

# Circuito electrónico para máquina de soldar tipo inversor usando semiconductores mosfet's para trabajos en zonas alto andinas

INVERTER TYPE WELDING EQUIPMENT ELECTRONIC CIRCUIT USING MOSFET SEMI-CONDUCTORS FOR WORK APPLICATIONS IN PERUVIAN HIGH ALTITUDE LANDS

Luis Cáceres<sup>\*</sup>, Julio Uza<sup>\*\*</sup>, Oscar Granda<sup>\*</sup>, Alden Sifuentes<sup>\*</sup>, Luis Berrospi<sup>\*\*\*</sup>, Gonzalo Tuesta<sup>\*</sup>

RECIBIDO: 08/07/2014 – APROBADO: 28/11/2014

## RESUMEN

En las zonas alto andinas del Perú una de las dificultades que presentan las máquinas de soldar por arco eléctrico del tipo inversor es que trabajen eficientemente en alturas por encima de los 1000 msnm.

La mayoría de los equipos que existen en nuestro medio son del tipo transformador de bajo ciclo de trabajo; existen otras máquinas de soldar de tipo inversor que presentan dificultad durante el soldeo debido a la poca fuerza del arco, siendo necesario incrementar los amperajes de trabajo. El presente artículo plantea una solución mediante el uso de semiconductores de tecnología MOSFET con rápida respuesta de conmutación y alta eficiencia.

**Palabras clave:** Soldadura, Semiconductores, Transformador.

## ABSTRACT

One of the drawbacks of the inverter arc type welding machines working at high altitude lands of Peru, is that they do not work efficiently at altitudes above 1000 meters over sea level (mosl).

Most welding equipment existing in the national market is transformer type low duty cycle. There are other welding machines, inverter type, which show difficulties due to weakness of the welding arc. In these cases the working amperage needs to be increased. This study proposes a solution using MOSFET semiconductor technology with fast switching response and high efficiency.

**Keywords:** Welding equipment, semiconductor, inverter arc, transformer, MOSFET.

\* Nexsol SRL, Los Brillantes 343, La Victoria, Lima, Perú.

\*\* Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica, Universidad Nacional de Ingeniería, Av. Túpac Amaru 210, Lima, Perú.

\*\*\* Facultad de Ingeniería Electrónica, Universidad Nacional de Ingeniería, Av. Túpac Amaru 210, Lima, Perú.

## I. INTRODUCCIÓN

La industria de la soldadura por arco eléctrico comenzó a cobrar importancia en las primeras décadas del siglo XX. En 1911, el sueco Oscar Kjellberg produjo el primer electrodo con recubrimiento, al mismo tiempo, la compañía Lincoln Electric presentó la primera máquina de soldar con voltaje variable y salida de corriente continua. Es por ello que la industria de la soldadura ha evolucionado con nuevas técnicas y procesos.

Durante la primera guerra mundial la industria de la soldadura demostró su eficiencia durante las construcciones navales. En 1920, la mayoría de máquinas de soldar por arco eléctrico fueron fabricadas con motores generadores trifásicos, de gran tamaño, de elevados costos y con salida de corriente continua, provocando un problema para herreros de las zonas rurales ya que las fuentes de alimentación trifásicas solo estaban disponibles en las grandes ciudades.

En la década de los años 50, los ingenieros de la compañía Miller reconocen que la soldadura por corriente continua produce un arco más suave en comparación con la soldadura por corriente alterna, desde entonces las nuevas máquinas de soldar con rectificadores de selenio aparecen en el medio para convertir la corriente alterna en corriente continua. La industria de la electrónica se ha ido integrando en la fabricación de máquinas de soldar con la finalidad de que sean eficientes, compactas y de bajo costo, siendo reglamentada por la norma IEC60974.

Esta norma responde a las necesidades para trabajos hasta 1000 msnm, dicha norma no contempla ninguna evaluación para trabajos a 2000, 3000 y 4000 msnm.

En zonas alto andinas muchos equipos empiezan a perder fuerza cuando sueldan electrodos celulósicos o de hierro en polvo, respuesta que no encontramos en American Arc Welding Equipment ANSI/IEC60974. (Williams ,2006)

## II. BASES CONCEPTUALES

Es por ello que tuvimos que analizar con cuidado la evolución de estos tipos de semiconductores y adecuarlos a estas nuevas necesidades pasando por los BJT (Bipolar Junction Transistor), los MOSFET (Metal-oxide-semiconductor Field-effect transistor) y luego los IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor). Ver Figura N.º 1.

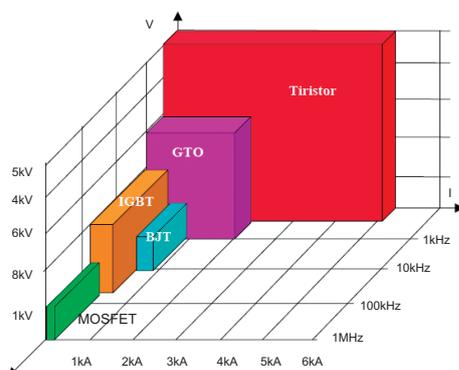


Figura N.º 1. Características de los IGBT, MOSFET, BJT y otros.

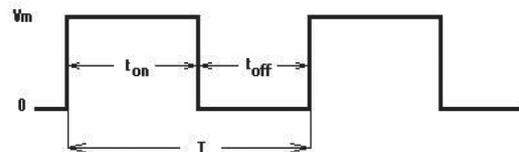
Para las necesidades de nuestra investigación encontramos que los semiconductores de tecnología IGBT son dispositivos no ideales en algunas de sus aplicaciones y una de sus desventajas es que tiene relativamente una baja velocidad de respuesta de frecuencia ( $> 20\text{kHz}$ ) y no siempre cuentan con el diodo de protección tipo Dampner que tienen los MOSFET's

Otra desventaja de los IGBT's es el coeficiente de temperatura negativo que poseen, siendo complicado controlar el incremento de la temperatura. Hay que reconocer la capacidad de un IGBT para trabajar con varios miles de voltios y corrientes elevadas que permiten trabajar con cientos de KiloWatts de potencia controlada. (Muhammd, 2014)

### 2.1 Ancho del pulso PWM

La modulación por ancho de pulsos es una técnica que consiste en la modificación del ciclo de trabajo de una señal periódica para transmitir información a través de un canal de comunicaciones o para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga.

El ciclo de trabajo (D) de una señal periódica es la relación entre el ancho relativo de su parte positiva entre el período. Expresado matemáticamente:



D : ciclo de trabajo: Tiempo en que la función es positiva (ancho del pulso).

T : período de la función

Para el control PWM de nuestra aplicación, utilizaremos el circuito integrado KA3525A con salida dual de señal de pulso de onda cuadrada. La configuración electrónica de la etapa de control PWM determina la frecuencia de la función, y por ende, el periodo de la función. Esta etapa se muestra en la Figura N.º 2.

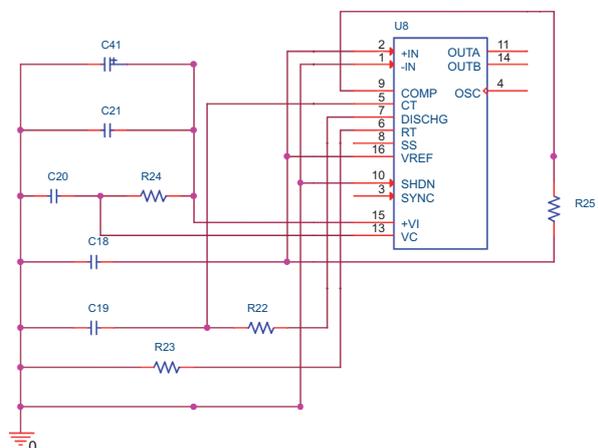


Figura N.º 2. Circuito electrónico de la etapa de control PWM

En donde la frecuencia de la función está dada por:

Para nuestra aplicación, la frecuencia está en el rango de los 100KHz, como se muestra en la Figura N.º 3.

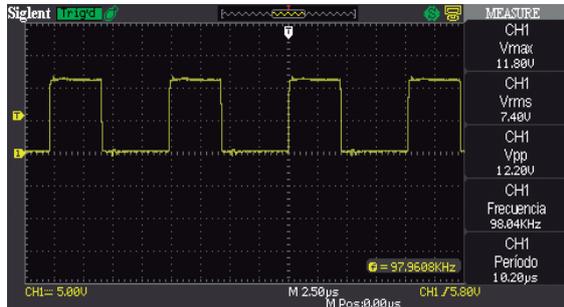


Figura N.º3. Salida de señal de pulso de onda cuadrada del integrado KA3525A

El circuito de realimentación alimenta a un regulador de corriente (IC CA3140) con las señales de configuración actual de la corriente con la señal de realimentación para la comparación entre los mismos y así proporcionar una diferencia de voltaje, el cual va a controlar el circuito de regulación PWM y generar una señal de pulso con un ancho de banda de frecuencia máxima de 100 KHz. Ver Figura N.º 4.

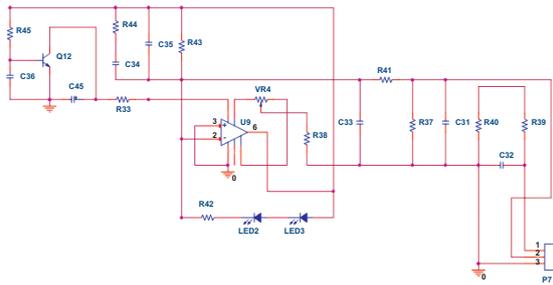


Figura N.º 4. Circuito de realimentación para el control PWM

La señal de salida de la etapa de control se muestra en la Figura N.º 5 el cual conduce y controla la etapa de potencia de la máquina. Esta señal es una señal de pulso de onda cuadrada con tensión 25 Voltios pico. (International Rectifier)

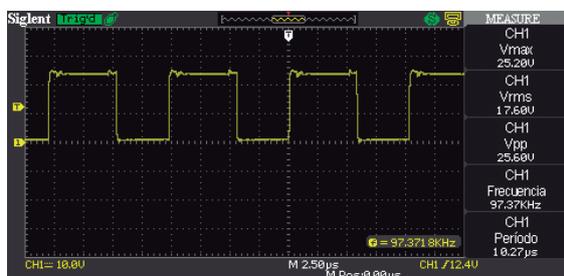


Figura N.º 5. Señal de salida de la etapa de control para la etapa de potencia de la maquina

El diseño de la tarjeta electrónica de la etapa de control para la distribución de componentes se muestra en la Figura N.º 6.

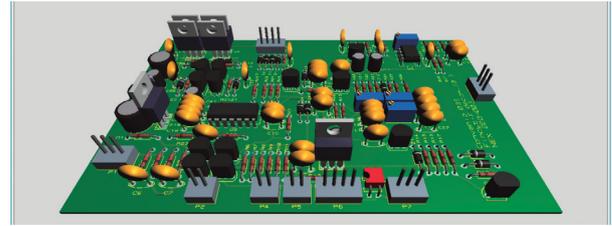


Figura N.º 6. Simulación Driver etapa electrónica de control

### III. MATERIALES Y MÉTODO

Para la realización de este estudio fue necesario tener en cuenta los requisitos de la requerimientos de la norma ANSI/IEC60974. Para efectos de nuestra investigación los impresos deberán tener un espesor de la capa de cobre no debe ser menor a 1.0 oz.

Se realizaron pruebas de soldeo, siendo primero elaborar un procediendo de soldadura PQR usando electrodo E6011, de acuerdo con la Norma AWS D1.1. Se definió para efectos de la presente investigación usar planchas de acero de calidad ASTM A-36 y electrodos aprobados por Germanischer lloyd.

Para estandarizar la habilidad del soldador que puede ser un factor muy sensible, usaremos un equipo de monitoreo de soldeo MINI ARC LOGGER II de TVS Meter y termómetro laser para el control de la temperatura de los Driver PCB, estos dos últimos equipos permitirá obtener un registro durante el soldeo en tiempo real con un intervalo de cada 1 segundo, registrando lo siguiente: voltaje, amperaje, tiempo, potencia entre cada intervalo de soldeo, temperatura de interface, Joule, longitud de avance en cm/min, voltaje de vacío y un GPS.

Así mismo las probetas de los test de soldadura efectuada en las ciudades tales como: Lima, Iquitos, Oroya, Arequipa, Puno y Juliaca deberán preparadas de acuerdo AWS, debiendo ensayar ensayos mecánicos de tracción, dureza, dobles, rayos X y metalografía de la zona soldada, estas probetas deberán cumplir con los requerimientos de la norma ASTM A370, AWS/ASME SFA 5.1/ 5.1M. (Acuña, 2010), (Cardoso, 2001), (NTP, 370.021)

### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De los test de soldabilidad en la Figura N.º 7 observamos el comportamiento de la máquina de soldar a diferentes amperajes:

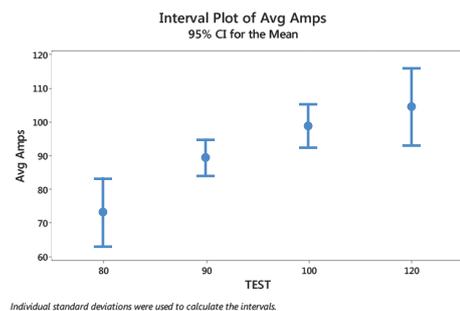


Figura N.º 7. Comportamiento del equipo prototipo en los diferentes amperajes

Una de las condiciones para su validación se estableció un procedimiento de soldeo con electrodo E6011 de diámetro 3.2 mm, en la cual fue empleado en diferentes ciudades del Perú (Lima, Iquitos, Oroya, Arequipa y Puno) la máquina de soldar prototipo se comportó satisfactoriamente. Si utilizáramos un valor de amperaje frecuente de 100 Amp, el rango de amperaje de la maquina prototipo logra tener una variación de 96 a 100.3 Amperios, ver análisis en la Figura N.º 8, 9 y 10.

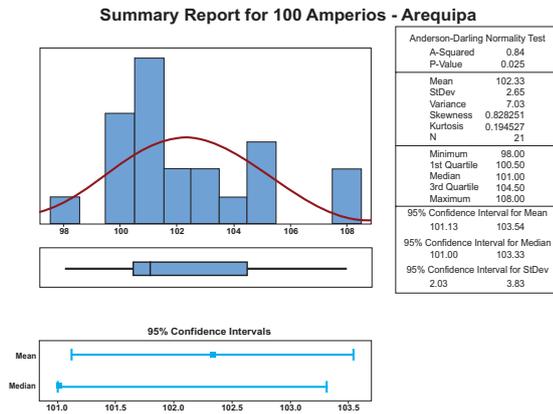


Figura N.º 8. Capacidad de trabajo a 100 amp

One-Sample T: Avg Amps\_100 Amp Display,  
 $100 \pm 10\%$  (90-110 Amp).

Variable N Mean StDev SE Mean 95% CI

Avg Amps\_4 10 98.200 3.011 0.952 (96.046, 100.354)

Esta estabilidad ciertamente pudo corroborarse efectuando los diferentes test con la máquina de soldar con alturas mayores de 2000 msnm, la estabilidad del equipo se mantiene por debajo del 10 % establecido en la norma IEC60974.

De los ensayos mecánicos realizados a las diferentes probetas soldadas en las diferentes ciudades del Perú, como Iquitos, Oroya, Arequipa y Puno se observa en la Tabla N.º 1 y las Figuras N.º 11, 12 y 13.

Tabla N.º 1. Ensayo mecánico, test a diferentes alturas

Test (Ciudad)	CARGA MAXIMA (Kg)	ESFUERZO MAXIMO Mpa	OBSERVACIONES
Oroya	1520	322,64	Rotura material base
Arequipa	1420	331.55	Rotura material base
Iquitos	1480	345.56	Rotura material base
Puno	1760	410.94	Rotura material base

Otro indicador indirecto es la zona afectada por el calor (ZAC), todas las probetas analizadas se observa que tienen aproximadamente las mismas longitud, se corrobora con la medida de dureza transversal al cordón de soldadura, ver Figura N.º 14.

**V. CONCLUSIONES**

1. El costo ha sido un factor importante frente a los IGBT.
2. El uso de los MOSFET's en la máquina de soldar efectuado en la presente investigación demostró su fácil adaptación debido a los trabajos con frecuencias menores de 20 KHz.
3. El nuevo diseño de los driver permitió compensar los trabajos en las zonas alto andinas con uso de los IRFZ24 y los IRF9Z24.
4. El uso de la tecnología Mosfet ha permitido que la respuesta en conmutación sea más rápida que en un tiristor y relé tradicionales produciendo mejoras en la estabilidad del arco compensado con una realimentación de corriente PWM.
4. Una limitante para nuestro prototipo es el trabajo con voltajes menores de 180 voltios obtenidos en los grupos electrógenos.
5. Esta máquina de soldar prototipo, del presente trabajo de investigación, cumple con las especificaciones de la American Welding Society, en cuanto a los valores requeridos en la aplicación de la soldadura. Esto es especificaciones químicas, especificaciones mecánicas, y especificaciones eléctricas.
6. Esta máquina prototipo cumple con las especificaciones técnicas de fabricación de la estructura metálica, según norma técnica Peruana NTP 370.021 y NTP 370.022

**VI. REFERENCIAS BIBLOGRÁFICAS**

1. B.Williams (2006). Power Electronics: Devices Drivers, Applications, and Passive Components, University of Strathclyde, Glasgow - UK.
2. International Rectifier (Technical Library). www.irf.com.
3. Muhammd H. Rashid, 2004. Electrónica de Potencia, capítulo 4. "Mosft de Potencia", Tercera Edición, México. Pg. 138 -142.
4. Cardoso B.J. y T.A. 2001. Lipo "Application of MTO thyristors in current stiff converters with resonant snubbers" IEEE Transactions on Industry Application Vol 37, N.º 2, Marzo /Abril del. Pg. 566-573.
5. M. J. Yura Acuña F. E, 2010. "Análisis estadístico de datos usando Minitab, Análisis De Datos Categóricos", Tercera Edición, Puerto Rico. Pg. 210 – 221.



Figura N.º 9. Soldeo en la ciudad de la Oroya, test de soldeo en tubería de 2 pulgadas



Figura N.º 10. Temperatura de equipo de soldeo sistema de enfriamiento.

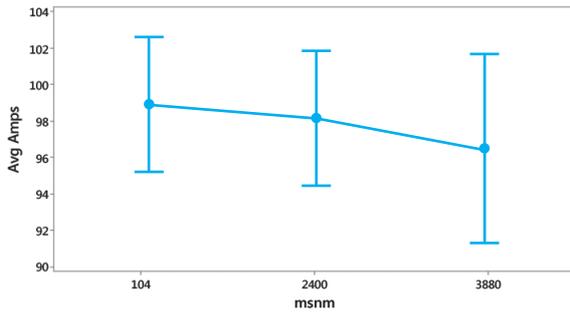


Figura N.º 11. Comparativo de Soldadura a diferentes alturas msnm amperaje nominal de 100 Amperios.



Figura N.º 12. Soldeo en el rio Amazonas a 174 msnm, monitoreo con equipo MINI ARC LOGGER II de TVS Meter.



Figura N.º 13. Soldeo en ciudad Puno a 3886 msnm, monitoreo efectuado con equipo MINI ARC LOGGER II de TVS Meter

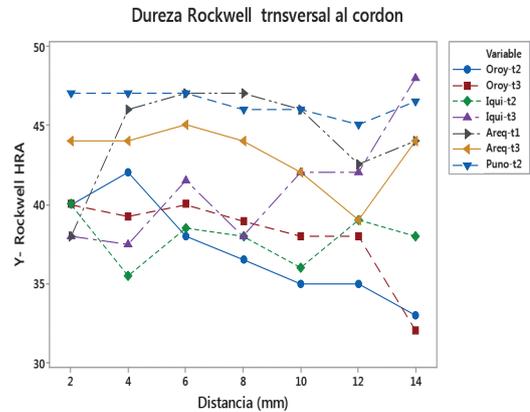


Figura N.º 14. Test de Dureza Rockwell HRA, cordón de soldadura.