{ V}$) | I_b | | 25 | 100 200 | nA |
| Oscillator Frequency (Note 2) | f_{osc} | 135 120 | 150 | 165 180 | kHz |
| Saturation Voltage ($I_{out} = 3.0\text{ A}$, Notes 3 and 4) | V_{sat} | | 1.5 | 1.8 2.0 | V |
| Max Duty Cycle "ON" (Note 4) | DC | | 95 | | % |
| Current Limit (Peak Current, Notes 2 and 3) | I_{CL} | 4.2 3.5 | 5.6 | 6.9 7.5 | A |
| Output Leakage Current (Notes 5 and 6) Output = 0 V Output = -1.0 V | I_L | | 0.5 6.0 | 2.0 20 | mA |
| Quiescent Current (Note 5) | I_Q | | 5.0 | 10 | mA |
| Standby Quiescent Current (\overline{ON}/OFF Pin = 5.0 V ("OFF")) (Note 6) | I_{stby} | | 80 | 200 250 | μA |

\overline{ON}/OFF PIN LOGIC INPUT

| | | | | | |
|--|----------|-------------------|-----|-------------------|---|
| Threshold Voltage | | | 1.6 | | V |
| $V_{out} = 0\text{ V}$ (Regulator OFF) | V_{IH} | 2.2 2.4 | | | V |
| $V_{out} = \text{Nominal Output Voltage}$ (Regulator ON) | V_{IL} | | | 1.0 0.8 | V |

\overline{ON}/OFF Pin Input Current

| | | | | | |
|--|----------|---|------|-----|---------------|
| \overline{ON}/OFF Pin = 5.0 V (Regulator OFF) | I_{IH} | - | 15 | 30 | μA |
| \overline{ON}/OFF Pin = 0 V (regulator ON) | I_{IL} | - | 0.01 | 5.0 | μA |

- External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator system performance. When the LM2596 is used as shown in the Figure 15 test circuit, system performance will be as shown in system parameters section.
- The oscillator frequency reduces to approximately 30 kHz in the event of an output short or an overload which causes the regulated output voltage to drop approximately 40% from the nominal output voltage. This self protection feature lowers the average dissipation of the IC by lowering the minimum duty cycle from 5% down to approximately 2%.
- No diode, inductor or capacitor connected to output (Pin 2) sourcing the current.
- Feedback (Pin 4) removed from output and connected to 0 V.
- Feedback (Pin 4) removed from output and connected to +12 V to force the output transistor "off".
- $V_{in} = 40\text{ V}$.

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (Circuit of Figure 15)

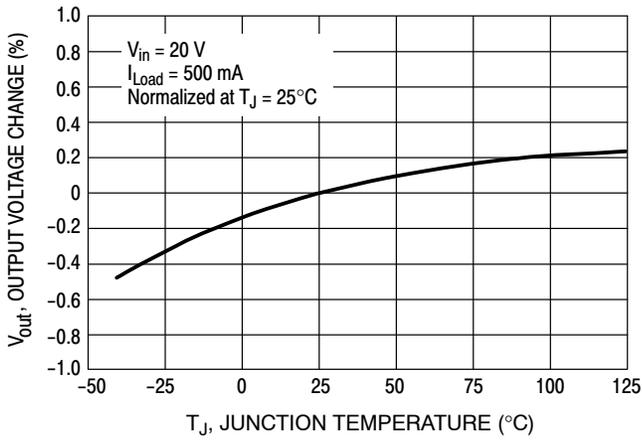


Figure 2. Normalized Output Voltage

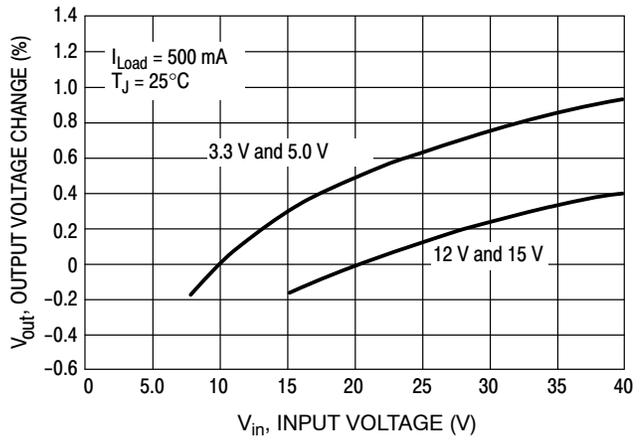


Figure 3. Line Regulation

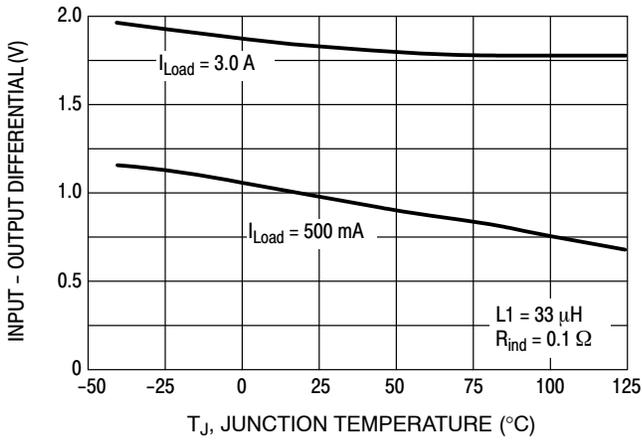


Figure 4. Dropout Voltage

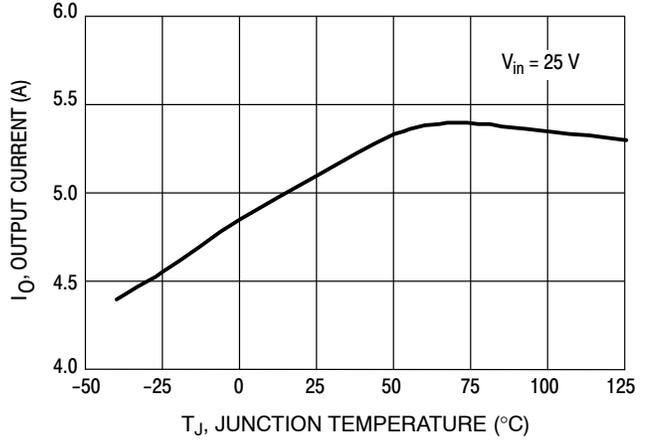


Figure 5. Current Limit

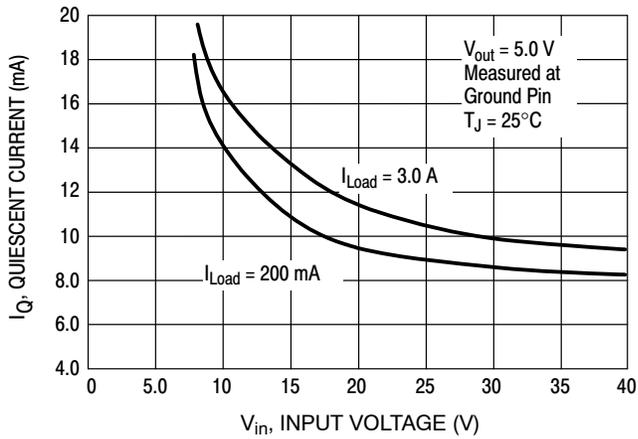


Figure 6. Quiescent Current

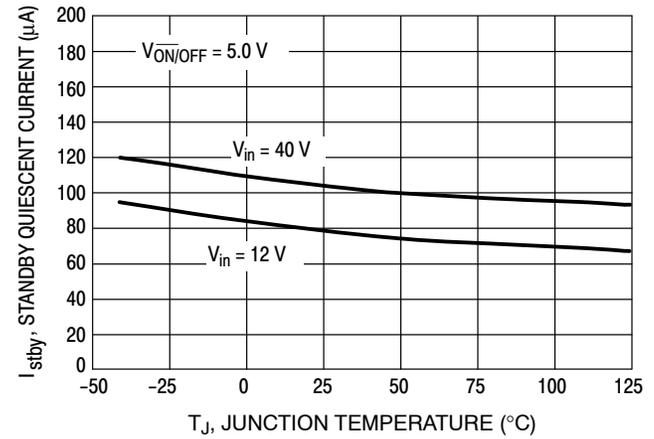


Figure 7. Standby Quiescent Current

LM2596

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (Circuit of Figure 15)

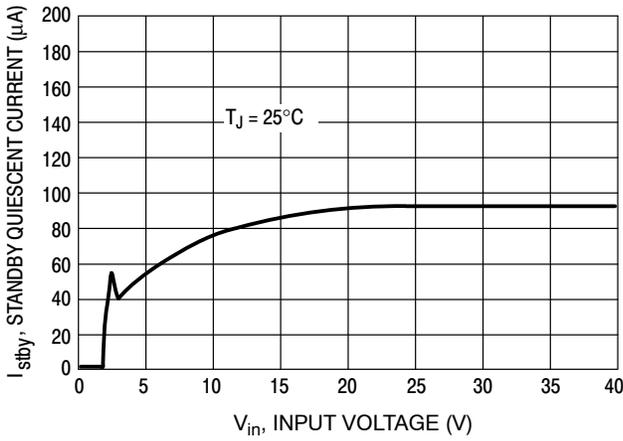


Figure 8. Standby Quiescent Current

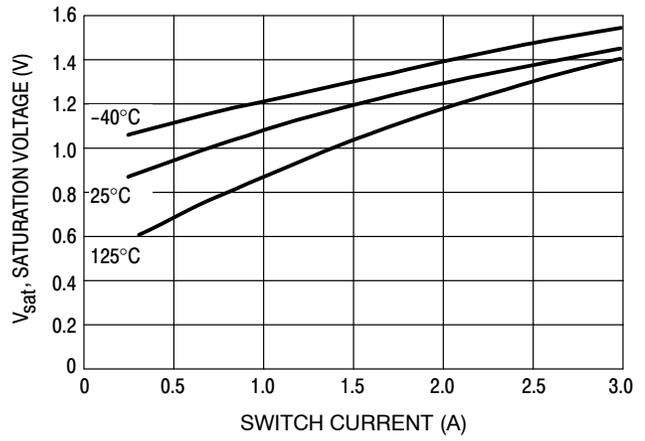


Figure 9. Switch Saturation Voltage

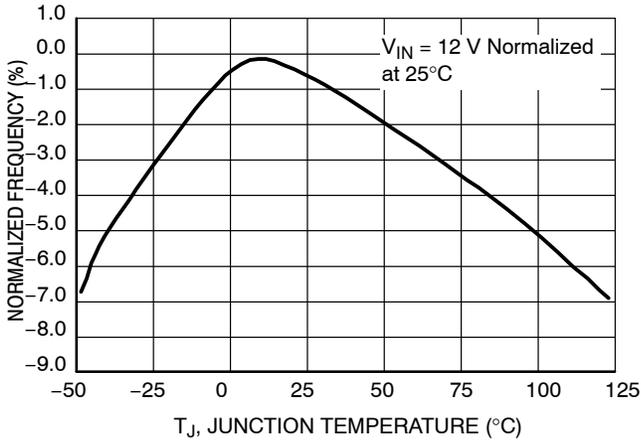


Figure 10. Switching Frequency

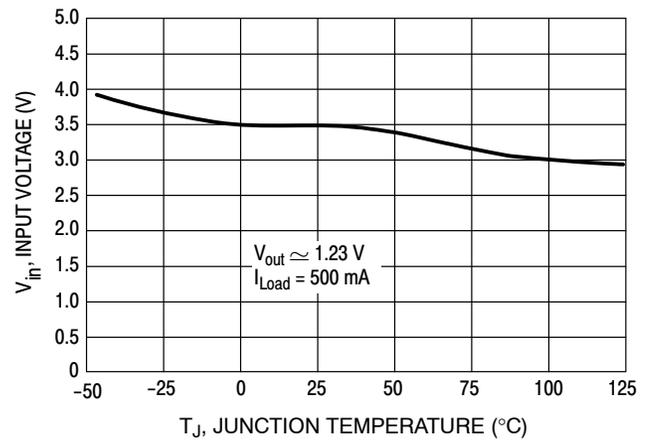


Figure 11. Minimum Supply Operating Voltage

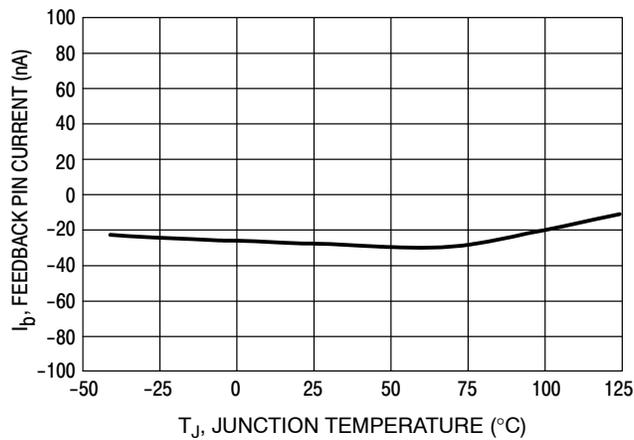


Figure 12. Feedback Pin Current

LM2596

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (Circuit of Figure 15)

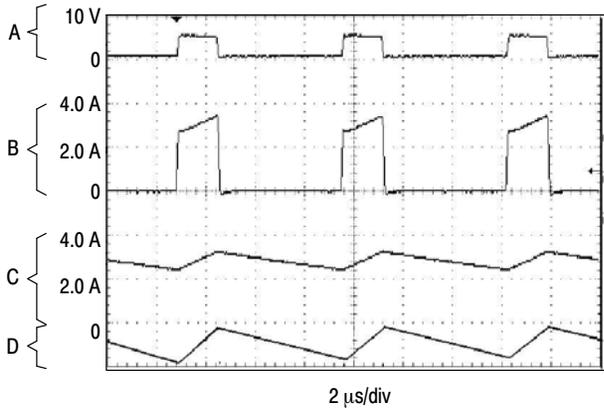


Figure 13. Switching Waveforms

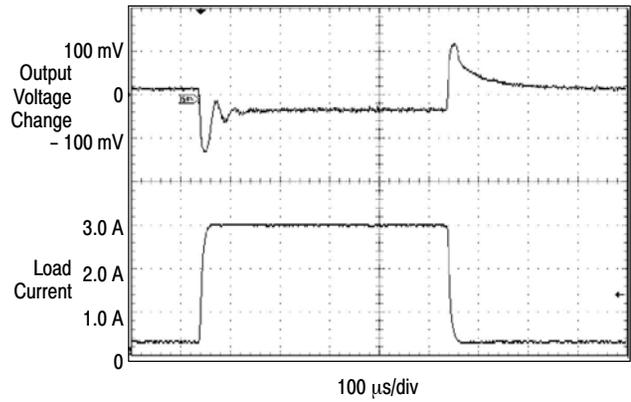


Figure 14. Load Transient Response

$V_{out} = 5\text{ V}$

A: Output Pin Voltage, 10 V/div

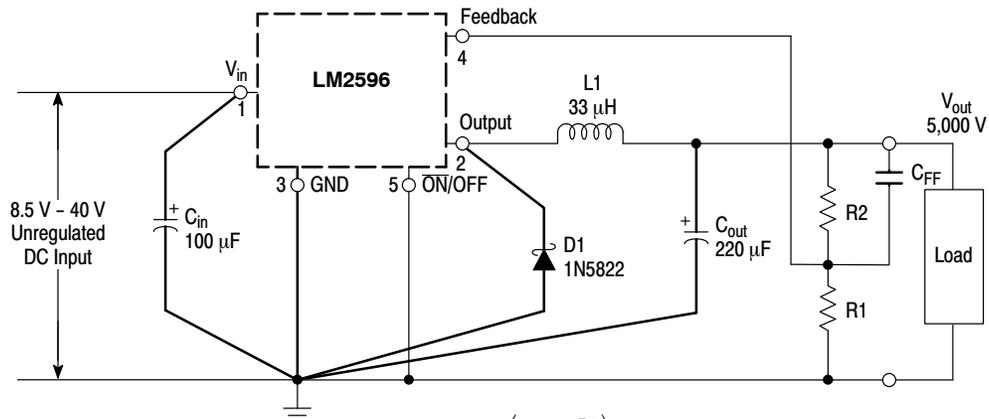
B: Switch Current, 2.0 A/div

C: Inductor Current, 2.0 A/div, AC-Coupled

D: Output Ripple Voltage, 50 mV/div, AC-Coupled

Horizontal Time Base: 5.0 μs/div

Adjustable Output Voltage Versions



$$V_{out} = V_{ref} \left(1.0 + \frac{R2}{R1} \right)$$

$$R2 = R1 \left(\frac{V_{out}}{V_{ref}} - 1.0 \right)$$

Where $V_{ref} = 1.23\text{ V}$, $R1$
between 1.0 k and 5.0 k

Figure 15. Typical Test Circuit

PCB LAYOUT GUIDELINES

As in any switching regulator, the layout of the printed circuit board is very important. Rapidly switching currents associated with wiring inductance, stray capacitance and parasitic inductance of the printed circuit board traces can generate voltage transients which can generate electromagnetic interferences (EMI) and affect the desired operation. As indicated in the Figure 15, to minimize inductance and ground loops, the length of the leads indicated by heavy lines should be kept as short as possible.

For best results, single-point grounding (as indicated) or ground plane construction should be used.

On the other hand, the PCB area connected to the Pin 2 (emitter of the internal switch) of the LM2596 should be kept to a minimum in order to minimize coupling to sensitive circuitry.

Another sensitive part of the circuit is the feedback. It is important to keep the sensitive feedback wiring short. To assure this, physically locate the programming resistors near to the regulator, when using the adjustable version of the LM2596 regulator.

DESIGN PROCEDURE

Buck Converter Basics

The LM2596 is a “Buck” or Step-Down Converter which is the most elementary forward-mode converter. Its basic schematic can be seen in Figure 16.

The operation of this regulator topology has two distinct time periods. The first one occurs when the series switch is on, the input voltage is connected to the input of the inductor.

The output of the inductor is the output voltage, and the rectifier (or catch diode) is reverse biased. During this period, since there is a constant voltage source connected across the inductor, the inductor current begins to linearly ramp upwards, as described by the following equation:

$$I_{L(\text{on})} = \frac{(V_{\text{IN}} - V_{\text{OUT}})t_{\text{on}}}{L}$$

During this “on” period, energy is stored within the core material in the form of magnetic flux. If the inductor is properly designed, there is sufficient energy stored to carry the requirements of the load during the “off” period.

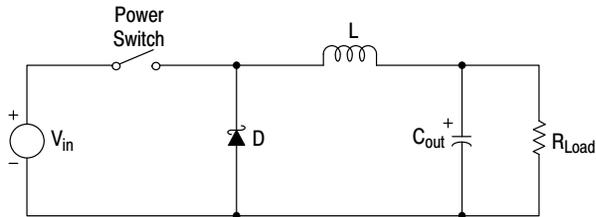


Figure 16. Basic Buck Converter

The next period is the “off” period of the power switch. When the power switch turns off, the voltage across the inductor reverses its polarity and is clamped at one diode voltage drop below ground by the catch diode. The current now flows through the catch diode thus maintaining the load current loop. This removes the stored energy from the inductor. The inductor current during this time is:

$$I_{L(\text{off})} = \frac{(V_{\text{OUT}} - V_{\text{D}})t_{\text{off}}}{L}$$

This period ends when the power switch is once again turned on. Regulation of the converter is accomplished by varying the duty cycle of the power switch. It is possible to describe the duty cycle as follows:

$$d = \frac{t_{\text{on}}}{T}, \text{ where } T \text{ is the period of switching.}$$

For the buck converter with ideal components, the duty cycle can also be described as:

$$d = \frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{in}}}$$

Figure 17 shows the buck converter, idealized waveforms of the catch diode voltage and the inductor current.

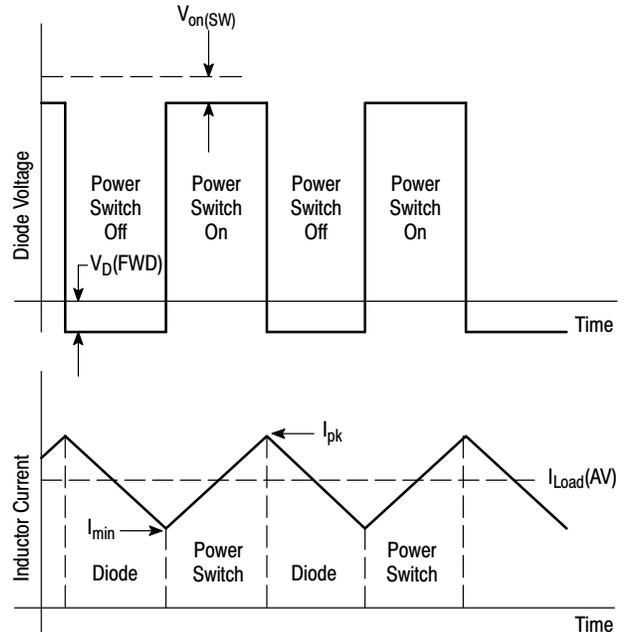


Figure 17. Buck Converter Idealized Waveforms

LM2596

PROCEDURE (ADJUSTABLE OUTPUT VERSION: LM2596)

| Procedure | Example |
|--|--|
| <p>Given Parameters: V_{out} = Regulated Output Voltage $V_{in(max)}$ = Maximum DC Input Voltage $I_{Load(max)}$ = Maximum Load Current</p> | <p>Given Parameters: V_{out} = 5.0 V $V_{in(max)}$ = 12 V $I_{Load(max)}$ = 3.0 A</p> |
| <p>1. Programming Output Voltage To select the right programming resistor R1 and R2 value (see Figure 1) use the following formula:</p> $V_{out} = V_{ref} \left(1.0 + \frac{R2}{R1} \right) \quad \text{where } V_{ref} = 1.23 \text{ V}$ <p>Resistor R1 can be between 1.0 k and 5.0 kΩ. (For best temperature coefficient and stability with time, use 1% metal film resistors).</p> $R2 = R1 \left(\frac{V_{out}}{V_{ref}} - 1.0 \right)$ | <p>1. Programming Output Voltage (selecting R1 and R2) Select R1 and R2:</p> $V_{out} = 1.23 \left(1.0 + \frac{R2}{R1} \right) \quad \text{Select } R1 = 1.0 \text{ k}\Omega$ $R2 = R1 \left(\frac{V_{out}}{V_{ref}} - 1.0 \right) = \left(\frac{5 \text{ V}}{1.23 \text{ V}} - 1.0 \right)$ <p>R2 = 3.0 kΩ, choose a 3.0k metal film resistor.</p> |
| <p>2. Input Capacitor Selection (C_{in}) To prevent large voltage transients from appearing at the input and for stable operation of the converter, an aluminium or tantalum electrolytic bypass capacitor is needed between the input pin +V_{in} and ground pin GND. This capacitor should be located close to the IC using short leads. This capacitor should have a low ESR (Equivalent Series Resistance) value.</p> <p>For additional information see input capacitor section in the "Application Information" section of this data sheet.</p> | <p>2. Input Capacitor Selection (C_{in}) A 100 μF, 50 V aluminium electrolytic capacitor located near the input and ground pin provides sufficient bypassing.</p> |
| <p>3. Catch Diode Selection (D1)</p> <p>A. Since the diode maximum peak current exceeds the regulator maximum load current the catch diode current rating must be at least 1.2 times greater than the maximum load current. For a robust design, the diode should have a current rating equal to the maximum current limit of the LM2596 to be able to withstand a continuous output short.</p> <p>B. The reverse voltage rating of the diode should be at least 1.25 times the maximum input voltage.</p> | <p>3. Catch Diode Selection (D1)</p> <p>A. For this example, a 3.0 A current rating is adequate.</p> <p>B. For robust design use a 30 V 1N5824 Schottky diode or any suggested fast recovery diode in the Table 2.</p> |

LM2596

PROCEDURE (ADJUSTABLE OUTPUT VERSION: LM2596) (CONTINUED)

| Procedure | Example |
|---|--|
| <p>4. Inductor Selection (L1)</p> <p>A. Use the following formula to calculate the inductor Volt x microsecond [V x μs] constant:</p> $E \times T = (V_{IN} - V_{OUT} - V_{SAT}) \times \frac{V_{OUT} + V_D}{V_{IN} - V_{SAT} + V_D} \times \frac{1000}{150 \text{ kHz}} (V \times \mu s)$ <p>B. Match the calculated E x T value with the corresponding number on the vertical axis of the Inductor Value Selection Guide shown in Figure 18. This E x T constant is a measure of the energy handling capability of an inductor and is dependent upon the type of core, the core area, the number of turns, and the duty cycle.</p> <p>C. Next step is to identify the inductance region intersected by the E x T value and the maximum load current value on the horizontal axis shown in Figure 18.</p> <p>D. Select an appropriate inductor from Table 3. The inductor chosen must be rated for a switching frequency of 150 kHz and for a current rating of 1.15 x I_{Load}. The inductor current rating can also be determined by calculating the inductor peak current:</p> $I_{p(max)} = I_{Load(max)} + \frac{(V_{in} - V_{out}) t_{on}}{2L}$ <p>where t_{on} is the "on" time of the power switch and</p> $t_{on} = \frac{V_{out}}{V_{in}} \times \frac{1.0}{f_{osc}}$ | <p>4. Inductor Selection (L1)</p> <p>A. Calculate E x T [V x μs] constant:</p> $E \times T = (12 - 5 - 1.5) \times \frac{5 + 0.5}{12 - 5 + 0.5} \times \frac{1000}{150 \text{ kHz}} (V \times \mu s)$ $E \times T = (5.5) \times \frac{5.5}{7.5} \times 6.6 (V \times \mu s)$ <p>B. E x T = 27 [V x μs]</p> <p>C. I_{Load(max)} = 3.0 A Inductance Region = L40</p> <p>D. Proper inductor value = 33 μH Choose the inductor from Table 3.</p> |
| <p>5. Output Capacitor Selection (C_{out})</p> <p>A. Since the LM2596 is a forward-mode switching regulator with voltage mode control, its open loop has 2-pole-1-zero frequency characteristic. The loop stability is determined by the output capacitor (capacitance, ESR) and inductance values.</p> <p>For stable operation use recommended values of the output capacitors in Table 1. Low ESR electrolytic capacitors between 220uF and 1500uF provide best results.</p> <p>B. The capacitors voltage rating should be at least 1.5 times greater than the output voltage, and often much higher voltage rating is needed to satisfy low ESR requirement</p> | <p>5. Output Capacitor Selection (C_{out})</p> <p>A. In this example is recommended Nichicon PM capacitors: 470 μF/35 V or 220 μF/35 V</p> |
| <p>6. Feedforward Capacitor (C_{FF})</p> <p>It provides additional stability mainly for higher input voltages. For C_{FF} selection use Table 1. The compensation capacitor between 0.6 nF and 40 nF is wired in parallel with the output voltage setting resistor R2. The capacitor type can be ceramic, plastic, etc..</p> | <p>6. Feedforward Capacitor (C_{FF})</p> <p>In this example is recommended feedforward capacitor 15 nF or 5 nF.</p> |

LM2596

LM2596 Series Buck Regulator Design Procedures (continued)

Table 1. RECOMMENDED VALUES OF THE OUTPUT CAPACITOR AND FEEDFORWARD CAPACITOR

($I_{load} = 3\text{ A}$)

| Nichicon PM Capacitors | | | | | | | | |
|------------------------|--|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| V_{in} (V) | Capacity/Voltage Range/ESR ($\mu\text{F}/\text{V}/\text{m}\Omega$) | | | | | | | |
| 40 | 1500/35/24 | 1000/35/29 | 1000/35/29 | 680/35/36 | 560/25/55 | 560/25/55 | 470/35/46 | 470/35/46 |
| 26 | 1200/35/26 | 820/35 | 680/35/36 | 560/35/41 | 470/25/65 | 470/25/65 | 330/35/60 | |
| 22 | 1000/35/29 | 680/35/36 | 560/35/41 | 330/25/85 | 330/25/85 | 220/35/85 | | |
| 20 | 820/35/32 | 470/35/46 | 470/25/65 | 330/25/85 | 330/25/85 | 220/35/85 | | |
| 18 | 820/35/32 | 470/35/46 | 470/25/65 | 330/25/85 | 330/25/85 | 220/35/85 | | |
| 12 | 820/35/32 | 470/35/46 | 220/35/85 | 220/25/111 | | | | |
| 10 | 820/35/32 | 470/35/46 | 220/35/85 | | | | | |
| V_{out} (V) | 2 | 4 | 6 | 9 | 12 | 15 | 24 | 28 |
| C_{FF} (nF) | 40 | 15 | 5 | 2 | 1.5 | 1 | 0.6 | 0.6 |

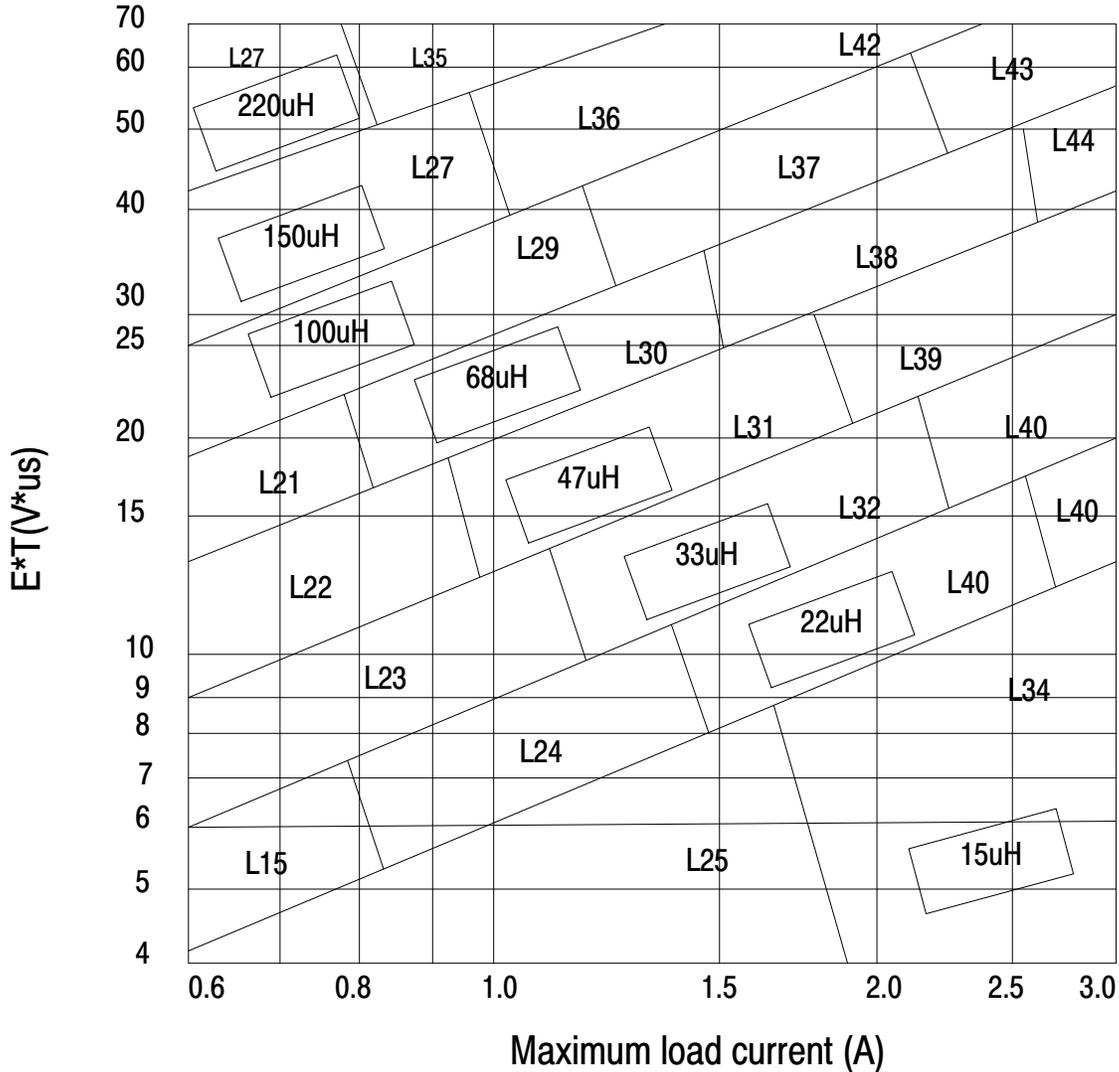


Figure 18. Inductor Value Selection Guides (For Continuous Mode Operation)

LM2596

Table 2. DIODE SELECTION

| V _R | Schottky | | | | Fast Recovery | | | |
|----------------|---|--|---------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|--|--------------------------------------|--------------------------------------|
| | 3.0 A | | 4.0 – 6.0 A | | 3.0 A | | 4.0 – 6.0 A | |
| | Through Hole | Surface Mount | Through Hole | Surface Mount | Through Hole | Surface Mount | Through Hole | Surface Mount |
| 20 V | 1N5820 MBR320P SR302 | SK32 | 1N5823 SR502 SB520 | | | | | |
| 30 V | 1N5821 MBR330 SR303 31DQ03 | SK33 30WQ03 | 1N5824 SR503 SB530 | 50WQ03 | MUR320 31DF1 HER302 | MURS320T3 MURD320 30WF10 | MUR420 HER602 | MURD620CT 50WF10 |
| 40 V | 1N5822 MBR340 SR304 31DQ04 | SK34 30WQ04 MBRS340T3 MBRD340 | 1N5825 SR504 SB540 | MBRD640CT 50WQ04 | (all diodes rated to at least 100 V) | (all diodes rated to at least 100 V) | (all diodes rated to at least 100 V) | (all diodes rated to at least 100 V) |
| 50 V | MBR350 31DQ05 SR305 | SK35 30WQ05 | SB550 | 50WQ05 | | | | |
| 60 V | MBR360 DQ06 SR306 | MBRS360T3 MBRD360 | 50SQ080 | MBRD660CT | | | | |

NOTE: Diodes listed in bold are available from ON Semiconductor.

LM2596

Table 3. INDUCTOR MANUFACTURERS PART NUMBERS

| | Inductance (μ H) | Current (A) | Schott | | Renco | | Pulse Engineering | | Coilcraft |
|-----|--------------------------|----------------|--------------|---------------|---------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|
| | | | Through Hole | Surface Mount | Through Hole | Surface Mount | Through Hole | Surface Mount | Surface Mount |
| L15 | 22 | 0.99 | 67148350 | 67148460 | RL-1284-22-43 | RL1500-22 | PE-53815 | PE-53815-S | DO3308-223 |
| L21 | 68 | 0.99 | 67144070 | 67144450 | RL-5471-5 | RL1500-68 | PE-53821 | PE-53821-S | DO3316-683 |
| L22 | 47 | 1.17 | 67144080 | 67144460 | RL-5471-6 | - | PE-53822 | PE-53822-S | DO3316-473 |
| L23 | 33 | 1.40 | 67144090 | 67144470 | RL-5471-7 | - | PE-53823 | PE-53823-S | DO3316-333 |
| L24 | 22 | 1.70 | 67148370 | 67148480 | RL-1283-22-43 | - | PE-53824 | PE-53825-S | DO3316-223 |
| L25 | 15 | 2.10 | 67148380 | 67148490 | RL-1283-15-43 | - | PE-53825 | PE-53824-S | DO3316-153 |
| L26 | 330 | 0.80 | 67144100 | 67144480 | RL-5471-1 | - | PE-53826 | PE-53826-S | DO5022P-334 |
| L27 | 220 | 1.00 | 67144110 | 67144490 | RL-5471-2 | - | PE-53827 | PE-53827-S | DO5022P-224 |
| L28 | 150 | 1.20 | 67144120 | 67144500 | RL-5471-3 | - | PE-53828 | PE-53828-S | DO5022P-154 |
| L29 | 100 | 1.47 | 67144130 | 67144510 | RL-5471-4 | - | PE-53829 | PE-53829-S | DO5022P-104 |
| L30 | 68 | 1.78 | 67144140 | 67144520 | RL-5471-5 | - | PE-53830 | PE-53830-S | DO5022P-683 |
| L31 | 47 | 2.20 | 67144150 | 67144530 | RL-5471-6 | - | PE-53831 | PE-53831-S | DO5022P-473 |
| L32 | 33 | 2.50 | 67144160 | 67144540 | RL-5471-7 | - | PE-53932 | PE-53932-S | DO5022P-333 |
| L33 | 22 | 3.10 | 67148390 | 67148500 | RL-1283-22-43 | - | PE-53933 | PE-53933-S | DO5022P-223 |
| L34 | 15 | 3.40 | 67148400 | 67148790 | RL-1283-15-43 | - | PE-53934 | PE-53934-S | DO5022P-153 |
| L35 | 220 | 1.70 | 67144170 | - | RL-5473-1 | - | PE-53935 | PE-53935-S | - |
| L36 | 150 | 2.10 | 67144180 | - | RL-5473-4 | - | PE-54036 | PE-54036-S | - |
| L37 | 100 | 2.50 | 67144190 | - | RL-5472-1 | - | PE-54037 | PE-54037-S | - |
| L38 | 68 | 3.10 | 67144200 | - | RL-5472-2 | - | PE-54038 | PE-54038-S | DO5040H-683ML |
| L39 | 47 | 3.50 | 67144210 | - | RL-5472-3 | - | PE-54039 | PE-54039-S | DO5040H-473ML |
| L40 | 33 | 3.50 | 67144220 | 67148290 | RL-5472-4 | - | PE-54040 | PE-54040-S | DO5040H-333ML |
| L41 | 22 | 3.50 | 67144230 | 67148300 | RL-5472-5 | - | PE-54041 | PE-54041-S | DO5040H-223ML |
| L42 | 150 | 2.70 | 67148410 | - | RL-5473-4 | - | PE-54042 | PE-54042-S | - |
| L43 | 100 | 3.40 | 67144240 | - | RL-5473-2 | - | PE-54043 | | - |
| L44 | 68 | 3.40 | 67144250 | - | RL-5473-3 | - | PE-54044 | | DO5040H-683ML |

APPLICATION INFORMATION

EXTERNAL COMPONENTS

Input Capacitor (C_{in})***The Input Capacitor Should Have a Low ESR***

For stable operation of the switch mode converter a low ESR (Equivalent Series Resistance) aluminium or solid tantalum bypass capacitor is needed between the input pin and the ground pin, to prevent large voltage transients from appearing at the input. It must be located near the regulator and use short leads. With most electrolytic capacitors, the capacitance value decreases and the ESR increases with lower temperatures. For reliable operation in temperatures below -25°C larger values of the input capacitor may be needed. Also paralleling a ceramic or solid tantalum capacitor will increase the regulator stability at cold temperatures.

RMS Current Rating of C_{in}

The important parameter of the input capacitor is the RMS current rating. Capacitors that are physically large and have large surface area will typically have higher RMS current ratings. For a given capacitor value, a higher voltage electrolytic capacitor will be physically larger than a lower voltage capacitor, and thus be able to dissipate more heat to the surrounding air, and therefore will have a higher RMS current rating. The consequence of operating an electrolytic capacitor beyond the RMS current rating is a shortened operating life. In order to assure maximum capacitor operating lifetime, the capacitor's RMS ripple current rating should be:

$$I_{\text{rms}} > 1.2 \times d \times I_{\text{Load}}$$

where d is the duty cycle, for a buck regulator

$$d = \frac{t_{\text{on}}}{T} = \frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{in}}}$$

and $d = \frac{t_{\text{on}}}{T} = \frac{|V_{\text{out}}|}{|V_{\text{out}}| + V_{\text{in}}}$ for a buck-boost regulator.

Output Capacitor (C_{out})

For low output ripple voltage and good stability, low ESR output capacitors are recommended. An output capacitor has two main functions: it filters the output and provides

regulator loop stability. The ESR of the output capacitor and the peak-to-peak value of the inductor ripple current are the main factors contributing to the output ripple voltage value. Standard aluminium electrolytics could be adequate for some applications but for quality design, low ESR types are recommended.

An aluminium electrolytic capacitor's ESR value is related to many factors such as the capacitance value, the voltage rating, the physical size and the type of construction. In most cases, the higher voltage electrolytic capacitors have lower ESR value. Often capacitors with much higher voltage ratings may be needed to provide low ESR values that, are required for low output ripple voltage.

Feedforward Capacitor***(Adjustable Output Voltage Version)***

This capacitor adds lead compensation to the feedback loop and increases the phase margin for better loop stability. For C_{FF} selection, see the design procedure section.

The Output Capacitor Requires an ESR Value***That Has an Upper and Lower Limit***

As mentioned above, a low ESR value is needed for low output ripple voltage, typically 1% to 2% of the output voltage. But if the selected capacitor's ESR is extremely low (below 0.05Ω), there is a possibility of an unstable feedback loop, resulting in oscillation at the output. This situation can occur when a tantalum capacitor, that can have a very low ESR, is used as the only output capacitor.

At Low Temperatures, Put in Parallel Aluminium Electrolytic Capacitors with Tantalum Capacitors

Electrolytic capacitors are not recommended for temperatures below -25°C . The ESR rises dramatically at cold temperatures and typically rises 3 times at -25°C and as much as 10 times at -40°C . Solid tantalum capacitors have much better ESR spec at cold temperatures and are recommended for temperatures below -25°C . They can be also used in parallel with aluminium electrolytics. The value of the tantalum capacitor should be about 10% or 20% of the total capacitance. The output capacitor should have at least 50% higher RMS ripple current rating at 150 kHz than the peak-to-peak inductor ripple current.

Catch Diode

Locate the Catch Diode Close to the LM2596

The LM2596 is a step-down buck converter; it requires a fast diode to provide a return path for the inductor current when the switch turns off. This diode must be located close to the LM2596 using short leads and short printed circuit traces to avoid EMI problems.

Use a Schottky or a Soft Switching

Ultra-Fast Recovery Diode

Since the rectifier diodes are very significant sources of losses within switching power supplies, choosing the rectifier that best fits into the converter design is an important process. Schottky diodes provide the best performance because of their fast switching speed and low forward voltage drop.

They provide the best efficiency especially in low output voltage applications (5.0 V and lower). Another choice could be Fast-Recovery, or Ultra-Fast Recovery diodes. It has to be noted, that some types of these diodes with an abrupt turnoff characteristic may cause instability or EMI troubles.

A fast-recovery diode with soft recovery characteristics can better fulfill some quality, low noise design requirements. Table 2 provides a list of suitable diodes for the LM2596 regulator. Standard 50/60 Hz rectifier diodes, such as the 1N4001 series or 1N5400 series are **NOT** suitable.

Inductor

The magnetic components are the cornerstone of all switching power supply designs. The style of the core and the winding technique used in the magnetic component's design has a great influence on the reliability of the overall power supply.

Using an improper or poorly designed inductor can cause high voltage spikes generated by the rate of transitions in current within the switching power supply, and the possibility of core saturation can arise during an abnormal operational mode. Voltage spikes can cause the semiconductors to enter avalanche breakdown and the part can instantly fail if enough energy is applied. It can also cause significant RFI (Radio Frequency Interference) and EMI (Electro-Magnetic Interference) problems.

Continuous and Discontinuous Mode of Operation

The LM2596 step-down converter can operate in both the continuous and the discontinuous modes of operation. The regulator works in the continuous mode when loads are relatively heavy, the current flows through the inductor continuously and never falls to zero. Under light load conditions, the circuit will be forced to the discontinuous mode when inductor current falls to zero for certain period of time (see Figure 19 and Figure 20). Each mode has distinctively different operating characteristics, which can affect the regulator performance and requirements. In many cases the preferred mode of operation is the continuous mode. It offers greater output power, lower peak currents in the switch, inductor and diode, and can have a lower output

ripple voltage. On the other hand it does require larger inductor values to keep the inductor current flowing continuously, especially at low output load currents and/or high input voltages.

To simplify the inductor selection process, an inductor selection guide for the LM2596 regulator was added to this data sheet (Figure 18). This guide assumes that the regulator is operating in the continuous mode, and selects an inductor that will allow a peak-to-peak inductor ripple current to be a certain percentage of the maximum design load current. This percentage is allowed to change as different design load currents are selected. For light loads (less than approximately 300 mA) it may be desirable to operate the regulator in the discontinuous mode, because the inductor value and size can be kept relatively low. Consequently, the percentage of inductor peak-to-peak current increases. This discontinuous mode of operation is perfectly acceptable for this type of switching converter. Any buck regulator will be forced to enter discontinuous mode if the load current is light enough.

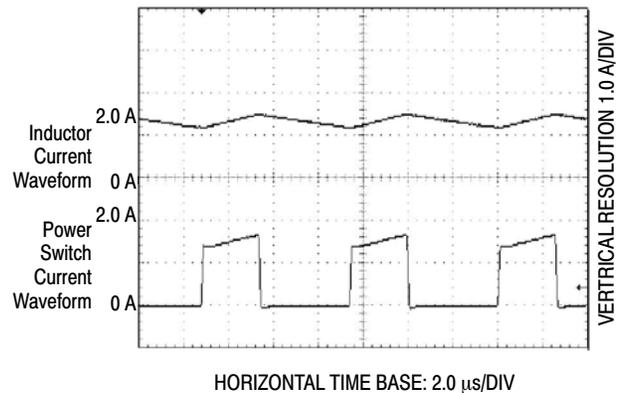


Figure 19. Continuous Mode Switching Current Waveforms

Selecting the Right Inductor Style

Some important considerations when selecting a core type are core material, cost, the output power of the power supply, the physical volume the inductor must fit within, and the amount of EMI (Electro-Magnetic Interference) shielding that the core must provide. The inductor selection guide covers different styles of inductors, such as pot core, E-core, toroid and bobbin core, as well as different core materials such as ferrites and powdered iron from different manufacturers.

For high quality design regulators the toroid core seems to be the best choice. Since the magnetic flux is contained within the core, it generates less EMI, reducing noise problems in sensitive circuits. The least expensive is the bobbin core type, which consists of wire wound on a ferrite rod core. This type of inductor generates more EMI due to the fact that its core is open, and the magnetic flux is not contained within the core.

When multiple switching regulators are located on the same printed circuit board, open core magnetics can cause

interference between two or more of the regulator circuits, especially at high currents due to mutual coupling. A toroid, pot core or E-core (closed magnetic structure) should be used in such applications.

Do Not Operate an Inductor Beyond its Maximum Rated Current

Exceeding an inductor's maximum current rating may cause the inductor to overheat because of the copper wire losses, or the core may saturate. Core saturation occurs when the flux density is too high and consequently the cross sectional area of the core can no longer support additional lines of magnetic flux.

This causes the permeability of the core to drop, the inductance value decreases rapidly and the inductor begins to look mainly resistive. It has only the DC resistance of the winding. This can cause the switch current to rise very rapidly and force the LM2596 internal switch into cycle-by-cycle current limit, thus reducing the DC output load current. This can also result in overheating of the

inductor and/or the LM2596. Different inductor types have different saturation characteristics, and this should be kept in mind when selecting an inductor.

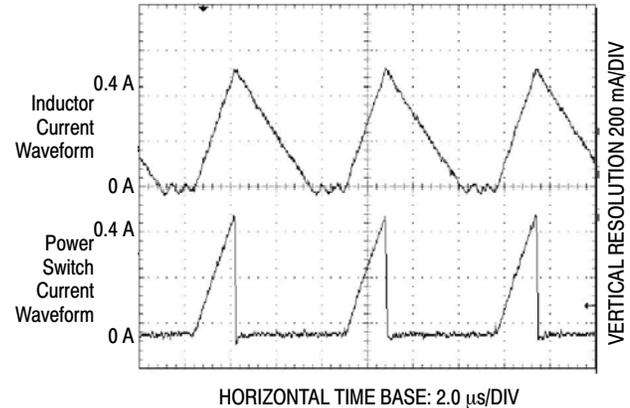


Figure 20. Discontinuous Mode Switching Current Waveforms

GENERAL RECOMMENDATIONS

Output Voltage Ripple and Transients Source of the Output Ripple

Since the LM2596 is a switch mode power supply regulator, its output voltage, if left unfiltered, will contain a sawtooth ripple voltage at the switching frequency. The output ripple voltage value ranges from 0.5% to 3% of the output voltage. It is caused mainly by the inductor sawtooth ripple current multiplied by the ESR of the output capacitor.

Short Voltage Spikes and How to Reduce Them

The regulator output voltage may also contain short voltage spikes at the peaks of the sawtooth waveform (see Figure 21). These voltage spikes are present because of the fast switching action of the output switch, and the parasitic inductance of the output filter capacitor. There are some other important factors such as wiring inductance, stray capacitance, as well as the scope probe used to evaluate these transients, all these contribute to the amplitude of these spikes. To minimize these voltage spikes, low inductance capacitors should be used, and their lead lengths must be kept short. The importance of quality printed circuit board layout design should also be highlighted.

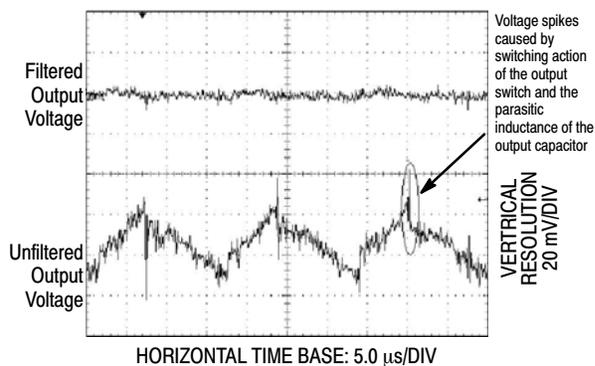


Figure 21. Output Ripple Voltage Waveforms

Minimizing the Output Ripple

In order to minimize the output ripple voltage it is possible to enlarge the inductance value of the inductor L1 and/or to use a larger value output capacitor. There is also another way to smooth the output by means of an additional LC filter (20 μ H, 100 μ F), that can be added to the output (see Figure 30) to further reduce the amount of output ripple and transients. With such a filter it is possible to reduce the output ripple voltage transients 10 times or more. Figure 21 shows the difference between filtered and unfiltered output waveforms of the regulator shown in Figure 30.

The lower waveform is from the normal unfiltered output of the converter, while the upper waveform shows the output ripple voltage filtered by an additional LC filter.

Heatsinking and Thermal Considerations

The Through-Hole Package TO-220

The LM2596 is available in two packages, a 5-pin TO-220(T, TV) and a 5-pin surface mount D²PAK(D2T). Although the TO-220(T) package needs a heatsink under most conditions, there are some applications that require no heatsink to keep the LM2596 junction temperature within the allowed operating range. Higher ambient temperatures require some heat sinking, either to the printed circuit (PC) board or an external heatsink.

The Surface Mount Package D²PAK and its Heatsinking

The other type of package, the surface mount D²PAK, is designed to be soldered to the copper on the PC board. The copper and the board are the heatsink for this package and the other heat producing components, such as the catch diode and inductor. The PC board copper area that the package is soldered to should be at least 0.4 in² (or 260 mm²) and ideally should have 2 or more square inches (1300 mm²) of 0.0028 inch copper. Additional increases of copper area beyond approximately 6.0 in² (4000 mm²) will not improve

heat dissipation significantly. If further thermal improvements are needed, double sided or multilayer PC boards with large copper areas should be considered. In order to achieve the best thermal performance, it is highly recommended to use wide copper traces as well as large areas of copper in the printed circuit board layout. The only exception to this is the OUTPUT (switch) pin, which should not have large areas of copper (see page 8 ‘PCB Layout Guideline’).

Thermal Analysis and Design

The following procedure must be performed to determine whether or not a heatsink will be required. First determine:

1. $P_{D(max)}$ maximum regulator power dissipation in the application.
2. $T_{A(max)}$ maximum ambient temperature in the application.
3. $T_{J(max)}$ maximum allowed junction temperature (125°C for the LM2596). For a conservative design, the maximum junction temperature should not exceed 110°C to assure safe operation. For every additional +10°C temperature rise that the junction must withstand, the estimated operating lifetime of the component is halved.
4. $R_{\theta JC}$ package thermal resistance junction–case.
5. $R_{\theta JA}$ package thermal resistance junction–ambient.

(Refer to Maximum Ratings on page 2 of this data sheet or $R_{\theta JC}$ and $R_{\theta JA}$ values).

The following formula is to calculate the approximate total power dissipated by the LM2596:

$$P_D = (V_{in} \times I_Q) + d \times I_{Load} \times V_{sat}$$

where d is the duty cycle and for buck converter

$$d = \frac{t_{on}}{T} = \frac{V_O}{V_{in}}$$

I_Q (quiescent current) and V_{sat} can be found in the LM2596 data sheet,

V_{in} is minimum input voltage applied,

V_O is the regulator output voltage,

I_{Load} is the load current.

The dynamic switching losses during turn–on and turn–off can be neglected if proper type catch diode is used.

Packages Not on a Heatsink (Free–Standing)

For a free–standing application when no heatsink is used, the junction temperature can be determined by the following expression:

$$T_J = (R_{\theta JA})(P_D) + T_A$$

where $(R_{\theta JA})(P_D)$ represents the junction temperature rise caused by the dissipated power and T_A is the maximum ambient temperature.

Packages on a Heatsink

If the actual operating junction temperature is greater than the selected safe operating junction temperature determined in step 3, than a heatsink is required. The junction temperature will be calculated as follows:

$$T_J = P_D (R_{\theta JA} + R_{\theta CS} + R_{\theta SA}) + T_A$$

where $R_{\theta JC}$ is the thermal resistance junction–case,

$R_{\theta CS}$ is the thermal resistance case–heatsink,

$R_{\theta SA}$ is the thermal resistance heatsink–ambient.

If the actual operating temperature is greater than the selected safe operating junction temperature, then a larger heatsink is required.

Some Aspects That can Influence Thermal Design

It should be noted that the package thermal resistance and the junction temperature rise numbers are all approximate, and there are many factors that will affect these numbers, such as PC board size, shape, thickness, physical position, location, board temperature, as well as whether the surrounding air is moving or still.

Other factors are trace width, total printed circuit copper area, copper thickness, single– or double–sided, multilayer board, the amount of solder on the board or even color of the traces.

The size, quantity and spacing of other components on the board can also influence its effectiveness to dissipate the heat.

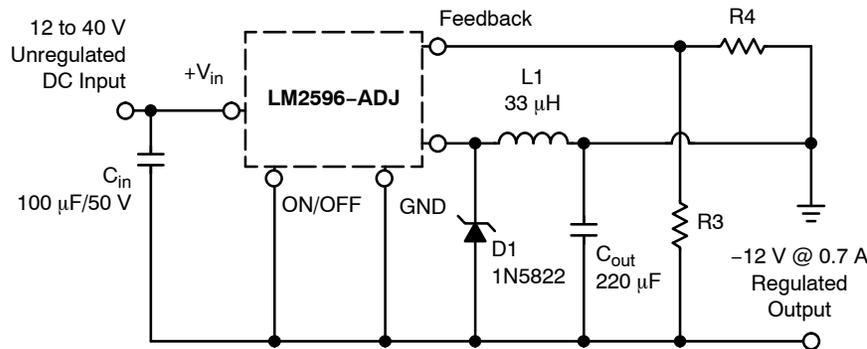


Figure 22. Inverting Buck–Boost Develops –12 V

ADDITIONAL APPLICATIONS

Inverting Regulator

An inverting buck-boost regulator using the LM2596-ADJ is shown in Figure 22. This circuit converts a positive input voltage to a negative output voltage with a common ground by bootstrapping the regulators ground to the negative output voltage. By grounding the feedback pin, the regulator senses the inverted output voltage and regulates it.

In this example the LM2596-12 is used to generate a -12 V output. The maximum input voltage in this case cannot exceed +28 V because the maximum voltage appearing across the regulator is the absolute sum of the input and output voltages and this must be limited to a maximum of 40 V.

This circuit configuration is able to deliver approximately 0.7 A to the output when the input voltage is 12 V or higher. At lighter loads the minimum input voltage required drops to approximately 4.7 V, because the buck-boost regulator topology can produce an output voltage that, in its absolute value, is either greater or less than the input voltage.

Since the switch currents in this buck-boost configuration are higher than in the standard buck converter topology, the available output current is lower.

This type of buck-boost inverting regulator can also require a larger amount of startup input current, even for light loads. This may overload an input power source with a current limit less than 5.0 A.

Such an amount of input startup current is needed for at least 2.0 ms or more. The actual time depends on the output voltage and size of the output capacitor.

Because of the relatively high startup currents required by this inverting regulator topology, the use of a delayed startup or an undervoltage lockout circuit is recommended.

Using a delayed startup arrangement, the input capacitor can charge up to a higher voltage before the switch-mode regulator begins to operate.

The high input current needed for startup is now partially supplied by the input capacitor C_{in} .

It has been already mentioned above, that in some situations, the delayed startup or the undervoltage lockout features could be very useful. A delayed startup circuit applied to a buck-boost converter is shown in Figure 27. Figure 29 in the “Undervoltage Lockout” section describes an undervoltage lockout feature for the same converter topology.

Design Recommendations:

The inverting regulator operates in a different manner than the buck converter and so a different design procedure has to be used to select the inductor $L1$ or the output capacitor C_{out} .

The output capacitor values must be larger than what is normally required for buck converter designs. Low input voltages or high output currents require a large value output capacitor (in the range of thousands of μF).

The recommended range of inductor values for the inverting converter design is between 68 μH and 220 μH . To select an inductor with an appropriate current rating, the inductor peak current has to be calculated.

The following formula is used to obtain the peak inductor current:

$$I_{\text{peak}} \approx \frac{I_{\text{Load}} (V_{\text{in}} + |V_{\text{O}}|)}{V_{\text{in}}} + \frac{V_{\text{in}} \times t_{\text{on}}}{2L_1}$$

where $t_{\text{on}} = \frac{|V_{\text{O}}|}{V_{\text{in}} + |V_{\text{O}}|} \times \frac{1.0}{f_{\text{osc}}}$, and $f_{\text{osc}} = 52 \text{ kHz}$.

Under normal continuous inductor current operating conditions, the worst case occurs when V_{in} is minimal.

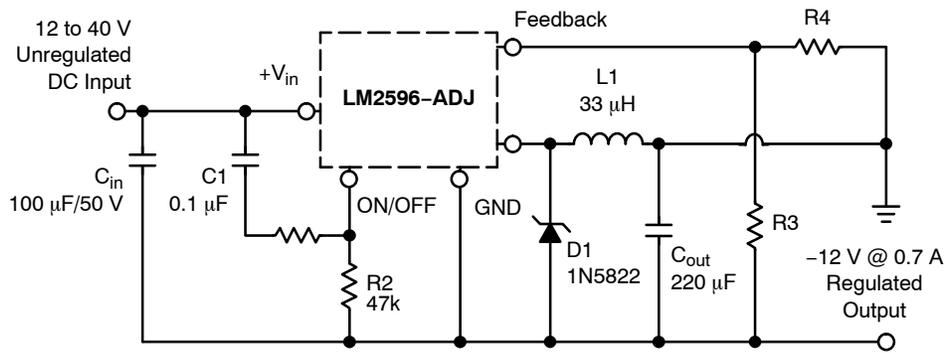
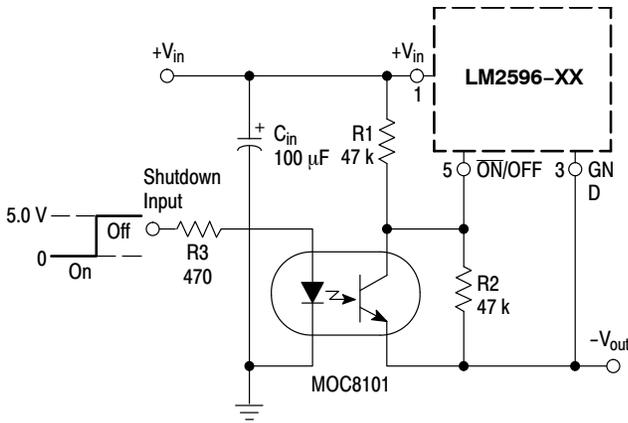


Figure 23. Inverting Buck-Boost Develops -12 V

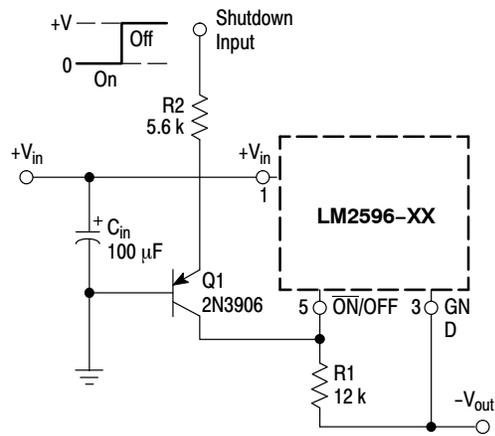
LM2596



NOTE: This picture does not show the complete circuit.

Figure 24. Inverting Buck-Boost Regulator Shutdown Circuit Using an Optocoupler

With the inverting configuration, the use of the $\overline{\text{ON/OFF}}$ pin requires some level shifting techniques. This is caused by the fact, that the ground pin of the converter IC is no longer at ground. Now, the $\overline{\text{ON/OFF}}$ pin threshold voltage (1.3 V approximately) has to be related to the negative output voltage level. There are many different possible shutdown methods, two of them are shown in Figures 24 and 25.



NOTE: This picture does not show the complete circuit.

Figure 25. Inverting Buck-Boost Regulator Shutdown Circuit Using a PNP Transistor

Negative Boost Regulator

This example is a variation of the buck-boost topology and it is called negative boost regulator. This regulator experiences relatively high switch current, especially at low input voltages. The internal switch current limiting results in lower output load current capability.

The circuit in Figure 26 shows the negative boost configuration. The input voltage in this application ranges from -5.0 V to -12 V and provides a regulated -12 V output. If the input voltage is greater than -12 V , the output will rise above -12 V accordingly, but will not damage the regulator.

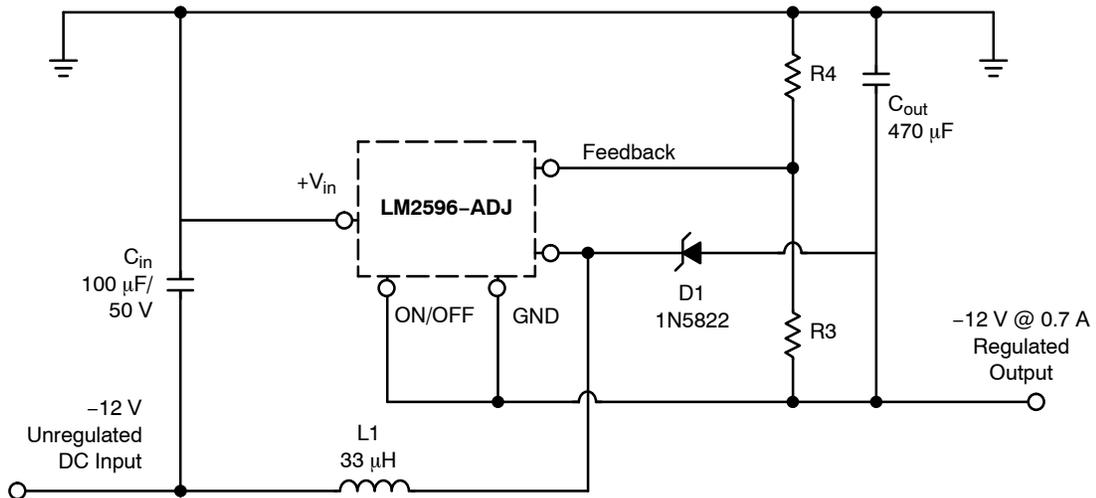


Figure 26. Negative Boost Regulator

Design Recommendations:

The same design rules as for the previous inverting buck-boost converter can be applied. The output capacitor C_{out} must be chosen larger than would be required for a what standard buck converter. Low input voltages or high output currents require a large value output capacitor (in the range of thousands of μF). The recommended range of inductor

values for the negative boost regulator is the same as for inverting converter design.

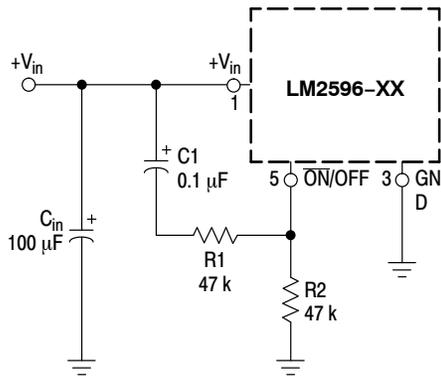
Another important point is that these negative boost converters cannot provide current limiting load protection in the event of a short in the output so some other means, such as a fuse, may be necessary to provide the load protection.

Delayed Startup

There are some applications, like the inverting regulator already mentioned above, which require a higher amount of startup current. In such cases, if the input power source is limited, this delayed startup feature becomes very useful.

To provide a time delay between the time when the input voltage is applied and the time when the output voltage comes up, the circuit in Figure 27 can be used. As the input voltage is applied, the capacitor C1 charges up, and the voltage across the resistor R2 falls down. When the voltage on the $\overline{\text{ON}}/\text{OFF}$ pin falls below the threshold value 1.3 V, the regulator starts up. Resistor R1 is included to limit the maximum voltage applied to the $\overline{\text{ON}}/\text{OFF}$ pin. It reduces the power supply noise sensitivity, and also limits the capacitor C1 discharge current, but its use is not mandatory.

When a high 50 Hz or 60 Hz (100 Hz or 120 Hz respectively) ripple voltage exists, a long delay time can cause some problems by coupling the ripple into the $\overline{\text{ON}}/\text{OFF}$ pin, the regulator could be switched periodically on and off with the line (or double) frequency.



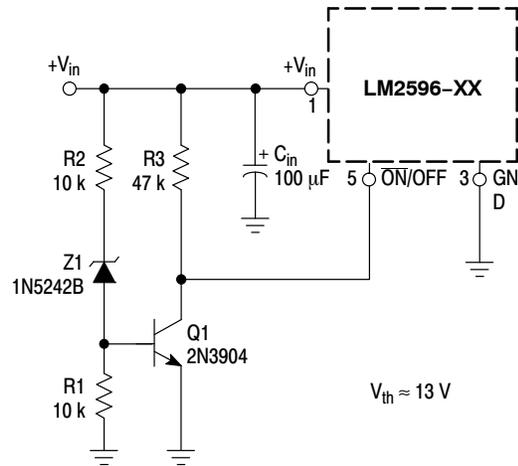
NOTE: This picture does not show the complete circuit.

Figure 27. Delayed Startup Circuitry

Undervoltage Lockout

Some applications require the regulator to remain off until the input voltage reaches a certain threshold level. Figure 28 shows an undervoltage lockout circuit applied to a buck regulator. A version of this circuit for buck–boost converter is shown in Figure 29. Resistor R3 pulls the $\overline{\text{ON}}/\text{OFF}$ pin high and keeps the regulator off until the input voltage reaches a predetermined threshold level with respect to the ground Pin 3, which is determined by the following expression:

$$V_{th} \approx V_{Z1} + \left(1.0 + \frac{R2}{R1}\right) V_{BE} (Q1)$$



NOTE: This picture does not show the complete circuit.

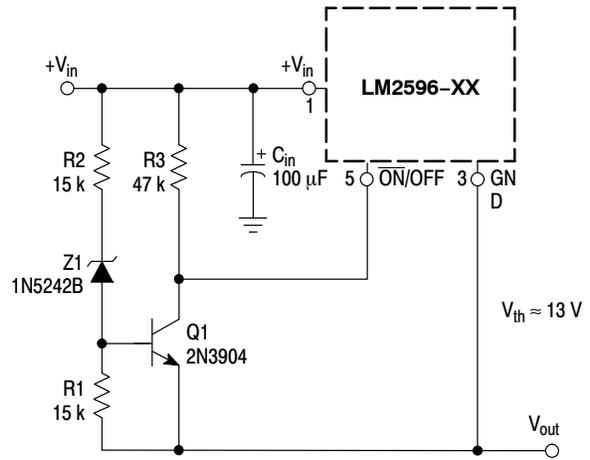
Figure 28. Undervoltage Lockout Circuit for Buck Converter

The following formula is used to obtain the peak inductor current:

$$I_{peak} \approx \frac{I_{Load} (V_{in} + |V_O|)}{V_{in}} + \frac{V_{in} \times t_{on}}{2L_1}$$

where $t_{on} = \frac{|V_O|}{V_{in} + |V_O|} \times \frac{1.0}{f_{osc}}$, and $f_{osc} = 52 \text{ kHz}$.

Under normal continuous inductor current operating conditions, the worst case occurs when V_{in} is minimal.



NOTE: This picture does not show the complete circuit.

Figure 29. Undervoltage Lockout Circuit for Buck–Boost Converter

Adjustable Output, Low-Ripple Power Supply

A 3.0 A output current capability power supply that features an adjustable output voltage is shown in Figure 30.

This regulator delivers 3.0 A into 1.2 V to 35 V output. The input voltage ranges from roughly 3.0 V to 40 V. In order to achieve a 10 or more times reduction of output ripple, an additional L–C filter is included in this circuit.

LM2596

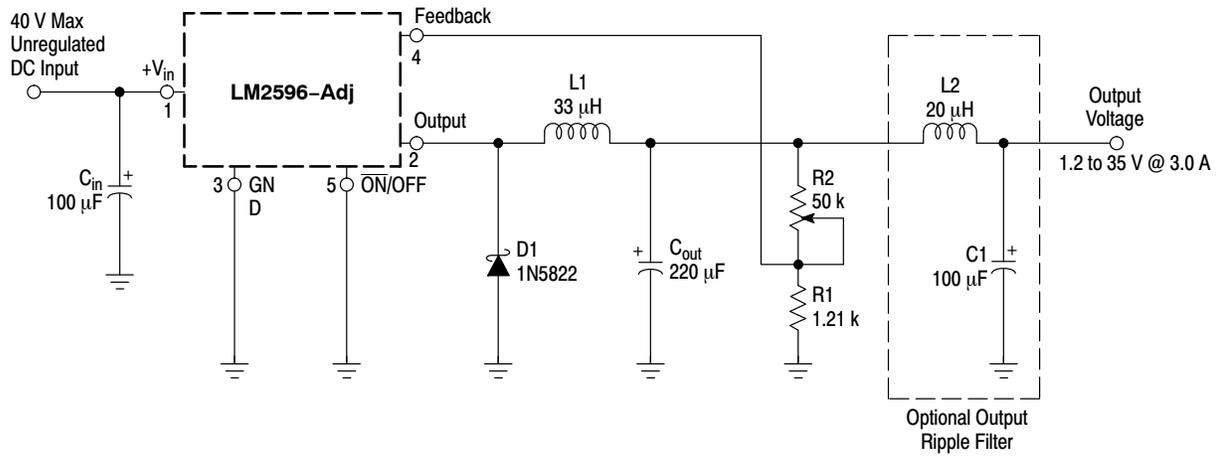


Figure 30. 1.2 to 35 V Adjustable 3.0 A Power Supply with Low Output Ripple

LM2596

THE LM2596 STEP-DOWN VOLTAGE REGULATOR WITH 5.0 V @ 3.0 A OUTPUT POWER CAPABILITY. TYPICAL APPLICATION WITH THROUGH-HOLE PC BOARD LAYOUT

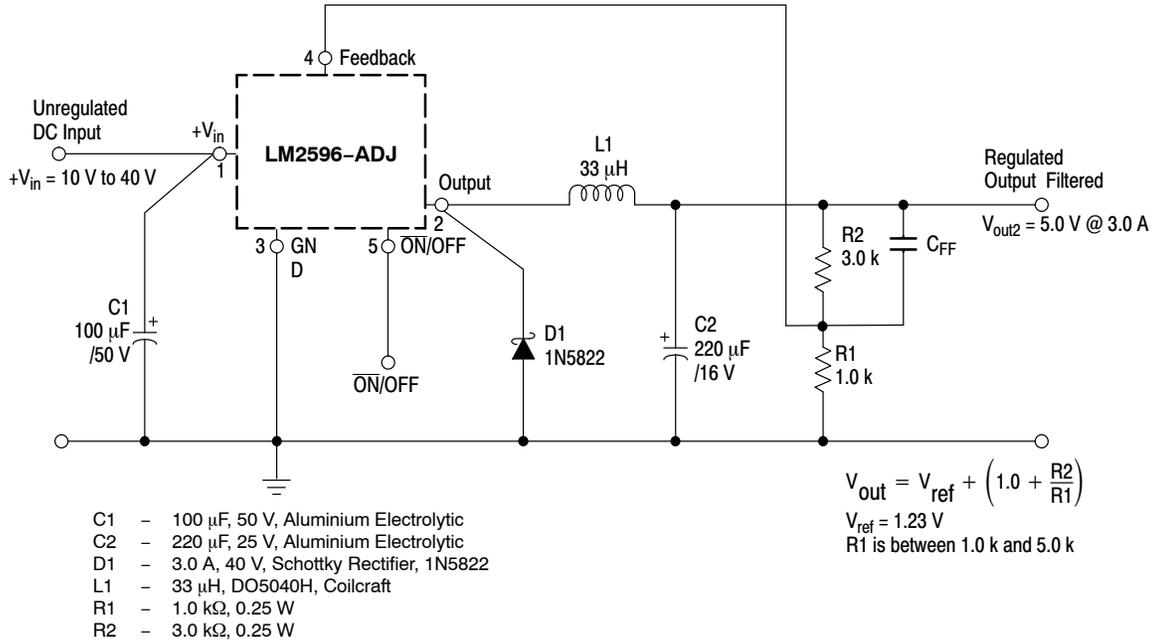
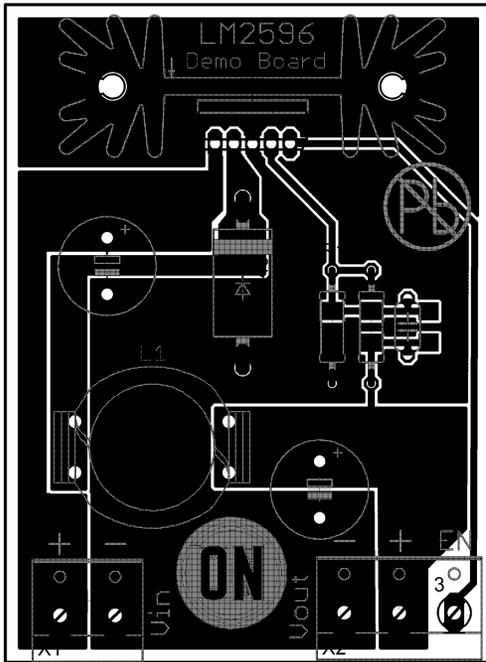
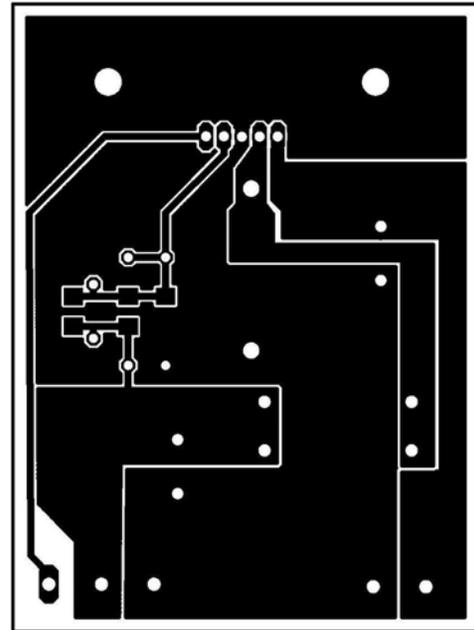


Figure 31. Schematic Diagram of the 5.0 V @ 3.0 A Step-Down Converter Using the LM2596-ADJ



**Figure 32. Printed Circuit Board Layout
Component Side**



**Figure 33. Printed Circuit Board Layout
Copper Side**

References

- National Semiconductor LM2596 Data Sheet and Application Note
- National Semiconductor LM2595 Data Sheet and Application Note
- Marty Brown "Practical Switching Power Supply Design", Academic Press, Inc., San Diego 1990
- Ray Ridley "High Frequency Magnetics Design", Ridley Engineering, Inc. 1995

LM2596

ORDERING INFORMATION

| Device | Package | Shipping† |
|----------------|---------------------------------|-------------------|
| LM2596TADJG | TO-220 (Pb-Free) | 50 Units / Rail |
| LM2596TVADJG | TO-220 (F) (Pb-Free) | 50 Units / Rail |
| LM2596DSADJG | D ² PAK (Pb-Free) | 50 Units / Rail |
| LM2596DSADJR4G | D ² PAK (Pb-Free) | 800 / Tape & Reel |

†For information on tape and reel specifications, including part orientation and tape sizes, please refer to our Tape and Reel Packaging Specifications Brochure, BRD8011/D.

MARKING DIAGRAMS

TO-220
TV SUFFIX
CASE 314B



TO-220
T SUFFIX
CASE 314D



D²PAK
DS SUFFIX
CASE 936A

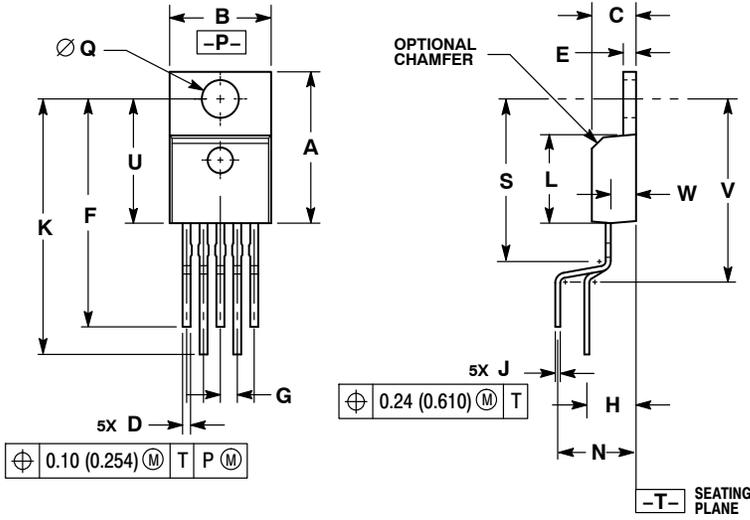


A = Assembly Location
 WL = Wafer Lot
 Y = Year
 WW = Work Week
 G = Pb-Free Package

LM2596

PACKAGE DIMENSIONS

TO-220
TV SUFFIX
CASE 314B-05
ISSUE L

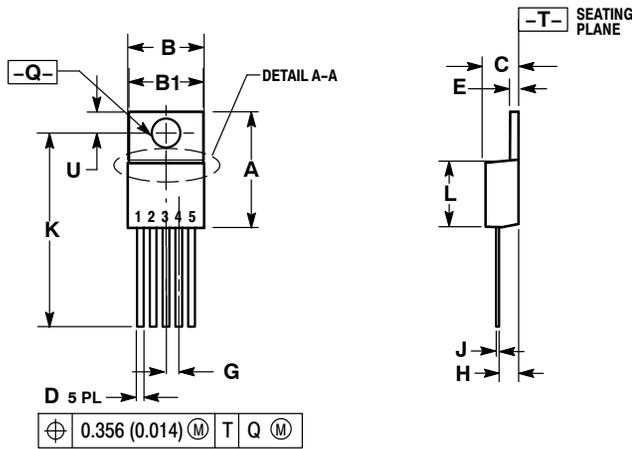


NOTES:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. DIMENSION D DOES NOT INCLUDE INTERCONNECT BAR (DAMBAR) PROTRUSION. DIMENSION D INCLUDING PROTRUSION SHALL NOT EXCEED 0.043 (1.092) MAXIMUM.

| DIM | INCHES | | MILLIMETERS | |
|-----|-----------|-------|-------------|--------|
| | MIN | MAX | MIN | MAX |
| A | 0.572 | 0.613 | 14.529 | 15.570 |
| B | 0.390 | 0.415 | 9.906 | 10.541 |
| C | 0.170 | 0.180 | 4.318 | 4.572 |
| D | 0.025 | 0.038 | 0.635 | 0.965 |
| E | 0.048 | 0.055 | 1.219 | 1.397 |
| F | 0.850 | 0.935 | 21.590 | 23.749 |
| G | 0.067 BSC | | 1.702 BSC | |
| H | 0.166 BSC | | 4.216 BSC | |
| J | 0.015 | 0.025 | 0.381 | 0.635 |
| K | 0.900 | 1.100 | 22.860 | 27.940 |
| L | 0.320 | 0.365 | 8.128 | 9.271 |
| N | 0.320 BSC | | 8.128 BSC | |
| Q | 0.140 | 0.153 | 3.556 | 3.886 |
| S | --- | 0.620 | --- | 15.748 |
| U | 0.468 | 0.505 | 11.888 | 12.827 |
| V | --- | 0.735 | --- | 18.669 |
| W | 0.090 | 0.110 | 2.286 | 2.794 |

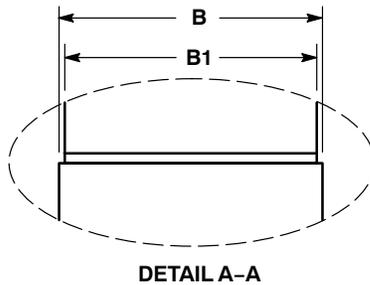
TO-220
T SUFFIX
CASE 314D-04
ISSUE F



NOTES:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. DIMENSION D DOES NOT INCLUDE INTERCONNECT BAR (DAMBAR) PROTRUSION. DIMENSION D INCLUDING PROTRUSION SHALL NOT EXCEED 10.92 (0.043) MAXIMUM.

| DIM | INCHES | | MILLIMETERS | |
|-----|-----------|-------|-------------|--------|
| | MIN | MAX | MIN | MAX |
| A | 0.572 | 0.613 | 14.529 | 15.570 |
| B | 0.390 | 0.415 | 9.906 | 10.541 |
| B1 | 0.375 | 0.415 | 9.525 | 10.541 |
| C | 0.170 | 0.180 | 4.318 | 4.572 |
| D | 0.025 | 0.038 | 0.635 | 0.965 |
| E | 0.048 | 0.055 | 1.219 | 1.397 |
| G | 0.067 BSC | | 1.702 BSC | |
| H | 0.087 | 0.112 | 2.210 | 2.845 |
| J | 0.015 | 0.025 | 0.381 | 0.635 |
| K | 0.977 | 1.045 | 24.810 | 26.543 |
| L | 0.320 | 0.365 | 8.128 | 9.271 |
| Q | 0.140 | 0.153 | 3.556 | 3.886 |
| U | 0.105 | 0.117 | 2.667 | 2.972 |

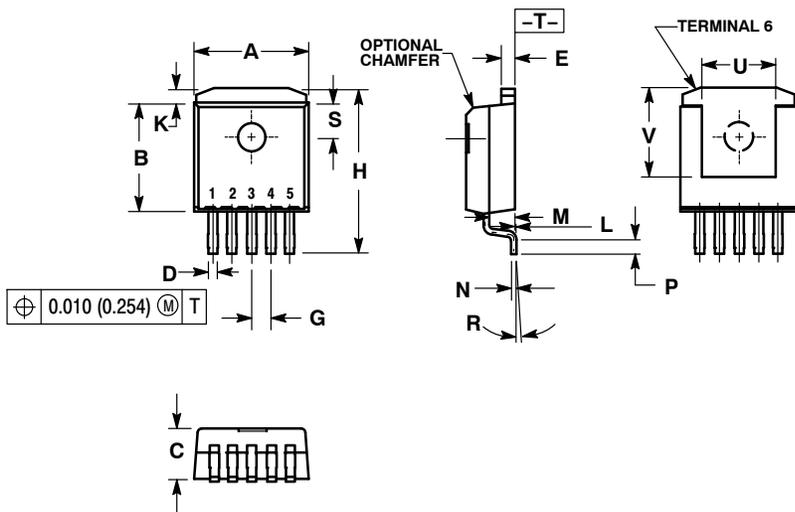


DETAIL A-A

LM2596

PACKAGE DIMENSIONS

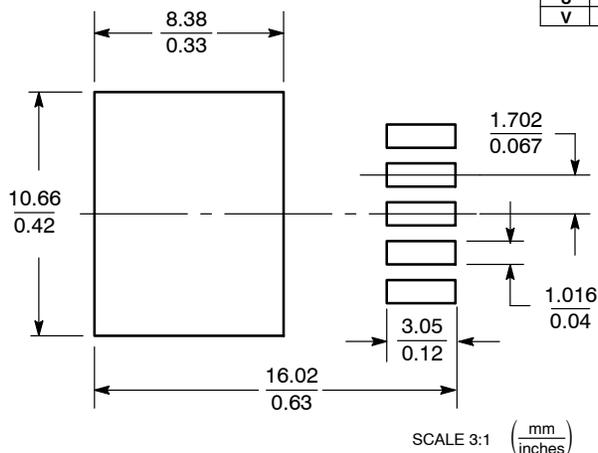
D²PAK
D2T SUFFIX
CASE 936A-02
ISSUE C



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
 3. TAB CONTOUR OPTIONAL WITHIN DIMENSIONS A AND K.
 4. DIMENSIONS U AND V ESTABLISH A MINIMUM MOUNTING SURFACE FOR TERMINAL 6.
 5. DIMENSIONS A AND B DO NOT INCLUDE MOLD FLASH OR GATE PROTRUSIONS. MOLD FLASH AND GATE PROTRUSIONS NOT TO EXCEED 0.025 (0.635) MAXIMUM.

| DIM | INCHES | | MILLIMETERS | |
|-----|-----------|-------|-------------|--------|
| | MIN | MAX | MIN | MAX |
| A | 0.386 | 0.403 | 9.804 | 10.236 |
| B | 0.356 | 0.368 | 9.042 | 9.347 |
| C | 0.170 | 0.180 | 4.318 | 4.572 |
| D | 0.026 | 0.036 | 0.660 | 0.914 |
| E | 0.045 | 0.055 | 1.143 | 1.397 |
| G | 0.067 BSC | | 1.702 BSC | |
| H | 0.539 | 0.579 | 13.691 | 14.707 |
| K | 0.050 REF | | 1.270 REF | |
| L | 0.000 | 0.010 | 0.000 | 0.254 |
| M | 0.088 | 0.102 | 2.235 | 2.591 |
| N | 0.018 | 0.026 | 0.457 | 0.660 |
| P | 0.058 | 0.078 | 1.473 | 1.981 |
| R | 5° REF | | 5° REF | |
| S | 0.116 REF | | 2.946 REF | |
| U | 0.200 MIN | | 5.080 MIN | |
| V | 0.250 MIN | | 6.350 MIN | |

SOLDERING FOOTPRINT*



*For additional information on our Pb-Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.

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

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

LITERATURE FULFILLMENT:
Literature Distribution Center for ON Semiconductor
P.O. Box 5163, Denver, Colorado 80217 USA
Phone: 303-675-2175 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada
Fax: 303-675-2176 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada
Email: orderlit@onsemi.com

N. American Technical Support: 800-282-9855 Toll Free
USA/Canada
Europe, Middle East and Africa Technical Support:
Phone: 421 33 790 2910
Japan Customer Focus Center
Phone: 81-3-5773-3850

ON Semiconductor Website: www.onsemi.com
Order Literature: <http://www.onsemi.com/orderlit>

For additional information, please contact your local Sales Representative