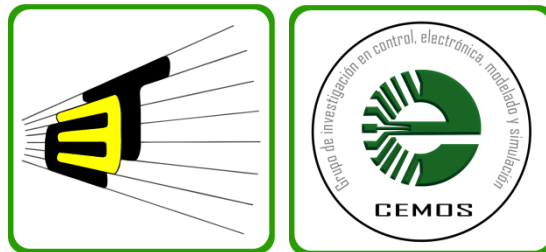


**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN TROCEADOR REDUCTOR OPERANDO
COMO FUENTE DE CORRIENTE.**

**FABIAN MARTINEZ OSORIO
EDWARD IGNACIO MEZA SANTOS
ALEXANDER PLATA USCATEGUI**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2013**

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN TROCEADOR REDUCTOR OPERANDO
COMO FUENTE DE CORRIENTE.**

**FABIAN MARTINEZ OSORIO
EDWARD IGNACIO MEZA SANTOS
ALEXANDER PLATA USCATEGUI**

Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero Electrónico.

Director

M.Sc. JAIME GUILLERMO BARRERO PEREZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2013**

DEDICATORIA

A Dios por guiarme y bendecirme en todo momento, especialmente durante mis estudios profesionales y el desarrollo del presente Proyecto de Grado.

A mis padres Miguel De Jesús Martínez Reyes y Fabiola Osorio Blanco, por su apoyo, sus consejos y los esfuerzos entregados con cariño, orientados a hacer de mí una persona de bien.

A mi hermano Oscar Miguel Martínez Osorio, por su ejemplo de dedicación y por compartir sus conocimientos conmigo. A todos mis familiares, quienes mantuvieron vivo el sueño de verme un día graduado como Profesional.

A mi novia Diana Lixeth Perez Burgos por su apoyo y las palabras oportunas en los momentos difíciles, por su compañía durante esta etapa culminada, por los momentos de alegría compartidos y por participar conmigo la dicha de este triunfo.

A mis compañeros de Proyecto de Grado, con quienes compartí esfuerzos para alcanzar este nuevo logro y la satisfacción de un reto cumplido.

Fabian Martínez Osorio.

DEDICATORIA

*A Dios, por haber iluminado mi camino en los momentos
más difíciles de mi carrera y por permitirme
disfrutar y compartir con unos excelentes compañeros.*

*A mis padres: Jose Ignacio Mexa y Yolanda Santos,
quienes me apoyaron incondicionalmente y quienes durante estos últimos años
sacrificaron mil cosas solo por dar vida a mis ilusiones,
ilusiones que hoy en día se hacen realidad.*

*A mi hermano Jose Giovanni Mexa, a mis abuelos, tíos, primos y amigos
que me acompañaron siempre, personas incondicionales
que hicieron más fácil mi llegada a esta meta.*

*A mi novia: Mónica Paola Duarte Martínez,
por su incondicional apoyo en los momentos difíciles de mi vida
y ser parte esencial en la culminación de mi carrera.*

Edward J. Mexa Santos.

DEDICATORIA

*Mis mas sinceros agradecimientos a mis padres
Edgar Eugenio Plata y Carmen Sofia Uscátegui por su apoyo
incondicional durante todo este proceso, por haber creído en mi
y haberme enseñado a perseverar hasta alcanzar
tan importante logro.*

*A mis hermanos y hermanas quienes me
brindaron acompañamiento cada quien en su debido momento
aportando su grano de arena.*

*A mis compañeros, quienes contribuyeron con su experiencia
y dedicación a culminar con éxito este logro en común.
Finalmente a nuestros profesores cuyas exigencias nos llevaron a
mejorar continuamente hasta alcanzar tan anhelada meta.*

Alexander Plata Uscategui.

AGRADECIMIENTOS

A la escuela de Ingeniería Metalúrgica por facilitar los fondos para el desarrollo de este proyecto de grado a través de la Vicerrectoría de Investigación y extensión VIE, que a su vez impulsa el acercamiento entre las Escuelas y Facultades de la Universidad, para el desarrollo de estos de proyectos de esta magnitud.

Al profesor Custodio Vásquez Quintero quien gestionó la destinación de estos recursos.

A nuestro director Jaime Guillermo Barrero, por sus aportes en el desarrollo de éste trabajo de grado.

A nuestros compañeros, por sus enseñanzas y aportes, durante el desarrollo del proyecto de grado y la carrera.

A nuestros familiares y amigos que de alguna u otra forma colaboraron en esta etapa de nuestras vidas.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	24
1.MARCO TEORICO DEL TROCEADOR REDUCTOR EN PUENTE COMPLETO.....	26
1.1. Troceador Reductor	26
1.2. Troceador Reductor en puente completo	29
2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN.	32
2.1. Componentes y características.....	32
2.1.1 .Alimentación	32
2.1.2. Aislamiento	34
2.1.3. Potencia.....	36
2.1.4. Control y Comunicación.....	38
2.2. Simulaciones.....	41
2.2.1. Regulación.....	41
2.2.2. Conmutación y corriente en la carga	43
2.3. Generación de la onda en la carga	51
2.3.1. Interfaz Local	51
2.3.1.1. Función de los pulsadores.	52
Pulsador Parámetro:	52
Pulsador Return:	52
Pulsador OK (enter):	52
Pulsador Aumentar:	52
Pulsador Disminuir:.....	53
2.3.1.2. Visualización en LCD	53

Saludo Inicial.....	53
Elegir tipo de configuración.....	54
Selección de forma de onda.	54
Configuración de parámetros.....	55
2.3.2. Interfaz de Configuración Remota.....	57
2.3.3. Generación de la señal de Set Point.....	83
2.3.3.1. Interpretación de los parámetros configurados según origen.	83
2.3.3.2. Forma de onda triangular simétrica	91
2.3.3.3. Forma de onda diente de sierra	99
2.3.3.4. Forma de onda rampa.....	102
2.3.3.5. Forma de onda constante	103
2.3.4. Sensado y Control	104
2.4. Diseño de PCB en Orcad Layout.....	108
3. PRUEBAS Y RESULTADOS.	116
3.1. Conmutación de los Mosfets del puente completo.....	116
3.2. Visualización de ondas configuradas.....	118
3.3. Eficiencia.....	122
3.4. Adaptabilidad a la industria metalúrgica.	125
4. CONCLUSIONES.	127
5. RECOMENDACIONES.....	130
6. REFERENCIAS.	132
7. BIBLIOGRAFÍA.....	133
8. ANEXOS.....	134

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Convertidor CC - CC reductor.....	26
Figura 2. Circuito equivalente con el semiconductor operado como interruptor cerrado.....	28
Figura 3. Circuito equivalente para semiconductor como interruptor abierto.....	28
Figura 4. Topología del troceador reductor de cuatro cuadrantes.....	30
Figura 5. Conmutación del puente para corriente positiva.....	31
Figura 6. Conmutación del puente para corriente negativa..	31
Figura 7. (a) Transformador para alimentación digital. (b) Transformador para alimentación de potencia..	32
Figura 8. Esquema de regulación de tensión. (a) Puente rectificador de 15 [A]. (b) Puente rectificador de 4 [A]. (c) Regulador de 5 [V].....	33
Figura 9. Esquema de adecuación de la tensión en el transformador de 18 [V].....	33
Figura 10. Conexión interna TLP250.....	34
Figura 11. Esquema de conexión del DCP010515B.....	35
Figura 12. Esquema de conexión interna del STI260N6F6.....	36
Figura 13. Bobina con núcleo de ferrita.....	37
Figura 14. Configuración de pines del PIC18F2550.....	38

Figura 15. Esquema de conexión del sensor de corriente ACS711	39
Figura 16. (a) Esquema de conexión MAX232, (b) Conversor Serial RS232 a USB.	40
Figura 17. Circuito esquemático y simulación de la regulación a 5 [V].....	41
Figura 18. Circuito esquemático y simulación de la rectificación a 21 [V].	42
Figura 19. Puente H completo.	43
Figura 20. Parámetros de Señales de control corriente de carga positiva..	44
Figura 21. Señales de activación de los transistores para corriente de carga positiva.	45
Figura 22. Corriente de carga positiva, Ciclo de Trabajo 0,8.	46
Figura 23. Parámetros de Señales de control corriente de carga negativa.	47
Figura 24. Señales de activación de los transistores para corriente de carga negativa.	48
Figura 25. Corriente negativa en la carga para Ciclo de Trabajo $DT= 0.8$..	48
Figura 26. Corriente de carga positiva.....	49
Figura 27. Interfaz de configuración local.	51
Figura 28. LCD, mensaje de bienvenida.....	53
Figura 29. LCD, Selección de Configuración.	54
Figura 30. LCD, Selección de forma de Onda.	55
Figura 31. LCD, Configuración de parámetros.	55
Figura 32. LCD, Mensaje resumen.....	56
Figura 33. Panel frontal..	57

Figura 34. Creacion del Proyecto en blanco.	58
Figura 35. Panel frontal y diagrama de bloques.	58
Figura 36. Diagrama de bloques pulsador incrementar.	60
Figura 37. Panel frontal pulsador incrementar.	60
Figura 38. Diagrama de bloques de pulsador disminuir y pulsador aumentar.	61
Figura 39. Panel frontal del pulsador disminuir y pulsador aumentar.	62
Figura 40. Bloque <i>Case</i>	63
Figura 41. Perilla selectora de parametro.	64
Figura 42. Diagrama de bloques del case de tipo de onda.	65
Figura 43. Panel frontal ejecucion de los <i>CASE</i>	66
Figura 44. Diagrama de bloques para <i>CASE0</i> forma de onda.	67
Figura 45. Panel frontal, ejecucion del <i>CASE0</i>	68
Figura 46. Panel Frontal. Ejecución del <i>CASE1</i> . Pico máximo.	69
Figura 47. Diagrama de Bloques <i>CASE1</i> . Pico máximo.	70
Figura 48. Panel Frontal. Ejecución del <i>CASE2</i> . Pico mínimo.	71
Figura 49. Diagrama de Bloques <i>CASE2</i> . Pico mínimo.	72
Figura 50. Panel Frontal. Ejecución del <i>CASE3</i> . Periodo.	73
Figura 51. Diagrama de Bloques <i>CASE3</i> . Periodo.	74
Figura 52. Panel Frontal. Ejecución del <i>CASE4</i> . Proceso.	75
Figura 53. Diagrama de Bloques <i>CASE4</i> . Proceso.	76
Figura 54. <i>Visa configure serial port</i>	77

Figura 55. <i>Number to fractional string function</i>	78
Figura 56. <i>Visa Write Function</i>	78
Figura 57. <i>Visa Close Function</i>	78
Figura 58. Diagrama de bloques del módulo envío de datos.....	79
Figura 59. Pulsador Gráfica <i>ON-OFF</i>	79
Figura 60. <i>Fract/Exp String To Number Function</i>	80
Figura 61. <i>VISA Read Function</i> ..	81
Figura 62. <i>Waveform chart</i>	81
Figura 63. Diagrama de Bloques de la captura y visualización de datos....	82
Figura 64. Panel frontal de la captura y visualización de datos.....	82
Figura 65. Forma de onda triangular típica.....	92
Figura 66. Polaridad de la tensión eléctrica en la carga.....	93
Figura 67. Forma de onda diente de sierra típica.....	99
Figura 68. Forma de onda rampa típica.....	102
Figura 69. Forma de onda constante.....	103
Figura 70. Diagrama de control de lazo cerrado.....	104
Figura 71. Generación corriente <i>set point</i> y sensada.....	106
Figura 72. Creación de señales de corrección y control de <i>duty</i>	107
Figura 73. Diseño esquemático de Etapa de Regulación.....	109
Figura 74. Diseño esquemático de Microcontrolador y Comunicación. ...	110
Figura 75. Diseño esquemático de Etapa de Potencia.....	110
Figura 76. Valores de espaciados globales.....	111

Figura 77. Unidades de rejilla.....	111
Figura 78. Cara superior de PCB. Zonas de distribución.....	112
Figura 79. Cara Inferior de la PCB. Planos de tierra.....	113
Figura 80. Acoplamiento del plano de tierra.....	114
Figura 81. (a) PCB de pulsadores (b) Adecuación de <i>footprint</i> para disipador.....	115
Figura 82. Variación del <i>Duty</i> para onda triangular.....	116
Figura 83. Lectura de Onda constante para carga de $0,1[\Omega]$	117
Figura 84. Onda continua de 5 [A] de amplitud.. ..	118
Figura 85. Ondas triangulares con diferentes picos de amplitud.. ..	119
Figura 86. Onda diente de Sierra con inicio en 0 y pico máximo en 5 [A]..	119
Figura 87. Onda rampa de corta duración con pico mínimo en 0 y pico máximo en 2 [A].....	120
Figura 88. Onda triangular (a) Duración. (b) Amplitud.	121
Figura 89. Onda Diente de Sierra (a) Duración. (b) Amplitud.. ..	121
Figura 90. Onda Rampa (a) Amplitud. (b) Duración.. ..	121
Figura 91. Onda Constante (a) Amplitud. (b) Duración.. ..	122

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Distribución de la trama de caracteres recibidos.	84
Tabla 2. Vector obtenido tras captura y transformación de la trama de caracteres.....	85
Tabla 3. Ejemplo de una trama de caracteres enviados desde la interfaz remota.	86
Tabla 4. Vector de caracteres transformados.....	86
Tabla 5. Asignación de identificadores de proceso a los pines del microcontrolador.....	88
Tabla 6. Variación de PARAM, CTE y parámetro visualizado mediante evento en el indicador de proceso PARM.	90
Tabla 7. Corriente sensada y voltaje del sensor.	104

LISTA DE ANEXOS

Anexo [A] Hoja de datos TLP250	134
Anexo [B] Hoja de datos DCP010515B.....	135
Anexo [C] Hoja de datos STI260N6F6.....	136
Anexo [D] Hoja de Datos PIC 18F2550	137
Anexo [E] Hoja de datos Sensor ACS711	139
Anexo [F] Hoja de datos MAX232	140
Anexo [G] Diagrama de flujo general.....	141
Anexo [H] Certificado de Adaptabilidad.....	142
Anexo [I] Manual de usuario FC-PRO.....	143

RESUMEN

TITULO:

Diseño y construcción de un troceador reductor operando como fuente de corriente*.

AUTORES:

Fabian Martinez Osorio**
Edward Ignacio Meza Santos**
Alexander Plata Uscátegui**

PALABRAS CLAVES:

Fuente de corriente, Formas de onda programable, Microcontrolador PIC, Troceador Reductor, Puente completo.

CONTENIDO:

El diseño y construcción de una fuente de corriente programable surge ante la necesidad de implementar técnicas de inyección de corriente con formas de onda específicas, para facilitar algunos procesos llevados a cabo en la industria metalúrgica. Estableciendo un diseño, un esquema funcional y una propuesta física, basados en la topología de un troceador reductor en puente completo, es posible proporcionar al usuario un dispositivo eficiente y de fácil manejo mediante una interfaz práctica y funcional, que permita solventar los requerimientos exigidos, tales como amplitud máxima y mínima, forma de onda, periodo de la señal y tiempo de ejecución del proceso. Dichos parámetros pueden ser programados de manera local o remota e interpretados por un microcontrolador PIC18F2550, a través de un algoritmo diseñado para llevar a cabo funciones específicas como la generación de las formas de onda, la acción de control, visualización en pantalla y transmisión de datos por comunicación serial. Para facilitar la visualización en tiempo real de la intensidad de corriente en el proceso, los datos generados por el microcontrolador son convertidos a protocolo USB e interpretados por una interfaz grafica elaborada en el software LabView.

La confiabilidad del dispositivo radica en el control de lazo cerrado implementado y su eficiencia se basa, en la apropiada selección de los componentes electrónicos empleados en la construcción del sistema.

*Trabajo de investigación.

**Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, Director M.Sc. Jaime Guillermo Barrero Perez.

ABSTRACT

TITLE:

Design and construction of a buck chopper, operating as a current source *.

AUTHORS:

Fabian Martinez Osorio**
Edward Ignacio Meza Santos**
Alexander Plata Uscátegui**

KEYWORDS:

Current Source, Programmable Waveforms, PIC Microcontroller, Buck Chopper, Full Bridge.

SUMMARY:

The design and construction of a programmable current source appears due to the need to implement current injection techniques with specific wave shapes, this to facilitate some processes carried out in the metallurgic industry. By establishing a design, a functional scheme and a physical proposal, based on the topology of a buck chopper in full bridge it is possible to provide the user with an efficient device, easy to manipulate by means of practical and functional interface which allows to meet the requirements demanded, such as maximum and minimum amplitude, wave shape, signal period and time for execution of the process. Such parameters can be programmed either local or in remote way and also be interpreted by a microcontroller PIC18F2550, by means of an algorism designed to carry out specific functions like the generation of the wave shapes, the control action, visualization on the screen and transmission of data through serial communication. In order to facilitate the visualization of the current intensity of the process in real time, the data generated by the microcontroller is converted to a USB protocol and interpreted by a graphic interface elaborated in the LabView software.

The device reliability lies in its closed loop control implemented and its efficiency is based on the appropriate selection of the electronic components employed to build the system.

* Research work

**Faculty of Physicist Mechanical Engineerings. School of Electrical, Electronical and Telecommunicatios Engineerings, Director M.Sc. Jaime Guillermo Barrero Perez.

INTRODUCCIÓN.

Un troceador, también conocido como pulsador o convertidor CC-CC; es un circuito electrónico de potencia, cuyo origen como el de los demás convertidores de tipo electrónico, surge ante la necesidad de disminuir ampliamente las pérdidas de energía, efecto adverso de la implementación de convertidores electromecánicos. Los troceadores suelen ser clasificados como fuentes de alimentación conmutadas, dado que su principal característica de operatividad consiste en la transformación de un nivel de tensión continua en otro mayor o menor, bajo las características de una salida regulada; siendo por lo anterior, equiparado con el transformador de CA.

Dependiendo de la característica de la señal de salida respecto a la de entrada y la topología misma del convertidor, los troceadores pueden ser clasificados como troceador reductor, troceador elevador, troceador reductor-elevador, troceador CUK.

Basados en la configuración de un troceador reductor y su comportamiento sobre una carga, se puede construir y llevar a cabo una fuente de corriente eficiente que puede facilitar ciertos procesos metalúrgicos como lo es el anodizado por corriente pulsante triangular. Este proceso consiste en otorgar al acero una excelente protección, entregándole propiedades fabulosas entre las que se encuentran una gran resistencia a la abrasión y a la corrosión. [1]

Una de las técnicas más utilizadas actualmente, consiste en la aplicación de una corriente en forma de onda triangular a la pieza, en un rango de valores establecidos, donde existe un tiempo de trabajo, este tiempo determina la formación y crecimiento de los óxidos en función del ciclo de corriente aplicado. Cuando hay una aplicación de corriente en el rango anódico (valor máximo de corriente) se presenta la formación de óxido protector, y al momento de la aplicación en el rango catódico existe una disolución parcial de la capa formada,

este ciclo es repetitivo a medida que transcurre el tiempo establecido para el ensayo.

Dicha aplicación da una importancia mayor al desarrollo de las fuentes de corriente, en la que la programación de los ciclos de trabajo y las formas de onda entregadas al proceso, influyen directamente sobre la calidad de la pieza a obtener, y donde su eficaz funcionamiento puede llevar a las organizaciones interesadas (Ingeniería Metalúrgica) a controlar de una manera más cómoda y confiable el proceso de galvanización y coloración del acero.

1. MARCO TEORICO DEL TROCEADOR REDUCTOR DE CUATRO CUADRANTES.

El propósito de la implementación del troceador reductor en puente completo, es poder suministrar a una carga resistiva, intensidad de corriente bidireccional aprovechando las características de gobernabilidad de un troceador reductor típico, que por su topología permite el paso de corriente en un solo sentido, lo cual resulta ser una desventaja. Es por lo anterior que se hace necesario mencionar las características propias del troceador reductor para la construcción del troceador reductor en puente completo.

1.1. Troceador Reductor

En la Figura 1 se observa el circuito de la configuración típica de un troceador reductor, donde el interruptor allí mostrado es la representación más simple de un dispositivo semiconductor, más específicamente un transistor. La conmutación de dicho dispositivo depende de la señal de activación que el mismo reciba, para el caso particular de los transistores MOSFET, la señal de activación debe actuar entre los terminales de compuerta y fuente, estas señales suelen ser de tipo PWM de sus siglas en inglés, *PULSE WIDTH MODULATION*.

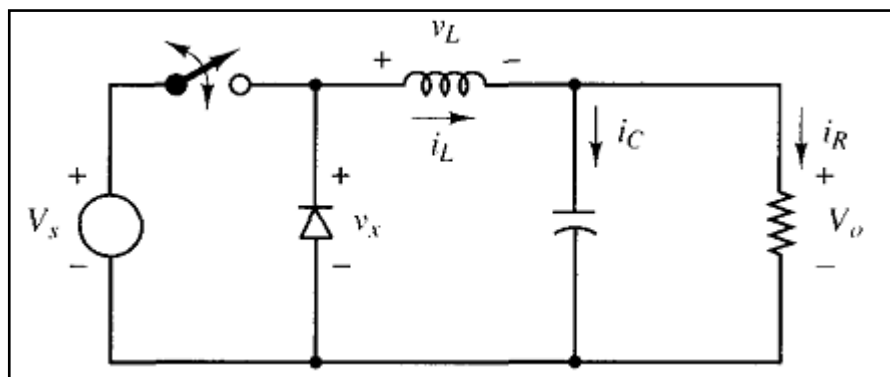


Figura 1. Convertidor CC – CC reductor. Fuente: Daniel Hart. [2].

Las condiciones que debe reunir la señal de conmutación deben estar orientadas por los tres estados posibles del MOSFET, corte, saturación y lineal.

Para la deducción de la ecuación que caracteriza a este tipo de convertidores, es necesario el análisis del circuito cuando el dispositivo semiconductor actúa como interruptor abierto y como interruptor cerrado; asumiendo que el periodo de conmutación del mismo es T , se define el tiempo que permanece cerrado como $D \cdot T$ mientras que el tiempo que permanece abierto se expresa como $(1-D) \cdot T$, donde D es el ciclo útil de trabajo, es decir; la razón entre el tiempo que dura la señal de PWM en alto y el periodo de la misma. Igualmente, es necesario establecer que la corriente en la bobina es permanente, es decir, es siempre positiva.

Cuando el semiconductor opera como interruptor cerrado, el circuito resultante es el mostrado en la Figura 2. De dicho circuito se aprecia que la tensión en la bobina esta dada por a ecuación (1).

$$v_L = L \frac{di_L}{dt} = V_S - V_0 \quad (1)$$

De la ecuación anterior es posible obtener la variación de la corriente en la bobina para esta situación, y su igualdad está definida por la siguiente ecuación.

$$(\Delta i_L)_{\text{cerrado}} = \left(\frac{V_S - V_0}{L} \right) * D * T \quad (2)$$

En la otra situación posible, es decir; cuando el semiconductor actúa como como interruptor abierto, el circuito es configurado como se muestra en la Figura 3.

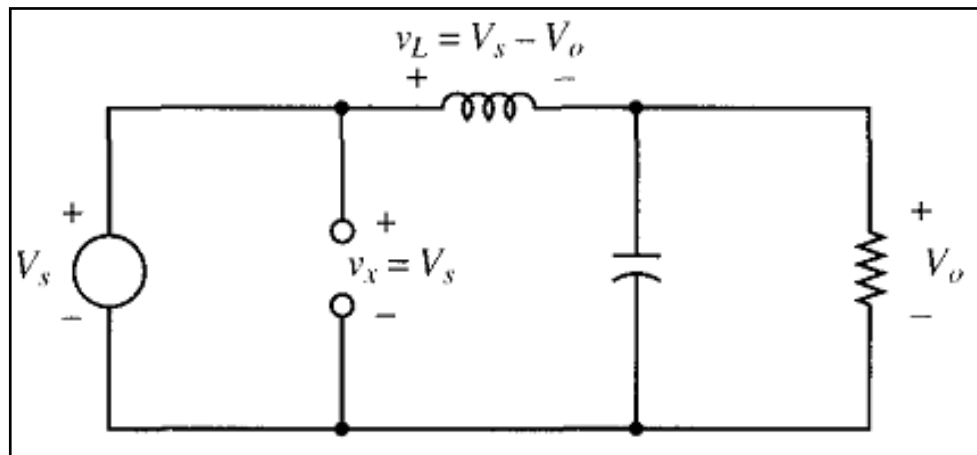


Figura 2. Circuito equivalente con el semiconductor operado como interruptor cerrado. Fuente: Daniel Hart [2].

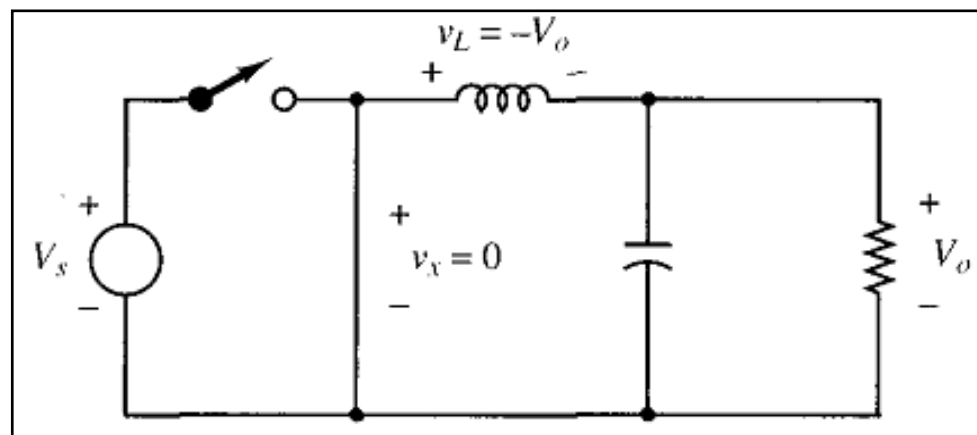


Figura 3. Circuito equivalente para semiconductor como interruptor abierto. Fuente: Daniel Hart [2].

En el circuito anterior es posible apreciar que la tensión en la bobina es como se define en la ecuación (3). De dicha ecuación es posible concluir al igual que en el caso anterior, la variación de la corriente en la bobina, que resulta en la igual descrita en la ecuación (4).

$$v_L = L \frac{di_L}{dt} = -V_o \quad (3)$$

$$(\Delta i_L)_{abierto} = -\left(\frac{V_0}{L}\right)(1-D)T \quad (4)$$

Dado que una de las consideraciones mencionadas para extraer la ecuación característica de este tipo de convertidor es la corriente continua en la bobina, implica que dicha intensidad sea igual tanto para el inicio como el final de cada ciclo de operación del interruptor, ante lo cual se concluye que la variación neta de la corriente de la bobina en un periodo de conmutación es cero, descrito esto en la ecuación (5). Reemplazando en esta igualdad las ecuaciones (2) y (4), se logra definir la ecuación (6), la cual es la ecuación característica de un troceador reductor.

$$(\Delta i_L)_{cerrado} + (\Delta i_L)_{abierto} = 0 \quad (5)$$

$$V_0 = V_s D \quad (6)$$

Si se conoce el valor de la carga presente en el troceador, es posible calcular la corriente de la misma a partir de la Ley de Ohm, obteniendo así la ecuación (7).

$$I_o = \frac{V_s * D}{R} \quad (7)$$

1.2. Troceador Reductor de cuatro cuadrantes

Para el troceador en puente completo, cuya configuración se ilustra en la Figura 4, el análisis anterior es aplicable en la conmutación de pares de transistores. Para lograr una configuración típica de convertidor reductor como el mostrado en la Figura 1, basta con enviar señales PWM adecuadas para lograr la conmutación de los transistores descritos en la Figura 4 como M1 y M4, además de no enviar señales de conmutación a los dos transistores restantes, obteniendo la

configuración mostrada en la Figura 5. Mediante esta configuración, es posible administrar una corriente positiva a la carga, conservando la polaridad de la tensión en la carga.

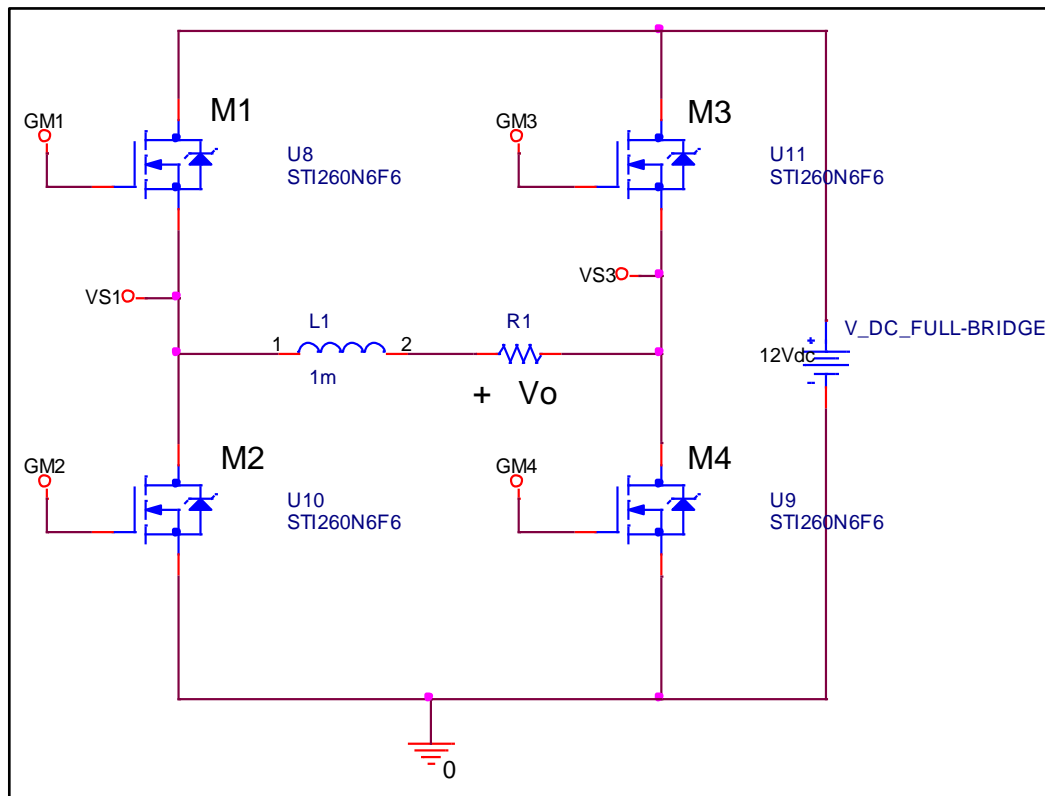


Figura 4. Topología del troceador reductor de cuatro cuadrantes. Fuente: Autores.

Para el caso contrario, es decir; cuando se envían sólo señales PWM a los transistores M2 y M3, la topología resultante es la mostrada en la Figura 6, y es a través de esta misma configuración que es posible entregar a la carga una corriente negativa. En resumen, la topología de troceador reductor en puente H o puente completo, permite integrar dos troceadores reductores típicos destinando a cada uno de ellos a un sentido de corriente en la carga.

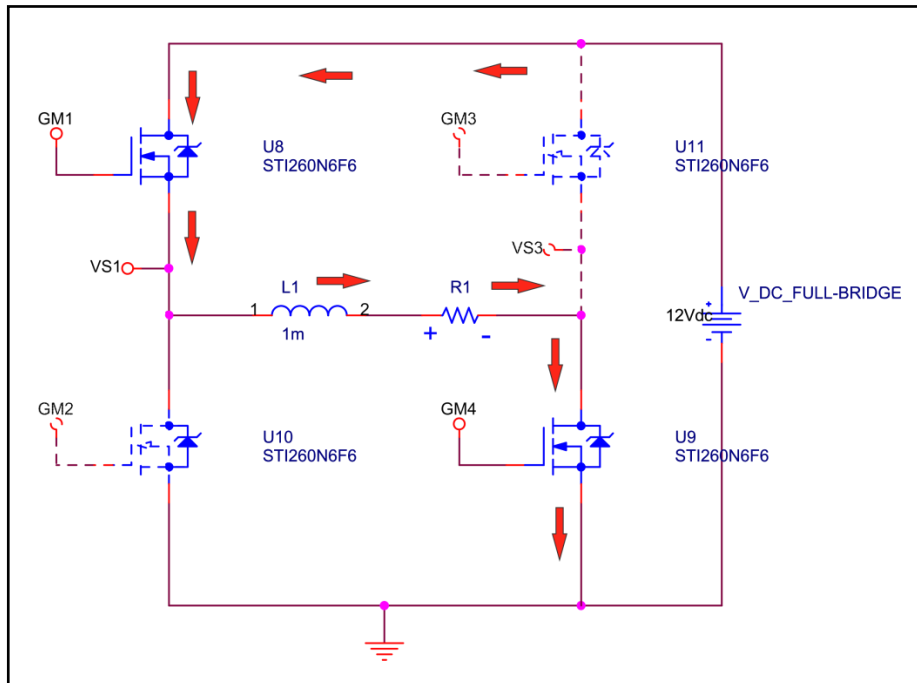


Figura 5. Conmutación del puente para corriente positiva. Fuente: Autores.

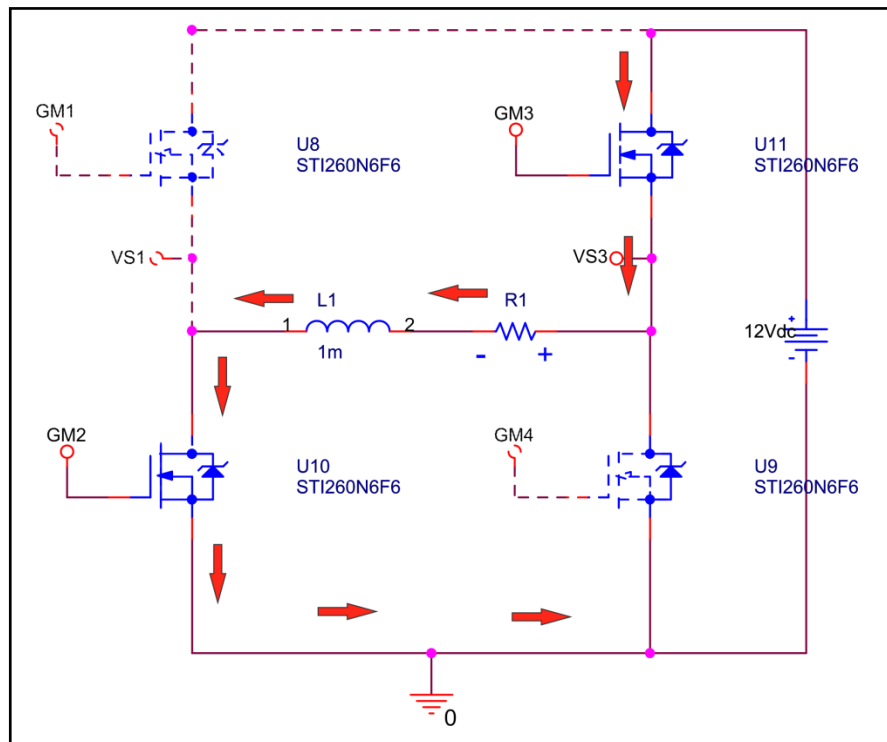


Figura 6. Conmutación del puente para corriente negativa. Fuente: Autores.

2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN.

2.1. Componentes y características.

2.1.1. Alimentación

Para la etapa de alimentación se dispuso de dos transformadores diferentes. El encargado de suministrar energía a los componentes de la etapa digital, compuesta por elementos como lo son el microcontrolador, el circuito integrado de comunicación serial MAX232, las fuentes aisladas y la pantalla LCD, entrega en el devanado secundario una tensión de 9 Vac y una corriente de hasta 2 A, Ver Figura 7(a).

Por otra parte se optó por alimentar de manera independiente el circuito de transistores en puente H, con el fin de proteger los circuitos digitales, sensibles a picos de corriente, y a su vez evitar intromisión de ruido en las señales de comunicación y conmutación. El encargado de la suministrar la corriente suficiente al puente H bajo la exigencia de la carga, es un transformador cuyo devanado secundario entrega una tensión de 18 [Vac] y una corriente de hasta 12 [A], (Ver Figura 7(b)).

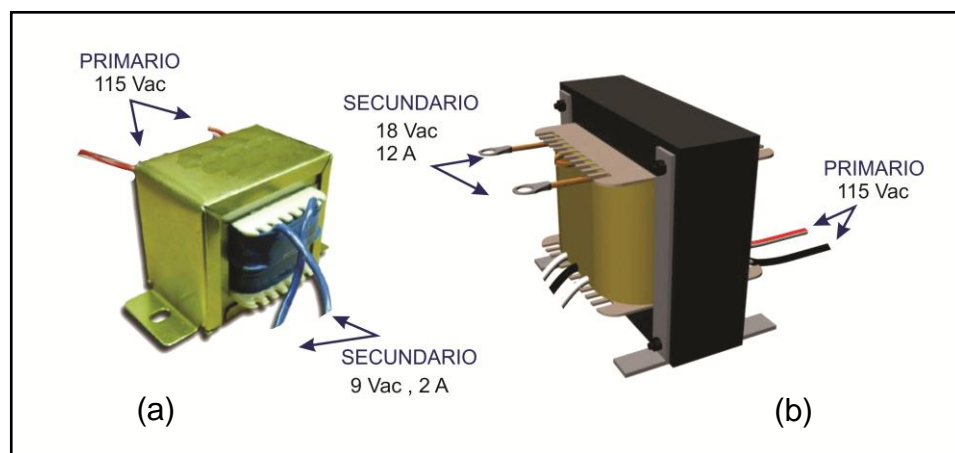


Figura 7. (a) Transformador para alimentación digital. (b) Transformador para alimentación de potencia. Fuente: Autores.

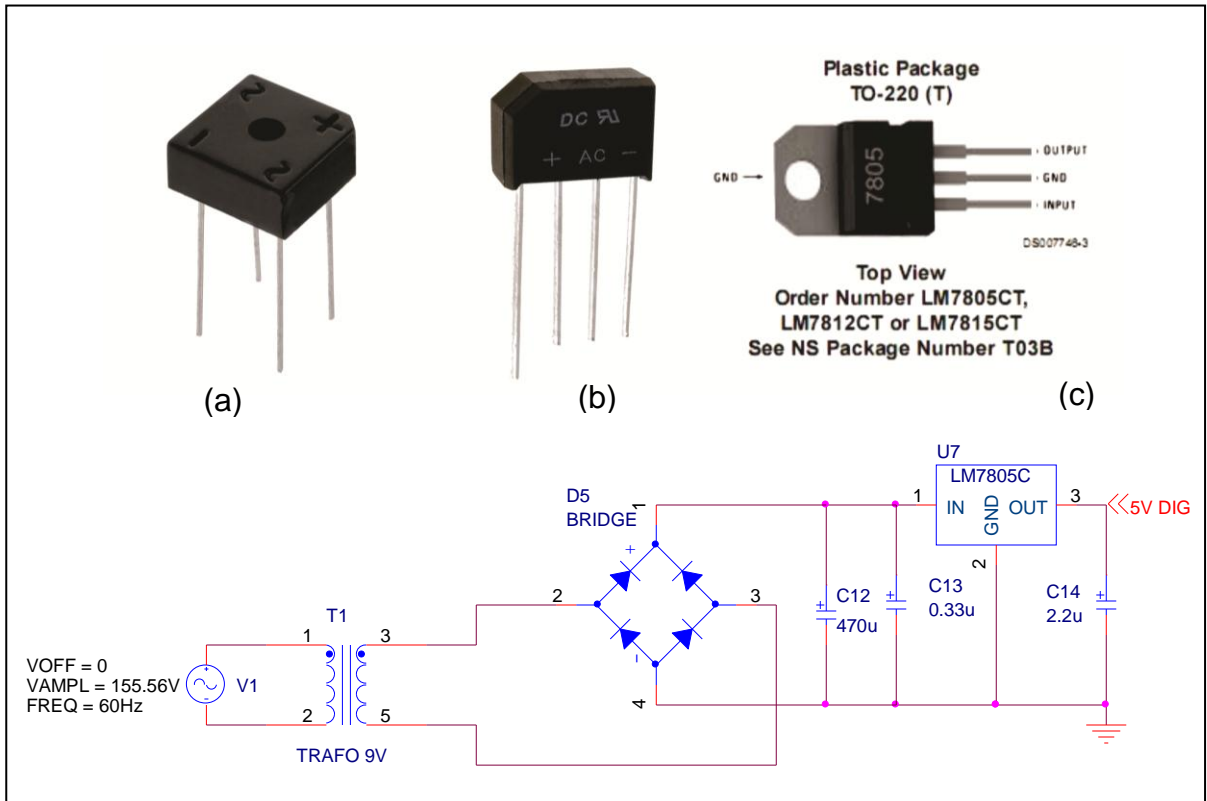


Figura 8. Esquema de regulación de tensión. (a) Puente rectificador de 15 [A]. (b) Puente rectificador de 4 [A]. (c) Regulador de 5 [V]. Fuente: Autores.

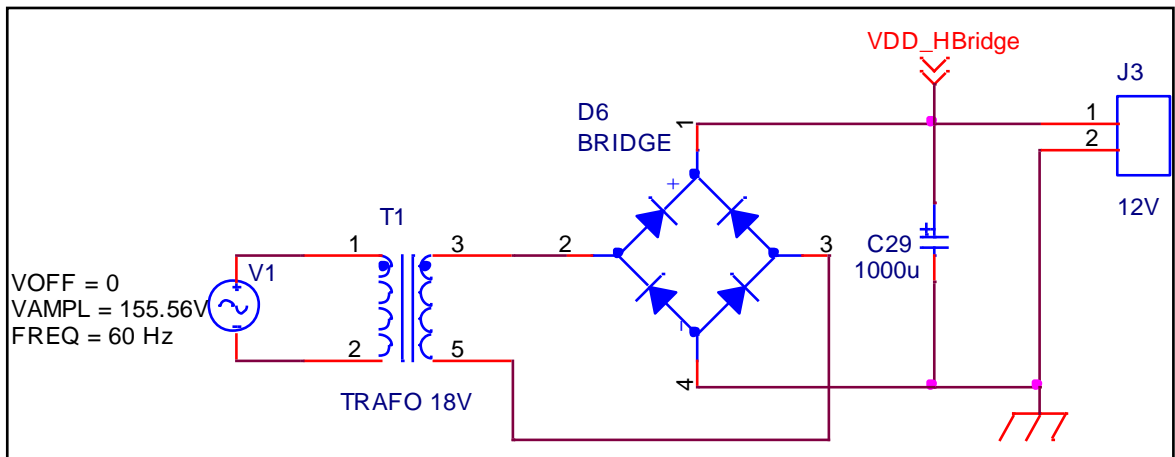
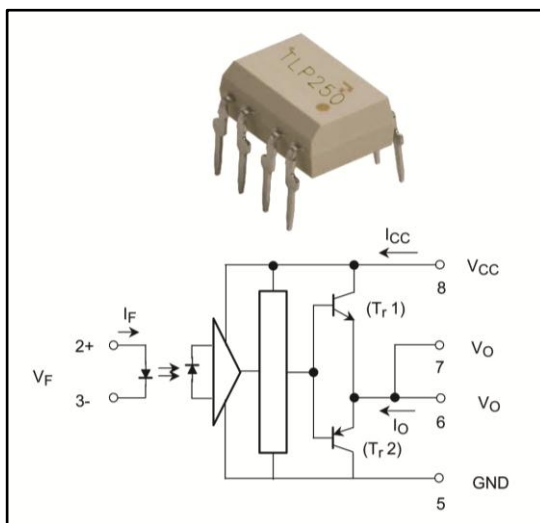


Figura 9. Esquema de adecuación de la tensión en el transformador de 18 [V]. Fuente: Autores.

La adecuación de la tensión de salida del transformador de 18V, se llevo a cabo rectificándola a través de un puente de 15 [A], Ver Figura 8(a), para ser luego filtrada por un condensador de gran capacitancia, del orden de 10000 [uF] debido a la alta corriente que circula por la etapa de potencia. En la Figura 9 se puede observar el circuito esquemático de esta adecuación.

2.1.2. Aislamiento

Fue necesario implementar una etapa de aislamiento con el fin de asegurar entre los terminales de compuerta y surtidor de los transistores, una tensión de excitación aislada, primordialmente los transistores de la sección superior del puente H, cuyos surtidores no se encuentran conectados directamente a tierra sino al drenador del siguiente Mosfet. Para este fin se utilizaron 4 optoacopladores Toshiba referencia TLP250, su configuración viene dada como se ilustra en la Figura 10 y sus especificaciones son:



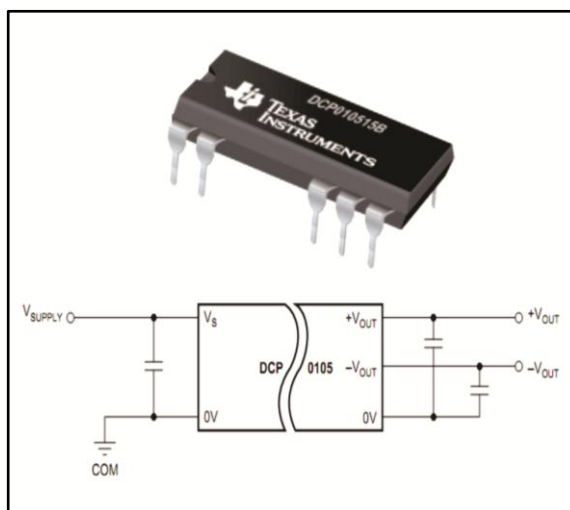
- Corriente de alimentación (I_{CC}): 11 [mA] máximo.
- Corriente de alimentación (I_f): 10 [mA] máximo.
- Voltaje de alimentación: 10-35 [V]
- Corriente de salida (I_O): ± 1.5 [A] máximo
- Tiempo de conmutación: 1.5 [us]
- Frecuencia de operación típica: 25 [kHz].

Figura 10. Conexión interna TLP250. Fuente: Anexo [A].

Como todo opto-acoplador, es necesaria la adición de ciertos valores de resistencias en serie tanto para el emisor como para el detector. Para el cálculo de la resistencia en serie con el *gate* de cada transistor se asume una caída de tensión deseada máxima de 0.5 [V] para una corriente lo máxima de 1 [A], obteniendo a partir de la ecuación (8), una resistencia de 14.5 [Ω] que ajustado a valores comerciales, se obtiene de 20 [Ω].

$$\frac{(14-0.5) [V]}{1 [A]} = R = 14.5 [\Omega] \quad (8)$$

Para mantener aislada la excitación de los TLP250 se ha seleccionado el convertidor CC-CC aislado no regulado de referencia DCP010515B del fabricante Texas Instruments, con el uso de tres de estas fuentes se pudo obtener cada alimentación de los TLP de manera independiente, usando una tensión de alimentación en común. Dos de los cuatro opto-acopladores comparten la misma alimentación ya que corresponden a los dos Mosfets de la parte inferior del puente H, los cuales comparten la misma tierra en surtidor. En la Figura 11 se puede apreciar la apariencia y esquema de conexión de la fuente DC aislada. Sus especificaciones son:



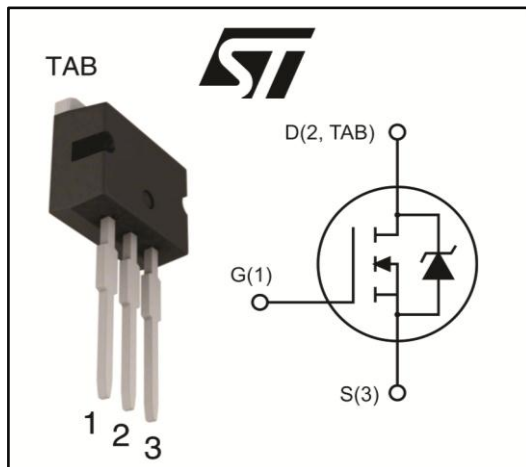
- Eficiencia superior a 85%
- Protección contra corto circuito
- Potencia: 1 [W]
- Tensión de alimentación: 5 [V]
- Tensión de salida: 15 [V]
- Corriente máxima a plena carga: 64 [mA]
- Adaptable a distintas interconexiones.

Figura 11. Esquema de conexión del DCP010515B. Fuente: Anexo [B].

Debido a que este convertidor CC-CC no entrega una tensión de salida regulada, fue necesario agregar un regulador de 15V a cada salida de las fuentes aisladas con el fin de garantizar dicho valor en la excitación de los TLP250, y así garantizar los requerimientos mínimos de conmutación en los Mosfets.

2.1.3. Potencia

Esta etapa consiste en la implementación de un circuito puente H compuesto por 4 transistores STI260N6F6 de ST Microelectronics, de alta capacidad de potencia y muy baja resistencia de encendido R_{dson} , ideal para minimizar pérdidas por conmutación en los transistores. La tensión entre drenador-surtidor es de 60 [V] suficiente para los propósitos del proyecto ya que a tensión nominal rectificadora de la fuente es de 21 [V]. Se tomó en consideración la intensidad máxima que el Mosfet puede conducir, el fabricante asegura una intensidad máxima de 120 [A], suficiente para nuestra aplicación, puesto que la fuente entrega máximo 10 [A].



- Voltaje drenador-surtidor (V_{DS}): 60[V]
- Voltaje puerta-surtidor (V_{GS}): ± 20 [V]
- Corriente en drenador (I_D): 120 [A]
- Resistencia de encendido $R_{DS(on)}$: 0.0024 [Ω]
- Potencia de disipación (P_{TOT}): 300[W]

Figura 12. Esquema de conexión interna del STI260N6F6. Fuente: Anexo [C]

El parámetro más importante es la resistencia R_{ds-on} que ofrece el Mosfet cuando se encuentra completamente en triodo o activado, principal característica por la que se ha optado por este interruptor, ya que solamente aporta una resistencia de 2,4 [m Ω]. Adicionalmente, entre otros parámetros, este transistor presenta unos tiempos de conmutación $t_r = 80$ [ns] y $t_f = 31$ [ns], ideales para la frecuencia de operación seleccionada. En la Figura 12 se puede observar el esquema de conexión interno de este transistor y sus especificaciones.

Para garantizar un flujo de corriente permanente y eficiente hacia la carga, se empleó una bobina con núcleo toroidal de ferrita, de un valor de inductancia considerable (aproximadamente 740 [uH]), suficiente para suavizar el rizado de la señal de salida y poder así mantener un valor promedio estable de la misma.

El núcleo de ferrita es ideal para esta aplicación ya que se caracteriza por sus pérdidas relativamente bajas a altas frecuencias. El calibre del alambre de la bobina se seleccionó tal que tolerara la corriente eficaz que demanda la carga. En la Figura 13 se ilustra el tipo de bobina usado en este proyecto y sus principales características.



- Alta permeabilidad
- Buenas propiedades térmicas y baja desalineación
- Frecuencia de operación de hasta 100 [KHz]
- Inductancia de 740 [uH]
- Núcleo toroidal de ferrita tipo T-184

Figura 13. Bobina con núcleo de ferrita. Fuente: Autores.

2.1.4. Control y Comunicación

Para la generación de las cuatro diferentes señales PWM, se utilizó el Microcontrolador PIC18f2550 [5], un encapsulado DIP de 28 pines de la empresa Microchip que procesa las señales previamente configuradas de manera local o remota, y mediante la programación de éste por código C, genera un set point de señales PWM. La configuración de pines se observa en la Figura 14, en base a la hoja de datos suministrada por el fabricante:

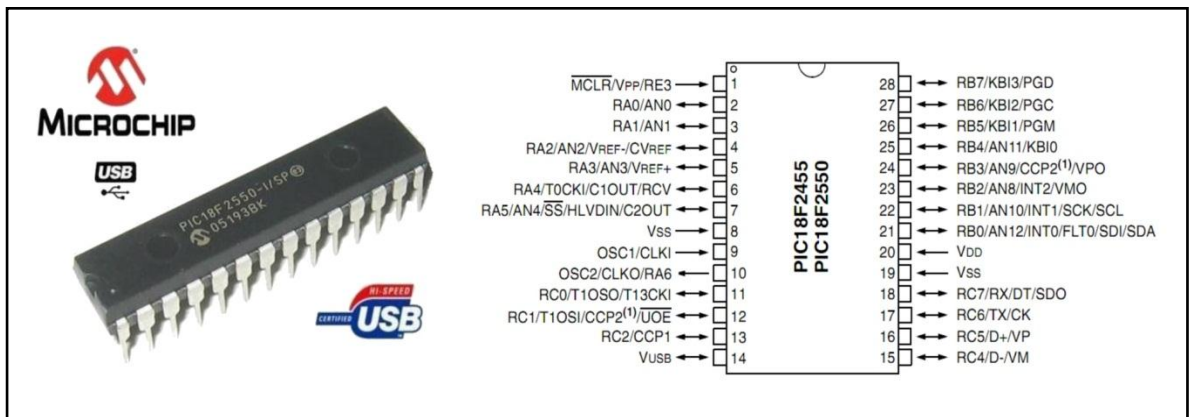


Figura 14. Configuración de pines del PIC18F2550. Fuente: Anexo [D]

Algunas de las características más importantes del PIC 18f2550 son:

- * Voltaje de operación: 2 a 5.5 V
- * Pines: 28
- * Memoria tipo FLASH
- * 32 KBytes de Memoria de Programa
- * 2 KBytes de Memoria RAM
- * 256 Bytes de Memoria EEPROM
- * Interface USB 2.0 de alta velocidad 12Mbit/s
- * Velocidad de CPU de hasta 12MIPS
- * Oscilador interno calibrable de 32KHz a 8MHz

- * Puertos de comunicación USART, SPI, I2C
- * 2 Periféricos de Captura/Comparación/PWM
- * 2 temporizadores de 16-bits, 1 temporizador de 8-bits
- * 10 canales ADC de 10 bits
- * 2 Comparadores Analógicos
- * Todo en un empaquetado PDIP de 28 pines

La arquitectura de este microcontrolador le permite alcanzar velocidades de 12MIPS utilizando un cristal externo de solo 4 [MHz].

Además de crear las cuatro señales PWM que llegaran al puente de Mosfets, este micro también es programado para mostrar en la pantalla LCD, todos los datos de configuración y lectura del proceso en general.

El dispositivo seleccionado para la medición de corriente es el sensor de efecto hall ACS711 de Allegro MicroSystem, el cual genera una tensión analógica que varía linealmente con la corriente detectada, Figura 15.

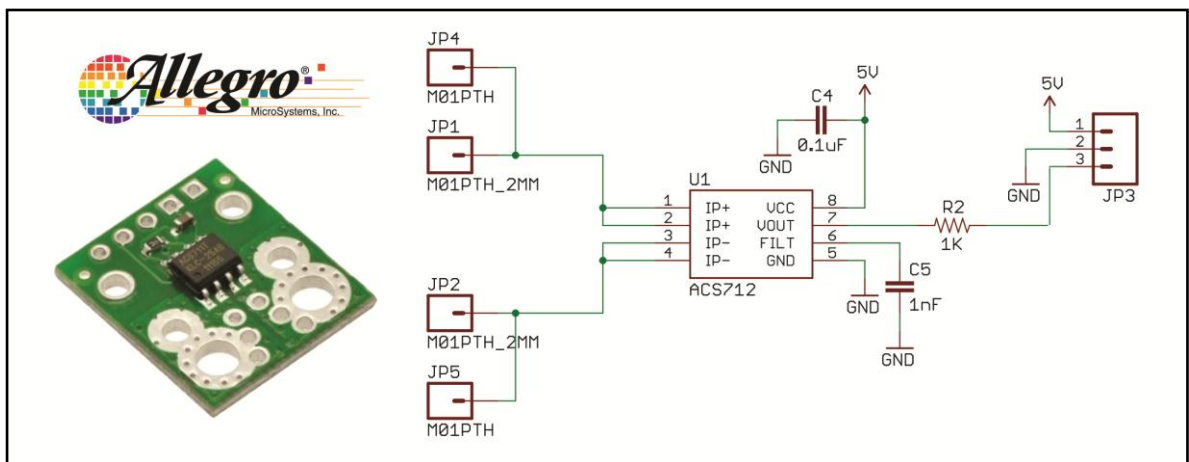


Figura 15. Esquema de conexión del sensor de corriente ACS711. Fuente: Anexo [E].

El rango de medición permitido por este sensor varía entre $-12,5$ [A] y $12,5$ [A] con una sensibilidad que fluctúa entre $60-185$ [mV] en su tensión de salida

Como dispositivo de comunicación se optó por el circuito integrado MAX232 de la empresa Maxim el cual convierte los niveles TTL de salida del micro a niveles de las líneas de un puerto serie RS232 y viceversa. Este dispositivo realiza la transmisión y recepción a través de las señales TX y RX respectivamente.

En la Figura 16 se observa el esquema de conexión del MAX232 junto con el cable convertidor de protocolo serial RS232 a USB, encargado de adecuar las señales para permitir una configuración y comunicación de alto nivel por protocolo USB.

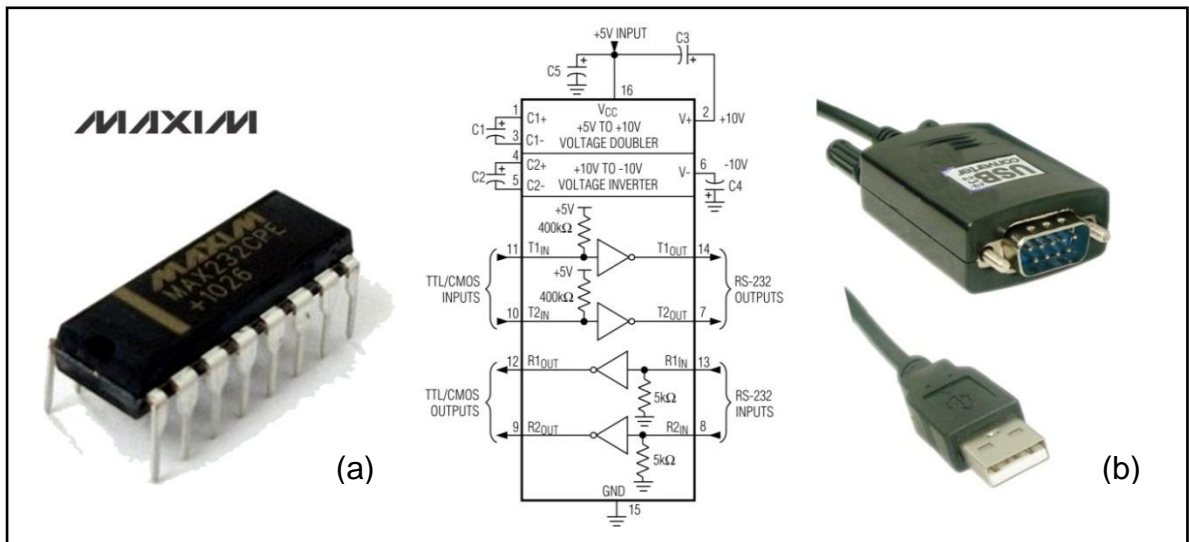


Figura 16. (a) Esquema de conexión MAX232, (b) Conversor Serial RS232 a USB. Fuente: Anexo [F].

2.2. Simulaciones

2.2.1. Regulación

Inicialmente se realiza las simulaciones de los transformadores encargados de alimentar tanto la parte digital como la de potencia. En la Figura (17) se ilustra el circuito esquemático y el resultado de simulación en ORCAD Capture, de la señal de alimentación de 5 [V] para la etapa digital.

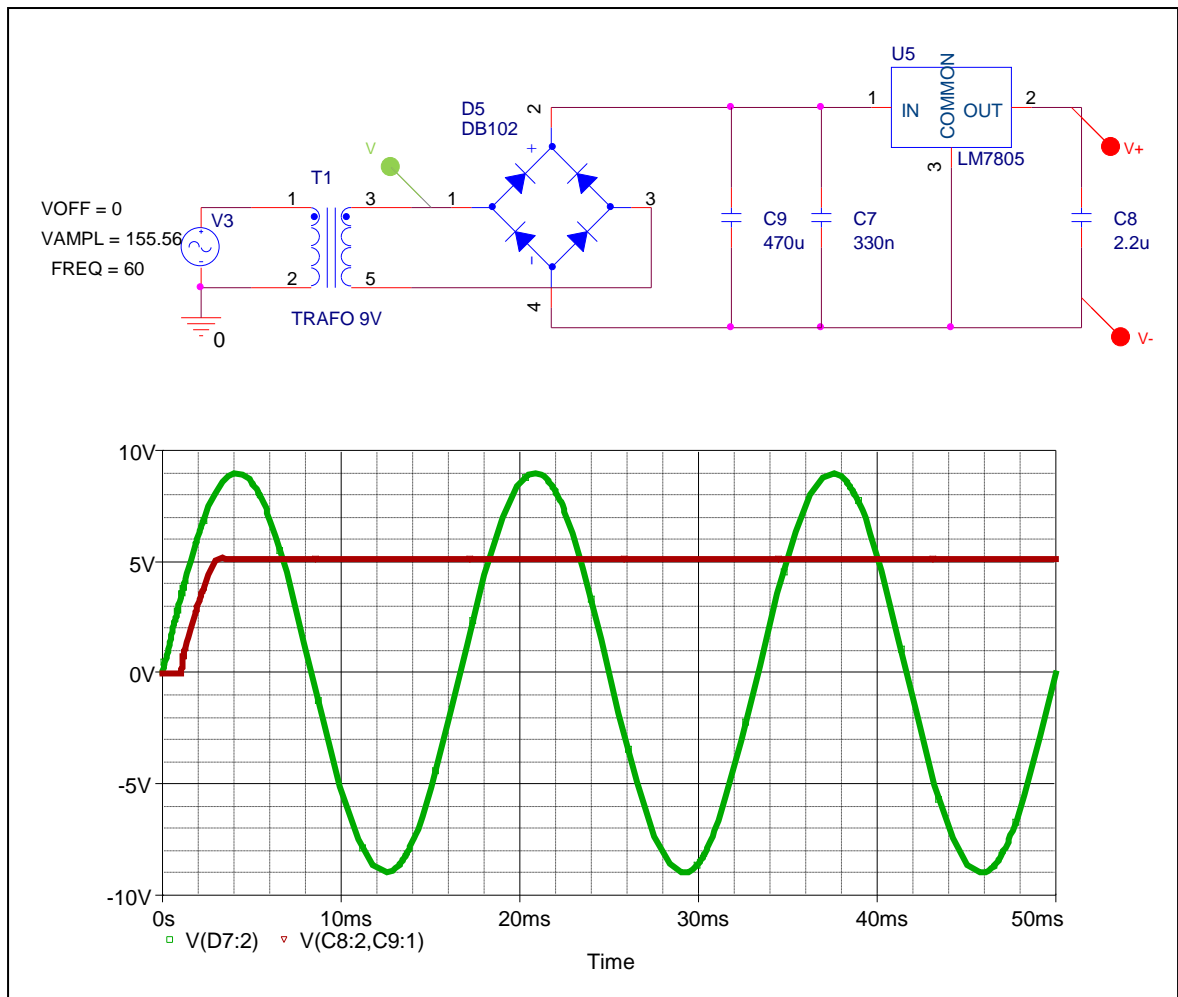


Figura 17. Circuito esquemático y simulación de la regulación a 5 [V]. Fuente: Autores

Igualmente en la Figura 18 se observa el circuito esquemático y la simulación para el transformador de la parte de potencia para el cual se obtiene una señal rectificadora de 21 [V]. A diferencia de la regulación anterior, en este caso no se contó con un regulador de tensión debido a la alta intensidad de corriente que se opera en esta etapa, por lo tanto solo se filtró la señal rectificada por medio de un condensador de alta capacitancia.

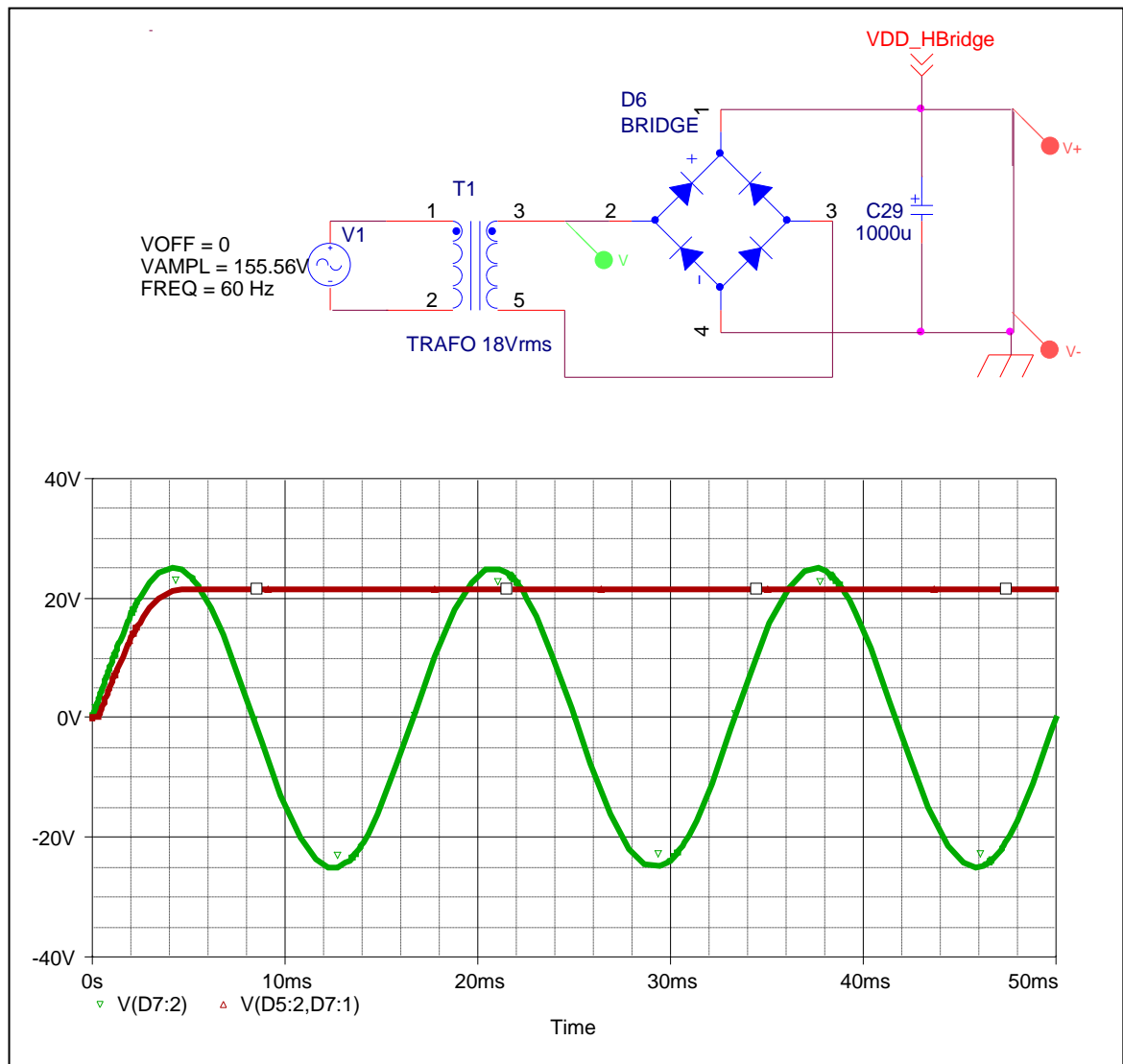


Figura 18. Circuito esquemático y simulación de la rectificación a 21 [V]. Fuente: Autores

2.2.2. Conmutación y corriente en la carga

A continuación se presentan los resultados obtenidos mediante simulación en OrCAD PSPICE STUDENT del puente completo de transistores y algunas pruebas realizadas para el mismo. En la Figura 19, se ilustra el puente H completo, conformado por los transistores del fabricante ST mencionados anteriormente, la inductancia seleccionada para garantizar flujo de corriente permanente, además de disminuir el rizado sin implicar pérdidas considerables por efecto del alambre empleado para su construcción. Igualmente se puede apreciar la ubicación de la carga sobre la cual se generará el tipo de onda deseada.

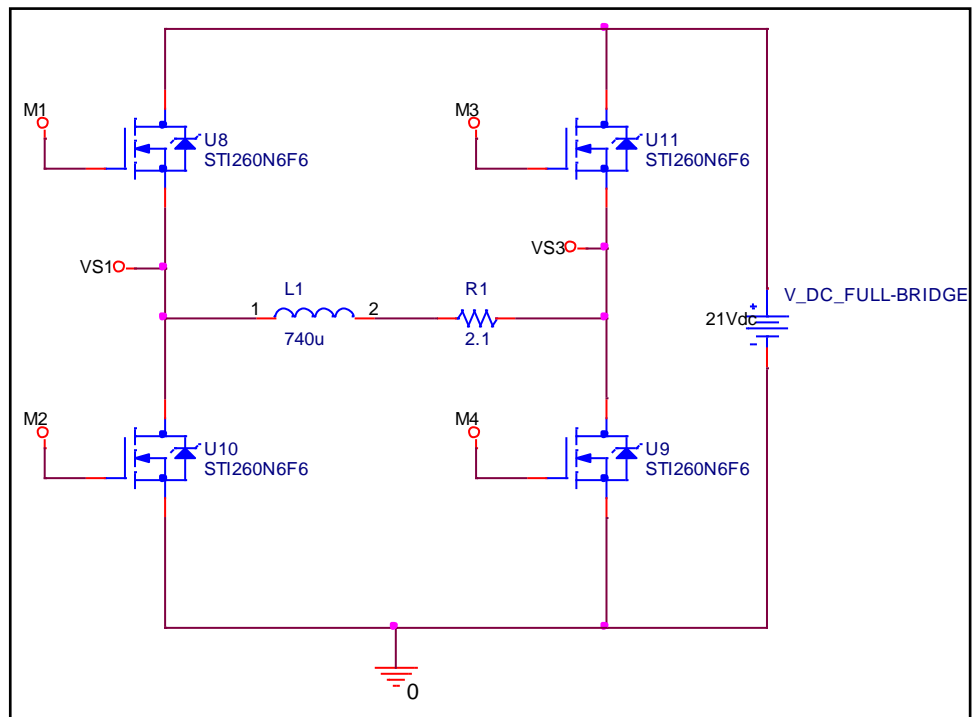


Figura 19. Puente H completo. Fuente: Autores

En la Figura 20, es posible apreciar la configuración de las señales que actúan en la conmutación de los transistores, representadas mediante 4 fuentes de tensión

PWM. Como se puede apreciar de la misma figura, la fuente denominada V8, resulta ser una fuente de tensión constante pues, para la configuración de sus valores máximo y mínimo de amplitud, se estableció un mismo valor. El objetivo de este proceso, es lograr que se disminuya las acciones de tipo PWM, que en términos de un microcontrolador, puede implicar uso inapropiado de memoria. Empleando esta técnica, se observó que al configurar dicha fuente de esa forma, el transistor M4 de la Figura 19, se encuentra conduciendo permanentemente, bajo la condición de que su semejante M1 se encuentre conmutando. Con esto es posible disminuir las pérdidas por conmutación ocasionadas en los transistores, al menos en M4 que permanece como interruptor cerrado hasta que el sentido de la corriente cambie.

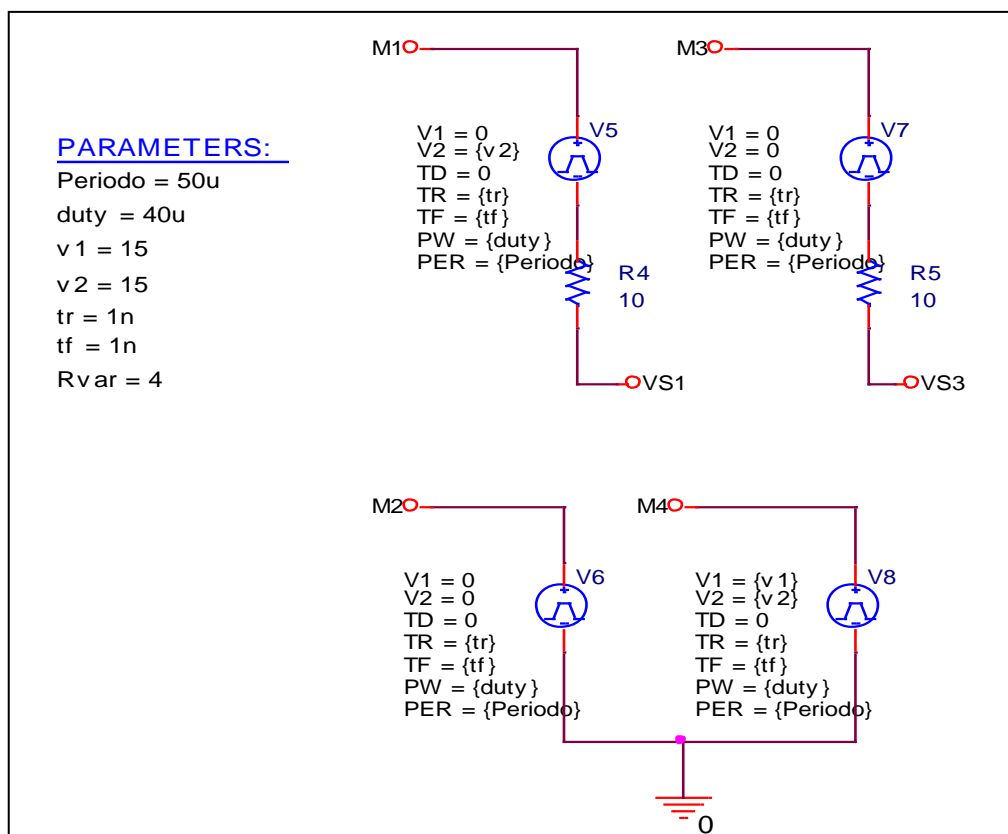


Figura 20. Parámetros de Señales de control corriente de carga positiva

Las señales de gobierno sobre los 4 transistores, pueden ser visualizadas en la Figura 21, donde se aprecia que la señal correspondiente al transistor M1 es de tipo PWM con un ciclo de trabajo determinado, la señal del transistor M4 es una señal de tipo constante, mientras las señales de los dos transistores restantes permanece en un estado de tensión bajo o cero.

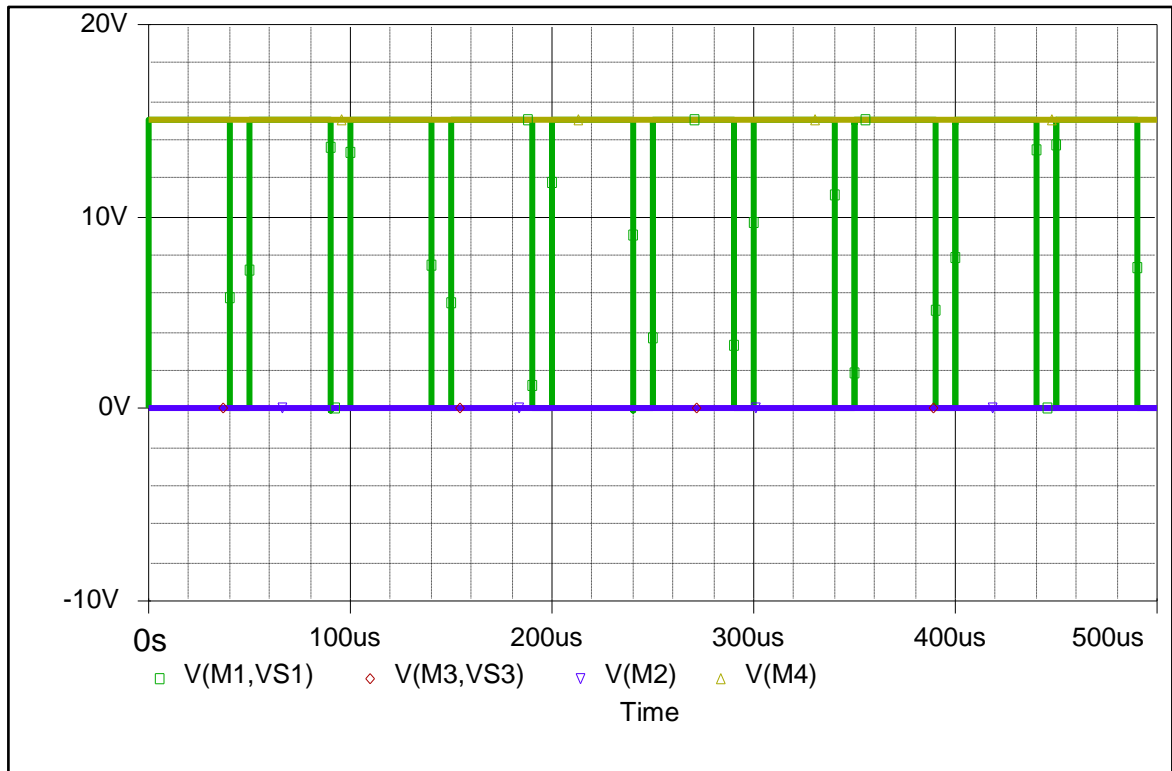


Figura 21. Señales de activación de los transistores para corriente de carga positiva. Fuente: Autores

La forma de la corriente resultante en la carga para estas señales configuradas para la conmutación de los semiconductores, se puede apreciar en la Figura 22. De dicha imagen se puede apreciar que inicialmente la señal presenta un comportamiento semejante al de una señal sobre amortiguada, antes de que esta logre estabilizarse en un determinado valor, para este caso particular con un ciclo de trabajo de 0.8, empleando la ecuación (6) se obtiene que la tensión en la carga

corresponde a 16.8 [V] y, para el valor de carga definido 2.1 [Ω], se obtiene un corriente de carga de 8[A].

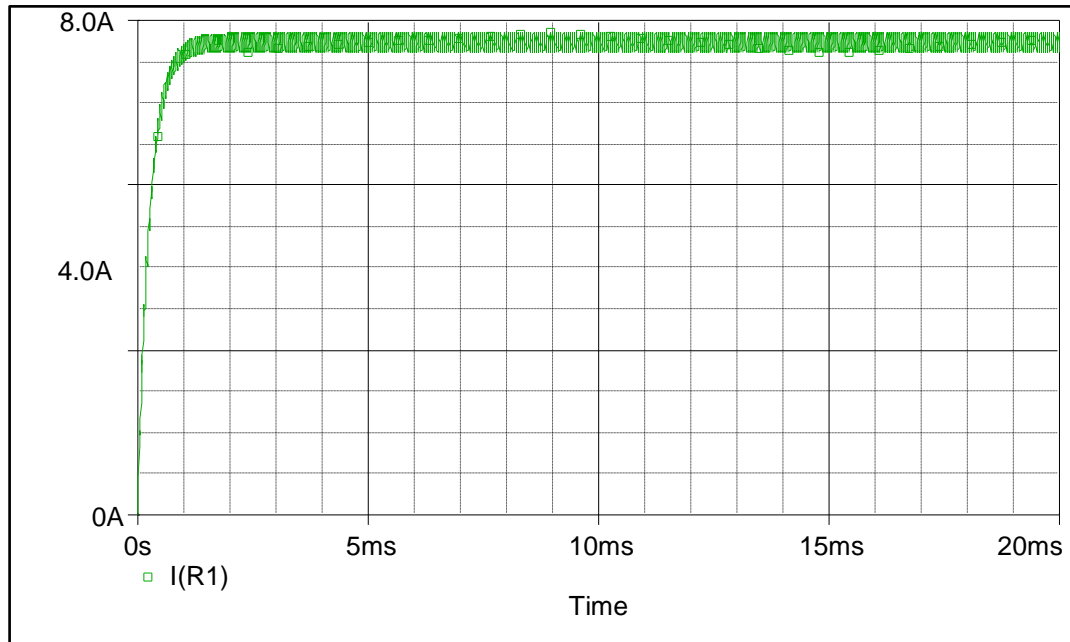


Figura 22. Corriente de carga positiva, Ciclo de Trabajo 0,8. Fuente: Autores

Para una corriente de carga negativa, se han configurado las fuentes de tensión pulso que representan las señales sobre los transistores, como se aprecia en la Figura 23. Al igual que en el caso anterior, se concluyó que es posible disminuir el consumo de recursos de un microcontrolador al mismo tiempo que se reducen las pérdidas por conmutación, reemplazando una de las señales PWM por una forma de onda constante, es decir; mantener a uno de los MOSFET conduciendo permanentemente mientras el otro se encuentra conmutando. Para el caso presentado en la mencionada figura, se estableció que el semiconductor a conmutar es M3, alimentado en sus terminales de compuerta y fuente por la fuente V7, mientras que, el transistor M2 se encuentra gobernado por una señal de tensión constante generada por la fuente M2.

Las señales ilustradas en la Figura 24, corresponden a las generadas por cada una de las fuentes de la Figura 23, donde la señal PWM corresponde a la señal que actúa sobre el transistor M3. La señal de voltaje constante es la que gobierna al transistor M2, mientras que las señales con nivel de tensión constante de 0[V], corresponden a los dos semiconductores restantes.

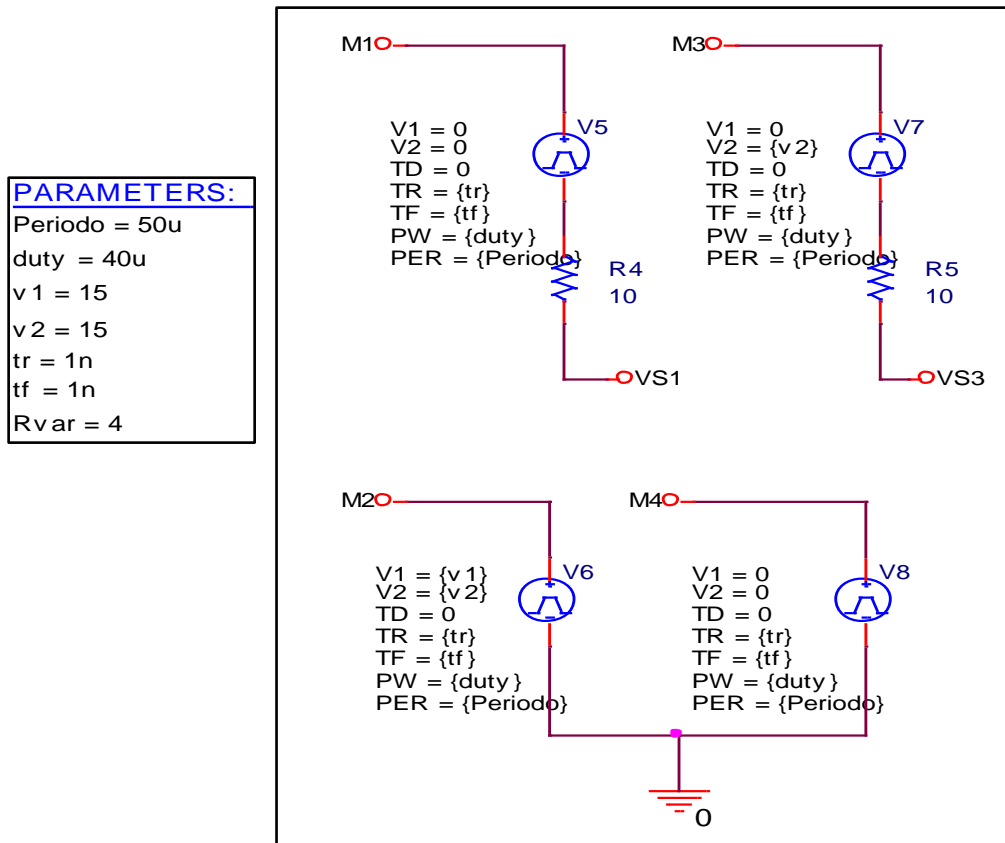


Figura 23. Parámetros de Señales de control corriente de carga negativa. Fuente: Autores

La Figura 25 contempla el comportamiento de la corriente en la carga cuando se ha fijado el ciclo de trabajo de la señal de PWM de la fuente V7 en 0.8, semejante al caso de la corriente positiva en la carga. Al igual que en el mencionado caso, se presenta un comportamiento similar a una señal sobre-amortiguada antes de

lograr $-8[A]$, valor que corresponde al ciclo útil de trabajo establecido para esta prueba de simulación.

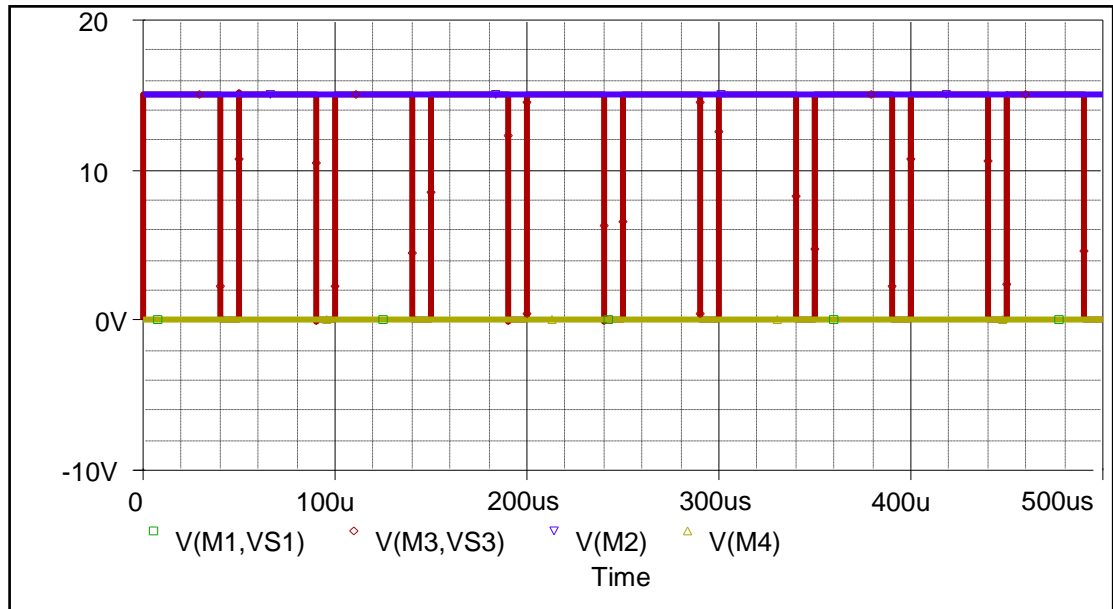


Figura 24. Señales de activación de los transistores para corriente de carga negativa. Fuente: Autores

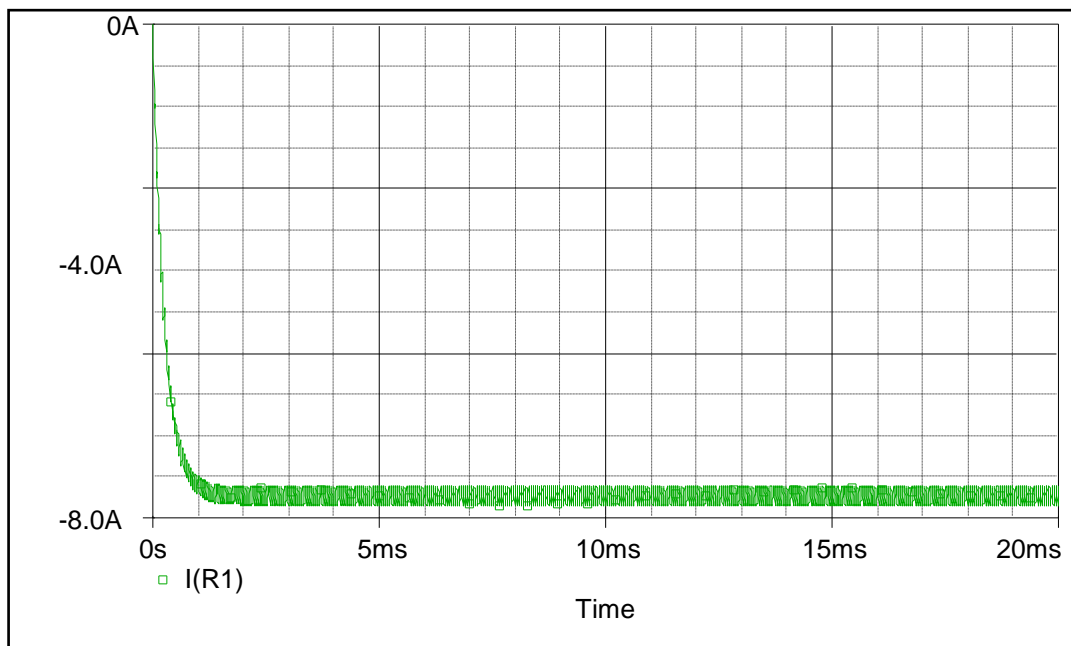


Figura 25. Corriente negativa en la carga para Ciclo de Trabajo $DT=0.8$. Fuente: Autores.

El efecto de la variación del ciclo de trabajo manteniendo fija la carga, se puede apreciar en la Figura 26(a).

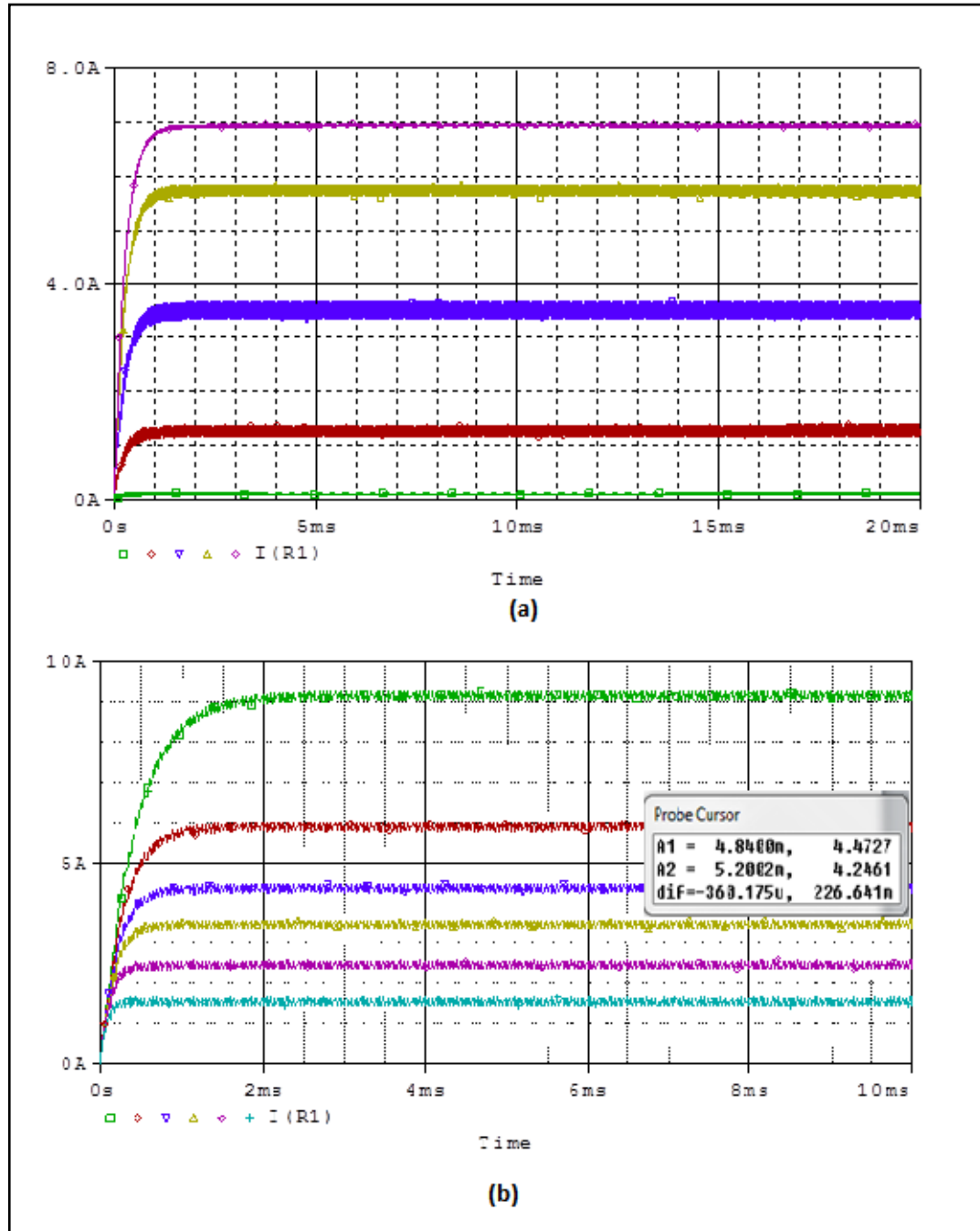


Figura 26. Corriente de carga positiva.

- (a) Con barrido del ciclo de trabajo DT= 0.04, 0.2, 0.5, 0.8, 0.96.
(b) Con variación de la carga R1=1, 2, 3, 4, 6, 10 Ω . Fuente: Autores

De dicha gráfica se comprueba que la mencionada variación permite controlar la corriente en la carga, mediante la ya mencionada relación característica entre la tensión de entrada y la tensión de salida en los troceadores reductores. A su vez, es posible percibir que en la medida en que el ciclo de trabajo se encuentra cercano a su valor máximo o mínimo, el rizado en la corriente de la carga disminuye considerablemente, mientras que para valores cercanos a su valor intermedio, el rizado se hace más evidente.

En la Figura 26(b) se puede observar el efecto del cambio de carga para un ciclo de trabajo fijo. Como se puede deducir de la ley de Ohm, a medida que la carga resistiva aumenta manteniendo constante el voltaje en sus terminales, la corriente en la misma disminuye, es decir; mantienen una relación inversamente proporcional. Igualmente se aprecia que se mantiene el voltaje de rizado en la carga a pesar de la variación de la misma, para este caso el valor de dicho voltaje es 226.64 [mV] en todas las señales obtenidas, concluyendo nuevamente que es la variación del ciclo de trabajo uno de los parámetros que influyen en la variación del rizado, para valores ya establecidos durante la selección de los componentes del troceador.

2.3. Generación de la onda en la carga

2.3.1. Interfaz Local

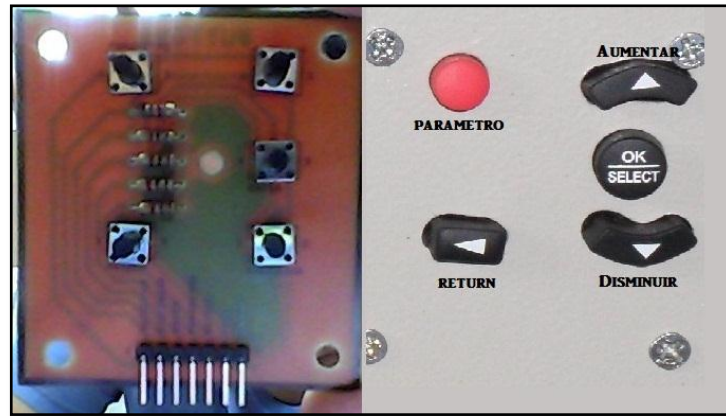


Figura 27. Interfaz de configuración local. Fuente: Los autores.

El diseño de la interfaz local tiene como principal intención, la total y sencilla manipulación por parte del usuario a la hora de parametrizar el dispositivo. Su elaboración fue detenidamente estudiada hasta llegar al diseño final y su función es actuar cuando el usuario así lo requiera, parametrizando el tipo de onda y los diferentes picos de corriente (en amperes) de dicha forma de onda, además de su periodo (en segundos) o el tiempo de duración del proceso (en minutos) .

Como punto de partida se tomó cada uno de los recursos del PIC 18F2550 y basados en el número de pines disponibles para entradas y salidas, se optó por utilizar cinco pulsadores para la dinámica de configuración, además de una pantalla LCD 4 x 20 como indicador de las funciones que se llevan a cabo. Para llevar a cabo esta configuración y asegurarse de su correcto funcionamiento, el microcontrolador debe estar configurado de tal manera que inicialice la pantalla LCD una vez se encienda el dispositivo, y llevado a cabo esta operación comience a partir de allí un recorrido completo en compañía del usuario hacia la manipulación de los parámetros que conforman la onda de corriente.

Cada uno de los pulsadores están conectados a una alimentación única de 5 [V] y por otra parte a entradas del PIC 18F2550 que se encarga de llevar a cabo la función específica, esto, cada que reciba una señal en alto ocasionada al oprimir uno de los cinco pulsadores.

2.3.1.1. Función de los pulsadores.

Pulsador Parámetro:

Está conectado al pin número 23 del pic 18f2550 y tiene como función, seleccionar o pasar de una opción a otra, como su nombre lo indica, si se quiere modificar el pico máximo de una onda, se debe oprimir el pulsador parámetro hasta visualizar en la pantalla LCD el mensaje de pico máximo.

Pulsador Return:

Tiene como función, como su nombre lo indica volver o retornar al menú anterior en caso que se haya cometido un error en la configuración de la forma de onda.

Pulsador OK (enter):

Tiene como función, dar por válida la opción elegida para seguir avanzando en la configuración.

Pulsador Aumentar:

Tiene como función, sumar o incrementar en una cantidad específica cada parámetro. Si se quiere configurar el pico máximo o el pico mínimo de una forma de onda, los incrementos por cada vez que se oprima el pulsador son de 0.25 ampers, si se va a configurar el periodo de la señal, los incrementos

son de 2 segundos, y si se va a configurar el tiempo del proceso, los incrementos son de 0.5 minutos.

Pulsador Disminuir:

Tiene como función, restar o disminuir en una cantidad específica cada parámetro. Si se quiere configurar el pico máximo o el pico mínimo de una forma de onda, los decrementos por cada vez que se oprima el pulsador son de 0.25 amperes, si se va a configurar el periodo de la señal, los decrementos son de 2 segundos, y si se va a configurar el tiempo del proceso, el valor actual disminuye en una cantidad de 0.5 minutos.

Establecidas las funciones de cada pulsador, se estableció una rutina de configuración que hace que el usuario interactúe de una manera muy sencilla con el dispositivo, permitiéndole moverse con libertad durante todo el proceso de configuración.

2.3.1.2. Visualización en LCD

Saludo Inicial.

Al encender el dispositivo, la pantalla LCD se inicializa y muestra en los cuatro renglones que la componen el siguiente saludo de bienvenida.

Figura 28.

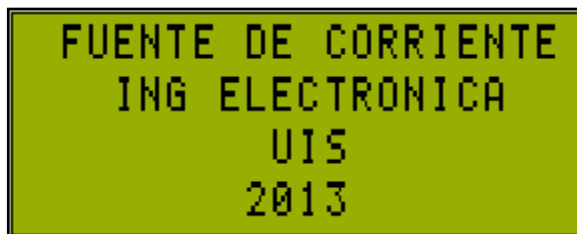


Figura 28. LCD, mensaje de bienvenida. Fuente: Autores

Una vez de cumplan cinco segundos, el mensaje de bienvenida desaparece y da inicio la configuración del dispositivo.

Elegir tipo de configuración.

Pasados cinco segundos desde la aparición del saludo inicial, se despliega en la pantalla un mensaje en el cual el usuario debe elegir como quiere configurar el dispositivo, si de manera local con ayuda de los pulsadores, o de manera remota por intermedio de software (pc) como se muestra en la Figura 29. Esta selección se hace por medio del pulsador parámetro, al encontrarse en la opción deseada se oprime el pulsador OK.

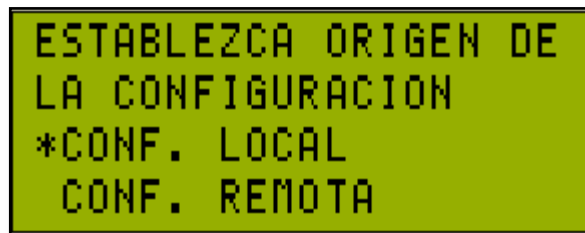


Figura 29. LCD, Selección de Configuración. Fuente: Autores.

Selección de forma de onda.

Si el usuario selecciona configuración remota, se debe revisar el apartado 2.3.2., donde se explica este tipo de interfaz.

En caso que el usuario seleccione el tipo de configuración local, se despliega en la pantalla LCD, un mensaje que da a escoger entre los cuatro diferentes tipos de onda de corriente que se pueden crear con el dispositivo. Con el pulsador parámetro se puede navegar en el menú hasta seleccionar una de las cuatro señales y finalmente oprimir OK. Figura 30.



Figura 30. LCD, Selección de forma de Onda. Fuente: Autores.

Configuración de parámetros.



Figura 31. LCD, Configuración de parámetros. Fuente: Autores.

Seleccionada la forma de onda triangular o diente de sierra, se deben configurar los parámetros de pico máximo, pico mínimo, periodo y tiempo de proceso, en caso que la forma de onda configurada sea una constante solo se debe configurar su pico máximo y el tiempo del proceso. Para

navegar en cada parámetro se utiliza el pulsador “Parámetro” y los valores se ajustan con los pulsadores “aumentar” y “disminuir”.

Una vez ajustado cada uno de los parámetros que conforman la onda de corriente se oprime el pulsador “OK”, para corroborar que los datos que va a recibir el microcontrolador son los correctos. Hecho lo anterior se despliega en la pantalla, un mensaje que resume los valores configurados y enviados al PIC.

Al final de la configuración, el usuario tiene un total de cinco parámetros configurados, los cuales se encargan de decirle al microcontrolador la función que se necesita implementar. Figura 32.

```
MAXIMO : 0.20[A]
MINIMO : -0.20[A]
PERIODO : 5.00[s]
DURACION: 0.50[min]
```

Figura 32. LCD, Mensaje resumen. Fuente: Autores.

Terminada la configuración de la onda, ya sea de manera local o de manera remota, los datos son interpretados por el microcontrolador con el fin de generar las señales requeridas. (Apartado 2.3.3).

2.3.2. Interfaz de Configuración Remota



Figura 33. Panel frontal. Fuente: Los autores.

El diseño de la configuración remota tiene como principal intención, la total y sencilla manipulación por parte del usuario a la hora de parametrizar el dispositivo. Está elaborada en el software Labview y su función es actuar cuando el usuario así lo requiera, parametrizando el tipo de onda y los diferentes picos de corriente (en amperios) de dicha forma de onda, además de su periodo (en segundos) o el tiempo de duración del proceso (en minutos).

Los pasos para construir la interfaz fueron:

- Creación del proyecto en Labview

Como requisito indispensable para la elaboración de la interfaz, se cuenta con todos los recursos disponibles en el software Labview, gracias a la licencia que sobre este ejerce la Universidad Industrial de Santander. Se ejecuta el programa y se crea un proyecto en blanco, tal cual lo indica la Figura 34 y 35.

Diseño y construcción de un troceador reductor operando como fuente de corriente.

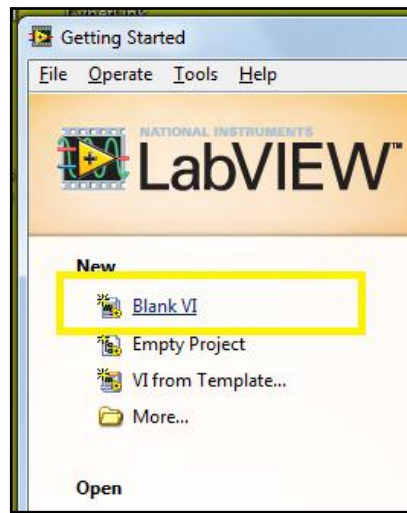


Figura 34. Creacion del Proyecto en blanco. Fuente: Los Autores

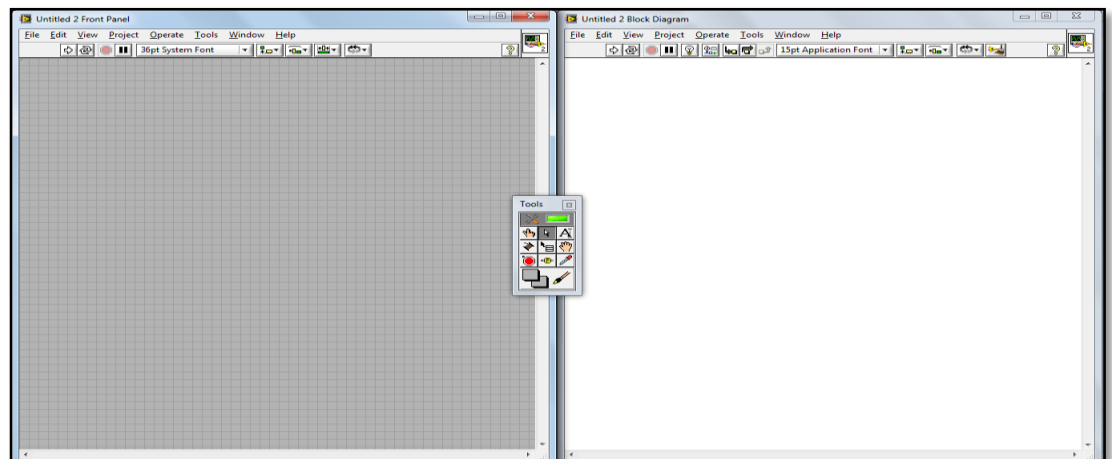




Figura 35. Panel frontal y diagrama de bloques. Fuente: Los Autores


- Implementación del Módulo Botón Incrementar.


Para la elaboración del módulo se utilizan varios comandos y bloques, los más importantes son el pulsador, el select, *Number to fractional string* y el

Fractional string to number, con ellos se puede crear la mayoría de módulos presentes en la interfaz.

El Pulsador,  es el encargado de generar la señal Verdadero al presionarse y Falso al estar inoperante. Su uso es fundamental en la interfaz para el incremento y disminución de valores.

La herramienta “Seleccionar”,  , se utiliza como su nombre lo indica para dejar pasar una de dos señales que a él ingresan, el pulsador Incrementar debe ser el criterio de selección, de manera que al conectarse a este módulo, se podrá seleccionar entre cualquiera de dos funciones diferentes. Cabe aclarar que a este módulo solo pueden ingresar variables en formato *String*.

El bloque “*Number to fractional string*”,  , convierte un número cualquiera en un string, lo cual es muy útil en procesos como la realimentación de una operación matemática.

La herramienta, *Fractional string to number*  , convierte un *string* en un número decimal con número de bits específico. Si se quiere finalmente mostrar un resultado que ha sido cambiado de formato, es muy útil este bloque, ya que permite obtener un valor listo para ser visualizado.

El módulo completo del pulsador Incrementar funciona de tal manera que cada vez que se oprime dicho pulsador, se muestra un número aumentando de uno en uno, para algunos casos, o de la cantidad que sea necesaria incrementar.

En la Figura 36 se puede observar el diagrama de bloques del pulsador incrementar, el cual tiene como inicio el valor “0”; a partir de ese momento, cada vez que se oprima el pulsador, este valor aumentara en forma decimal una unidad, para realimentar el lazo y lograr que esta acción se cumpla cada vez que se oprima dicho pulsador, se tiene que usar el bloque “*Number to fractional string*” ,

pues el bloque selector solo permite en sus entradas auxiliares, datos con formato string.

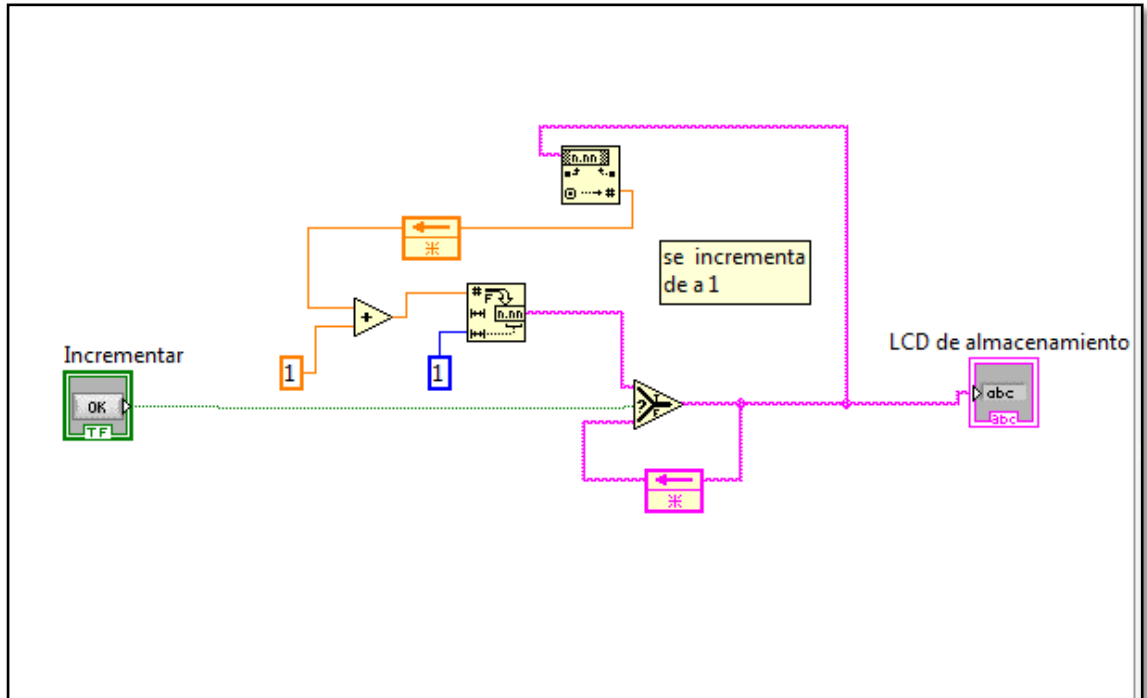


Figura 36. Diagrama de bloques pulsador incrementar. Fuente: Los Autores

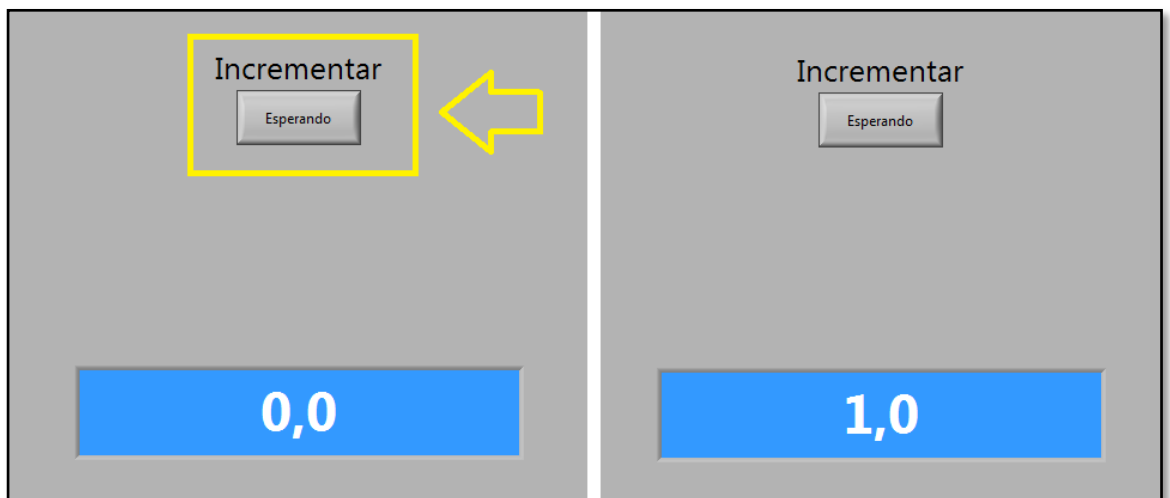


Figura 37. Panel frontal pulsador incrementar. Fuente: Los Autores

En la Figura 37 se observa el panel frontal en ejecución, el cual actúa de la manera planeada, en este, el valor actual se incrementa de uno en uno cada vez que se oprima el pulsador incrementar.

- Creación del Módulo Pulsador Disminuir.

Se sigue un proceso similar al utilizado para crear el módulo del pulsador incrementar, con la diferencia que no existe una suma, en su lugar hay un módulo restador, que hace que cada vez que se oprima el pulsador disminuir, el número en cuestión disminuya de uno en uno.

Finalmente para completar el módulo tanto de aumentar como el módulo disminuir, se suman los dos resultados con el fin de controlar un solo número con cualquiera de los dos pulsadores, tal como se indica en la Figura 38.

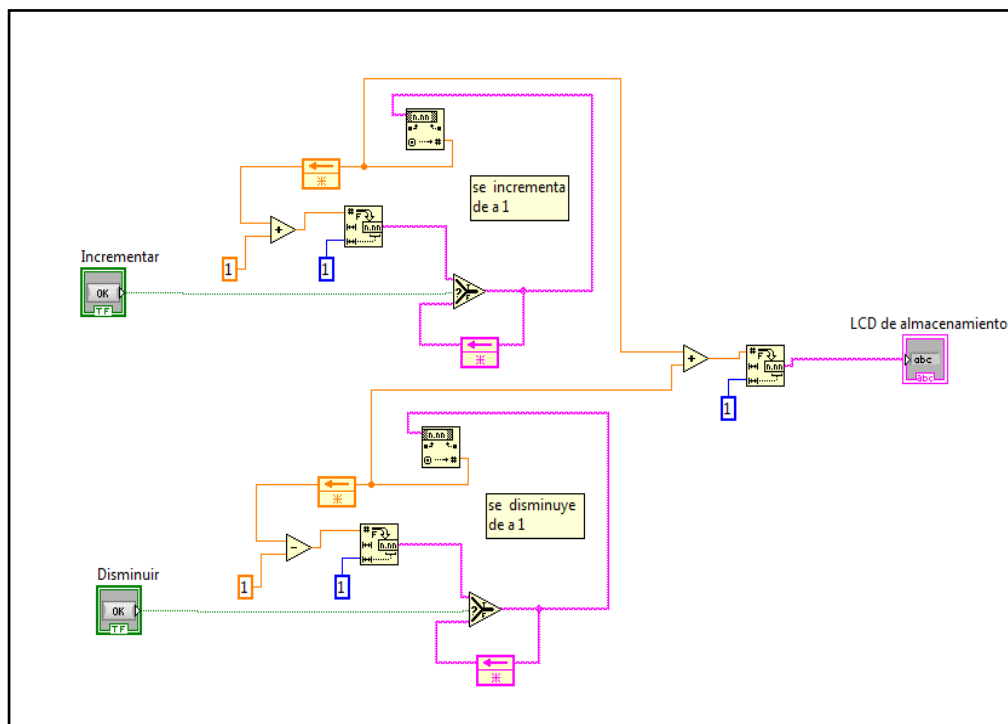


Figura 38. Diagrama de bloques de pulsador disminuir y pulsador aumentar.

Fuente: Los Autores

En la Figura 39 se observa el panel frontal con la ejecución de la union entre los módulos incrementar y disminuir en cual actúa de acuerdo a lo planeado, el valor actual incrementa o disminuye de acuerdo al pulsador que se oprime.

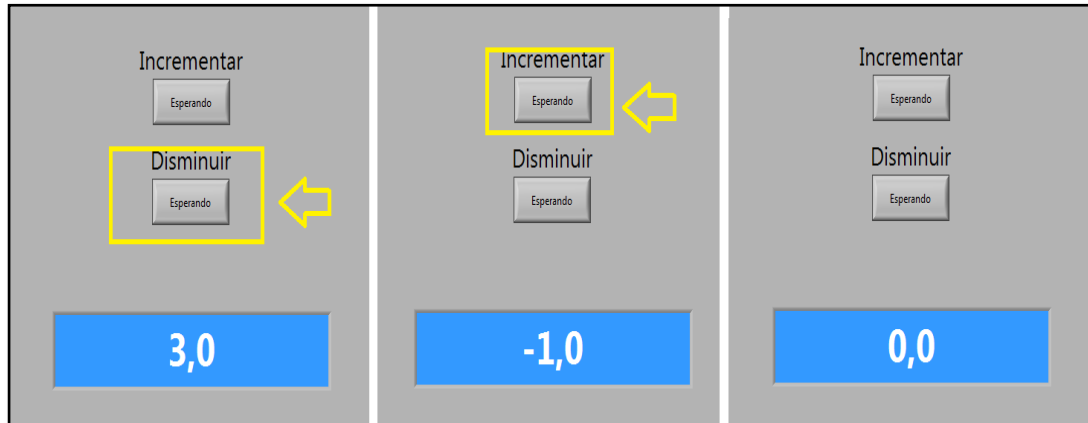


Figura 39. Panel frontal del pulsador disminuir y pulsador aumentar. Fuente: Los Autores

- Creación de los Diferentes Casos de configuración.

La forma de onda está parametrizada por cinco aspectos de vital importancia que se encargan de configurar al micro para su correcto funcionamiento, estos aspectos o parámetros deben ser enviados desde Labview de manera individual, hasta configurar en el micro una trama o vector de tamaño 22.

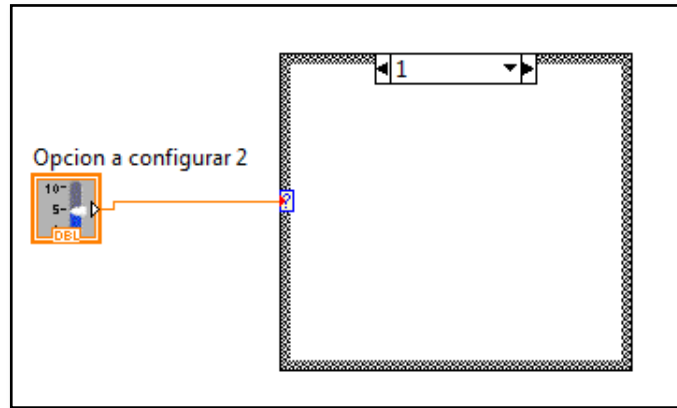


Figura 40. Bloque Case. Fuente: Autores.

Utilizando la herramienta de bloque CASE en Labview, se configura cada parámetro por separado de tal manera que se deja el número seleccionado listo para enviar. Figura 40.

El bloque encierra y separa diferentes opciones que se seleccionan mediante una perilla selectora, cuando se coloca la perilla en la opción cero, se realiza una función para determinar el tipo de onda. La perilla en opción uno, realiza otra función para especificar el pico máximo de la onda y de manera semejante con las tres opciones mas. Figura 41.

Como son cinco parámetros que se deben ajustar, se ha limitado la perilla para que varíe desde cero hasta cuatro, especificando el parámetro que se va a configurar con cada opción.

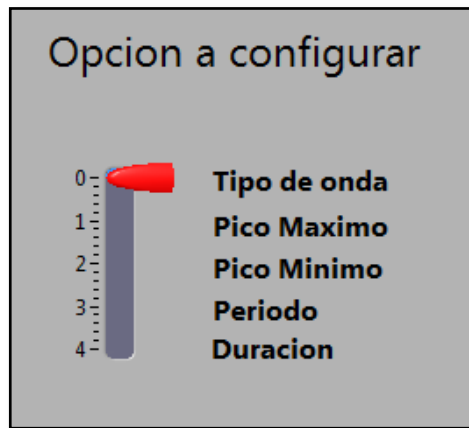


Figura 41. Perilla selectora de parámetro. Fuente: Autores

Lo que se hace para cada opción (*case*) es introducir los módulos Incrementar y disminuir para tener control sobre cada uno de los parámetros a configurar. Figura 42.

Se van a tener entonces 5 “*cases*” que esperan ser configurados por el usuario con ayuda de los pulsadores incrementar y disminuir, ya sea para variar valores o seleccionar opciones diferentes, todo por separado, con el fin de completar un número que se debe convertir en carácter para ser enviado, y una vez enviados todos los datos de todos los parámetros, completar así un vector de tamaño 21, vector que será descomprimido por el PIC en forma de datos individuales para el posterior procesamiento y generación de señales.

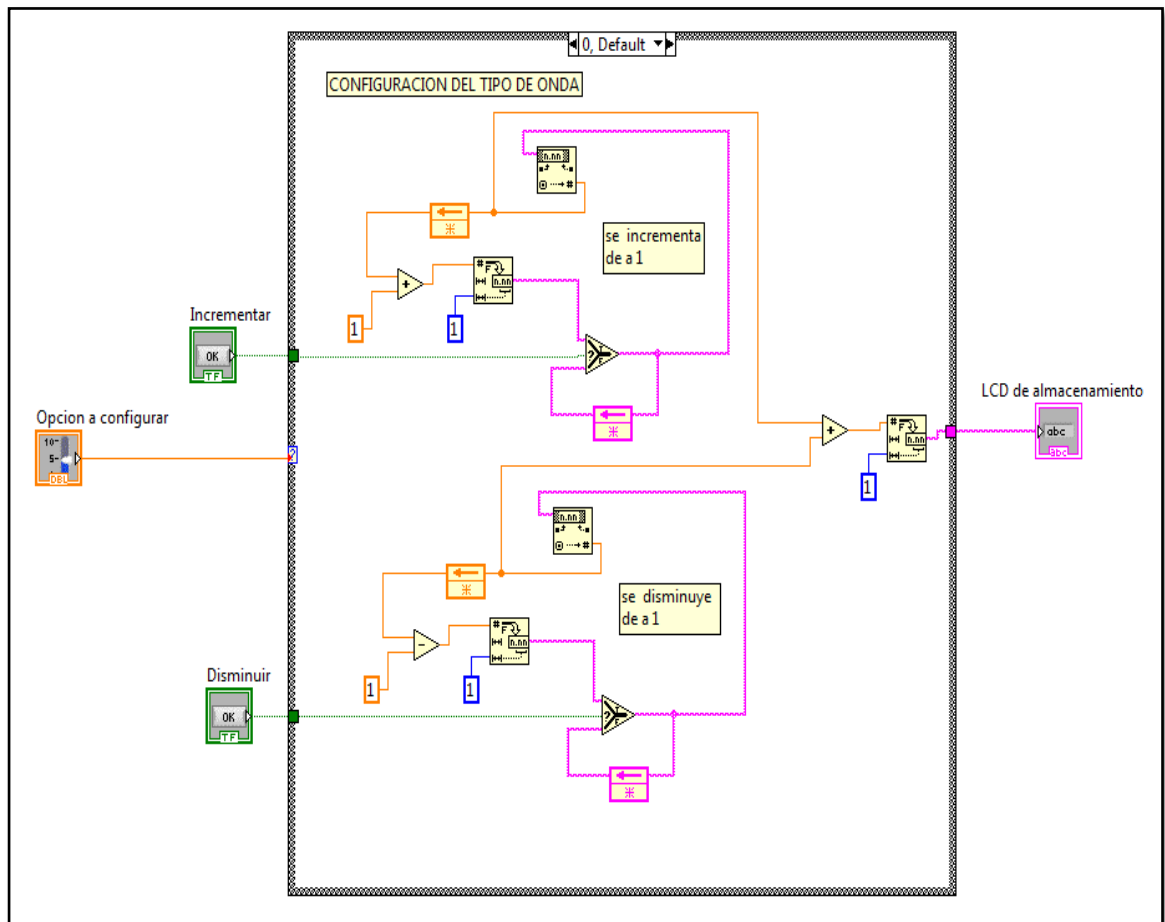


Figura 42. Diagrama de bloques del case de tipo de onda. Fuente: Los Autores.

En la Figura 43 se observa el archivo en ejecución y se está configurando la opción de pico máximo, con esto se visualiza un valor que estaría listo para su envío.

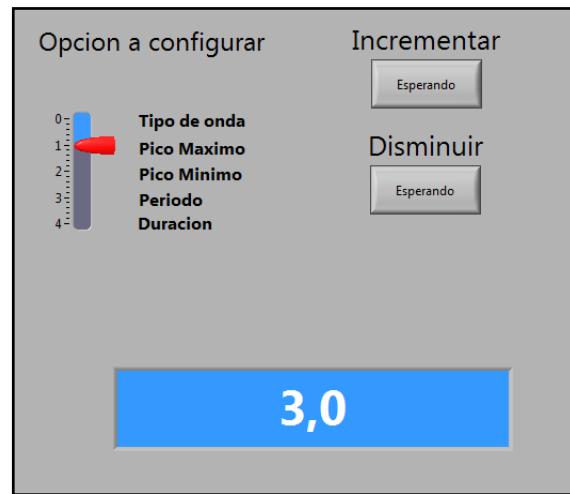


Figura 43. Panel frontal ejecución de los CASE. Fuente: Autores.

- Caso 0. Configuración de tipo de onda.

Cuando la perilla selectora se encuentra en la posición cero se activa el bloque del CASE que contiene dicha opción.

En este módulo los valores aumentan o disminuyen por unidad es decir, cada que se oprima el botón Aumentar o Disminuir al valor original se le sumará o se le restará uno.

Como en este módulo lo que se busca, es que el usuario pueda seleccionar o escoger un tipo de onda entre cuatro opciones disponibles, entonces no es de vital importancia que los números sean visibles en la pantalla LCD.

Su construcción se basa en los módulos incrementar y disminuir que se explicaron en los apartados anteriores con el fin de variar la cantidad inicial que es cero, hasta un número menor o igual a tres, es decir se tienen cuatro valores diferentes dentro de la selección.

En este momento se agrega otro bloque CASE, el cual tiene en su interior cuatro letreros diferentes; esto se hace con el fin que el usuario al visualizar la configuración de tipo de onda, no va a observar números en la pantalla LCD, si no

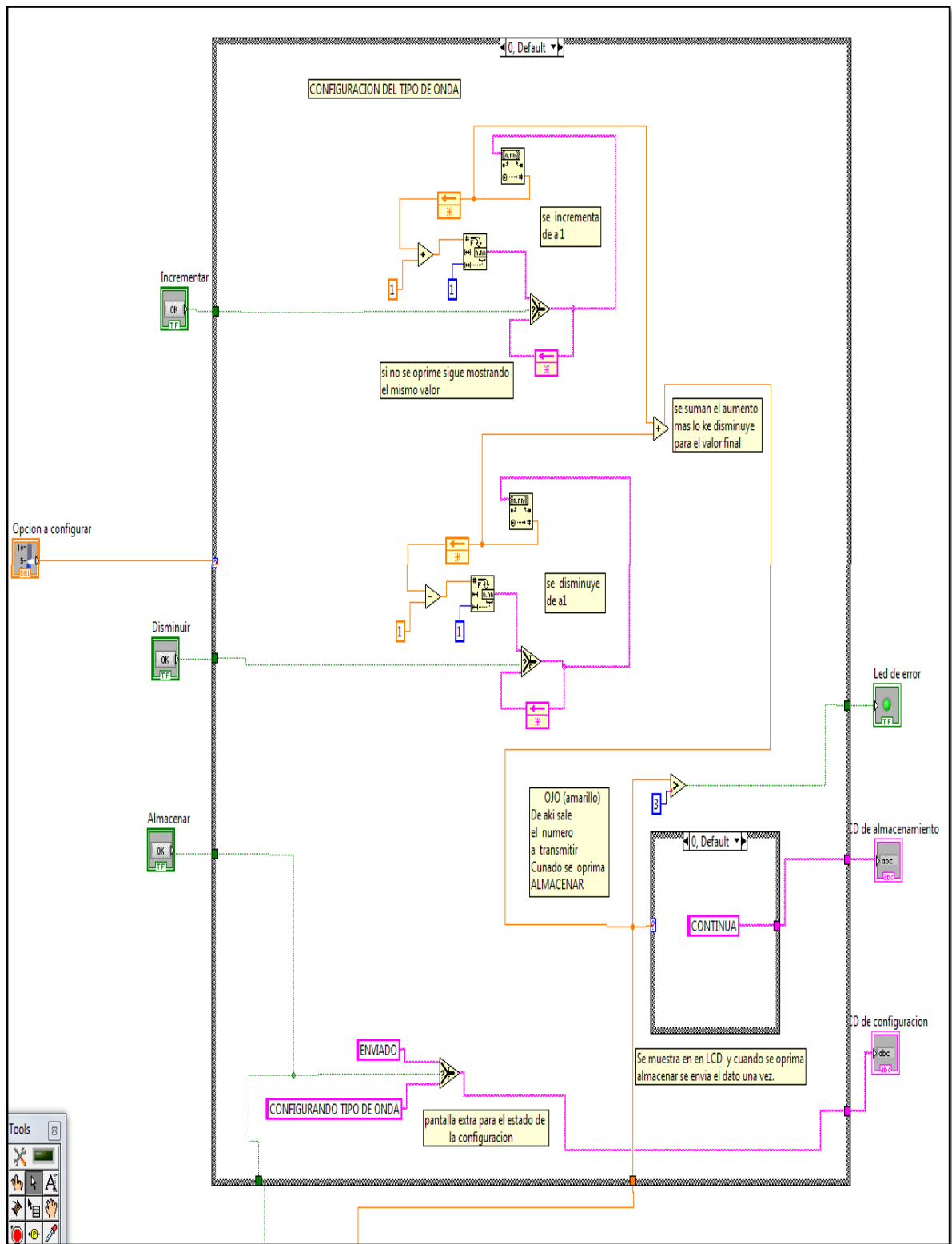


Figura 44. Diagrama de bloques para CASE 0 forma de onda. Fuente: Autores.

que por lo contrario va a observar letreros de CONTINUA, TRIANGULAR, DIENTE DE SIERRA y RAMPA, al desplazarse con los pulsadores de incrementar y disminuir.

El nuevo bloque CASE interno entonces tiene como finalidad cambiar los valores seleccionados, por letreros; entonces se crean 4 cases mas, cuando el valor que ingresa al case es cero, el letrero que se muestra es “continua”. Cuando el valor que ingresa al case es uno, el letrero que se muestra es “triangular”. Cuando el valor que ingresa al case es dos el letrero que se muestra es “diente de sierra” y finalmente si el valor que ingresa al case es tres el mensaje será “rampa”. Figura 44.

En la Figura 45 se observa la ejecución del archivo y como el usuario puede observar no un número si no un mensaje diferente cada vez que oprime incrementar o disminuir.

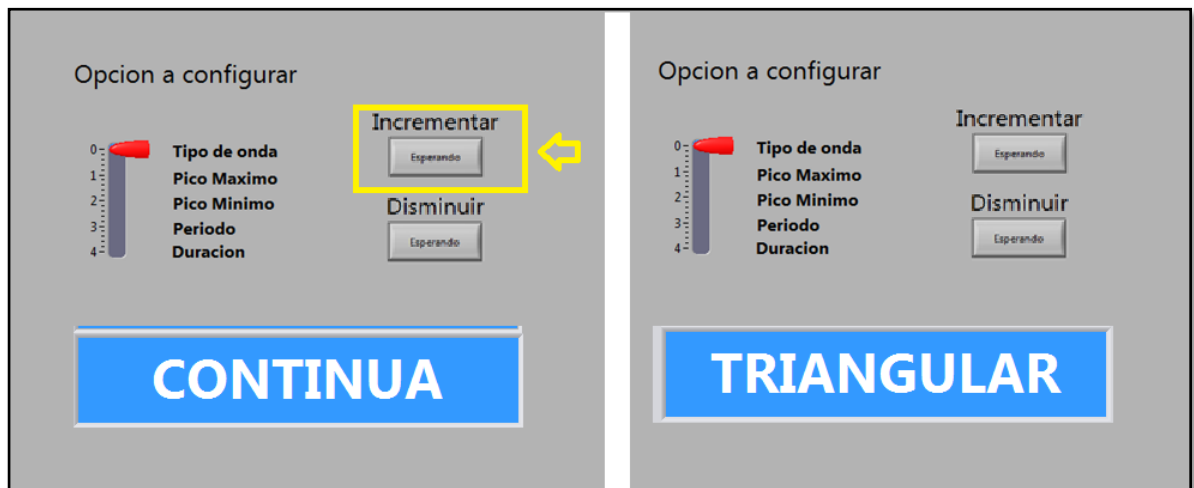


Figura 45. Panel frontal, ejecución del CASE 0. Fuente: Autores

- Caso 1. Configuración de pico máximo.

Cuando la perilla selectora se encuentra en la posición uno se activa el bloque del *CASE* que contiene dicha opción. La configuración utiliza los mismos bloques utilizados para la forma de onda, pero en este caso los saltos de valores no son por unidad si no que aumentan o disminuyen de a cero punto veinticinco (0.25), tal como lo muestra la Figura 46. Dentro de esta opción, se ha activado de manera similar al módulo anterior, un letrero de error en caso tal de que el valor seleccionado como pico máximo supere los diez ampers. Figura 47.

Aparte del valor configurado que va de menos diez (-10) hasta diez (10) ampers que es, el que el usuario ve reflejado en la pantalla LCD, existe un valor numérico auxiliar que el usuario no ve en el panel frontal, el cual es utilizado en el envío de datos por comunicación serial, el cual se explica mas adelante en el apartado 2.3.3. Este valor auxiliar convierte los valores menores a cero, en números que van desde diez (10) hasta veinte (19.9), es decir, normalmente el número -3.75 que el usuario ve en panel frontal, tiene un valor auxiliar de 13.75, donde el 1 representa a los dígitos negativos.

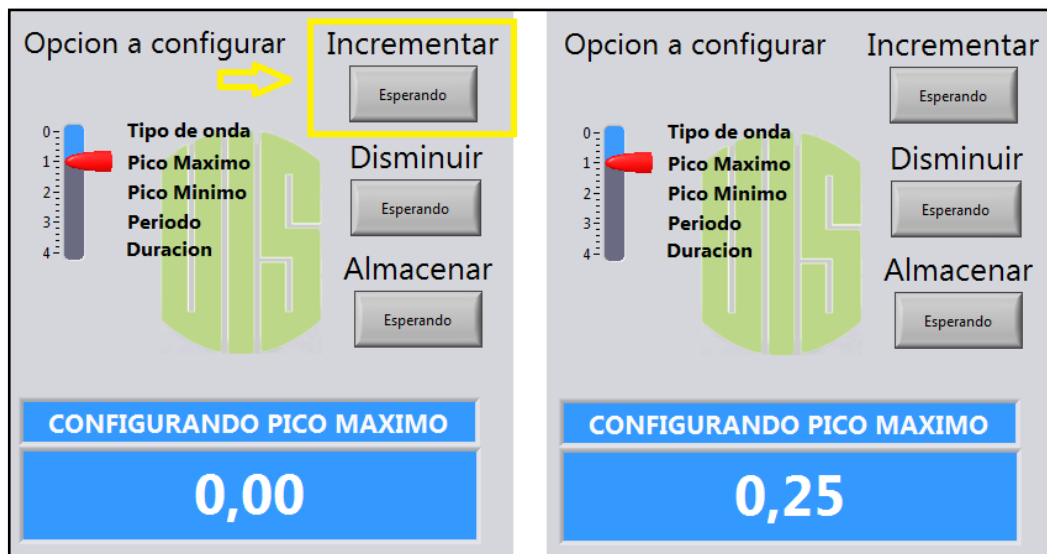


Figura 46. Panel Frontal. Ejecución del *CASE* 1. Pico máximo. Fuente: Autores

De manera semejante los dígitos que sean mayores a cero tendrán un valor auxiliar que va desde 20 hasta 29.9, es decir un valor visualizado en el panel frontal como 4.25, tendrá un valor auxiliar de 24.25, donde el número dos (2) representa a los números positivos.

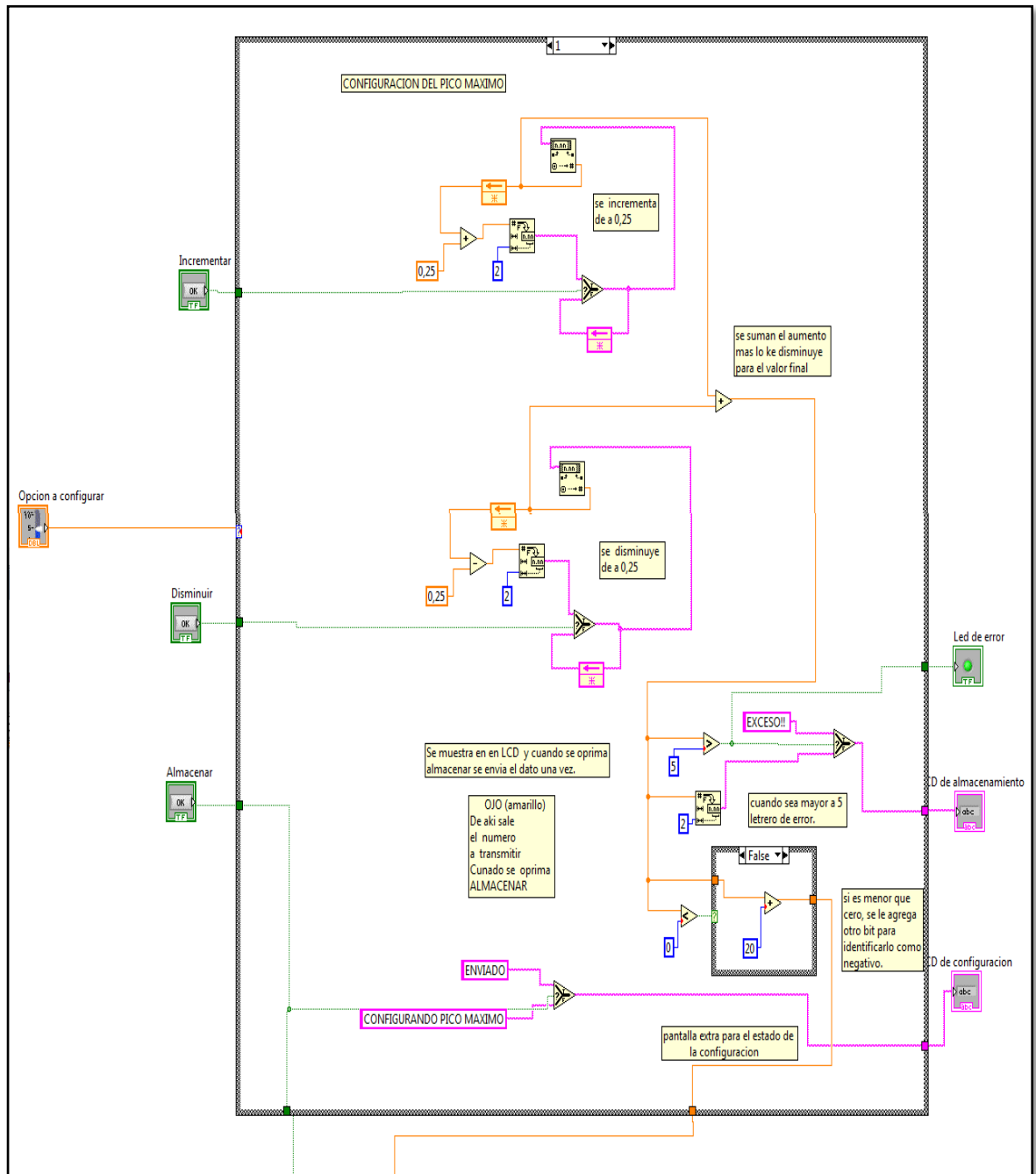


Figura 47. Diagrama de Bloques CASE 1. Pico máximo. Fuente: Autores

- Caso 2. Configuración de pico mínimo.

Cuando la perilla selectora se encuentra en la posición dos se activa el bloque del CASE que contiene dicha opción. La configuración utiliza los mismos bloques utilizados para la forma de onda, pero en este caso los saltos de valores no son por unidad si no que aumentan o disminuyen de a cero punto veinticinco (0.25), tal como lo muestra la Figura 48. Dentro de esta opción, se ha activado de manera similar al módulo anterior, un letrero de error en caso tal de que el valor seleccionado como pico mínimo sea menor a los menos diez (-10) amperes, o mayor a los diez (10) amperes. Figura 49. Aparte del valor configurado que va de menos diez (-10) hasta diez (10) amperes que es, el que el usuario ve reflejado en la pantalla LCD, existe un valor numérico auxiliar que el usuario no ve en el panel frontal, el cual es utilizado en el envío de datos por comunicación serial, el cual se explica mas adelante en el apartado 5. Este valor auxiliar convierte los valores menores a cero, en números que van desde diez (10) hasta veinte (19.9), es decir, normalmente el número -3.75 que el usuario ve en panel frontal, tiene un valor auxiliar de 13.75, donde el 1 representa a los dígitos negativos.



Figura 48. Panel Frontal. Ejecución del CASE 2. Pico mínimo. Fuente: Autores

De manera semejante los dígitos que sean mayores a cero tendrán un valor auxiliar que va desde veinte (20) hasta treinta (29.9), es decir un valor visualizado en el panel frontal como 4.25, tendrá un valor auxiliar de 24.25, donde el número dos (2) representa a los números positivos.

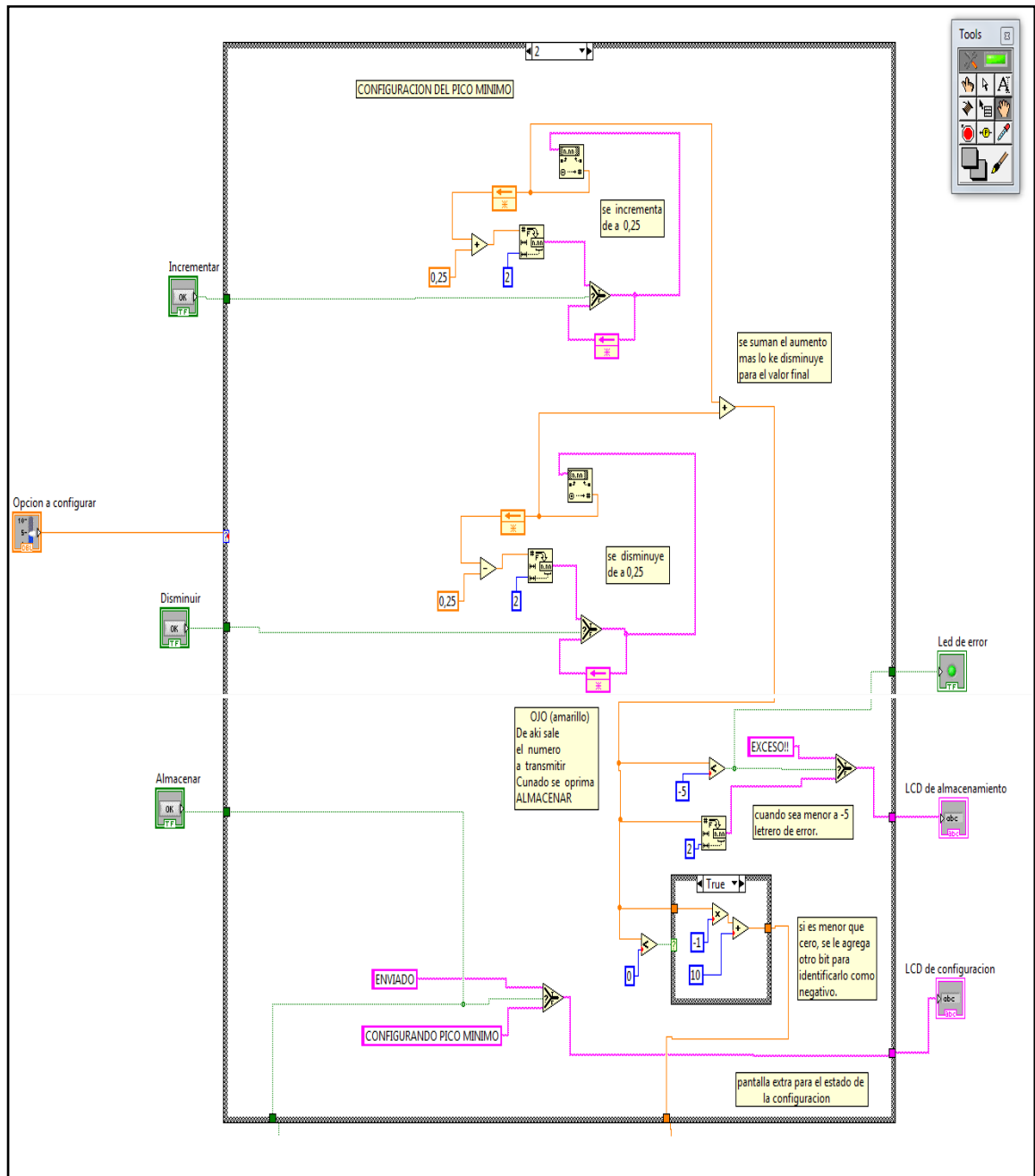


Figura 49. Diagrama de Bloques CASE 2. Pico mínimo. Fuente: Autores

- Caso 3. Configuración de periodo.

Cuando la perilla selectora se encuentra en la posición tres se activa el bloque del CASE que contiene dicha opción. La configuración utiliza los mismos bloques utilizados para la forma de onda, pero en este caso los saltos de valores no son por unidad si no que aumentan o disminuyen en una cantidad de dos (2), ya que se trabaja en la escala de segundos, tal como lo muestra la Figura 50.

Dentro de esta opción, se ha activado de manera similar al módulo anterior, un letrero de error en caso tal de que el valor seleccionado como periodo sea menor a cero porque no se pueden configurar tiempos negativos.



Figura 50. Panel Frontal. Ejecución del CASE 3. Periodo. Fuente: Autores

Aparte del valor configurado positivo (en segundos) que es, el que el usuario ve reflejado en la pantalla lcd, existe un valor numérico auxiliar que el usuario no ve en el panel frontal, el cual es utilizado en el envío de datos por comunicación serial, el cual se explica mas adelante en el apartado 5. Este valor auxiliar de

periodo es el resultado de dividir el número original entre 100 es decir, si el número deseado por el usuario es 25, el valor auxiliar tiene un valor de 0,25.

Figura 51.

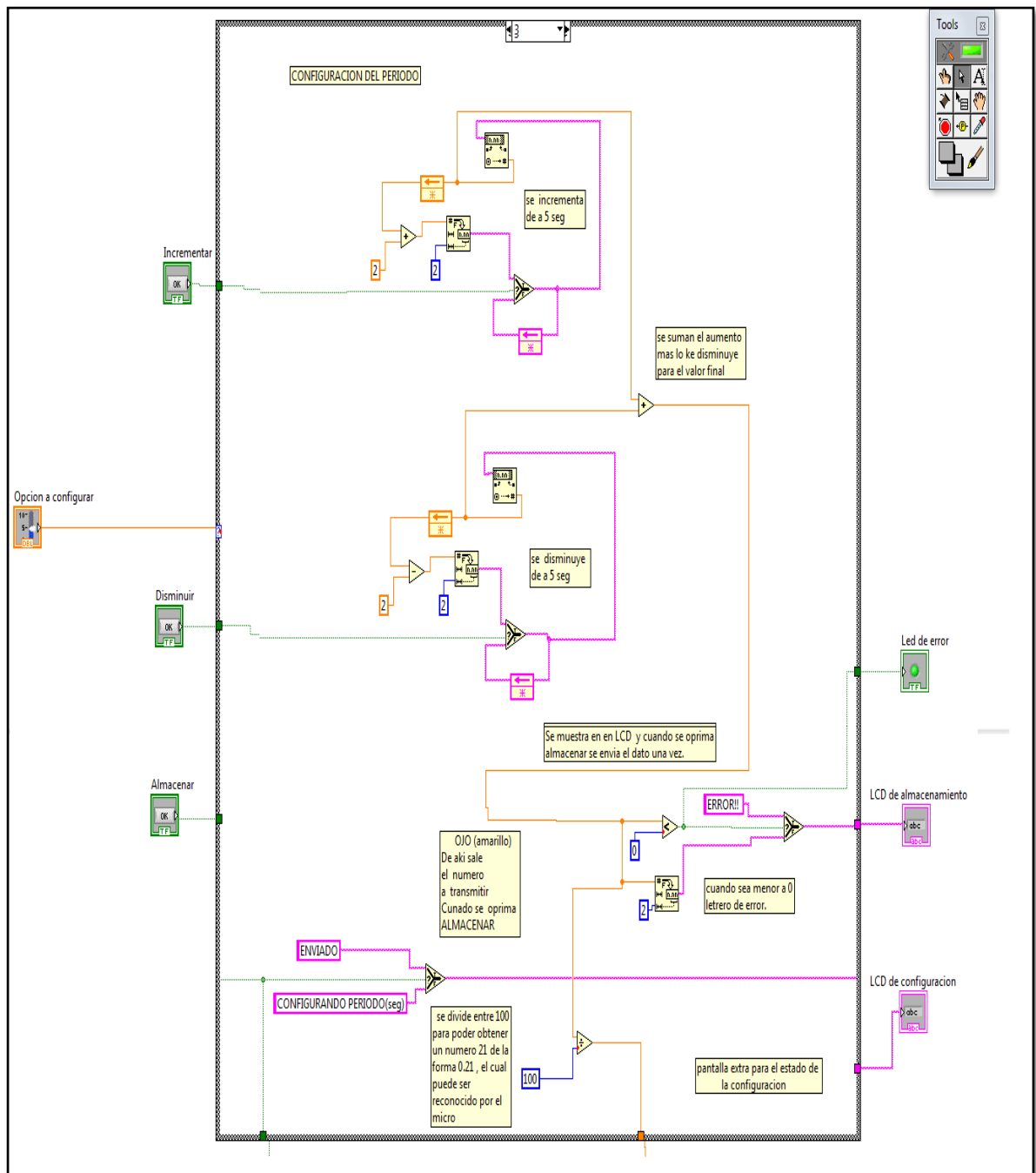


Figura 51. Diagrama de Bloques CASE 3. Periodo. Fuente: Autores

- Caso 4. Configuración del Tiempo de proceso.

Cuando la perilla selectora se encuentra en la posición cuatro se activa el bloque del CASE que contiene dicha opción. La configuración utiliza los mismos bloques utilizados para la forma de onda, en este caso los saltos de valores son por unidad y se trabaja en la escala de minutos, tal como lo muestra la Figura 52.

Dentro de esta opción, se ha activado de manera similar al módulo anterior, un letrero de error en caso tal de que el valor seleccionado como tiempo de proceso sea menor a cero porque no se pueden configurar tiempos negativos. Figura 53.

Aparte del valor configurado positivo (en segundos) que es, el que el usuario ve reflejado en la pantalla LCD, existe un valor numérico auxiliar que el usuario no ve en el panel frontal, el cual es utilizado en el envío de datos por comunicación serial, el cual se explica mas adelante en el apartado 5. Este valor auxiliar de tiempo de proceso es el resultado de dividir el número original entre 100 es decir, si el número deseado por el usuario es 15, el valor auxiliar tiene un valor de 0,15.



Figura 52. Panel Frontal. Ejecución del CASE 4. Proceso. Fuente: Autores

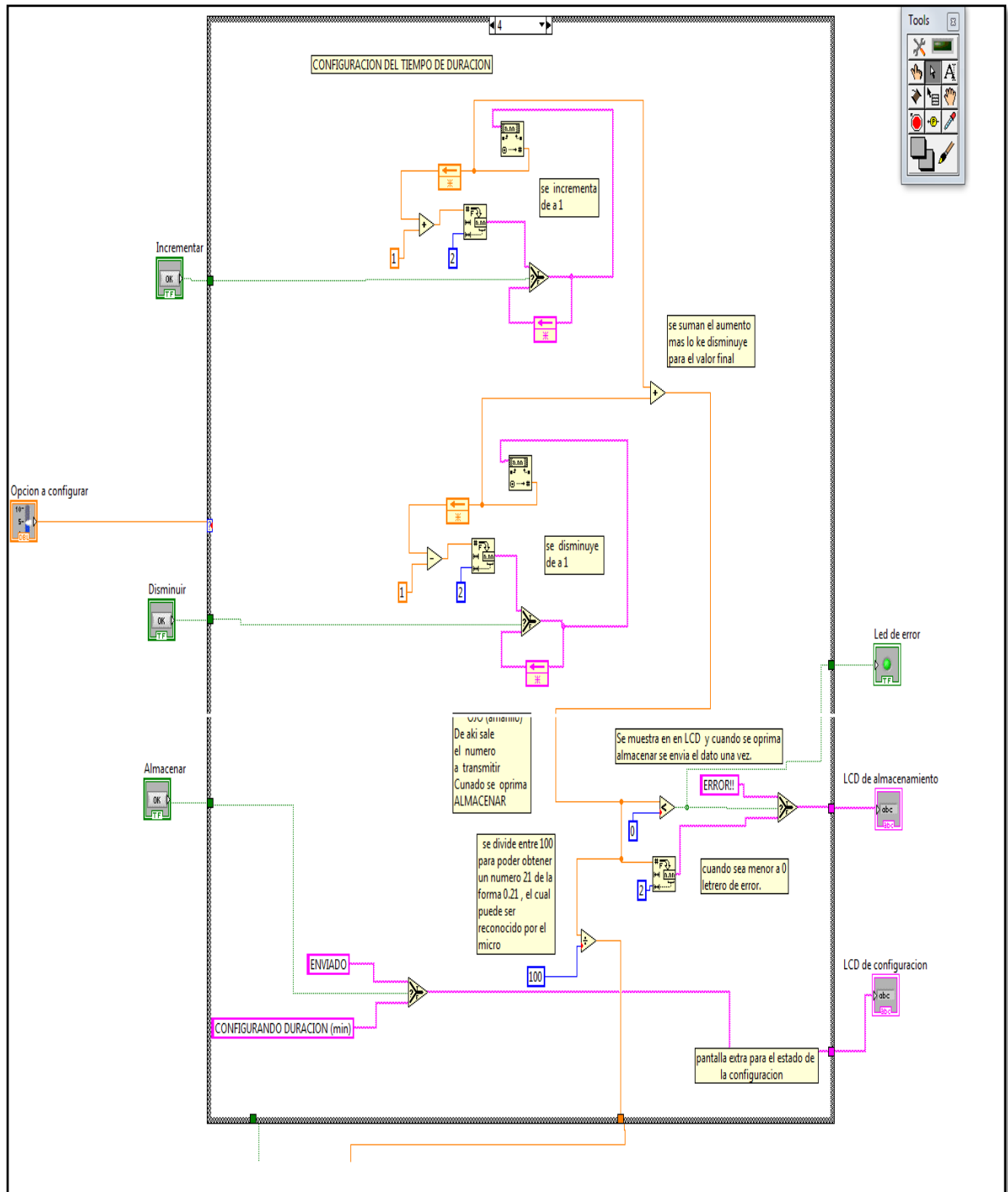


Figura 53. Diagrama de Bloques CASE 4. Proceso. Fuente: Autores

- Módulo Almacenar (Envío de datos.)

Para que los módulos anteriores tengan sentido, es necesario que el valor seleccionado para cada parámetro sea enviado de alguna forma al pic 18f2550 para su correcta lectura e interpretación, es por eso que se usó un pulsador encargado de enviar parámetro a parámetro hasta el microcontrolador utilizando la comunicación serial y el módulo VISA de Labview.

El pulsador que se ha denominado ALMACENAR, tiene como función activar el módulo VISA de Labview, el cual está constituido principalmente por los siguientes bloques.

Visa configure serial port. Tiene como función principal inicializar el módulo de comunicación estableciendo la velocidad de intercambio de datos, además de la cantidad de bits o el puerto de entrada. Figura 54.

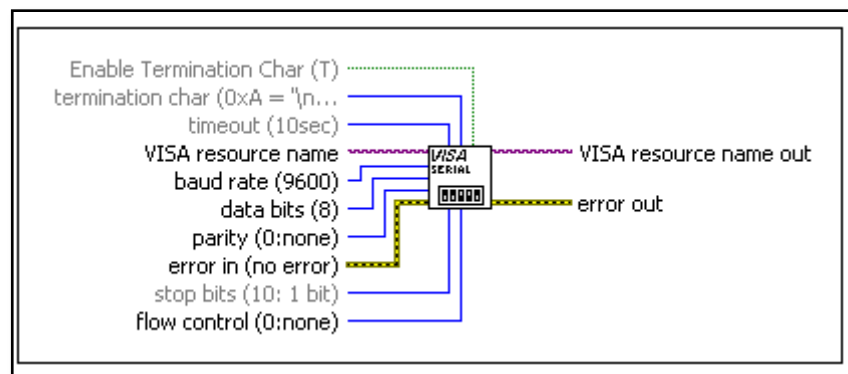


Figura 54. *Visa configure serial port.* Fuente: Autores.

Number to fractional string function: Su función principal es convertir un número entero o decimal, en un dato formato *string* o cadena a la que se le puede ajustar el tamaño y la precisión. Figura 55.

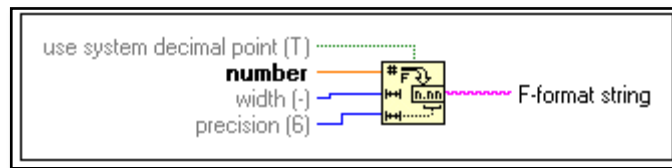


Figura 55. *Number to fractional string function*. Fuente: Autores.

Visa Write Function: Es el bloque encargado de transmitir los datos y señales de error, es la parte mas importante de la primera etapa de la comunicación. Figura 56.

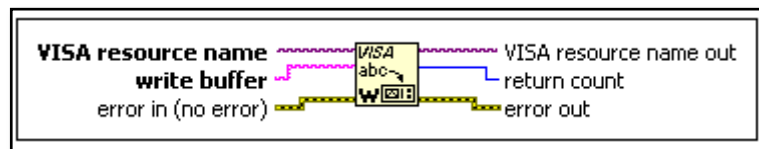


Figura 56. *Visa Write Function*. Fuente: Autores.

Visa Close Function: Es el bloque encargado de finalizar el protocolo y mostrar mensajes de error en caso que los haya.

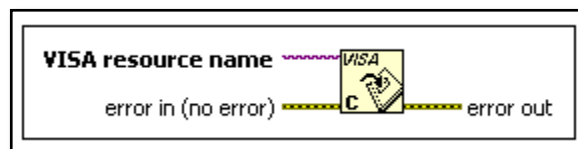


Figura 57. *Visa Close Function*. Fuente: Autores.

Como se explicó en los apartados anteriores, cada parámetro de la forma de onda es configurado por separado y de ésta manera debe ser enviado; es decir, el usuario configura el parámetro a su gusto y al terminar debe ALMACENAR dicho valor antes de pasar a configurar el siguiente parámetro. El esquema de la escritura y envío de datos se muestra en la Figura 58.

Diseño y construcción de un troceador reductor operando como fuente de corriente.

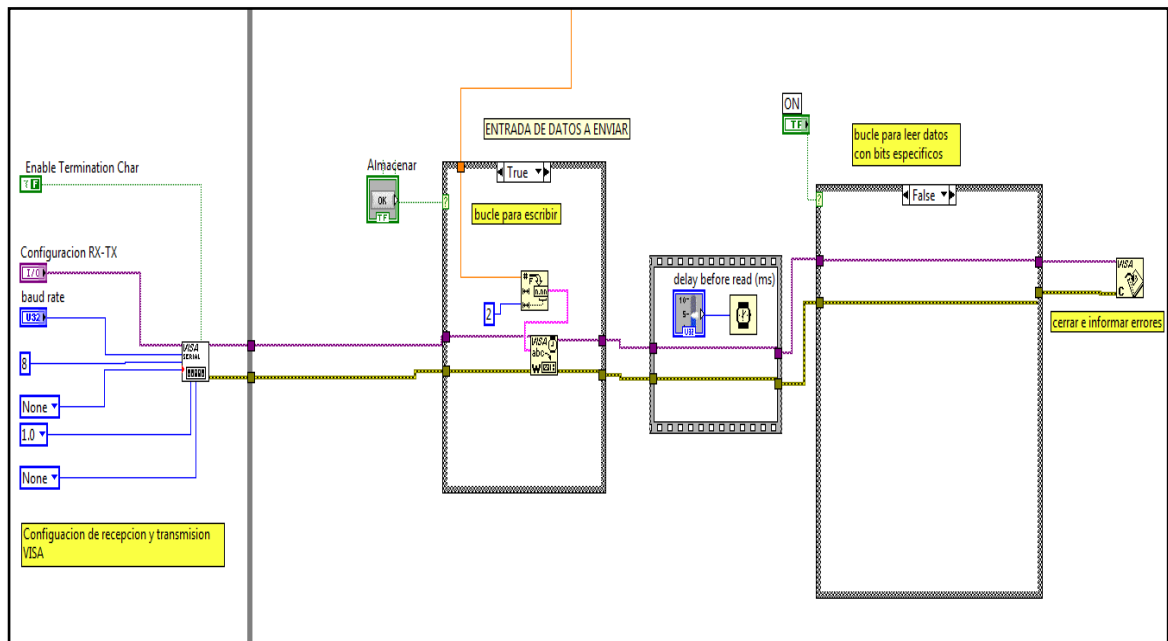


Figura 58. Diagrama de bloques del módulo envío de datos. Fuente: Autores.

La línea de color naranja contiene el valor configurado en cualquiera de los cinco parámetros, el cual será transmitido cuando se oprima Almacenar, siempre y cuando el botón *ON-OFF* esté en la posición falso o apagado.



Figura 59. Pulsador Gráfica *ON-OFF*. Fuente: Autores.

El botón *ON-OFF* es el encargado de activar o desactivar la lectura por un puerto COM, acción que todavía no se llevará a cabo porque simplemente se está configurando el dispositivo. Cuando se deseen leer los datos que está enviando el microcontrolador entonces si es necesario activar dicho botón. Figura 59.

Al final de la configuración remota se obtienen los cinco parámetros ajustados por parte del usuario de igual manera que si se hiciera de manera local, estos cinco valores o datos son interpretados por el PIC 18F2550 que se encarga de procesar la información y generar procesos que se explican en el apartado 2.3.3.

- Módulo Visualización.

Una vez entregada toda la información al PIC 18f2550, este se encargará de procesarla y generar las señales necesarias para el requerimiento del usuario, después del proceso de sensado y control una de las finalidades de la interfaz es poder observar los datos leídos por el PIC en forma grafica. Aparte de los bloques ya utilizados en los anteriores módulos, para la lectura de datos se han utilizado otros submódulos, de los cuales los más importantes fueron:

Fract/Exp String To Number Function: Es el bloque encargado de convertir una cadena de caracteres en un número entero.

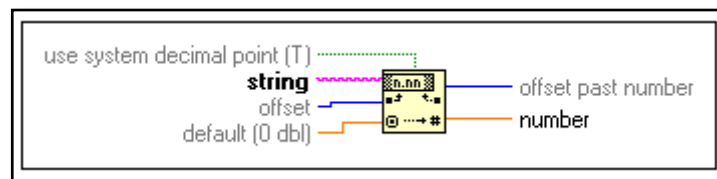


Figura 60. *Fract/Exp String To Number Function*. Fuente: Autores.

VISA Read Function: Es el bloque más importante de esta parte de la comunicación, es el encargado de leer y transmitir señales de error.

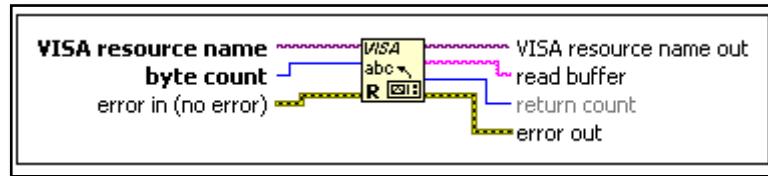


Figura 61. *VISA Read Function*. Fuente: Autores.

Waveform chart: Encargado de mostrar en una pantalla tipo osciloscopio la grafica de los valores leídos.



Figura 62. *Waveform chart*. Fuente: Autores.

El proceso que se desarrolló para poder graficar y mostrar el valor sensado inicia cuando el botón *ON- OFF* se encuentra en la posición verdadero (encendido), de manera que cada dato recibido por el *COM*, es leído por el bloque *READ*, y la cadena string resultante es transmitida a dos bloques de conversión a entero, un bloque convertirá el valor principal del dato (entero), y el otro bloque convertirá los valores decimales; finalmente estos dos valores se suman y se procesan de manera inversa a como se enviaron. El procesamiento del dato se realiza para diferenciar los valores positivos de los negativos como ya se explicó en las etapas de configuración. Si el valor está entre 20 y 29.9 corresponde a un valor positivo entre cero y diez; pero si el dato está entre 10 y 19.9 el valor real será un valor negativo con pico en menos diez.

Diseño y construcción de un troceador reductor operando como fuente de corriente.

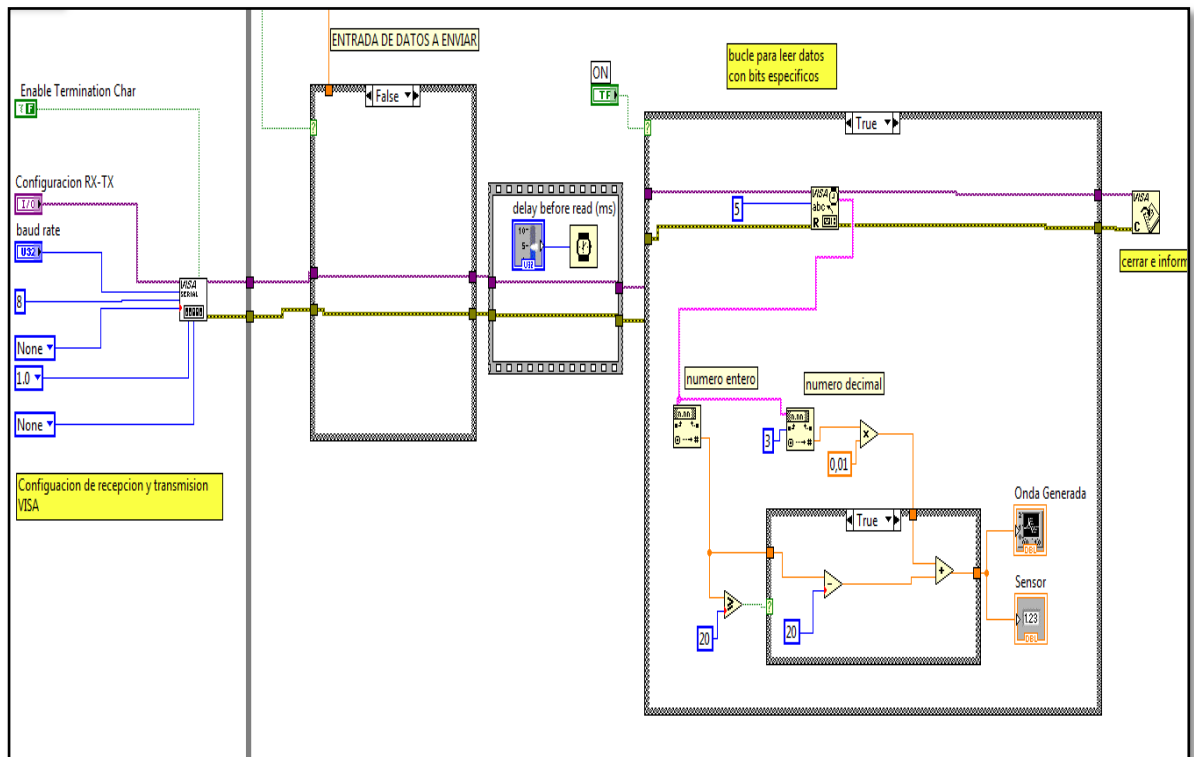


Figura 63. Diagrama de Bloques de la captura y visualización de datos. Fuente: Autores.

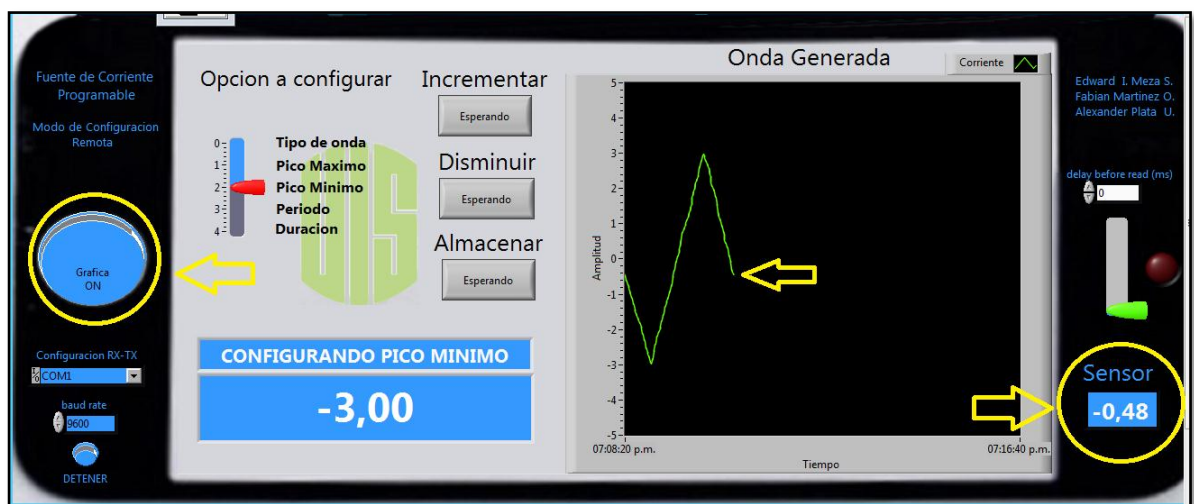


Figura 64. Panel frontal de la captura y visualización de datos. Fuente: Autores.

De esta forma se concluye la elaboración de la interfaz que permite configurar el dispositivo de manera remota, además de permitir la visualización de los valores sensados

2.3.3. Generación de la señal de *Set Point*

Como forma de ondas de corriente posibles para ser programadas en la fuente, se predefinieron las formas triangular, diente de sierra, rampa y constante. Los parámetros permitidos a configurar dependen del tipo de onda, pues para el caso de las ondas triangular y diente de sierra, es posible definir las amplitudes máxima y mínima, periodo de la onda y tiempo total del proceso; para la onda rampa, es posible configurar las amplitudes máxima y mínima así como el tiempo total del proceso; por otra parte, para la forma de onda constante, sólo es permitido configurar la amplitud de la misma y el tiempo total del proceso. Las unidades de las amplitudes están dadas en Amperios [A], el periodo de la onda en segundos [s], mientras que el tiempo total del proceso está definido en minutos [min]. Debido a que el control propuesto para el buen desempeño de la fuente de corriente es un control de lazo cerrado y ante la necesidad de que la acción de control sea pronta, se han definido estas formas de onda de corriente a partir de las ecuaciones conocidas para las mismas, siendo el tiempo la variable independiente y la corriente de referencia la variable dependiente. A continuación, se describe con más detalle la construcción e implementación de dichas formas de onda, a partir de la interpretación de los parámetros configurados.

2.3.3.1. Interpretación de los parámetros configurados según origen.

Como se mencionó en los apartados 2.3.1. y 2.3.2., el usuario cuenta con la libertad de configurar el modo operación de la fuente de forma local o remota. Dependiendo del origen de los parámetros, se han definido en el microcontrolador dos modos de interpretación distintos:

- Parámetros establecidos de forma remota.

En este caso, los valores necesarios para definir tanto el tipo de onda así como su amplitud, periodo y duración, son enviados desde la interfaz de usuario creada en LABVIEW y transmitidos hacia el microcontrolador mediante comunicación SERIAL-USB.

Como se mencionó en el apartado 2.3.2., los parámetros enviados resultan ser una trama de 22 caracteres, ordenados posteriormente en un vector como se muestra en la Tabla 1. De dicha tabla se puede apreciar que los caracteres definidos como v0 a v3 corresponden al parámetro FORMA DE ONDA, caracteres v4 a v8 definidos para AMPLITUD MÁXIMA, caracteres v9 a v13 establecidos para AMPLITUD MÍNIMA, el parámetro PERIODO está representado por los caracteres v14 a v17 mientras que la DURACIÓN DEL PROCESO, también denominada como tiempo total del proceso, comprende los caracteres v18 a v21. Las letras “a” a “q” representan los posibles números que son enviados desde la interfaz remota.

Tabla 1. Distribución de la trama de caracteres recibidos.

v0	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	v8	v9	v10	v11	v12	v13	v14	v15	v16	v17	v18	v19	v20	v21
ONDA				MÁXIMO				MÍNIMO				PERIODO			DURACIÓN						
a	.	b	C	d	e	.	f	g	h	i	.	j	k	l	.	M	n	o	.	p	Q

Ante la mencionada distribución de los parámetros transmitidos mediante el modo remoto, se ha definido dentro del algoritmo descrito para el microcontrolador, una sección encargada de la respectiva interpretación de la cadena de caracteres; y es

por la naturaleza de los mismo que se hace necesario que el microcontrolador ejecute ciertas acciones como la captura y almacenamiento de la trama, así como la conversión de los caracteres a variables de tipo entero.

La captura de los caracteres que conforman la trama se realiza uno a uno mediante el comando *getch()* y su almacenamiento se lleva a cabo asignando cada uno de estos de manera ordenada, a una posición de un vector de dimensión 22, denominado como vector *v*. El vector que contiene los caracteres, es transformado posteriormente a un vector *d* con valores de tipo entero, dicha transformación se realiza igualmente uno a uno y es posible mediante el comando *atoi()* que para el caso de los caracteres numéricos, su representación no cambia; es decir, los números permanecen iguales. Por otra parte, los caracteres de tipo signo de puntuación, más específicamente el punto (.) empleado en la trama de caracteres, es representado por el número cero (0). Tras lo anterior, el vector resultante se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Vector obtenido tras captura y transformación de la trama de caracteres.

d0	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9	d10	d11	d12	d13	d14	d15	d16	d17	d18	d19	d20	d21
ONDA				MÁXIMO				MÍNIMO				PERIODO				DURACIÓN					
a	0	b	C	d	e	0	f	g	h	i	0	j	k	l	0	m	n	o	0	p	Q

Tras la conversión de los caracteres, el microcontrolador se encarga de asignar a ciertas variables determinados fragmentos del nuevo vector de números y en algunos casos requiere la implementación de algunas ecuaciones. Para el parámetro ONDA que como ya se mencionó, comprende los valores de las posiciones d0 a d3; sólo es necesario que el microcontrolador tenga en cuenta el valor de la posición d0 debido a que se establecieron 4 tipos de onda y con un solo entero es suficiente para cubrir dicha cantidad. Para los parámetros MÁXIMO y MÍNIMO se fijaron las posiciones d4 y d9 respectivamente, como los indicadores de signo de las amplitudes; para el caso de un valor negativo, estas posiciones son ocupadas con el número 1 mientras que para el caso contrario, almacenarían

el número 2. Las posiciones d5, d7, d8 para la amplitud máxima y d10, d12, d13 para la amplitud mínima, representan las unidades, décimas y centésimas respectivamente de estos parámetros. Para los parámetros PERIODO y DURACIÓN, las posiciones d14, d16, d17 y d18, d20, d21 respectivamente, corresponden a las centenas, decenas y unidades de dichos parámetros. Por lo anterior y como ya se indicó, se hace necesario el uso de ciertas operaciones, como se puede observar a continuación. Dentro del algoritmo desarrollado, los nombres de las variables que representan estos parámetros se definieron de la siguiente manera: para el parámetro onda, la variable dada fue ONDA; la amplitud máxima fue diferenciada con la variable MAX, la amplitud mínima fue asignada a la variable MIN, la variable creada para el parámetro periodo de la onda se definió como PERIODO, mientras que a la duración del proceso se le estableció la variable PROCESO_AUX. Cabe notar que la variable onda no es propiamente la que le indica al microcontrolador la forma de onda, debido a que su valor es asignado a la variable fo, creada con la intención de manipular variables unificadas para los dos tipos de interfaces de programación posibles. En la Tabla 3 se observa un ejemplo de una trama de caracteres enviada desde la interfaz remota, la cual ya ha sido ordenada por el microcontrolador en el vector v, mientras que en la Tabla 4 se puede apreciar la respectiva transformación mediante el comando atoi().

Tabla 3. Ejemplo de una trama de caracteres enviados desde la interfaz remota.

v0	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	v8	v9	v10	v11	v12	v13	v14	v15	v16	v17	v18	v19	v20	v21
ONDA				MÁXIMO				MÍNIMO				PERIODO				DURACIÓN					
1	.	0	0	2	6	.	5	2	1	3	.	4	7	0	.	2	5	0	.	0	5

Tabla 4. Vector de caracteres transformados.

d0	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9	d10	d11	d12	d13	d14	d15	d16	d17	d18	d19	d20	d21
ONDA				MÁXIMO				MÍNIMO				PERIODO				DURACIÓN					
1	0	0	0	2	6	0	5	2	1	3	0	4	7	0	0	2	5	0	0	0	5

Como se puede apreciar de la Tabla 4, el parámetro onda esta conformado por el número 1000, cifra de la cual sólo se tiene en cuenta la correspondiente a la posición d0; es decir, el número 1 que como ya se mencionó en el apartado 2.3.3, corresponde a una forma de onda triangular. Igualmente se observa que el parámetro máximo está compuesto por cinco cifras de las cuales no tiene importancia la posición d6, puesto que corresponde al indicador de la coma decimal, igual sucede con la posición d11 del parámetro de la amplitud mínima. Debido a que la posición d4 posee el número 2, esto indica al microcontrolador que el número es positivo, y se debe aplicar la siguiente operación, aclarando que esta misma es aplicable para el parámetro de la amplitud mínima, reemplazando a d5, d7 y d8 por d10, d12 y d13 respectivamente.

$$max = d5 + 0,1 * d7 + 0,01 * d8 \quad (9)$$

Sustituyendo en la ecuación (9) los valores de d5, d7 y d8, se obtiene como valor de amplitud máxima 6,52[A]. Para los valores que comprenden el parámetro de amplitud mínima, se hace un análisis similar al realizado para la amplitud máxima; para este caso la posición d9 ocupada por el número 1, indica que la magnitud enviada de forma remota es negativa y se debe aplicar la ecuación (10), obteniendo como amplitud mínima -3,47[A].

$$min = d10 + 0,1 * d12 + 0,01 * d13 \quad (10)$$

Debido a que los parámetros periodo y duración tienen una misma estructura, se aprecia que las ecuaciones (11) y (12) son similares, y de estas se calcula el valor del periodo 25[s] y la duración 5 [min], para el caso del ejemplo mostrado.

$$periodo = d17 + 10 * d16 + 100 * d14 \quad (11)$$

$$procesoaux = d18 + 10 * d20 + 100 * d21 \quad (12)$$

- Parámetros establecidos de forma local.

Recordando lo expuesto en el numeral de la apartado 2.3.1., es posible configurar la fuente de corriente mediante una interfaz local compuesta por una pantalla LCD como dispositivo de visualización de los parámetros seleccionados y configurados; mientras que como dispositivo de entrada, se cuenta con un teclado conformado por 5 botones mediante los cuales es posible seleccionar el tipo de onda, aumentar o disminuir el valor de ciertos parámetros, retornar al menú anterior y la opción confirmar, aprovechando que para los microcontroladores de la familia PIC en particular el PIC18F2250, es posible definir identificadores de procesos, los cuales consisten en asignar un nombre y definir el sentido de los datos, entrada o salida, a un pin determinado del microcontrolador. Cuando se suministra un nivel de tensión de 5[V] en un pin al cual se le ha designado un identificador de proceso de entrada, dicho identificador toma el valor lógico alto o uno. En el caso del algoritmo desarrollado para el presente proyecto de grado, se han definido 5 identificadores de proceso de entrada, que como se puede apreciar, corresponde a la misma cantidad de dispositivos de entrada. En la Tabla 5 se pueden apreciar dichos identificadores y su asignación a determinados pines del microcontrolador.

Tabla 5. Asignación de identificadores de proceso a los pines del microcontrolador

PIN	4	5	6	23	24
Identificador de proceso	INCRE	DECRE	GUARDAR	PARM	RETORNO

Cada vez que se pulsa el botón denominado como parámetro, el microcontrolador recibe una señal continua de 5[V] en el pin 23, ante lo cual el identificador de proceso PARM toma el valor lógico uno durante el tiempo que permanezca oprimido el botón. Cada vez que este identificador se encuentra en este estado, aumenta en una unidad la magnitud de una variable determinada, según el

instante en el que se oprima dicho botón dentro del proceso de configuración. Si el mencionado evento sucede cuando el proceso de configuración se encuentra en el estado de selección del origen de la configuración, el estado lógico alto del identificador aumenta una unidad la variable denominada COM, la cual puede variar entre 0 y 1 permitiendo así que el usuario visualice en la pantalla LCD la selección del origen de la configuración que desea realizar, además de indicarle al microcontrolador a qué proceso deberá dirigirse una vez el identificador GUARDAR registra un estado alto. Si la variable COM se encuentra en 0 cuando el botón correspondiente al identificador GUARDAR es oprimido, el microcontrolador se dirige a la sección correspondiente a la recepción de parámetros dentro del código de programación, cuya interpretación fue descrita en el numeral anterior. Por otra parte, si la variable COM aloja el número 1, el microcontrolador se desplaza hasta la sección del algoritmo asignada con la etiqueta CONFMANUAL, para continuar con la definición de los parámetros de la onda de forma local. En la mencionada sección CONFMANUAL el indicador PARM actúa nuevamente, adicionando una unidad a la variable fo cada vez que perciba un estado lógico alto. La variación de fo puede comprender valores enteros entre 0 y 3, obteniendo así un total de 4 posibles formas de onda a seleccionar. Conservando el valor numérico asignado a cada tipo onda en el apartado 2.3.1., si el valor de fo es 1, en la pantalla LCD el usuario visualizará que esta seleccionando la forma de onda triangular, para fo igual a 2 se indicará la forma de onda diente de sierra, con fo igual a 3 la forma de onda indicada será la tipo rampa mientras que, para fo igual a 0 se observará la selección de la forma onda constante. Al igual que en el caso anterior, si el indicador GUARDAR es enviado al estado lógico alto, el microprocesador será orientado hasta la etiqueta PARAMETROS donde, dependiendo del valor almacenado en la variable fo, se pueden configurar ciertos parámetros de la onda elegida. En la mencionada etiqueta, se crean dos variables denominadas PARAM y CTE las cuales, mediante evento en el indicador de proceso PARM, varían de 0 a 3 y de 1 a 4 respectivamente. La variable PARAM se incrementa una unidad cada vez que

ocurre un estado lógico alto en el indicador PARM, permitiendo que en la pantalla LCD sea posible visualizar el parámetro a ser configurado; además de asignar uno de los 4 valores definidos para la variable CTE. En la Tabla 6, se expone el valor que adopta la variable PARAM cuando ocurre un evento en el indicador PARM y el parámetro que es mostrado, así como el valor asignado a la variable CTE. Esta última variable permite que se pueda apreciar en la pantalla LCD el incremento o disminución del parámetro que esta siendo configurado, cada vez que se presenta un evento en los indicadores de proceso INCRE y DECRE, respectivamente. Si lo anterior ocurre cuando los parámetros amplitud máxima o amplitud mínima son desplegados en la pantalla, ocurre una variación de 0,2 que puede ser en aumento o disminución del valor del parámetro, siempre y cuando la amplitud de estos dos parámetros no sobrepase la amplitud máxima permitida de 10, que corresponde a la capacidad máxima de la corriente que puede ser suministrada por la fuente; esta variación fue asignada a la variable paso1 dentro del algoritmo desarrollado. Para el caso en que el evento de estos indicadores suceda mientras se visualiza el parámetro periodo, la variación definida es 2, asignada a la variable global paso2. Por último, si el parámetro que esta siendo visualizado es el tiempo de operación, la variación permitida para el mismo es 0.5 y corresponde a la variable global paso3.

Tabla 6. Variación de PARAM, CTE y parámetro visualizado mediante evento en el indicador de proceso PARM.

PARAM	0	1	2	3
CTE	1	2	3	4
Parámetro visualizado	Tiempo de operación	Amplitud Máxima	Amplitud Mínima	Periodo

Con el objetivo de poder aplicar las ecuaciones descritas en los siguientes numerales, fue necesaria la transformación de la variable PROCESO_AUX definida en minutos, a la variable PROCESO definida en segundos, esto mediante la ecuación (13); ya que para las formas de onda triangular y diente de sierra, se ha

definido la variable nc especificada en la ecuación (14), la cual corresponde al número total de ciclos posibles de la señal durante el tiempo total del proceso.

$$proceso = procesoaux * 60 \quad (13)$$

$$nc = \frac{proceso}{periodo} \quad (14)$$

2.3.3.2. Forma de onda triangular simétrica

Para la generación de este tipo de onda, cabe aclarar que la misma se estableció como una onda triangular simétrica en el tiempo, respecto a la mitad de su periodo; hecho por el cual se definieron dos ecuaciones distintas correspondientes a las dos secciones lineales de la onda triangular; es decir, la sección lineal con pendiente positiva definida para medio ciclo así como la sección con pendiente negativa del medio ciclo restante. La implementación de la forma de onda triangular segmentada de esta manera, permite que la conmutación de los dispositivos semiconductores del puente completo sea más fácil de gobernar. Dentro del código establecido en el microcontrolador se han designado a las secciones con pendiente positiva como *pasos impares*¹ mientras que a las secciones con pendientes negativas se les ha referenciado como *pasos pares*, esto para facilitar la reutilización de las ecuaciones de cada una de éstas en cada ciclo de la señal durante el tiempo de operación.

Para la sección con pendiente positiva o la correspondiente a la primera mitad del primer ciclo de la onda triangular mostrada en la Figura 65, puede presentarse la

¹Se estableció que la forma de onda triangular inicia desde su valor mínimo y aumenta en el tiempo hasta su valor máximo.

necesidad de conmutar distintos pares de transistores dependiendo del sentido de la corriente, respetando la polaridad establecida en la tensión de la carga de forma tal como se aprecia en la Figura 65. Los transistores 1-4 entran en estado de conmutación si dicha sección corresponde a valores de corriente positivos o en el caso contrario, es necesaria la conmutación de los transistores 2-3. Esta misma situación también sucede para las secciones impares. Por lo anterior, aunque se fijaron sólo dos ecuaciones, una para los *pasos impares* y otra para los *pasos pares*, es el sentido de la corriente la que establece los transistores a conmutar.

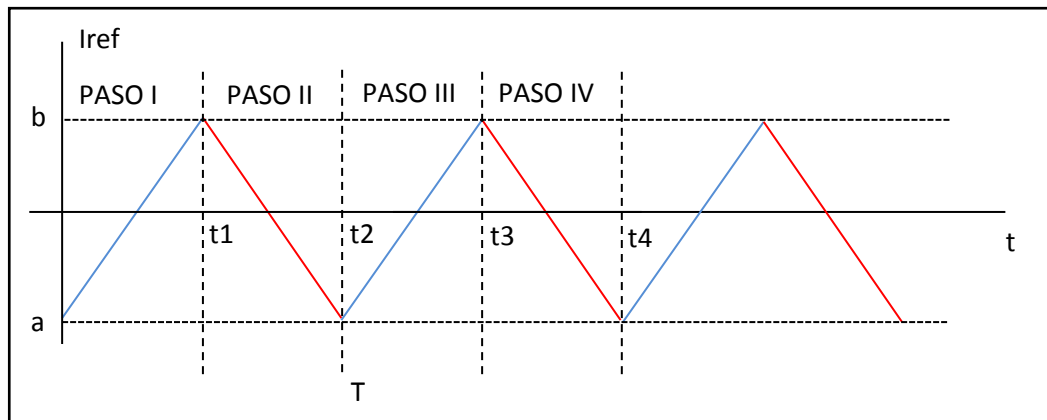


Figura 65. Forma de onda triangular típica. Fuente: Autores.

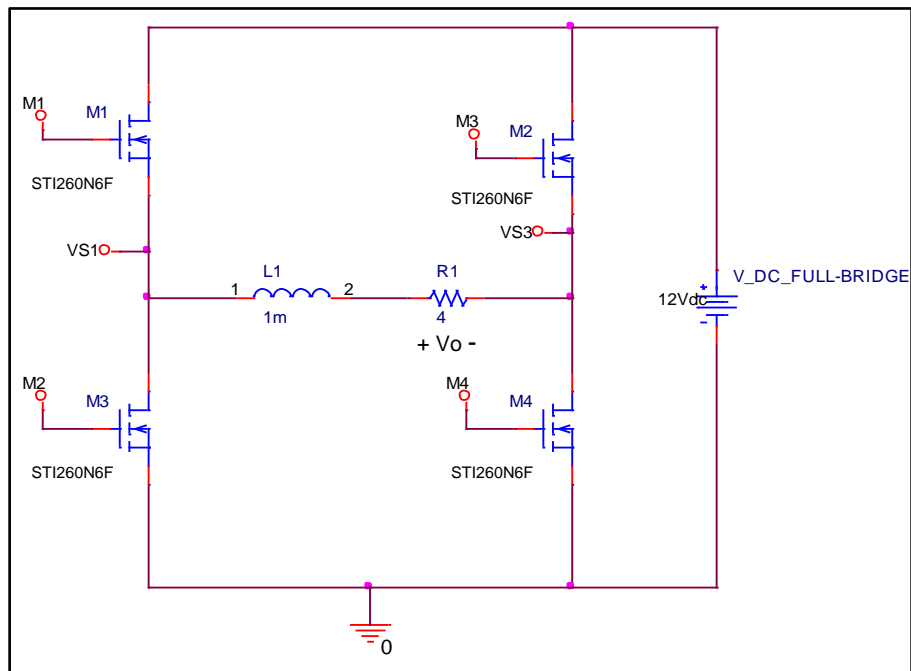


Figura 66. Polaridad de la tensión eléctrica en la carga. Fuente: Autores

Como sucede con la ecuación de toda línea recta, es necesario para su construcción conocer de dicha línea parámetros como la pendiente y la ordenada en el origen. Aprovechando el hecho de que se le permite al usuario establecer la amplitud máxima y mínima así como el periodo de la onda, se parte de los mismos para construir las ecuaciones correspondientes a las secciones con pendiente positiva así como las secciones con pendiente negativa.

Para la primera sección con pendiente positiva o también denominada *PASO I*, la cual corresponde a la línea azul definida entre 0 y t_1 en la Figura 65; se plantea como pendiente, la mostrada en la ecuación (15), donde b y a corresponden a los valores máximo y mínimo de corriente respectivamente y t_1 define la mitad del periodo de la onda.

$$m_1 = \frac{b - a}{t_1 - 0} \quad (15)$$

Conocida la pendiente de esta primera sección, se define la ecuación para la misma como se muestra a continuación, partiendo de la ecuación general de una línea recta, descrita en la ecuación (16).

$$y = mx + b \quad (16)$$

Aplicando la ecuación anterior para la corriente de referencia del denominado *PASO I*, se tiene la siguiente expresión donde k_1 corresponde a la ordenada en el origen.

$$I_{ref1}(t) = m_1 t + k_1 \quad (17)$$

Observando la Figura (64), se puede concluir que el valor de k_1 corresponde al mismo definido para a .

$$k_1 = a \quad (18)$$

Concluyendo de lo anterior la ecuación para esta primera sección, como se ilustra en la ecuación (19).

$$I_{ref1}(t) = \frac{b - a}{t_1} t + a \quad (19)$$

Este mismo procedimiento es aplicado para la sección definida como *PASO II* en la Figura 64, y su desarrollo se presenta a continuación.

Pendiente para *PASO II*:

$$m_2 = \frac{a - b}{T - t_1} \quad (20)$$

Definiendo al periodo T como t_2 , la ecuación anterior se puede reescribir como se aprecia en la siguiente igualdad.

$$m_2 = \frac{a - b}{t_2 - t_1} \quad (21)$$

Por otra parte, aplicando nuevamente la ecuación general de una línea recta mediante el proceso mostrado, se obtuvo la ecuación de la corriente de referencia para esta segunda sección.

En primer lugar se describió la corriente de referencia de esta sección en términos generales, aplicando nuevamente la ecuación (16), obteniendo:

$$I_{ref2}(t) = m_2 t + k_2 \quad (22)$$

Remplazando en la ecuación anterior la igualdad establecida para m_2 , se tiene:

$$I_{ref2}(t) = \frac{a - b}{t_2 - t_1} t + k_2 \quad (23)$$

El cálculo de k_2 se realizó como sigue, aprovechando la información presente en la Figura 65, de la cual se puede apreciar que para el tiempo $t=t_1$ el valor de I_{ref2} es b . Cabe resaltar que k_2 se puede adoptar como una nueva ordenada en el origen si se realiza un desplazamiento circunstancial del eje de las abscisas hasta t_1 .

$$\begin{aligned} I_{ref2}(t_1) = b &= \frac{a - b}{t_2 - t_1} t_1 + k_2 \\ k_2 &= b - \frac{a - b}{t_2 - t_1} t_1 \quad (24) \end{aligned}$$

Remplazando en la ecuación (22) la igualdad obtenida para k_2 , se tiene así la ecuación (25) la cual corresponde a la corriente de referencia para el *PASO II*.

$$I_{ref2}(t) = \frac{a - b}{t_2 - t_1} (t - t_1) + b \quad (25)$$

Para la sección descrita como *PASO III* de la Figura (64), se repite este procedimiento logrando así las siguientes ecuaciones:

Pendiente del *PASO III*:

$$m_3 = \frac{b - a}{t_3 - t_2} \quad (26)$$

Aplicando la ecuación (16) para esta sección, se obtiene la corriente de referencia en términos de k_3 y la pendiente m_3 , de forma tal como se aprecia en la ecuación (27).

$$I_{ref3}(t) = m_3 t + k_3 \quad (27)$$

Remplazando en la ecuación anterior la igualdad obtenida para m_3 , se plantea a I_{ref3} como:

$$I_{ref3}(t) = \frac{b - a}{t_3 - t_2} t + k_3 \quad (28)$$

El cálculo de k_3 es similar al empleado para k_2 , ya que para $t=t_2$ se sabe que el valor de I_{ref3} es a .

$$\begin{aligned} I_{ref3}(t_2) = a &= \frac{b - a}{t_3 - t_2} t_2 + k_3 \\ k_3 &= a - \frac{b - a}{t_3 - t_2} t_2 \quad (29) \end{aligned}$$

Remplazando en la ecuación (28) el valor de k_3 hallado, se describe a I_{ref3} como se aprecia a continuación.

$$I_{ref3}(t) = \frac{b - a}{t_3 - t_2} (t - t_2) + a \quad (30)$$

El procedimiento anterior es aplicado igualmente para *PASO IV*, definiendo a I_{ref4} como se muestra en la ecuación (31).

$$I_{ref4}(t) = \frac{a - b}{t4 - t3}(t - t3) + b \quad (31)$$

Debido a que la forma de onda triangular establecida es simétrica, es posible definir los tiempos t_2 , t_3 , t_4 y demás como múltiplos de t_1 , teniendo así $t_2=2*t_1$, $t_3=3*t_1$, $t_4=4*t_1$, y así sucesivamente para los demás en los que ocurre un cambio de pendiente en la forma de onda.

Empleando esta multiplicidad de t_1 , es posible redefinir las ecuaciones (19), (25), (30) y (31) como:

$$I_{ref1}(t) = \frac{b - a}{t1}(t - 0 * t1) + a \quad (32)$$

$$I_{ref2}(t) = \frac{a - b}{t1}(t - 1 * t1) + b \quad (33)$$

$$I_{ref3}(t) = \frac{b - a}{t1}(t - 2 * t1) + a \quad (34)$$

$$I_{ref4}(t) = \frac{a - b}{t1}(t - 3 * t1) + b \quad (35)$$

De las anteriores ecuaciones se puede apreciar que existe un patrón entre las ecuaciones correspondientes a los *PASOS IMPARES* así como para las ecuaciones de los *PASOS PARES*. Dicha similitud es aprovechada para definir una única ecuación para las secciones con pendiente negativa e igualmente para las secciones con pendiente positiva; esto facilita además la creación del código de programación que permitirá generar la forma de onda triangular.

Conociendo el tiempo total del proceso, el cual será el mismo tiempo de funcionamiento de la fuente, es posible calcular el total de ciclos de la onda triangular durante dicho tiempo, aplicando la ecuación (20), donde *proceso* es el tiempo total del proceso en segundos y *periodo* el periodo de la onda igualmente en segundos.

Sin embargo, es necesario además de esto, calcular el total de pasos durante el tiempo total de funcionamiento, pues como se mencionó al inicio del numeral

2.3.3.1., se definieron dos tipos de ecuaciones, una para las secciones con pendiente positiva denominadas *PASOS IMPARES* y otra para las secciones con pendiente negativa denominadas *PASOS PARES*. En la ecuación (36) se puede apreciar la definición del número total de pasos o *npc*. Debido a que la ecuación (20) es una división, existe la posibilidad que cálculos de *nc* sean valores decimales, ante lo cual se ha definido la variable *nc_ent* que representa el valor entero de *nc*; dicho valor entero multiplicado por 2 arroja el total de pasos durante el tiempo de operación, siempre y cuando el cálculo de *nc* sea un valor exacto; en el caso mencionado de un valor decimal, adicionar 2 asegura que se extienda un ciclo más la onda triangular, lo cual no dilata el tiempo del proceso pues éste es definido por el usuario y una vez se ha alcanzado su valor preestablecido, se da por terminado el tiempo de operación de la fuente.

$$npc = (nc_ent * 2) + 2 \quad (36)$$

Empleando la variable *npc*, se establecen las mencionadas ecuaciones de la corriente de referencia de los pasos impares y pares, como se aprecia en las ecuaciones (37) y (38) respectivamente. La variable *npc* es de tipo entero, la cual inicia desde 1 e incrementa una unidad cada vez que inicia un nuevo paso.

$$I_{refi} = \frac{b - a}{t1} (t - (npc - 1)t1) + a \quad (37)$$

$$I_{refp} = \frac{a - b}{t1} (t - (npc - 1)t1) + b \quad (38)$$

2.3.3.3. Forma de onda diente de sierra

Tras la obtención de las ecuaciones para la forma de onda triangular, el procedimiento para definir la ecuación de la forma de onda diente de sierra resulta más sencillo, pues es una adaptación del realizado anteriormente.

Asumiendo que la forma de onda diente de sierra es como se muestra en la figura 67, es posible compararla con las secciones de pendiente positiva en la forma de onda triangular, llegando así a una única ecuación aplicable en todo el tiempo de funcionamiento.

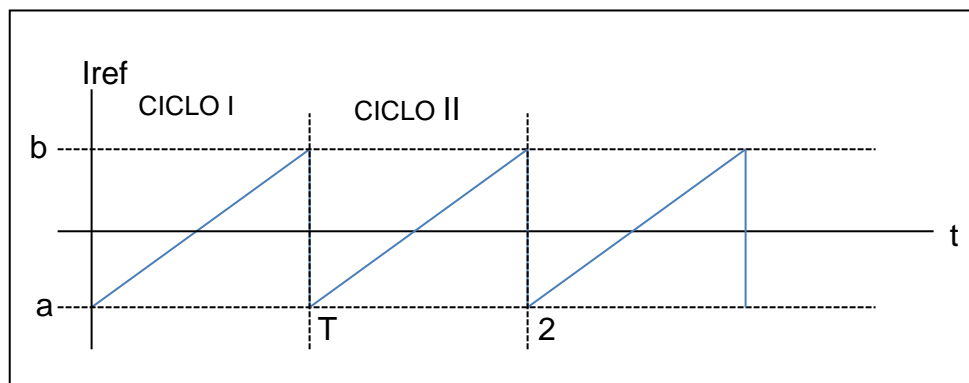


Figura 67. Forma de onda diente de sierra típica. Fuente: Autores.

Para la sección definida como *CICLO I*, se observa que es posible definir la pendiente de esta recta como

$$m_1 = \frac{b - a}{T} \quad (39)$$

Usando nuevamente la ecuación (16) y adaptándola para definir una expresión de la corriente de referencia en función del tiempo, se obtiene la ecuación (40) donde k_1 corresponde a la ordenada en el origen.

$$I_{ref1}(t) = m_1 t + k_1 \quad (40)$$

Remplazando en la ecuación anterior la igualdad obtenida para m_1 en la ecuación (39), se define a I_{ref} como:

$$I_{ref1}(t) = \frac{b-a}{T}t + k_1 \quad (41)$$

Para el cálculo de k_1 , se emplea el mismo desarrollo utilizado para la forma de onda triangular, concluyendo así que $k_1=a$, que equivale al valor que adopta I_{ref1} cuando $t=0$. De lo anterior es posible deducir la ecuación para la sección denominada *CICLO I* como se muestra a continuación:

$$I_{ref1}(t) = \frac{b-a}{T}t + a \quad (42)$$

Para la siguiente sección denominada en la Figura 67 como *CICLO II*, se repite el procedimiento anterior obteniendo:

Pendiente de *CICLO II*:

$$m_2 = \frac{b-a}{2T-T}$$

$$m_2 = \frac{b-a}{T} \quad (43)$$

De la igualdad anterior es posible observar que es idéntica a la ecuación obtenida para *CICLO I*. La ecuación de la corriente de referencia para *CICLO II* es:

$$I_{ref2}(t) = m_2t + k_2 \quad (44)$$

Remplazando la igualdad obtenida para m_2 , se logra:

$$I_{ref2}(t) = \frac{b-a}{T}t + k_2 \quad (45)$$

La igualdad que describe a k_2 , se obtiene mediante el mismo procedimiento empleado para representar a k_1 , usando la información contenida en la Figura 67.

$$I_{ref2}(T) = a = \frac{b-a}{T}T + k_2$$

$$k_2 = a - \frac{b-a}{T}T \quad (46)$$

Cabe aclarar que la ecuación anterior no se redujo a una expresión más sencilla, ya que al remplazar dicha igualdad en la ecuación (45), facilita la obtención de la expresión para la corriente de referencia I_{ref2} , mostrada a continuación.

$$I_{ref2}(t) = \frac{b-a}{T}(t-T) + a \quad (47)$$

Observando las ecuaciones (42) y (47) se puede percibir al igual que en la forma de onda anterior, la existencia de similitud entre las dos igualdades mencionadas. Para lograr una única función, se procede a usar nuevamente la variable nc de la ecuación (20). Igualmente, se extrae la parte entera de nc definida como nc_ent , con el objetivo de abordar situaciones en que nc no sea un número entero, logrando así definir la variable npc como se observa en la ecuación (48). La unidad adicionada a nc_ent , permite que sea posible adicionar un ciclo más a la onda diente de sierra lo cual, como se mencionó en el numeral anterior, no significa un aumento del tiempo de operación de la fuente, pues es el tiempo de funcionamiento la variable que define la duración del proceso. En este caso, se mantiene que npc es una variable de tipo entero que inicia en 1 y su incremento es la unidad, lo cual sucede cada vez que se inicia un nuevo ciclo.

$$npc = nc_ent + 1 \quad (48)$$

Empleando la definición anterior, se puede concluir la expresión general de la forma de onda diente de sierra, de forma tal como se muestra a continuación.

$$I_{ref} = \frac{b - a}{T} (t - (npc - 1)T) + a \quad (49)$$

2.3.3.4. Forma de onda rampa

La definición de la ecuación que describe la corriente de referencia con forma de onda rampa, es al igual que en el caso anterior, una adaptación al proceso realizado para la forma de onda triangular, pues como se puede apreciar en la Figura 5, la onda rampa es similar a los llamados *PASOS IMPARES* de la onda triangular; es decir, es una típica línea recta.

De la Figura 68 y aplicando de nuevo parte de los procesos empleados en los numerales 2.3.3.2. y 2.3.3.3., se puede definir la corriente de referencia para esta forma de onda como se aprecia a continuación.

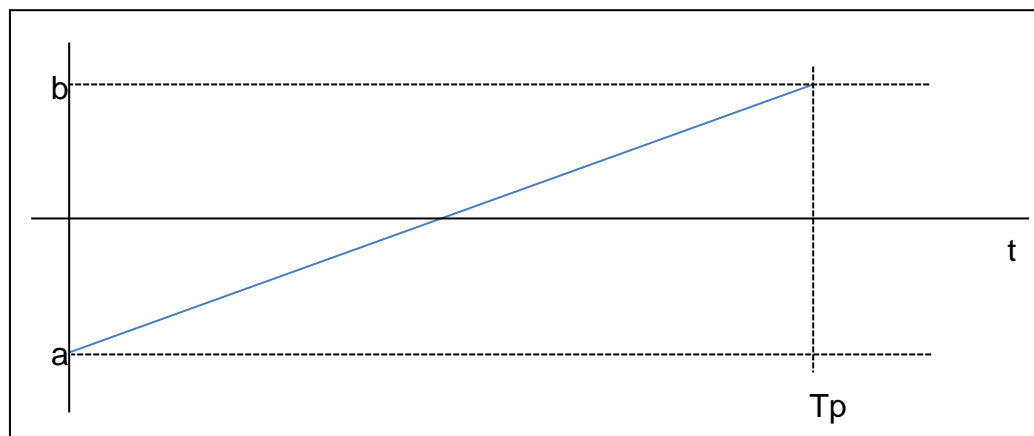


Figura 68. Forma de onda rampa típica. Fuente: Autores.

La pendiente para este tipo de onda se define en la ecuación (50), donde T_p corresponde al tiempo total del proceso.

$$m = \frac{b - a}{T_p} \quad (50)$$

Adecuando la ecuación (16) y empleando la igualdad anterior, se define la corriente de referencia para la forma de onda triangular como:

$$I_{ref} = \frac{b - a}{T_p} t + a \quad (51)$$

2.3.3.5. Forma de onda constante

Para la generación de la señal de referencia o *setpoint* con forma de onda constante, basta con hacer el valor de I_{ref} igual al valor de la amplitud ingresada. Esto se mantiene durante el tiempo total de operación. En la Figura 69 se aprecia la forma de onda creada como referencia.

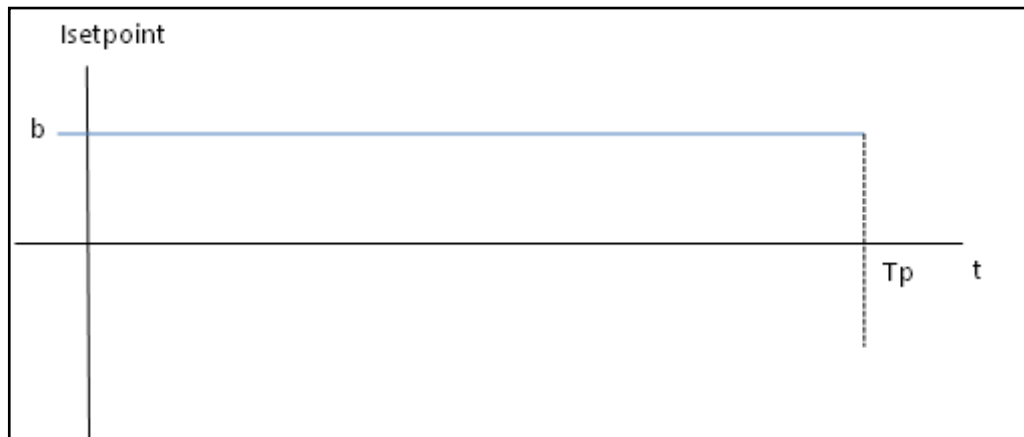


Figura 69. Forma de onda constante. Fuente: Autores.

2.3.4. Sensado y Control

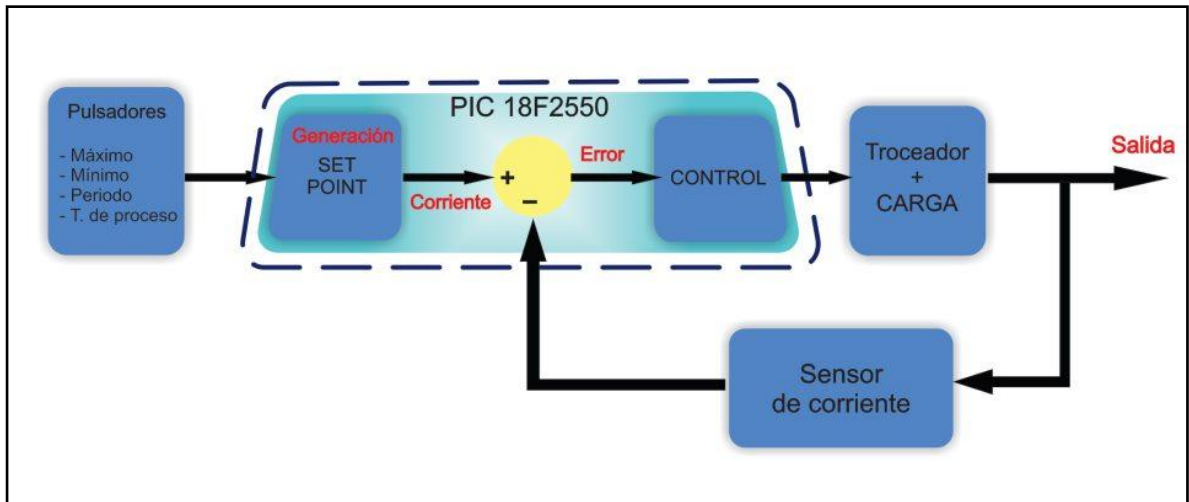


Figura 70. Diagrama de control de lazo cerrado. Fuente: Autores.

Para el sensado de la corriente que circula por la carga se usa el sensor de efecto hall ACS711, cuyas características fueron analizadas anteriormente. El sensor se encuentra alimentado con una tensión continua de 5 [V] aproximadamente, por lo que su referencia o tensión de salida para una lectura de 0 [A] será de 2.5 [V], en teoría; llegando a medir hasta 12.5 [A].

Una vez conectado el sensor a la PCB general, se establecieron valores referencia partiendo de medidas experimentales del sensor y tomando su sensibilidad como 185 [mV/A], dichos valores se ven reflejados en la Tabla [7].

Tabla 7. Corriente sensada y voltaje del sensor.

Corriente Sensada [A]	Voltaje Sensor [V]
0	2.53
1	2.715
2	2.9
3	3.085
4	3.27

Aprovechando la propiedad de linealidad presente en el sensor, se pudo obtener la ecuación de lectura por medio de una regresión lineal, ecuación (52).

$$I_{sensada} = (5.4054 * V_{sensor}) - 13.6757 \quad (52)$$

Para llevar a cabo dicha ecuación dentro del PIC, es indispensable leer de manera correcta el voltaje que arroja el sensor y que ingresa al microcontrolador por el pin (A0), éste pin corresponde a una entrada ADC, es decir la tensión de entrada que varia entre 0 y 5 [V] es interpretada por el PIC como un número entre 0 y 1023. Lo primero que se hace entonces es convertir este número en un valor de voltaje real, para esto basta multiplicar por una constante igual a 5/1023.

Con la tensión del sensor expresada ya en volts dentro del micro solo basta implementar la ecuación de sensado, con lo que se garantiza una correcta lectura de la corriente que recorre la carga.

El sistema de control implementado en el algoritmo del PIC 18f2550, toma los valores de las variables de entrada, realiza algún procedimiento con ellas, decide como modificar las variables de salida y lo lleva a cabo, afectando estas últimas al troceador. La diferencia esencial del proceso implementado es que no procesa ni se rige por ecuaciones, en lugar de esto, se manejan reglas con las cuales se decide como se modifican las salidas. Esto facilita la labor del programador que simplemente tiene que tomar decisiones a partir de la acción que necesita realizar sin tener que representar o convertir su modelo real a un modelo matemático aproximado.

El algoritmo de control se basó en dos variables de vital importancia, la corriente “*set point*” o corriente deseada y la corriente sensada o medida a través del sensor, siendo ésta (la corriente de la carga) la variable a controlar.

Inicialmente el microcontrolador toma todos los valores necesarios para la construcción de una forma de onda de corriente “*set point*”, la cual es creada mediante la manipulación del *DUTY-CYCLE* de las señales PWM que arroja el PIC; es decir, para cada señal deseada, se crea o se obtiene un valor *DUTY* mediante una ecuación predefinida. Especificado esto se tiene entonces que la variable controlada es la corriente de la carga, y la variable manipulada es el *DUTY-CYCLE*. Anexo [G].

Con la creación de la onda “*set point*” se va a obtener un primer valor *DUTY* de señal PWM que entra al arreglo de puente completo de Mosfet, que a su vez genera una primera señal de corriente que es sensada mediante el sensor ASC711. Figura 71.

Completa esta fase y teniendo las dos señales en cuestión, se procede a comparar los valores actuales de la onda *set point* y de la onda sensada para ejecutar la acción de control, la cual no es mas que aumentar o disminuir el valor de *DUTY* de manera proporcional al tamaño del error existente entre ambas medidas. Figura 72.

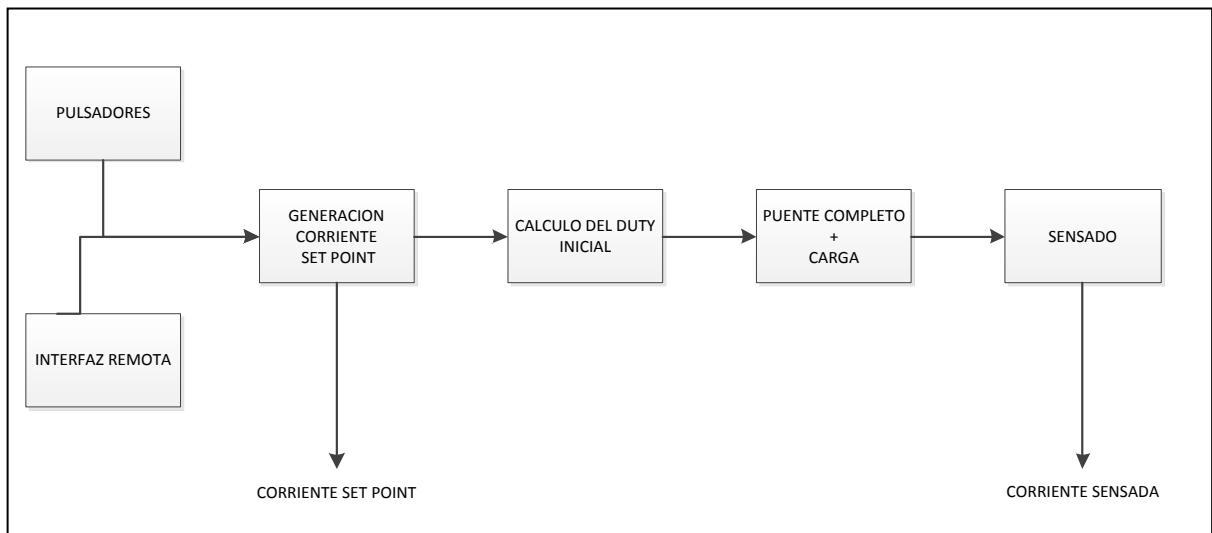


Figura 71. Generación corriente *set point* y sensada. Fuente: Autores

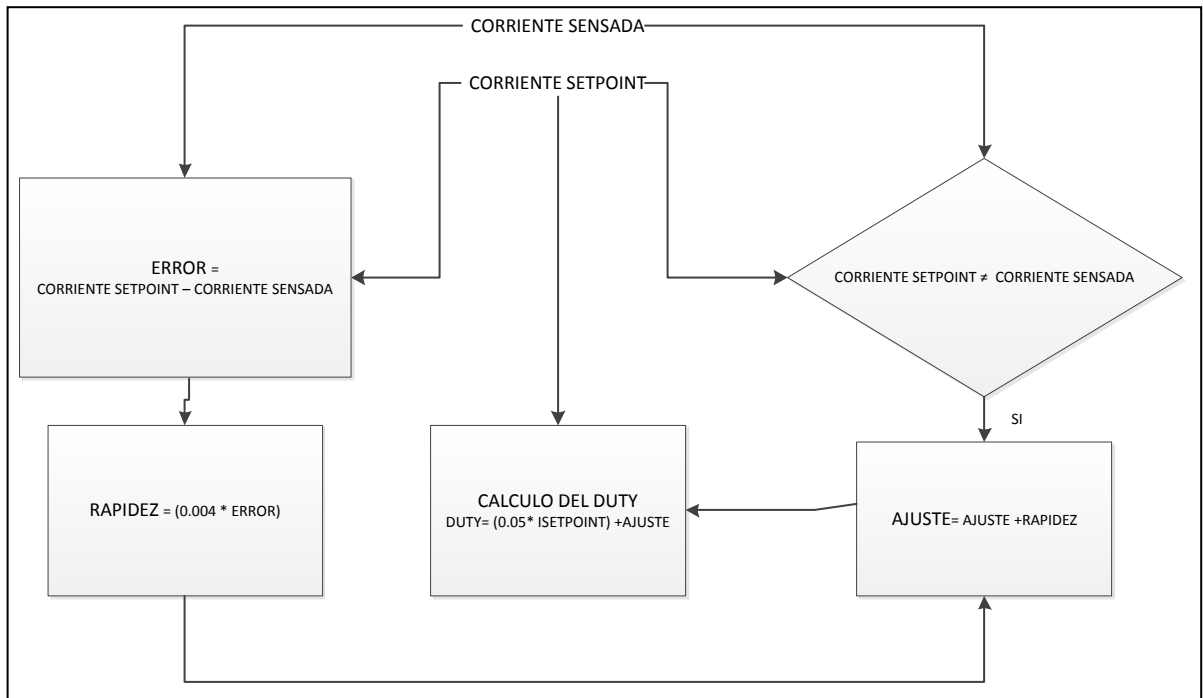


Figura 72. Creación de señales de corrección y control de *duty*. Fuente: Autores.

Inicialmente el AJUSTE que tendrá el valor del *DUTY* es cero. En el momento que se mide el primer valor de corriente, éste se compara con la *setpoint*, de ésta manera dependiendo de la medición, se obtiene un valor positivo o negativo de ERROR, con éste valor de error es muy sencillo calcular la variable AJUSTE que se encargará de sumar o restar una cantidad al *DUTY* de manera proporcional al error, es decir si el error es muy grande la RAPIDEZ de variación del *duty* será mayor; finalmente el nuevo *DUTY*, actúa sobre el puente y el proceso se repite hasta llegar al límite de tiempo que tarda el proceso.

El *duty* resultante de la acción de control que actúa sobre el puente puede ser positivo o negativo, en caso de ser positivo, los Mosfet que actúan son el M1 Y M4, donde M1 transmite la señal conmutada y M4 simplemente se cierra para permitir el flujo de corriente; y en caso contrario cuando el *duty* es menor a cero

los Mosfet que actúan son el M2 Y M3, donde M3 transmite la señal conmutada y M2 simplemente se mantiene cerrado.

2.4. Diseño de PCB en Orcad Layout

Para el diseño de la PCB se usó como herramienta principal el software OrCAD LAYOUT, partiendo del diseño esquemático desarrollado en OrCAD CAPTURE SPICE STUDENT del cual se puede observar en la Figura 73 la etapa de regulación, en la Figura 74 el microcontrolador y la comunicación Serial-USB y finalmente en la Figura 75 la etapa de aislamiento y Potencia.

Se tuvieron en cuenta consideraciones tales como las distancias mínimas entre nodos (*Pad to Pad*), entre pistas (*Track to Track*), entre nodos y cambios de cara (*Via to Pad*), entre pistas y cambios de cara (*Track to Via*) entre otros (Ver Figura (75); esto con el fin de evitar problemas de efecto arco entre pistas o intrusión de ruido entre las mismas, tal y como se recomienda en [3].

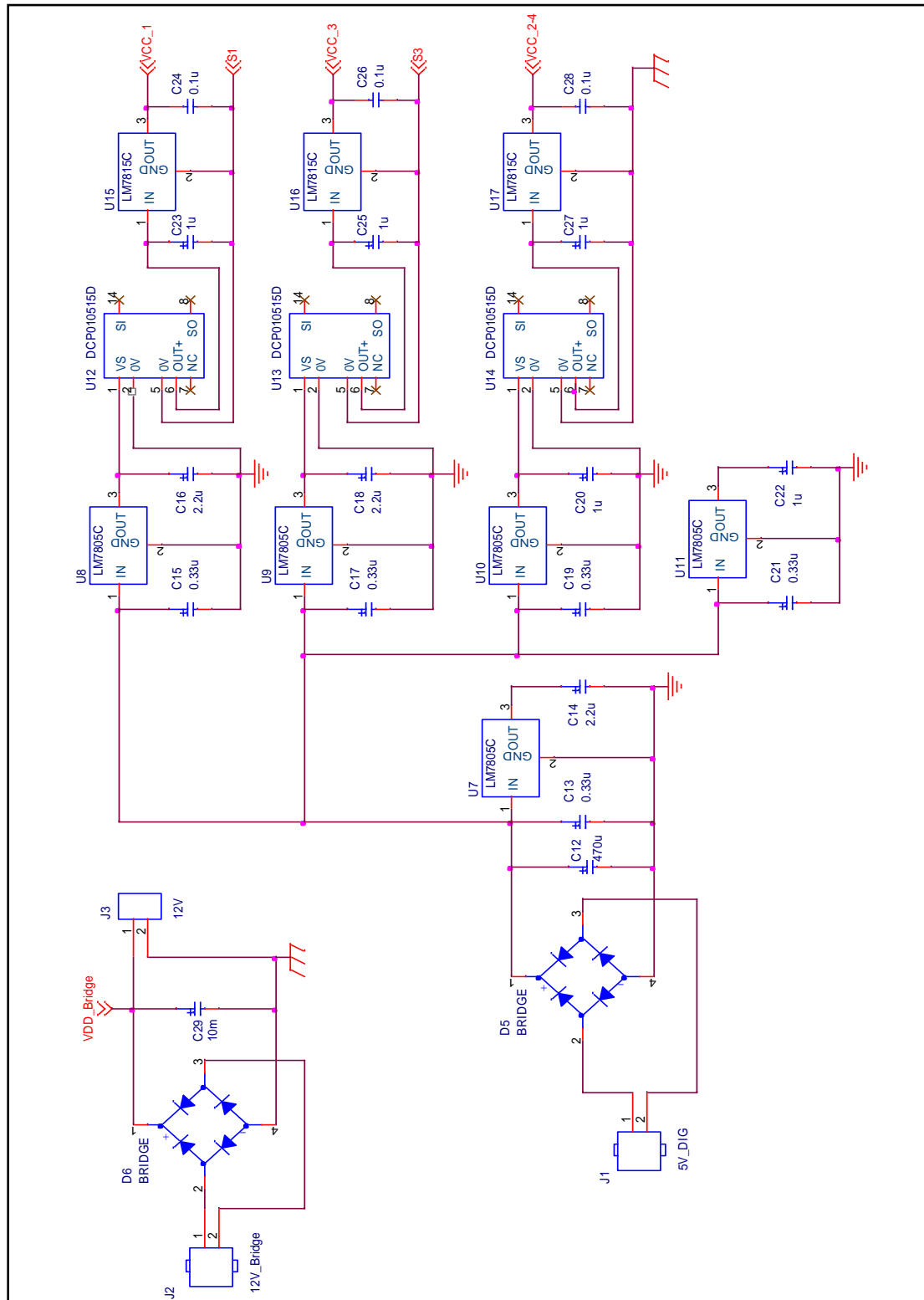


Figura 73. Diseño esquemático de Etapa de Regulación. Fuente: Autores.

Diseño y construcción de un troceador reductor operando como fuente de corriente.

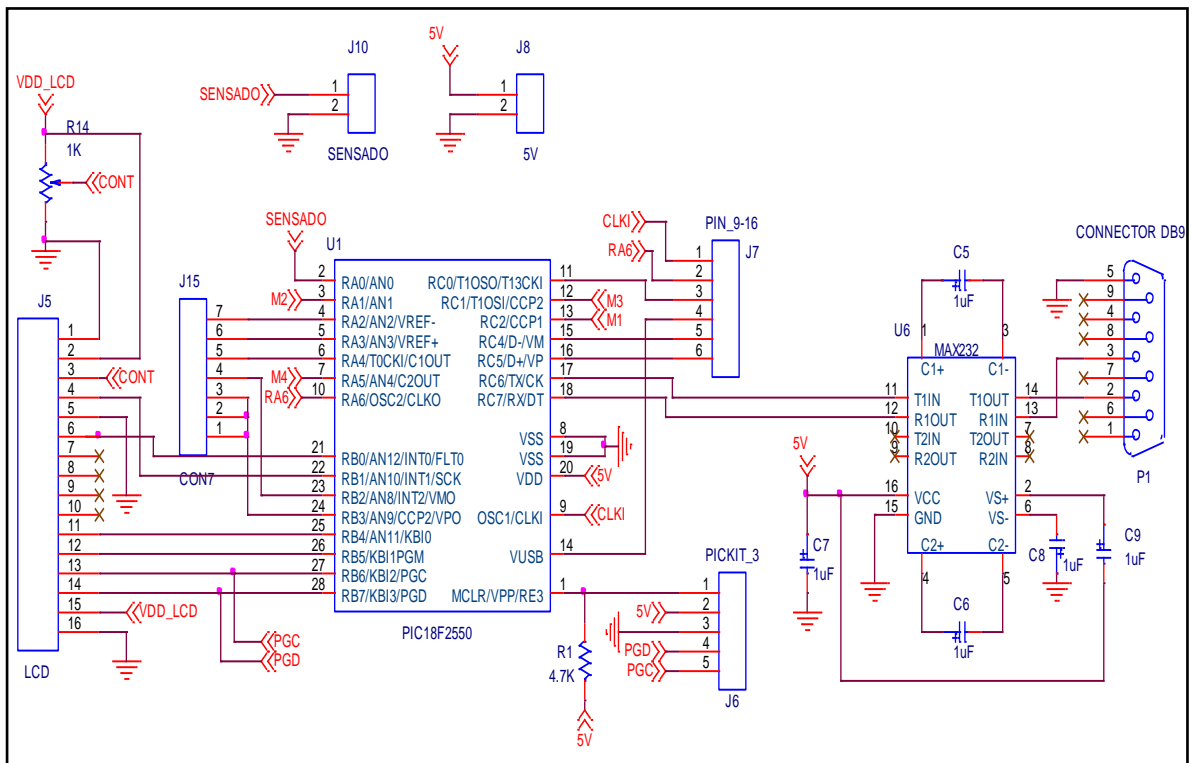


Figura 74. Diseño esquemático de Microcontrolador y Comunicación.

Fuente Autores.

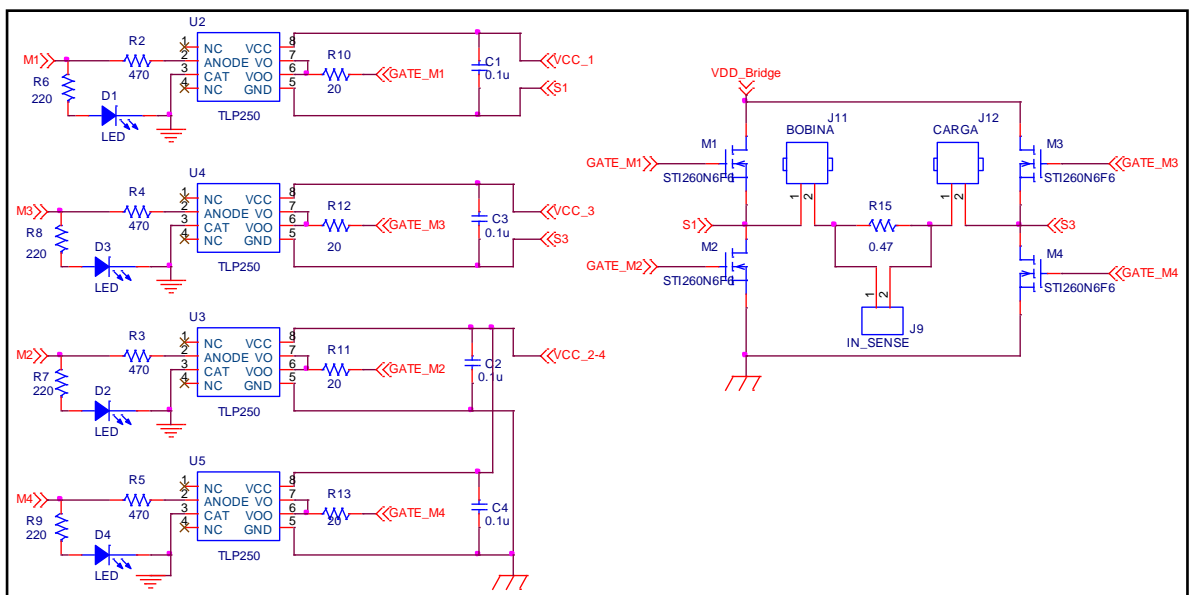


Figura 75. Diseño esquemático de Etapa de Potencia. Fuente: Autores.

Layer Name	Track to Track	Track to Via	Track to Pad	Via to Via	Via to Pad	Pad to Pad
TOP	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
BOTTOM	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
GND	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
POWER	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
INNER1	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
INNER2	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
INNER3	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
INNER4	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
INNER5	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
INNER6	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
INNER7	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
INNER8	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
INNER9	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
INNER10	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
INNER11	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
INNER12	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
DRILL	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30

Figura 76. Valores de espaciados globales. Fuente: Autores.

Otro parámetro fundamental para un buen diseño de la PCB son las unidades de la rejilla (Ver Figura 77), esencial para el rango y sensibilidad de ubicación de los componentes y elemental para obtener una mejor eficacia en el trazado de las pistas.

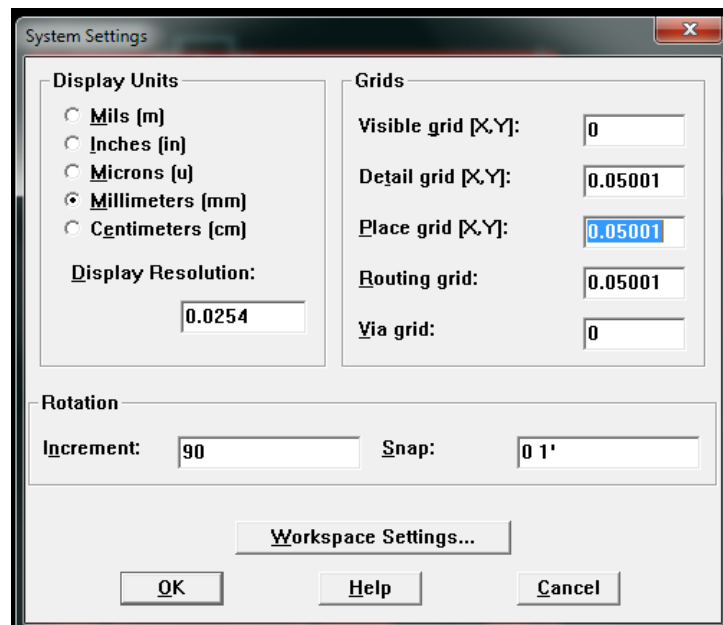


Figura 77. Unidades de rejilla. Fuente: Autores.

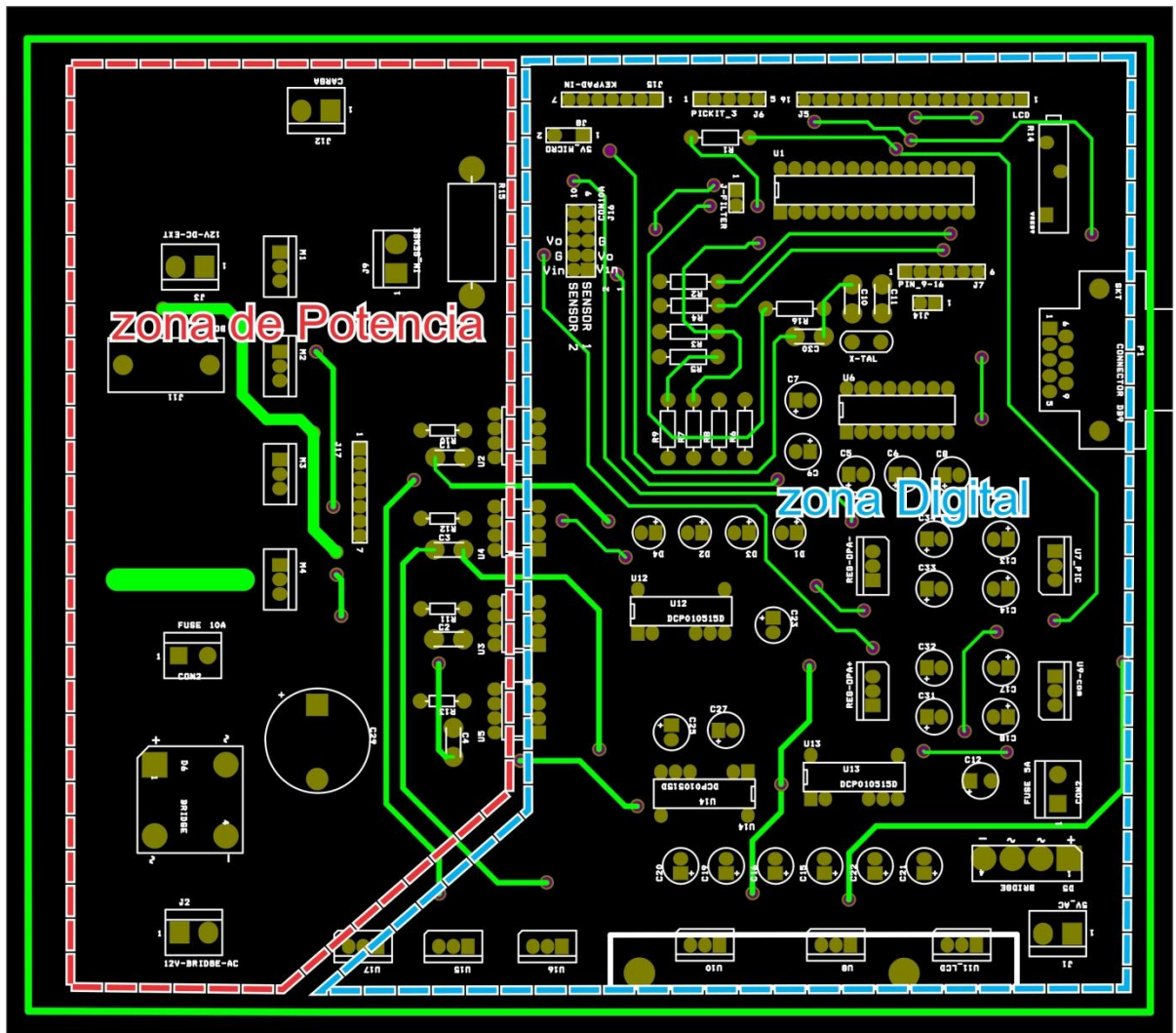


Figura 78. Cara superior de PCB. Zonas de distribución. Fuente: Autores.

Una vez se fijaron estos parámetros se procedió a definir zonas para aislar los diferentes ruidos que se presentan en el sistema, agrupando los circuitos digitales en una zona y los de potencia en otra. Una de las razones por las cuales se toma esta precaución es la longitud de los conductores por los cuales se transmiten pulsos a una alta frecuencia de operación, ya que al agrupar los componentes con estas características se obtienen pistas cortas entre los mismos logrando así una adecuada propagación de la señal.

su plano correspondiente, esto con el fin de minimizar efectos de ruido y mejorar la disipación de potencia en el sistema

Es importante resaltar que para la generación de dicho plano, se configuró de tal forma que éste tuviese como nivel de referencia la tierra digital y de potencia a través de la opción “NET ATTACHMENT” en la herramienta *Edit Obstacle*, donde se asignó el nodo “GND” al plano de tierra digital y “ GND_EARTH” al plano de Potencia. (Ver Figura 80).

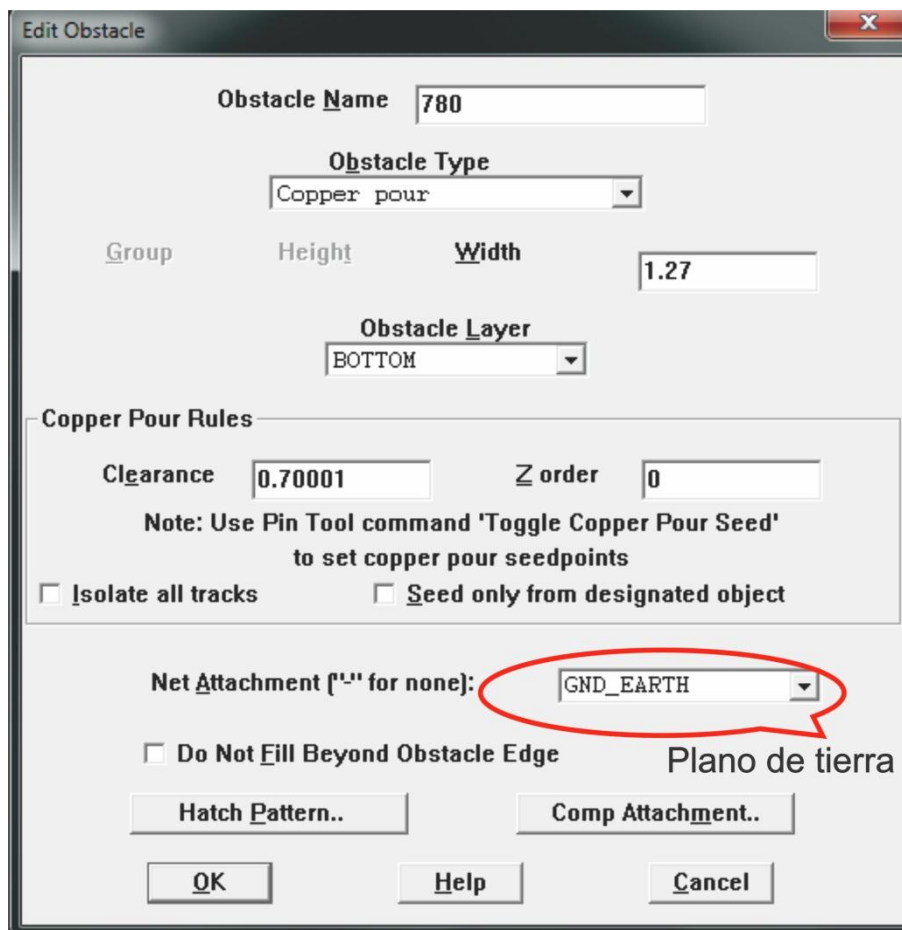


Figura 80. Acoplamiento del plano de tierra. Fuente: Autores.

Como parte de la configuración local de la fuente, se diseñó una PCB de pulsadores, la cual activa los distintos comandos en el micro, para esto se tuvo en cuenta su correcta ubicación en la cara frontal, que permitiera al usuario un fácil entendimiento de dicha configuración, ver Figura 81(a).

También fue necesario personalizar algunos *footprints* con ayuda de la herramienta “Dimensión” del menú “Tool” de LAYOUT para ubicar correctamente los disipadores de los Reguladores, ver Figura 81(b).

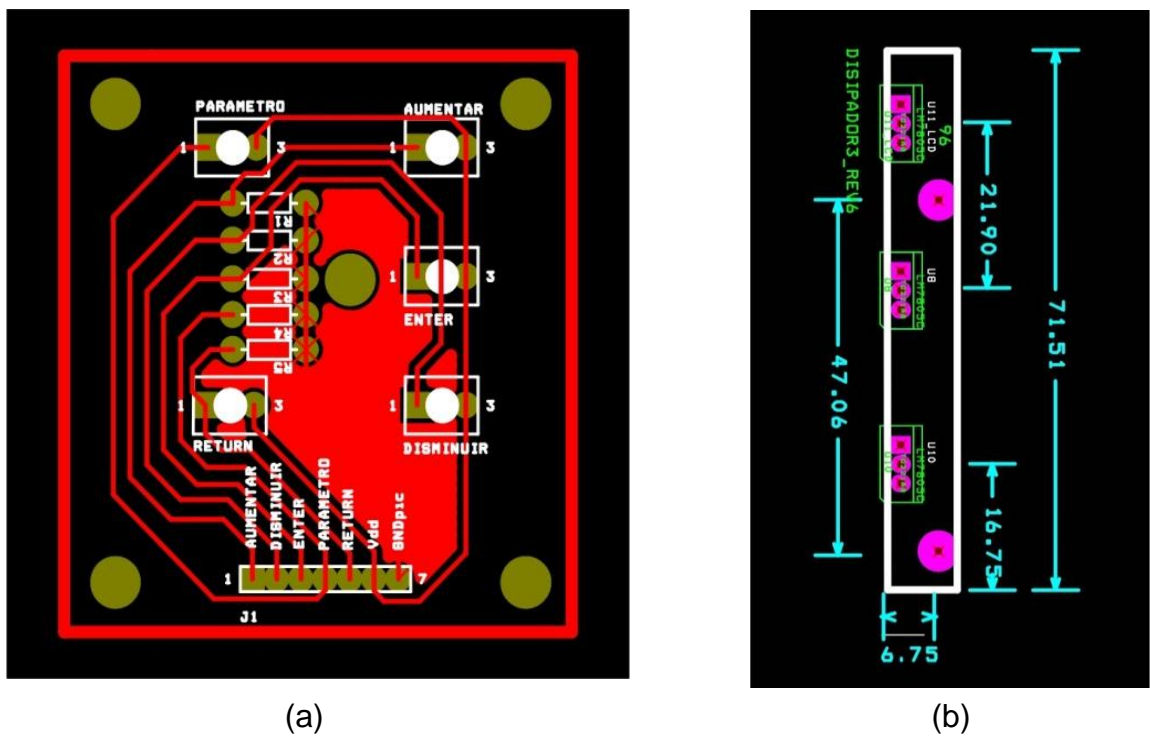


Figura 81. (a) PCB de pulsadores (b) Adecuación de *footprint* para disipador

Fuente: Autores.

3. PRUEBAS Y RESULTADOS.

3.1. Conmutación de los Mosfets del puente completo.

Como se explicó en el apartado 1.2 para la generación de una corriente positiva, el transistor M1 debe conmutar con un *DUTY* fijo o variable, dependiendo del tipo de onda que se desee, y el transistor M4 debe actuar como un interruptor cerrado.

Mientras que para la generación de corrientes negativas el Mosfet M3 conmuta y el M2 actúa como interruptor cerrado.

En la figura 82 se observa la señal PWM de entrada del Mosfet M1, la cual varía su *DUTY CYCLE* en el tiempo, con el fin de construir una forma de onda triangular, recordando que para este caso solo actúan el transistor en mención M1 y el transistor M4. Dicha señal se comporta de igual manera con el Mosfet M3 para generar una corriente negativa en la carga cuando M2 conduce.



Figura 82. Variación del *Duty* para onda triangular. Fuente: Autores.

Al aumentar el *DUTY-CYCLE* de la señal PWM, la tensión en la carga aumenta de manera proporcional, en el momento en el que la corriente llega al pico deseado, el proceso se invierte y el *duty* de la señal PWM empieza a disminuir.

De esta manera se construye la señal triangular, diente de sierra y rampa; para la señal constante solo basta con mantener un *duty* fijo en el tiempo, obteniendo como resultado lo observado en la Figura 83.

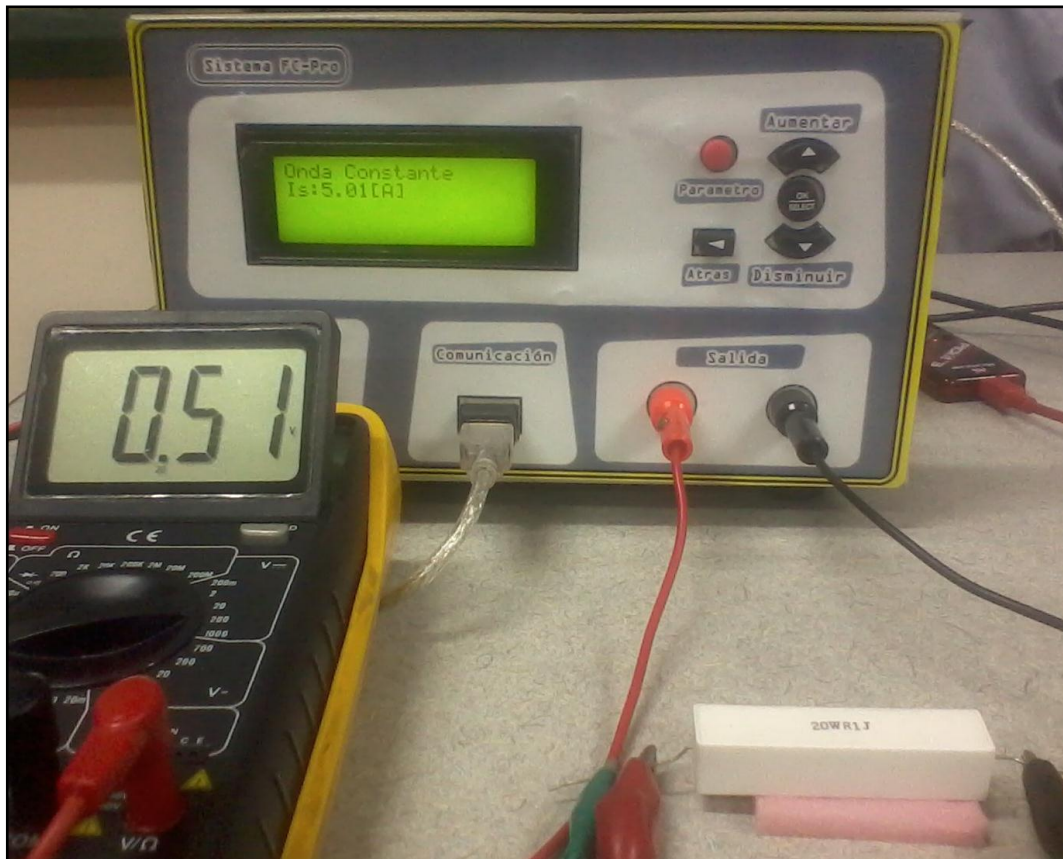


Figura 83. Lectura de Onda constante para carga de $0,1[\Omega]$. Fuente: Autores.

3.2. Visualización de ondas configuradas.

- Visualización con interfaz remota de Labview de la corriente generada.

De la figura 84 a la Figura 87, se observan diferentes formas de onda programadas de manera local y remota, las cuales son visualizadas desde la interfaz remota de Labview implementada por los autores. Estas formas de corriente son sometidas a cambios leves de carga y se observa que el comportamiento de estas no son significativos ni presentan overshoots o picos de corriente peligrosos que alteren la configuración, por el contrario se comprueba que el tipo de control seleccionado e implementado, trabaja de forma eficiente y rápida.

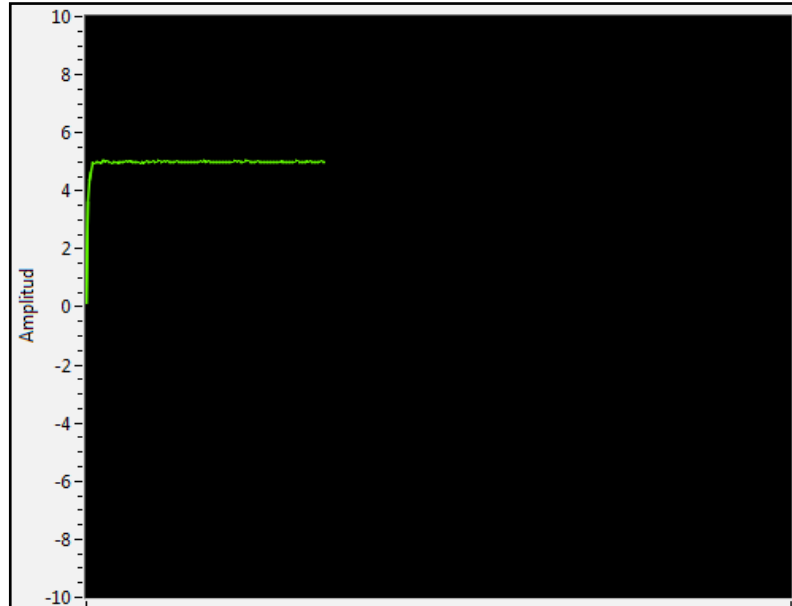


Figura 84. Onda continua de 5 [A] de amplitud. Fuente: Autores.

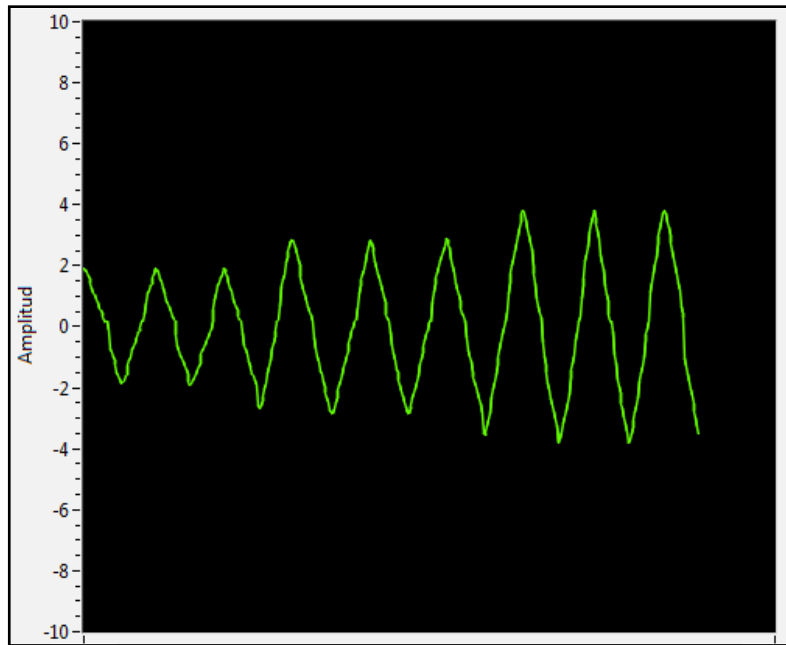


Figura 85. Ondas triangulares con diferentes picos de amplitud. Fuente: Autores.

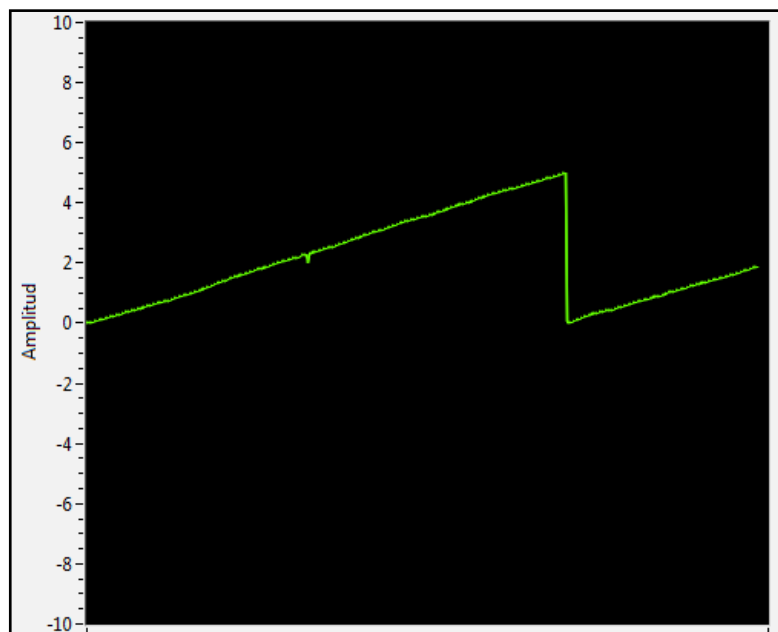


Figura 86. Onda diente de Sierra con inicio en 0 y pico máximo en 5 [A]. Fuente: Autores.

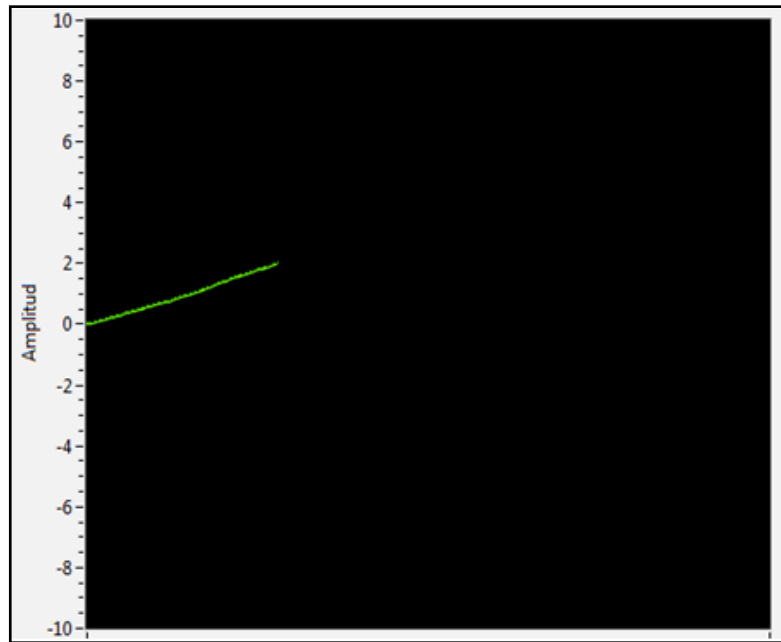


Figura 87. Onda rampa de corta duración con pico mínimo en 0 y pico máximo en 2 [A]. Fuente: Autores.

- Visualización con osciloscopio de voltaje en la carga.

Como no es posible observar graficas de corriente con ayuda del osciloscopio, la prueba realizada busca medir la tensión en una carga fija y observar su funcionamiento, teniendo en cuenta que la corriente tendrá el mismo comportamiento y su valor será el cálculo correspondiente a la tensión instantánea en cada punto mostrado por el osciloscopio sobre la resistencia de carga.

Características del montaje:

Carga = 0.1 [Ω]

Periodo = 10[s]

Duración = 2[min]

Amplitud máxima = 3[A]

Amplitud mínima = -3[A]

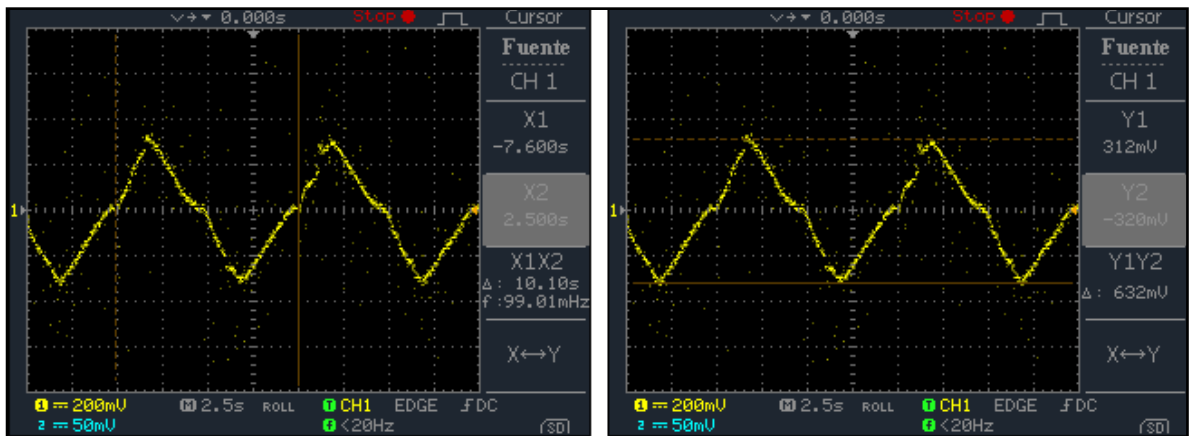


Figura 88. Onda triangular (a) Duración. (b) Amplitud. Fuente Autores.

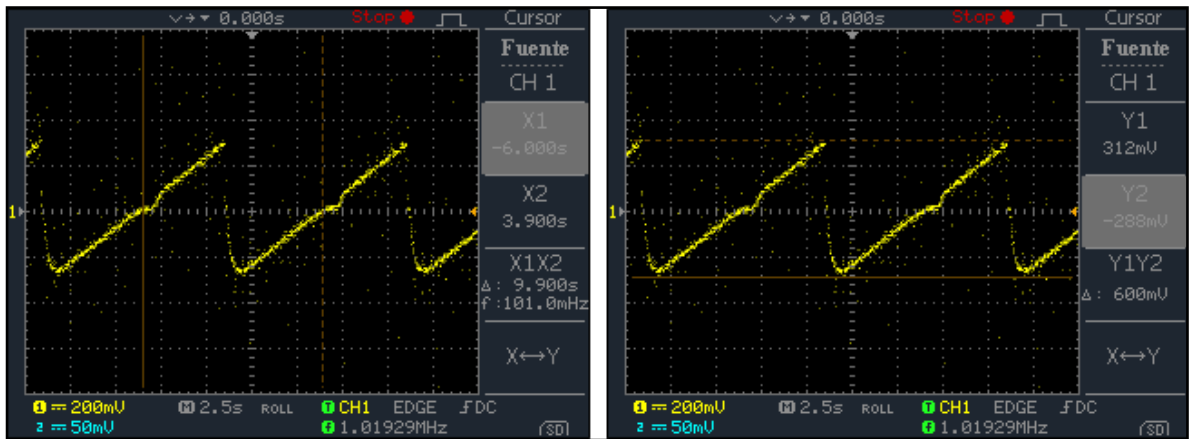


Figura 89. Onda Diente de Sierra (a) Duración. (b) Amplitud. Fuente Autores.

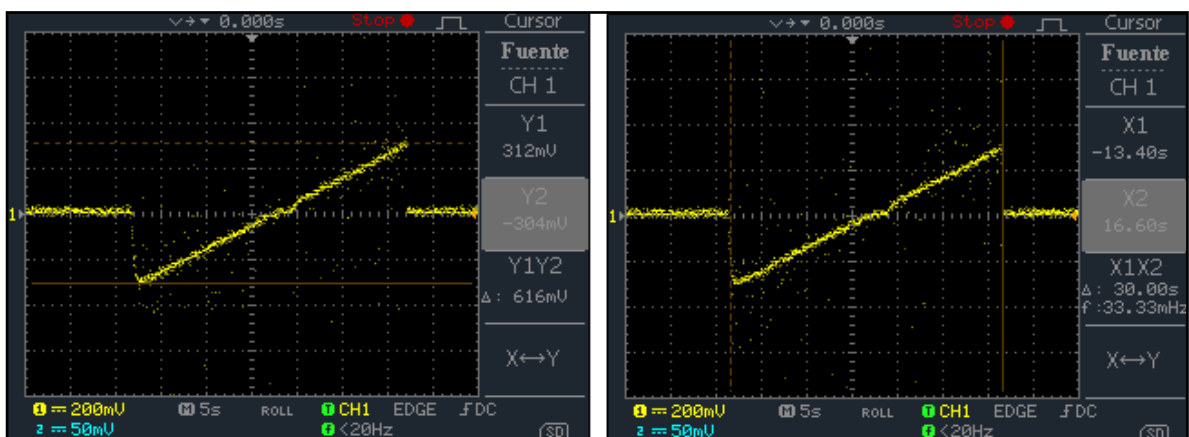


Figura 90. Onda Rampa (a) Amplitud. (b) Duración. Fuente Autores.

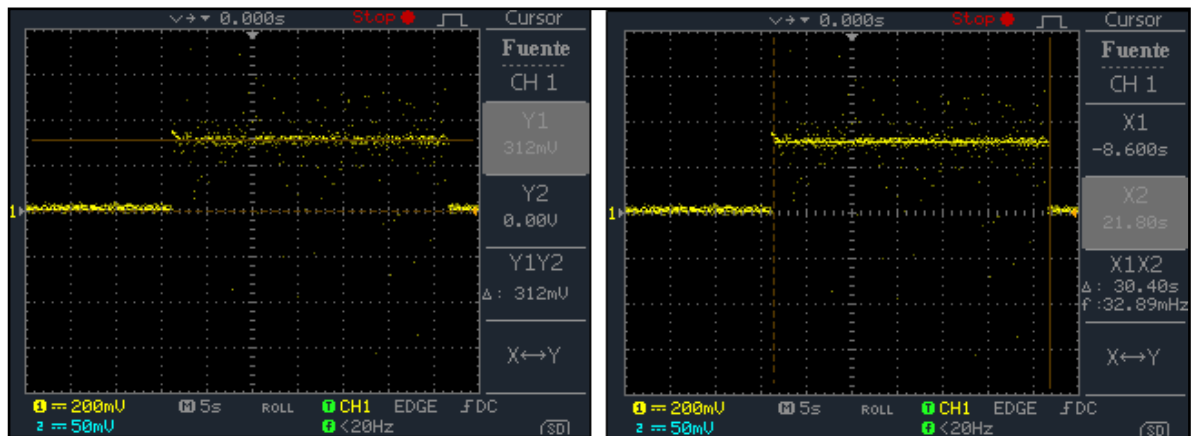


Figura 91. Onda Constante (a) Amplitud. (b) Duración. Fuente Autores.

Con las anteriores pruebas se puede comprobar y corroborar la eficacia del control implementado, y el buen funcionamiento del algoritmo creado para la configuración de formas de onda predefinidas por un usuario

3.3. Eficiencia

Se procede a realizar los cálculos de eficiencia eléctrica del sistema para la **corriente nominal constante**, con carga nominal y tensión nominal. Para la corriente nominal de 10[A] y tensión nominal de 21[V], se conoce por Ley de Ohm que la resistencia nominal es de 2.1[Ω]. Como se ha explicado en apartados anteriores, la etapa de potencia del dispositivo esta conformada por un troceador reductor en puente H, el cual está constituido a su vez por los transistores, la bobina y la carga. Es por lo anterior que se requiere de un análisis distinto para la potencia disipada por cada uno de estos elementos, desarrollo que se aprecia a continuación.

Por la naturaleza de la forma de onda aplicada, el análisis de la potencia entregada a la carga puede resumirse en el cálculo de la potencia promedio en la misma, la cual se define como se muestra en las ecuaciones (52) y (53).

$$P_o = I_o V_o \quad (52)$$

$$P_o = I_o^2 * R_N \quad (53)$$

Aplicando la ecuación (53), se obtiene que la potencia entregada a la carga nominal es 210[W].

Por otro lado, el cálculo de la potencia consumida por los transistores seleccionados, comprende el análisis de pérdidas durante el estado de conducción P_{cond} así como las debidas a la conmutación P_{sw} , concluyendo lo anterior en la ecuación (54).

$$P_{MOSFET} = P_{cond} + P_{sw} \quad (54)$$

Las pérdidas por conducción en los transistores están dadas por la ecuación (55), que para este caso particular, la corriente eficaz I_{rms} corresponde a la corriente promedio, debido a que para una señal constante es posible definir esta igualdad

$$P_{cond} = I_{rms}^2 * R_{ds} \quad (55)$$

$$P_{cond} = (10)^2 * (2.4 * 10^{-3})$$

$$P_{cond} = 0.24 [W]$$

Conociendo la frecuencia de conmutación de los transistores, así como los tiempos de subida y bajada durante la conmutación suministrados por el fabricante se aplica la ecuación (56) para calcular las pérdidas por conmutación en los mismos. P_{swr} y P_{swf} corresponden a las pérdidas de conmutación cuando el

transistor conmuta de un estado de no conducción a un estado de saturación y de un estado de conducción a corte, respectivamente. El tiempo de subida t_{rise} suministrado por el fabricante es 80 [ns] mientras t_{fall} es 31 [ns].

$$P_{sw} = P_{swr} + P_{swf} \quad (56)$$

$$P_{sw} = \frac{1}{2}(V_{in} * I_o * F_{sw} * t_{rise}) + \frac{1}{2}(V_{in} * I_o * F_{sw} * t_{fall})$$

$$P_{sw} = 0.168 + 0.0651$$

$$P_{sw} = 0.2331 [W]$$

Empleando los resultados obtenidos de la aplicación de las ecuaciones (55) y (56) en la ecuación (54), se tiene que las pérdidas en cada transistor es 0.4731 [W]. Como se mencionó en el apartado de la generación de las señales de referencia así como en la teoría referente al troceador reductor, dependiendo del sentido de la corriente eléctrica a través de la carga, conmutan dos transistores ubicados en ramas distintas del puente, por lo cual la potencia calculada a partir de la ecuación (54) es multiplicada por dos, adquiriendo que las pérdidas por cada par de transistores es 0.9463 [W].

Empleando los resultados obtenidos de la aplicación de las ecuaciones (55) y (56) en la ecuación (54), se tiene que las pérdidas en cada transistor que conmuta es 0.4731 [W] mientras que, para los transistores que permanecen cerrados o abiertos dependiendo del sentido de la corriente en la carga, se aplica solamente la ecuación (55) obteniendo en dichos elementos pérdidas de 0.24[W] por efecto de la conducción. De lo anterior se concluye que las pérdidas de potencia por cada par de transistores que se activan, equivale a 0.7131 [W].

$$P_{RL} = I_{rms}^2 * R_{wire} \quad (57)$$

$$P_{RL} = 3.9 [W]$$

Conociendo el total de pérdidas y la potencia entregada a la carga, es posible deducir mediante la ecuación (58), la eficiencia de esta etapa del sistema, la cual para el caso propuesto resulta ser 97.74%.

$$\eta = \left(\frac{P_o}{P_o + Perd.} \right) * 1000 \quad (58)$$

3.4. Adaptabilidad a la industria metalúrgica.

La gran mayoría de instrumentos quirúrgicos están hechos de acero inoxidable principalmente porque poseen una gran resistencia a la corrosión, fenómeno que ocurre por la exposición a la sangre, líquidos y fluidos o soluciones de limpieza.

Con base en lo anterior se trabajan actualmente métodos artificiales como recubrimientos para mejorar la resistencia a la corrosión de los aceros inoxidables y evitar su deterioro en condiciones de servicio.

Uno de los métodos más empleados por la industria, es el anodizado; mediante este procedimiento se pueden producir gran cantidad de propiedades superficiales, las cuales dependen de las condiciones del proceso como: composición del electrolito, concentración, pH, Intensidad de corriente, voltaje, temperatura y tiempo de exposición.

La técnica de anodizado por corriente pulsante triangular ha demostrado buenos resultados como un método para obtener recubrimientos que mejoren la resistencia a la corrosión, proveen buena dureza, excelente adherencia del recubrimiento con el sustrato además de ser un proceso repetitivo llevándolo a ser económicamente fiable. [4]

Es por eso que la creación de la fuente de corriente programable es de vital importancia, para este tipo de estudios, porque acelera procesos que son difíciles o imposibles de controlar siempre que la resistencia de los materiales es variable con el tiempo. Anexo [H].

4. CONCLUSIONES.

- El sistema desarrollado en su etapa de procesamiento compuesta por el microcontrolador PIC18F2550, cuenta con la posibilidad de emplear el reloj de oscilación interno dispuesto en el microcontrolador, sin embargo; se habilitó un seleccionador para un oscilador de cristal de cuarzo externo, el cual fue empleado para el desarrollo del presente Proyecto de Grado, justificando lo anterior en alcanzar una mayor resolución en el caso de la condición de amplitud de corriente máxima, comparada con la que se puede lograr si se emplea el oscilador interno del microcontrolador.
- Empleando un cristal de cuarzo externo a 20 [MHz] para la generación de señales de control PWM a 20 [kHz], es posible producir variaciones del ciclo de trabajo útil suministrado por el microcontrolador desde cero hasta mil, es decir; una resolución 10-bit en el módulo PWM. Lo anterior permite concluir que para la amplitud de corriente máxima permitida de 10 [A], se puede lograr una variación de corriente en la carga de 10 [mA].
- La resolución seleccionada para el ADC del microcontrolador PIC18F2550 fue de 10-bit, suficiente para la medición de las variaciones de corriente perceptibles en el sensor ACS711.
- El sistema de medición de corriente implementado en la fuente conformado por el dispositivo ACS711, permite sensar corrientes de hasta 12.5 [A], sin embargo; para medir corrientes menores a 1[A] con buena precisión, es necesario la implementación del sensor ACS712 el cual posee un paso de hasta 0.5 [V/A] frente a los 0.185[V/A] del ACS711.

- Surgió como limitante en la implementación de un sensor con una mejor resolución para corrientes menores a 1[A], la capacidad de corriente máxima a ser medida por el mismo, ya que para el ACS712 la corriente máxima permitida es 5[A]. Es por lo anterior que se desarrollaron dos versiones distintas del algoritmo para el microcontrolador PIC18F2550, una para corrientes de hasta 10[A] usando el sensor ACS711 y la otra para corrientes de hasta 5[A] usando el sensor ACS712. Las instrucciones de la implementación de estos sensores se encuentran adjuntas en el manual de usuario, mientras que los códigos desarrollados se encuentran diferenciados como FUENTE_10A y FUENTE_5A y sólo deben ser programados en el microcontrolador según sea el caso.
- Se implementaron mediante el algoritmo desarrollado en el microcontrolador PIC18F2550, acciones de protección de la fuente tanto en la etapa de configuración de la misma como durante su operación. En la fase de configuración, los tiempos correspondientes a tiempo total del proceso y periodo de la señal, solo permiten el ingreso de datos positivos; mientras que los parámetros de amplitud máxima y mínima se encuentran limitados a 10[A] y -10[A] si el sensor empleado es el ACS711 o limitados a 5[A] y -5[A] si el sensor empleado es el ACS712. En la fase de operación, el algoritmo posee una sección encargada del monitoreo de la amplitud de la corriente medida, si dicho parámetro sobrepasa 10[A] o 5[A] según el sensor empleado, las acciones de conmutación de los transistores son interrumpidas y los mismos son enviados a la región de corte, además de notificar mediante mensaje en LCD al usuario que se ha excedido en la corriente máxima que puede entregar el dispositivo.

- Se construyó una fuente de corriente programable, que puede entregar cuatro diferentes formas de onda con amplitud máxima de hasta 10 [A], siempre y cuando la resistencia de carga no sea superior a 2[Ω]. Si la resistencia de carga es mayor al valor mencionado, la corriente máxima que se puede alcanzar se deduce haciendo referencia a la Ley de Ohm, teniendo en cuenta que el voltaje de salida será 21[V] máximo.
- Se implementó una interfaz grafica en Labview cuya finalidad es programar y visualizar los diferentes parámetros de manera remota, para cada forma de onda presente disponible en la fuente de corriente. Además, está interfaz permite al usuario observar en caso de que así lo desee, la grafica en tiempo real de la corriente promedio que recorre la carga.
- Se realizaron de manera controlada pruebas de corto circuito y circuito abierto, lo anterior mientras el dispositivo se encontraba en funcionamiento normal. Ante este cambio de condiciones, se observó que la forma de onda definida se mantenía en la nueva carga resultante y para el caso de un cambio abrupto en el valor de la carga, puntualmente el cambio de un valor muy grande a uno muy pequeño o cambio de circuito abierto a corto circuito, la protección de desactivación de la fuente por exceso de corriente entra en operación.

5. RECOMENDACIONES.

- Para obtener una mayor eficiencia en la potencia de salida, es recomendable utilizar una bobina de núcleo toroidal de ferrita semejante a la utilizada por los autores, con un alambre de calibre menor a 18 AWG en su devanado, respetando la relación de vueltas para lograr un valor de inductancia mayor o igual a 1[mH]. Se recomienda igualmente en un posible aumento de la frecuencia de conmutación, la construcción de una bobina de núcleo de ferrita, cuyo devanado sea realizado con alambre tipo LITZ, esto con la intención de prevenir las posibles pérdidas por el efecto pelicular o efecto piel.
- Si se adquiere un sensor con una mayor sensibilidad para la misma amplitud máxima soportada por el ACS711, es posible llevar la resolución del ADC del microcontrolador hasta 16-bit.
- Con el sistema propuesto, es posible desarrollar frecuencias de conmutación de los transistores superiores a 25[kHz], resaltando que para lograr dicho propósito, se hace necesario el cambio de los opto-acopladores seleccionados por unos de mayor capacidad en su frecuencia de operación, ya que los demás componentes implicados con la frecuencia de conmutación permiten alcanzar 500[kHz].
- Mediante las formas de onda desarrolladas en este algoritmo y comprobadas en pruebas de laboratorio, es posible dar origen a nuevas formas de onda de tipo rampa descendente, cuadrada y triangular asimétrica en el tiempo o de amplitud mínima variable, para esto se requiere de un microcontrolador con mayor capacidad de memoria.

- Para implementar la fuente controlada completamente portable evitando el uso de software, los autores recomiendan la implementación de una pantalla tipo Makromedia para la total e independiente visualización y programación del dispositivo.

6. REFERENCIAS.

- [1]. Conferencia Básica sobre galvanización. Profesora Laura Vilonia Rendón. Asociación Venezolana de galvanizadores. Año 2006. Disponible en línea: <http://www.avgal.net/pdfs/Ponencia%20LV%20WEB.pdf>
- [2]. Daniel W. Hart. Electrónica de Potencia. Segunda Edición. Editorial Prentice Hall. 2001.
- [3]. OrCAD Layout® Comenzando, OrCAD Design Network (ODN), segunda edición. Disponible en línea: http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/8090/mod_resource/content/1/LAYGS90E.pdf
- [4]. PACHON ADRIANA LUCIA, VEGA ADRIANA PAOLA. Crecimiento de óxidos en aceros AISI 420 nitrurado y AISI 316L por la técnica de corriente pulsante triangular para fines quirúrgicos. Facultad de ingenierías físicoquímicas. Universidad Industrial de Santander. 2011.
- [5]. David Talbot James Talbot, "Corrosion science and Tecnology," 1998 by CRC Press LLC. Disponible en línea: http://www.4shared.com/get/dhe6osiJ/Corrosion_Science_and_Technolo.html

7. BIBLIOGRAFÍA

DANIEL W. HART. "Electrónica de Potencia". Segunda edición, Editorial Prentice Hall. 2001.

MUHAMMAD H. RASHID. "Electrónica de Potencia: Circuitos, dispositivos y aplicaciones". Editorial Pearson Education. Segunda Edición. 1995.

SIMON S. ANG, ALEJANDRO OLIVA. "Power Switching Converters". Second edition, CRC Press Publisher.

KATSUHIKO OGATA. "Ingeniería de Control Moderna". Tercera edición. Editorial Pearson Education.

Anexo [A]

TOSHIBA

TLP250

TOSHIBA Photocoupler GaAlAs Ired & Photo-IC

TLP250

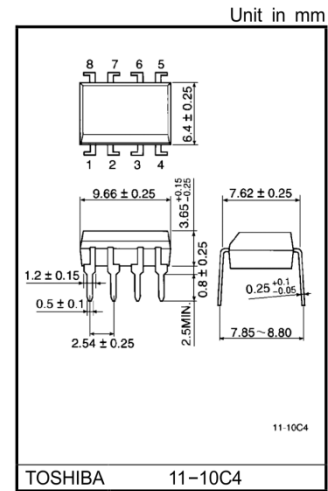
Transistor Inverter
 Inverter For Air Conditionor
 IG B TGate Drive
 Power MOS FET Gate Drive

The TOSHIBA TLP250 consists of a GaAlAs light emitting diode and a integrated photodetector.
 This unit is 8-lead DIP package.
 TLP250 is suitable for gate driving circuit of IGBT or power MOS FET.

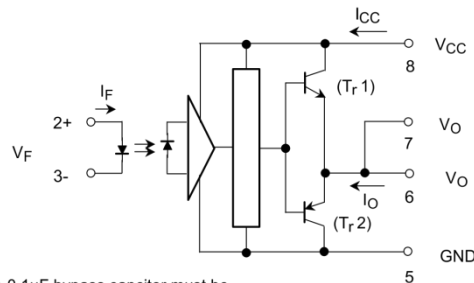
Input threshold current: $I_F=5\text{mA}(\text{max.})$
 Supply current (I_{CC}): $11\text{mA}(\text{max.})$
 Supply voltage (V_{CC}): $10\text{--}35\text{V}$
 Output current (I_O): $\pm 1.5\text{A}(\text{max.})$
 Switching time (t_{pLH}/t_{pHL}): $1.5\mu\text{s}(\text{max.})$
 Isolation voltage: $2500V_{\text{rms}}(\text{min.})$
 UL recognized: UL1577, file No.E67349
 Option (D4) type

VDE approved: DIN VDE0884/06.92,certificate No.76823
 Maximum operating insulation voltage: $630V_{\text{PK}}$
 Highest permissible over voltage: $4000V_{\text{PK}}$

(Note) When a VDE0884 approved type is needed, please designate the "option (D4)"
 Creepage distance: $6.4\text{mm}(\text{min.})$
 Clearance: $6.4\text{mm}(\text{min.})$

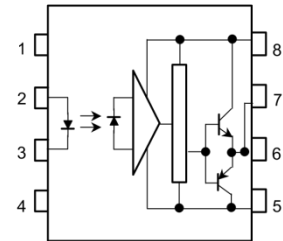


Schmatic



A $0.1\mu\text{F}$ bypass capacitor must be connected between pin 8 and 5 (See Note 5).

Pin Configuration (top view)

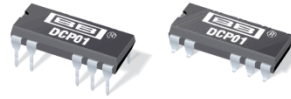


- 1 : N.C.
- 2 : Anode
- 3 : Cathode
- 4 : N.C.
- 5 : GND
- 6 : V_O (Output)
- 7 : V_O
- 8 : V_{CC}

Truth Table

	Tr1	Tr2
Input LED On	On	Off
Input LED Off	Off	On

Anexo [B]



DCP01BSERIES

SBVS012E – DECEMBER 2000 – REVISED DECEMBER 2007

FEATURES

- Up To 85% Efficiency
- Thermal Protection
- Device-to-Device Synchronization
- Short-Circuit Protection
- EN55022 Class B EMC Performance
- UL1950 Recognized Component
- JEDEC DIP-14 and SOP-14 Packages

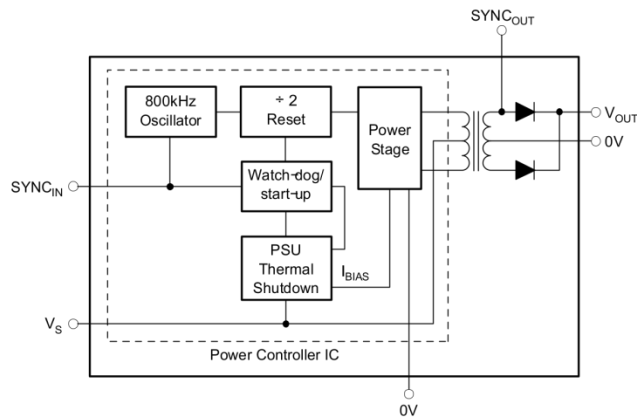
APPLICATIONS

- Point-of-Use Power Conversion
- Ground Loop Elimination
- Data Acquisition
- Industrial Control and Instrumentation
- Test Equipment

DESCRIPTION

The DCP01B series is a family of 1W, unregulated, isolated DC/DC converters. Requiring a minimum of external components and including on-chip device protection, the DCP01B series provides extra features such as output disable and synchronization of switching frequencies.

The use of a highly-integrated package design results in highly reliable products with a power density of $40\text{W}/\text{in}^3$ ($2.4\text{W}/\text{cm}^3$). This combination of features and small sizes makes the DCP01B suitable for a wide range of applications.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

All trademarks are the property of their respective owners.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date.
conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty.
Production processing does not necessarily include testing of all parameters.



Copyright 2000–2007, Texas Instruments Incorporated

Anexo [C]



STI260N6F6 STP260N6F6

N-channel 60 V, 0.0024 Ω , 120 A STripFET VI DeepGATE
Power MOSFET in TO-220 and I²PAK packages

Features

Order codes	V _{DSS}	R _{DS(on)} max	I _D
STI260N6F6 STP260N6F6	60 V	< 0.003 Ω	120 A

- Low gate charge
- Very low on-resistance
- High avalanche ruggedness

Application

- Switching applications

Description

These devices are N-channel Power MOSFETs developed using the 6th generation of STripFET DeepGATE technology, with a new gate structure. The resulting Power MOSFETs exhibits the lowest R_{DS(on)} in all packages.

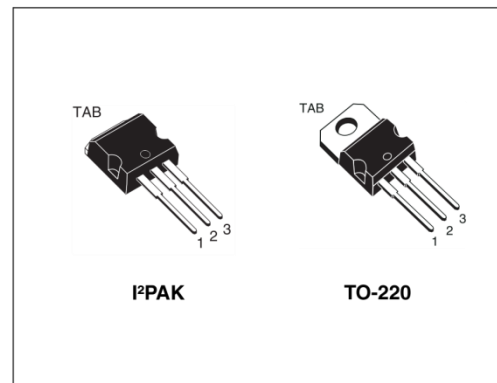


Figure 1. Internal schematic diagram

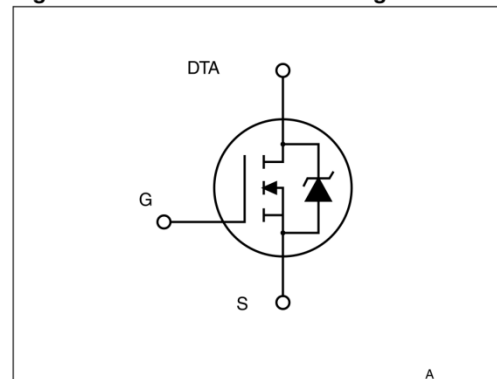


Table 1. Device summary

Order codes	Marking	Package	Packaging
STI260N6F6	260N6F6	I ² PAK	Tube
STP260N6F6		TO-220	

Anexo [D]



MICROCHIP PIC18F2455/2550/4455/4550

28/40/44-Pin, High-Performance, Enhanced Flash, USB Microcontrollers with nanoWatt Technology

Universal Serial Bus Features:

- USB V2.0 Compliant
- Low Speed (1.5 Mb/s) and Full Speed (12 Mb/s)
- Supports Control, Interrupt, Isochronous and Bulk Transfers
- Supports up to 32 Endpoints (16 bidirectional)
- 1 Kbyte Dual Access RAM for USB
- On-Chip USB Transceiver with On-Chip Voltage Regulator
- Interface for Off-Chip USB Transceiver
- Streaming Parallel Port (SPP) for USB streaming transfers (40/44-pin devices only)

Power-Managed Modes:

- Run: CPU on, Peripherals on
- Idle: CPU off, Peripherals on
- Sleep: CPU off, Peripherals off
- Idle mode Currents Down to 5.8 μ A Typical
- Sleep mode Currents Down to 0.1 μ A Typical
- Timer1 Oscillator: 1.1 μ A Typical, 32 kHz, 2V
- Watchdog Timer: 2.1 μ A Typical
- Two-Speed Oscillator Start-up

Flexible Oscillator Structure:

- Four Crystal modes, including High-Precision PLL for USB
- Run: CPU on, Peripherals on
- Idle: CPU off, Peripherals on
- Sleep: CPU off, Peripherals off
- Idle mode Currents Down to 5.8 μ A Typical
- Sleep mode Currents Down to 0.1 μ A Typical
- Timer1 Oscillator: 1.1 μ A Typical, 32 kHz, 2V
- Watchdog Timer: 2.1 μ A Typical
- Two-Speed Oscillator Start-up

Flexible Oscillator Structure:

- Four Crystal modes, including High-Precision PLL for USB
- Two External Clock modes, Up to 48 MHz
- Internal Oscillator Block:
 - 8 user-selectable frequencies, from 31 kHz to 8 MHz
 - User-tunable to compensate for frequency drift
- Secondary Oscillator using Timer1 @ 32 kHz
- Dual Oscillator Options allow Microcontroller and USB module to Run at Different Clock Speeds
- Fail-Safe Clock Monitor:
 - Allows for safe shutdown if any clock stops

Peripheral Highlights:

- High-Current Sink/Source: 25 mA/25 mA
- Three External Interrupts
- Four Timer modules (Timer0 to Timer3)
- Up to 2 Capture/Compare/PWM (CCP) modules:
 - Capture is 16-bit, max. resolution 5.2 ns (Tcy/16)
 - Compare is 16-bit, max. resolution 83.3 ns (Tcy)
 - PWM output: PWM resolution is 1 to 10-bit
- Enhanced Capture/Compare/PWM (ECCP) module:
 - Multiple output modes
 - Selectable polarity
 - Programmable dead time
 - Auto-shutdown and auto-restart
- Enhanced USART module:
 - LIN bus support
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) module Supporting 3-Wire SPI (all 4 modes) and I²C™ Master and Slave modes
- 10-Bit, Up to 13-Channel Analog-to-Digital Converter (A/D) module with Programmable Acquisition Time
- Dual Analog Comparators with Input Multiplexing

Special Microcontroller Features:

- C Compiler Optimized Architecture with Optional Extended Instruction Set
- 100,000 Erase/Write Cycle Enhanced Flash
 - LIN bus support
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) module Supporting 3-Wire SPI (all 4 modes) and I²C™ Master and Slave modes
- 10-Bit, Up to 13-Channel Analog-to-Digital Converter (A/D) module with Programmable Acquisition Time
- Dual Analog Comparators with Input Multiplexing

Special Microcontroller Features:

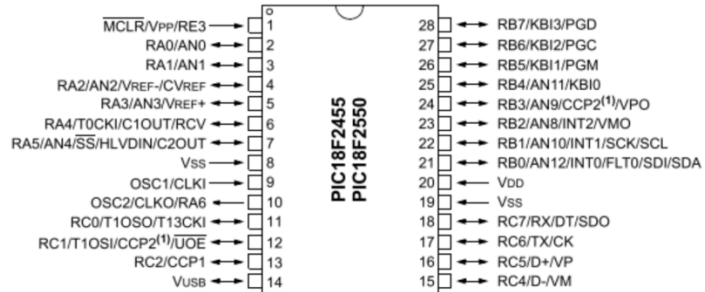
- C Compiler Optimized Architecture with Optional Extended Instruction Set
- 100,000 Erase/Write Cycle Enhanced Flash Program Memory Typical
- 1,000,000 Erase/Write Cycle Data EEPROM Memory Typical
- Flash/Data EEPROM Retention: > 40 Years
- Self-Programmable under Software Control
- Priority Levels for Interrupts
- 8 x 8 Single-Cycle Hardware Multiplier
- Extended Watchdog Timer (WDT):
 - Programmable period from 41 ms to 131s
- Programmable Code Protection
- Single-Supply 5V In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via Two Pins
- In-Circuit Debug (ICD) via Two Pins
- Optional Dedicated ICD/ICSP Port (44-pin, TQFP package only)
- Wide Operating Voltage Range (2.0V to 5.5V)

Device	Program Memory		Data Memory		I/O	10-Bit A/D (ch)	CCP/ECCP (PWM)	SPP	MSSP		EUSART	Comparators	Timers 8/16-Bit
	Flash (bytes)	# Single-Word Instructions	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)					SPI	Master I ² C™			
PIC18F2455	24K	12288	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F2550	32K	16384	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4455	24K	12288	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4550	32K	16384	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3

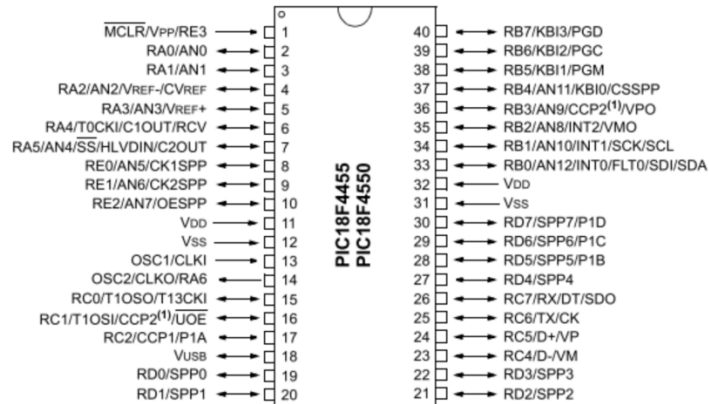
PIC18F2455/2550/4455/4550

Pin Diagrams

28-Pin PDIP, SOIC



40-Pin PDIP



Note 1: RB3 is the alternate pin for CCP2 multiplexing.

Anexo [E]



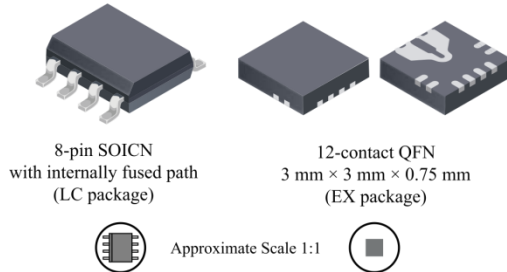
ACS711

Hall Effect Linear Current Sensor with Overcurrent Fault Output for <100 V Isolation Applications

Features and Benefits

- No external sense resistor required; single package solution
- Reduced Power Loss:
 - 0.6 mΩ internal conductor resistance on EX package
 - 1.2 mΩ internal conductor resistance on LC package
- Economical low- and high-side current sensing
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- ±12.5 A and ±25 A full scale sensing ranges on LC package
- ±15.5 A and ±31 A full scale sensing ranges on EX package
- Overcurrent FAULT trips and latches at 100% of full-scale current
- Low-noise analog signal path
- 100 kHz bandwidth
- Small footprint, low-profile SOIC8 and QFN packages
- 3.0 to 5.5 V, single supply operation
- Integrated electrostatic shield for output stability
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage

Packages:



Description

The Allegro® ACS711 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in <100 V audio, communications systems, and white goods. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include circuit protection, current monitoring, and motor and inverter control.

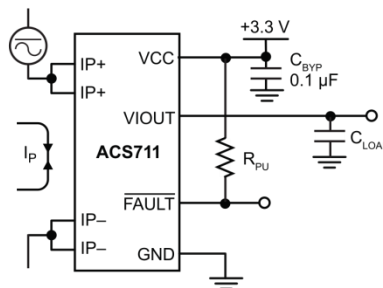
The device consists of a linear Hall sensor circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which is sensed by the integrated Hall IC and converted into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer.

The output of the device has a positive slope proportional to the current flow from IP+ to IP- (pins 1 and 2, to pins 3 and 4). The internal resistance of this conductive path is 0.6 mΩ for the EX package, and 1.2 mΩ for the LC package, providing a non-intrusive measurement interface that saves power in applications that require energy efficiency.

The ACS711 is optimized for low-side current sensing applications, although the terminals of the conductive path are electrically isolated from the sensor IC leads, providing sufficient internal creepage and clearance dimensions for a low AC or DC working voltage applications. The thickness

Continued on the next page...

Typical Application



Application 1. The ACS711 outputs an analog signal, V_{IOOUT} , that varies linearly with the bi-directional AC or DC primary current, I_P , within the range specified. The FAULT pin trips when I_P reaches ±100% of its full-scale current.

Anexo [F]

19-4323; Rev 11; 2/03

MAXIM

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

MAX220MAX249

General Description

The MAX220MAX249 family of line drivers/receivers is intended for all EIA/TIA-232E and V.28/V.24 communications interfaces, particularly applications where $\pm 12V$ is not available.

These parts are especially useful in battery-powered systems, since their low-power shutdown mode reduces power dissipation to less than $5\mu W$. The MAX225, MAX233, MAX235, and MAX245/MAX246/MAX247 use no external components and are recommended for applications where printed circuit board space is critical.

Applications

Portable Computers
 Low-Power Modems
 Interface Translation
 Battery-Powered RS-232 Systems
 Multidrop RS-232 Networks

Features

Superior to Bipolar

- ◆ Operate from Single +5V Power Supply (+5V and +12V MAX231/MAX239)
- ◆ Low-Power Receive Mode in Shutdown (MAX223/MAX242)
- ◆ Meet All EIA/TIA-232E and V.28 Specifications
- ◆ Multiple Drivers and Receivers
- ◆ 3-State Driver and Receiver Outputs
- ◆ Open-Line Detection (MAX243)

Ordering Information

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE
MAX220CPE	0C to +70C	16 Plastic DIP
MAX220CSE	0C to +70C	16 Narrow SO
MAX220CWE	0C to +70C	16 Wide SO
MAX220C/D	0C to +70C	Dice*
MAX220EPE	-40C to +85C	16 Plastic DIP
MAX220ESE	-40C to +85C	16 Narrow SO
MAX220EWE	-40C to +85C	16 Wide SO
MAX220EJE	-40C to +85C	16 CERDIP
MAX220MJE	-55C to +125C	16 CERDIP

Ordering Information continued at end of data sheet.

*Contact factory for dice specifications.

Selection Table

Part Number	Power Supply (V)	No. of RS-232 Drivers/Rx	No. of Ext. Caps	Nominal Cap. Value (μF)	SHDN & Three-State	Rx Active in SHDN	Data Rate (kbps)	Features
MAX220	+5	2/2	4	0.1	No		120	Ultra-low-power, industry-standard pinout
MAX222	+5	2/2	4	0.1	Yes		200	Low-power shutdown
MAX223 (MAX213)	+5	4/5	4	1.0 (0.1)	Yes	✓	120	MAX241 and receivers active in shutdown
MAX225	+5	5/5	0		Yes	✓	120	Available in SO
MAX230 (MAX200)	+5	5/0	4	1.0 (0.1)	Yes		120	5 drivers with shutdown
MAX231 (MAX201)	+5 and +7.5 to +13.2	2/2	2	1.0 (0.1)	No		120	Standard +5/+12V or battery supplies; same functions as MAX232
MAX232 (MAX202)	+5	2/2	4	1.0 (0.1)	No		120 (64)	Industry standard
MAX232A	+5	2/2	4	0.1	No		200	Higher slew rate, small caps
MAX233 (MAX203)	+5	2/2	0		No		120	No external caps
MAX233A	+5	2/2	0		No		200	No external caps, high slew rate
MAX234 (MAX204)	+5	4/0	4	1.0 (0.1)	No		120	Replaces 1488
MAX235 (MAX205)	+5	5/5	0		Yes		120	No external caps
MAX236 (MAX206)	+5	4/3	4	1.0 (0.1)	Yes		120	Shutdown, three state
MAX237 (MAX207)	+5	5/3	4	1.0 (0.1)	No		120	Complements IBM PC serial port
MAX238 (MAX208)	+5	4/4	4	1.0 (0.1)	No		120	Replaces 1488 and 1489
MAX239 (MAX209)	+5 and +7.5 to +13.2	3/5	2	1.0 (0.1)	No		120	Standard +5/+12V or battery supplies; single-package solution for IBM PC serial port
MAX240	+5	5/5	4	1.0	Yes		120	DIP or flatpack package
MAX241 (MAX211)	+5	4/5	4	1.0 (0.1)	Yes		120	Complete IBM PC serial port
MAX242	+5	2/2	4	0.1	Yes	✓	200	Separate shutdown and enable
MAX243	+5	2/2	4	0.1	No		200	Open-line detection simplifies cabling
MAX244	+5	8/10	4	1.0	No		120	High slew rate
MAX245	+5	8/10	0		Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, two shutdown modes
MAX246	+5	8/10	0		Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, three shutdown modes
MAX247	+5	8/9	0		Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, nine operating modes
MAX248	+5	8/8	4	1.0	Yes	✓	120	High slew rate, selective half-chip enables
MAX249	+5	6/10	4	1.0	Yes	✓	120	Available in quad flatpack package

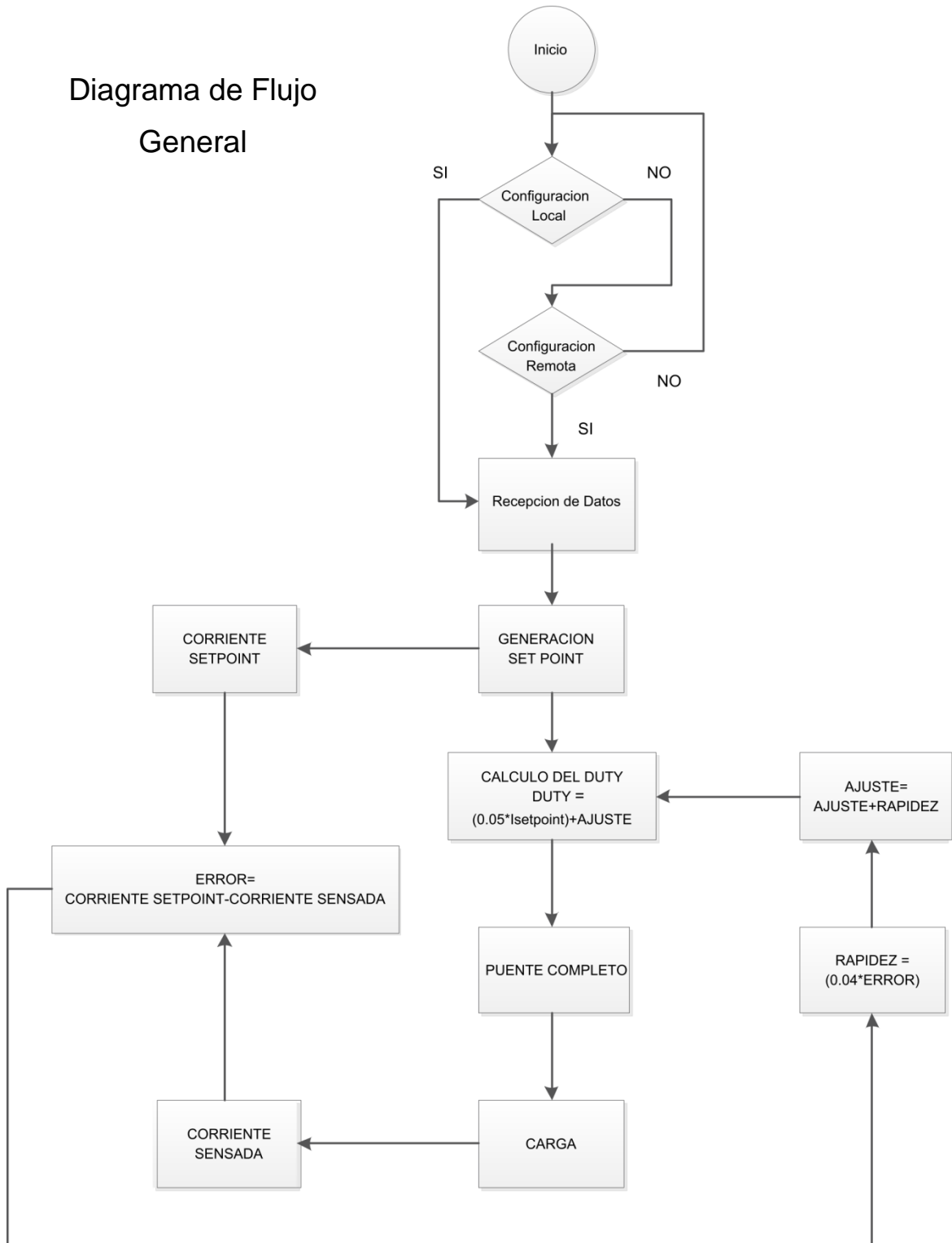
MAXIM

Maxim Integrated Products 1

For pricing, delivery, and ordering information, please contact Maxim/Dallas Direct! at 1-888-629-4642, or visit Maxims website at www.maxim-ic.com.

Anexo [G]

Diagrama de Flujo General



Anexo [H]



CONSTANCIA DE ENTREGA DE FUENTE DE CORRIENTE PROGRAMABLE DISEÑADA Y CONSTRUIDA EN EL TRABAJO DE GRADO TITULADO "DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN TROCEADOR REDUCTOR OPERANDO COMO FUENTE DE CORRIENTE"

Por medio de la presente me permito dar constancia del recibo de la Fuente de corriente programable FC-PRO, la cual fue diseñada y construida en el Trabajo de grado titulado "Diseño y construcción de un troceador reductor operando como fuente de corriente" realizado por los estudiantes:

Fabián Martínez Osorio cod: 2031760
Edward Ignacio Meza Santos cod: 2041896
Alexander Plata Uscategui cod: 2031787

Bajo la Dirección del Profesor Jaime Guillermo Barrero Pérez de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, electrónica y de Telecomunicaciones E3T.

Este prototipo forma parte de los equipos necesarios para la implementación de los resultados del proyecto de investigación "Evaluación de la factibilidad para implementar la técnica de endurecimiento superficial por nitruración en instrumental quirúrgico fabricado por la Empresa Quirúrgicos Especializados S.A.", Código 5442, financiado por la VIE.

He revisado con los estudiantes autores del proyecto de grado el funcionamiento del prototipo y su aplicación en el proceso de anodizado, por lo tanto recibo la fuente a satisfacción.

La presente constancia se expide a solicitud de los estudiantes autores del proyecto de grado a los 5 días del mes de febrero de 2013.

CUSTODIO VASQUEZ QUINTERO
Profesor Titular
Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales
Director del Proyecto 5442

Anexo [I]

MANUAL DE USUARIO FC-PRO

MANUAL DE USUARIO
FUENTE DE CORRIENTE PROGRAMABLE
FC-PRO



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO - MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2013

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA
AUTORES: E.I MEZA F. MARTINEZ. A. PLATA U.
2013

MANUAL DE USUARIO DEL SISTEMA FC-PRO

Este anexo describe de forma sencilla el modo de operación y uso de la Fuente de Corriente Programable (*FC-PRO*).

RANGOS DE OPERACIÓN			
Parámetro	Observación	Magnitud	Unidades
Tensión de alimentación		110-115	[V]
Corriente de salida	Sensor ACS711	10	[A]
		-10	[A]
	Sensor ACS712	5	[A]
		-5	[A]
Resolución mínima en la corriente de salida	Sensor ACS711	185	[mV/A]
	Sensor ACS712	500	[mV/A]
Tensión de salida (MAX.)		21	[V]
Periodo señales configuradas	Mínimo	2	[s]
Tiempo de operación del dispositivo	Mínimo	0.5	[min]

Al encender la *FC-PRO*, esta muestra la pantalla de bienvenida que se muestra en la figura (A1). Se recomienda conectar la carga resistiva antes de iniciar el proceso de configuración.



Figura A1. Pantalla de Bienvenida del FC-PRO

Pasados cinco segundos desde la aparición del saludo inicial, se despliega en la pantalla un mensaje en el cual el usuario debe elegir una de las opciones a utilizar para configurar el dispositivo, si se prefiere de manera local con ayuda de los pulsadores, o de manera remota por intermedio de software (pc) como se muestra en la figura (A2). Esta selección se hace por medio del pulsador **Parámetro**, al encontrarse en la opción deseada se oprime el pulsador **OK**.



Figura A2. Menú de Tipo de Configuración

Una vez seleccionada la forma en la que se quiere configurar el dispositivo, el usuario tiene la opción de ejecutar una de las dos opciones disponibles para programar el sistema.

Configuración Local:

Este tipo de configuración se lleva a cabo utilizando los pulsadores presentes en el panel frontal del dispositivo FC-PRO. En esta opción se despliega en la pantalla LCD, un mensaje que da a escoger entre los cuatro diferentes tipos de onda de corriente que se pueden crear con el dispositivo. Con el pulsador **Parámetro** se puede navegar en el menú hasta seleccionar una de las cuatro señales y finalmente oprimir **OK**. Figura (A3).



Figura A3. Menú para selección de tipo de onda

Dependiendo del tipo de onda elegido, se tendrán diferentes parámetros a configurar, entre ellos, pico máximo en ampers, pico mínimo en ampers, periodo en segundos, y tiempo total del proceso en minutos. En la tabla (A1) se describe de manera sencilla los parámetros presentes en cada forma de onda, los cuales deben ser configurados por el usuario.

Tabla (A1) Parámetros a configurar para diferentes formas de onda.

Forma de Onda	Pico Max	Pico Min	Periodo	Tiempo del Proceso
Triangular	SI	SI	SI	SI
Diente de sierra	SI	SI	SI	SI
Rampa	SI	SI	NO	SI
Continua	SI	NO	NO	SI

Se va a programar una forma de onda triangular, luego se coloca el cursor del menú sobre el tipo de onda TRIANGULAR con el pulsador **Parámetro**, y se oprime **OK**, Si se desea, se puede volver al menú anterior con el pulsador **Atras**.

Hecha ésta selección y guiados por la tabla (A1), el usuario observa que debe configurar cuatro parámetros para este tipo de onda, a los cuales puede tener acceso mediante el pulsador **Parámetro**. Cada vez que se oprima dicho pulsador, el usuario cambia el parámetro a configurar y puede modificar su valor original por medio de los pulsadores **Aumentar** o **Disminuir**, tal como se muestra en la figura (A4).

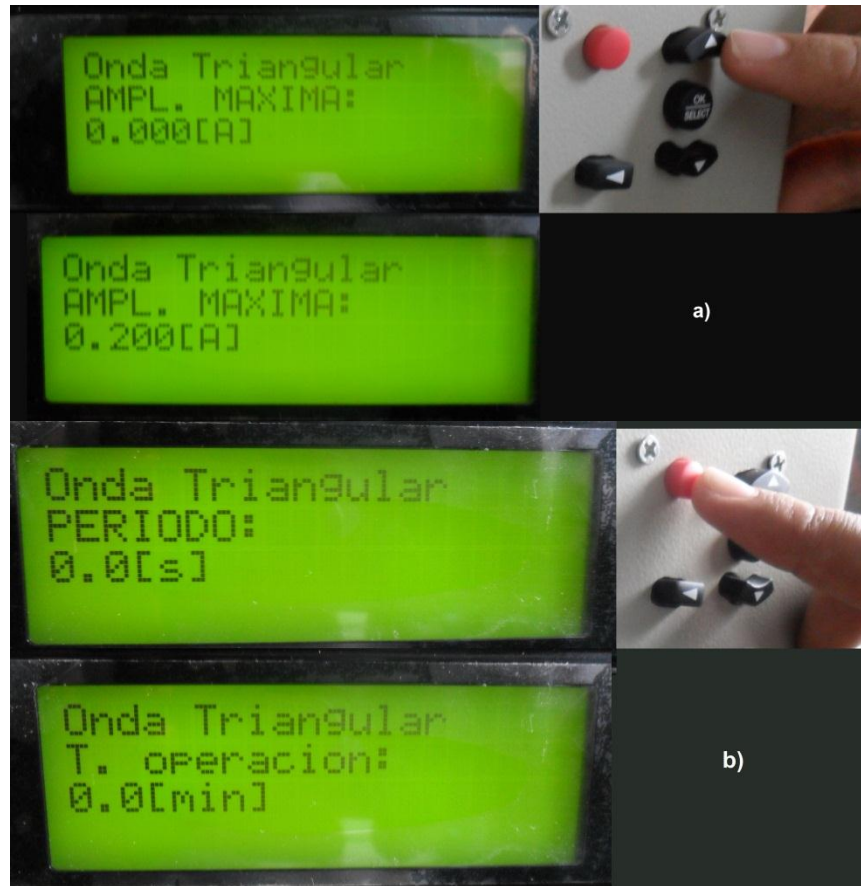


Figura A4. a) Variación del valor de cada parámetro.
b) Selección de parámetro a configurar.

Cuando el usuario se haya desplazado a lo largo de los cuatro parámetros (pulsador **Parámetro**) y haya modificado el valor de cada uno de ellos (pulsadores **Aumentar** y **Disminuir**) se debe oprimir **OK**, para iniciar el proceso de generación de corriente. Si se desea cambiar el tipo de onda o volver a un menú anterior, se debe oprimir **Atras**.

Al terminar de configurar los cuatro parámetros de manera local, la pantalla lcd debe mostrar un mensaje con el resumen de los valores elegidos para cada parámetro de la forma de onda, tal como se muestra en la figura (A5).



Figura A5. Resumen de valores configurados

Configuración Remota:

Si al seleccionar el tipo de configuración (figura A2) el usuario selecciona configuración remota, automáticamente se deshabilitan los pulsadores del panel frontal y se trabaja directa y únicamente desde un computador mediante el archivo ejecutable FC-PRO.exe.

Para un buen funcionamiento de la interfaz se recomienda, conectar el cable USB del dispositivo hasta el pc con la FC-PRO apagada, después abrir el archivo ejecutable, asegurarse que la pestaña "RUN", esté desactivada, y buscar el puerto en el que se encuentra establecida la conexión, por ultimo encender la fuente de corriente.

El usuario al seleccionar la opción remota, visualizará en la pantalla un mensaje que le indica la recepción de datos por medio del pc, como se indica en la figura (A6). Realizados todos los anteriores pasos se garantiza un correcto funcionamiento de la interfaz.



Figura A6. Mensaje de activación de la interfaz remota.

En este momento el usuario se puede olvidar de momento por la pantalla frontal del dispositivo y sus respectivos pulsadores, porque a partir de ahora la configuración se hace desde el archivo ejecutable. Figura (A7).

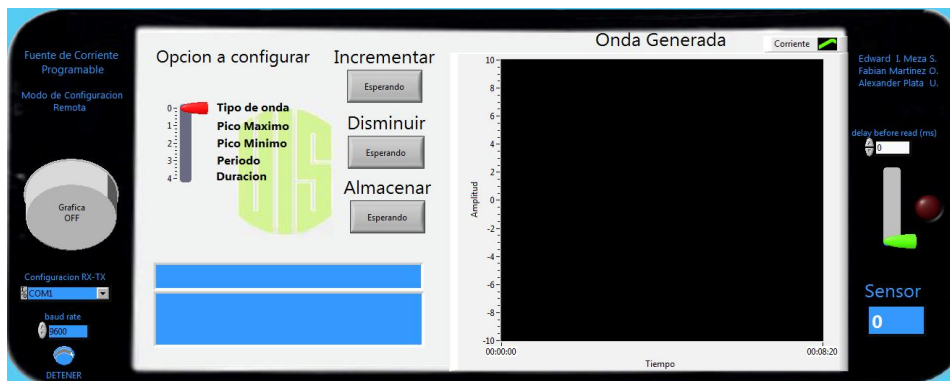


Figura A7. Interfaz remota FC-PRO.exe

Antes de encender la fuente de corriente se aclaró que debe haberse conectado el cable y verificar su puerto de conexión.

Si el usuario no sabe en que puerto queda conectado el cable, puede dirigirse a *Panel de control\Sistema y seguridad\Sistema\ Administrador de dispositivos*. Una

vez allí puede observar el número del COM cuyo nombre de conexión sea “*Prolific USB-to-Serial Comm Port*”, como se indica en la figura (A8).

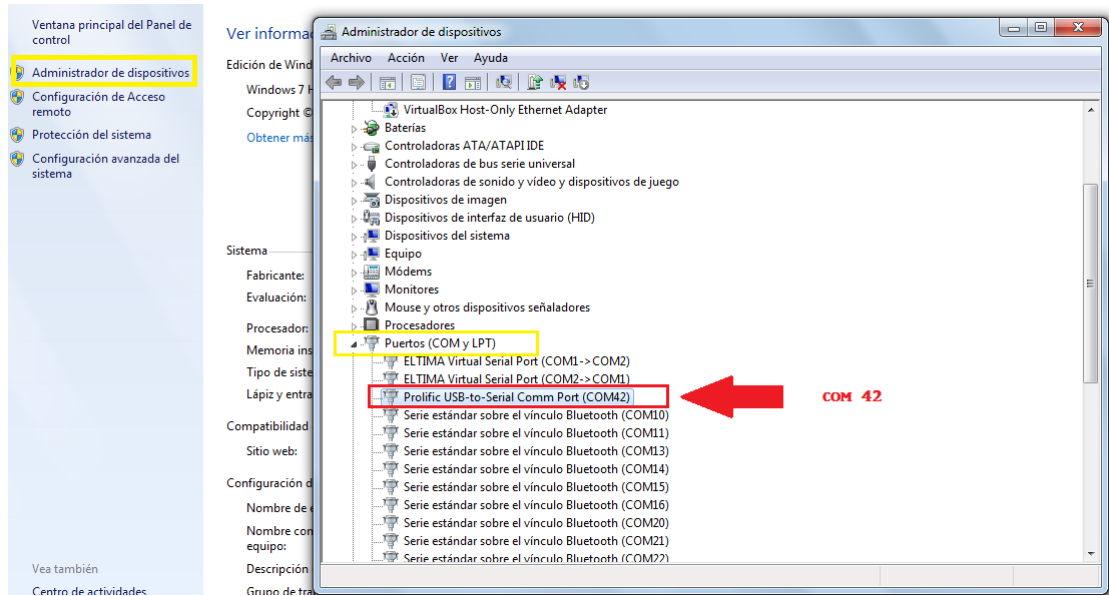



Figura A8. Búsqueda del puerto de conexión.

Teniendo en cuenta este puerto, el usuario se debe dirigir hacia el archivo previamente guardado para inicializar el ejecutable, para ello se da click sobre el icono FC-PRO , y una vez arranque la interfaz se oprime “Abort execution”, se busca el COM o puerto en el que se encuentra conectado el cable de datos que va desde el dispositivo hasta el PC, tal como se indica en la figura (A9).

Identificado el puerto de comunicación se le da “*Run*” al programa y se enciende la fuente FC-PRO que se configura para interfaz remota.

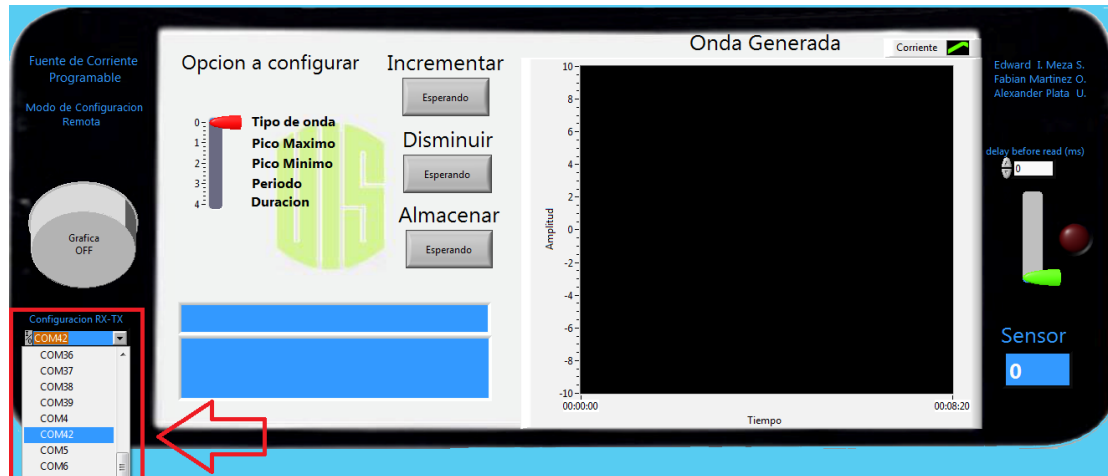


Figura A9. Interfaz remota, Ubicación del puerto de comunicación.

En la interfaz remota se tiene una perilla selectora para escoger el parametro a configurar, estos parametros se configuran con los pulsadores **Incrementar** y **Disminuir** y deben ser enviados en orden con el pulsador **Almacenar**.

Si se observa la tabla (A1), se observa que algunas formas de onda no necesitan de todos los parametros para ser configuradas, pero, en esta interfaz, sea cual sea el tipo de onda, es de vital importancia enviar datos para todos los parametros y en completo orden. Es decir, si se quiere crear una forma de onda continua se deben enviar datos para pico máximo, pico mínimo, periodo (siempre mayor a cero) y tiempo de duración (siempre mayor a cero), aunque como se explica en la tabla (1), solo seria necesario el pico máximo y el tiempo de duracion del proceso.

Ejemplo:

Se quiere configurar una onda diente de sierra de amplitud máxima 5 [A] y amplitud mínima 0 [A], con periodo de 6 segundos y un tiempo total del proceso de 3 minutos, con la interfaz remota.

- 1- Establecida la conexión y la ubicación del puerto explicados en las figuras (A8) y (A9), se enciende la FC-PRO y se configura la interfaz remota hasta que en la pantalla se vea un mensaje de “Recibiendo desde PC”.
- 2- Se ubica la perilla selectora en “Tipo de onda” y con el pulsador “Incrementar” se busca la forma de onda “Diente de sierra”, tal como se indica en la figura (A10), una vez encontrada se oprime el pulsador almacenar una sola vez.



Figura A10. Selección de forma de onda.

- 3- Se ubica la perilla selectora en “Pico Máximo” y con el pulsador “Incrementar” o “Disminuir” se busca el valor requerido por el usuario, en este caso 5 [A], tal como se indica en la figura (A11), una vez se tenga el valor deseado se oprime el pulsador almacenar una sola vez.



Figura A11. Selección de Pico Máximo.

- 4- Se ubica la perilla selectora en “Pico Mínimo” y con el pulsador “Incrementar” o “disminuir” se busca el valor deseado, en este caso cero, tal como se indica en la figura (A12), una vez se tenga el valor deseado se oprime el pulsador almacenar una sola vez.



Figura A12. Selección de Pico Mínimo.

- 5- Se ubica la perilla selectora en “Periodo” y con el pulsador “Incrementar” o “disminuir” se busca el valor deseado, en este caso seis, tal como se indica en la figura (A13), una vez se tenga el valor deseado se oprime el pulsador almacenar una sola vez.



Figura A13. Selección de Periodo.

- 6- Se ubica la perilla selectora en “Duracion” y con el pulsador “Incrementar” o “disminuir” se busca el valor deseado para el tiempo total del proceso, en este caso tres, tal como se indica en la figura (A14), una vez se tenga el valor deseado se oprime el pulsador almacenar una sola vez.



Figura A14. Selección de Tiempo total del proceso.

- 7- Una vez almacenados o enviados los cinco datos: forma de onda, máximo, mínimo, periodo y duración, automáticamente se termina la configuración remota y la pantalla LCD del panel frontal muestra nuevamente la pantalla resumen con los parámetros configurados desde el pc, tal como se muestra en la figura (A15).

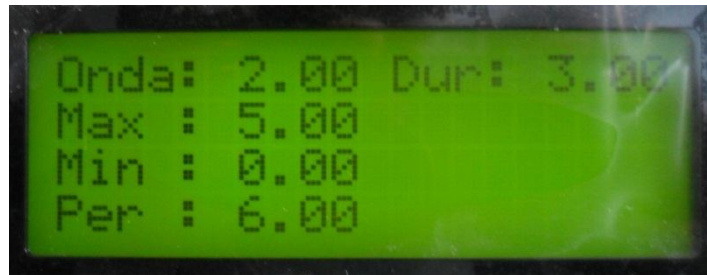


Figura A15. Pantalla resumen de la interfaz remota.

GRAFICA Y VISUALIZACION DE LA CORRIENTE SENSADA:

El archivo FC-PRO.exe, además de poseer la interfaz de configuración local, tiene como finalidad mostrar la corriente sensada en forma numérica y gráfica, después de cualquiera de las dos configuraciones de las formas de onda, el dispositivo inyecta la corriente a la carga.

En caso que se quiera visualizar dicha forma de onda en la interfaz, una vez conectada y configurado su puerto, simplemente basta con activar en ésta el pulsador “GRAFICA ON” e inmediatamente se observa gráficamente el valor sensado por el dispositivo, tal como se indica en la figura (A16).

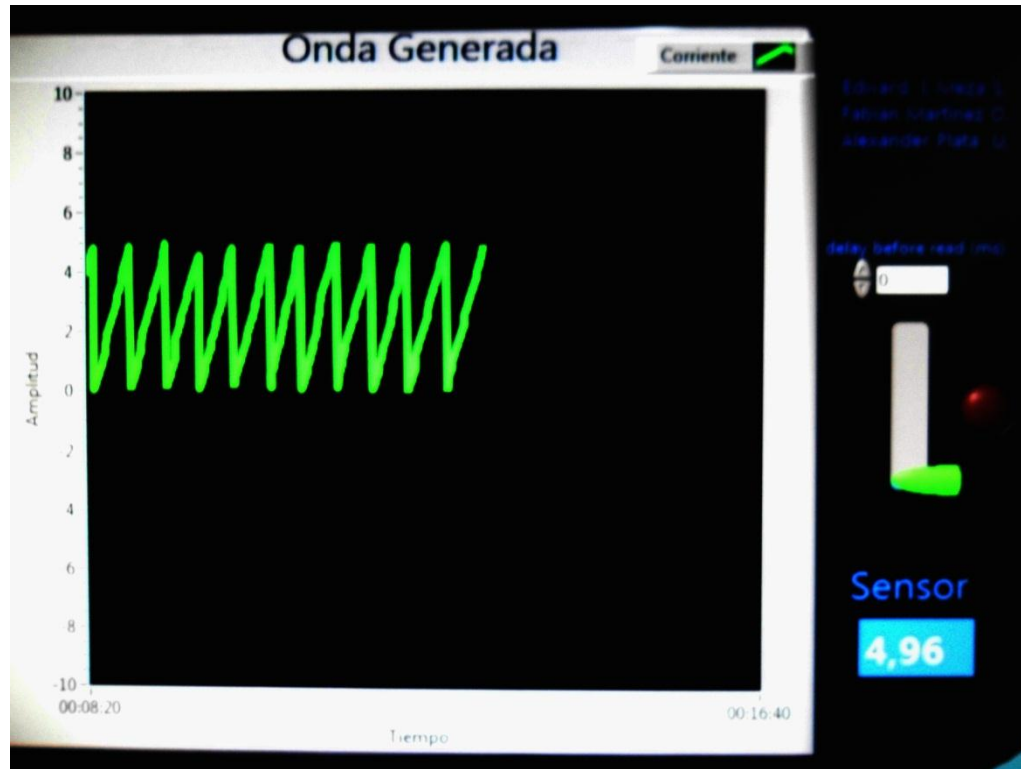


Figura A16. Visualización de una forma de onda en la interfaz.

Una vez terminado el proceso aparecerá un mensaje que invita a iniciar nuevamente la configuración de una nueva onda, si se desea siempre desde la configuración local.

Cambio de Sensor:

El sistema FC-PRO, incluye un sensor de corriente ACS711, que se caracteriza por tener un salto de $0.2(V/A)$, lo cual es muy efectivo para mediciones de corrientes de hasta 12.5 (A); en caso que el usuario desee manipular corrientes mas

pequeñas del orden de los miliampers, se recomienda cambiar este sensor por un ACS712 con capacidad de medida de hasta 5(A), con lo que se mejora el rango de adquisición de datos, puesto que la nueva variación por ampere será de aproximadamente 0.5 (V).

En la figura (A17) se observa la ubicación del sensor de 5 (A) o del sensor de 12 (A), cabe recalcar que no van en el mismo sitio.

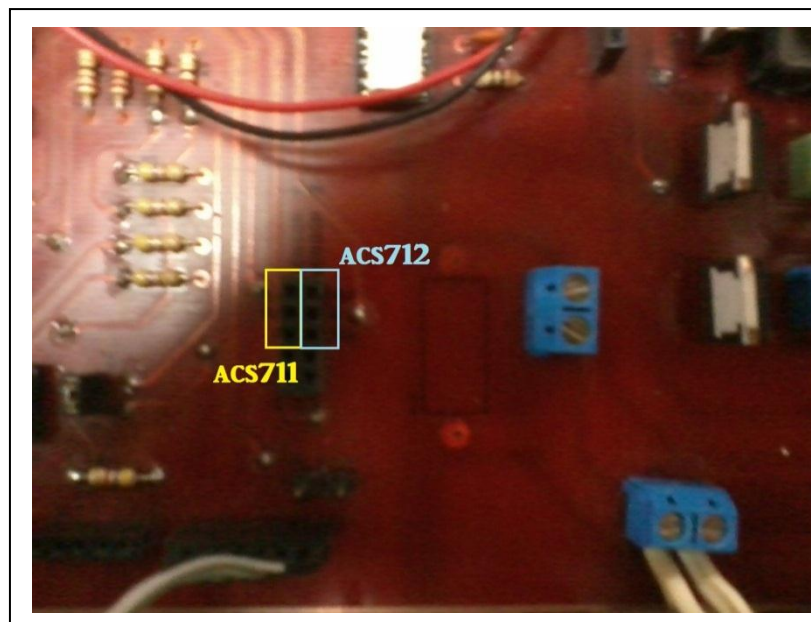


Figura A17. Ubicación de los diferentes sensores de corriente.

Una vez cambiado el sensor se debe reprogramar el pic 18F2550 presente en la fuente con el fin de obtener una mejor resolución para el manejo de pequeñas corrientes.