

**Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas**

**Facultad de Ingeniería Eléctrica**

**Centro de Estudios de Electrónica y Tecnología de la  
Información**



# Trabajo de Diploma

**Título:** Acondicionador de voltaje y corriente de soldadura.

**Autor:** *Alberto Valle Valdés*

**Tutor:** *MSc. Ing: Héctor Arturo Kairuz Hernández-Díaz*

**Cotutor:** *Drc. Ing: Alejandro García Rodríguez*

*Santa Clara, 2014*

## **PENSAMIENTO**

*En todos los asuntos humanos hay esfuerzos, y hay resultados, y la fortaleza del esfuerzo es la medida del resultado.*

*James Allen*

## DEDICATORIA

*A mis padres por ayudarme a estar donde estoy y a ser la persona que soy en todos los ámbitos.*

*A mi abuela Margarita y a mis hermanas Ailén y Ailín por su apoyo incondicional en todos estos años.*

*A mi novia Annabelle por el amor que me tiene, la compañía y paciencia en todo este tiempo.*

*A mis tías, mis tíos, mis abuelos, mi familia, mis suegros, mis amigos, a los que me quieren y quiero.*

## AGRADECIMIENTOS

*A mis padres por la ayuda prestada para la materialización de mi sueño.*

*A mis hermanas, mis abuelos, mis tíos, mis primos, a toda la familia por su apoyo y confianza.*

*A mi tutor Héctor Arturo y mi cotutor Alejandro por la gran ayuda prestada para la realización de mi trabajo de diploma.*

*Al profesor Carlos Ferrer por su colaboración con el cloruro férrico para la impresión de los circuitos de mi tesis.*

*A todos los profesores que de una manera u otra contribuyeron para la realización de este trabajo y mi formación como profesional.*

*A Ronald porque sin su laptop no hubiera terminado a tiempo.*

*A María Velix por su apoyo incondicional en estos años que estuve en el CEETI.*

*A mis compañeros Karla, Dianet, Eliannis, Yeilis, Dáiner, Carlos, Darién, Yadián, Yonay, Otoniel, Reinier, Yainet, por su amistad y ayuda en todas las cosas que necesité para mi superación en todos estos años.*

*Al viejo Félix por su gran ayuda en la beca.*

*A todas las personas que de una manera u otra colaboraron conmigo en estos cinco años.*

*Y en especial a mi novia por su gran ayuda prestada para la culminación de este trabajo.*

## RESUMEN

La presente investigación se realiza en el Centro de Investigaciones de Soldadura (CIS) de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, abordando el tema de adquisición y procesamiento de las señales de voltaje y corriente. El objetivo general consiste en elaborar un equipo acondicionador de las señales de voltaje y corriente de soldadura del arco eléctrico, para el acople mediante una tarjeta de adquisición de datos a una PC, garantizando una adecuada relación señal a ruido y una mínima distorsión de las señales producidas durante la ejecución del proceso de soldadura en un ambiente industrial real. Para cumplir este objetivo se hace necesaria la utilización de técnicas de revisión bibliográfica, revisión de documentos, simulación de circuitos diseñados, visualización en LabView, postprocesamiento en Matlab y herramientas como el osciloscopio Tectronix DPO300. En el capítulo 1, se realiza una revisión bibliográfica sobre dispositivos simuladores del proceso de soldadura manual con electrodos revestidos. En el capítulo 2, se expone todo el proceso de diseño y selección de los circuitos a implementar en el acondicionador. En el capítulo 3, se hace un análisis de los resultados obtenidos durante las simulaciones de los diseños y de la prueba al montaje y la prueba dinámica al acondicionador. Los principales resultados están dirigidos a lograr una atenuación de los ruidos industriales de modo común a 66db, lo que mejora la obtención de la señal con la mínima distorsión de ruido posible.

## ÍNDICE

|  |    |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN.....  | 1  |
| CAPÍTULO I: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....   | 4  |
| 1.1. Introducción.....   | 4  |
| 1.2. Soldadura manual con electrodo revestido (SMAW) .....                             | 4  |
| 1.3. Adquisición de los parámetros Voltaje y corriente del proceso de Soldadura: ..... | 5  |
| 1.4. Trabajos previos.....   | 7  |
| 1.5. Instrumentación Electrónica. ....   | 11 |
| 1.6. Amplificador usado en instrumentación. ....                                       | 14 |
| 1.7. Tarjeta de Adquisición con USB.....   | 15 |
| 1.8. Conclusiones Parciales .....  | 17 |
| CAPITULO II: MATERIALES Y MÉTODOS.....   | 18 |
| 2.1. Introducción.....   | 18 |
| 2.2. Materiales.....   | 18 |
| 2.2.1. Multisim/Ultiboard .....  | 18 |
| 2.2.2. Circuitos implementados.....  | 19 |
| 2.2.3. LabView .....   | 25 |
| 2.2.4. Postprocesamiento de la señal.....  | 27 |
| 2.3. Métodos. Diseño del experimento .....   | 28 |
| CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....  | 29 |
| 3.1. Introducción.....   | 29 |
| 3.2. Simulación de las señales reales .....  | 29 |
| 3.3. Montaje y comprobación de los circuitos en la BreadBoard.....                     | 32 |
| 3.4. Prueba al montaje.....  | 32 |
| 3.5. Prueba dinámica.....  | 34 |
| 3.6. Metodología propuesta .....   | 37 |
| CONCLUSIONES GENERALES.....  | 39 |
| RECOMENDACIONES .....  | 40 |
| BIBLIOGRAFÍA.....  | 41 |
| ANEXOS .....   | 44 |

### INTRODUCCIÓN

Los procesos de soldadura por arco eléctrico presentan una amplia difusión en la industria moderna en diversos tipos de aplicaciones de construcción reparación y mantenimiento de estructuras, carrocerías de automóviles, accesorios de diversos materiales ferrosos y no ferrosos así como de materiales plásticos, equipos y maquinarias de todo tipo.

Las señales de voltaje y corriente de la soldadura eléctrica han sido ampliamente estudiadas en los últimos años, por la posibilidad de extraer información útil para el análisis de la estabilidad del proceso de soldadura en base a los materiales y regímenes de trabajo empleados. El monitoreo en tiempo real de tales señales permite el estudio del desempeño del proceso automático de soldadura, para el establecimiento de óptimas estrategias de control, en vías del perfeccionamiento del equipamiento de soldadura, económica y energéticamente hablando.

Las señales de voltaje y corriente de soldadura han sido estudiadas en busca de patrones de determinación de rasgos característicos de defectos en la unión soldada para la evaluación de consumibles, regímenes de trabajo y procesos, así como para la obtención de adecuados parámetros de control automático del proceso.

Los voltajes y las corrientes de soldadura deben ser captadas mediante sensores de voltaje y corriente correctamente seleccionados y acondicionados mediante un circuito que garantice para su digitalización los niveles de voltaje asequibles a las tarjetas de adquisición de datos para la obtención de un nivel óptimo de protección instrumental.

Los circuitos acondicionadores deben ser diseñados para los fines específicos que los hacen necesarios en un determinado sistema de instrumentación debido a la amplia diversidad de aplicaciones y combinaciones que se presentan; para lo cual es necesario conocer la naturaleza química física de los fenómenos a estudiar. En el caso de la presente investigación se trata de un proceso de soldadura en el que se mezclan fenómenos de transferencia de carga eléctrica y masa metálica a través de un plasma térmico que es capaz de proporcionar la energía necesaria para la fusión de los metales de la unión soldada.

El Centro de Investigaciones de Soldadura (CIS) ha venido trabajando desde hace varios años en el estudio de la influencia de los materiales para soldar en la estabilidad del proceso SMAW, del inglés *Shielded Metal Arc Welding*. El centro ha publicado varios artículos en la revista Soldadura e Inspección y en eventos internacionales.

La composición química de los materiales del revestimiento, influye considerablemente la función eléctrica del electrodo para soldar, que es primordial para un desempeño estable del proceso y el logro de una óptima calidad de la unión soldada.

Actualmente el CIS cuenta con un acondicionador de voltaje y corriente de soldadura a base de amplificadores operacionales calibrado y probado en cada una de los momentos en que lo han implementado, sin embargo está apareciendo en las señales captadas ruidos industriales que impiden el análisis eficiente de la señal y por ende los resultados obtenidos son desfavorables, además de los riesgos que corre la PC por estar careciendo de una protección de sobrevoltaje entre ella y la estación de soldadura, constituyendo está la **situación problemática** de la cual parte la investigación.

Derivándose el siguiente **problema de la investigación**:

¿Cómo realizar una interfaz que permita capturar simultáneamente con la PC las señales de voltaje y corriente que genera un equipo de soldar durante el proceso de soldadura con la mayor atenuación posible de ruido?

Para dar solución al problema planteado anteriormente se propone como **objetivo general**:

Elaborar un equipo acondicionador de las señales de voltaje y corriente del arco eléctrico de soldadura, para el acople mediante una tarjeta de adquisición de datos a una PC, garantizando una adecuada relación señal a ruido y una mínima distorsión de las señales producidas durante la ejecución del proceso de soldadura en un ambiente industrial real.

Los **objetivos específicos** se presentan a continuación:

1. Estudiar las características generales de las señales de voltaje y corriente del equipo de soldadura, así como los ruidos que influyen en la medición.
2. Analizar las posibles variantes circuitales del equipo para el acondicionamiento de las señales.
3. Construir el equipo para el acondicionamiento de las señales.
4. Realizar experimentos para la validación y puesta a punto del equipo.

La investigación estará estructurada en tres capítulos cuyos contenidos se muestran a continuación:

**En el Capítulo 1**, se realiza una revisión bibliográfica sobre dispositivos simuladores del proceso de soldadura manual con electrodos revestidos, adquisición de parámetros de

voltaje y corriente en el proceso de soldadura, instrumentación electrónica, amplificador de instrumentación (AI) y tarjetas de adquisición con usb.

**En el Capítulo 2**, se expone todo el proceso de diseño y selección de los circuitos con las herramientas Multisim12.0 y LabView 7.1 del software National Instruments (NI), la visualización de la señal de soldadura a través del osciloscopio digital Tektronix, además de la BreadBoard para su posterior simulación y montaje.

**En el Capítulo 3**, se hace un análisis de los resultados obtenidos durante las simulaciones de los diseños y de la prueba al montaje y la prueba dinámica al acondicionador, evidenciando las mejoras que trae para el CIS el acondicionador de las señales de voltaje y corriente.

La investigación cuenta con un valor teórico, pues permitirá a los especialistas e investigadores realizar estudios y análisis comparativos, que en función de la disponibilidad de los recursos, logren ajustar las composiciones óptimas de los revestimientos de los electrodos, para su mejor utilización y así continuar desarrollando nuevos materiales teniendo en cuenta los resultados prácticos alcanzados y la confrontación con otros métodos y herramientas.

Como valor práctico de ésta, se tiene la contribución al desarrollo de equipos de medición, que contribuyan a la obtención de datos útiles para el análisis de los procesos de soldadura y ofrecer una respuesta a la constante demanda de técnicas de caracterización de materiales para soldar, con soluciones económicamente factibles. Además de que se dan soluciones a problemáticas modernas vinculadas con la adquisición de hardware especializado cuya adquisición no es viable actualmente en nuestro país.

## **CAPÍTULO I: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **1.1. Introducción**

El objetivo del presente capítulo es efectuar una revisión bibliográfica sobre dispositivos simuladores del proceso de soldadura manual con electrodos revestidos en el CIS. A partir del análisis y síntesis de los resultados teóricos y experimentales establecidos en la literatura especializada, quedando demostrada la importancia de la existencia de una protección contra sobrevoltaje que limite a la entrada de la tarjeta de adquisición.

### **1.2. Soldadura manual con electrodo revestido (SMAW)**

La soldadura manual con electrodo revestido (SMAW) ocurre cuando por el efecto de un arco eléctrico el electrodo libera un gas inerte que aísla la zona de soldado del aire, evitando de esta manera la rápida oxidación del metal fundente. De esta manera se logra la unión de dos partes metálicas [1].

El arco eléctrico se produce al poner en contacto los polos opuestos de un generador, las temperaturas alcanzan 3500 °C, estas desprenden vapores, creándose una zona de atmósfera ionizada, de forma que al separar los polos se mantiene el arco eléctrico. El equipo de soldar básicamente se compone de una fuente de alimentación, pinza porta-electrodo y mordaza de masa, como se observa en la figura 1.2.1. La fuente de alimentación es un transformador que reduce la Tensión de la red a la tensión de soldadura (menor o igual a 80 v). También es importante que suministre una corriente constante para proporcionar un arco estable. Un parámetro importante en que caracteriza al equipo de soldar es el factor de marcha o utilización; este es el tiempo que la máquina puede funcionar sin calentarse y se especifica en por ciento o (electrodos/h). Si la máquina posee un factor de marcha de un 35% esta puede soldar durante 3.5 minutos de cada 10 minutos. En el caso que el fabricante ofrezca el dato de 1.5/60 quiere decir que se pueden soldar 60 electrodos de 1.5 mm en una hora.



Figura 1.2.1. Equipo de soldadura.

Es importante destacar que durante el proceso de soldadura se producen pérdidas metálicas por salpicadura que atentan contra su economía [2], despidiéndose además gases y radiaciones perjudiciales para la salud [3-5]. Sin embargo en los primeros años del siglo XXI más de 1500 fabricantes a nivel mundial, en unos 50 países, producen un amplio espectro de tipos de electrodos para soldadura de aceros inoxidables u ordinarios, aluminio y metales no ferrosos [6].

### **1.3. Adquisición de los parámetros Voltaje y corriente del proceso de Soldadura:**

Para acometer trabajos de soldadura complejos y en condiciones difíciles, se emplean procesos semiautomáticos y automáticos, fundamentalmente, para la unión de partes o el relleno superficial de piezas de gran volumen, estimándose un incremento acelerado en la utilización de los mismos [7].

La eficiencia térmica en soldadura por fusión y arco eléctrico está determinada por la cantidad de calor aportado durante la unión y es una función directa del proceso de soldadura empleado y las variables operativas del mismo, entre las cuales se encuentran el voltaje aplicado, la velocidad de avance de la fuente térmica (desplazamiento del cabezal), la intensidad de corriente, la separación entre pieza de trabajo y electrodo o material de aporte ajeno.

Se plantea que el término proceso estable de soldadura es aquel que garantiza la obtención de una unión de calidad en cuanto a su formación, con una superficie plana y prácticamente constante para toda su longitud y con todos sus parámetros geométricos [8]. Se conoce que uno de los procesos de soldadura actuales se realiza con cortocircuitos y se pueden obtener

uniones con buena apariencia. Por otra parte la variación de los parámetros eléctricos sí influye en la forma del cordón, por cuanto registrarlos permitirá la realización de su corrección ante cualquier perturbación en caso necesario. El registro de los parámetros eléctricos del arco, para evaluar la estabilidad en presencia de todos los factores influyentes es un aspecto novedoso, pues a partir de las características dinámicas y estáticas del arco eléctrico se puede evaluar la estabilidad, las fuentes y el equipamiento de soldadura análogamente al registro que extrae un médico del cardiograma hecho a su paciente [9].

Las señales de voltaje y corriente de soldadura han sido estudiadas y descritas por varios investigadores [1, 10, 11]. Sus espectros de frecuencia están determinados por la fenomenología del arco eléctrico en función de las propiedades químico-físicas de las sustancias componentes del plasma y su inercia; los rangos de amplitud de los parámetros eléctricos están determinados por las características voltaje-corriente de la fuente de alimentación y la resistencia del circuito de soldadura [1].

El empleo de la instrumentación electrónica y tecnologías de digitalización para los parámetros eléctricos del arco y su posterior procesamiento estadístico, han permitido el estudio de la estabilidad del arco eléctrico de soldadura [12]. Las señales de voltaje y corriente del arco eléctrico de soldadura con electrodos revestidos pueden ser muestreadas con una frecuencia de 5 kHz [1] con al menos 10 bits de resolución [12], como se aprecia en la figura 1.3.1.

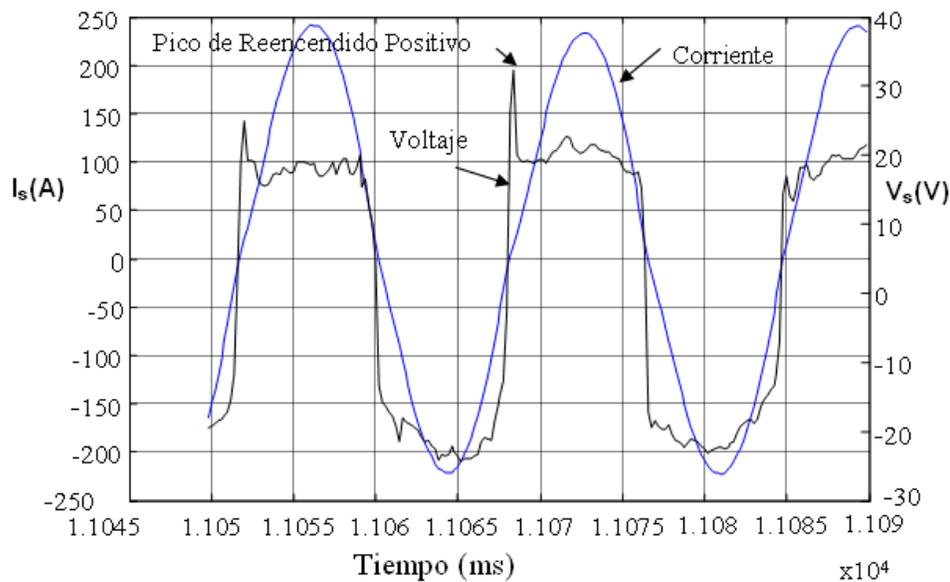


Figura 1.3.1. Oscilogramas de voltaje (negro) y corriente de soldadura (azul) SMAW, (CA). Tomada de [10].

#### 1.4. Trabajos previos

Estudios previos de Rissone [13] (Figura 1.4.1) y Wen-Hou Chu [14] (Figura 1.4.2.) hacen propuesta de estaciones experimentales para estudiar el comportamiento de los electrodos revestidos en cuanto a la estabilidad del arco, técnicas para el control automático del proceso SMAW, además otras publicaciones de científicos mencionan diferentes tipos de dispositivos de alimentación automática [12], según aparece en la figura 1.4.1.

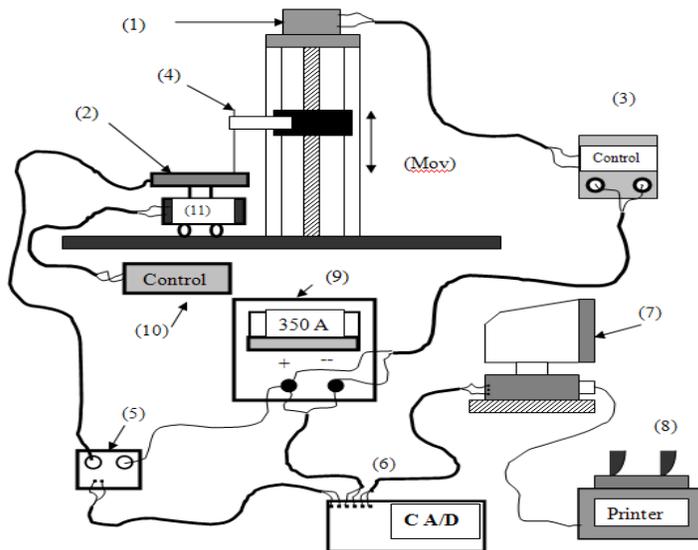


Figura 1.4.1. Representación esquemática de la estación experimental. Tomada de [1].

En el esquema de la Figura 1.4.1. se representa un sistema [14] formado por una fuente de potencia inversora de 350 amperes [15], con 65 V de voltaje a circuito abierto, y una tarjeta [16], que controla la velocidad del motor que alimenta el electrodo regulando la longitud del arco. El voltaje de alimentación del motor de corriente directa por pasos [12] regula la velocidad de alimentación del electrodo [6]; mientras la velocidad de soldadura ha sido predefinida y mantenida constante [2] el carro de soldadura [5] pasa transportando la placa a soldar [17] por debajo del electrodo [6]. En este modelo los componentes fundamentales del sistema de adquisición de datos son: el sensor de efecto Hall de 300 amperes [8] un circuito de acondicionamiento de señal compuesto por un convertidor A/D [13], una microcomputadora [18] y una impresora [19]. Este sistema de adquisición de datos permite lecturas de voltaje y corriente a frecuencias programables de 10 Hz a 100 kHz con conversión a 12 bits por canal.

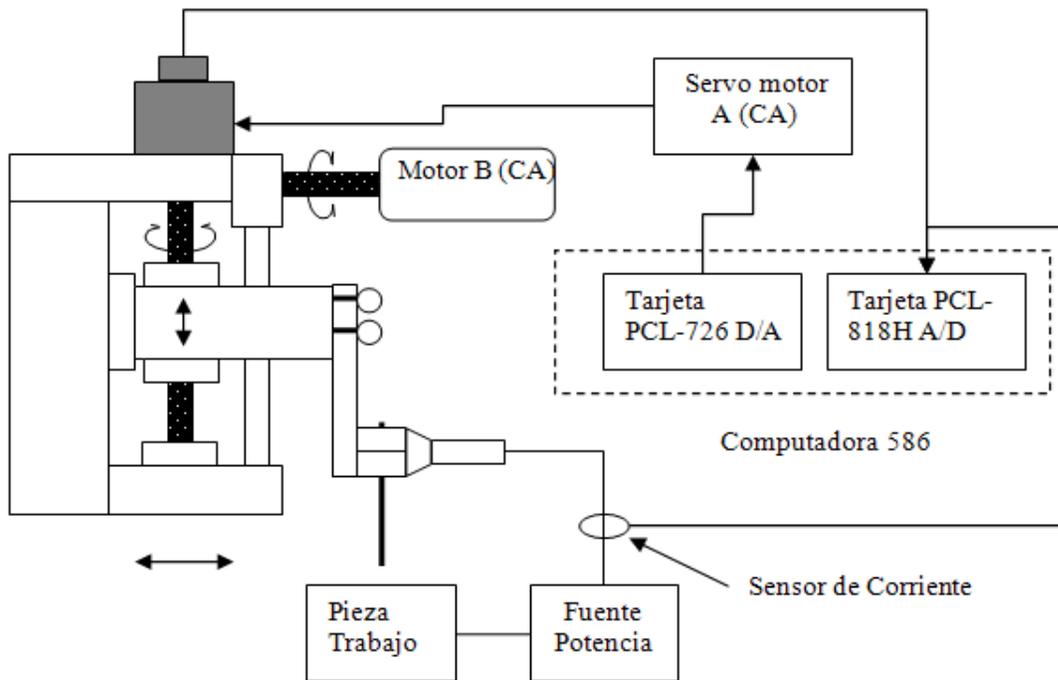


Figura 1.4.2. Estructura del sistema automático para el control del proceso SMAW propuesto por Wen-Hou Chu en su tesis doctoral [14].

El alimentador automático utiliza dos servomotores A y B, de corriente alterna (Figura 1.4.2), el servomotor B proporciona el movimiento en la dirección de la soldadura, mientras que el A permite la alimentación del electrodo hacia la pieza de trabajo.

La velocidad de alimentación del alambre es monitoreada mediante un codificador cuya salida es digitalizada mediante una tarjeta de adquisición de datos A/D PCL – 818H. La misma tarjeta digitaliza la señal proveniente del sensor de corriente de Efecto Hall. Una tarjeta D/A PCL-726, controla la velocidad de alimentación del electrodo. En la computadora se establece el control automático para mantener los parámetros de soldadura en los rangos requeridos.

También se han reportado el empleo de dispositivos de alimentación por gravedad para la soldadura con electrodos de carbón y para la soldadura con electrodos revestidos en aplicaciones de la industria naval así como para el estudio de propiedades de los consumibles en la soldadura subacuática mojada [10]. El empleo del dispositivo de autoalimentación garantiza que la velocidad de alimentación del electrodo coincida con la velocidad de fusión del mismo.

El presente proyecto se enmarca en la modificación de la instalación experimental mostrada en la figura 1.4.3. En la misma se pueden evaluar diferentes tipos de electrodos revestidos en diversos regímenes de trabajo. Sus resultados permiten ser chequeados iterativamente hasta verificar la validez de la configuración paramétrica escogida en cada caso.

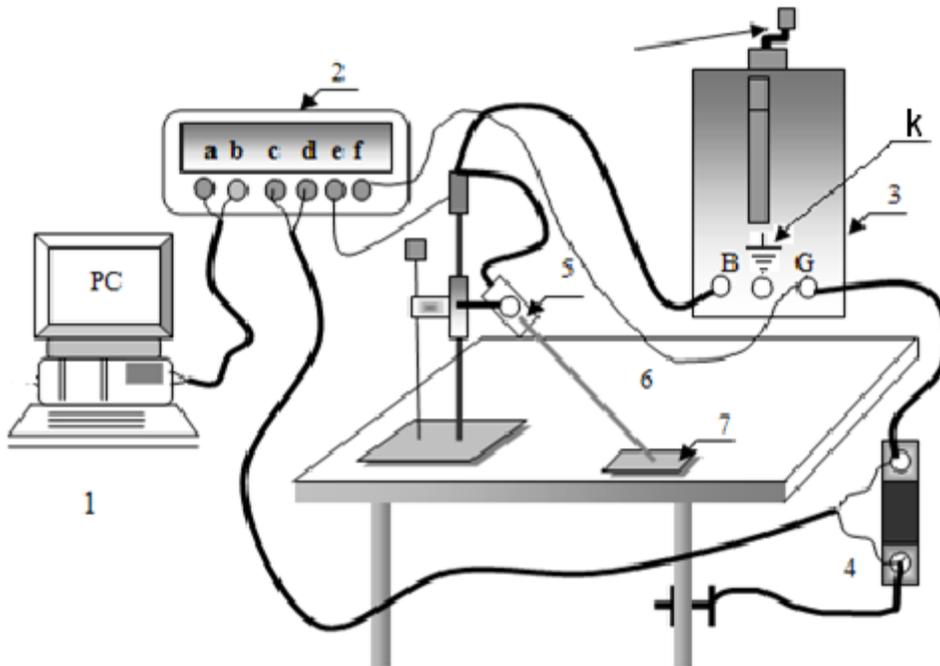


Figura 1.4.3. Esquema de la instalación experimental [10].

Las instalaciones experimentales (Figura 1.4.3.), tienen una computadora [20] acoplada a un acondicionador de señales [17], que recibe entre sus terminales (e) y (f), la señal de voltaje del transformador de soldadura [16] (AIRCO, 220V CA). La señal de corriente es tomada de los extremos del sensor de corriente tipo Shunt [21] de 60 mV a 250 A, clase 0,5; acoplándola a los terminales (c) y (d) del acondicionador [17]. La mesa de trabajo [13] está conectada al terminal de tierra (G) de la fuente de soldadura, a través del sensor de corriente. El terminal (B) de la fuente de soldadura está conectado al porta electrodo del dispositivo de autoalimentación [8] y la placa sobre la que se efectúa el depósito [18] está conectada eléctricamente a la mesa de trabajo. Se debe que la estación se encuentra aterrada mediante un sistema descrito en [10], este ofrece una resistencia total de 2 ohmios.

El acondicionador de señales [17] brinda en sus terminales (a) y (b), las señales de voltaje y corriente perfectamente preparadas para su entrada en la tarjeta de sonido de la computadora [20, 22].

El acondicionador de señales está compuesto por un circuito acondicionador de corriente y otro circuito acondicionador de voltaje. El circuito acondicionador de corriente Figura 1.4.5. presenta dos etapas, la primera constituye un amplificador inversor de ganancia variable acoplado a la salida del sensor de corriente [6]. Este circuito carece de protecciones contra picos de voltaje que pudiesen dañar al circuito o al conversor A/D. Además se considera que no proporciona suficiente protección contra los ruidos industriales y que el amplificador operacional (AO) en configuración de seguidor de voltaje no es necesario debido a que el AO en configuración inversora ofrece las mismas características de salida.

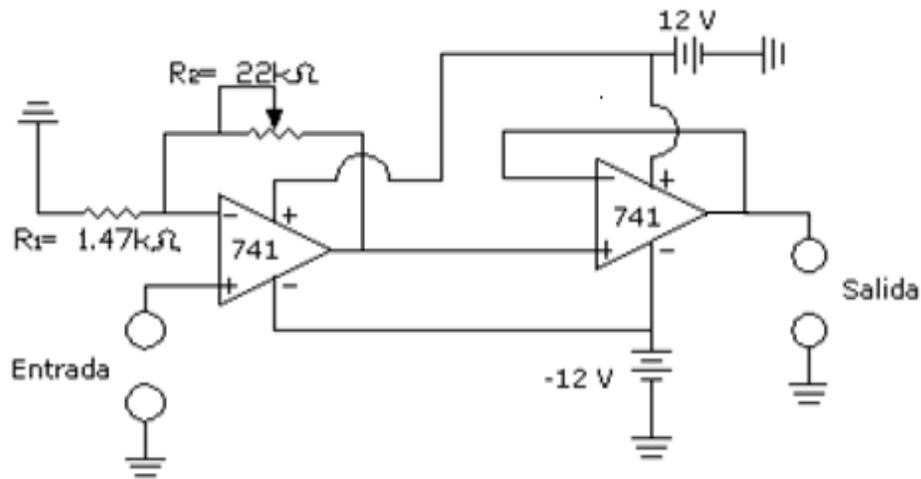


Figura 1.4.5. Esquema circuitual del acondicionador de corriente. Tomada de [1, 10].

El circuito acondicionador de voltaje (Figura 1.4.6.) es un circuito atenuador que se encarga de disminuir el nivel de voltaje en los terminales de la máquina de soldadura al nivel apropiado para la tarjeta de sonido. La atenuación se realiza empleando un divisor de tensión resistivo. A la salida del mismo se añade un circuito seguidor de voltaje para garantizar el acople de impedancia con la tarjeta de sonido. Esta configuración no ofrece ningún aislamiento entre el circuito de acondicionamiento y el equipo de soldadura. Tampoco posee una protección contra sobrevoltaje a la entrada de la tarjeta de adquisición.

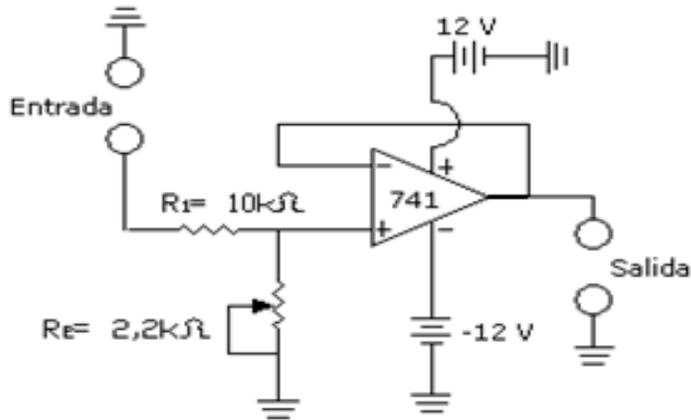


Figura 1.4.6. Esquema circuital del acondicionador de voltaje. Tomada de [1, 10]

El presente trabajo propone modificaciones en el sistema de acondicionamiento y digitalización de las señales de corriente y voltaje de la estación de soldadura propuesta en [1]. La concepción, el diseño, la puesta a punto y la prueba del equipo acondicionador, a partir del estudio de las características de las señales, permitirá realizar un proceso de captación de datos más completo y eficiente, acorde a las necesidades del CIS, superando las deficiencias detectadas en el equipo anterior. Para ello se analizan las opciones disponibles en la literatura que permitan mejorar características del circuito como el aislamiento, las protecciones de sobrevoltaje y la atenuación de ruidos, además se realiza un análisis de las posibilidades reales para la conversión A/D.

### 1.5. Instrumentación Electrónica.

Para dar cumplimiento al objetivo principal de la investigación es necesario analizar las opciones viables descritas en la literatura, estas se enmarcan en el amplio tema de la instrumentación electrónica.

La **Instrumentación electrónica** es la parte de la electrónica, principalmente analógica, que se encarga del diseño y manejo del equipamiento electrónico y eléctrico, sobre todo para su uso en mediciones [23]. La instrumentación electrónica se aplica en el censado y procesamiento de la información proveniente de variables físicas y químicas, a partir de las cuales realiza el monitoreo y control de procesos, empleando dispositivos y tecnologías electrónicas [21].

En el caso de las señales de voltaje y corriente de soldadura es necesario un aislamiento entre la etapa de censado y la tarjeta de adquisición para la protección de la misma, además es requerido un acondicionamiento de las señales a los voltajes admitidos por el conversor

A/D. Por lo cual se procede a analizar las condiciones y especificaciones para la amplificación y aislamiento de las señales analógicas.

Es necesario amplificar las señales en circuitos de instrumentación caracterizados por las siguientes situaciones:

- Elevada separación entre el sensor y el circuito amplificador de señal.
- Acoplamiento de señales de ruido eléctrico en el circuito de medida.

Este acoplamiento es debido, en general, porque en las proximidades del sistema de medida existen fuentes de ruido (motores, equipos de soldadura, en general cargas de potencia) que inducen señales indeseadas, bien sea por:

- Acoplamiento inductivo o capacitivo.
- Conducción o Comparten mallas de corriente.
- Intercambio de ondas electromagnéticas.

En aplicaciones industriales se hace imprescindible aislar eléctricamente el circuito de captación del resto del circuito de medida. En algunos casos en que existen largos conductores. Para minimizar el efecto de las corrientes que circulan por los conductores se hace necesario romper los lazos de corriente en el sistema de medida. Para esto se utilizan diferentes técnicas de aislamiento como los amplificadores de aislamiento, el acoplamiento inductivo (por transformador), acoplamiento capacitivo y el acoplamiento óptico. En dependencia de la aplicación y los recursos disponibles se selecciona uno de los métodos antes mencionados [24]. El diagrama en bloques de la figura 1.5.1 muestra la estructura general de un sistema de aislamiento.

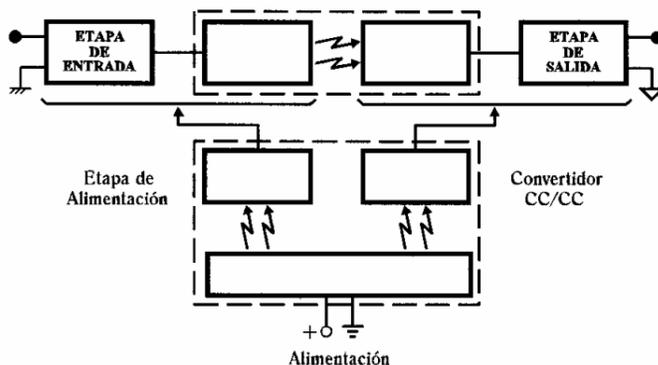


Figura 1.5.1. Diagrama en bloques de un sistema de aislamiento. Tomado de [25].

Existen diversas situaciones en las que la conexión de un sensor con la unidad siguiente, por ejemplo un microprocesador o un conversor A/D, implica la posibilidad de causar daños

como resultado quizás de un voltaje o corriente elevados. Para protegerse se incorpora una serie de resistencias que limiten la corriente a un nivel aceptable y un fusible que se funda cuando la corriente excede un nivel seguro. Contra altos voltajes y polaridades equivocadas se utiliza un diodo zéner que se muestra en la figura 1.5.2. En algunas situaciones es deseable aislar del todo los circuitos y eliminar todas las conexiones eléctricas entre ellos. Para ello se utiliza un optoacoplador como se aprecia en la figura 1.5.3. y un transformador de aislamiento galvánico según aparece en la figura 1.5.4.[25].

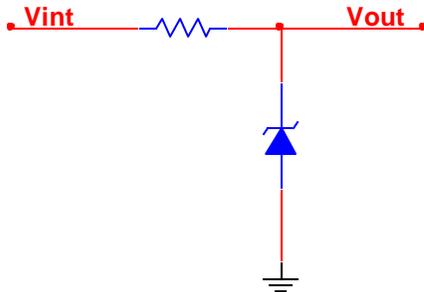


Figura 1.5.2. Protección mediante limitador de voltaje.

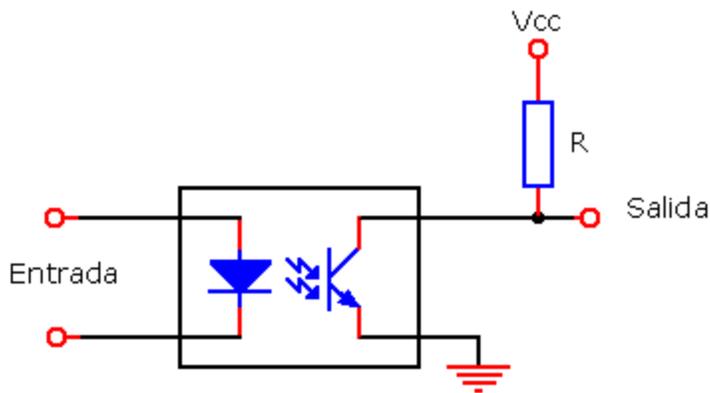


Figura 1.5.3. Optoacoplador. Tomado de [25].

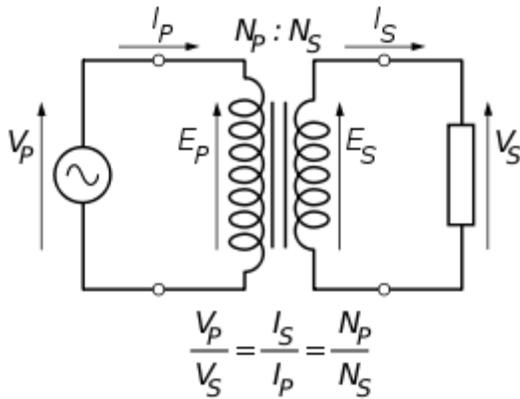


Figura 1.5.4. Transformador de aislamiento galvánico. Tomado de [25].

### 1.6. Amplificador usado en instrumentación.

Como se menciona anteriormente, los voltajes y corrientes de salida de muchos transductores son señales en el orden de los mV. En el ambiente industrial donde existen disímiles maquinarias eléctricas, el ruido eléctrico puede causar serias dificultades en circuitos de bajo nivel. A pesar de las fuentes de ruido, las señales de bajo nivel se deben transmitir con calidad. Un método efectivo para combatir el ruido es incrementar la intensidad de las señales de bajo nivel antes de su transmisión a través de cables. Esto se realiza frecuentemente con un amplificador de instrumentación. Un amplificador de instrumentación es un dispositivo creado a partir de amplificadores operacionales. Está diseñado para tener una alta impedancia de entrada (en el orden de los MΩ) y un alto rechazo al modo común (CMRR, por sus siglas en inglés). Se puede construir mediante componentes discretos o se puede adquirir encapsulado (por ejemplo el AD620 [26], como se observa en la figura 1.6.1.(a) y (b)).

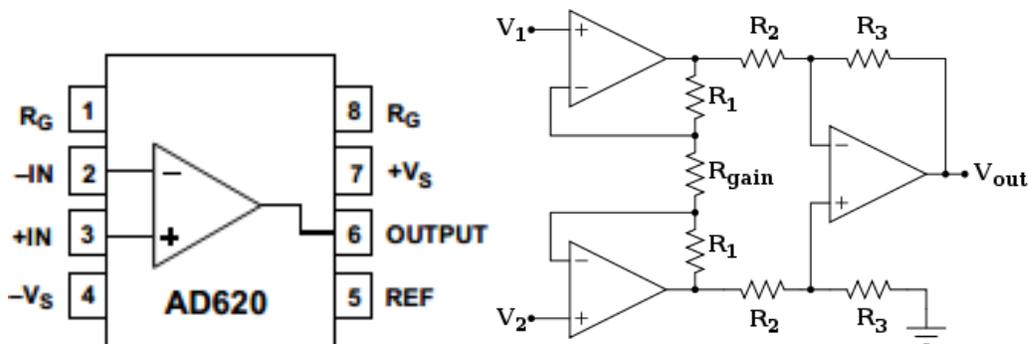


Figura 1.6.1. (a) Encapsulado del AD620. (b) Diagrama interno del AD620 [26].



Contiene un chip o circuito integrado encargado de procesar el sonido, por lo que libera al microprocesador de esta actividad, también una pequeña memoria RAM denominada "Buffer" que almacena datos para que no se produzca interrupciones de sonido durante otras actividades internas que puedan interferir, ejemplo: alguna aplicación que consuma muchos recursos y trabaje momentáneamente la computadora [7]. La tarjeta de sonido, que se aprecia en la figura 1.7.1. puede garantizar dos canales a una  $F_s$  de 44.1 kHz con una resolución de 16 bits con un rango de entrada de 1V pico.

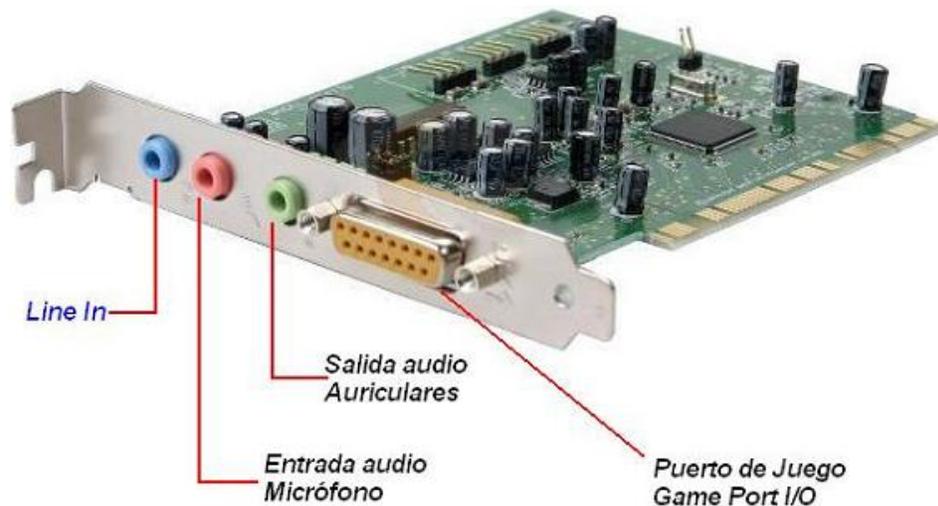


Figura 1.7.1. Tarjeta de sonido PCI convencional. Tomada de [28].

En estudios anteriores [1, 10] las señales obtenidas se diferenciaban con las señales reportadas por otros investigadores en que presentan "distorsiones" figura 1.7.1. Estas se deben a que este canal de medición está diseñado especialmente para la señal de acústica, la cual es audible a partir de 20 Hz; por lo cual la tarjeta de audio trae incorporado un filtro paso alto con frecuencia de corte aproximadamente a esta frecuencia.

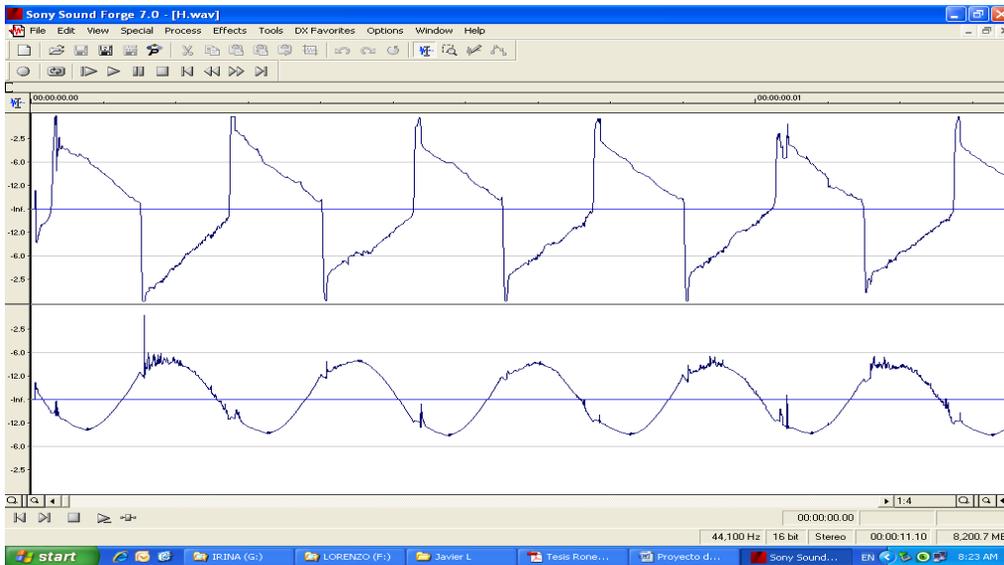


Figura 1.7.2: Oscilograma de voltaje y corriente de soldadura obtenido durante la soldadura con electrodos de doble recubrimiento contruidos en el CIS. Tomada de [10]

### 1.8. Conclusiones Parciales

1. La adquisición de las señales de voltaje y corriente del proceso de soldadura representan una fuente vital de información para analizar dicho proceso.
2. En el CIS se han realizado investigaciones orientadas a caracterizar el SMAW y los materiales implicados a partir de las señales antes mencionadas [29-31]; sin embargo aun no se cuenta con un canal de adquisición apropiado que permita capturar las señales con la calidad requerida.
3. Por lo cual el presente trabajo ofrece un diseño y realización de canal de adquisición, viable en nuestra realidad; limitada por la falta de recursos apropiados para este tipo de investigación.

### CAPITULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

#### 2.1. Introducción

En el presente capítulo se describen las partes que componen el canal de adquisición estas son:

- Acondicionador de señales:
  - Canal de Voltaje (protecciones, circuito de atenuación)
  - Canal de Corriente (Protecciones, AI, guarda activa)
  - Carcasa, cables, etc.
- Software de captura (Soldadura)
- Postprocesamiento (Filtrado de Wiener)

El acondicionador de señales es el “componente” que necesita mayor número de pruebas, las cuales van desde la simulación de los circuitos hasta su montaje y validación posterior a la implementación del equipo. Para ello se utilizan las aplicaciones de National Instruments Multisim [32] y LabView [33], así como el osciloscopio digital Tektronix DPO300 [34], además de la BreadBoard DAC-457000, disponibles en el Centro de Estudios de Electrónica y Tecnología de la Información (CEETI).

#### 2.2. Materiales

##### 2.2.1. Multisim/Ultiboard

Para el diseño del circuito se utiliza el Paquete Multisim/Ultiboard 12.0 por ser una herramienta eficaz de ayuda al diseño y simulación. Al usar el entorno gráfico intuitivo de Multisim, se pueden colocar componentes electrónicos y simular el comportamiento rápidamente para comprender conceptos fundamentales. La biblioteca de componentes incluye resistores, capacitores, inductores, fuentes de alimentación, conmutadores, transistores de unión bipolar y transistores de efecto de campo, mientras que el entorno incluye instrumentos de osciloscopio, puntas de prueba y análisis SPICE para forjar experiencia en electrónica analógica. La completa integración con las plataformas NI myDAQ y NI Educational Laboratory Virtual Instrumentation Suite (NI ELVIS) ayudan a los estudiantes a aprender por medio de la exploración práctica [35].

El software de simulación y diseño de circuitos de Multisim brinda a los ingenieros habilidades avanzadas de análisis y diseño para optimizar el rendimiento, reducir los errores de diseño y acortar el tiempo para generar prototipos. Las herramientas intuitivas resultan en iteraciones de tarjeta de circuito impreso (PCB) y significativos ahorros en costo [35].

### 2.2.2. Circuitos implementados

Debido a la carencia de presupuesto para obtener una tarjeta de adquisición se opta por digitalizar las señales mediante la tarjeta de audio de la PC. A partir de esta decisión se configura el diseño del acondicionador de señales.

En la fuente que alimenta a los circuitos acondicionadores se utilizó un transformador con secundario bifásico para lograr los voltajes necesarios que alimentan a los circuitos, como se aprecia en la figura 2.2.2.1. En la parte de rectificado y estabilización del voltaje los componentes utilizados fueron, una cuarteta de diodos (W005-W10 [36]) que permite rectificar el voltaje a onda completa. Se utiliza, también, una pareja de filtros de 2200  $\mu\text{F}$  que elimina el voltaje de rizado, además del empleo de dos circuitos integrados complementarios estabilizadores de voltajes (LM7812 y LM7912) encargados de la corrección de variaciones de voltaje que puedan afectar el correcto funcionamiento de los circuitos acondicionadores de señal [37, 38]. Por último incluye capacitores que eliminan ruidos de alta frecuencia introducidos por la red de alimentación.

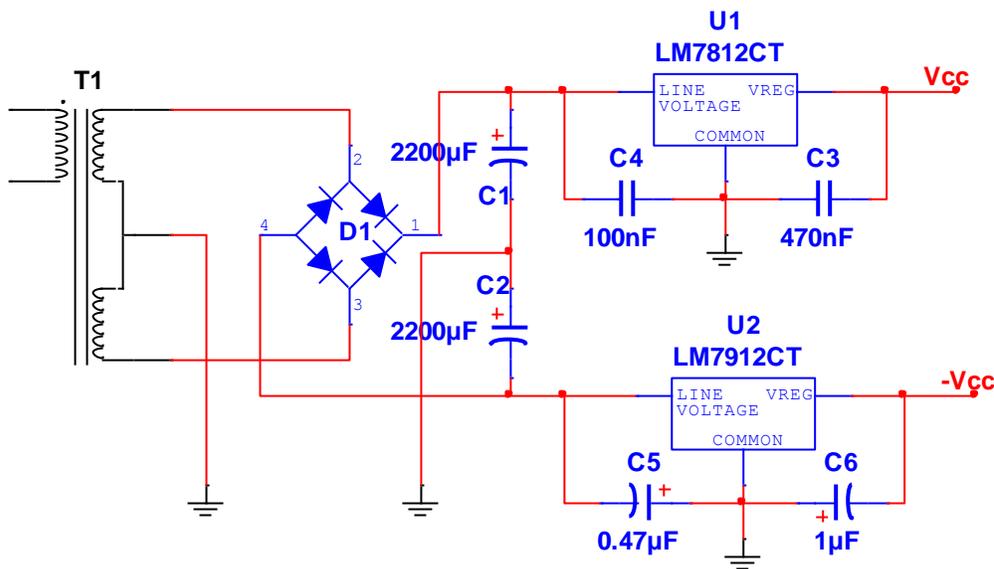


Figura 2.2.2.1: Circuito de rectificado y estabilización de voltaje.

El canal de adquisición de voltaje se elaboró con un transformador reductor de configuración monofásica debido a que la señal de voltaje a censar es de aproximadamente 95V. El transformador a su salida ofrece 4.3V aproximadamente. Con el empleo del transformador se garantiza que la parte de la protección trabaje con voltajes menores y así evite que se dañen los componentes, además proporciona aislamiento galvánico entre la estación de soldadura y el acondicionador de voltaje. La protección contra sobrevoltaje es una resistencia

conectada al secundario del transformador antes descrito y dos diodos zéner estabilizadores de (5.1V), ambos conectados en inverso uno con respecto al otro [39]. El voltaje seleccionado garantiza que en condiciones normales los diodos no lleguen a su punto de ruptura por tanto la onda no sufre ninguna anomalía mientras que cuando haya un pico de sobrevoltaje automáticamente los diodos recortan la onda, como se muestra en la figura 2.2.2.2.

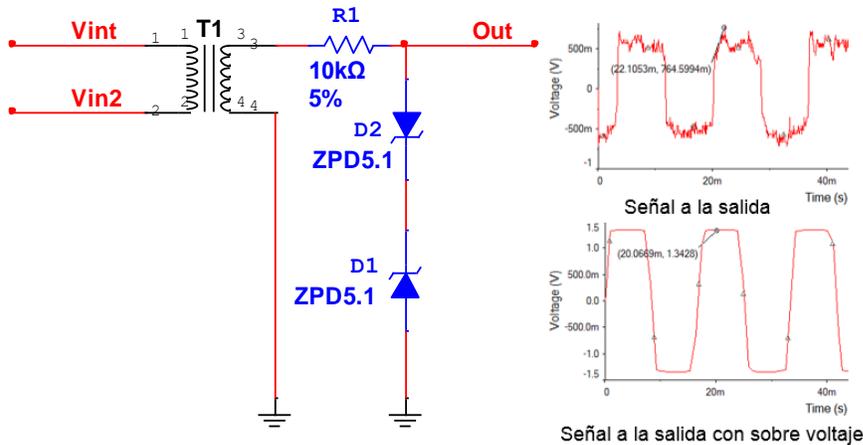


Figura 2.2.2.2. Circuito de protección contra sobrevoltaje y comportamiento de la señal.

Después de la protección se coloca un divisor resistivo con una de las dos resistencias variables para lograr el voltaje deseado a la salida del canal y garantizar que no se sature la tarjeta de audio de la PC, evitando los posibles daños. En serie se coloca un amplificador operacional (LM741) que tiene una configuración de seguidor de voltaje; este se encarga de aislar la etapa de acondicionamiento de la PC. Para el canal de voltaje se inserta un capacitor de acople de 1 $\mu$ F, lo que bloquea la componente de corriente directa. Además el canal cuenta con dos capacitores de desacople próximos a cada uno de los pines de alimentación del AO, esto reduce los ruidos de alta frecuencias inducidos por la línea, según se aprecia en la figura 2.2.2.3.

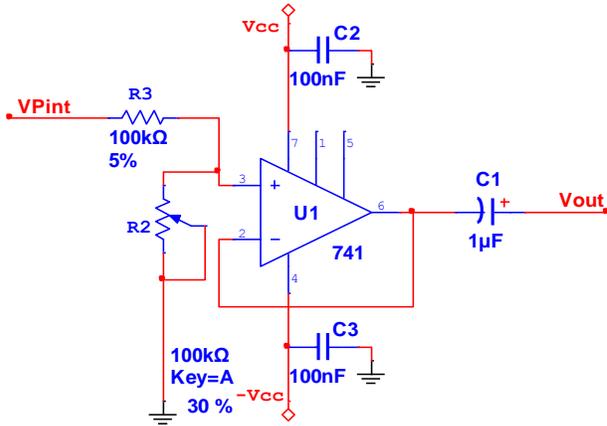


Figura 2.2.2.3. Circuito acondicionador de voltaje.

El canal de adquisición de corriente tiene en la primera etapa una protección conformada por dos resistencias y dos diodos conectados en inverso uno con respecto al otro, pues la entrada es diferencial. La señal de entrada procede del sensor Shunt. Esta es aproximadamente de 47mV pico, por lo que los diodos no comienzan a conducir porque no han alcanzado el potencial umbral (0.7 V aproximadamente), lo que trae consigo que a la salida de la protección éste se comporte de igual manera que a la entrada. Es por ello que al existir un pico de voltaje superior a los 700mV a la entrada, automáticamente los diodos recortan la señal y solo se observan valores menores o iguales a 700mV. Con todo lo anterior se logra que el amplificador de instrumentación (AI) tenga una entrada acotada independiente de las condiciones externas; esto evita un daño posterior, según se aprecia en la figura 2.2.2.4.

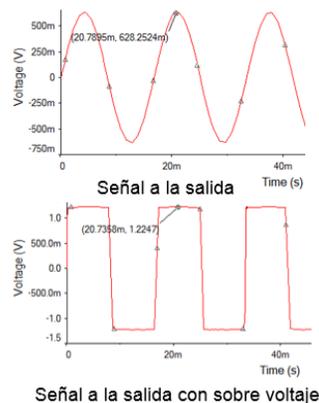
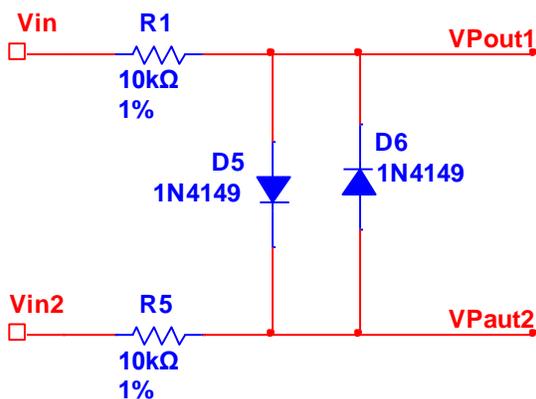


Figura 2.2.2.4. Circuito de protección de sobrevoltaje para el canal acondicionador de corriente y comportamiento de la señal.

Para el presente proyecto se selecciona el AI AD620 debido a su disponibilidad en el taller de Electrónica de Electromedicina Provincial. El mismo proviene de las placas de los Electrocardiógrafos Cardiocid BB que se les da de baja técnica por deficiencias irreparables[26]. El AI se coloca con una configuración guarda activa, como se observa en la figura 2.2.2.5

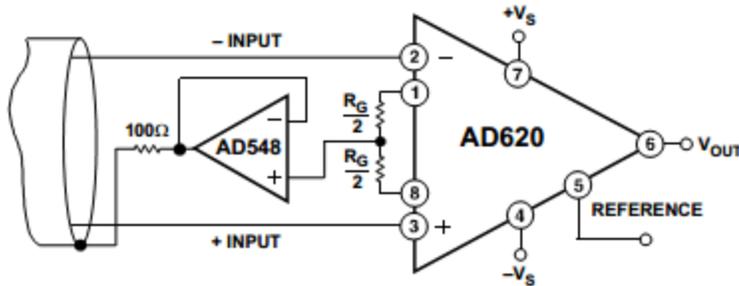


Figura 2.2.2.5. Configuración guarda activa. Tomada de [26].

La guarda activa es un sistema de modo común para protección contra ruidos a través del apantallamiento del cable proveniente del sensor. El modo común se toma a través del terminal común de dos resistencias de 100k conectadas en serie a los pines 1 y 8 del AD620. Estas se conectan a un AO (LM741) en configuración seguidor de voltaje que realimenta el recubrimiento del cable proveniente del sensor de corriente. Este proceso disminuye la interferencia mientras que el AI se encuentre bien conectado a tierra física [40]. Para modificar la ganancia se instala una resistencia variable, lo cual ofrece versatilidad para afrontar diferentes condiciones de captura figura 2.2.2.6.

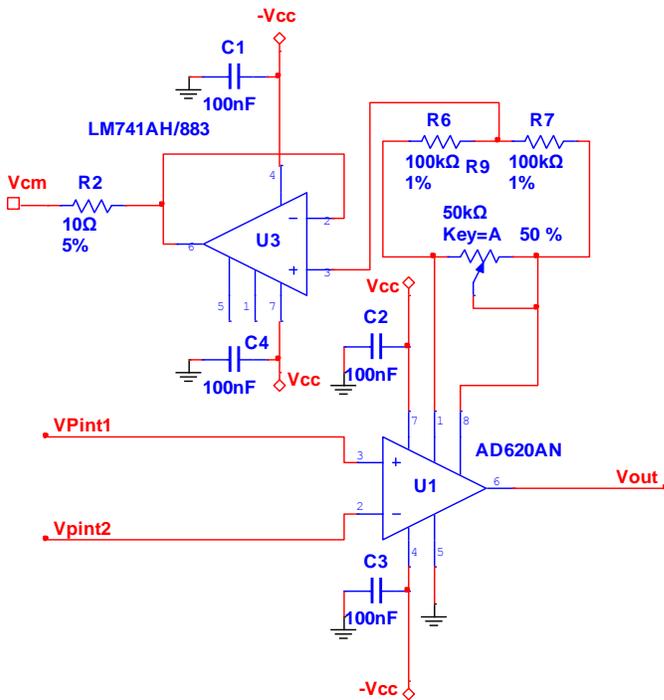


Figura 2.2.2.6. Implementación del circuito con guarda activa.

A la salida del AD620 se instala una segunda etapa de protección, parecida a la primera, con el objetivo de no exceder los 700mV, en este caso con referencia a tierra, según se aprecia en la figura 2.2.2.7.

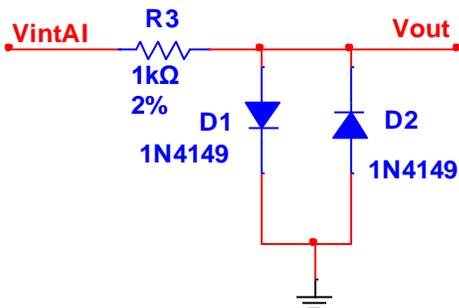


Figura 2.2.2.7. Segunda etapa de protección (P. de salida).

A continuación se coloca el AO (LM741) con ganancia (2); la ganancia se prefija con este valor pues como a su entrada no sobrepasa los 700mV, a la salida se obtendrán valores menores o iguales a 1.4V, esto garantiza que la tarjeta de audio de la PC no se sature o se dañe por sobrevoltaje y proporciona aislamiento de las impedancias de entrada con respecto a la PC. Por último se coloca un capacitor de (1μF) para la atenuación de los componentes de DC. En todos los pines de alimentación de los circuitos integrados utilizados, se colocaron

capacitores de desacople de (100nF) para la eliminación de componentes de alta frecuencia que puedan interferir con el correcto desempeño del mismo, según se observa en la figura 2.2.2.8.

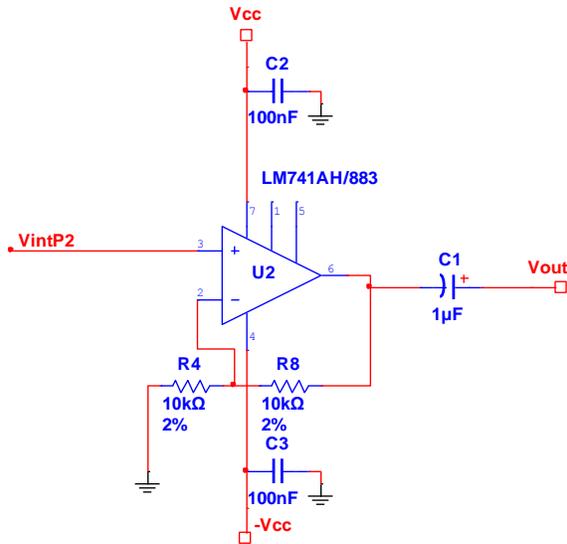


Figura 2.2.2.8 .Circuito de amplificador con ganancia fija.

Para la conformación del diseño se utilizó una lámina de aluminio y se construyó una caja con las dimensiones necesarias para montarlo (ver Anexo 1). La realización de los circuitos impresos empleados en la construcción del acondicionador de señales fue a través de métodos artesanales descritos en [41], aunque se debe aclarar que se tuvieron en cuenta todas las especificaciones necesarias para su construcción. También es necesario expresar que todos los cables que se utilizaron en el equipo son cables blindados para tener mayor inmunidad contra ruido [40]. Los conectores de entrada y salida utilizados son de tipo BNC (del inglés *Bayonet Neill-Concelman*) como se observa en la figura 2.2.2.9. debido a que es un conector rápido, apto para UHF (del inglés *ultra high frequency*) y de impedancia constante a lo largo de un amplio espectro. Muy utilizado en equipos de radio de baja potencia, instrumentos de medición como osciloscopios, generadores, puentes, etc [23].



Figura 2.2.2.9. Conector BNC

### 2.2.3. LabView

Para la visualización de las señales se implementó una herramienta virtual con el empleo del programa LabView 7.1. Esta herramienta tiene la facilidad de uso, válido para programadores profesionales como para personas con pocos conocimientos en programación pueden hacer programas relativamente complejos, imposibles para ellos de hacer con lenguajes tradicionales. También es muy rápido hacer programas con LabView y cualquier programador, por experimentado que sea, puede beneficiarse de él. Los programas en LabView son llamados instrumentos virtuales (VIs) Para los amantes de lo complejo, con LabView pueden crearse programas de miles de VIs (equivalente a millones de páginas de código texto) para aplicaciones complejas, programas de automatizaciones de decenas de miles de puntos de entradas/salidas, proyectos para combinar nuevos VIs con VIs ya creados, etc. Incluso existen buenas prácticas de programación para optimizar el rendimiento y la calidad de la programación. LabView 7.1 introduce un nuevo tipo de sub VI llamado VIs Expreso (Express VIS). Estos son VIs interactivos que tienen una configuración de caja de diálogo que permite al usuario personalizar la funcionalidad del VI Expreso. El Vis estándar son VIs modulares y personalizables mediante cableado y funciones que son elementos fundamentales de operación de LabView [23].

Con el objetivo de estandarizar los parámetros de conversión A/D y visualizar la señal en tiempo real durante la captura se crea una interfaz en LabView 7.1.

El **Panel Frontal** es la interfaz con el usuario, se utiliza para interactuar con el usuario cuando el programa se está ejecutando. Los usuarios pueden observar los datos del programa actualizados en tiempo real. En esta interfaz se definen los controles e indicadores a utilizar.

En el panel frontal de la misma se observan los siguientes elementos que aparecen en la figura 2.2.3.1.

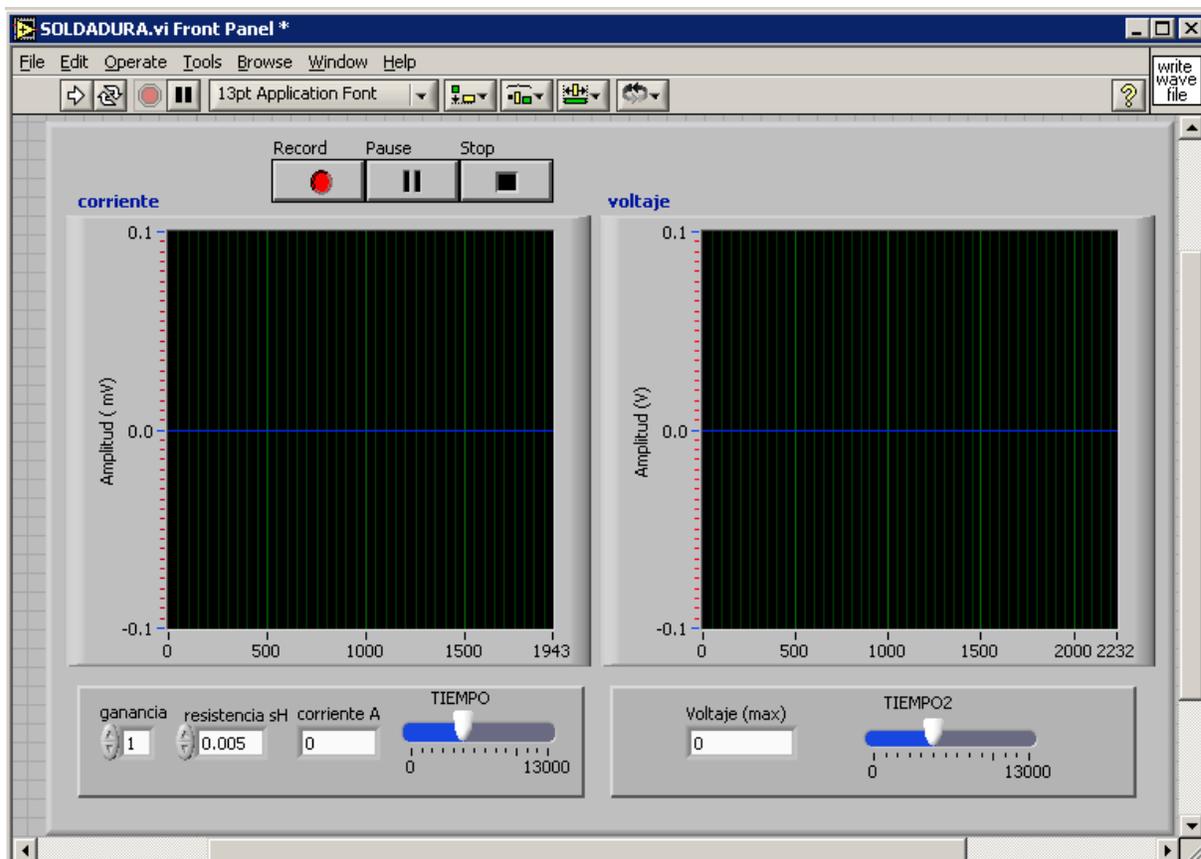


Figura 2.2.3.1. Panel frontal de la herramienta virtual.

1. Graficas encargadas de visualizar las señales (Voltaje y corriente). Esto facilita al observador las señales a tiempo real durante el proceso de captura.
2. Bloque perteneciente al canal de corriente consta de un control para prefijar la ganancia del canal de corriente. Cuenta también con un control donde se fija el valor del sensor Shunt donde es censada la señal de corriente. Además posee con un indicador que muestra la corriente pico que pasa a través del censor en tiempo real. Por último tiene un control encargado de variar la cantidad de muestras que se visualiza en la gráfica perteneciente a ese canal y así lograr una observación personalizada de la señal durante el experimento.
3. Bloque del canal de voltaje: Consta de un indicador para mostrar el voltaje pico que hay en los terminales de la estación de soldadura. Por último posee un control encargado de variar la cantidad de muestras que se visualiza en la gráfica perteneciente a ese canal y así lograr una mejor observación de la señal durante el experimento.
4. Controles de grabación: Botón de Record (grabar), este botón, se ha de pulsar, para iniciar la captura, a un lado se encuentra el botón de Pause (pausa) que se encarga de pausar la

captura de la señal y por último el botón de *Stop* (detener) encargado de terminar el experimento y enviar un comando para salvar el registro, en este caso en extensión .wav estéreo a 16 bits con Fs de 44100 Hz, en una carpeta especificada.

El algoritmo del programa como se ha expresado en el epígrafe se desarrolla en LabView 7.1. Este es derivado de los ejemplos propuestos por el software. Su propósito es que la captura se realice de forma homogénea independiente del las condiciones de captura, dígase equipo de soldar y varillas utilizadas y que sea posible observar la señal durante el proceso de captura. Su estructura se describe en el diagrama de flujo que aparece en la figura 2.2.3.2.

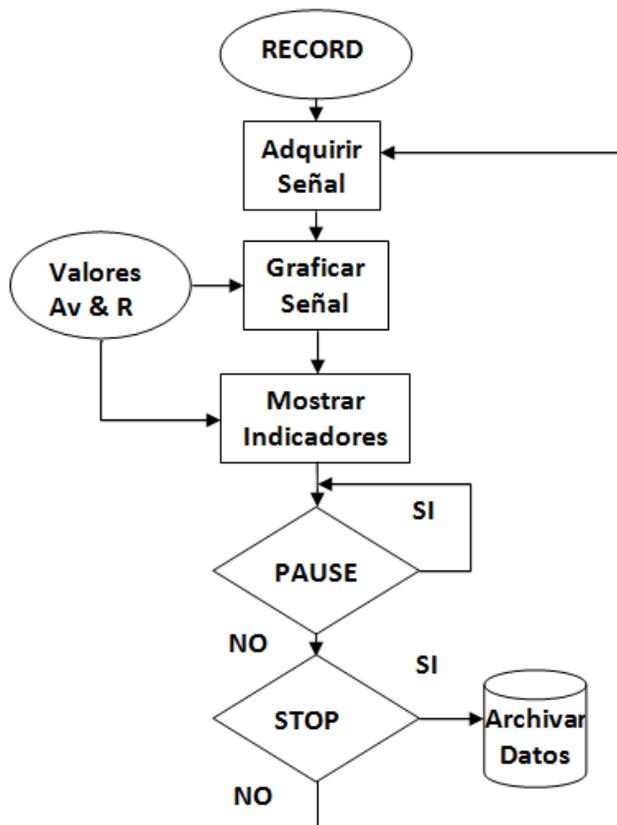


Figura 2.2.3.2. Diagrama de Flujo del algoritmo utilizado en el software de captura de la señal.

#### 2.2.4. Postprocesamiento de la señal

Como se menciona en el Capítulo I la tarjeta de audio posee un filtro paso alto que distorsiona parcialmente la señal de voltaje de soldadura. Para contrarrestar este efecto se decide crear una etapa de postprocesamiento que “atenúe” el efecto del filtrado paso alto. La técnica seleccionada para este fin es el filtrado óptimo o filtrado de Wiener [42, 43]. Esta

técnica es muy útil para ruidos estacionarios, en este caso las características del filtro paso alto son estacionarias, solo se necesita una referencia del “ruido” o de la señal útil para cancelar.

### 2.3. Métodos. Diseño del experimento

La arquitectura propuesta combina diferentes elementos que abarcan desde la instrumentación analógica, la conversión A/D hasta el procesamiento digital de la señal. Un error en el canal de adquisición afecta el resultado final, o que deviene en un incumplimiento del objetivo general de la tesis. Por este motivo se diseñan una serie de pruebas para verificar la calidad de la implementación del canal de medición.

El software Soldadura se prueba con diferentes señales simuladas y en la prueba dinámica final.

El postprocesamiento se implementa en el software Matlab R2010, después de la realización de la prueba dinámica.

La prueba final o prueba dinámica es el montaje del canal de adquisición en el CIS, con el apoyo del osciloscopio digital Tektronix [34] (utilizado como referencia debido a la calidad de la señal adquirida por el mismo) y utilizar como tarjeta de adquisición una tarjeta de audio ONBOARD de una PC proveniente de dicho centro. De esta manera la práctica sería el criterio que evalúe el diseño propuesto. Con las señales adquiridas en paralelo se calcula los coeficientes del filtro de Wiener para atenuar los efectos negativos del filtrado paso alto.

## CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

### 3.1. Introducción

En este capítulo se muestran los resultados de la simulación, de la prueba al montaje y de la prueba dinámica del diseño, llevadas a cabo en el CEETI y en el CIS. Se efectúa, además, un análisis de los resultados alcanzados y de las mejoras que se logran con la aplicación del acondicionador de voltaje y corriente rediseñado por el autor.

### 3.2. Simulación de las señales reales

A partir de las señales reales de voltaje y corriente adquiridas con el osciloscopio Tektronix se efectuó la simulación de los circuitos diseñados previamente en el capítulo 2 con la aplicación Multisim 12.0. Esta simulación arrojó los siguientes resultados.

En el canal de voltaje, el objetivo de la simulación consistía en observar la atenuación del valor de entrada, el cual inicialmente era de 29.44V a 0.84V aproximadamente. Ésta demostró que se podía disminuir los parámetros a los valores deseados como se aprecia en la figura 3.2.1.

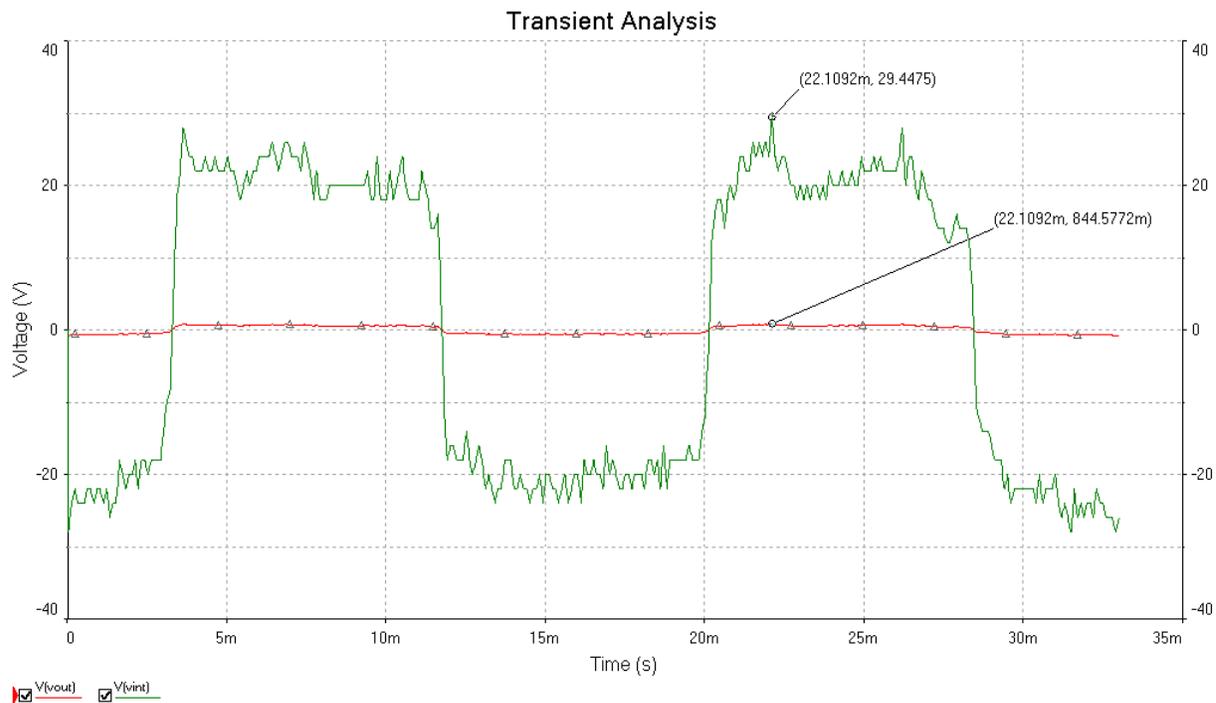


Figura 3.2.1. Señal de voltaje de entrada (verde) y salida (rojo) de la etapa de voltaje del acondicionador.

La atenuación de voltaje alcanzada permite la introducción de la señal de voltaje a través de la tarjeta de audio de la PC sin afrontar posibles riesgos en esta operación. Además la

protección del canal de voltaje impide que un sobrevoltaje a la entrada sea amplificado a la salida, figura 3.2.2.

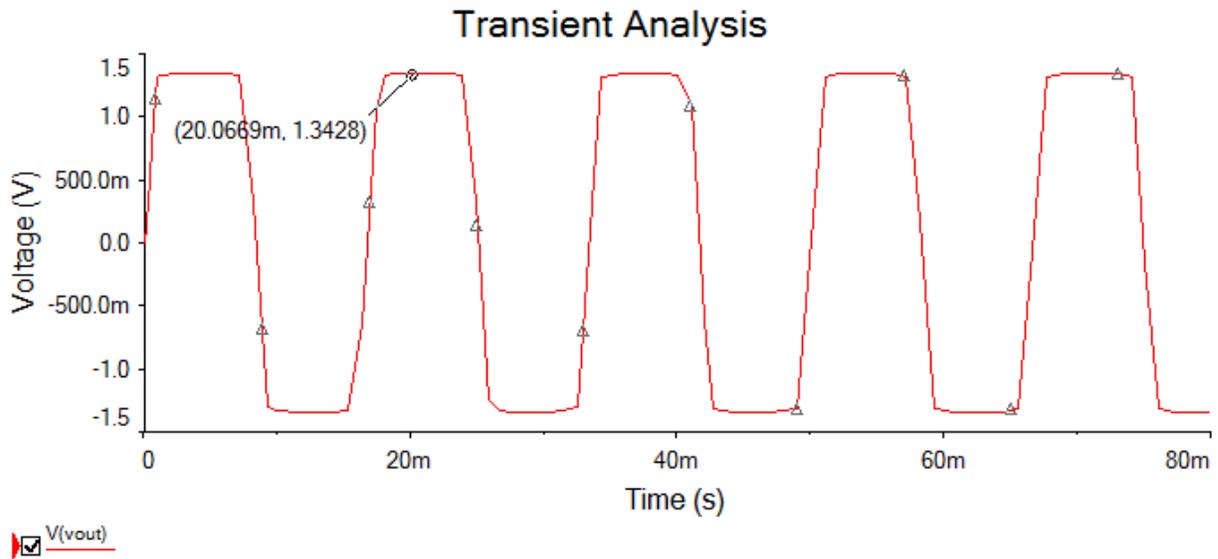


Figura 3.2.2. Señal a la salida del canal de voltaje cuando hay un pico de sobrevoltaje.

En cuanto al canal de corriente se pretende amplificar la señal censada, a través del sensor Shunt. Esta es aproximadamente de 70mV como se aprecia en la figura 3.2.3. Se logró amplificar hasta valores factibles que permitían la introducción a la PC mediante la tarjeta de audio, sin estar enfrentándose a posibles riesgos en esta operación, debido a la protección del canal de corriente que tiene implementado el acondicionador según se observa en la figura 3.2.4.

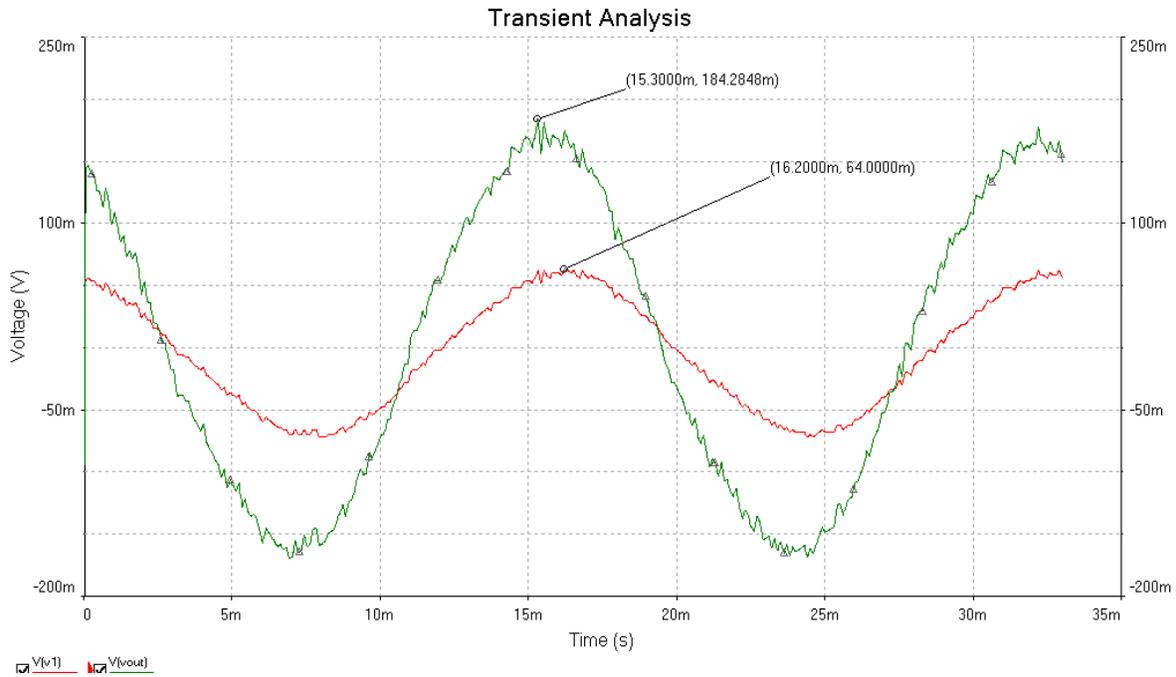


Figura 3.2.3. Señal de corriente (V) de entrada (rojo) y salida (verde) de la etapa de corriente del acondicionador.

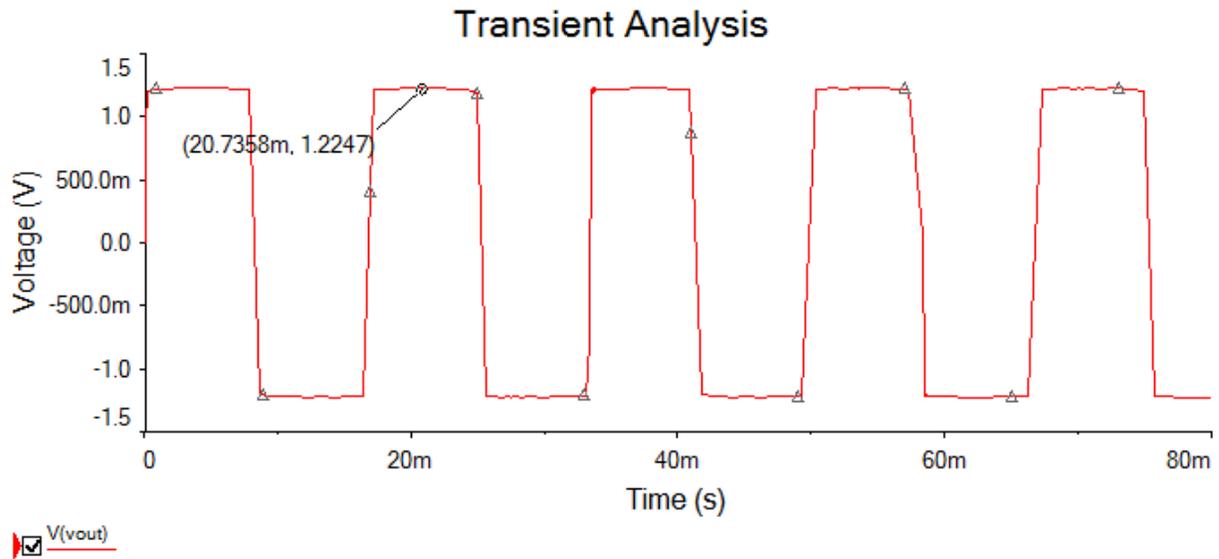


Figura 3.2.4. Señal a la salida del canal de corriente cuando hay un pico de sobrevoltaje.

La simulación demostró que los circuitos diseñados podían lograr la atenuación y amplificación de la señal, funcionaban de acuerdo a lo planificado y que se podían implementar posteriormente en la BreadBoard.

### 3.3. Montaje y comprobación de los circuitos en la BreadBoard.

A partir del montaje en la BreadBoard se hizo la comprobación del diseño con las componentes, para confirmar el correcto funcionamiento del diseño.

Para el canal de corriente se genera una señal patrón parecida a la señal de corriente (V) con el bloque generador de funciones; y para el canal de voltaje se utiliza el voltaje de línea (110 Vrms). En el bloque de montaje se colocan los canales diseñados. Se conectan las partes y se corrobora que todo funcionaba correctamente. Con el éxito de esta prueba se puede proceder a la impresión de los circuitos previamente concebidos.

### 3.4. Prueba al montaje

La simulación en Multisim 12.0 y la prueba en la BreadBoard arrojan resultados positivos del diseño del acondicionador de señales. Esto garantiza la correcta implementación de cada una de las partes del acondicionador de voltaje y corriente (Ver anexo 2). Una vez terminado el equipo se deben efectuar pruebas que verifiquen la calidad de la señal adquirida. El diagrama de bloque en la figura 3.4.1 representa la tónica de montaje que se realiza en el laboratorio de estudiantes del CEETI para las pruebas reales efectuadas al equipo.

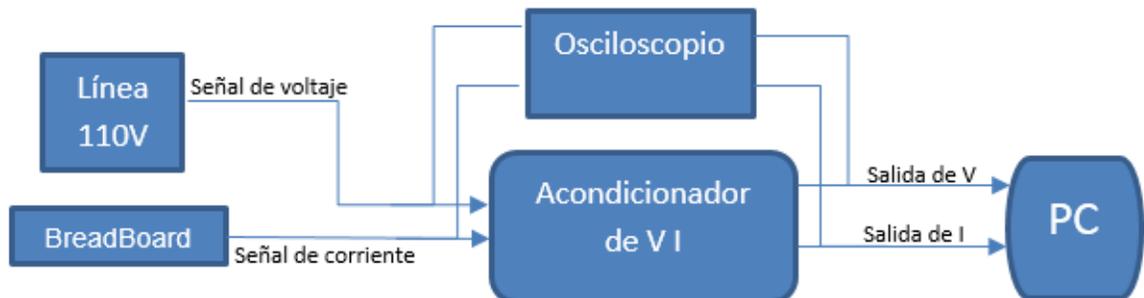


Figura 3.4.1. Diagrama de bloque de acoplamiento del acondicionador para pruebas al montaje.

En las figuras 3.4.2. y 3.4.3. se muestran los resultados más sobresalientes de este experimento.

En la figura 3.4.2. se observa los oscilogramas de las señales de voltaje y corriente capturado por la tarjeta de audio de la computadora ASUSTeK P5RD2-VM, sobresale en la imagen la distorsión de la señal de voltaje producida por el filtrado paso alto de la tarjeta de audio

(debido a que se dispara la protección de sobrevoltaje del canal), así como la alta calidad de la digitalización de ambas señales.

También se calcula el valor de CMRR [39] del canal de corriente, esta medida es sumamente importante a la hora de garantizar una señal útil para la investigación, y en un ambiente ruidoso, como es el caso de un taller de soldadura, donde es extremadamente necesario corroborar este parámetro. Para ello se realizan dos pruebas. La primera consiste en conectar la entrada del canal de corriente a un valor constante de voltaje y tierra y posteriormente a un valor constante de voltaje por ambas entradas. Se obtiene la ganancia en ambos casos (diferencial  $A_d$  y de modo común  $A_c$ ) y se determina el CMRR por su fórmula (1), esta arroja un valor de 66 dB, lo cual es aceptable dado el nivel de la señal de entrada y su composición armónica, la cual es semejante a la del ruido.

$$CMRR_{dB} = 20 \log_{10} \left( \frac{A_d}{A_c} \right) \quad (1)$$

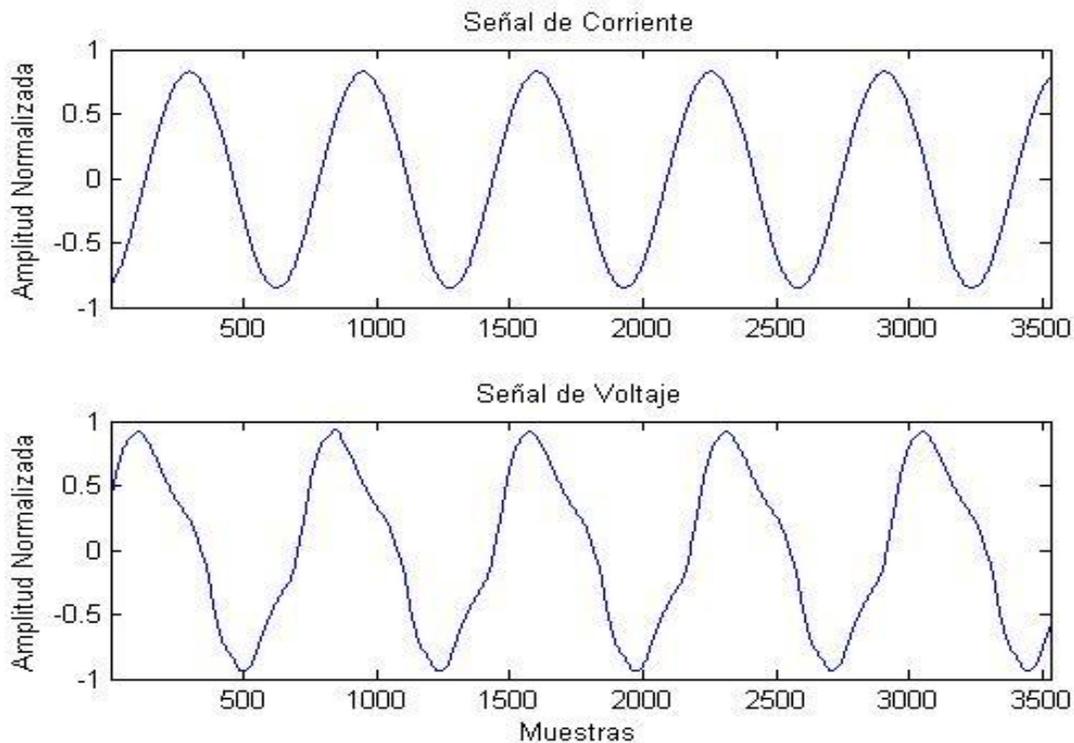


Figura 3.4.2. Señal obtenida a la salida del acondicionador

La segunda evaluación del valor de CMRR está dada por la inspección visual del Periodograma de Welch de la señal digitalizada del canal de corriente. Esta prueba debe verificar los resultados de la anterior. Para ello se coloca como señal de entrada una sinusoidal de 1 kHz de frecuencia para discernir la interferencia de la señal útil. En la figura

3.4.3. se puede apreciar que la diferencia entre el valor de 60 Hz y la señal de 1 kHz es de alrededor de 70 dB, lo cual demuestra que el resultado anterior es valido incluso después de la digitalización.

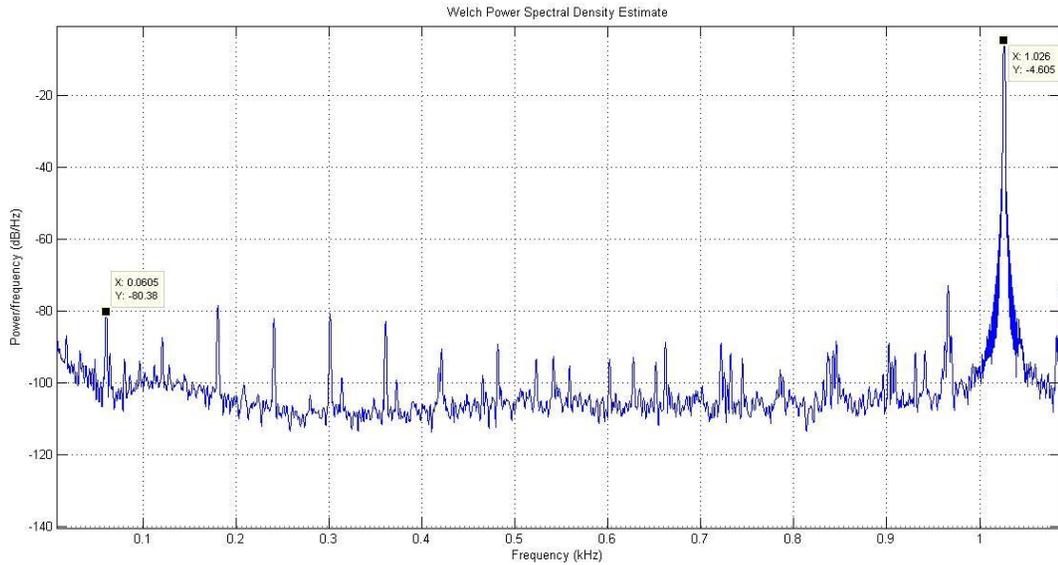


Figura 3.4.3. Determinación del valor de CMRR.

### 3.5. Prueba dinámica

Esta prueba fue realizada en el CIS utilizando los equipos con los cuales debe formar la estación de soldadura descrita en [1]. Para ello se realiza un diseño descrito en el diagrama de bloques de la figura 3.5.1. En el mismo se observa que la fuente de señal es el equipo de soldadura y la captura y visualización se lleva a cabo de forma simultánea por el diseño propuesto y el osciloscopio Tektronix. La figura 3.5.2. muestra como se realizó el montaje real de la prueba.

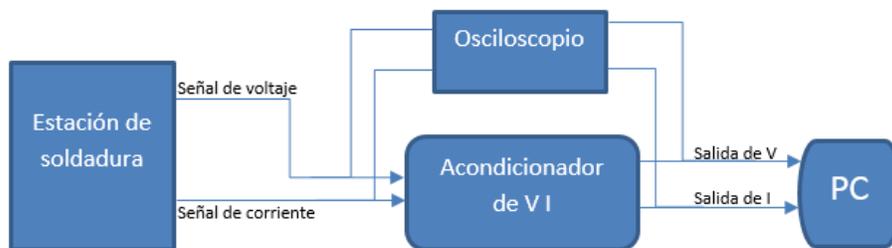


Figura 3.5.1. Diagrama de Bloques de la Prueba Dinámica.



Figura 3.5.2. Montaje de la Prueba Dinámica.

En la estación de soldadura descrita en [1] se procede a crear dos cordones de soldadura con varillas de soldar destinadas a propósitos investigativos. Durante ambos procesos se registraron las señales de voltaje y corriente como se observa en las figuras 3.5.3.



Figura 3.5.3. Proceso de registro de las señales de voltaje y corriente.

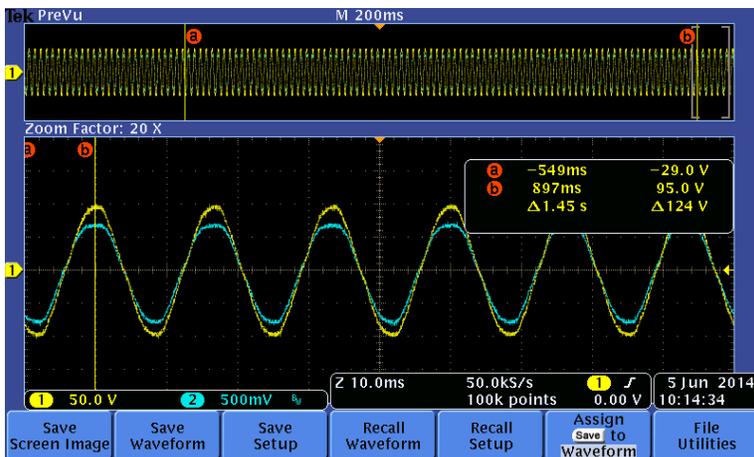


Figura 3.5.4. Captación de las señales de corriente con el osciloscopio.

Luego de la adquisición se procede al postprocesamiento con el filtrado de Wiener, en el mismo se utilizan segmentos de la señal de voltaje capturadas por ambas vías y se comprueba el resultado filtrando totalmente las señales con el filtro FIR resultante del proceso antes descrito, que aparece en las figuras 3.5.5., 3.5.6. y 3.5.7. respectivamente.

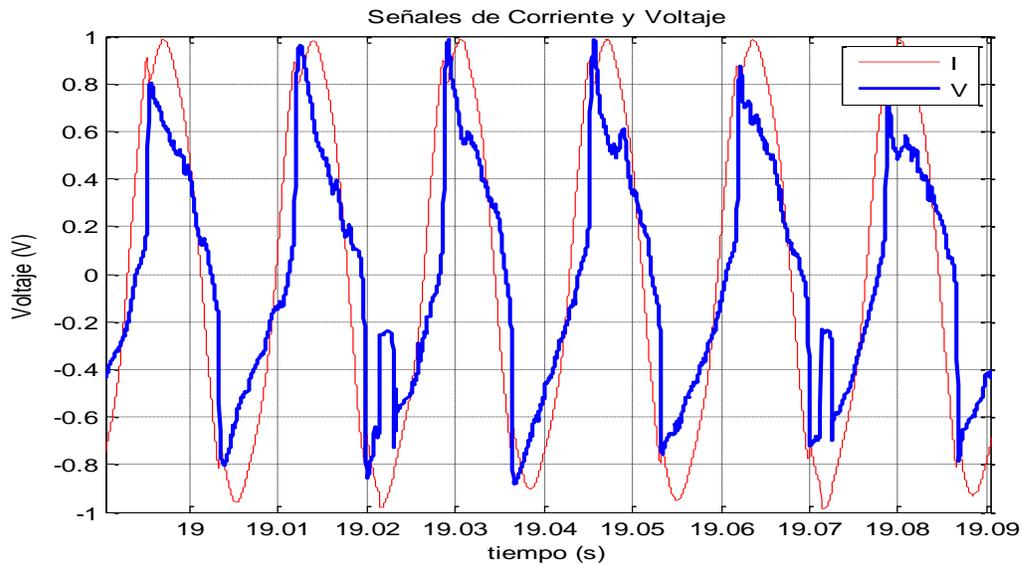


Figura 3.5.5. Señales capturadas con la tarjeta de audio.

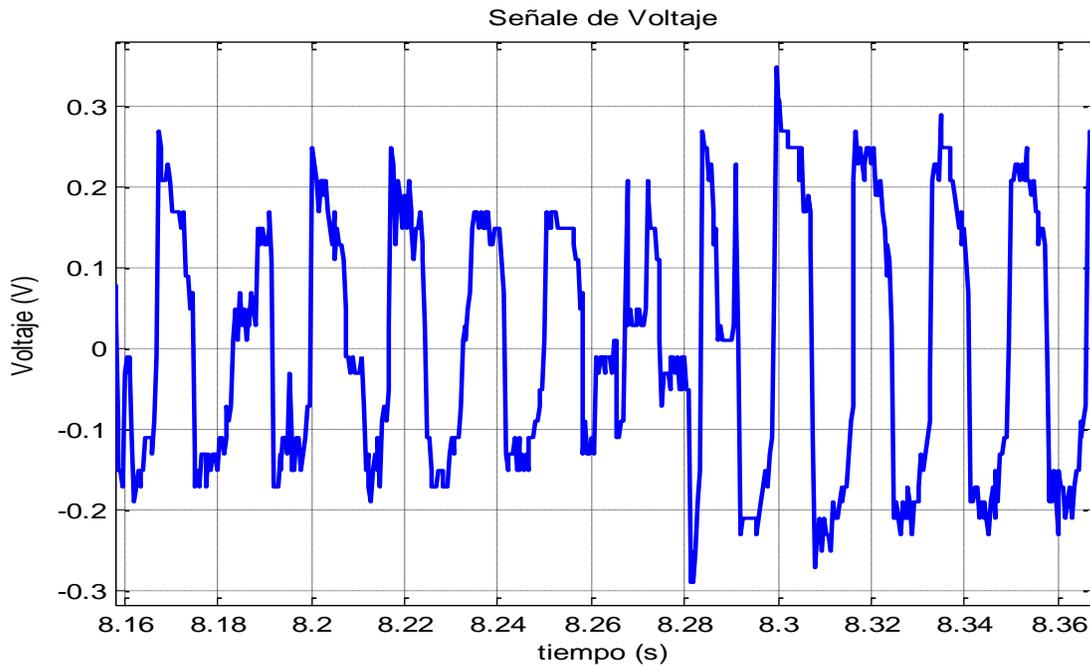


Figura 3.5.6. Señal de voltaje capturada con el Osciloscopio Tektronix.

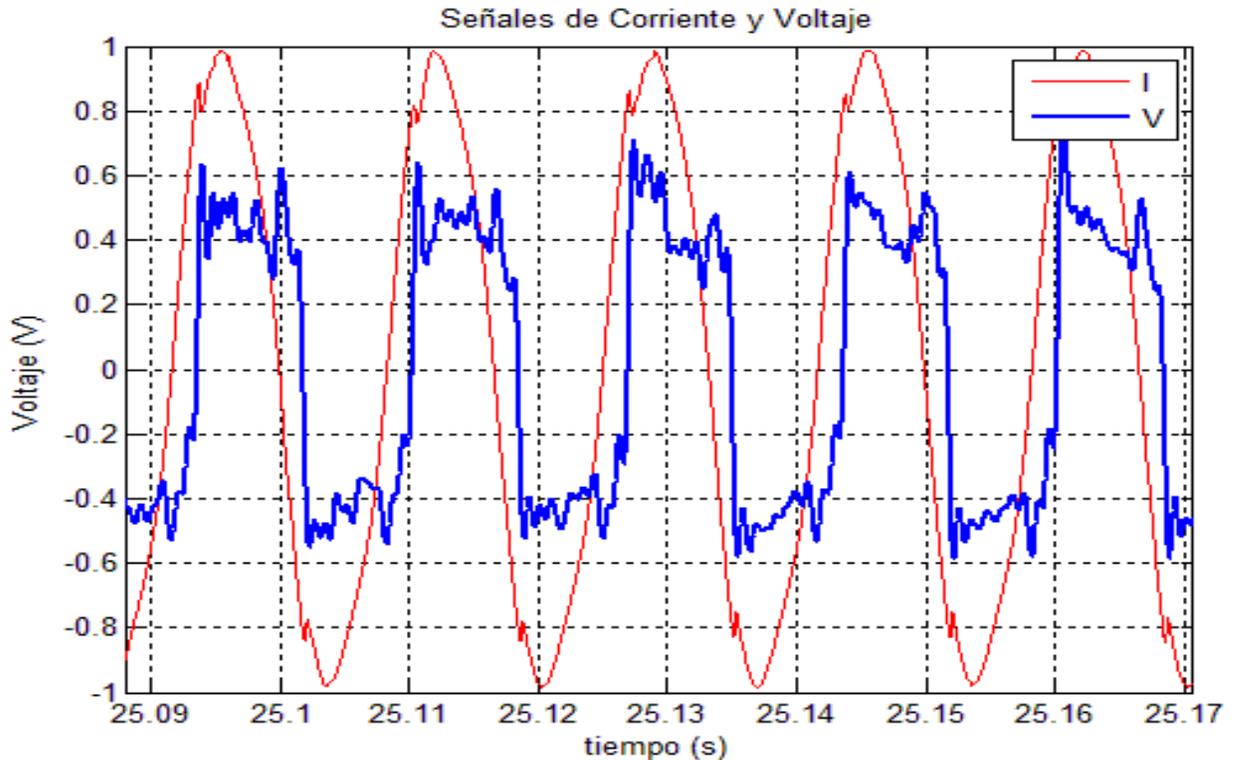


Figura 3.5.7. Señales procesadas.

### 3.6. Metodología propuesta

Como resultado final del presente trabajo se propone una metodología de captura descrita en los siguientes pasos:

- 1- Montar el acondicionador de Señales a la estación de soldadura.
- 2- Instalar el software "Soldadura" en la PC designada para la captura.
- 3- Conectar en paralelo a la salida del acondicionador un dispositivo de captura que permita obtener una referencia fiel de la señal (esto se debe realizar solo la primera vez que se monta la instalación, o en caso de cambiar la tarjeta de audio o el equipo de soldadura).
- 4- Capturar la señal durante el proceso de soldadura.
- 5- Aplicar a la señal obtenida por la tarjeta de audio el postprocesamiento con el filtrado de Wiener.

Con esta metodología y el dispositivo diseñado se ha podido obtener señales de voltaje y corriente durante el proceso de soldadura con alta calidad y resolución ( $F_s=44100\text{Hz}$  y 16

bits). Aunque esta propuesta muestra dependencia de otro dispositivo de digitalización para implementar el filtrado de Wiener.

### CONCLUSIONES GENERALES

1. Con el equipo creado se optimiza el número de recursos necesarios para la captación de datos en procesos de soldadura, abaratando el costo total de la instalación, permitiendo un mejor aprovechamiento de los recursos.
2. El equipo permite realizar estudios para la optimización de los procesos de soldadura en vías de la obtención de una mejor calidad de la unión soldada y por ende de las producciones realizadas.
3. Los datos obtenidos servirán para la realización de estudios sobre diversos aspectos relacionados con la soldadura, de interés tanto académico como científico e ingenieril, cuyos resultados servirán para el trabajo docente metodológico y para la industria nacional.

**RECOMENDACIONES**

1. Utilizar una tarjeta de captura de señal para obtener mejores resultados y eliminar la etapa de postprocesamiento.
2. Rediseñar el acondicionador de voltaje y corriente por medio de optoacopladores para mejorar el aislamiento entre la PC y la estación de soldadura.
3. Utilizar una etapa de modulación/demodulación para la captura de la señal.
4. Patentar el diseño propuesto en conjunto con la estación de soldadura propuesta en [1].

## BIBLIOGRAFÍA

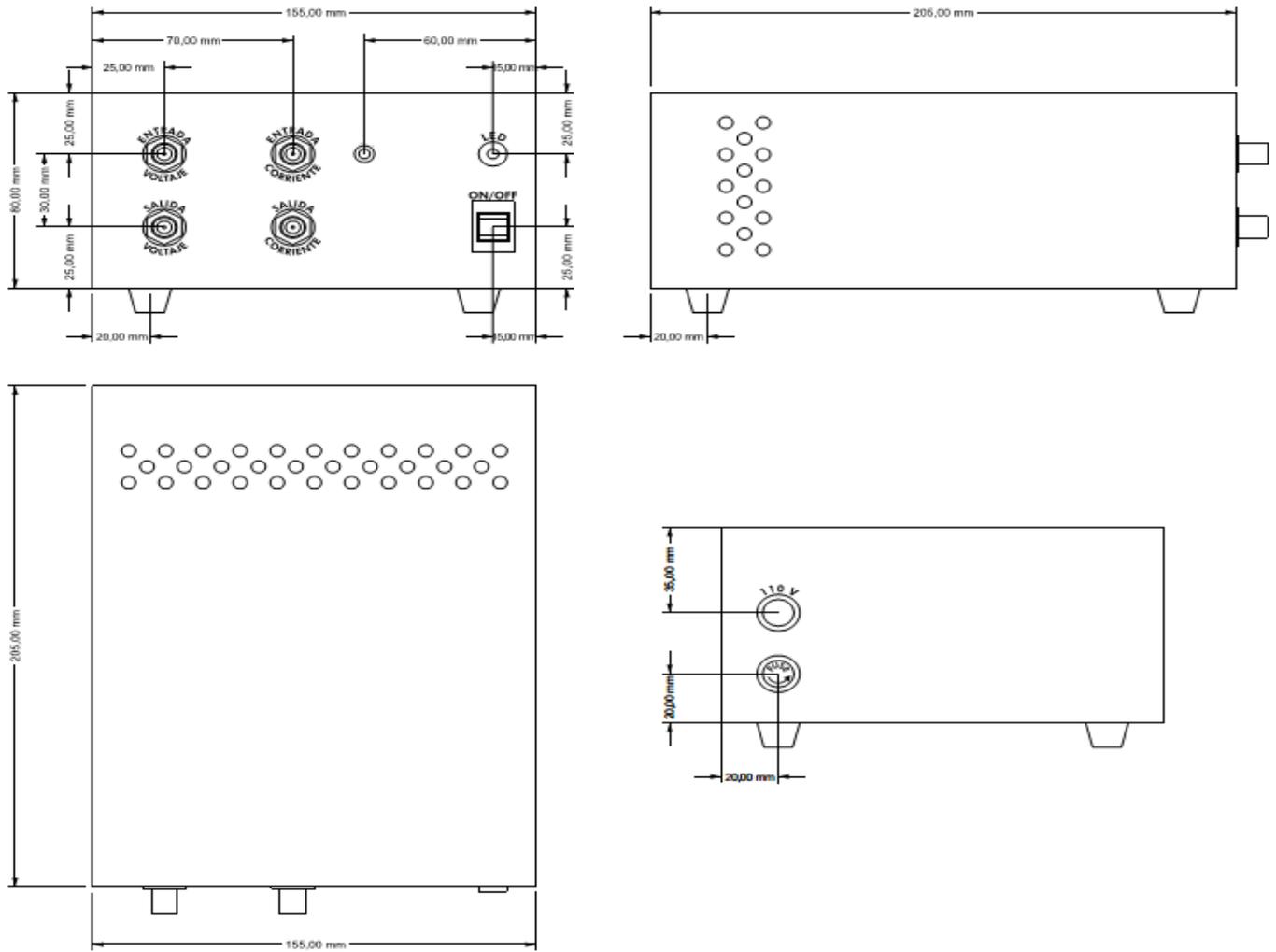
1. GARCÍA RODRÍGUEZ, A., *EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD ELÉCTRICA ESPECÍFICA DE ELECTRODOS REVESTIDOS* in *FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, CENTRO DE INVESTIGACIONES DE SOLDADURA*. 2010, UNIVERSIDAD CENTRAL “MARTA ABREU” DE LAS VILLAS: Santa Clara. p. 132.
2. Rissone NM, S.E., *Efecto de la composición de la escoria sobre la microestructura y propiedades del metal depositado por electrodos de tipo ANSI/AWS* in *Revista Soldadura*. 2005, E6013: Madrid. p. 14.
3. AWS, *Welder Health and Safety Guide*. 2003, AWS.
4. H., B., *Certificate of Conformance to Requeriments for Welding Electrode*. 2005.
5. Osenir VS, T.M., *Efeito do gas de protecao sobre o teor de fumos em processos de soldagem ao arco eléctrico*. 2003, 2nd COBEF. Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricacao: Uberlandia, Brazil.
6. R. A. FEDELE, J.D.M.D., S. DUARTE BRANDI, *Influencia de los parámetros de soldadura por electrodo revestido en la transferencia de elementos químicos*. Soldagem and (&) Inspecao, 2002.
7. Chicala, C., *Adquisición de Datos*. Medir para conocer y controlar, 2004.
8. RAMÍREZ, J. (2003) *Soldadura por Arco Manual con Electrodos Revestidos*. 15.
9. Lopez, E.e.a., *Metodología de diseño de fuentes de soldadura por arco eléctrico*, in *Ingenierías*. 2000.
10. León Reyes, J.E., *Estudios de operatividad de electrodos revestidos*, in *Facultad de Ingeniería Mecánica*. 2013, Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas. p. 77.
11. Rissone NMR, F.J.P., BOTT IS, Surian ES, *Rutile electrodes: The effect of calcite.*, in *Welding Journal*. 2002, ANS/AWS p. 124.
12. Cruz-Crespo A, S.A., *Operational behaviour assesment of coated tubular electrodes for SMAW hardfacing*. Journal of Materials Processing Technology, 2008: p. 273.
13. N. M. R Rissone, E.S.S., L. A. Vedia., *Effect of slag variations on ANSI/AWS A5.1-91 E6013 electrode properties: replacement of TiO<sub>2</sub> in electrode coating with MnO, FeO, CaO, MgO, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O*. . Science and Technologic of Welding and Joining, 2001.
14. C., W.-H., *Automatización SMAW mediante control Fuzzy para controlador PID con ganancia programada* 2004.
15. PONOMAREV, V., *Arc Welding Process Statistical Analysis*.

16. Farias JP, S.A., Surian E, *The effect of wollastonite on operational characteristics of AWS E6013 electrodes*. . Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 2004. **26**: p. 17.
17. *Tecnología Mecánica y Formación*. Fundamentos de la Soldadura por Arco Eléctrico.
18. CARY, H.B., *Modern Welding Technology* 3era ed. 1996.
19. Schellhase, M., *Der Schweißlichtbogen-ein technologisches Werkzeug.*, in *Técnica de Berlín*. 1985: Berlín.
20. Levi, M. *Breve historia de la Soldadura Eléctrica*.
21. Helfrick, A.D., W.D. Cooper, and D.P. Gutierrez, *Instrumentación electrónica moderna y técnicas de medición*. 1991: Prentice-Hall Hispanoamericana.
22. JF., L., *The physics of welding*. 2da ed. 1986: International Institute of Welding.
23. *Enciclopedia Libre*, in *KIWIX*. 2014.
24. Boylestad, R.L. and L. Nashelsky, *Electrónica: teoría de circuitos y dispositivos electrónicos*. 2003: Pearson Educación.
25. de Electrónica, F., *Aislamiento galvánico*. 2014.
26. Devices, A., *Inc. AD620 Datasheet*. 1999, SI]: Analog Devict-s, Inc.
27. *Tarjeta de adquisición de datos*. 18 de junio de 2014]; Available from: <http://labjack.com/u3>.
28. Gill, S., *Experimentos de Física*. 2011. p. 158.
29. Frolov, V., *Teoría de los procesos de soldadura*. 1989, Moscú: E. Superior.
30. Monroy, P.F.P. and P. FRANCISCO, *Desarrollo de un sistema de medición de variables Eléctricas para un Sistema de baja tensión tipo industrial*. 2006, Tesis que para obtener el grado de Maestro en Ciencias.
31. Monteagudo, F.E.L., J.L.P. Gallardo, and M.E.G. Elías, *Supervisión, Diseño y Construcción de Fuentes de Soldadura mediante el Monitoreo de los Parámetros del Arco*.
32. INSTRUMENTS, N., *The measurement and automation catalog*. 2001.
33. LabVIEW, L.w. 1999, R. BISHOP.
34. *Osciloscopios de fósforos digitales*, serie DPO 300. .
35. *Aplicaciones Académicas ¿Dónde se usa NI Multisim?* 27 de nayo de 2014]; Available from: <http://www.ni.com/multisim/esa/>.
36. *W005 - W10*, TAIWAN SEMICONDUCTOR.
37. Number, P., *LM78XX/LM78XXA*.
38. Number, P., *KA79XX/KA79XXA/LM79XX*.

39. Millman, J., *Microelectronics", Digital and Analog Circuits and Systems*. 2001.
40. G., T.W.J.a.J., *Websters, Interfacing Sensors to the IBM PC*. 1998: Englewood cliffs N.J:Prentice Hall.
41. Salas, R., J. Pérez, and J. Ramírez, *Técnicas de diseño, desarrollo y montaje de circuitos impresos*. 2007, Universidad de los Andes. Venezuela.
42. Benesty, J., J. Chen, and Y. Huang, *Microphone array signal processing*. 2008: Springer.
43. Scharf, L.L., *Statistical signal processing*. Vol. 98. 1991: Addison-Wesley Reading, MA.

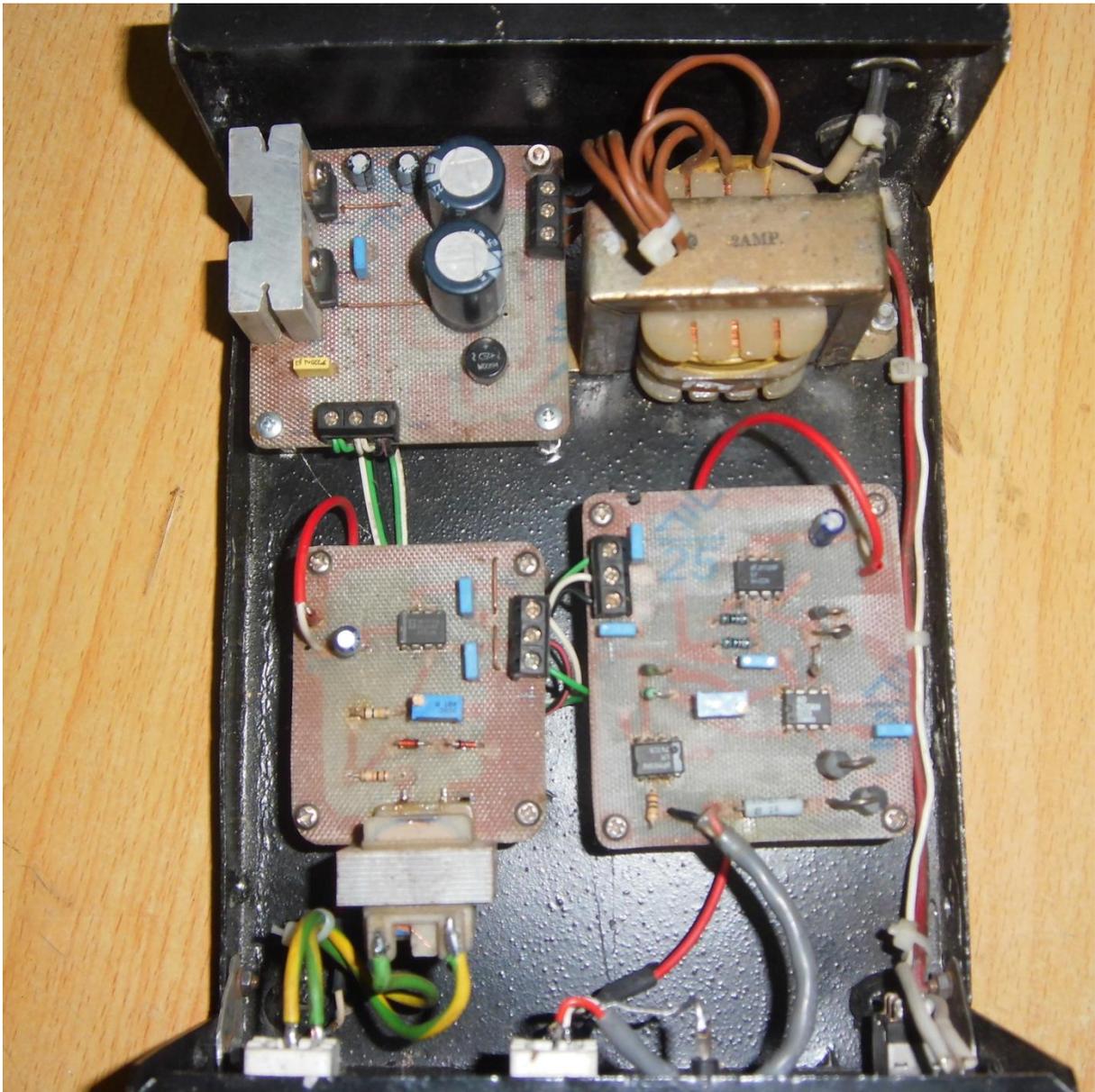
ANEXOS

Anexo 1: Acotado de la carcasa del acondicionador de voltaje y corriente



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2: Acondicionador de voltaje y corriente



Fuente: Elaboración propia.

**Anexo 3: Aval de certificación de impacto**

UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE SOLDADURA (CIS)

Santa Clara, Junio 20, 2014.  
"Año del 56 Aniversario de la Revolución"

A quien pueda interesar:

Hago constar que el canal de adquisición para estudios de los parámetros de corriente y voltaje del proceso de soldadura, desarrollado en el Trabajo de Diploma Acondicionador de Voltaje y Corriente de Soldadura, ha sido debidamente probado obteniéndose excelentes resultados que lo avalan para ser utilizado en estudios del comportamiento eléctrico específico de consumibles y procesos de soldadura con vistas a su optimización, la detección de defectos y la detección de parámetros más robustos para el control automático de los procesos.

Los resultados de esta investigación tienen como usuario principal al Centro de Investigaciones de Soldadura (CIS) de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Este proyecto contribuye enormemente en la creación de la base técnico material para la investigación resolviendo una necesidad vital para garantizar un adecuado proceso de digitalización de las señales del arco de soldadura con la ayuda de una computadora personal. A partir de este logro será posible obtener resultados superiores en el proceso de investigación y alcanzar otras metas en el desarrollo de esta importante temática.

Para que así conste, firmo la presente a los 20 días de Junio de 2014.

Dr. Juan Alberto Pozo Morejón

Director Centro de Investigaciones de Soldadura (CIS)  
Facultad de Ingeniería Mecánica.

Firma:

