

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

"Diseño y construcción de un sistema de medición de tiempos de arco para equipos de soldadura"

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Adriano Arenas Mortola

Glenn Adrián Maldonado Vélez

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2018

AGRADECIMIENTOS

Mi más profundo agradecimiento a mis padres Ricardo e Yvonne y mis tíos Joffre y Caty, que gracias a su amor, paciencia y apoyo incondicional me han permitido culminar esta etapa.

Adriano Arenas Mortola

Mi más sincero agradecimiento sincero a mis familiares, especialmente a mi madre y amigos que siempre me apoyaron a lo largo de esta etapa universitaria.

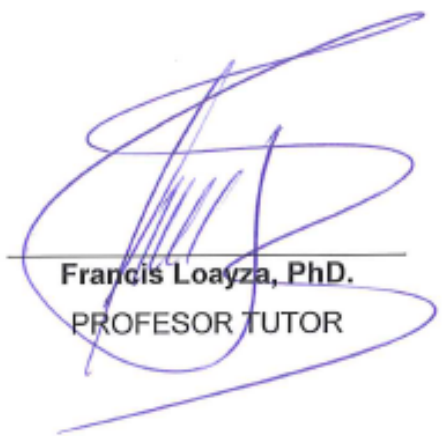
Glenn Adrián Maldonado Vélez

A Francis Loayza, PhD, Ing. Paul Ajila e Ing. Luis Brito (FIVAR S.A.) por guiarnos en la realización de este proyecto por medio de su tiempo, colaboración e instalaciones.

EVALUADORES



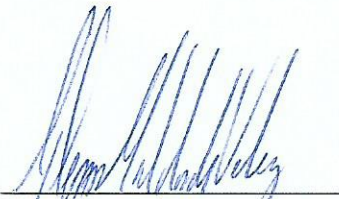
Francis Loayza, PhD.
PROFESOR DE LA
MATERIA



Francis Loayza, PhD.
PROFESOR TUTOR

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Glenn Adrián Maldonado Vélez* y *Adriano Arenas Mortola* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Glenn Adrián
Maldonado Vélez



Adriano Arenas Mórtoła

RESUMEN

La industria metalmecánica representa el 12% de PIB del sector manufacturero y el 1,8% del PIB ecuatoriano, aproximadamente 8020 empresas se dedican a esta actividad. Gran parte de máquinas de soldar de diferentes tipos a nivel nacional, no cuentan con un sistema capaz de registrar, analizar y mostrar parámetros importantes relacionadas a soldadura. Se diseñó un equipo cuya principal función es medir los tiempos de arco de soldadura, con las particularidades de que no tengan afectación sobre la máquina de soldar durante el funcionamiento y económico en relación con los equipos ya existentes. Para la realización del equipo se usó principalmente una tarjeta de Arduino, un módulo de Micro SD, un módulo de reloj y componentes electrónicos para realizar las conexiones. Se desarrolló una interfaz con el uso de Python con la finalidad de visualizar los resultados obtenidos en el computador. Se realizaron 3 diferentes pruebas usando una máquina de soldar tipo MIG (IdealARC CV 305) para corroborar el desempeño del equipo de medición de tiempos de arco de soldadura; las pruebas tenían como fin establecer relación entre la altura de antorcha y la calidad del cordón, consumo energético y eficiencia del trabajo. A partir de las pruebas; se conoce que ante una cercanía mayor de la antorcha con la sección metálica el consumo energético incrementa, el aumento de velocidad de deposición de alambre de 100 [in/min] influye en la disminución de consumo energético en un promedio de 25,25 [W-h] para la ejecución de cordón de igual longitud. La calidad del cordón de soldadura se puede relacionar con la desviación estándar de cada experimento realizado.

Palabras Clave: Metalmecánica, PIB, Soldadura.

ABSTRACT

The metal mechanic industry represents 12% of GDP of the manufacturing sector and 1,8% of the Ecuadorian GDP, approximately 8020 companies are dedicated to this activity. Locally, many kinds of welding machines are commercialized but these don't have a system capable of registering, analyzing and displaying important parameters related to welding. The device was designed whose main feature is to measure welding arc times, with the features of no effect on the welding machine during operation and economic related to existing devices. For the realization of the device, an Arduino card, a Micro SD module, a clock module and electronic components were used to make the connections. An interface was developed by using the open source programming software Python to visualize the results obtained in the computer. Three different tests were performed using a MIG welding machine (IdealARC CV 305) to corroborate the performance of the welding arc times measurement equipment; the main purpose of the test realized was to establish a relationship between torch height and the welding cord quality, energy consumption and work efficiency. From the test, it is known that when the torch is closer to the metal section the energy consumption increases. Also, the increase in the speed of the wire deposition of 100 [in/min] influences the decrease in the energy consumption by an average of 25,25 [W-h] for the execution of the welding cord of equal length. The quality of the welding is related to the standard deviation of the data for each experiment realized.

Keywords: Metal – mechanic, GPB, Welding.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Descripción del problema.....	1
1.2. Justificación del proyecto	2
1.3. Objetivos.....	2
1.3.1. Objetivo General.....	2
1.3.2. Objetivos Específicos	3
1.4. Marco teórico	3
1.4.1. Procesos de Soldadura	3
1.4.2. Soldadura de Arco.....	5
1.4.3. Salud en operadores de soldadura.....	6
2. METODOLOGÍA.....	9
2.1. Requerimientos y restricciones de diseño	10
2.2. Alternativas de Diseño	11
2.2.1. Etapas del Diseño	11
2.3. Selección de Alternativas Propuestas.....	16
2.3.1. Matriz de Decisión para Ubicación del Sensor	17
2.3.2. Matriz de Decisión para el Tipo de Sensor de Corriente.	18
2.4. Diseño del Equipo de Medición de Arco de Soldadura	19
2.5. Diseño de Detallado.....	20

2.5.1.	Selección del sensor	21
2.5.2.	Diseño del Equipo para Separación de Fases.....	22
2.5.3.	Acondicionamiento de Señal	25
2.5.4	Diagrama de Flujo del Funcionamiento del Equipo de Medición	28
2.5.5	Diagrama de Flujo de la Interfaz del Programa	30
2.6.	Pruebas para la Estimación de Parámetros de Soldadura.	32
2.6.1.	Pruebas del Equipo de Medición de Tiempos de Arco de Soldadura	33
3.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	37
3.1.	Diseño Final del Equipo de Medición de Arco de Tiempos de Arco	37
3.1.1.	Resultado del Microcontrolador	37
3.1.2.	Resultado de Equipo para Separación de Fases.....	40
3.2.	Resultado de Equipo de Recolección de Datos	40
3.3.	Costo de Dispositivo para Medición de Arco de Soldadura	53
3.4.	Resultado de Programa para Visualización de la Datos	55
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
4.1.	Conclusiones	58
4.2.	Recomendaciones	59

BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICES

ABREVIATURAS

PIB	Producto Interno Bruto
ANSI	American National Standard Institute
AWS	American Welding Society
USD	United Stated Dollars
AW	Soldadura con Arco
RW	Soldadura por Resistencia
OFW	Soldadura con Oxigeno y Gas Combustible
SMAW	Soldadura con Arco de Metal Protegido
GMAW/MIG	Soldadura con Arco de Metal y Gas
FCAW	Soldadura con Arco de núcleo Fundente
GTAW/TIG	Soldadura con Arco de Tungsteno y Gas
COPD	Obstrucción Pulmonaria Crónica
TWA	Tiempo de Soldadura Promedio
PEL	Límite Permisible de Emisión
NIOSH	Instituto Nacional de Seguridad Ocupacional
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
AWG	American Wire Gauge
IEC	International Electrotechnical Commission

SIMBOLOGÍA

Fe	Hierro
Cr	Cromo
Mn	Manganeso
Ni	Níquel
R_B	Resistencia Bourden
V_{pico}	Voltaje Pico
V_{out}	Voltaje de Salida
\bar{x}	Media Aritmética
s	Desviación Estándar
mg	Milígramo
m^3	Metro Cubico
mm^2	Milímetro cuadrado
gr	Gramo
A	Amperio
mA	Milíamperio
V	Voltaje
in	Pulgada
s	Segundo
W-h	Watt – Hora
k Ω	Kilo – Ohmio
Calif.	Calificación

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1. Participación mundial de procesos de soldadura.....	3
Figura 2. 1. Metodología empleada para el desarrollo del proyecto.....	9
Figura 2. 2. Configuración de circuito con el método resistivo.....	13
Figura 2. 3. Circuito de un transformador de corriente ideal.....	14
Figura 2. 4. Arreglo de la bobina y el integrador de señal.....	14
Figura 2. 5. Efecto de Hall con un campo magnético presente.....	15
Figura 2. 6. Modelo de transistor $R_{DS(ON)}$	15
Figura 2. 7. Modelado de sensor de corriente MOSFET.....	16
Figura 2. 8. Diseño Conceptual de Sistema de Adquisición de Datos.....	19
Figura 2. 9. Maquina Soldadora Lincoln Electric – IDEALAR 350 (MIG).....	21
Figura 2. 10. Diseño para equipo de adquisición de datos.....	22
Figura 2. 11. Elementos de bornera eléctrica.....	23
Figura 2. 12. Vista de sección de borneras.....	24
Figura 2. 13. Diagrama eléctrico de equipo.....	24
Figura 2. 14. Rango ideal.....	25
Figura 2. 15. Rango con la resistencia Burden.....	26
Figura 2. 16. Divisor de Voltaje.....	26
Figura 2. 17. Rango con la resistencia Burden y divisor de voltaje.....	27
Figura 2. 18. Circuito de acondicionamiento de señal.....	27
Figura 2. 19. Equivalencia final del sistema.....	28
Figura 2. 20. Diagrama de bloques del algoritmo del Arduino.....	29
Figura 2. 21. Proceso de funcionamiento del programa.....	30
Figura 2. 22. Alimentador Lincoln Electric LF – 74.....	33
Figura 2. 23. Tortuga usada para experimento.....	34
Figura 2. 24. Tortuga del taller de FIVAR S.A.....	34
Figura 2. 25. Soldadura de bridas en FIVAR S.A.....	36
Figura 3. 1. Elementos del sistema de adquisición de soldadura.....	37
Figura 3. 2. Esquema eléctrico de sistema de adquisición de datos.....	38
Figura 3. 3. Componentes de equipo de medición de tiempos de arco.....	38
Figura 3. 4. Cero ruidos generados solo con el sensor.....	39
Figura 3. 5. Ruido generado al agregar el código para la tarjeta SD y el RTC.....	39

Figura 3. 6. Resultado equipo de separación de líneas de corriente trifásica.....	40
Figura 3. 7. Resultado de experimento #1 (H = ½ [in]).....	41
Figura 3. 8. Resultado de experimento #2 (H = ¾ [in]).....	41
Figura 3. 9. Resultado de experimento #3 (H = ¼ [in]).....	42
Figura 3. 10. Cordones realizados en la prueba.....	42
Figura 3. 11. Flexión de la sección después de la primera prueba.....	43
Figura 3. 12. Grafica global de Prueba #1.....	43
Figura 3. 13. Resultado de experimento #1.....	44
Figura 3. 14. Resultado de experimento #2.....	45
Figura 3. 15. Resultado de experimento #3.....	45
Figura 3. 16. Resultado de experimento #4.....	46
Figura 3. 17. Cordones de soldadura realizado por soldador.....	46
Figura 3. 18. Gráfica global de Prueba #2.....	47
Figura 3. 19. Medias y desviaciones de datos para cada experimento.....	47
Figura 3. 20. Relación energía – material consumido.....	49
Figura 3. 21. Trabajo total de unión de brida.....	49
Figura 3. 22. Primera parte de prueba #1.....	50
Figura 3. 23. Segunda parte de prueba #2.....	50
Figura 3. 24. Tercera parte de prueba #3.....	51
Figura 3. 25. Análisis de las varianzas y promedios.....	51
Figura 3. 26. Cordón resultante para la unión de la brida.....	52
Figura 3. 27. Trabajo parcial de unión de bridas.....	53
Figura 3. 28. Interfaz inicial del programa.....	55
Figura 3. 29. Ingreso de tiempos a visualizar y selección de archivo.....	55
Figura 3. 30. Visualización de la data.....	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1. Límite de exposición a gases de soldadura.....	7
Tabla 1. 2. Criterios de calificación de riesgo sobre la salud y concentración.....	8
Tabla 2. 1. Métodos comunes de medición de corriente y características.....	12
Tabla 2. 2: Matriz de selección de ubicación del sensor.....	17
Tabla 2. 3. Matriz de decisión del sensor de corriente.....	19
Tabla 2. 4. Especificaciones técnicas – IDEALARC CV 305.....	20
Tabla 2. 5. Características de transformadores de corrientes.....	21
Tabla 2. 6. NEC 2011 – Tabla 310.15 (B)(17).....	23
Tabla 2. 7. Especificaciones técnicas de borneras.....	24
Tabla 2. 8. Variables correspondientes a cada experimento.....	35
Tabla 3. 1. Resultados obtenidos de prueba #2.....	48
Tabla 3. 2. Relación energía – material consumido.....	48
Tabla 3. 3. Lista de Materiales.....	54

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

La industria metalmecánica abarca aquellas actividades relacionadas a la elaboración, restauración, unión como resultante de un procesado de elementos ferrosos y no ferrosos que sirven como materia prima (Wash & Cormier, 2006). En el Ecuador, existen alrededor de 8.020 empresas que van entre micros, pequeñas, medianas y grandes que generan empleo 23600 directos y más de 50000 indirectos (Varela , King, & Cadena, 2012); las cuales hacen uso de tecnologías para diseñar, manufacturar y comercializar productos metálicos necesarios para maquinaria, automotores, equipos quirúrgicos, piezas terminadas, entre otros. De acuerdo con la Federación Ecuatoriana de Industrias del Metal, el sector de metalmecánica representa el 12% del PIB de toda la industria manufacturera y 1,8% del PIB nacional, con una producción anual que supera los 2,1 millones de toneladas con productos en áreas de agroindustria, industria manufacturera, generación y transmisión de energía (ProEcuador, 2017). Los procesos de soldadura y sus aplicaciones van de la mano con la industria metalmecánica por lo que impacta y se puede identificar en la dinámica del sector. A nivel mundial, los sectores en donde los procesos de soldaduras tienen mayor participación son: automotriz, industria general, construcción, procesos industriales y aeroespacial. Localmente, en los procesos de soldadura aún prevalecen las tecnologías tradicionales e implementaciones de nuevas tecnologías relacionadas a la soldadura siguen siendo baja, en el sector existe la necesidad de implementar herramientas tecnológicas que tengan la capacidad de poder adquirir, registrar y mostrar información relevante en la productividad, costos operacionales, seguridad del operador en soldadura y registro de tiempos de arco. (Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA, 2012).

1.1. Descripción del problema

Actualmente, las maquinas soldadoras electrógenas son sistemas autónomos que conectados a la alimentación eléctrica permiten al operador realizar procesos de soldadura. Sin embargo, la gran mayoría de estos equipos no cuentan con sistemas de registro de tiempos de arco utilizados y energía consumida, que permitiría tener un mayor control sobre el proceso y el operador. Estos registros son útiles para cálculos de tiempo de exposición al arco por parte del operario, tasas de deposición

de material de aporte, cantidad de gas utilizado, costos de soldadura, productividad del soldador, calidad de la soldadura y energía utilizada. El conocimiento de estas variables no solo permite la correcta administración del proyecto, si no también conocer información de la productividad de la plantilla de operarios, importante para la optimización de costos de y calidad de la soldadura. Además, de realizar un seguimiento a parámetros importantes en la producción de soldadura también es de suma importancia conocer el tiempo de exposición del soldador con los gases de soldadura dado que estos gases tienen afectaciones sobre la salud.

1.2. Justificación del proyecto

La presencia de procesos de soldadura dentro de la industria metalmecánica es muy considerable debido a las diversas aplicaciones que se le puede dar. Durante las realizaciones de labores de soldadura, los operadores de soldadura se encuentran expuestos a factores que pueden causar un perjuicio a la salud. De acuerdo con la norma ANSI Z49.1:2012 de la AWS, que trata acerca de la seguridad en soldadura, corte y procesos a fines, el operador en soldadura se encuentra expuesto a radiación, exposición de gases contaminantes, ruidos, afectación visual, altas temperaturas (American National Standard Institute, 2012). Las industrias que realizan procesos de soldadura deben tener en consideración la salud y seguridad de soldadores; y además de tener un mayor control en la productividad de soldadura. Actualmente, ya existen en el mercado dispositivos tecnológicos capaces de adquirir, analizar y mostrar parámetros de soldadura por medio de un software. En la industria local, estos dispositivos son pocamente aplicadas debido a la incapacidad del manejo de tecnologías, precios elevados que van por encima de los 1000 USD y que son diseñados para que solo puedan ser capaces de funcionar con equipos de soldadura provenientes del mismo fabricante. (Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA, 2012, págs. 57 - 70).

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Desarrollar un sistema económico de medición y recolección de datos del tiempo de arco para procesos de soldadura. El sistema estará compuesto por un hardware para la recolección de datos y un software para el análisis de estos.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Desarrollo y construcción del sistema basado en dispositivos electrónicos de bajo costo.
- Integración del sistema con sensores y las máquinas soldadoras.
- Desarrollo de la aplicación para el análisis de los datos.

1.4. Marco teórico

1.4.1. Procesos de Soldadura

El proceso de soldadura es la forma más económica y eficiente de unir materiales metálicos de manera permanente, permite la unión de 2 o más elementos distintos por medio de aplicación de calor, presión o ambas (AWS, 2015). Las aplicaciones de técnicas en soldadura se encuentran relacionadas en gran parte de elementos usados por el ser humano a diario como edificaciones, medios de transportes, entre otros. La aplicabilidad de la soldadura es amplia, de aquí la importancia que tiene en la economía. Alrededor de los 50% de productos usados por el ser humano se encuentran relacionados directa o indirectamente con algún proceso de soldadura. (Cary, 1998). En la Figura 1. Se muestra la distribución de los procesos de soldadura en diferentes sectores a nivel mundial.

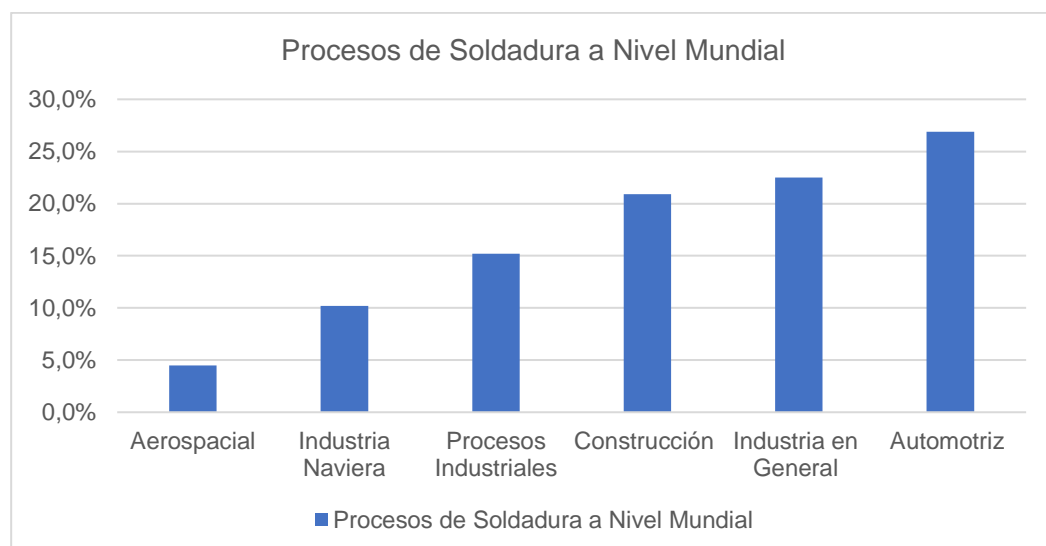


Figura 1. 1. Participación mundial de procesos de soldadura

Fuente: (Frost & Sullivan, 2012)

1.4.1.1. Tecnología en Procesos de Soldadura

Para el 2020, se prevé que los procesos de soldadura estén involucrados con rigurosos análisis ingenieriles, modelado numérico, y el mapeo de información tecnológica. El manejo de estos factores será importante en los mercados debido a los beneficios económicos y aumento de productividad (AWS, 2015). Las tendencias actuales en el sector requieren la introducción de nuevas metodologías que ofrezcan a las empresas una capacidad de gestión, interacción entre recursos tecnológicos y recursos humanos, que den como resultado un crecimiento productivo eficiente y aumento de competitividad de las organizaciones (Quezada Torres, Hernández Perez , & Quezada Moreno, 2017).

1.4.1.2. Monitoreo de Soldadura

El propósito de realizar un monitoreo en la ejecución de soldadura es tener un control cuantitativo y seguridad del operador. Adicionalmente, el monitoreo de soldadura es llevado mediante un registro y almacenamientos de datos con el fin de detectar o chequear longitudes de tiempo de arco que sirve como parámetro para medir la productividad y exposición de operador de soldadura a factores nocivos hacia la salud como consecuencia del proceso de soldadura; también el monitoreo es realizado con el fin de establecer reglas de negocios y medidas económicas que se encuentren relacionadas al proceso de producción. Los factores relacionados al proceso de soldadura varían de manera dinámica, la calidad de la junta soldada está relacionada a la corriente del arco, voltaje, entre otros. Existen casos donde la calidad de la soldadura influye en la vida útil de un producto o seguridad de las personas. El monitoreo de soldadura se puede hacer en 2 niveles, el primero se basa en la medición de corriente, voltaje, velocidad de depósito, flujo de gas inerte; el segundo se basa en la geometría de la soldadura (Kah & Layus, 2014). Fabricantes que cuentan con tecnologías en monitoreo de soldadura afirman que existen beneficios en productividad, calidad, gestión de trazabilidad de piezas y reducción de costos de soldadura (Lincoln Electric , 2017).

1.4.1.3. Tipos de Procesos de Soldadura

Los procesos de soldadura se pueden clasificar en dos grupos primarios: Soldadura por fusión y soldadura de estado sólido.

La soldadura de fusión se caracteriza de la aplicación de calor para provocar la fundición del metal base; en la mayoría de las operaciones se usa un metal de relleno para realizar el proceso y ofrecer volumen y resistencia a la junta soldada. Dentro de los tipos de soldadura por fusión de encuentran (Groover, 2007):

- Soldadura con arco (AW): Proceso donde calentamiento de metales se obtiene por medio de un arco eléctrico.
- Soldadura por resistencia (RW): Se obtiene la fusión a partir del calentamiento de una resistencia eléctrica.
- Soldadura con oxígeno y gas combustible (OFW): Se hace uso de un gas de oxígeno combustible para producción de flama que sirve para fundir metal base y metal de relleno.

1.4.2. Soldadura de Arco

Proceso de soldadura por fusión donde la fundición de metal se hace a partir del calor generado del arco eléctrico entre un electrodo y pieza de trabajo. Dentro de los aspectos importantes de soldadura del arco se encuentra la calidad de junta soldada y la productividad, la cual es medida a partir del tiempo de arco. El tiempo de arco es la proporción de horas trabajadas en las que se realiza soldadura de arco. Dentro de los procesos más importantes se encuentran (Lincoln Tech, 2014):

- Soldadura con arco de metal protegido (SMAW): Proceso que usa electrodo consumible que consiste en una varilla metálica que sirve de relleno recubierta de materiales químicos que cumplen con la función de fundente y protección.
- Soldadura con arco de metal y gas (GMAW/MIG): Proceso donde electrodo es un alambre consumible y la protección se da por medio de inundación de arco eléctrico con gas.
- Soldadura con arco de núcleo fundente (FCAW): Proceso donde electrodo es un tubo consumible compuesto de material fundente, desoxidantes y aleantes en su núcleo.
- Soldadura con arco de tungsteno y gas (GTAW/TIG): Proceso que hace uso de consumible de tungsteno no consumible y gas inerte para protección de arco.

El uso de dispositivos para el monitoreo de soldadura desarrolladas por diferentes fabricantes puede ser usada en cualquiera de los tipos de soldadura mencionados. En los procesos de soldadura donde existe mayor desarrollo de tecnologías para el

control de soldadura son SMAW, MIG y TIG. Donde se ha visto una mejora en el aumento de productividad, en costos operacionales y en la calidad de soldadura.

1.4.3. Salud en operadores de soldadura

Se estima que en el mundo alrededor de 3 millones de personas tienen como ocupación principal la realización de soldadura y muchas más donde procesos de soldadura son parte de las actividades cotidianas (Husgafvel-Pursiainen & Siemiatycki, 2009). Los operadores en soldadura se encuentran expuestos a muchos peligros ocupacionales como polvo, fluoruro, óxidos nitrosos, monóxido de carbono, ruidos, radiación ultravioleta durante la soldadura. La exposición constante puede tener riesgos para la salud como neumoconiosis, envenenamiento, daños auditivos (Jingxiang, Wuzhong, Wei, Jiaming, & Zisheng, 2014). Durante los procesos de soldadura se liberan gases que, de acuerdo con el tipo de soldadura la composición de estos cambia por factores relacionados al tipo de electrodo, material de relleno, material base y gases para protección del arco. Los principales componentes de estos gases son metales como hierro (Fe), cromo (Cr), manganeso (Mn) y Níquel (Ni); además de gases como monóxido de carbono, ozono, óxido nitroso. Los gases de soldadura se encuentran clasificados en el grupo 2B de agentes cancerígenos hacia los humanos por parte de la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (Ricelli, Goldini, & Andreoli, 2018). Dentro de los riesgos a la salud más comunes relacionadas a inhalación de gases de soldadura se encuentran (Health and Safety Executive, 2015):

- Obstrucción pulmonaria crónica (COPD).
- Cáncer.
- Neumonía.
- Disminución de capacidad pulmonar.
- Asma ocupacional.

Formalmente, no existe una valoración de tiempo de exposición hacia los gases generados en procesos de soldadura. Organizaciones dedicadas a resguardar la salud de operadores en soldadura han realizado tabulaciones de exposición que se basan en concentraciones de polución en $[mg/m^3]$ y tiempo promedio ponderado de 8 horas (TWA).

Tabla 1. 1. Límite de exposición a gases de soldadura

Organización	Límite de Exposición [mg/m³]
NIOSH REL	1,0 – 3,0
OSHA PEL	5,0
ACGIH TLV	0,02

Fuente: (NIOSH, 2018)

Las concentraciones de gases de soldadura han sido ponderadas por medio de una función lineal segmentada, que se conoce como función escalón; fueron 15 los metales considerados dentro de las concentraciones y son: aluminio, antimonio, berilio, cadmio, cromo, cobalto, cobre, hierro, plomo, manganeso, molibdeno, níquel, plata y estaño. Tomando como referencia el PEL, por sus siglas en inglés y se define como el límite permisible de emisión. Los gases de soldadura cuya concentración se encuentre por debajo del 5% de la línea referencial se considera una dosis moderadamente seria con una ponderación de 2. La concentración que exceda la línea referencial es considerada letal y tiene una ponderación de 3. Las dosis de ligera concentración tienen una ponderación de 1 y aquellas concentraciones debajo del límite de concentración tienen ponderación 0 (Hariri, Paiman, Leman, & Yusof, 2014). El Instituto Nacional de Salud y Seguridad Ocupacional (NIOSH), es una institución americana dedicada a resguardar la salud y seguridad de trabajadores por medio de normativas. Han establecido las afectaciones que tienen sobre la salud de acuerdo con la ponderación de las concentraciones de gases (National Institute for Occupational Safety and Health , 2007); a continuación, en la Tabla 1.2. se muestra un resumen de las ponderaciones de concentraciones y sus efectos.

Tabla 1. 2. Criterios de calificación de riesgo sobre la salud y concentración.

Ponderación de Concentraciones sobre Consecuencias hacia la Salud Riesgo	Concentración Permisible	Afectaciones Respiratorias	Afectaciones en otros Órganos	Clasificación Cancerígena
0 – Sin efecto	Por debajo del límite de detección (LDD).	No hay riesgo	No hay riesgo.	No hay clasificación.
1 - Ligero	LDD < Libero < 5% Por debajo del límite de emisión permisible	Nariz, cavidades nasales	Un órgano sometido a riesgo.	IARC 3, 4. TLV A4, A5.
2 – Moderadamente Serio	5% por debajo del límite de emisión permisible	Faringe, Laringe, Tráquea.	Dos órganos sometidos a riesgos.	IARC 2A, 2B. TLV A2, A3.
3 - Letal	Por encima del límite permisible	Vías respiratorias inferiores, pulmones, bronquiolos, alvéolos.	Dos o más órganos sometidos a riesgos.	IARC 1 TLC A1.

Fuente: (NIOSH, 2018)

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

Se elaboró un diagrama en el que se indica la metodología a seguir para validar y desarrollar el diseño.

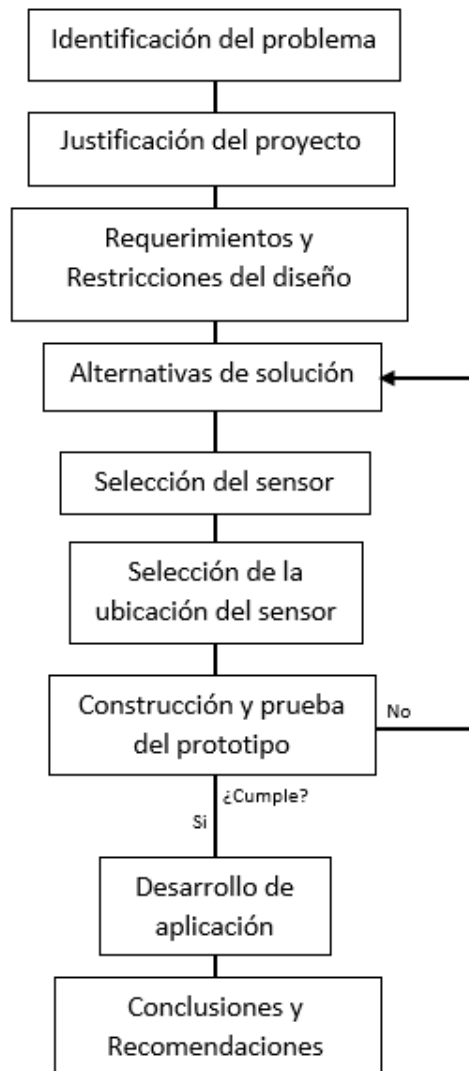


Figura 2. 1. Metodología empleada para el desarrollo del proyecto

En la construcción y diseño del equipo de medición de arco de soldadura, se necesita medir el amperaje que requiere la maquina mientras se encuentra en encendida y cuando se encuentra realizando procesos de soldadura. Para ello, es necesario establecer cuáles son los requerimientos y las limitaciones del diseño para el equipo. Mediante el uso de matrices de decisión, donde todos los parámetros en las matrices se

encuentran con una ponderación, se determina la ubicación en que el sensor de corriente debe ser dispuesto en la maquina soldadora y el tipo de sensor que cumpla de mejor forma los requerimientos. En esta sección se muestra el microcontrolador, los módulos usados para la realización de las mediciones de corriente y la manera en que se seleccionó los demás elementos eléctricos necesarios para la elaboración del equipo de medición. Se muestran las características técnicas de las máquinas de soldar que dispone el cliente y se describen las pruebas a realizarse para comprobar el funcionamiento del equipo y la interfaz gráfica donde se muestran parámetros importantes de la soldadura.

2.1. Requerimientos y restricciones de diseño

Los requerimientos de diseño se pueden clasificar en: factores de función, factores de uso y factores técnicos-productivos. Los factores de función son aquellos que se encuentran relacionados a la confiabilidad y versatilidad del producto; es decir, que tan confiables son los datos obtenidos de los sensores y que tan sencillo es adaptarlo a otras máquinas soldadores. Los factores de uso están relacionados con la practicidad, conveniencia y manipulación del producto, estos incluyen la facilidad de obtener los datos, trasladarlos a una computadora y la facilidad de visualizarlos. Finalmente, los factores técnicos-productivos están relacionados con los costos de fabricación.

Versatilidad del equipo:

El equipo debe poder ser adaptable a diferentes maquinas soldadoras sin afectar la integridad de estas, para esto, el sensor con el que cuente el equipo deberá ser capaz de medir las altas corrientes que circulen por el sistema.

Practicidad y manipulación del producto:

Los datos obtenidos del sistema deben poder ser adquiridos y trasladados fácilmente a un ordenador, donde por medio el software de programación usado y la interfaz los datos puedan ser procesados y mostrados de manera gráfica al usuario. Los datos pueden ser almacenados de acuerdo como el usuario lo requiera (diario, semanal, mensual)

Costos de fabricación:

Uno de los objetivos de la realización del prototipado es conseguir un sistema de adquisición de datos económico, los implementos necesarios para la elaboración del prototipo no deben superar los \$250.

2.2. Alternativas de Diseño

Con los requerimientos planteados, el diseño del equipo de medición se realiza en 2 etapas. En cada etapa se presentan las posibles alternativas para realizar el diseño integral del equipo de medición; y por medio del uso de matrices de decisión se seleccionó las alternativas que cumplen con los requerimientos para cada etapa.

2.2.1. Etapas del Diseño

El equipo de medición de arco de soldadura es en su mayoría componentes electrónicos y son los componentes más importantes del equipo, por ello se debe considerar la forma en que los sensores funcionaran de mejor manera. El diseño del equipo de medición de arco de soldadura se puede clasificar en dos etapas.

Etapas I: Ubicación del Sensor de Corriente.

La ubicación del sensor de corriente en la máquina de soldar puede ser al inicio, en el cable encargado de transportar corriente desde la fuente hacia la máquina o en la salida de la máquina. El voltaje en la entrada de la máquina se puede asumir constante dado a que es el suministrado por la fuente y ya es estandarizado de acuerdo a la locación. El voltaje que se tiene a la salida de la máquina puede tener variaciones y no se puede asumir como una cantidad constante. La variación del voltaje afecta a las mediciones de corriente.

Etapas II: Tipo de Sensor de Corriente.

En el mercado existen varios tipos de sensores de corrientes. Por medio de las mediciones tomadas mientras se produce un arco de soldadura se busca observar la manera en que el consumo de corriente aumenta. Existen 3 formas básicas de medir corriente, y son los siguientes métodos: resistivo, magnético y transistor. En la *Tabla 2.1.* se muestran las distintas características de cada uno de los métodos de medición de corriente.

2.2.1.1. Alternativa de Ubicación de Sensor de Corriente

Para la elaboración de un equipo de medición de arco de soldadura se tiene como primicia mantener la integridad de la máquina de soldar con la finalidad de asegurar la funcionabilidad, dado que estas máquinas tienen un costo considerable en el mercado. Por lo tanto, se limita a 2 lugares para poder ubicar el conjunto de sensores para adquirir los datos: En la entrada de la máquina de soldadura (el cable de poder que conecta a la energía eléctrica) y en la salida, donde se encuentra el cable que conecta el electrodo o antorcha que se encarga de la deposición de material.

2.2.1.2. Alternativa de Tipo de Sensor de Corriente

Para realizar mediciones de corriente de manera básica, existen tres métodos fundamentales:

- Método resistivo.
- Método magnético.
- Método transistor.

Tabla 2. 1. Métodos comunes de medición de corriente y características.

METODO DE MEDICIÓN	PRESICIÓN	AISLAMIENTO	RESISTENCIA A LA MANIPULACIÓN	ROBUSTO	TAMAÑO	COSTO
RESISTIVO (DIRECTO)						
Resistencia	Alto	No	Alto	Alto	Pequeño	Bajo
TRANSISTOR (DIRECTO)						
RDS(ON)	Bajo	No	Moderado	Moderado	Pequeño	Bajo
Radiométrico	Moderado	No	Moderado	Moderado	Pequeño	Moderado
MAGNETICO (INDIRECTO)						
Transformador de Corriente	Alto	Si	Moderado	Alto	Grande	Moderado
Bobina de Rogowski	Alto	Si	Moderado	Alto	Grande	Moderado
Efecto de Hall	Alto	Si	Alto	Moderado	Moderado	Alto

Fuente: (VISHAY, 2015)

2.2.1.2.1. Método Resistivo

Es el método más simple, económico y básico de todos los métodos para medir la corriente. A su vez, es también el más preciso y lineal de todos. Al insertar una resistencia en la corriente ofrece la ventaja de convertirla en un voltaje por medio de la ley de Ohm.

$$V = I * R \quad (2.1)$$

A pesar de tener grandes ventajas en comparación a los otros métodos también se tienen ciertas desventajas debido a que se debe interrumpir el flujo de corriente al agregar una resistencia extra al circuito. Esto se puede traducir en pérdida de potencia que se manifiesta como calor o pérdidas en la eficiencia. Para mitigar esta problemática, se hace uso de resistencias Shunt, con la principal característica de que su resistencia es muy baja y comercialmente son muy comunes. En la Figura 2.1. se muestra la configuración de un circuito donde se está realizando el método para medir corriente.

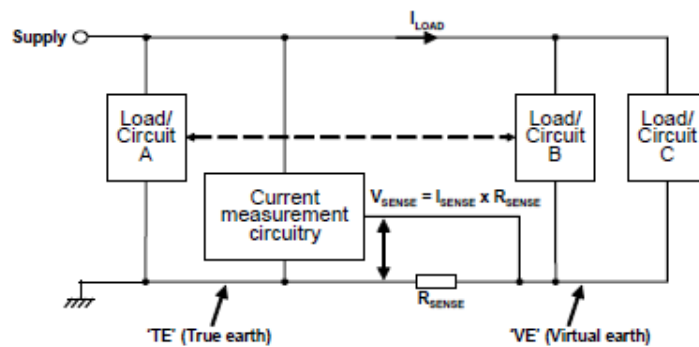


Figura 2. 2. Configuración de circuito con el método resistivo.

Fuente: (Abiodun Bode, 2008)

2.2.1.2.2. Método Magnético

Transformador de Corriente

El sensor de corriente permite 3 ventajas clave: aislamiento de la línea, una medición de corriente con mínimas pérdidas y una señal de voltaje amplia que reduce el ruido de la señal. Este método de medición solo sirve con corriente alterna, ya que se necesita la variación de corriente para generar un campo magnético que induzca una corriente al circuito del sensor.

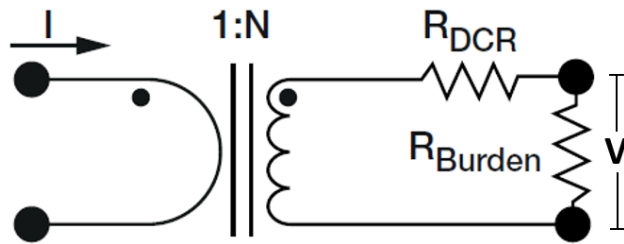


Figura 2. 3. Circuito de un transformador de corriente ideal.

Fuente: (Abiodun Bode, 2008)

Esta segunda corriente generada en el sensor puede ser escalada en relación con el número de vueltas entre la primera y segunda línea.

$$V = \left(\frac{I}{N} * R_{Burden} \right) \quad (2.2)$$

Bobina de Rogowski

Esta bobina es similar a un transformador de corriente, en donde un voltaje es inducido a un circuito secundario que es proporcional al flujo de corriente a través de un conductor aislado. La mayor diferencia es que la bobina de Rogowski cuenta con un núcleo de aire mientras que el transformador de corriente cuenta con un núcleo de un material de alta permeabilidad. La desventaja de este sensor es que se necesita un integrador para generar la forma de onda de la corriente.

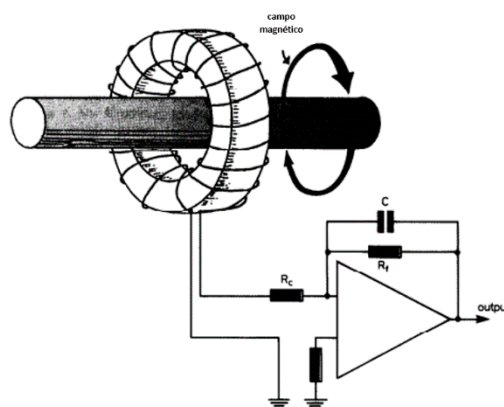


Figura 2. 4. Arreglo de la bobina y el integrador de señal.

Fuente: (Ward & La T. Exon, 1993)

Efecto Hall

Este sensor se basa en la diferencia de potencial que se genera cuando un conductor por el cual circula corriente es colocado en un campo magnético, esta diferencia de potencial que se genera es proporcional a la magnitud de la corriente que fluye a través del conductor. Este sensor es capaz de medir altas corrientes con poca disipación de energía, sin embargo, el monitoreo de corriente bajas con este sensor puede dar valores no muy exactos.

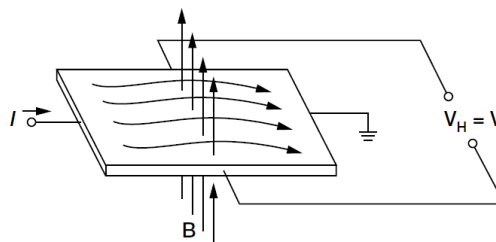


Figura 2. 5. Efecto de Hall con un campo magnético presente.

Fuente: (VISHAY , 2015)

2.2.1.2.3. Método del Transistor

R_{DS(ON)} – Drain to Source on Resistance

Los transistores son considerados el método de detección de corriente donde no existe pérdida, dado que son componentes de control para el diseño del circuito y mas no dispositivos de resistencia o disipadores requeridos para promocionar una señal de control. Dentro de las especificaciones técnicas se incluye resistencias tipo $R_{DS(ON)}$ con una resistencia muy baja. El circuito se muestra en la *Figura 2.6.* y la corriente se encuentra determinada de la siguiente manera.

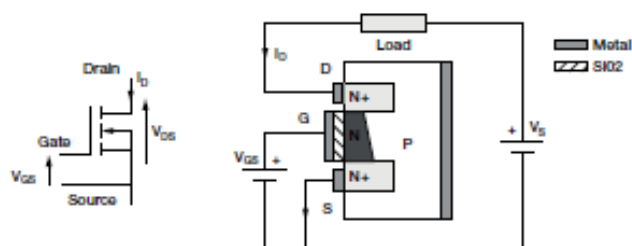


Figura 2. 6. Modelo de transistor $R_{DS(ON)}$

Fuente: (VISHAY , 2015)

Radiometría – Sensor de Corriente MOSFET

Un MOSFET consiste en miles de transistores dispuestos paralelamente que reducen la resistencia, La corriente del MOSFET hace uso de una pequeña porción de las celdas en paralelo donde se conecta a la entrada y al drenaje, con fuentes separadas. Esto crea un segundo transistor aislado, un transistor sensor. Cuando el transistor es encendido, la corriente que fluye a través del sensor será comparable dado que tiene relación con la corriente principal. En la Figura 2.4. se muestra la configuración del circuito.

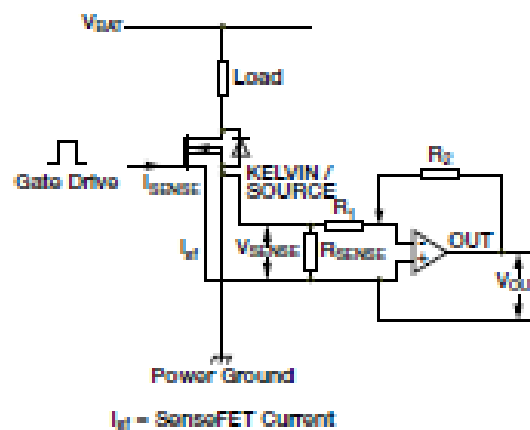


Figura 2. 7. Modelado de sensor de corriente MOSFET

Fuente: (VISHAY , 2015)

2.3. Selección de Alternativas Propuestas

En la sección anterior se propusieron y se definió las posibles alternativas para cada etapa de la elaboración del equipo de medición de arco de soldadura. Ahora, es necesario determinar que alternativas son las mejores para cumplir con los requerimientos que el equipo de medición debe realizar.

Para realizar la selección de alternativas se usan dos matrices de decisión: una para determinar en qué ubicación el sensor de corriente debe ser colocado y la otra para determinar qué clase de sensor debe ser usado. Cada matriz de decisión cuenta con criterios ponderados de acuerdo con la importancia que tienen para la elaboración del equipo.

2.3.1. Matriz de Decisión para Ubicación del Sensor

A continuación, se describirán los criterios de selección, el numero junto a cada criterio representa su ponderación:

Cantidad de sensores [0.4]: Si se ubica el sensor en la entrada de la máquina de soldadura, se puede limitar el uso de un solo sensor para realizar la medición de la corriente. Si la conexión del sensor de la máquina de soldadura se hace a la salida, no se puede asumir un voltaje constante y se requeriría de un sensor para voltaje. Las corrientes en la salida de la máquina de soldadura son superiores que las de la entrada, se conoce que hay corrientes mayores a los 200 amperios [A] por lo que se requeriría un sensor de mayor capacidad. En el mercado local, no es común encontrar sensores que sea capaces de registrar magnitudes tan altas de corriente.

Costo de sensores [0.5]: Al ubicar el sensor a la entrada de la máquina de soldadura, se necesita hacer uso de un sensor que sea capaz de medir máximo 100 amperios [A]. En la salida se necesitaría un sensor capaz de medir 300 amperios [A].

Resistencia a la manipulación [0.1]: Este factor a pesar de que no pesa tanto, debe ser tomado en cuenta ya que, si se coloca el sensor después de la máquina de soldadura, el cable al que iría adjunto está en constante movimiento a la hora de soldadura.

Tabla 2. 2: Matriz de selección de ubicación del sensor.

Criterios de Selección	Factor de peso	Alternativas			
		Antes		Después	
		Calif.	Peso Ponderado	Calif.	Peso Ponderado
Cantidad de Sensores	0.4	5	2.0	3	1.2
Costo de Sensores	0.5	5	2.5	3	1.5
Resistencia a la Manipulación	0.1	5	0.5	1	0.1
		Total, A	5	Total, B	2.8

Mediante el uso del método de matriz de decisión, se presenta la *Tabla 2.2.* que demuestra que la mejor ubicación para la máquina de soldadura, el sensor deberá ser ubicado al inicio. Esta ubicación permite realizar las mediciones con el uso de un solo sensor que puede limitarse hasta los 100 amperios [A], a su vez es una opción económica

2.3.2. Matriz de Decisión para el Tipo de Sensor de Corriente.

A continuación, se describirán los criterios de selección, el número junto a cada criterio representa su ponderación:

Precisión [0.3]: Este factor es determinante en la alternativa deseada, dado que se tiene como objetivo la obtención de datos de alta confiabilidad. De acuerdo con la norma ANSI C12.20, las mediciones de corriente eléctrica comerciales se debe hacer uso de una exactitud de clase 0.5; lo que significa un error del 0.5% de la capacidad nominal del transformador.

Aislamiento [0.4]: La conservación de la integridad de la máquina de soldadura es una de las primicias principales que el prototipo debe cumplir, el dispositivo no debe comprometer la integridad del equipo de soldadura.

Tamaño [0.1]: Este factor no es de gran influencia dado que los sensores para medir corriente de gran tamaño siguen siendo relativamente pequeños. Sin embargo, el tamaño aun así afectara el diseño general del sistema de adquisición de datos.

Costo [0.2]: El factor costo es importante ya que uno de los objetivos del proyecto es realizar un sistema de adquisición de datos de bajo costo.

Tabla 2. 3. Matriz de decisión del sensor de corriente.

Criterios de Selección	Factor de peso	Alternativas									
		Resistencia		Transistor		Transformador de corriente		Bobina de Rogowski		Efecto de Hall	
		Calif.	Peso	Calif.	Peso	Calif.	Peso	Calif.	Peso	Calif.	Peso
Precisión	0.3	5	1.5	3	0.9	5	1.5	5	1.5	5	1.5
Aislamiento	0.4	0	0	0	0	5	2	5	2	5	2
Tamaño	0.1	5	0.5	5	0.5	3	0.3	3	0.3	3	0.3
Costo	0.2	5	1	3	0.6	3	0.6	1	0.2	1	0.2
		Total A	3	Total B	2	Total C	4.4	Total D	4	Total E	4

De acuerdo con la *Tabla 2.3.* donde se puede visualizar la matriz de decisión con sus respectivas calificaciones, se determinó que la opción que mejor cumple con las alternativas es la opción de transformador de corriente. La corriente por medir es transformada a una de menor de magnitud con el fin de poder realizar la medición.

2.4. Diseño del Equipo de Medición de Arco de Soldadura

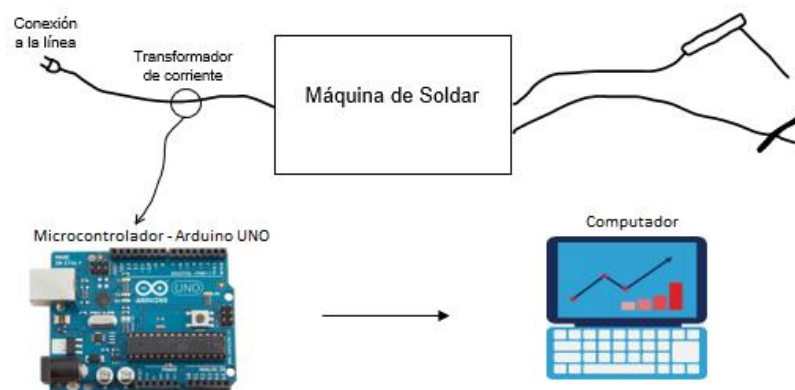


Figura 2. 8. Diseño Conceptual de Sistema de Adquisición de Datos.

Con las alternativas más influyentes en el diseño del equipo de medición de arco ya establecidas por medio del uso de matrices de decisión, se realizó el desarrollo del diseño conceptual como se ilustra en la *Figura 2.8.*

El transformador de corriente es ubicado en la entrada de corriente (cable que alimenta a la máquina de soldadura de corriente convencional). Los datos de cantidad de corriente eléctrica que fluye a través del sistema fueron convertidos a una señal, la cual es compatible el microcontrolador, para este caso se usó la Arduino UNO. La señal análoga acondicionada proveniente del sensor es completamente compatible con la tarjeta Arduino y permite almacenar esa información, para posteriormente sea analizada y obtener parámetros influyentes en el proceso de soldadura.

2.5. Diseño de Detallado

Con el fin de realizar el diseño del equipo de medición de arco de soldadura, se dispone de las características de la máquina de soldar que dispone el cliente, y a la cual el equipo es usado para la realización de las pruebas correspondientes. A partir de las características técnicas, se determinó el calibre del cable a partir del amperaje requerido por la maquina a la entrada.

Modelo:

- The Lincoln Electric Company – IDEALARC CV 305.

Tabla 2. 4. Especificaciones técnicas – IDEALARC CV 305.

PRODUCT SPECIFICATIONS							
Product Name	Product Number	Input Power	Rated Output Current/Voltage/Duty Cycle	Input Current @ Rated Output	Output Range	H x W x D inches (mm)	Net Weight lbs. (kg)
CV305	K2400-1	208/230/460/3/60	315/32.6V/100%	51/48/24A	50-400A	24.6 x 19.5 x 27.0 (625 x 495 x 686)	300 (136)
	K2400-2	230/460/575/3/60		48/24/20A			
CV400-I	K2402-1	220/380/440/3/50/60	315/32.6V/100%	60/35/30A	50-400A	24.6 x 19.5 x 27.0 (625 x 495 x 686)	300 (136)
CV305/LF-72 Ready-Pak®	K2395-2	208/230/460/3/60		51/48/24A			

Fuente: (The Lincoln Electric Company, 2010)



Figura 2. 9. Maquina Soldadora Lincoln Electric – IDEALAR 350 (MIG)

2.5.1. Selección del sensor

Con el tipo de sensor encargado de la medición de corriente seleccionado y la ubicación del sistema de medición de tiempos de arco de soldadura se dio inicio a la realización del diseño conceptual. El cliente cuenta con máquinas de soldar que requieren una corriente de hasta 51 amperios [A]; suministrados desde la fuente energética (Depende del voltaje de la fuente). El transformador de corriente SCT – 0133 – 000 de YDHC es capaz de medir corrientes de hasta 100 amperios [A] y sus características son mostradas en la *Tabla 2.4*; este sensor es común en el medio local, lo cual adquirido no es una dificultad. Por medio de la elaboración de un circuito, se es posible disminuir considerablemente la magnitud del amperaje hasta unos 50 miliamperios [mA]. El amperaje de (50 [mA]) será la máxima corriente RMS para los cálculos posteriores.

Tabla 2. 5. Características de transformadores de corrientes

Model	SCT-013-000	SCT-013-005	SCT-013-010	SCT-013-015	SCT-013-020
Input current	0-100A	0-5A	0-10A	0-15A	0-20A
Output type	0-50mA	0-1V	0-1V	0-1V	0-1V
Model	SCT-013-025	SCT-013-030	SCT-013-050	SCT-013-060	SCT-013-000V
Input current	0-25A	0-30A	0-50A	0-60A	0-100A
Output type	0-1V	0-1V	0-1V	0-1V	0-1V

Fuente: (YHDC)

Para poder analizar la data de manera efectiva, los datos de corriente que se obtenidos por el sensor deben ser vinculados con una hora y fecha exactas, para ello se seleccionó un módulo RTC y cumple la función similar a la de un reloj. El microcontrolador Arduino no tiene la capacidad de llevar la hora y fecha por propia cuenta. Al mismo tiempo, se hizo uso de un módulo para tarjeta SD para almacenar los datos obtenidos por el sensor de corriente. Con estos módulos es posible realizar el registrar los valores de corriente a lo largo del tiempo en que se requiera en una tarjeta Micro SD.

2.5.2. Diseño del Equipo para Separación de Fases.

La máquina de soldadura funciona con un voltaje desde la fuente de 200 – 460 [V]. A nivel local, las industrias mayoritariamente hacen uso de voltajes superiores a los 400 [V]. Al mismo tiempo que la corriente que requieren esta máquina es de tres fases (Trifásica). El sensor, cuyas características se encuentran en la *Tabla 2.*; no es capaz de realizar las mediciones en las 3 fases de la línea de corriente y es por eso la necesidad de implementar la forma en que las líneas puedan ser separadas y que la medición sea efectuada correctamente.

A continuación, se muestra un bosquejo de lo que se hizo para lograr separar las líneas de corrientes y poder adherir el sensor en una de las líneas.

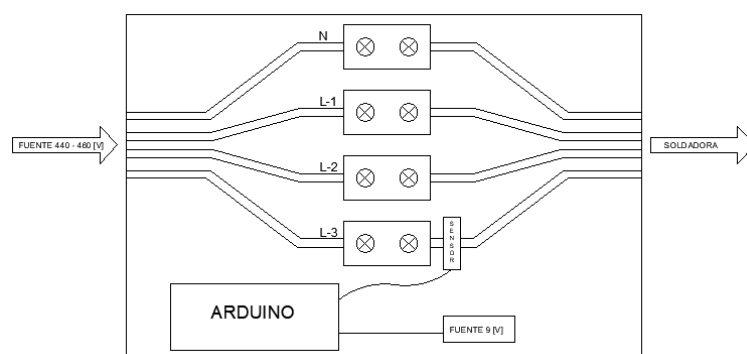


Figura 2. 10. Diseño para equipo de adquisición de datos.

2.5.2.1. Selección de Calibre de Cable

El amperaje requerido por la máquina es de:

- The Lincoln Electric Company – IDEALARC 305 CV.

Para poder realizar el dimensionamiento del calibre del cable eléctrico a partir del amperaje requerido, se usó de la norma NEC 2011 – Tabla 310.15 (B) (17).

Tabla 2. 6. NEC 2011 – Tabla 310.15 (B)(17).

AWG	60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C	AWG
	(140°F)	(167°F)	(194°F)	(140°F)	(167°F)	(194°F)	
	Tipos	Tipos	Tipos	Tipos	Tipos	Tipos	
	TW UF	RHW THHW	RHH THHN	TW UF	RHW THHW	RHH THHN	
		THW XHHW	XHH		THW XHHW	XHH	
14	25	30	35	----	----	----	----
12	30	35	40	25	30	35	12
10	40	50	55	35	40	45	10
8	60	70	80	45	55	60	8
6	80	95	105	60	75	85	6
4	105	125	140	80	100	115	4
3	120	145	165	95	115	130	3
2	140	170	190	110	135	150	2
1	165	195	220	130	155	175	1

Fuente: (National Electric Code, 2012)

A partir del amperaje descrito en la ficha técnica, *Tabla 2.4*, se determinó que el cable que se necesitara es un cable concéntrico AWG 4 x #4.

Se hizo uso de borneras eléctricas para riel din, estos elementos se seleccionaron a partir del calibre del cable.

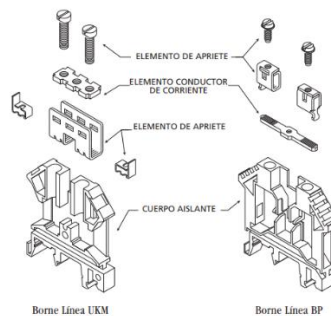


Figura 2. 11. Elementos de bornera eléctrica.

Fuente: (Zolada, 2000)

Las especificaciones técnicas de las borneras que son capaces de soportar el flujo de corriente requerido por las máquinas de soldadura.

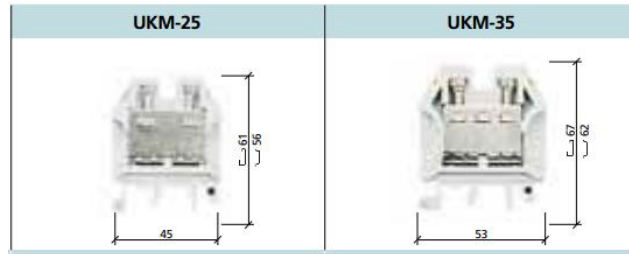


Figura 2. 12. Vista de sección de borneras.

Fuente: (Zolada, 2000)

Tabla 2. 7. Especificaciones técnicas de borneras.

Características Eléctricas. IEC 60947-7-1		
Tensión	800 [VCA]	800 [VCA]
Corriente	101 [A]	125 [A]
Conductor Flexible / Rígido	16 mm ² / 25 mm ²	25 mm ² / 35 mm ²

Fuente: (Zolada, 2000)

Con el calibre del cable y las borneras seleccionadas, se dispone de una manera efectiva para separar las líneas de la corriente trifásica de manera que se pueda adherir el sensor efectivamente en una de las líneas.

El diagrama de los elementos eléctricos usados para realizar la separación de líneas trifásicas está comprendido de la siguiente manera.

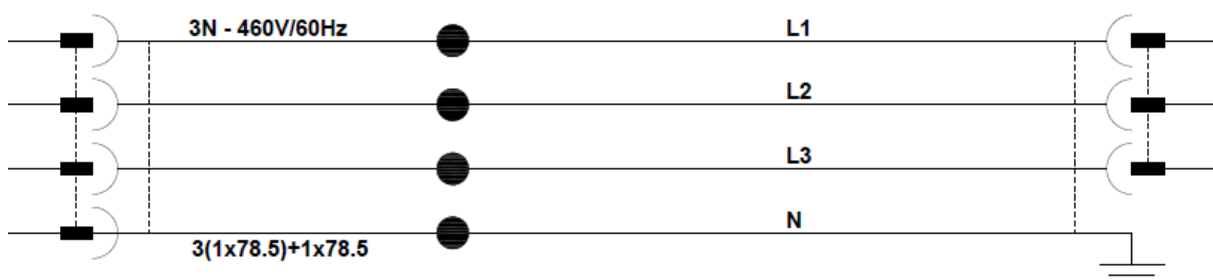


Figura 2. 13. Diagrama eléctrico de equipo.

2.5.3. Acondicionamiento de Señal

El microcontrolador Arduino tiene la capacidad de recibir señales de voltajes que van entre 0 a 5 [V]; dado que el valor a medir es una corriente y tiene magnitudes positivas y negativas. Por tanto, fue necesario convertir esos valores de corriente a valores de voltaje netamente positivos en un rango de 0 a 5 [V] para que el microcontrolador pueda interpretarlos. Para realizar esta transformación se necesitó de una resistencia Burden, que permitió obtener el valor de voltaje a partir de los datos de corriente medidos por el sensor.

Primeramente, se hizo la selección de la resistencia Burden para poder convertir la corriente en un voltaje. Se estableció el rango de voltaje que la tarjeta de Arduino debe cuantificar e interpretar. Para el prototipado se dispuso que el 0 [V] debe estar ubicado en 2.5 [V]; los valores positivos van desde los 5 – 2,5 [V] y los valores negativos van desde 0 – 2,5 [V].

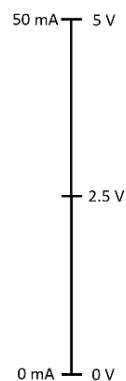


Figura 2. 14. Rango ideal

De acuerdo con la *Figura 2.9*; la mayor variación de voltaje ocurre en 2,5 [V] y a partir de eso se procedió a calcular la resistencia Burden requerida:

$$R_B = \frac{V_{pico}}{\sqrt{2} * I_{RMS}} \quad (2.3)$$

$$R_B = \frac{2,5}{\sqrt{2} * 0,05}$$

$$R_B = 35,35 \Omega [Ohms]$$

Dentro de las resistencias existentes en el mercado, la de 35 Ohmios no es comercial por lo que se escogió aquella de 33 Ohmios y se obtiene:

$$V_{pico} = R_B * \sqrt{2} * I_{RMS}$$

$$V_{pico} = 33 * \sqrt{2} * 0.05$$

$$V_{pico} = 2.33 [V]$$

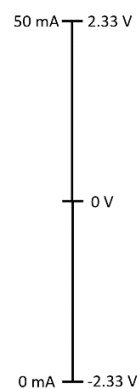


Figura 2. 15. Rango con la resistencia Burden.

A continuación, se requiere que el punto inicial se encuentre en 2.5 [V]. El Arduino es capaz de realizar mediciones de hasta 5 [V], donde la salida es de 5 [V] que puede ser usada como divisor de voltaje con resistencias similares y poder obtener el punto medio de 2.5 [V].

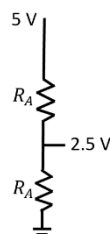


Figura 2. 16. Divisor de Voltaje

Para el divisor del voltaje se usó cualquier tipo de resistencia siempre que cumplan con el objetivo de tener el punto medio en 2.5 [V]. Para este caso se hace uso de resistencias de 10 [kΩ].

$$V_{out} = V_{in} * \frac{R_A}{R_A + R_A} \quad (2.4)$$

$$V_{out} = 5 * \frac{10000}{10000 + 10000}$$

$$V_{out} = 2.5 [V]$$

Por último, si se hace uso del punto medio en el nodo de donde la potencia es menor en la resistencia Burden, se podrá obtener con exactitud el punto medio en 2,5 [V].

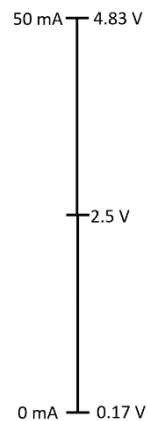


Figura 2. 17. Rango con la resistencia Burden y divisor de voltaje

Finalmente, el circuito de acondicionamiento de la señal quedó como el que se muestra en la *Figura 2.12*.

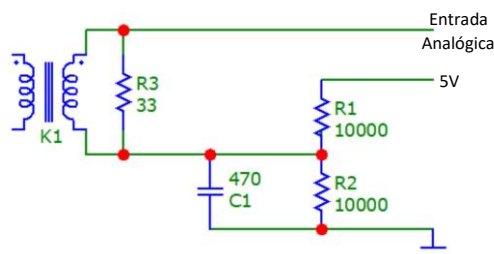


Figura 2. 18. Circuito de acondicionamiento de señal

El Arduino posee la ventaja de tener un convertidor análogo – digital de 10 bits, es decir, el rango tendrá que encajar en los 1024 valores.

$$\frac{5 V}{1024 Bits} = 0.0048828125 \frac{V}{Bits}$$

Con el valor obtenido se determinó la cantidad de voltaje que es medida por el Arduino, a partir del valor análogo obtenido.

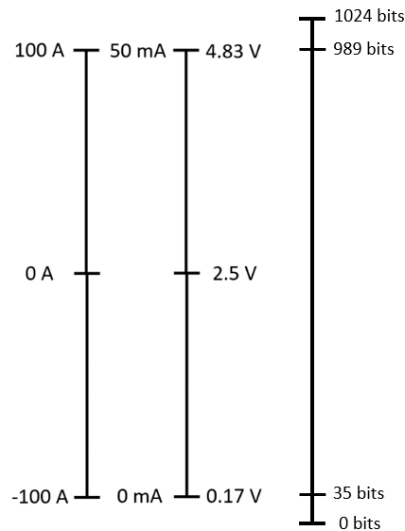


Figura 2. 19. Equivalencia final del sistema

Con las equivalencias que se muestran en la *Figura 2.12*; se hizo posible la determinación de la corriente que se está midiendo por medio de una relación de la corriente y voltaje que está siendo interpretado por el Arduino.

La resolución del equipo de medición de arco de soldadura es:

$$\frac{200A}{989 bits - 35 bits} = 4.77 \frac{bits}{Amperio}$$

2.5.4 Diagrama de Flujo del Funcionamiento del Equipo de Medición

El funcionamiento del microcontrolador se encuentra estructurado de la manera que indica la *Figura 2.20*. Una vez encendido el sistema de adquisición de datos se empieza por la creación de un archivo en formato .csv; tomando en cuenta la fecha de referencia. La corriente alterna que es suministrada por la fuente hacia la máquina soldadora, donde se considera de voltaje constante, los datos son tomados en intervalos de 0.001 segundos. Con el fin de obtener el valor RMS de la corriente

medida se usó la *Ecuación 2.3*. Esta operación es realizada cada 0.5 segundos y se almacena con un registro de fecha y hora en la tarjeta SD. Hechas estas funciones se cierra el archivo .csv y el proceso inicia nuevamente.

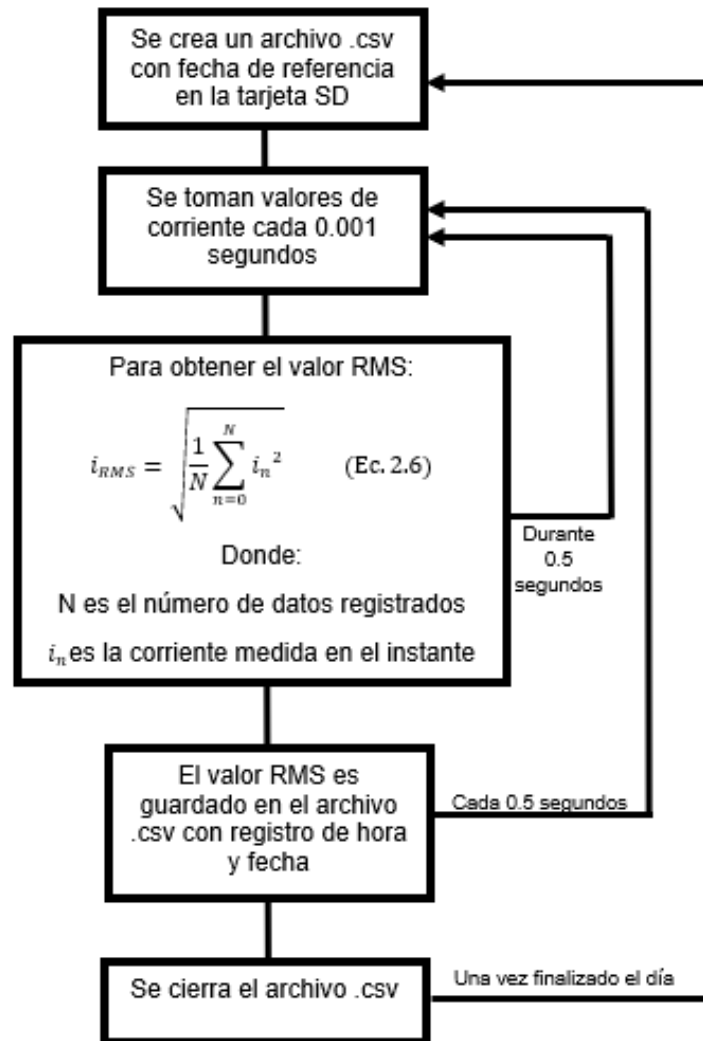


Figura 2. 20. Diagrama de bloques del algoritmo del Arduino

2.5.5 Diagrama de Flujo de la Interfaz del Programa

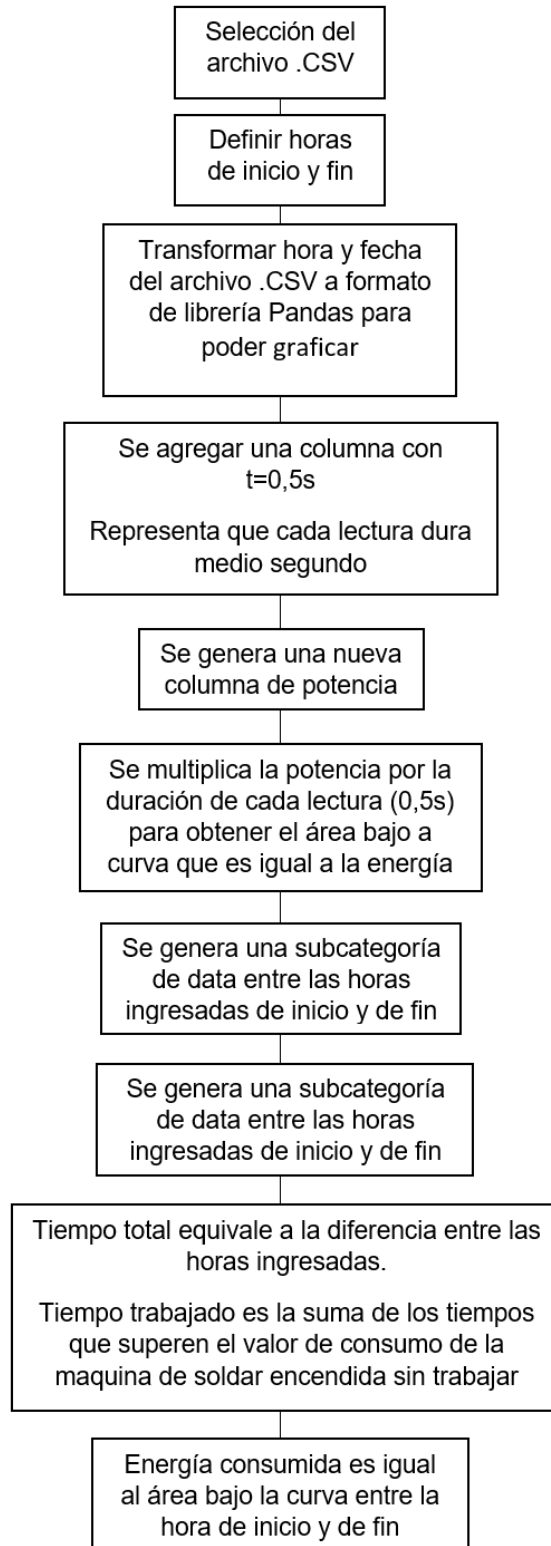


Figura 2. 21. Proceso de funcionamiento del programa.

La visualización de los datos está dividida en 3 partes:

- La interfaz de usuario.
- El análisis de la información.
- La visualización de la información.

Se utilizó Python como el lenguaje de programación para esta parte del proyecto, debido a la sencillez del manejo y la capacidad para analizar datos.

Comenzando con la interfaz, se utilizó Tkinter, que es una biblioteca de Python que permite generar Interfaces de Usuario Graficas (GUIs). En esta interfaz se puede seleccionar el archivo del día que se desee observar información.

Para el análisis de la información se utilizó la biblioteca Pandas de Python, que permitió ordenar y manipular los datos de manera tabular, esta es la biblioteca ideal ya que permite la manipulación de la data con series de tiempo, dato se tiene relacionando con la corriente medida. Considerando que el archivo obtenido desde la tarjeta Arduino podría contar con un registro de datos de varios días, se utilizó un input manual de hora de inicio y hora de finalización por parte del usuario, para generar un subconjunto de datos con todos los datos entre el rango de fecha ingresado, permitiéndonos analizar y visualizar solo la información entre estas horas.

Finalmente, para visualizar la data, se usó Matplotlib, que es una biblioteca de Python que permite la generación de gráficos a partir de los datos analizados con la biblioteca mencionada previamente.

2.5.5.1 Estimación del Consumo Energético

Con la finalidad de obtener el consumo energético durante la realización de soldadura, se requieren valores de corriente, voltaje y tiempo de muestro. Todos estos valores fueron obtenidos a partir de los módulos añadidos al microcontrolador. La potencia, en Watts [W], se obtiene por medio de la siguiente ecuación

$$P = V * I \quad (2.5)$$

Conociendo que energía se puede obtener a partir del área de la gráfica de la potencia, con 2 muestras de corriente por segundo se asumió que para cada valor de potencia el tiempo es de $t = 0.5 \text{ segundos}$; sé multiplico por el valor de la potencia.

$$Energía = \sum P * t \quad (2.6)$$

$$Energía [W * s] = \sum P * 0.5$$

Finalmente, con el fin de obtener [W-h] se dividió el resultado para 3600, que son los segundos en una hora.

2.5.5.2 Tiempo Trabajado y Estimación de la Eficiencia del Soldador

Para calcular la eficiencia del soldador, se debió realizar pruebas en la máquina de soldar donde se utilizó el equipo de soldar (Lincoln Electric – IDEALARC 305 CV) y se determinó el consumo de corriente de la maquina encendida, pero sin trabajar. Se usó este valor como un límite en las mediciones realizadas. Por tanto, si la corriente consumida supera este límite, se puede inferir que la máquina está realizando el proceso de soldadura. Por último, se debe relacionar el tiempo en el que la corriente estuvo sobre este límite y dividirla para el tiempo total.

$$eficiencia = \frac{Tiempo\ soldando}{Tiempo\ total} * 100 \quad (2.7)$$

2.6. Pruebas para la Estimación de Parámetros de Soldadura.

En esta sección se explica las pruebas de soldadura realizadas con el fin de:

- Comprobar el funcionamiento del sistema de medición de arco de soldadura y la programación realizada.
- Estimar la calidad de las soldaduras realizadas en relación con los valores de corrientes obtenidos, que se muestran de forma gráfica.
- Estimar el consumo energético a partir de la variación del amperaje.
- Observar la forma en que fluctúan los datos en los gráficos con respecto al cordón de soldadura.
- Estimar la relación de tiempo de arco de soldadura con el tiempo total en que la máquina de soldar se encuentra conectada a la fuente energética.

2.6.1. Pruebas del Equipo de Medición de Tiempos de Arco de Soldadura

Las múltiples pruebas realizadas al equipo de medición de tiempos de arco de soldadura fueron realizadas en las instalaciones del taller FIVER S.A. Este taller, ubicado en el Km. 25 de la Vía Perimetral, se dedica a realizar labores en el área de la metalmecánica. Se realizaron 3 diferentes pruebas para corroborar el funcionamiento del equipo y poder analizar los datos recopilados. La máquina de soldar usada se encuentra descrita en la *Sección 2.5*. La máquina de soldadura usada en el taller cuenta con un alimentador, que sirve para proporcionar de material a la antorcha de la soldadura. Con este equipo, se puede regular la velocidad de material depositado. Todos los experimentos fueron realizados con un alambre tubular E71T – 1 (AWS A5.20) con un diámetro de 1,20 [mm].



Figura 2. 22. Alimentador Lincoln Electric LF – 74.

Fuente: (The Lincoln Electric Comapny , 2018)

PRUEBA #1: Prueba de cordón de soldadura con el uso de la tortuga.

Para la realización de este experimento se hizo uso de una tortuga (Marca: KOIKE ARANSON), es un elemento usado para automatizar labores de soldadura donde se puede ajustar el ángulo, velocidad del dispositivo y la altura entre el alambre y la pieza a soldar. En esta prueba se procedió a realizar 3 cordones de soldadura de una longitud de 1500 [mm]; a una velocidad de tortuga de 0.5 [in/s] y una velocidad de alambre tubular de 400 [in/min].

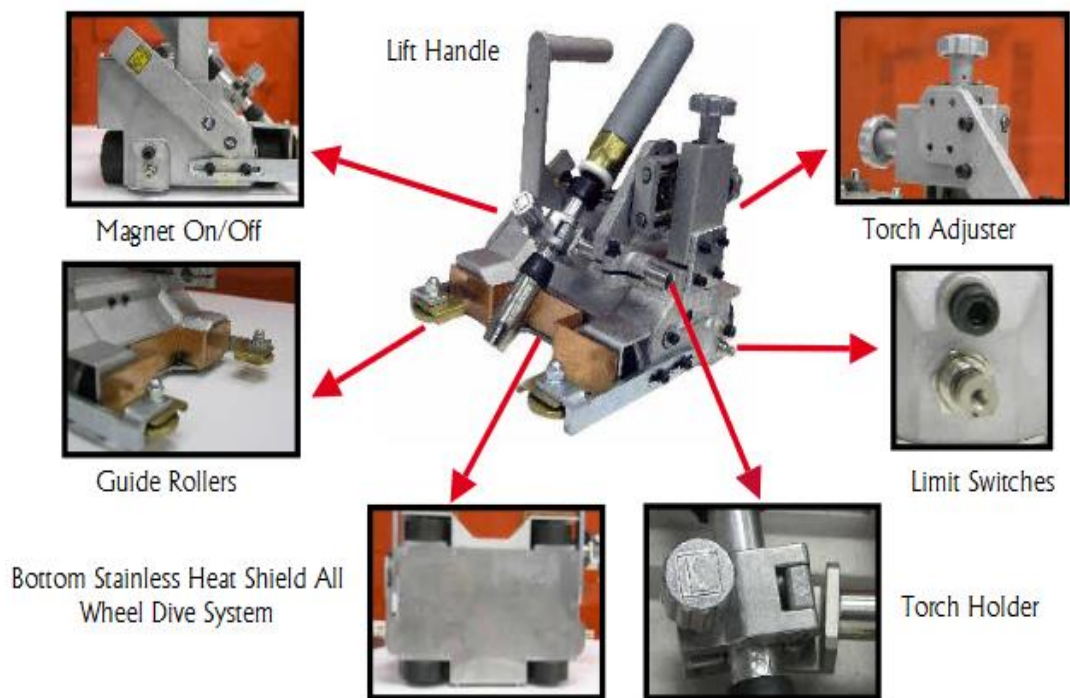


Figura 2. 23. Tortuga usada para experimento

Fuente: (KOIKE ARONSON, INC. /, 2017)

Cada experimento fue realizado a diferente altura del alambre y la pieza metálica, acero A – 36. El primer, segundo y tercer experimento fueron realizados a una altura de $\frac{1}{2}$ [in]; $\frac{3}{4}$ [in] y $\frac{1}{4}$ [in] respectivamente. El fin de variar la altura es de poder observar las diferencias en el aspecto de cordón y la manera en que influye en la variación de corriente desde la fuente.



Figura 2. 24. Tortuga del taller de FIVAR S.A.

PRUEBA #2: Prueba de cordón de soldadura por parte de operador.

En esta prueba se realizan 4 experimentos, para cada experimento se realizó un cordón de 600 [mm] de largo. Todos los cordones realizados en esta prueba fueron ejecutados por un especialista en labores de soldadura. Dado que la máquina de permite variar el voltaje a la salida y la velocidad del alambre tubular que pasa por la antorcha, cada prueba fue realizando variando el voltaje y la velocidad del alambre de manera ascendente. Como la prueba hecha anteriormente, el finde esta prueba es poder ver como el amperaje a la entrada varia y cómo influye en el cordón de soldadura.

Tabla 2. 8. Variables correspondientes a cada experimento.

Experimento	Voltaje [V]	Velocidad de Alambre [in/min]
#1	28,2	400
#2	30	500
#3	32	600
#4	34	700

PRUEBA #3: Prueba de eficiencia en realización de unión de bridas.

La finalidad de esta prueba es determinar la eficiencia de los trabajos en soldadura, para la realización de esta prueba el equipo de medición fue adaptado a la fuente que suministra de energía a la máquina y retirado una vez terminado el trabajo. El trabajo consistió en la unión de la brida en la desembocadura de la tubería tipo T, como se ve en la *Figura 2.25*. Para la unión de la brida se hizo un doble paso de cordón, el primero para rellenar el espacio disponible y el segundo para sellar. El diámetro de la tubería es de 40 [cm] y de la brida es de 41 [cm]; es por esta diferencia la necesidad de un previo relleno y posteriormente un sellado.



Figura 2. 25. Soldadura de bridas en FIVAR S.A.

Para comprobar el estado de la soldadura con los datos recopilados se determinó la forma en que los datos se dispersan para las pruebas #1 y #2. Con los datos recopilados, se procedió a obtener la media aritmética y posteriormente la desviación estándar para conocer la forma en que los datos de dispersan y concluir como influyen en el cordón de soldadura.

Media Aritmética:
$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.8)$$

Desviación Estandar:
$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2} \quad (2.9)$$

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En esta sección se presentan el prototipo final del equipo de medición de arco de soldadura, esto incluye la elaboración del sistema de adquisición de datos y los componentes usados para separar las fases de la corriente trifásica. Se presentan los resultados de las pruebas explicadas en la *Sección 2.6.1*; realizadas en el taller de metalmecánica FIVAR S.A.

3.1. Diseño Final del Equipo de Medición de Arco de Tiempos de Arco

Con las alternativas de diseño seleccionadas, se procede a presentar el equipo de medición de tiempos de arco con los componentes correspondientes. Los componentes electrónicos se muestran de manera gráfica y también el resultado final. También, se muestra el resultado de la construcción de la caja donde se separan las líneas de la corriente eléctrica trifásica con los materiales usados.

3.1.1. Resultado del Microcontrolador

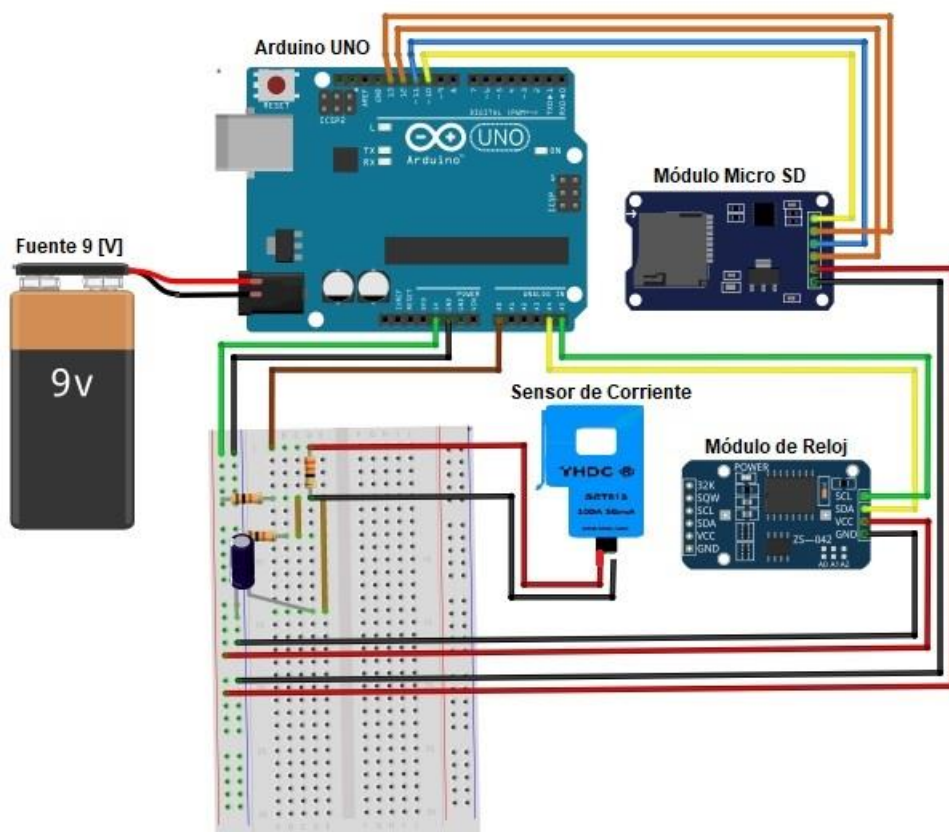


Figura 3. 1. Elementos del sistema de adquisición de soldadura.

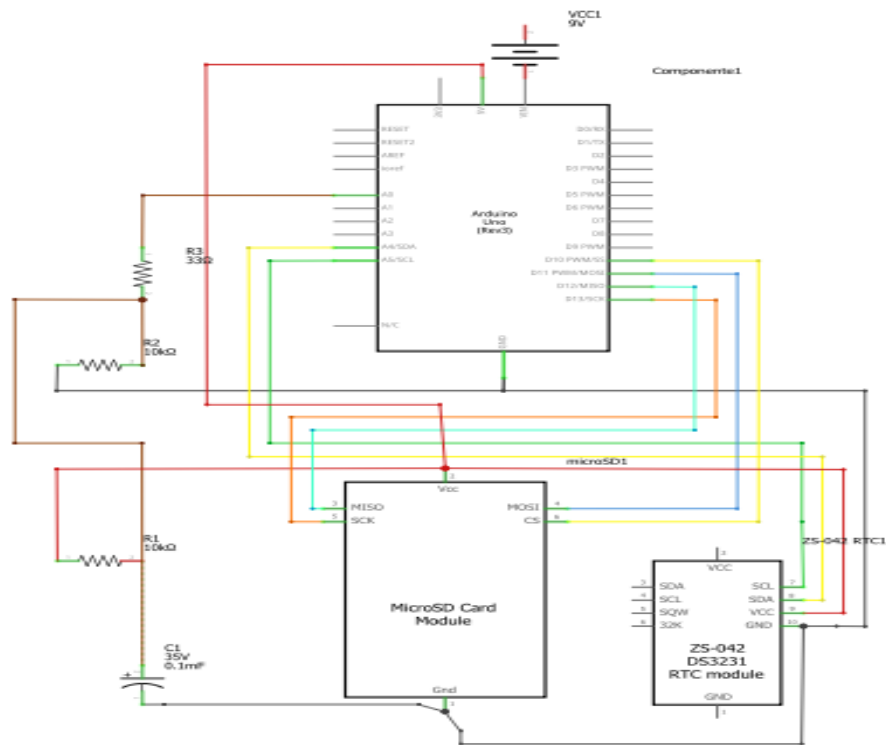


Figura 3. 2. Esquema eléctrico de sistema de adquisición de datos.

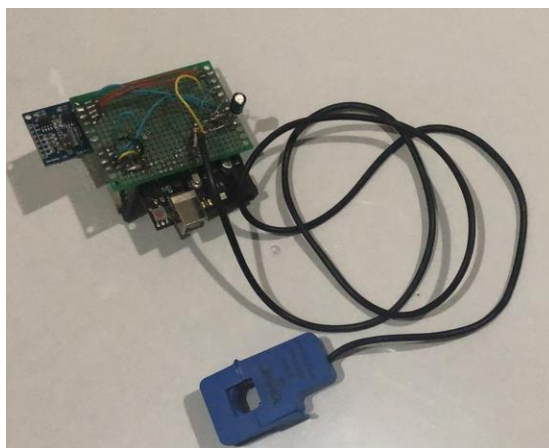


Figura 3. 3. Componentes de equipo de medición de tiempos de arco

En la *Figura 3.1.* se muestra los componentes electrónicos de una manera más didáctica con el fin de que las diferentes conexiones puedan ser vistas con mayor facilidad, se desarrolló con el uso de un software de libre que se llama Fritzing. En la *Figura 3.3.* se muestra una foto real del resultado final de los componentes electrónicos del equipo. En el resultado final se usó una placa donde los diferentes elementos fueron soldados.

El Arduino funciona de manera correcta cuando se lo programa para leer simplemente los valores provenientes del sensor como se puede apreciar en la figura 3.4, sin embargo, al agregar más código para guardar los datos en la tarjeta SD y que estos se guarden con una estampa de tiempo, se genera un pequeño ruido como se puede observar en la figura 3.5.

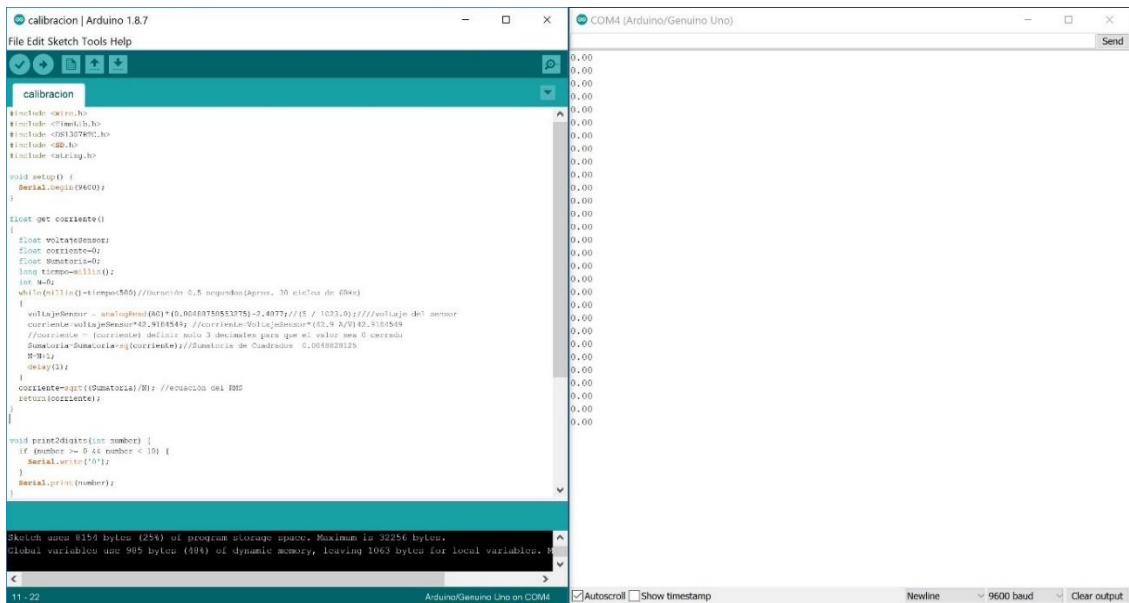


Figura 3. 4. Cero ruidos generados solo con el sensor

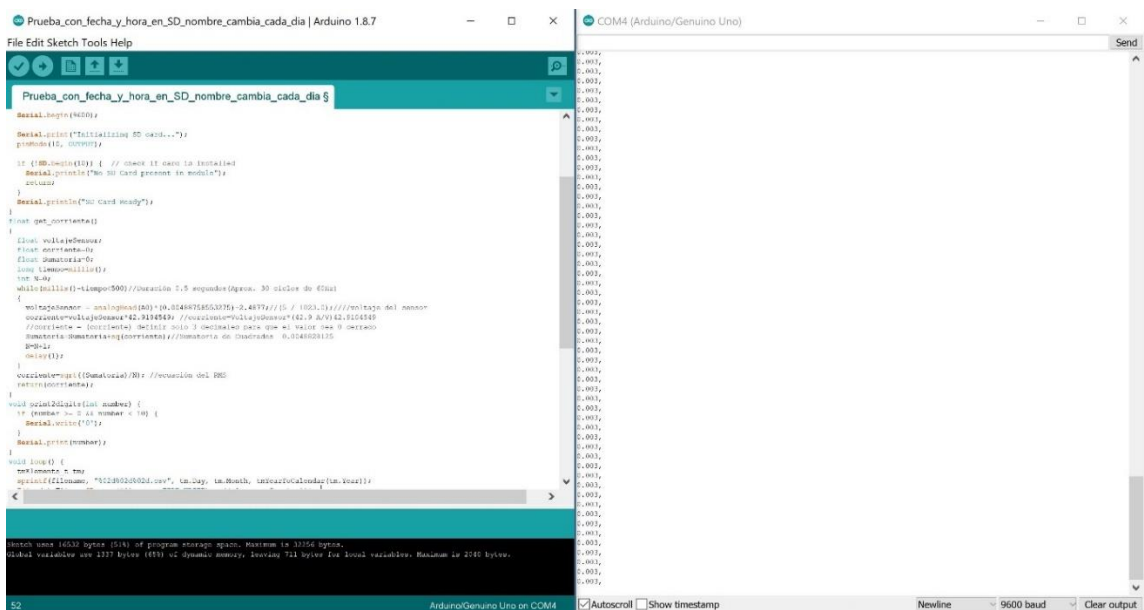


Figura 3. 5. Ruido generado al agregar el código para la tarjeta SD y el RTC.

3.1.2. Resultado de Equipo para Separación de Fases

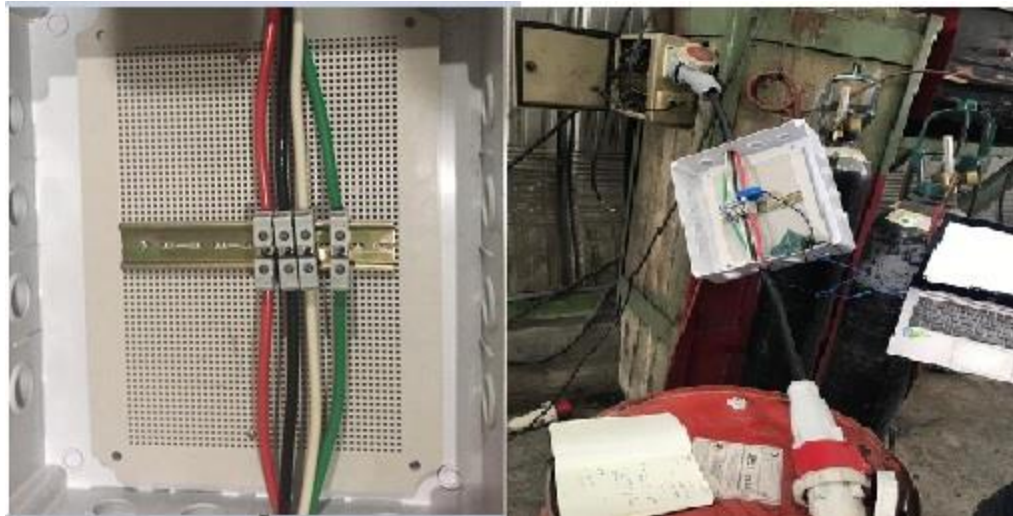


Figura 3. 6. Resultado equipo de separación de líneas de corriente trifásica

En la *Figura 3.6.* se da a conocer el prototipado del equipo que sirve para separar las líneas de la corriente trifásica, con el fin de poder incorporar el sensor de corriente para poder recopilar los datos. En el momento de la experimentación de FIVAR S.A. no hubo inconvenientes y la maquina funciona perfectamente con la adhesión de este equipo. Se puede observar los componentes usados: las borneras eléctricas, el riel din, la caja de paso plástica, el plafón y el cable categoría AWG #4.

3.2. Resultado de Equipo de Recolección de Datos

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de cada prueba realizada al equipo de medición. Se adjuntan los graficas obtenidas y los cordones de soldadura realizados.

RESULTADO #1: Prueba de cordón de soldadura con el uso de la tortuga.

Para este experimento todas las pruebas fueron realizadas, la tortuga se configuró a una velocidad constante de 0,5 [in/s], una velocidad de alambre de 400 [in/min] y un voltaje constante de 25,9 [V]. Todos los cordones tienen una longitud de 1,5 [m]. El material usado es un acero A – 36 con un espesor de 6 [mm].

Experimento #1:

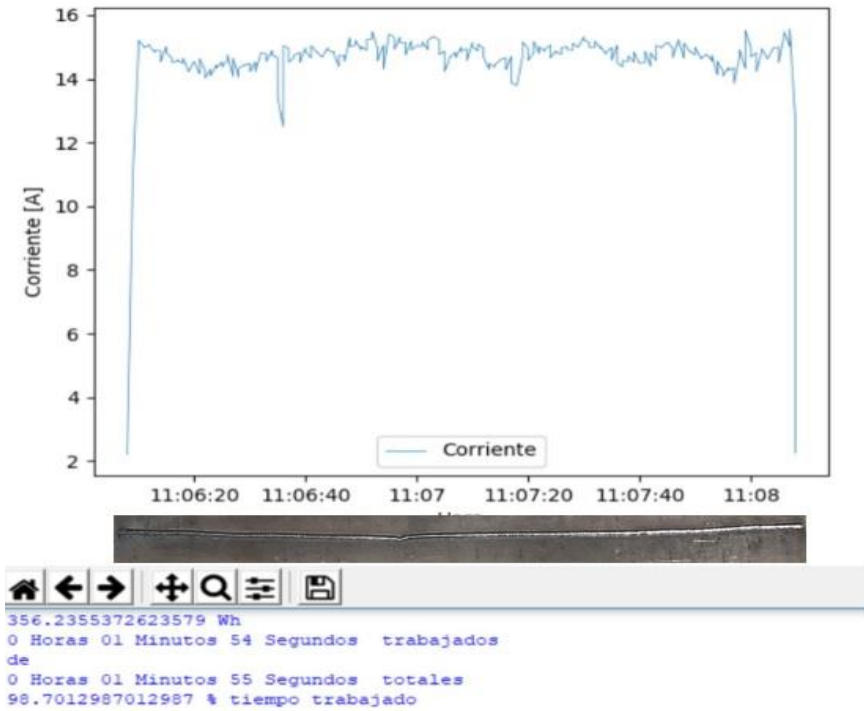


Figura 3. 7. Resultado de experimento #1 ($H = \frac{1}{2}$ [in]).

Experimento #2:

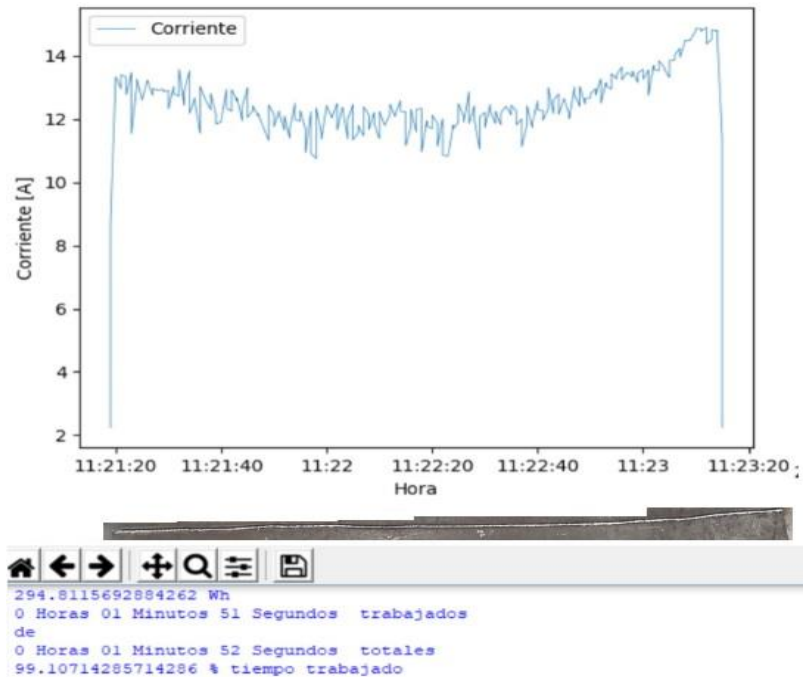


Figura 3. 8. Resultado de experimento #2 ($H = \frac{3}{4}$ [in]).

Experimento #3:

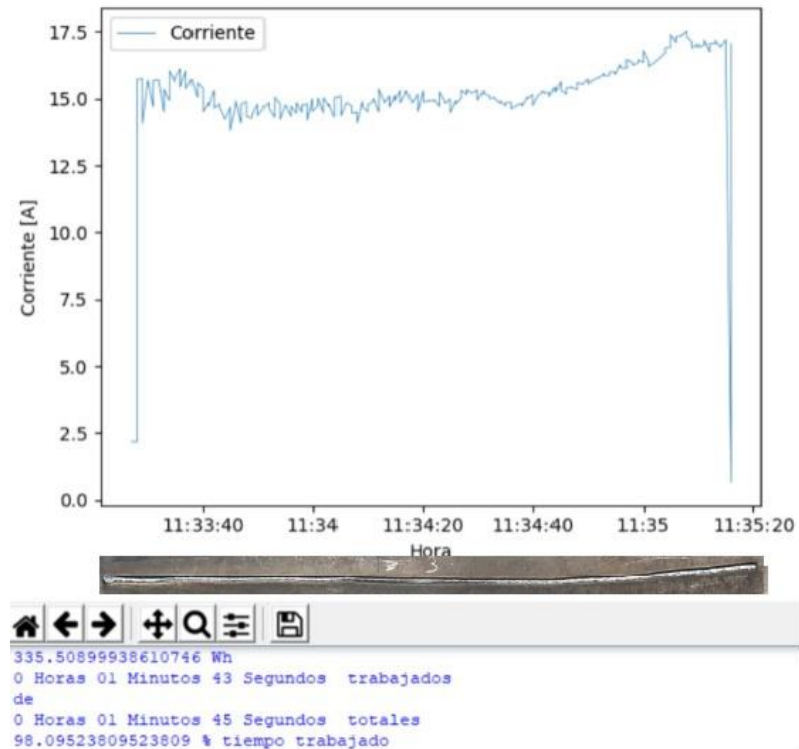


Figura 3. 9. Resultado de experimento #3 ($H = \frac{1}{4}$ [in]).

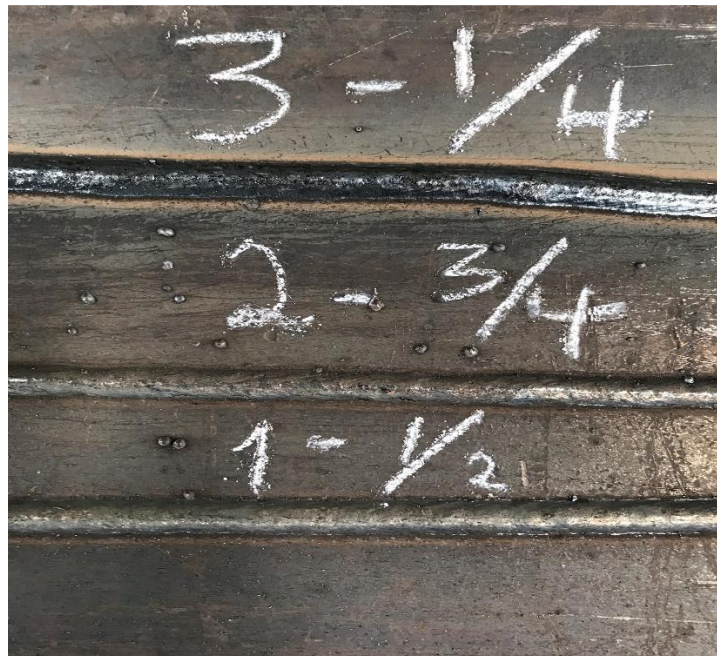


Figura 3. 10. Cordones realizados en la prueba.

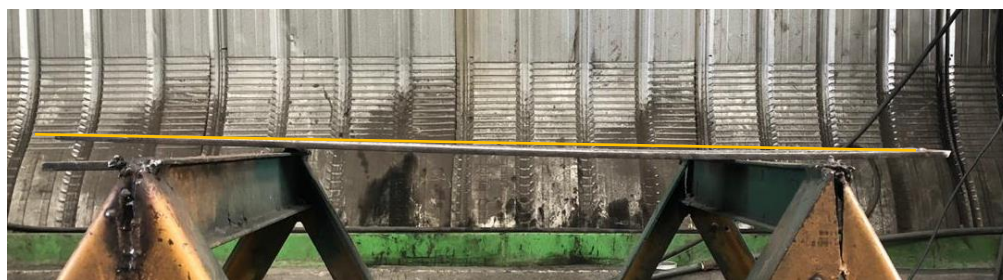


Figura 3. 11. Flexión de la sección después de la primera prueba.

En la realización de esta prueba, el objetivo es conocer la variación de energía desde la fuente hacia la máquina de soldar tomando en cuenta la relación entre el alambre tubular y el elemento a soldar. En el experimento #1 la gráfica generada no muestra variaciones significativas, y la desviación obtenida lo demuestra. En el experimento #2 y #3, las desviaciones son mayores que en el experimento #1 y las gráficas generadas muestran variaciones considerables. Es probable, que la distancia entre la antorcha de soldar y la sección de acero no fue constante conforme la tortuga iba realizando el desplazamiento. En la *Figura 3.11*. se observa que la sección metálica tiene flexión que se denota mayormente en la mitad de su longitud. Con respecto al aspecto del cordón de soldadura, se observa que el conforme la cercanía aumenta se denota un cordón más compacto y de mayor grosor. Se denota también que el consumo eléctrico incrementa conforme la distancia entre el alambre y la sección a soldar disminuye.

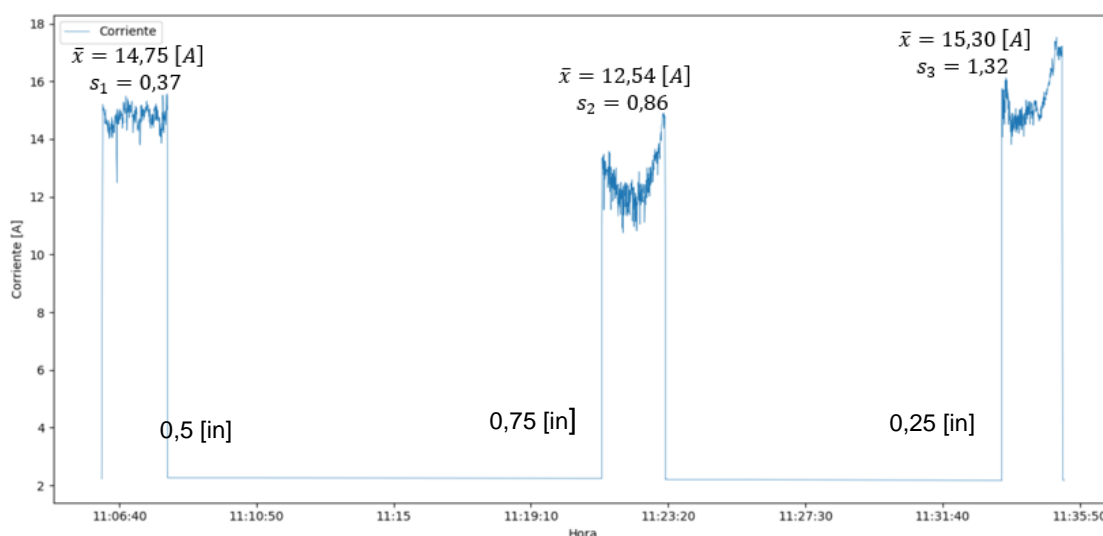


Figura 3. 12. Grafica global de Prueba #1

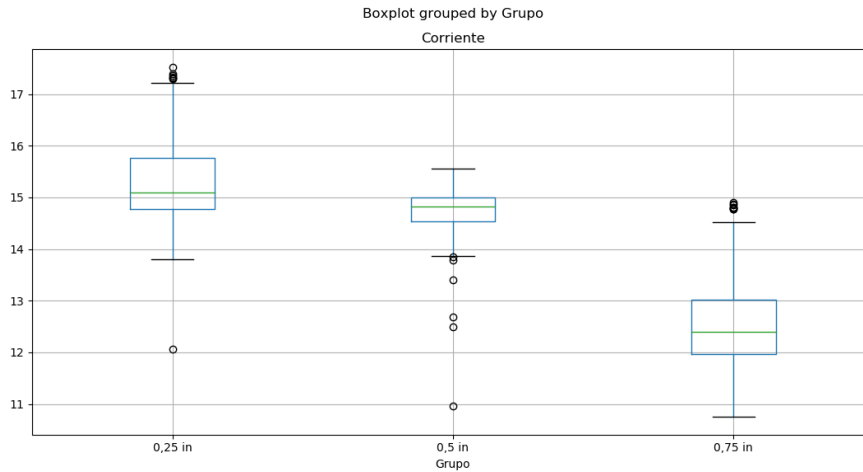


Figura 3. 13. Análisis de promedios y varianzas de las pruebas con la tortuga

RESULTADO #2: Prueba de cordón de soldadura por parte de operador.

Para esta prueba, el operador realizo 4 cordones de soldadura de 600 [mm] aumentando el voltaje de salida y la velocidad de alambre tubular para cada prueba.

Experimento #1: Voltaje = 28,2 [V]; Vel. Alambre = 400 [in/min].

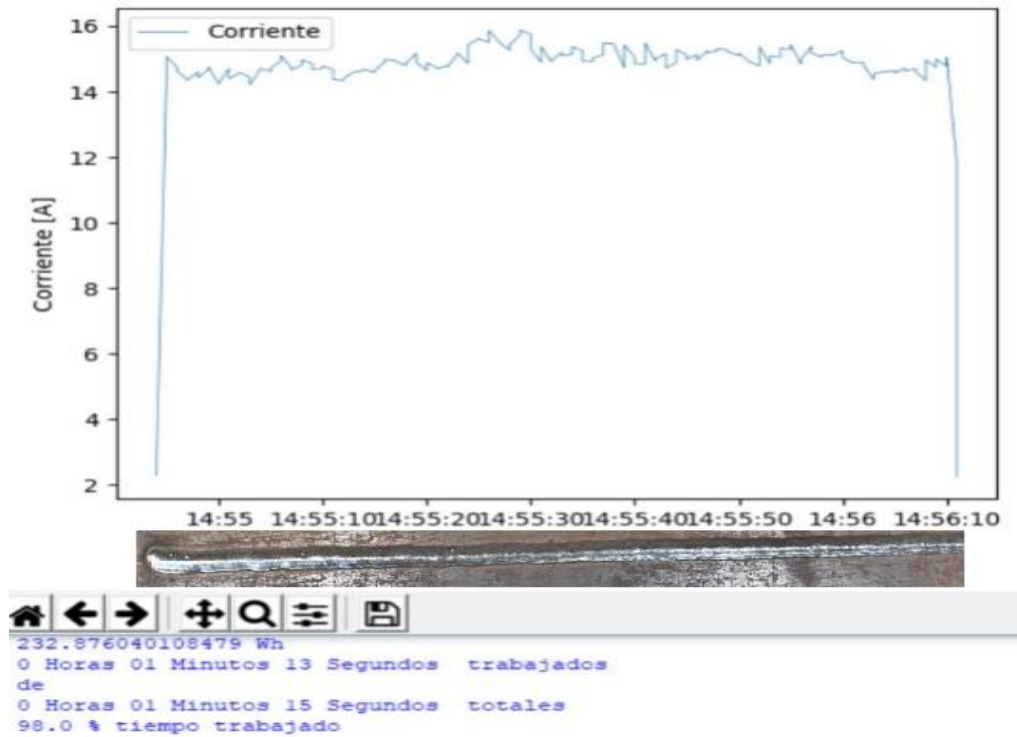


Figura 3. 14. Resultado de experimento #1

Experimento #2: Voltaje = 30 [V]; Vel. Alambre = 500 [in/min].

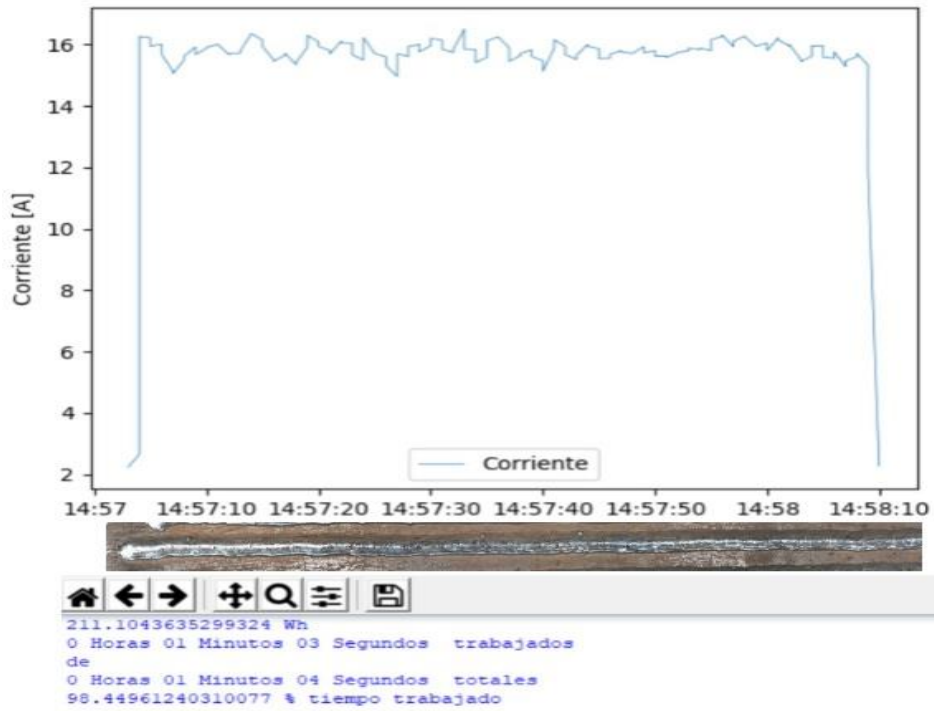


Figura 3. 15. Resultado de experimento #2

Experimento #3: Voltaje = 32 [V]; Vel. Alambre = 600 [in/min].

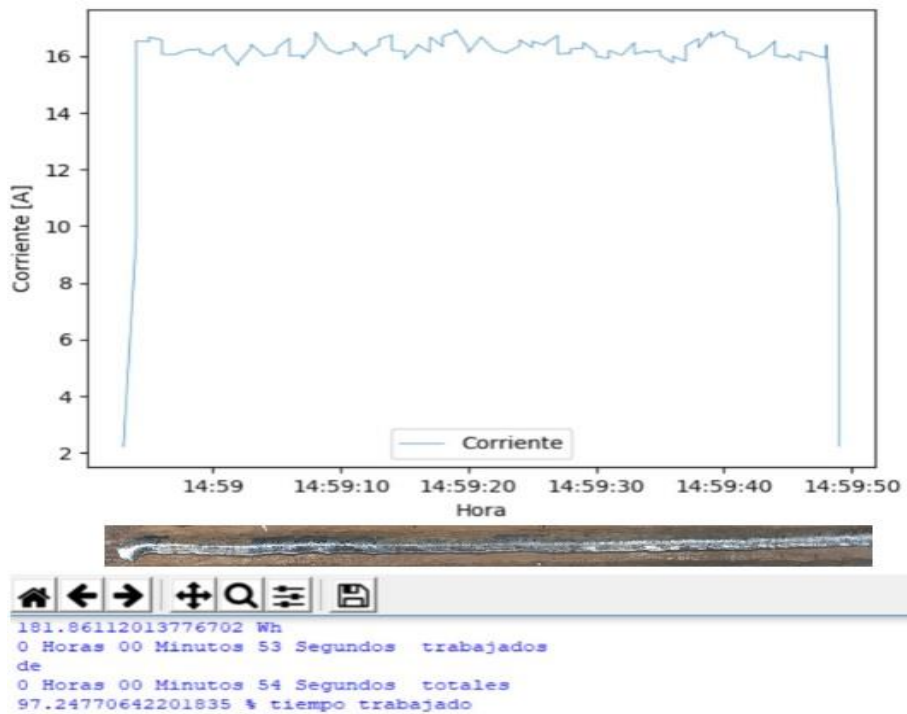


Figura 3. 16. Resultado de experimento #3

Experimento #4: Voltaje = 34 [V]; Vel. Alambre = 700 [in/min].

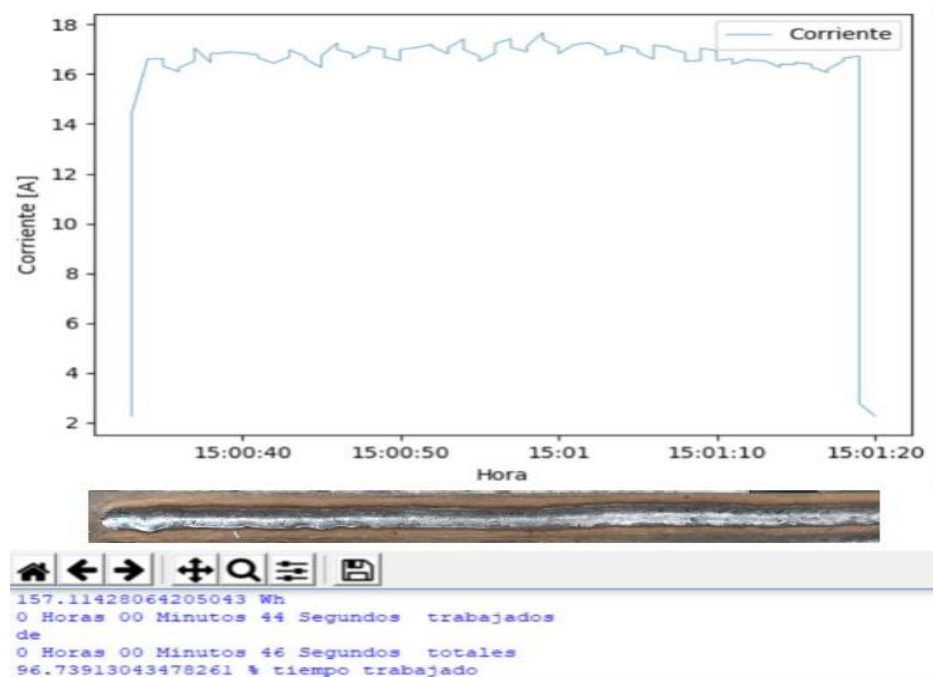


Figura 3. 17. Resultado de experimento #4



Figura 3. 18. Cordones de soldadura realizado por soldador

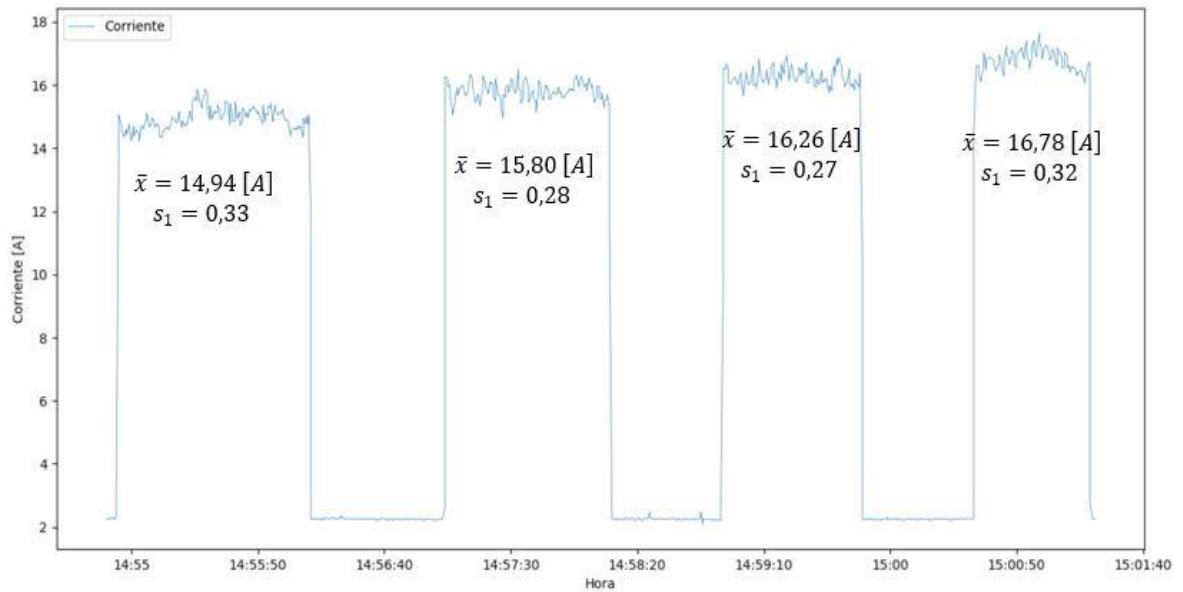


Figura 3. 19. Gráfica global de Prueba #2

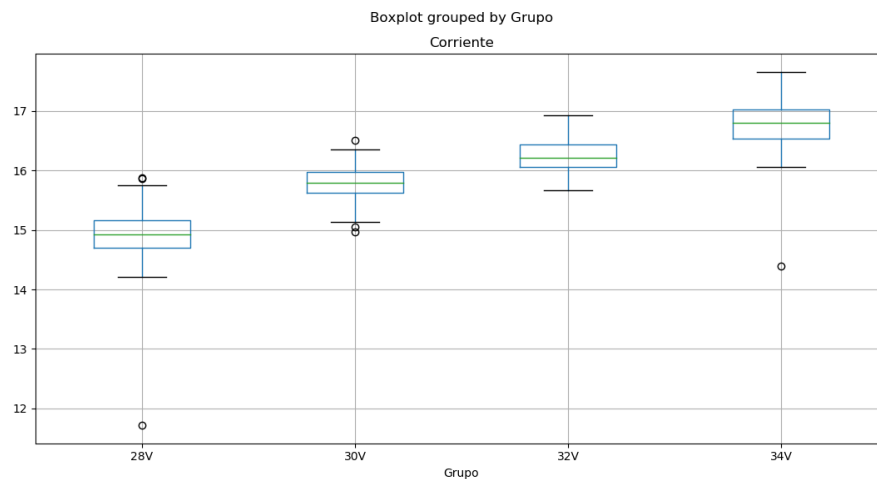


Figura 3. 20. Medias y desviaciones de datos para cada experimento

En las Figuras 3.14 – 3.18; se muestran los resultados obtenidos del equipo de medición de tiempo de arco de soldadura. Se puede notar para todos los cordones realizados por el operador en soldadura la variación de datos del amperaje no es mayor, y se puede decir que permanece constante a lo largo del tiempo que duro. El aspecto del cordón de la soldadura es aceptable y tiene congruencia con las gráficas para cada uno dado que presentan cierta uniformidad.

Tabla 3. 1. Resultados obtenidos de prueba #2

Experimento	Consumo Energético [W-h]	Tiempo [s]
#1	232.88	73
#2	211.10	63
#3	181.86	53
#4	157.11	44

Se realiza un análisis energía-material para determinar costos de operación por cada voltaje distinto. Cada rollo de material tubular de 1.2mm cuesta \$28.56, sabiendo que a una velocidad de alimentación de alambre de 699 pulgadas/minuto, la tasa de consumo es de 2.9kg/hora, se calcular que existen 5500 metros de alambre en los 15 kg del rollo. Finalmente, con esto se puede determinar que el precio por metro de filamento es de \$0.00519.

También se considera el costo de la energía, que es de \$0.0815 por KWh

Tabla 3. 2. Relación energía – material consumido

Voltaje	Size Cordón [m]	Energía [Wh]	T [min]	Deposición Material [in/min]	Material [in]	Material [m]	\$ material	\$ Energía	\$ Total
28	0.6	232.88	1.2167	400	486.68	12.3617	0.064	0.019	0.083
30	0.6	211.1	1.05	500	525	13.335	0.069	0.017	0.086
32	0.6	181.86	0.883	600	529.8	13.4569	0.070	0.015	0.085
34	0.6	157.11	0.733	700	513.1	13.0327	0.068	0.013	0.080

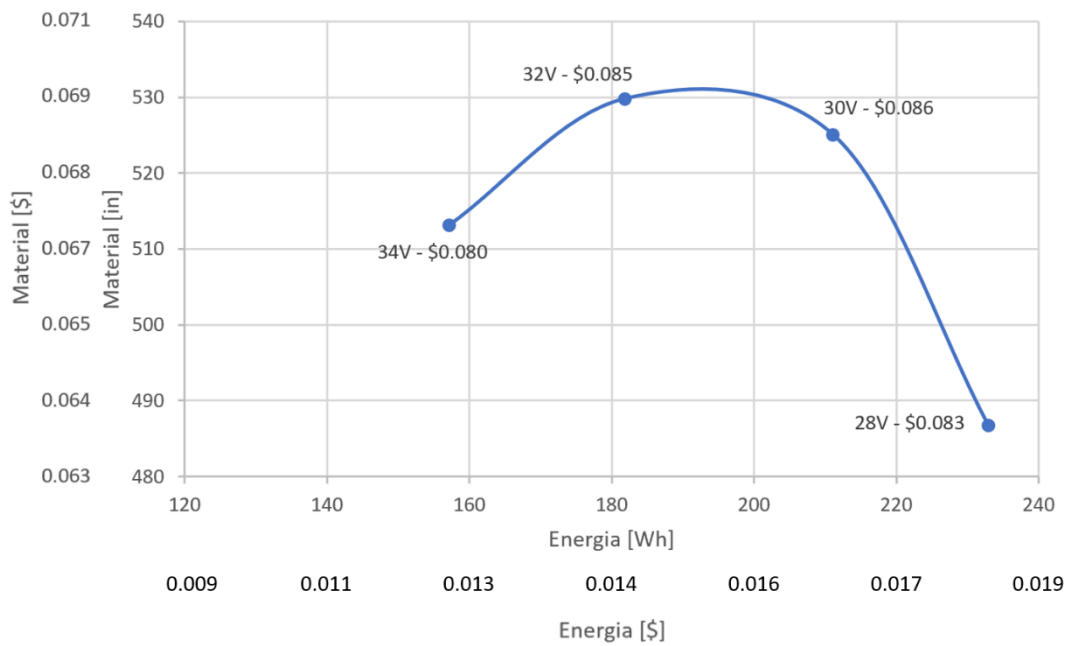


Figura 3. 21. Relación energía – material consumido

A partir de la tabla 3.2 y de la figura 3.21 se puede observar que el punto óptimo de trabajo es a un voltaje constante de 34V, donde no solo el costo de energía y material es menor, sino que también el tiempo de exposición al arco por parte del operador.

RESULTADO #3: Prueba de eficiencia en realización de unión de bridas día 1.

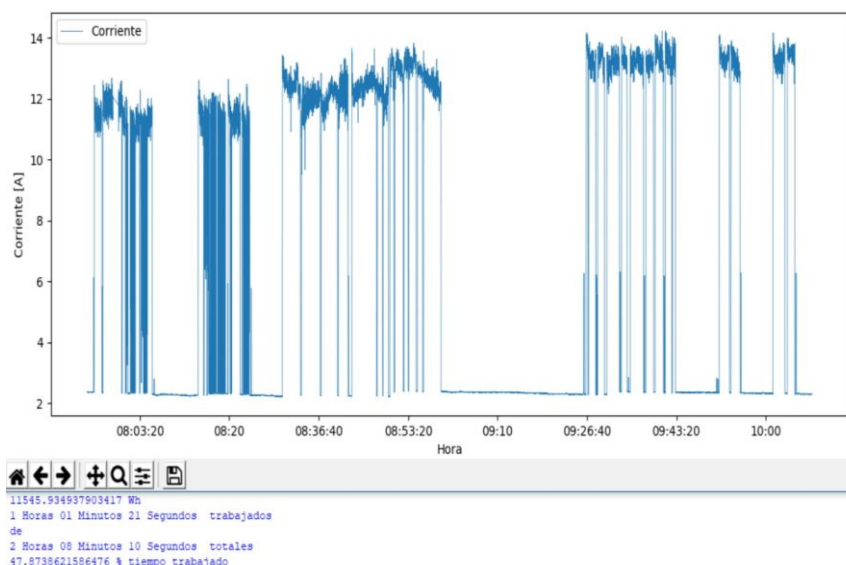


Figura 3. 22. Trabajo total de unión de brida

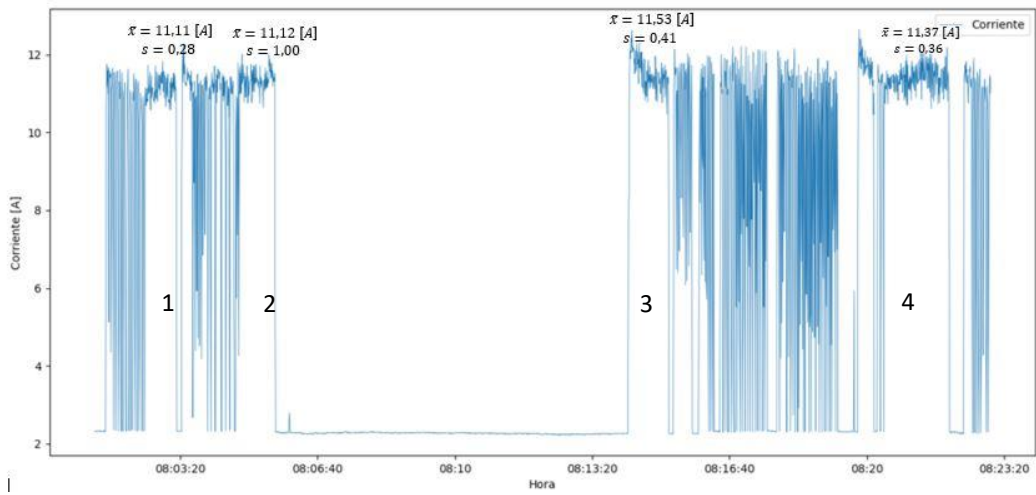


Figura 3. 23. Primera parte de prueba #1

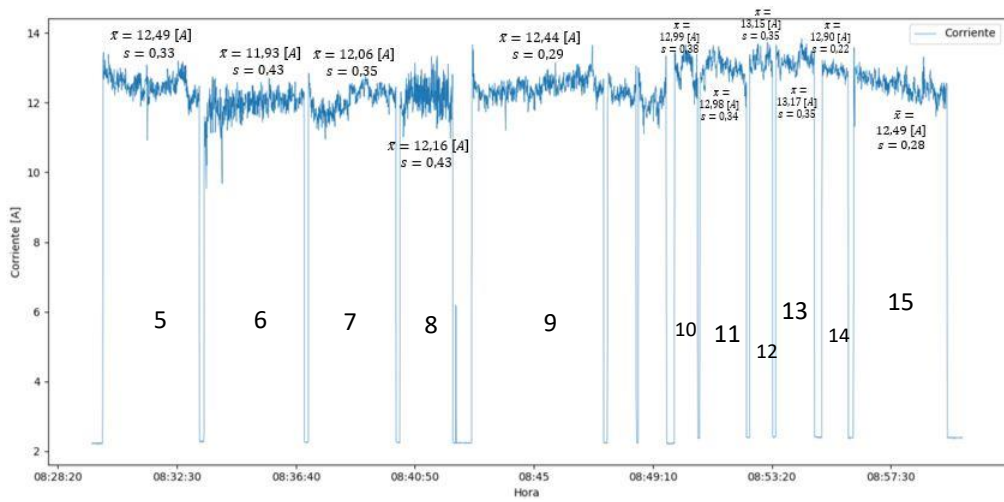


Figura 3. 24. Segunda parte de prueba #2

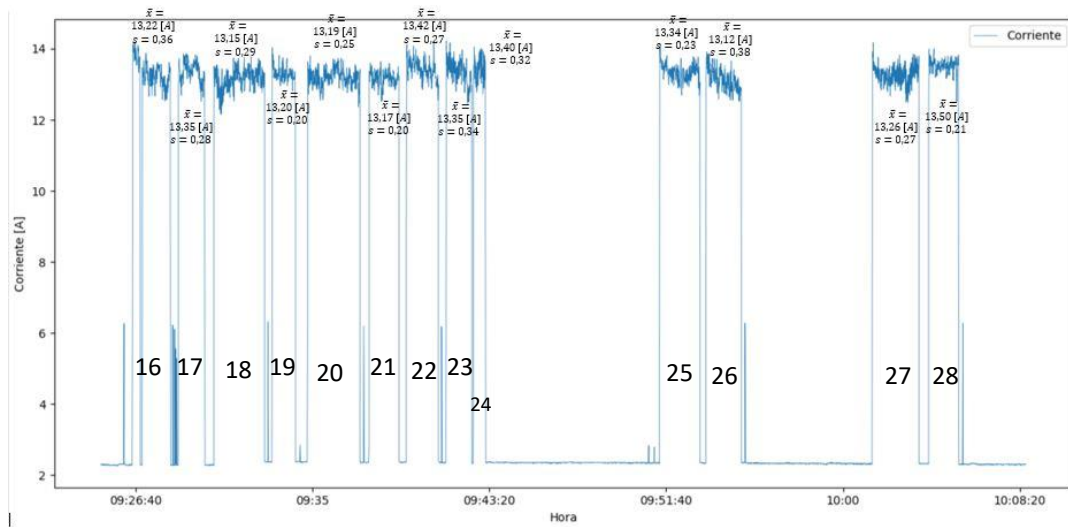


Figura 3. 25. Tercera parte de prueba #3

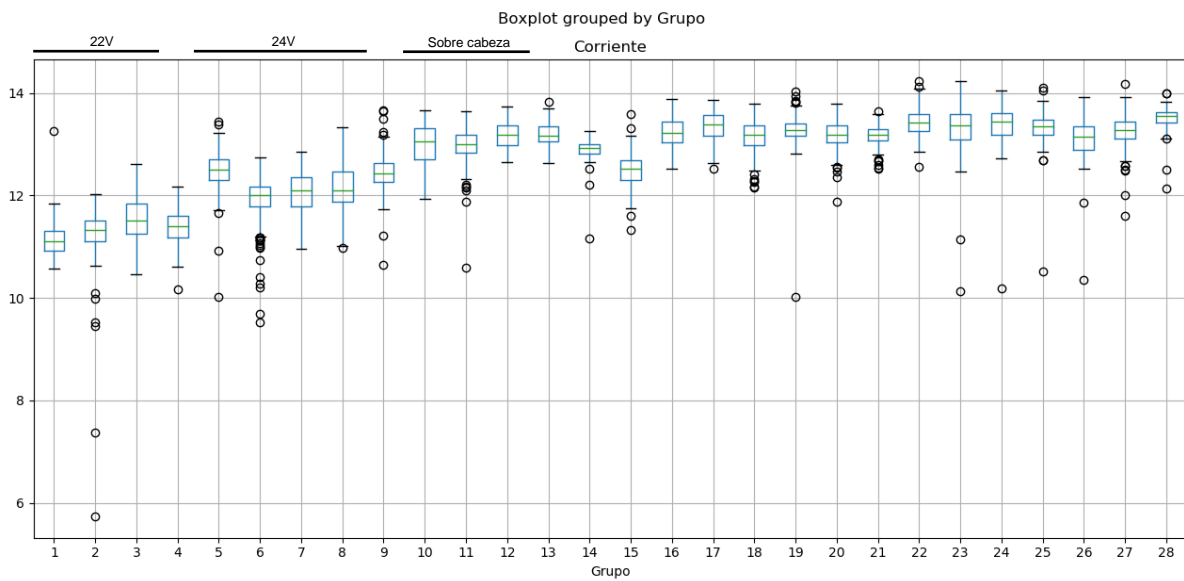


Figura 3. 26. Análisis de las varianzas y promedios



Figura 3. 27. Cordón resultante para la unión de la brida

En la ejecución de este experimento el equipo de medición de tiempos de arco fue dejado conectado por el tiempo en que la unión de la brida fue realizada, lo que tuvo un tiempo de duración de 2 horas con 8 minutos. Como se mencionó, dado a la diferencia de diámetros entre la tubería (400 [mm]) y la brida (410 [mm]) en el momento de cuadrar, el espacio entre una y otra era de gran tamaño. Es por eso la necesidad de rellenar y después cubrir con otro cordón. En la primera parte de la gráfica, entre las 8h00 y 8h30 se realizó el relleno de este espacio a un voltaje de 22 [V] y 250 pulgadas de material por minuto. A partir de ese momento se realizó el cordón de selladura a un voltaje de 24 [V] y 300 pulgadas de material por minuto; por medio de la gráfica se observa un mayor requerimiento de amperaje por parte de la máquina. A partir de las 8h50, se realizó soldadura sobre cabeza, donde se puede observar que aumenta un poco el requerimiento de amperaje. Alrededor de las 9h00, se realizó un cambio de posición de la tubería con ayuda de la grúa, hasta las 9h26 que se reanuda con el proceso de soldadura. Se determinó que en todo este trabajo de unir la brida a la tubería tuvo una eficiencia de 48%; casi la mitad del tiempo del trabajo se dedicó netamente a realizar a la aplicación de soldadura. Se puede determinar también que se consumió aproximadamente 18300 pulgadas (464 metros) de material en la hora trabajada. El resto del tiempo fue usado en labores de cambiar de posición los elementos a soldar, cambiar el alambre tubular, ajustar

los parámetros de máquina de soldar, hidratación y actividades necesarias del operador en soldadura.

RESULTADO #4: Prueba de eficiencia en realización de unión de bridas día 2.

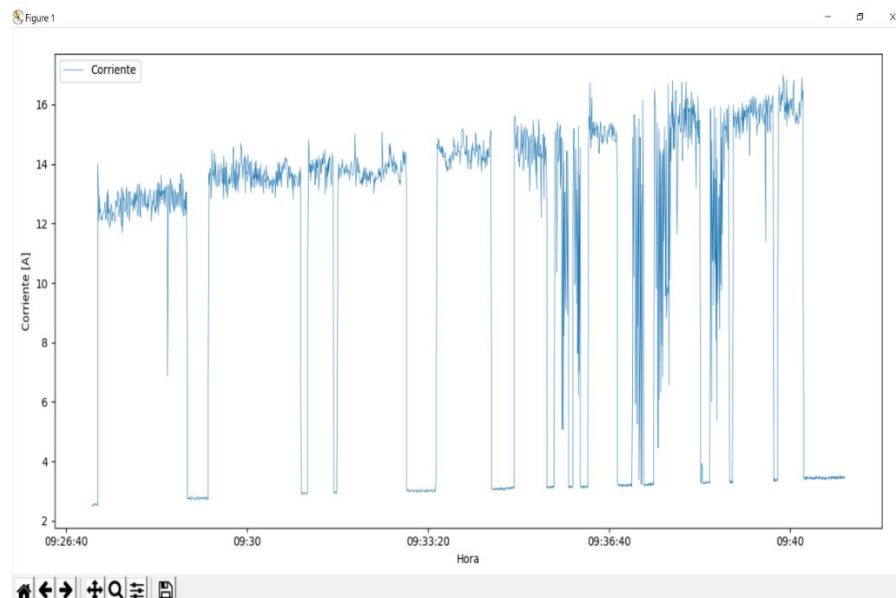


Figura 3. 28. Trabajo parcial de unión de bridas

Se realizó otra prueba para medir nuevamente la productividad del día, sin embargo, se puede observar en la *Figura 3.28.* como la gráfica comienza a deslizarse hacia valores mayores de que alrededor de las 09h45, se acabe la batería del equipo. Con esto se pudo determinar que los valores obtenidos del sensor dependen también de la batería.

3.3. Costo de Dispositivo para Medición de Arco de Soldadura

Para la elaboración del equipo de medición de tiempos de arco de soldadura, se realizó la compra de varios materiales. Para conseguir estos materiales, siempre se optó por los precios más económicos a partir de diferentes cotizaciones. A continuación, se presenta en la *Tabla 3.3.* los materiales usados con su costo y el distribuidor.

Tabla 3. 3. Lista de Materiales

Ítem	Marca	Lugar	Cantidad	Precio	Total
Cable AWG #4 x 4	-	KITTON	1 [m]	[\$/m] 13,50	\$13,50
Paflón	-		1	\$10	\$10
Borneras Eléctricas	Legrand	KITTON	4	\$4,50	\$18
Clavijas Eléctricas / Hypra IP 66/67-55 - BT 63 A (Macho)	Legrand	KITTON	1	\$65	\$65
Clavijas Eléctricas / Hypra IP 66/67-55 - BT 63 A (Hembra)	Legrand	KITTON	1	\$65	\$65
Caja de Paso PVC – 400 x 350 x 120 [mm]	-	KITTON	1	\$17,10	\$17,10
Sensor de Corriente (SCT – 0133 – 000)	YHDC	Mercado Libre – Ecuador	1	\$17,50	\$17,50
Microcontrolador – Arduino UNO	Arduino	Amazon	1	\$22	\$22
Módulo RTC	-		1	\$3	\$3
Modulo Micro SD	-		1	\$2	\$2
TOTAL					\$233,10

3.4. Resultado de Programa para Visualización de la Datos

La interfaz del programa finalizado quedo como se observa en la *Figura 3.29*.

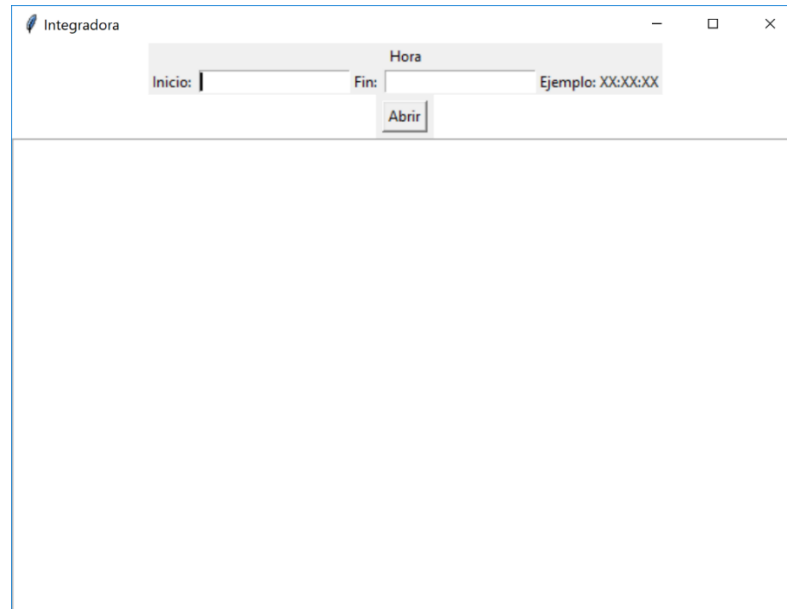


Figura 3. 29. Interfaz inicial del programa

En la *Figura 3.30*; se observa que se ingresa la hora de inicio y de fin en la que se desea visualizar la data, y se hace clic en abrir para seleccionar el archivo.

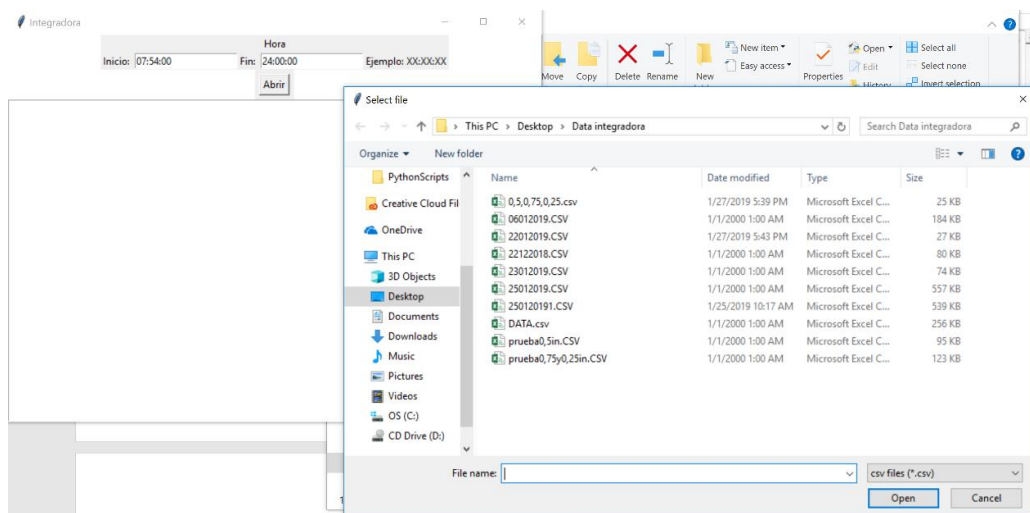


Figura 3. 30. Ingreso de tiempos a visualizar y selección de archivo

Una vez seleccionado el archivo se genera la gráfica Corriente vs Hora, y se visualizan los datos de energía consumida y tiempo trabajado tal como se observa en la *Figura 3.31*.

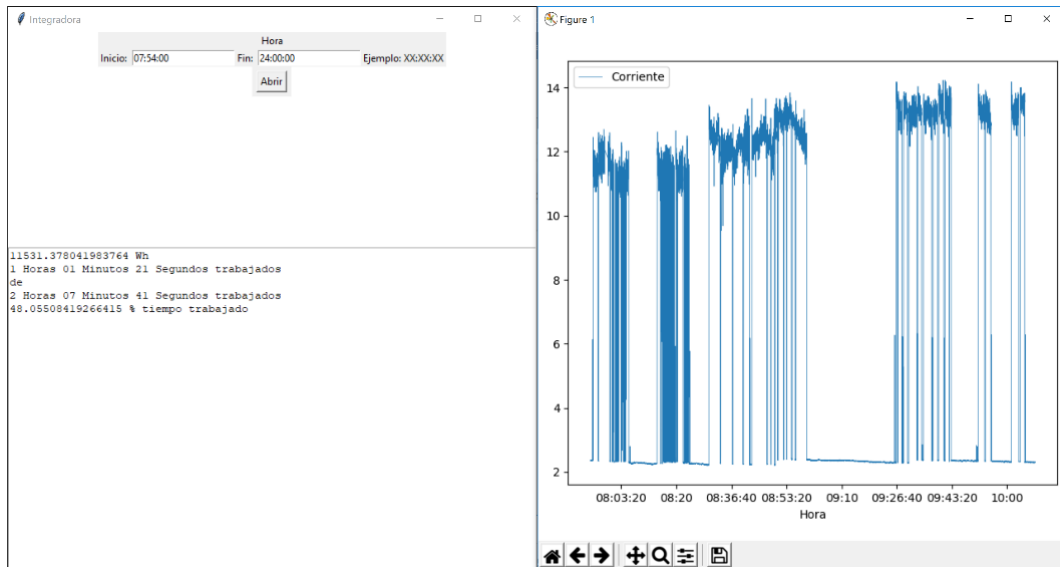


Figura 3. 31. Visualización de la data

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En esta sección se presentan las conclusiones obtenidas a partir de los resultados de las pruebas realizadas al equipo de medición de tiempos de arco de soldadura, las limitaciones del equipo y las recomendaciones que se pueden implementar posteriormente para el desarrollo de una herramienta que puede ser muy útil para realizar un mejor control en labores relacionadas a la soldadura.

Para todas las pruebas realizadas se determinó la media y varianza de los datos para cada experimento realizado con el fin de corroborar de qué manera esta dispersión tiene alguna influencia en el cordón de soldadura. Para la prueba #1, en los tres experimentos realizados se puede denotar que la dispersión de los datos aumenta en casi un valor de 0,5 para cada prueba. Se presume que esta posible dispersión pudo haber sido causada por la irregularidad de la superficie donde fue realizada la prueba y conforme la primera prueba fue realizada, la sección metálica se flexiono debido al calor generado por la antorcha por lo que para las 2 pruebas siguientes las distancias entre el alambre tubular y la sección de acero A – 36 tenía variaciones considerables. El consumo en [W-h] es menor en las pruebas 2 y 3, pero no existe correlación con los valores obtenidos de la dispersión. También, se observa que con los valores de las medias obtenidas para cada experimento, se sabe que el amperaje requerido por la máquina de soldar es mayor cuando la distancia disminuye.

En la prueba #2, donde el operador realizo 4 cordones de soldadura y cada experimento aumentando valores de voltaje y de velocidad del alambre tubular. En la *Figura 3.20*. se observan las medias y desviaciones para cada cordón realizado. Conforme el voltaje fue aumentando el amperaje requerido por la maquina desde la fuente fue incrementando. Al mismo tiempo, dado que los cordones fueron realizados por operadores especializados se observa uniformidad en el aspecto del cordón y eso se puede corroborar con los valores de las desviaciones obtenidas para cada experimento, no existe gran variación a diferencia de lo que sucedió en la prueba #1. Con respecto a la velocidad de deposición de alambre tubular, conforme este factor se variaba para cada experimento el tiempo de duración para realizar la misma longitud de cordón disminuye considerablemente. Por ejemplo, en el experimento #1, #2, #3 y #4 tiene duraciones de

1 min con 13 segundos, 1 min con 03 segundos, 54 segundos y 44 segundos respectivamente; la diferencia es de 10 segundos por cada aumento de 100 [in/min] para cada experimento. Estas disminuciones de tiempo para cada experimento se ven representadas en el consumo de energía en [W-h]; la diferencia entre el primer experimento y el cuarto experimento es de 75 [W-h].

En la prueba #3, el objetivo es corroborar el funcionamiento del equipo de medición de tiempos de arco de soldadura para poder hallar la eficiencia del trabajo realizado. En este caso se hizo la unión de una brida a una tubería. En la *Figura 3.26*; se observan las variaciones del amperaje suministrado hacia la maquina debido a que los cordones a realizar no son constantes como en las anteriores pruebas. El equipo de medición determino una eficiencia del 48%. En las *Figuras 3.23. – 3.25.* se observan las variaciones del amperaje. Durante la realización de esta prueba que duró 2 horas con 8 minutos, el trabajo netamente en soldadura duró casi la mitad del tiempo, pero eso no retrata que los operadores estuvieron sin realizar trabajo alguno. Durante el tiempo restante del trabajo los operadores realizaban labores de cuadrar la brida en la tubería, mover las piezas soldadas con la ayuda de una grúa, y todo tipo de tipo de actividad que toma tiempo pero necesaria para la realización del trabajo.

4.1. Conclusiones

- El equipo de medición de tiempos de arco de soldadura realiza las funciones de detectar y registrar efectivamente los valores de corriente suministrados a los equipos de soldadura desde la fuente energética. Se considera que el equipo tuvo un desempeño exitoso durante las pruebas realizadas; demostró la capacidad de notar un cambio de altura boquilla de la antorcha y la sección a soldar, poder medir el consumo energético en [W-h] durante el funcionamiento de la máquina de soldar y la eficiencia del trabajo establecido por la relación entre el tiempo de arco y el tiempo total de encendido de la máquina.
- Tomando en cuenta que la diferencia de altura entre la antorcha y la sección a soldar tiene influencia en el consumo energético, se puede evidenciar por medio de las *Figuras 3.7 - 3.9* que conforme la distancia disminuye el consumo energético incrementa.
- La velocidad de deposición de alambre influye en el tiempo de duración de arco de soldadura. Los 4 experimentos de la prueba #2 se evidencia que conforme la

velocidad aumenta en 100 [in/min]; el tiempo se disminuye en un promedio de 9 [s] para la ejecución de un cordón de igual longitud. Como consecuencia de la disminución de tiempo, se observa que el consumo también disminuye en un promedio de 25.25 [W-h] para cada experimento realizado. Con respecto al aumento de voltaje, en la *Figura 3.18*. se observa que el incremento de esta variable resulta en un mayor grosor del cordón.

- Se puede evidenciar en la figura 3.21 que existe un punto de inflexión en el consumo de material, que al aumentar el voltaje a 34 V y la deposición de material a 700 [in/min], no necesariamente se utiliza más material ya que el tiempo de trabajo se reduce drásticamente, existe un ahorro de energía, de material y un menor tiempo de exposición del trabajador al arco.
- El alcance de aplicaciones del equipo elaborado no se delimita tan solo en máquinas de soldadura, puede ser desarrollado para que pueda ser usado en cualquier otro tipo de máquinas donde se requiera conocer el tiempo de funcionamiento, consumo energético y eficiencia.

4.2. Recomendaciones

- Además del operador en soldadura, es de suma importancia que las personas que se encuentren en un radio cercano a la luz irradiada por la antorcha tomen las debidas precauciones para evitar lesiones oculares.
- Durante las etapas de pruebas, varios experimentos no resultaron efectivos porque al disponer los elementos electrónicos cerca de las líneas eléctricas de la corriente trifásica, estas por medio del campo magnético generado a lo largo del cable generaban ciertas corrientes por medio de inducción que interferían en el desempeño del sistema de adquisición de datos. Dando como resultado pruebas que no recopilaban ni un dato. Es por eso la necesidad de construir una caja farádica que recubra los dispositivos electrónicos usados.
- Las borneras eléctricas que componen la parte del equipo que es usada para las separaciones de las fases deben estar ajustadas correctamente dado que ante cualquier fallo puede causar danos en la máquina de soldar.
- Es importante corroborar que la fuente de 9 [V]; que suministra de energía a los dispositivos electrónicos dentro del equipo de medición se encuentre con suficiente energía. Esto porque durante la realización de una prueba el equipo

dejo de funcionar y no recopiló los suficientes datos que se necesitaban, todo porque la fuente se estaba descargando.

- Otra causa que genera la descarga de la fuente de 9 [V]; es que genera que el equipo de medición comience a descalibrarse y no opte datos con la veracidad necesaria para realizar un análisis.
- Una gran limitación en el diseño es la conexión de la máquina hacia la fuente. Dado que la máquina de soldar puede funcionar a diferentes voltajes esto puede variar en el tipo de clavija eléctrica que se use. Esto puede afectar en la clavija usada para el diseño del equipo de medición construido.

BIBLIOGRAFÍA

- Abiodun Bode, P. (2008). *Current Measurement Applications Handbook*. Hauppauge: Zetex Semiconductors. Retrieved Noviembre 2018, 7
- American National Standard Institute. (2012). *Safety in Welding, Cutting, and Allied Processes*. ANSI, ANSI, Miami. Retrieved Octubre 25, 2018
- AWS. (2015). *Vision for Welding Industry*. American Welding Society, American Welding Society, Miami.
- Cary, H. B. (1998). *Modern Welding Technology* (Cuarta ed., Vol. IV). (Prentice-Hall, Ed.) Troy, Ohio, Estados Unidos: Prentice-Hall. Retrieved Octubre 26, 2018, from http://www.weldinginfocenter.com/basics/ba_02.html
- Frost & Sullivan. (2012, Agosto 14). *Frost & Sullivan*. Retrieved Octubre 26, 2018, from <http://www.frost.com/prod/servlet/press-release-print.pag?docid=264889510>
- Groover, M. P. (2007). *Fundamentos de Manufactura Moderna* (Tercera ed.). (M. Hill, Ed.) Bethlehem, Pennsylvania, Estados Unidos: McGraw - Hill. Retrieved Octubre 26, 2018
- Hariri, A., Paiman, N. A., Leman, A. M., & Yusof, M. Z. (2014, Agosto). Development of Welding Fumes Health Index (WFHI) for Welding Workplace Safety and Health Assessment. *Iranian Journal of Public Health*, 1045 - 1059.
- Health and Safety Executive. (2015, Julio 28). *Health and Safety Executive*. (H. a. Executive, Editor) Retrieved Octubre 28, 2018, from Health and Safety Executive: <http://www.hse.gov.uk/welding/illness.htm>
- Husgafvel-Pursiainen, K., & Siemiatycki, J. (2009). *Welding fumes in identification of research needs to resolve the carcinogenicity of high-priority*. International Agency for Research on Cancer. Lyon: IARC. Retrieved Octubre 28, 2018
- Instruments, N. (2016). *National Instruments*. Retrieved Octubre 17, 2018, from <https://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>
- Jingxiang, Q., Wuzhong, L., Wei, W., Jiaming, X., & Zisheng, A. (2014, July 21). Health Related Quality of Life and Influencing Factors among Welders. *PLOS ONE*, 1.
- Kah, P., & Layus, P. (2014). Real-Time Weld Process onitoring. *Advanced Materials Research*, 1-9.
- KOIKE ARONSON, INC. /. (2017). *Multi-Purpose Mechanized Welding Carriage*. New York.

- Lincoln Electric . (2017, Enero 21). *Lincoln Electric* . Retrieved from Lincoln Electric :
<https://www.lincolnelectric.com/en-us/equipment/advanced-process-welders/Pages/weld-data-monitoring-solutions-home.aspx>
- Lincoln Tech. (2014, Diciembre 2014). *Lincoln Tech Blog*. Retrieved Octubre 26, 2018, from Lincoln Tech Blog: <https://www.lincolntech.edu/news/skilled-trades/welding-technology/types-of-welding-procedures>
- Miller Electric Mfg. LLC. (2017). *SubArc Digital Series*. Appleton.
- National Electric Code. (2012). *Conductors for General Wiring* . Houston.
- National Institute for Occupational Safety and Health . (2007). *NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards*. NIOSH .
- NIOSH. (2018, Noviembre 04). *Centers for Disease Control and Prevention* . Retrieved from <https://www.cdc.gov/niosh/topics/welding/default.html>
- ProEcuador. (2017). *Perfil Sectorial de Metalmecánica*. Ministerio de Comercio Exterior, Instituto de Promoción de Exportaciones e Inversiones. Quito: Ministerio de Comercio Exterior. Retrieved Octubre 24, 2018, from <https://www.proecuador.gob.ec/metalmecanica/>
- Quezada Torres, W. D., Hernández Perez , G. D., & Quezada Moreno, W. F. (2017, Abril 13). Modelo de Gestión Tecnológica para la Intensificación de la Industria Metalmecánica en el Ecuador: Una Solución Conceptual. *Latin American Journal of Business Management*, 220-238.
- Ricelli, M. G., Goldini, M., & Andreoli, R. (2018, Abril 4). Biomarkers of exposure to stainless steel tungsten inert gas welding fumes and the effect of exposure on exhaled breath condensate. *Toxicology Letters*, 2-5.
- Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA. (2012). *Caracterización del Sector Metalmecánico y Área de Soldadura*. Sistema Nacional de Formación para el Trabajo. Bogotá: SENA. Retrieved Octubre 25, 2018
- The Lincoln Electric Company . (2018). *LF-72 and LF-74 Wire Feeders*. Cleveland.
- The Lincoln Electric Company . (2017). *Digital Submerged Arc Welding Systems*. Cleveland.
- The Lincoln Electric Company . (2017). *IdealArc DC - 1000*. Cleveland.
- The Lincoln Electric Company. (2010). *IdealArc CV 305*. Cleveland: THE LINCOLN ELECTRIC COMPANY.
- Varela , M., King, K., & Cadena, S. (2012). *Estudio de Caso Sector Metalmecánica: Industrias Galvano*. Ministerio de Industrias y Productividad, FLACSO - Ecuador. Quito: Ministerio

de Industrias y Productividad. Retrieved Octubre 24, 2018, from
[https://www.industrias.gob.ec/wp-
content/uploads/downloads/2012/08/Estudio_de_caso_sector_metalmecanico-.pdf](https://www.industrias.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/08/Estudio_de_caso_sector_metalmecanico-.pdf)

VISHAY . (2015). *Components and Methods for Current Measurement*. VISHAY .

Ward, D., & La T. Exon, J. (1993). Using Rogowski coils for transient current measurements.
ENGINEERING SCIENCE AND EDUCATION JOURNAL, 107.

Wash, R. A., & Cormier, D. (2006). Machining and Metalworking Handbook. In R. A. Wash, & D. Cormier, *Machining and Metalworking Handbook* (Tercera ed., Vol. III, pp. 1-3). McGraw - Hill. Retrieved Octubre 24, 2018

Zolada. (2000). *Catálogo General de Bornes*. Buenos Aires.

APÉNDICES

APÉNDICE A
FICHAS TÉCNICAS

Ficha Técnica de Caja Plástica de Paso

Caja de paso usada para proteger a los elementos eléctricos del equipo de medición de tiempos de arco de soldadura.

Ventajas

- Fabricadas en Polipropileno.
- Con o sin membrana de entrada de tubos.
- Excelente presentación y acabado.
- Instalación fácil para interiores y exteriores.



Código	Producto	Medidas en cm			KNOCK-OUT			
		A	B	C	F	T	D	I
93-10-10	Con membrana 100x100x70	10	10	7	2	2	2	2
93-15-11	Con membrana 150x110x70	15	11	7	3	3	2	2
93-15-15	Con membrana 150x150x70	15	15	7	2	2	2	2
93-20-10	Con membrana 200x100x70	20	10	7	2	2	2	2
93-20-15	Con membrana 200x155x80	20	15,5	8	3	3	2	2
93-25-20	Con membrana 255x200x80	25,5	20	8	3	3	3	3
93-30-25	Con membrana 300x250x120	30	25	12	3	3	3	3
93-40-35	Con membrana 400x350x120	40	35	12	4	4	4	4
93-15-11-SM	Sin membrana 150x110x70	15	11	7	3	3	2	2
93-15-15-SM	Sin membrana 150x150x70	15	15	7	2	2	2	2
93-20-10-SM	Sin membrana 200x100x70	20	10	7	2	2	2	2
93-20-15-SM	Sin membrana 200x155x80	20	15,5	8	3	3	2	2
93-25-20-SM	Sin membrana 255x200x80	25,5	20	8	3	3	3	3
93-30-25-SM	Sin membrana 300x250x120	30	25	12	3	3	3	3
93-40-35-SM	Sin membrana 400x350x120	40	35	12	4	4	4	4
93-8-5	Redonda con membrana 80x50	50	80	80	1	1	1	1
93-8-5-SM	Redonda sin membrana 80x50	50	80	80	1	1	1	1



CAT-VER-01-018


www.proelectricos.com

 PROELECTRICOS 6

Figura A. 1. Especificación técnica de caja de paso plástica.

Ficha Técnica de Bornera Eléctrica – Legrand

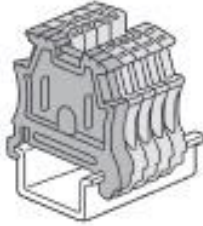
Especificaciones de borneras eléctricas dispuestas en el riel din para cumplir la separación de las fases de la corriente trifásica. Borneras capaces de funcionar con el voltaje de 400 V, requerido por la máquina de soldar.



87045 LIMOGES Cedex
Téléphone: + 33 0 5 56 06 57 87 - Fax: + 33 0 5 56 06 88 88

Viking 3 End stops





Cat. Nos: 375 10/11/12/13



1. GENERAL CHARACTERISTICS


The Viking 3 end stops fitted at the ends of the blocks enables a perfect coherence of the terminal blocks.

2. RANGE


				
Cat. Nos	375 10	375 11	375 12	375 13
Pitch (mm)	6	8	10	12
For rails	L Depth 15 mm EN 60715 – Depth 7.5 mm ¹⁾ and 15 mm			
Fixing	Without screw		With screws	

¹⁾ Except end stop Cat. No. 375 12 fixed on plate.

→ Cat. No. 375 10
Screwless mounting for the end stop Cat. No. 375 10.




The end stop Cat. No. 375 10 can also be used as an end stop for Viking 3 screw connection blocks with 1 entry / 1 outlet and pitch from 5 to 10 mm.




2. RANGE (continued)

→ Cat. No. 375 12
End stop Cat. No. 375 12 is used to support a protection or shielding bar.


Brass bar




Copper bar with or without clamps



Steel bar with IP 2X terminal strip



Bar with sliding clamps.

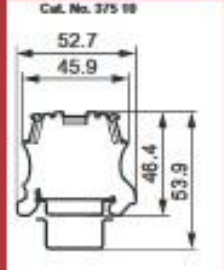


3. TECHNICAL CHARACTERISTICS

Tightening torque: 1.4 Nm max. (screwdriver blade Ø 4 mm).
Dark gray polyamide V2 according UE 94.
Self-extinguishing: 650°C Cat. No. 375 11/12 - 960°C Cat. No. 375 10/13 according to IEC EN 60695-2-11.

4. DIMENSIONS

Cat. No. 375 10



Cat. No. 375 11





Figura A. 2. Especificación técnica de bornera eléctrica marca Legrand

Ficha Técnica de Riel Din

Especificaciones de riel din para colocación de borneras eléctricas, la marca de riel din se desconoce dado que fue adquirido en una ferretería donde no tenían registro de la marca. A pesar de eso, los rieles din se manejan con medidas estándares para cualquier tipo de marca.



American Electrical, Inc.

Industrial Electrical Accessories

425 Southlake Blvd. • Suite 9-B • Richmond, VA 23238 • (804) 379-2899 • Fax: (804) 379-8935

DIN Rail

- Steel design
- White zinc plating
- 2 meter length
- Standard packs of 20
- Competitive Pricing
- Industry standard Materials
- CE approved
- 6 types available
- No Markings on Rail

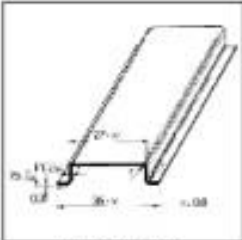
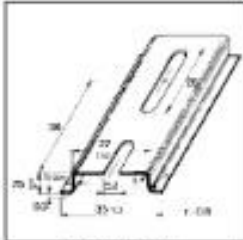
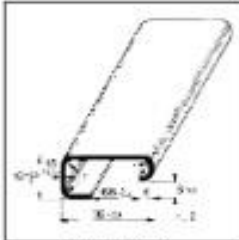

<p>35 mm X 7.5 mm Solid Standard Pack: 20</p>  <p>TS3575SOL</p>  <p>* Other Lengths Available</p>	<p>35 mm X 7.5 mm Slotted Standard Pack: 20</p>  <p>TS3575SL</p>  <p>* Other Lengths Available</p>	<p>32 mm X 15 mm Solid Standard Pack: 20</p>  <p>TS32SOL</p>  <p>* Other Lengths Available</p>
---	--	--

Figura A. 3. Especificación técnica de Riel Din

Ficha Técnica de Clavijas Industriales – Legrand 63 [A]

Especificaciones técnicas de las clavijas eléctricas hembra/macho usadas para la conexión hacia la fuente y a la máquina de soldar. Las clavijas fueron seleccionadas a partir de las especificaciones técnicas de la máquina de soldar en el taller de FIVAR S.A.



P 17 Tempra Pro IP 66/67 - LV 16, 32, 63 and 125 A
selection chart

		FUNCTIONS						
		SURFACE MOUNTING SOCKETS	PANEL MOUNTING SOCKETS INCLINED OUTLET	MOBILE SOCKETS	STRAIGHT PLUGS	APPLIANCE INLETS		
Conform to BS EN 60309-1 and IEC 60309-1 and BS EN 60309-2 and IEC 60309-2 IP 44 according to BS EN 60529 and IEC 60529 IK 80 according to BS EN 62262 and IEC 62262 Material: polyamide 6 Self-extinguishing: 950 °C (support of active parts) / 650 °C (plastic housing)								
	LV	Female connector	Female connector	Female connector	Male connector	Male connector		
100 to 130 V~ 50/60 Hz	16 A	2 P + ↓	5553 51	5553 81	5553 01	5553 21	0568 00	
	32 A	2 P + ↓	5554 51	5554 81	-	5554 31	-	
200 to 250 V~ 50/60 Hz	16 A	2 P + ↓	5553 54	5553 84	5553 04	5553 24	0568 03	
		3 P + ↓	5553 55	5553 85	5553 05	5553 25	-	
	32 A	2 P + ↓	5554 54	5554 84	5554 14	5554 34	0568 23	
		3 P + ↓	5554 55	5554 85	5554 15	5554 35	-	
	63 A	2 P + ↓	5555 54	5555 84	5555 04	5555 24	5555 14	
		3 P + ↓	5555 55	5555 85	5555 05	5555 25	-	
380 to 415 V~ 50/60 Hz	16 A	3 P + ↓	5553 58	5553 88	5553 08	5553 28	0568 07	
		3 P + N + ↓	5553 59	5553 89	5553 09	5553 29	0568 08	
	32 A	3 P + ↓	5554 58	5554 88	5554 18	5554 38	0568 27	
		3 P + N + ↓	5554 59	5554 89	5 554 19	5554 39	0568 28	
	63 A	3 P + ↓	5555 58	5555 88	5555 08	5555 28	5555 18	
		3 P + N + ↓	5555 59	5555 89	5555 09	5555 29	5555 19	
	125 A	3 P + ↓	5556 58	5556 88	5556 08	5556 28	5556 18	
		3 P + N + ↓	5556 59	5556 89	5556 09	5556 29	5556 19	
	440 V~ 50/60 Hz for refrigerated containers	32 A	3 P + ↓	-	5554 91	5554 21	5554 41	-

Figura A. 4. Selección de clavijas macho/hembra marca Legrand.

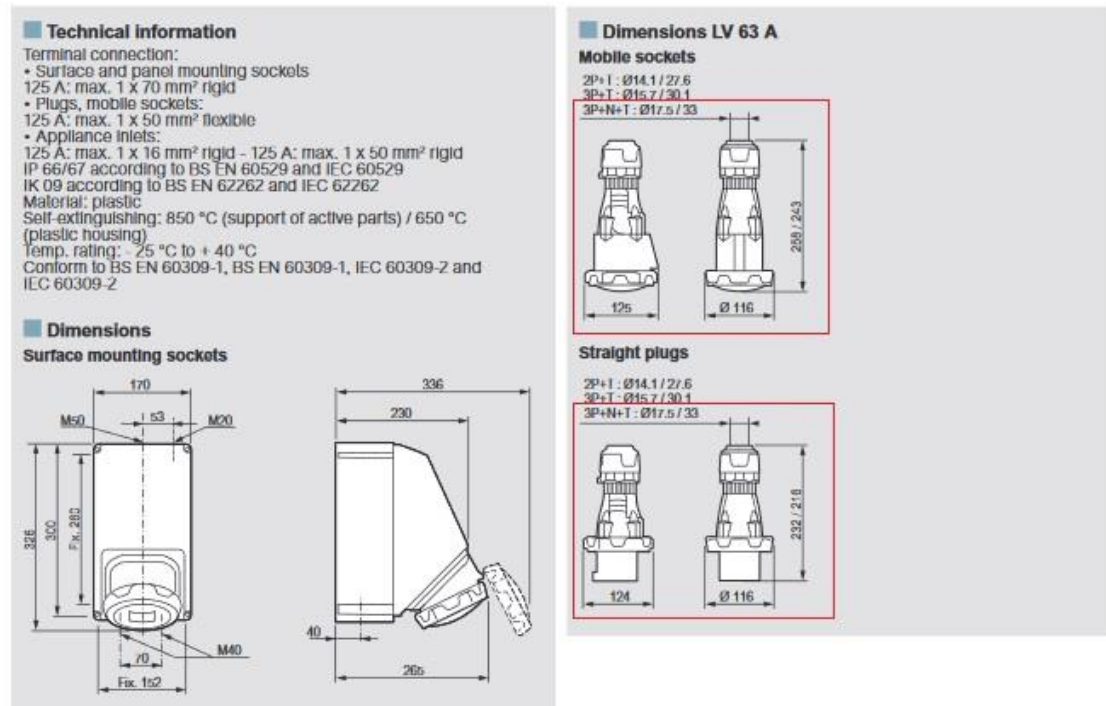


Figura A. 5. Dimensiones de clavijas macho/hembra

Ficha Técnica del Microcontrolador Arduino

Especificaciones técnicas del microcontrolador usado para la adquisición de datos y principal componente del equipo de medición de tiempos de arco de soldadura.

Microcontroller	ATmega328P
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328P) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm
Weight	25 g

Figura A. 6. Especificaciones técnicas de Arduino – UNO

Ficha Técnica de Máquina de Soldar (MIG)

Especificaciones técnicas de máquina de soldar disponible en el taller de FIVAR S.A; usada para la realización de pruebas para corroborar el funcionamiento del equipo de medición de tiempos de arco de soldadura.

MIG WELDERS

Idealarc® CV305, CV400-I

<p>Processes MIG, Flux-Cored</p> <p>Product Number K2400-1 CV305 - 208/230/460/3/60 K2400-2 CV305 - 230/460/575/3/60 K2395-2 CV305/LF-72 Ready-Pak® K2402-1 CV400-I 220/380/440/3/50/60</p> <p><i>See back for more specs</i></p>	<p>Input Power CV305: 208/230/460/3/60 230/460/575/3/60 CV400-I: 220/380/440/3/50/60</p> <p>Input Current @ Rated Output 51/48/24A 48/24/20A</p> <p>Rated Output 315/32.6V/100% Duty Cycle</p>	<p>Output Range 50-400A</p> <p>Weight/Dimensions (H x W x D) 300 lbs. (136 kg) 24.6 x 19.5 x 27.0 in. (625 x 495 x 686 mm)</p>
---	---	--

You won't find a more reliable power source.


This unit is the most compact unit in its class, yet it's loaded with convenient features! A digital meter, line voltage compensation and remote/local control are all standard.

FEATURES

- ▶ **Two output connectors** – Allow you to connect to high or low inductance for optimal arc control. Use low inductance output connection when short-arc welding, and high inductance output connection with spray and globular transfer welding.
- ▶ **Digital Ammeter/Voltmeter** – Display allows presets for added convenience and accuracy.
- ▶ **Easy access Twist Mate™ connection** – On the front of the machine.
- ▶ **Quality & Reliability** – Environmentally protected transformer and power rectifier are rugged and reliable.
- ▶ **Seven-year warranty on power rectifier.**

APPLICATIONS

- ▶ **Metal Fabrication**



Shown K2400-1

WHAT'S INCLUDED
CV305/LF-72 Wire Feeder Ready-Pak® Package.
Order K2395-2

- ▶ CV305 Power Source (208/230/460/3/60)
- ▶ LF-72 Bench Model (Two Roll) Wire Feeder with standard wire reel stand, 10 ft. (3.0 m) control cable, and .035-.045 in. (0.9 - 1.1 mm) solid wire drive roll and guide tube kit.
- ▶ 15 ft. (4.5) Magnum® PRO 350 Gun and Cable Assembly with .035-.045 in. (0.9-1.1 mm) liner.
- ▶ Work [15 ft. (4.5 m)] and Wire Feeder [10 ft. (3.0 m)] Power Cables Package.
- ▶ Harris® Gas Regulator/Flowmeter and 10 ft. (3.0 m) Hose Kit.

INPUT

3
60
50/60

Hz
Hz

OUTPUT

CV
DC



Two Year Extended Warranty Available on CV305 in the U.S.A. and Canada

RECOMMENDED FEEDERS

- ▶ LF-72
- ▶ LF-74
- ▶ LN-25 PRO

Figura A. 7. Especificaciones técnicas de máquina de soldar usada en pruebas

Ficha Técnica del Sensor de Corriente

Especificación técnica de sensor de corriente adaptado al microcontrolador, el cual su funcionamiento no invasivo consiste en la adhesión a una línea de corriente con el fin de recopilar información.

Split core current transformer



Model: SCT-013 **Rated input current: 5A/100A**

Characteristics: Opening size: 13mm*13mm,
 Non-linearity±3% (10%—120% of rated input current)
 1m leading wire, standard Φ3.5 three core plug output.
 Current output type and voltage output type (voltage output type built-in sampling resistor)

Purpose: Used for current measurement, monitor and protection for AC motor, lighting equipment, air compressor etc

Core material: ferrite

Mechanical strength: the number of switching is not less than 1000 times(test at 25°C)

Safety index: Dielectric strength(between shell and output)1000V AC/1min

Fire resistance property: In accordance with UL94-Vo

Work temperature: -25°C~+70°C



Outline size diagram: (in mm)

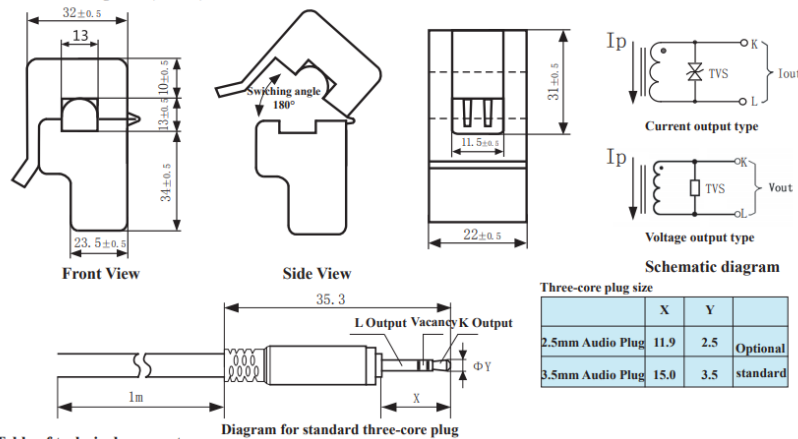


Table of technical parameter:

Model	SCT-013-000	SCT-013-005	SCT-013-010	SCT-013-015	SCT-013-020
Input current	0-100A	0-5A	0-10A	0-15A	0-20A
Output type	0-50mA	0-1V	0-1V	0-1V	0-1V
Model	SCT-013-025	SCT-013-030	SCT-013-050	SCT-013-060	SCT-013-000V
Input current	0-25A	0-30A	0-50A	0-60A	0-100A
Output type	0-1V	0-1V	0-1V	0-1V	0-1V

※ Output type: voltage output type built-in sampling resistor, current output type built-in protective diode.

Tel: 86-13933609279 Fax: 86-7929499-804 skype:macymeng1
 Web (China): www.yhdc.com Web (Latvia): www.yhdc.lv

Figura A. 8. Ficha técnica de sensor de corriente SCT – 013

APÉNDICE B
CÓDIGOS

Código Arduino para adquisición de datos

```
#include <Wire.h>
#include <TimeLib.h>
#include <DS1307RTC.h>
#include <SD.h>
#include <string.h>

char timedatebuf[65];
int year4digit;
char filename[65];

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.print("Inicializando tarjeta SD");
  pinMode(10, OUTPUT);
  if (!SD.begin(10)) { // Chequear tarjeta SD
    Serial.println("No hay tarjeta SD");
    return;
  }
  Serial.println("SD Lista");
}

float CorrienteRMS()
{
  float voltajeSensor;
  float corriente=0;
  float Suma=0;
  long tiempo=millis();
  int N=0;
  while(millis()-tiempo<500)// recoge datos por 0.5 segundos
  {
    voltajeSensor = analogRead(A0)*(0.00488758553275)-2.4877;//valor análogo por resolución
```



```

    corriente=voltajeSensor*42.9184549; //
    Suma=Suma+sq(corriente);//Suma de Cuadrados
    N=N+1;
    delay(1);
}
corriente=sqrt((Suma)/N); // RMS
return(corriente);
}

void print2digits(int number) {
    if (number >= 0 && number < 10) {
        Serial.write('0');
    }
    Serial.print(number);
}

void loop() {
    tmElements_t tm;
    sprintf(filename, "%02d%02d%02d.csv", tm.Day, tm.Month, tmYearToCalendar(tm.Year));
    File dataFile = SD.open(filename, FILE_WRITE); // Abrir archivo CSV
    float Irms=CorrienteRMS(); //Corriente RMS
    float P=Irms*440.0; // Potencia

    dataFile.print(Irms,3);
    dataFile.print(",");
    dataFile.print(P,3);
    dataFile.print(",");

    Serial.print(Irms,3);
    Serial.println(",");
}

```

```
if (RTC.read(tm)) {  
    sprintf(timedatebuf, "%02d:%02d:%02d,%02d/%02d/%02d",tm.Hour, tm.Minute, tm.Second, tm.Day,  
tm.Month, tmYearToCalendar(tm.Year));  
  
    if (dataFile) { // Verificar SD  
        dataFile.println(timedatebuf);  
  
        Serial.println(timedatebuf);  
    }  
  
    else {  
        Serial.println("Data.txt"); // Si no se encuentra la tarjeta SD  
    }  
dataFile.close(); // Cerrar archivo  
}  
}
```

Código Python para análisis de datos

```
#importar bibliotecas a utilizar
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy import integrate
import math

data = pd.read_csv(r"C:\Users\adria\Desktop\Data integradora\23012019.CSV",
names=['Corriente','Potencia','Hora','Fecha'])

#Ingresamos horas de inicio y fin de donde querramos ver la data
Inicio = input('Hora inicio: ')
Fin = input('Hora fin: ')

#Definimos voltaje de trabajo de la maquina
Voltaje = 440

data['Hora'] = pd.to_datetime(data.Hora).dt.time #transformamos objects a formato hora de pandas
data['Fecha'] = pd.to_datetime(data.Fecha) #transformamos objects a formato fecha de pandas

#Generamos una columna que le asigna 0.5 segundos a cada muestra (2 muestras por segundo)
data['TimeSec'] = '0.5'
data['TimeSec'] = pd.to_numeric(data.TimeSec, errors='coerce')

data['HoraStr'] = data['Hora']

#Columna de potencia
data['Potencia'] = data['Corriente']*Voltaje*math.sqrt(3)

#Potencia * Dif de tiempo para area bajo la curva
data['P*dt'] = data['Potencia']*0.5
```

```

data['HoraStr'] = data['HoraStr'].astype(str)

#Creamos sub categoría de data entre las horas de inicio y fin ingresadas
dataseleccionada = data[(data['HoraStr'] > Inicio) & (data['HoraStr']<= Fin)]

#Watts-segundo (Sumatoria)
Ws = dataseleccionada.loc[dataseleccionada['Corriente'] > 0.1, 'P*dt'].sum()
#Watts-Hora
Wh = Ws/3600

print(Wh , 'Wh')

ax = plt.gca()

#Tiempo Total
tts = dataseleccionada.loc[dataseleccionada['Corriente'] > 0, 'TimeSec'].sum()
ttm = tts/60

#Segundos Trabajados
st = dataseleccionada.loc[dataseleccionada['Corriente'] > 3.5, 'TimeSec'].sum()
#Minutos Trabajados
mt=st/60

#%Tiempo Trabajado
ptt = (st/tts)*100

m, s = divmod(st, 60)
h, m = divmod(m, 60)
print ((" %d Horas %02d Minutos %02d Segundos" ) % (h, m, s), ' trabajados')

```

```
print ('de')
```

```
m, s = divmod(tts, 60)
```

```
h, m = divmod(m, 60)
```

```
print ((" %d Horas %02d Minutos %02d Segundos" ) % (h, m, s), ' totales')
```

```
print(ptt, '% tiempo trabajado')
```

```
dataseleccionada.plot(x='Hora', y='Corriente', kind='line', ax=ax, linewidth=0.5)
```

```
plt.ylabel('Corriente [A]')
```

```
plt.show()
```

```
#data.plot(x='Hora', y='Potencia', kind='line', ax=ax)
```

```
#plt.show()
```

APÉNDICE C
REGISTRO DE REUNIONES Y ENTREVISTAS



Materia Integradora de Ingeniería Mecánica MECG1026, 2018 - Termino I
Registro de Entrevistas con Contactos Externos

Paralelo: 3

Profesor Coordinador: FRANCIS LOAYZA PhD

Proyecto: "Diseño y construcción de un sistema de medición de tiempo de arco de soldadura"

Reunión No.	Fecha	Estudiante	Nombre del Contacto	Email / teléfono de Contacto
1	27/09/18	ADRIANO ARENAS GLENN MALDONADO	Ins. PAUL Ajila	+593999402687
Descripción del Contacto: <u>Ins. Paul Ajila / especialista en soldadura</u>				
Comentarios: <u>- Presentación de proyecto integrado; se compartió requerimientos e información técnica acerca de soldadura</u>				
Reunión No.	Fecha	Estudiante	Nombre del Contacto	Email / teléfono de Contacto
2	03/12/18	ADRIANO ARENAS GLENN MALDONADO	Ins. PAUL Ajila	+593999402687
Descripción del Contacto: <u>Ins. Paul Ajila / especialista en soldadura</u>				
Comentarios: <u>- Información técnica de máquinas de soldar utilizadas; explicación de múltiples alternativas de diseño</u>				
Reunión No.	Fecha	Estudiante	Nombre del Contacto	Email / teléfono de Contacto
3	21/01/19	ADRIANO ARENAS GLENN MALDONADO	Ins. PAUL AJILA Ins. LUIS BRITO	+593999402687 +0996767956
Descripción del Contacto: <u>Ing. Luis Brito / CEO FIVAR S.A.</u>				
Comentarios: <u>- Presentación de proyecto integrado y realización de pruebas en taller FIVAR S.A.</u>				
Reunión No.	Fecha	Estudiante	Nombre del Contacto	Email / teléfono de Contacto
4	22/09/19	ADRIANO ARENAS GLENN MALDONADO	Ins. PAUL AJILA Ins. LUIS BRITO	+593999402687 0996767956
Descripción del Contacto: <u>Ins. Paul Ajila / Ins. Luis Brito - soldadura - metalmeccánica</u>				
Comentarios: <u>- Pruebas de equipo de medición en el taller de FIVAR S.A. con la ayuda de especialistas en soldadura</u>				
Reunión No.	Fecha	Estudiante	Nombre del Contacto	Email / teléfono de Contacto
5	23/01/19	ADRIANO ARENAS GLENN MALDONADO	Ins. PAUL AJILA Ins. LUIS BRITO	+593999402687 0996767956
Descripción del Contacto: <u>Ins. PAUL AJILA / Ins. Luis Brito</u>				
Comentarios: <u>- Prueba para corroborar la eficiencia de trabajo de unión de brida en tubería.</u>				