



# UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

PROTOTIPO PARA ADQUISICIÓN DE SEÑALES ELÉCTRICAS EN  
PROYECTO SMART CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE  
MACHALA

AYALA HUACON WILLIAM ALBERTO  
INGENIERO DE SISTEMAS

MACHALA  
2020



# UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

PROTOTIPO PARA ADQUISICIÓN DE SEÑALES ELÉCTRICAS  
EN PROYECTO SMART CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD  
TÉCNICA DE MACHALA

AYALA HUACON WILLIAM ALBERTO  
INGENIERO DE SISTEMAS

MACHALA  
2020



# UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

TRABAJO TITULACIÓN  
PROPUESTAS TECNOLÓGICAS

PROTOTIPO PARA ADQUISICIÓN DE SEÑALES ELÉCTRICAS EN PROYECTO  
SMART CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA

AYALA HUACON WILLIAM ALBERTO  
INGENIERO DE SISTEMAS

NOVILLO VICUÑA JOHNNY PAUL

MACHALA, 17 DE DICIEMBRE DE 2020

MACHALA  
2020

# Validar coincidencias

---

## INFORME DE ORIGINALIDAD

---

0%

INDICE DE SIMILITUD

0%

FUENTES DE  
INTERNET

0%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

---

## FUENTES PRIMARIAS

---

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Activo

## CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, AYALA HUACON WILLIAM ALBERTO, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado PROTOTIPO PARA ADQUISICIÓN DE SEÑALES ELÉCTRICAS EN PROYECTO SMART CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 17 de diciembre de 2020



AYALA HUACON WILLIAM ALBERTO  
0706434503

UNIVERSITAS  
MAGISTROUM  
ET SCHOLARUM

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado principalmente a Dios y a mi madre Noemí Huacón por los sacrificios que ha realizado a lo largo de mi proceso educativo, por el amor y los consejos que me ha brindado en los momentos más difíciles de mi vida, por su apoyo incondicional y oraciones que ha realizado para que haya llegado hasta aquí.

A mis hermanos Cristhian Ayala y Emily Ayala por motivarme, ser siempre positivos, por su apoyo moral y económico para alcanzar las metas que me he propuesto hasta este momento.

Sr. Ayala Huacón William Alberto

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero dar gracias Dios, por guiar mi camino por la senda del bien, por bendecir a todos los integrantes de mi familia y a mí, por ser mi esperanza y mi escudo ante las adversidades, por ser mi principal fuente de sabiduría y aquel en el que puedo encomendarme siempre.

También quiero expresar mi agradecimiento a los docentes de la Carrera de Ingeniería de Sistemas por compartir sus conocimientos, por estar siempre disponibles ante el surgimiento de alguna inquietud y brindarme la oportunidad de participar en proyectos que me permitieron adquirir experiencia laboral.

De manera muy especial a mi tutor el Ing. Johnny Paúl Novillo Vicuña a quien puedo considerar como un amigo y ejemplo a seguir.

Sr. Ayala Huacón William Alberto

## RESUMEN

El uso de los instrumentos de medición como herramienta de adquisición de datos se ha vuelto muy común en muchos sectores. Este hecho se justifica debido a que hoy en día la información es muy valiosa y necesaria para prever el comportamiento de los fenómenos físicos del mundo real, ofreciendo beneficios como la capacidad de monitorear eventos y reducir su impacto negativo. Al contar con más información la probabilidad de éxito a la hora de tomar decisiones aumenta; debido a esto, los artefactos que puedan extraer información del mundo real son muy requeridos.

Los instrumentos de medición tradicionales, además de estar fundamentados en la necesidad de emplear varios artefactos para realizar mediciones simples de diferentes magnitudes, su funcionalidad es muy limitada y además requieren de un operario todo el tiempo y solo realizan mediciones in situ. Lo que resulta poco práctico si se toma en cuenta que hoy en día existen dispositivos con un grado de autonomía que realizan tareas de forma eficaz y que pueden ser controlados remotamente desde el otro lado del mundo.

Aunque los instrumentos de medición actuales son superiores a los artefactos de antaño, estos tienen ciertas limitaciones que afectan directamente a su adquisición. Estos dispositivos aunque poseen grandes características son muy caros y están ligados a un proceso de desarrollo estándar que no permite que sean modificables, es decir cuando se adquieren estos productos muchas veces el usuario debe adaptarse a las capacidades del artefacto. Los dispositivos de adquisición de datos son un actor principal dentro de este escenario, aunque sus prestaciones son muy solicitadas el precio de adquisición es considerado muchas veces demasiado caro. El precio de los artefactos se justifica al observar los componentes electrónicos usados en el proceso de su fabricación, pero no son tan demandados por el usuario común y mucho menos cuando se puede desarrollar dispositivos DAQ de bajo costo adaptados a requerimientos específicos y que son capaces de rivalizar con la funcionalidad y rendimiento de sus similares de fabricación industrial.

La finalidad de esta propuesta es diseñar e implementar una tarjeta de adquisición de datos para la medición y transmisión de datos de señales de corriente y voltaje, así como también el control de circuitos de paneles eléctricos mediante el uso del miniordenador Raspberry Pi, de tal forma que el usuario pueda controlar las funciones de la misma sin la necesidad de estar presente físicamente.



Como herramienta para realizar el diseño del esquema del circuito electrónico y la construcción de la placa de circuito impreso se escogió el software de diseño y simulación PROTEUS, debido a que cuenta con una gama muy extensa de librerías con elementos electrónicos, los cuales pueden ser utilizados para realizar una evaluación del comportamiento del circuito electrónico propuesto, como si estuviera siendo implementado en el mundo real. El cerebro del dispositivo será la Raspberry Pi, la cual es una minicomputadora, que cuenta con 40 pines GPIO programables para emitir señales de control hacia multiplexores y módulo de relés, así como también transmitir y recibir datos del convertidor analógico/digital.

**Palabras claves:** Instrumentos de medición, adquisición de datos, tarjeta de adquisición de datos, circuito electrónico, Raspberry Pi, Proteus.

## **ABSTRACT**

The use of measurement instruments as a data acquisition tool has become very common in many sectors. This fact is justified because today the information is very valuable and necessary to predict the behavior of physical phenomena in the real world, offering benefits such as the ability to monitor events and reduce their negative impact. By having more information the probability of success when making decisions increases; because of this, artifacts that can extract information from the real world are in high demand.

Traditional measuring instruments, in addition to being based on the need to use several devices to make simple measurements of different magnitudes, their functionality is very limited and they also require an operator all the time and only perform measurements on site. What is impractical if you take into account that today there are devices with a degree of autonomy that perform tasks efficiently and that can be controlled remotely from the other side of the world.

Although today's measuring instruments are superior to the artifacts of yesteryear, they have certain limitations that directly affect their acquisition. These devices, although they have great characteristics, are very expensive and are linked to a standard development process that does not allow them to be modifiable, that is, when these products are acquired, the user often must adapt to the capabilities of the device. Data acquisition devices are a major player in this scenario, although their features are in high demand, the acquisition price is often considered too expensive. The price of the artifacts is justified when looking at the electronic components used in the manufacturing process, but they are not so demanded by the common user and much less when low-cost DAQ devices can be developed adapted to specific requirements and that are capable of rival the functionality and performance of its industrially manufactured counterparts.

The purpose of this proposal is to design and implement a data acquisition card for the measurement and transmission of data of current and voltage signals, as well as the control of electrical panel circuits through the use of the Raspberry Pi minicomputer, in such a way that the user can control its functions without the need to be physically present.

As a tool to design the electronic circuit diagram and the construction of the printed circuit board, the PROTEUS design and simulation software was chosen, because it has a very extensive range of libraries with electronic elements, which can be used to perform an evaluation of the behavior of the proposed electronic circuit, as if it were being implemented

in the real world. The brain of the device will be the Raspberry Pi, which is a minicomputer, which has 40 programmable GPIO pins to output control signals to multiplexers and relay modules, as well as transmit and receive data from the analog / digital converter.

**Keywords:** Measuring instruments, data acquisition, data acquisition card, electronic circuit, Raspberry Pi, Proteus.

## CONTENIDO

DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTO	2
RESUMEN	3
ABSTRACT	5
INTRODUCCIÓN	11
<b>CAPÍTULO I: DIAGNÓSTICO DE NECESIDADES Y REQUERIMIENTOS</b>	<b>13</b>
ÁMBITO DE APLICACIÓN: DESCRIPCIÓN DEL CONTEXTO Y HECHOS DE INTERÉS	
13	
ESTABLECIMIENTO DE REQUERIMIENTOS	14
JUSTIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS A SATISFACER	15
<b>CAPÍTULO II: DESARROLLO DEL PROTOTIPO</b>	<b>16</b>
DEFINICIÓN DEL PROTOTIPO TECNOLÓGICO	16
Acondicionamiento de Señal	16
Conversión Analógico/Digital	16
Actuadores	17
Raspberry Pi	17
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DEL PROTOTIPO	19
Instrumentación Virtual	19
Sistema de Adquisición de Datos	19
Adquisición de Datos	20
Tarjetas de Adquisición de Datos	20
Acondicionamiento de Señal	21
Conversión Analógica/Digital	21
Microcontrolador	21
Protocolo SPI	22
Proteus	22
OBJETIVOS DEL PROTOTIPO	23

Objetivo General	23
Objetivos Específicos	23
<b>DISEÑO DEL PROTOTIPO</b>	<b>24</b>
Componentes electrónicos	24
Diseño del Circuito Acondicionador de Voltaje	24
Diseño del Circuito Acondicionador de Corriente	28
Diseño del circuito conversor analógico/digital	32
Diseño de del módulo de relays, multiplexores y ADC con Raspberry Pi	33
<b>EJECUCIÓN Y/O ENSAMBLAJE DEL PROTOTIPO</b>	<b>35</b>
Acondicionamiento de Señales	36
Circuito Acondicionador de Voltaje	36
Circuito Acondicionador de Corriente	37
Conversión Analógico/Digital	39
Actuadores	39
<b>CAPÍTULO III: EVALUACIÓN DEL PROTOTIPO</b>	<b>41</b>
PLAN DE EVALUACIÓN	41
RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN	41
Simulación de onda de voltaje	42
Simulación de la onda de corriente	43
CONCLUSIONES	46
RECOMENDACIONES	47

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Componentes electrónicos para el desarrollo del prototipo	24
Tabla 2: Tabla de verdad del multiplexor Cd74hc4067	37
Tabla 3: Tabla de verdad del multiplexor 74hc4051	38
Tabla 4: Valores medidos y digitalizados de ondas de voltaje y corriente	41

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de bloques del prototipo	16
Figura 2: Esquema de secuencia del prototipo	17
Figura 3: Circuito acondicionador de señal de voltaje	25
Figura 4: Divisor de voltaje	25
Figura 5: Amplificador operacional sumador para voltaje	27
Figura 6: Circuito de acondicionamiento de corriente	28
Figura 7: Configuración física de transformador de corriente	29
Figura 8: Multiplexado de señales de corriente	29
Figura 9: Amplificador operacional con ganancia variable	30
Figura 10: Amplificador operacional sumador para corriente	31
Figura 11: Circuito conversor analógico/digital	32
Figura 12: Condensador como desacoplador	32
Figura 13: Conexión de pines Raspberry Pi y módulo de relays	33
Figura 14: Conexión de pines Raspberry Pi y pines de ADC MCP3208	33
Figura 15: Conexión de pines Raspberry Pi y multiplexor de 16 canales	34
Figura 16: Conexión de pines Raspberry Pi y multiplexor de 8 canales	34
Figura 17: Plantilla PCB del prototipo	35
Figura 18: Prototipo de tarjeta DAQ ensamblada	35
Figura 19 : Prototipo de circuito acondicionador de voltaje ensamblado	36
Figura 20 : Prototipo de circuito acondicionador de corriente ensamblado	37
Figura 21 : Prototipo de circuitoded conversion analogico/digital ensamblado	39
Figura 22 : Prototipo de circuitos de conexión entre el módulo de relés e interfaz GPIO ensamblado	39
Figura 23 : Simulación de onda de voltaje- amplitud de voltaje	42
Figura 24 : Simulación de onda de voltaje-conexión de osciloscopio	42
Figura 25 : Simulación de onda de voltaje-visualización	43

Figura 26: Simulación de onda de corriente-amplitud de corriente	43
Figura 27: Simulación de onda de corriente-conexiones	44
Figura 28: Simulación de onda de corriente-visualización	44

## INTRODUCCIÓN

A lo largo del tiempo el avance tecnológico ha concedido a la humanidad la capacidad de realizar acciones que antes eran consideradas una fantasía y adquirir conocimientos que muchas veces superan nuestra capacidad de comprensión. Uno de esos avances se da en el campo del hardware, es decir, en el desarrollo de nuevos componentes y dispositivos eléctricos y electrónicos que satisfacen las necesidades actuales de la sociedad, ya sea para utilizarlos en la vida cotidiana o incluirlos en el control, monitoreo o automatización de procesos de cualquier sector.

En el ámbito energético se dan innovaciones tecnológicas de hardware a través del desarrollo de nuevos instrumentos de medición, monitoreo, control o visualización de datos de variables eléctricas. Pero también existen artefactos que poseen todas las funcionalidades anteriormente mencionadas y muchas más, los cuales son denominados dispositivos DAQ o tarjeta de adquisición de datos. Las tarjetas de adquisición de datos son dispositivos que generalmente son utilizados para adquirir y medir señales analógicas de fenómenos físicos, que posteriormente mediante software son convertidos en datos para ser almacenados, procesados y visualizados [1].

Las tarjetas de adquisición de datos que ofertan en el mercado por lo general poseen un precio de adquisición importante y tienen un diseño predefinido, e incluso es necesario comprar módulos de expansión para cumplir con las necesidades del usuario, por lo que a veces es mejor desarrollar tarjetas de adquisición de datos en base a requerimientos específicos como en los casos [2], [3], [4], [5] y [6] que utilizan componentes de bajo costo para desarrollar dispositivos DAQ.

El siguiente trabajo de titulación presenta el diseño e implementación de una tarjeta de adquisición de datos para la medición y transmisión de datos de señales de corriente y voltaje, así como también el control de circuitos de paneles eléctricos. Este documento se encuentra dividido en tres capítulos que son descritos a continuación:

El **Capítulo 1** presenta el ámbito de aplicación de la propuesta, argumentando la factibilidad del desarrollo del dispositivo, así como también, se detallan los requerimientos y su respectiva justificación, describiendo la importancia que tiene la solución presentada ante las necesidades delineadas.

En el **Capítulo 2** se detallan las normas de desarrollo del prototipo. En primer lugar, se define la propuesta tecnológica, seguido de la fundamentación teórica de los elementos



electrónicos utilizados, luego se establecen los objetivos, en cuarto lugar, se procede al diseño del prototipo para finalizar con el ensamblaje del mismo.

En el **Capítulo 3** se realiza un plan de evaluación del prototipo, resultando en la comparación de la funcionalidad del dispositivo propuesto con una herramienta dedicada a la medición de variables eléctricas. Por último, se describen las conclusiones y recomendaciones surgidas a partir del desarrollo de la propuesta tecnológica.

## **1. CAPÍTULO I: DIAGNÓSTICO DE NECESIDADES Y REQUERIMIENTOS**

### **1.1. ÁMBITO DE APLICACIÓN: DESCRIPCIÓN DEL CONTEXTO Y HECHOS DE INTERÉS**

Los sistemas de adquisición de datos se emplean para conocer el comportamiento de fenómenos físicos en tiempo real [7] [8]. Este tipo de sistema es muy versátil, ya que mediante el uso un software de computadora desarrollado en cualquier tipo de lenguaje de programación y hardware construido usando implementos de bajo costo puede emular y hasta superar las características y funciones más importantes de la instrumentación tradicional.

Los dispositivos DAQ que son fabricados por las grandes empresas a menudo son muy costosos debido a los elementos electrónicos y tecnología empleada en su diseño y desarrollo. Por lo cual, es necesario contar con tarjetas de adquisición de datos económicas, de fácil diseño, construcción y que primordialmente sean confiables. Una de las opciones más económicas para implementar sistemas de adquisición de datos es el uso de microcontroladores como los utilizados en las placas electrónicas Arduino, que según [9], su funcionalidad se compara con los sistemas de alto coste. Los miniordenadores como Raspberry Pi también pueden ser utilizados como plataforma de construcción de un sistema DAQ debido a que cuenta con todas las características básicas de una computadora.

La propuesta tecnológica planteada tiene como propósito diseñar e implementar una tarjeta de adquisición de datos para la medición y transmisión de datos de señales de corriente y voltaje, así como también el control de circuitos de paneles eléctricos, mediante el uso de elementos electrónicos activos y pasivos que conforman los circuitos de acondicionamiento de señales y conversión analógico/digital, un módulo de relés para el encendido y apagado de circuitos y el miniordenador Raspberry Pi.

## **1.2. ESTABLECIMIENTO DE REQUERIMIENTOS**

El dispositivo DAQ permitirá acondicionar señales analógicas de voltaje de baja tensión de hasta 130 V RMS y corriente con un valor RMS de hasta 5 A mediante dos circuitos individuales para cada unidad de medida, la tarjeta de adquisición de datos emplea un conversor analógico/digital para que cada una de las variables físicas que sean seleccionadas se digitalicen y finalmente se transfieran mediante el protocolo SPI hacia el cliente que los solicite. La medición y digitalización de las señales se realizarán una por una de manera individual. El artefacto contará con un módulo de relays que controlará el encendido y apagado de circuitos eléctricos. Las señales de control que necesita cada uno de los dispositivos de la tarjeta de adquisición de datos serán emitidas por el miniordenador Raspberry Pi mediante sus 40 pines programables,

Los requerimientos de esta propuesta tecnológica se basarán en las mediciones de las variables eléctricas tomadas en el lugar de implementación del prototipo. Se utilizarán instrumentos tradicionales de medición para conocer el valor de las magnitudes eléctricas de voltaje y de corriente para luego analizar la factibilidad de acondicionamiento de cada una de las señales medidas y las características de su origen.

### **1.3. JUSTIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS A SATISFACER**

Los sistemas eléctricos a menudo se construyen empíricamente, es decir, no se realiza un estudio del consumo previsto del lugar donde se planea realizar la instalación, y ante esta situación suele ocurrir que en un determinado momento los conductores de voltaje comienzan a sufrir sobrecargas debido a que un dispositivo consume más energía de la prevista, lo que resulta en incendios y pérdida material e incluso muertes, sin embargo para prevenir este tipo de accidentes es necesario implementar dispositivos que sean capaces de identificar una amplitud de onda anormal y deshabilitar el consumo eléctrico del sistema testeado para evitar desgracias.

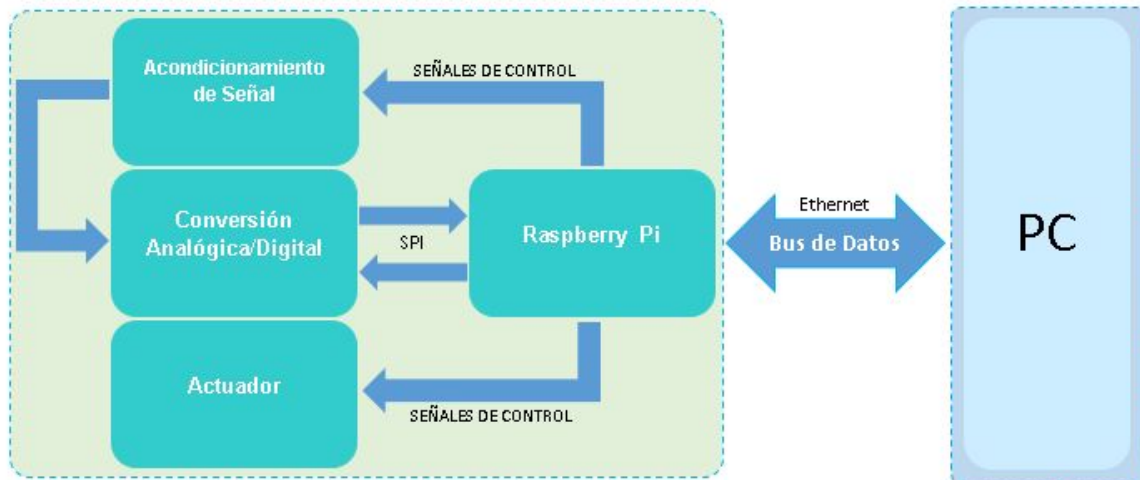
El objetivo de la actual propuesta tecnológica es el diseño, desarrollo e implementación de una tarjeta de adquisición de datos que permita la medición y transmisión de los datos de corriente y voltaje y el control de circuitos eléctricos de un tablero de distribución eléctrica. El dispositivo DAQ concederá la posibilidad de monitorear en tiempo real la tensión suministrada, el consumo y controlar el corte y reconexión de energía de circuitos.

## 2. CAPÍTULO II: DESARROLLO DEL PROTOTIPO

### 2.1. DEFINICIÓN DEL PROTOTIPO TECNOLÓGICO

La arquitectura del prototipo se compone de cuatro partes: acondicionamiento de señal, conversión analógico digital (CAD), actuador y Raspberry Pi.

Figura 1: Diagrama de bloques del prototipo



Fuente: Elaboración Propia

#### 2.1.1. Acondicionamiento de Señal

Esta fase de la tarjeta de adquisición de datos es la encargada de adaptar las señales analógicas a magnitudes que puedan ser medidas en la etapa de conversión analógica digital del dispositivo DAQ [10].

En esta etapa convergen las señales analógicas de voltaje y corriente que van a ser medidas, seguidamente pasarán por circuitos electrónicos que las transformarán a magnitudes de tensión con una amplitud y desplazamiento específico para su tratamiento en la etapa de conversión analógico/digital. Para adecuar las señales se hará uso de elementos electrónicos como: resistencias de precisión, amplificadores operacionales y multiplexores analógicos.

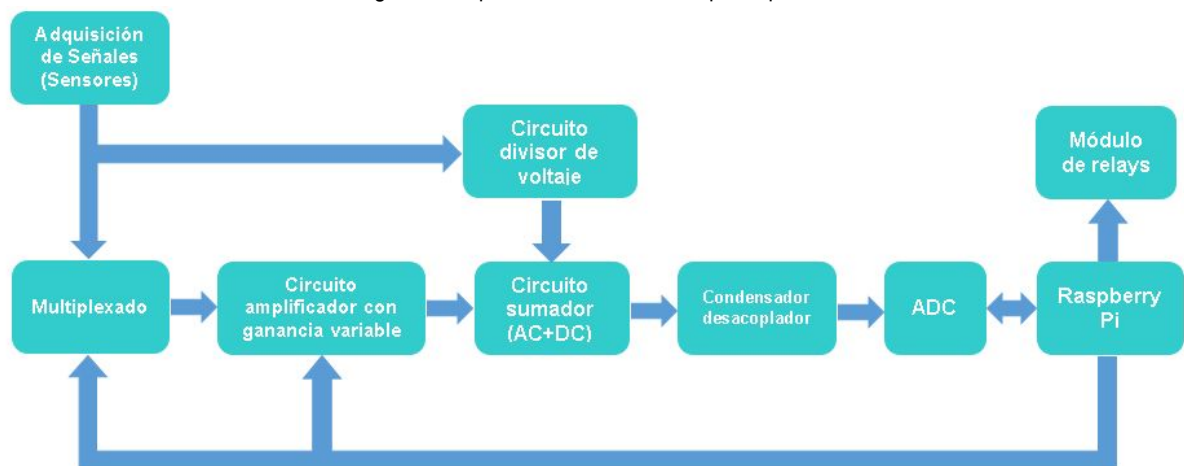
#### 2.1.2. Conversión Analógico/Digital

La conversión analógico/digital es el proceso de transformar señales de magnitudes analógicas a un formato binario o digital, para ser medidas y transmitidas mediante un protocolo de comunicación a un computador. Este proceso usualmente se da empleando

dispositivos electrónicos denominados ADC que según su composición tienen una determinada resolución [10] [11].

En esta fase las magnitudes que han sido acondicionadas pasan a través de una configuración electrónica que disminuye el ruido de las señales para luego ser transmitidas a un ADC (Acondicionador Analógico/Digital), en donde finalmente se digitalizan. En el diseño de este circuito se emplearán resistencias de precisión, condensadores y un microcontrolador.

Figura 2: Esquema de secuencia del prototipo



Fuente: Elaboración Propia

### 2.1.3. Actuadores

Un actuador es un dispositivo que al activarse por la aplicación de presión, electricidad u otra fuente, se acciona actuando como disparador para la realización de un proceso automatizado. Un ejemplo de un actuador es un relé debido a que al aplicar sobre él una fuerza electromotriz se energiza el electroimán interno y se activa un interruptor mecánico se activa, permitiendo el paso de energía eléctrica a través de sus terminales NC, NO o COM [12].

El dispositivo que realizará las funciones de actuador es el módulo de 8 relés, los cuales controlan la activación y desactivación de contactores y a su vez los circuitos que ellos controlan.

### 2.1.4. Raspberry Pi

Es una mini computadora de precio módico nacida en el 2012 [13], para un nicho de mercado establecido en países con un bajo desarrollo económico.

Cuenta con las ventajas de cualquier ordenador convencional teniendo puertos usb. puerto ethernet, HDMI, entrada de jack para auriculares, entrada microusb, etc, este dispositivo cuenta con un microprocesador lo que le da acceso a un Sistema Operativo generalmente basado en distribuciones del sistema operativo GNU/Linux e incluso tiene la capacidad de soportar C ++, Python, SQL y HTSQL.

## **2.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DEL PROTOTIPO**

### **2.2.1. Instrumentación Virtual**

La instrumentación virtual permite crear sistemas a medida para solventar las necesidades de cada uno de los escenarios que los necesiten, además estos dispositivos poseen las mismas características y prestaciones que sus similares de precios elevados lo que ayuda a que este tipo de instrumento sea muy utilizado, confiable y amigable con el usuario [14]. Además poseen la capacidad de compartir la información mediante un bus de datos [15], o de manera inalámbrica con un servidor para que la data sea procesada y convertida en valor para la organización.

Todos sistema de instrumentación virtual posee tres componentes principales, los cuales son:

- **Sensores:** que obtienen la señal analogica de los fenómenos físicos del mundo real.
- **Tarjeta de adquisición de datos:** es el hardware del sistema de instrumentación virtual. Se encarga de transformar las señales enviadas desde el sensor, en datos digitales que representen el comportamiento de las variables físicas a través del proceso de acondicionamiento de la señal analogica, digitalizacion y envio de datos aun pc que almacena y procesa la información.
- **Software y computadora:** los programas de computadora se encargan de la visualización de las variables físicas almacenadas y procesadas y además del envío de señales de control hacia la tarjeta de adquisición de datos.

### **2.2.2. Sistema de Adquisición de Datos**

Es recopilar información de un acontecimiento, documentar un fenómeno o registrar datos de un escenario mediante el uso de herramientas o procedimientos. Por ejemplo un electricista que va a tomar los datos del consumo eléctrico de un condominio está realizando un proceso de recolección de datos, un encuestador que hace preguntas a la gente en la calle es otra forma de obtener información, por último el proceso de registro de una persona en una página web es una manera de registrar datos.



Los sistemas de adquisición de datos son una especie de salvavidas para las organizaciones, debido a que al tener información almacenada esta puede ser procesada y realizar predicciones de los eventos con alta probabilidad de ocurrir en el futuro y así tomar las medidas preventivas y correctivas pertinentes.

Dentro del ámbito tecnológico los sistemas DAQ se emplean para realizar el muestreo de varios fenómenos físicos [16], digitalizando sus comportamientos para posteriormente visualizarlos y tomar decisiones. El rendimiento de este tipo de sistemas en este aspecto es muy alto debido a que se cuentan con computadoras industriales conectadas mediante buses de datos a distribuciones de dispositivos que testean al mismo tiempo variables físicas del mundo real [17].

La disponibilidad de los datos de un sistema DAQ que realice muestreo de datos con alta frecuencia debe garantizarse, por lo tanto es necesario que estos sistemas tengan disparadores de hardware para que la información no se pierda con la congestión del ancho de banda de transmisión [18].

### **2.2.3. Adquisición de Datos**

Es la obtención de datos mediante la conversión de magnitudes físicas del mundo real a formato digital . Para lo cual se usan componentes de hardware como una tarjeta de adquisición de datos o dispositivos DAQ y una computadora en donde se instala un software controlador y de visualización para procesar los datos y posteriormente visualizarlos [19].

La finalidad de la adquisición de datos va mucho más allá de la simple digitalización de variables físicas, su verdadera meta es acumular datos para que esta se convierta en información, la información en conocimiento y el conocimiento en valor para quien la use.

### **2.2.4. Tarjetas de Adquisición de Datos**

Una tarjeta de adquisición de datos es una placa electrónica embebida que tiene la función tomar variables físicas de un escenario, acondicionarlas, digitalizarlas y transmitir las mediante un protocolo de comunicación hacia un ordenador en donde se almacenan y visualizan [20].

Este tipo de dispositivos han pasado de ser considerados de simples instrumentos de medición a ser importantes para la parte estratégica de las organizaciones debido a que la

data histórica que proporcionan puede ser convertida en información de alto valor para la toma de decisiones.

#### **2.2.5. Acondicionamiento de Señal**

El acondicionamiento de señal es un proceso dentro de las tarjetas de adquisición de datos que trata a las señales analógicas con diferentes configuraciones de circuitos electrónicos, con la única finalidad de que la variable entrada se ajuste a ciertos parámetros de conversión digital [21].

La precisión de la digitalización de las señales depende directamente de la etapa de adecuación, debido a que si se entrega una señal fuera del rango de referencia de los convertidores adc la onda analógica no presentará su forma real y se obtendrán valores que no servirán para nada al momento de hacer un análisis de datos, tampoco es recomendable entregar una señal muy pequeña ya que se desaprovecharon los bits de resolución de los conversores. Lo ideal es que la forma de onda a digitalizar sea acondicionada para que su amplitud se encuentre entre la mitad y el máximo voltaje de referencia del conversor analógico digital, de esa forma se obtendrán la mayor cantidad de datos posibles del fenómeno físico y la precisión de procesamiento de dicha data aumentaría.

#### **2.2.6. Conversión Analógica/Digital**

En la conversión analógica digital se transforma a formato binario las señales analógicas testeadas, mediante el uso de una rutina de software y un dispositivo que recibe instrucciones a través de un protocolo de comunicación, este dispositivo es denominado ADC [22].

La finalidad de este tipo de transcripción es que los datos sean más fáciles de procesar, almacenar y visualizar [23]. Un aspecto muy importante es la precisión de muestreo de los dispositivos encargados de la digitalización, es decir, la cantidad de puntos o datos que se puede tomar de una señal en un determinado tiempo [24].

#### **2.2.7. Microcontrolador**

Los microcontroladores son pequeñas computadoras que se pueden programar para la ejecución de una tarea o múltiples tareas según su composición electrónica, poseen la capacidad de almacenar información y enviarla a través de puestos de E/S para controlar dispositivos [25].

Se utilizan microcontroladores en la mayoría de procesos electrónicos que ocurren a nuestra simple vista desde el funcionamiento de una lavadora hasta el encendido de una lámpara mediante voz.

#### **2.2.8. Protocolo SPI**

El protocolo SPI (Serial Peripheral Interface) es un estándar de comunicación de corta distancia para la transmisión de información entre sistemas embebidos. En un principio SPI se consideraba como una técnica utilizada para ordenadores pequeños, pero hoy en día se ha convertido en un estándar para la comunicación y la transmisión de datos.

A través del protocolo SPI se puede controlar un sinnúmero de dispositivos electrónicos a los que técnicamente se los considera como esclavos y a quien los controla se lo denomina maestro. Mediante señales de reloj los maestros controlan a los esclavos siempre y cuando en su composición electrónica acepte una serie de bits [26].

#### **2.2.9. Proteus**

Proteus es un software de simulación de circuitos eléctricos y electrónicos. Esta herramienta ofrece una gran variedad de elementos para el diseño y construcción de circuitos. Proteus tiene una extensa librería de microcontroladores, multiplexores, chip, y placas electrónicas como Arduino. El punto fuerte de este sistema es la capacidad de simular el funcionamiento de varios de los dispositivos electrónicos del mercado con el fin de conocer su alcance y limitaciones antes de adquirirlos, y su adaptabilidad ante las necesidades del proyecto que se esté realizando [27].

El programa permite realizar plantillas PCB de manera fácil y eficaz mediante su interfaz amigable al usuario. Su gran cantidad de funciones lo hace el software de simulación y diseño más utilizados en la actualidad.

## **2.3. OBJETIVOS DEL PROTOTIPO**

### **2.3.1. Objetivo General**

Desarrollar una tarjeta de adquisición de datos mediante el uso del miniordenador Raspberry Pi para la medición, visualización y control de variables eléctricas analógicas y circuitos eléctricos de un tablero de distribución.

### **2.3.2. Objetivos Específicos**

- Diseñar y simular el circuito electrónico del dispositivo DAQ mediante el uso de la herramienta PROTEUS.
- Construir el prototipo del dispositivo mediante el uso de componentes electrónicos activos y pasivos.
- Implementar la tarjeta de adquisición de datos para la medición y visualización de voltaje y corriente y el control de circuitos eléctricos.

## 2.4. DISEÑO DEL PROTOTIPO

### 2.4.1. Componentes electrónicos

Los componentes electrónicos utilizados para el desarrollo de la presente propuesta tecnológica son detallados en la Tabla 1.

Tabla 1: Componentes electrónicos utilizados en el desarrollo del prototipo

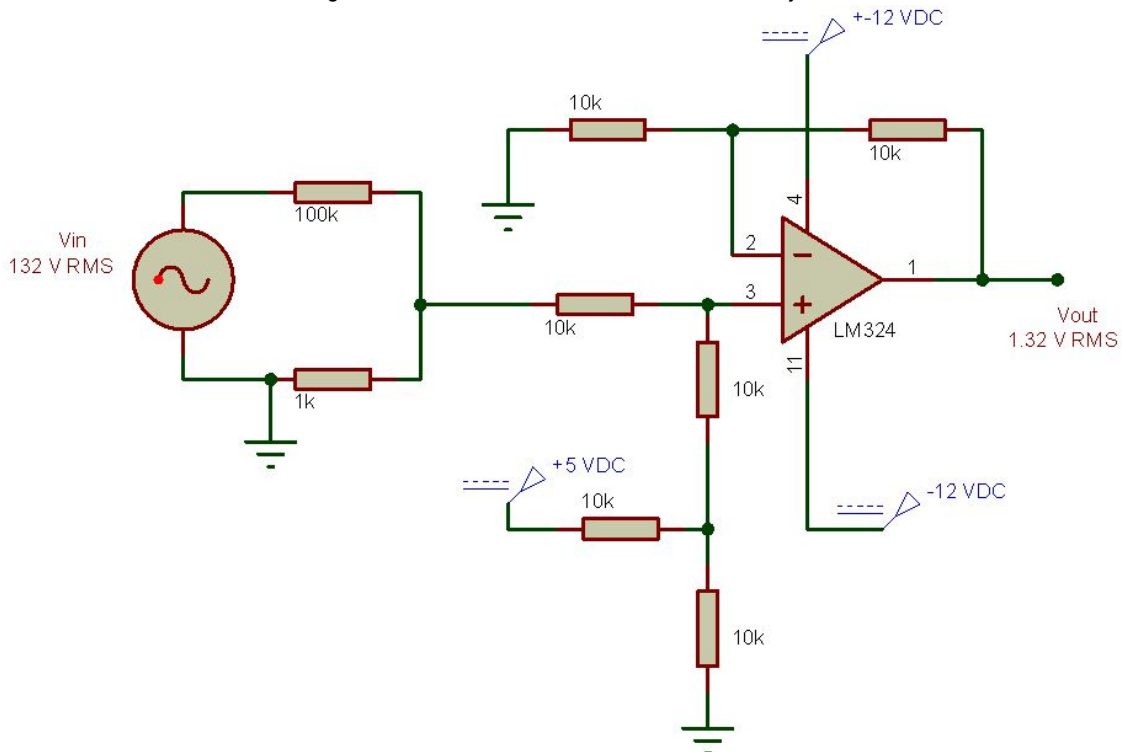
<b>COMPONENTES</b>	
<b>Placa PCB</b>	Tarjeta de circuito impreso
<b>Cables de conexión</b>	Macho-hembra
<b>Bornes</b>	2 entradas
<b>Resistencias de precisión</b>	100 k $\Omega$ y 10 k $\Omega$
<b>Condensadores</b>	100 nF
<b>Amplificador Operacional</b>	LM324N
<b>Multiplexores Analógicos</b>	CD74HC4067(16 canales) y 74HC4051(8 canales)
<b>Conversor Analógico/Digital</b>	ADC MCP3208
<b>Módulo de Relays</b>	8 relays
<b>Raspberry Pi 3 Modelo B</b>	Miniordenador con 40 pines GPIO

Fuente: Elaboración propia

### 2.4.2. Diseño del Circuito Acondicionador de Voltaje

El circuito acondicionador que se muestra en la Figura 3, está diseñado para la adecuación y transformación de una señal analógica de entrada con semiciclos positivos y negativos a una señal alterna de ciclo positivo con amplitud reducida.

Figura 3: Circuito acondicionador de señal de voltaje

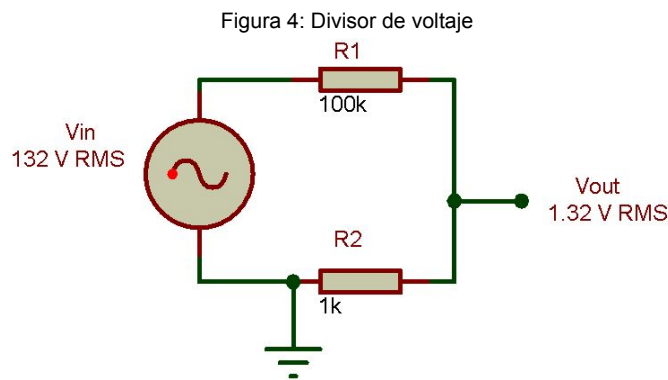


Fuente: Elaborado con PROTEUS 8

Este diseño consta de dos etapas las cuales se describen a continuación:

### Primera Etapa

En esta etapa se cuenta con un circuito divisor de voltaje en donde la tensión de R1 y R2 es el 99% y 1% del valor entrada respectivamente.



Fuente: Elaborado con PROTEUS 8

Estableciendo que el voltaje de entrada y salida, es 132 y 1.32 V RMS respectivamente, y la potencia para cada una de las resistencias empleadas no debe exceder 250 mW, mediante

las siguientes fórmulas se puede calcular el valor nominal aproximado de los elementos resistivos:

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1+R_2} \cdot V_{in} \quad (1)$$

En donde:

$V_{out}$  es el voltaje de entrada.  
 $V_{in}$  es el voltaje de salida.  
 $R_1$  y  $R_2$  representan resistencias.

$$P = V \cdot I \quad (2)$$

En donde:

$P$  es la potencia.  
 $V$  es voltaje.  
 $I$  es intensidad.

$$V = I \cdot R \quad (3)$$

En donde:

$V$  es voltaje.  
 $I$  es intensidad eléctrica.  
 $R$  es impedancia.

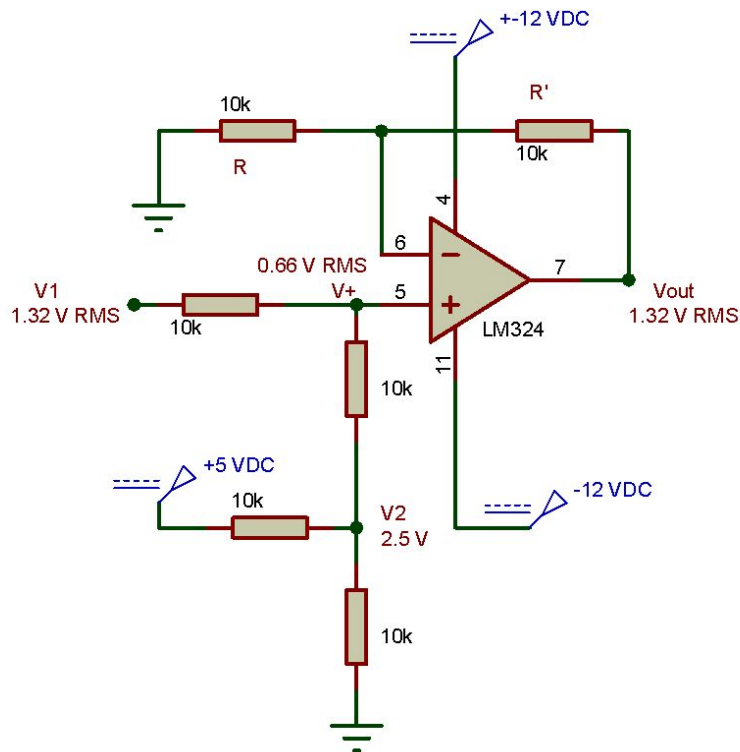
Sustituyendo  $V_{out}=1.32$  V y  $V_{in}=132$  V en (1), se tiene que  $R_1=99R_2$  y  $R_2=R_1/99$ , es decir  $R_1$  es 99 veces el valor de  $R_2$ .

Reemplazando  $P=250$  mW y  $V=1.32$  V en (2) se tiene que la intensidad para todas las resistencias del circuito es  $I=0.189$  A. Por lo tanto, al sustituir los valores de  $V=1.32$  V e  $I=0.189$  A en (3) se obtiene que el valor nominal de  $R_2$  debe ser no menor a  $6.98 \Omega$  y  $R_1$  debe ser 99 veces ese valor. Teniendo en cuenta lo anterior las resistencias escogidas para  $R_1$  y  $R_2$  son de  $100$  k $\Omega$  y  $1$  k $\Omega$  respectivamente.

## Segunda Etapa

La siguiente etapa consta de un amplificador operacional que actúa como sumador de voltaje no inversor, en donde las entradas del circuito son un voltaje alterno de  $1.32$  V RMS (obtenido de la etapa anterior) y una componente continua de  $2.5$  V. La tensión de salida del AOP es  $1.32$  V RMS de ciclo positivo.

Figura 5: Amplificador operacional sumador para voltaje



Fuente: Elaborado con PROTEUS 8

Una vez conocidos los voltajes a sumar se calculan los valores de las resistencias para esta configuración electrónica mediante la siguientes fórmulas:

$$V_+ = \frac{1}{n}(V_1 + V_2 + \dots + V_n) \quad (4)$$

En donde:

$V_1, V_2, \dots, V_n$  son los voltajes de entrada.

$n$  es la cantidad de voltajes de entrada.

$V_+$  está dada en función de todas las tensiones de entrada.

$$V_{out} = (V_+) \left(1 + \frac{R'}{R}\right) \quad (5)$$

En donde:

$V_{out}$  representa el voltaje de salida del circuito.

$V_+$  el voltaje dado en función de todas las tensiones de entrada.

$R'$  y  $R$  son impedancias cuya relación actúa directamente sobre la ganancia del circuito.

En (4)  $n = 2$  debido a que es la cantidad de entradas que se suman,  $V_1 = 1.32 \text{ V RMS}$  y  $V_2 = 2.5 \text{ V DC}$ . Por lo tanto,  $V_+ = 0.66 \text{ V AC}$  debido a que al sumar una tensión AC con una DC



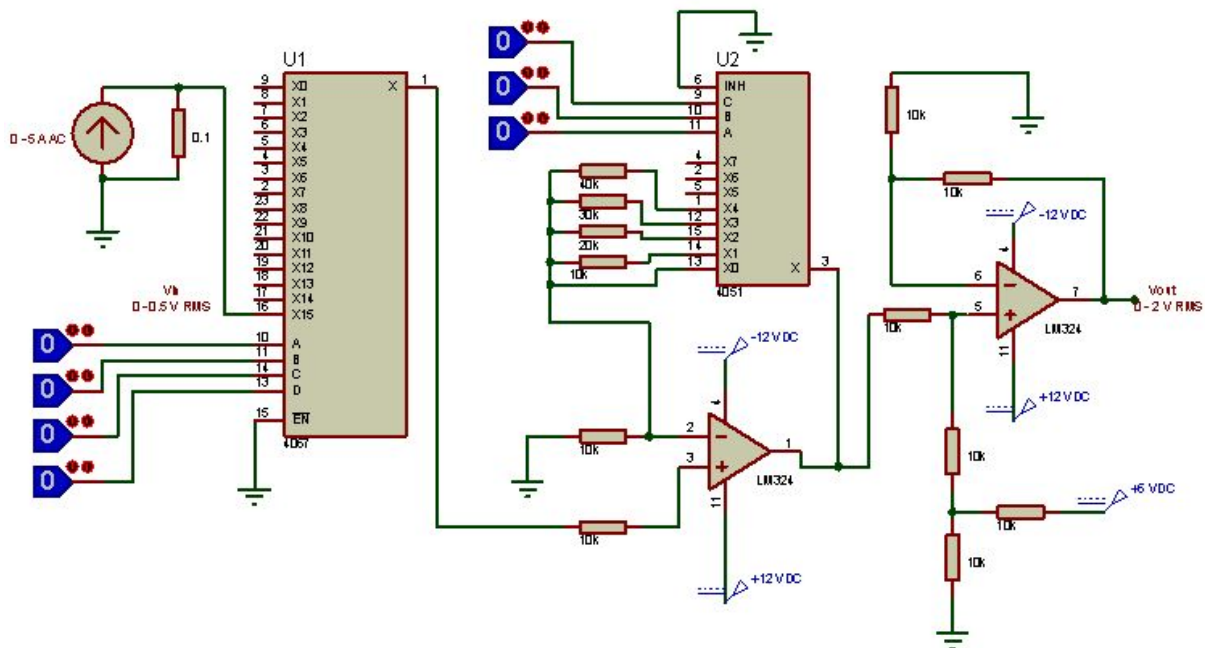
el resultado es la amplitud del voltaje alterno pero su eje se desplaza según el valor de la componente continua..

Como el objetivo del circuito únicamente es desplazar el eje de voltaje de la componente alterna se establece que en (5)  $R' = R$ . Por lo tanto, para efectos prácticos  $R'$  y  $R$  toman el valor de  $10\text{ k}\Omega$ .

### 2.4.3. Diseño del Circuito Acondicionador de Corriente

En la Figura 6 se muestra el diseño del circuito de acondicionamiento de corriente, el cual primero transforma la magnitud analógica de intensidad a voltaje. luego se seleccionan cada una de las señales mediante un proceso de conmutación para ser amplificadas de forma variable, finalmente se añade una componente a la señal original.

Figura 6: Circuito de acondicionamiento de corriente



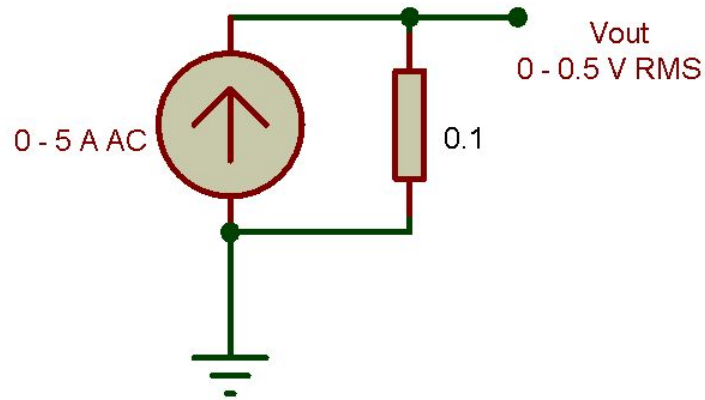
Fuente: Elaborado en PROTEUS 8

Las etapas del circuito se detallan a continuación:

#### Primera Etapa

En esta etapa el origen de la señal de corriente es un TC(Transformador de Corriente) cuya relacion de transformacion es de 30/5 por lo tanto la intensidad oscila entre 0 y 5 A y posee una resistividad de  $0.1\ \Omega$  por lo que el voltaje que se obtiene va desde 0 a 0.5 V RMS tal como se muestra en la Figura 7.

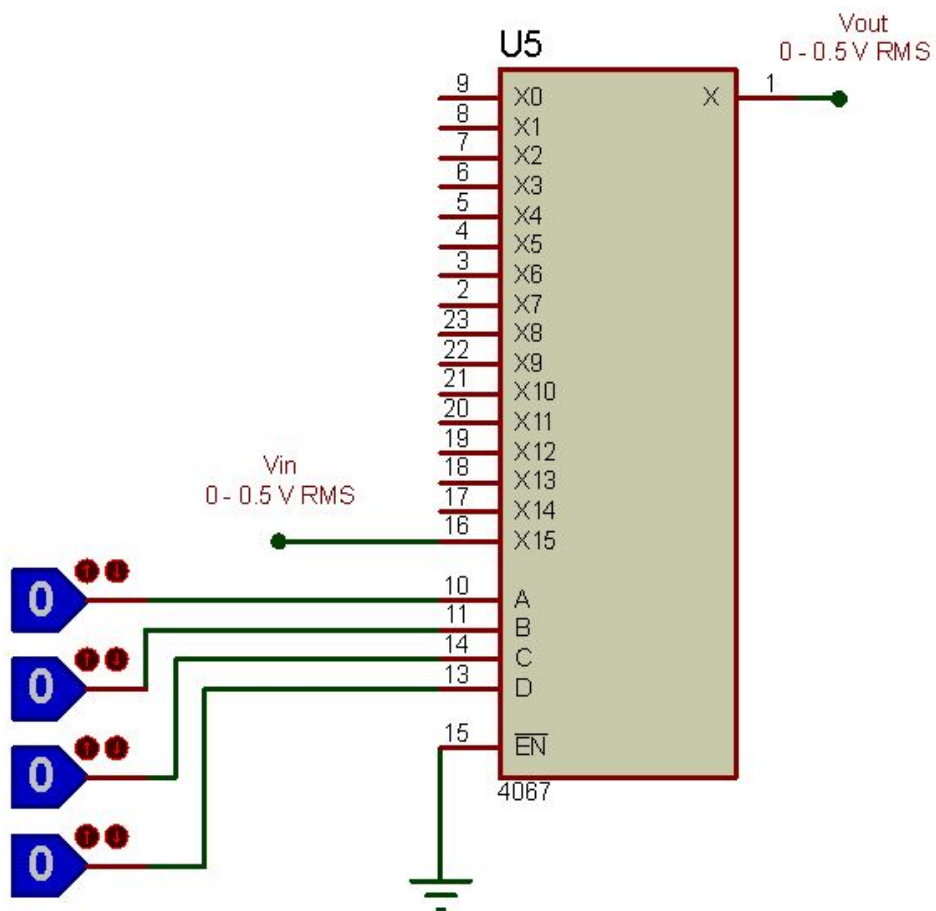
Figura 7: Configuración física de transformador de corriente



Fuente: Elaborado en PROTEUS 8

Para conocer el voltaje de salida se usa la fórmula establecida en (3), en donde se sustituye  $I = 5 \text{ A}$  y  $R = 0.1 \Omega$  obteniendo que  $V = 0.5 \text{ V RMS}$ .

Figura 8: Multiplexado de señales de corriente



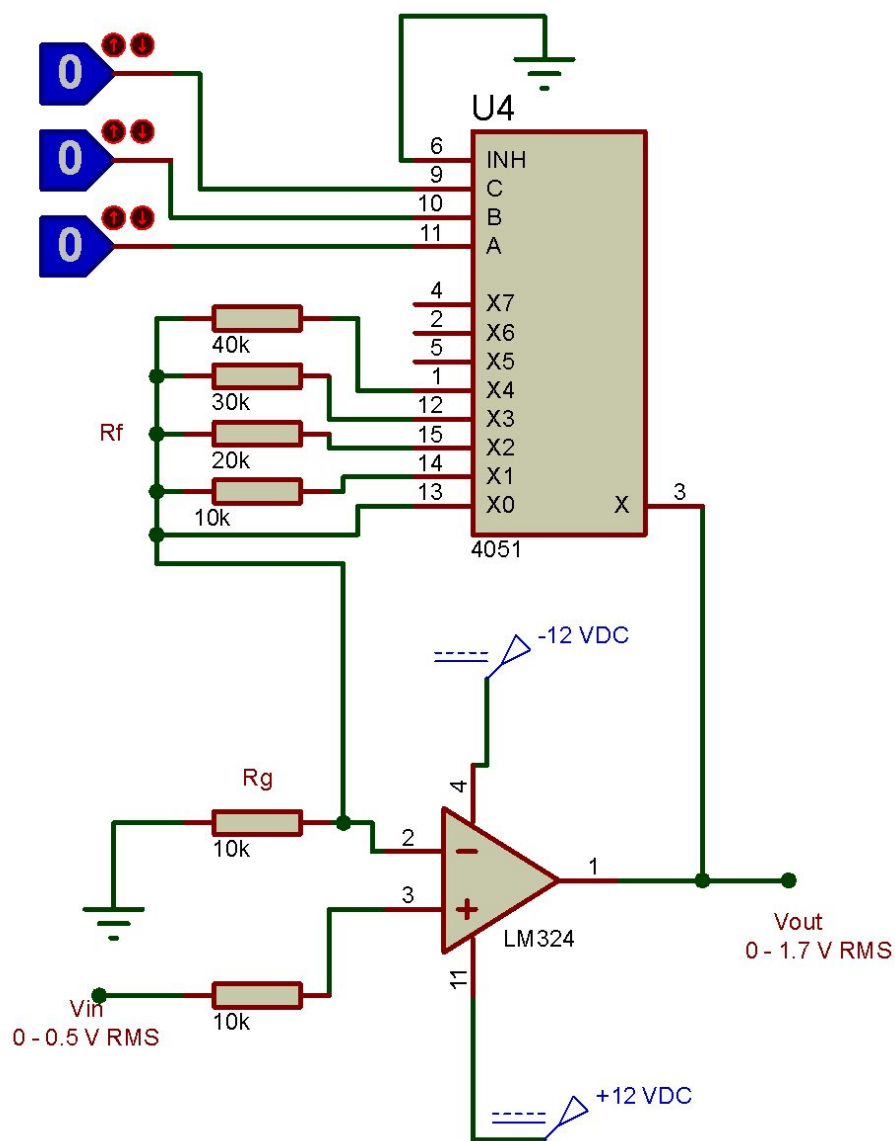
Fuente: Elaborado en PROTEUS 8

En la Figura 8 se presenta la configuración electrónica de la multiplexación de señales analógicas utilizada en esta fase, la cual permite elegir la señal de corriente alterna que se desea medir a través de la activación de señales de control.

### Segunda Etapa

El siguiente circuito permite a las señales incrementar su amplitud de manera variable mediante el uso de un multiplexor activado por señales binarias que al seleccionar canales específicos conmutan las ganancias. Los rangos de voltajes de entrada para esta configuración van de 0 a 0.5 V RMS.

Figura 9: Amplificador operacional con ganancia variable



Fuente: Elaborado con PROTEUS 8

Para calcular los valores de las resistencias se utiliza la siguiente fórmula:

$$V_{out} = V_{in} \left(1 + \frac{R_f}{R_g}\right) \quad (6)$$

Donde:

$V_{in}$  el voltaje dado en función de todas las tensiones de entrada.

$V_{out}$  representa el voltaje de salida del circuito.

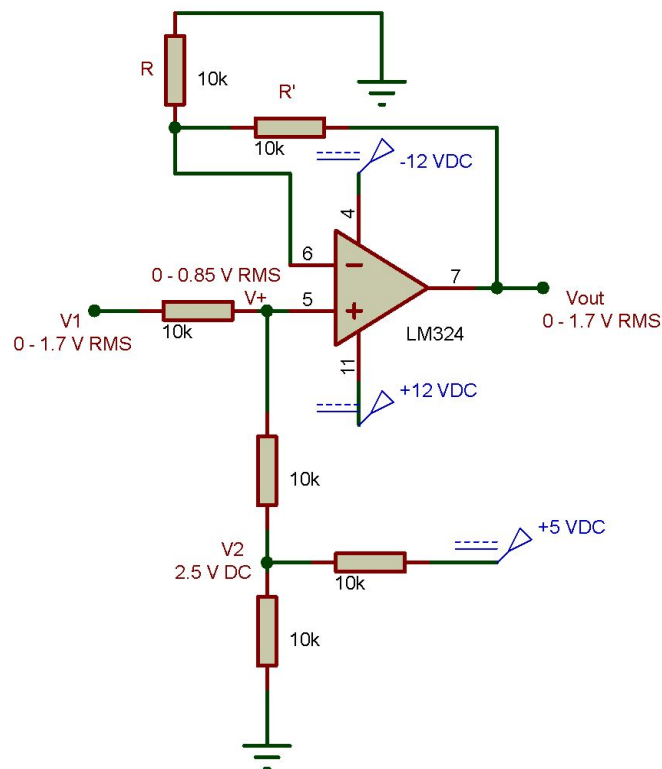
$R_f$  y  $R_g$  son impedancias cuya relación actúa directamente sobre la ganancia del circuito.

Dado que  $V_{out} = 0 - 1.7V$  RMS y definiendo que  $R_g = 10\text{ k}\Omega$  se calcula que  $R_f$  puede tomar valores desde 0 hasta  $40\text{ k}\Omega$ , por lo tanto la señal de entrada puede ampliarse hasta 5 veces.

### Tercera Etapa

La siguiente etapa consta de un AOP sumador de voltaje alterno de hasta  $5\text{ VAC}$  y de una componente continua de  $2.5\text{ VDC}$ . La tensión que resulta de esta configuración posee un ciclo positivo y su amplitud no excede los  $5\text{ VAC}$ .

Figura 10: Amplificador operacional sumador para corriente

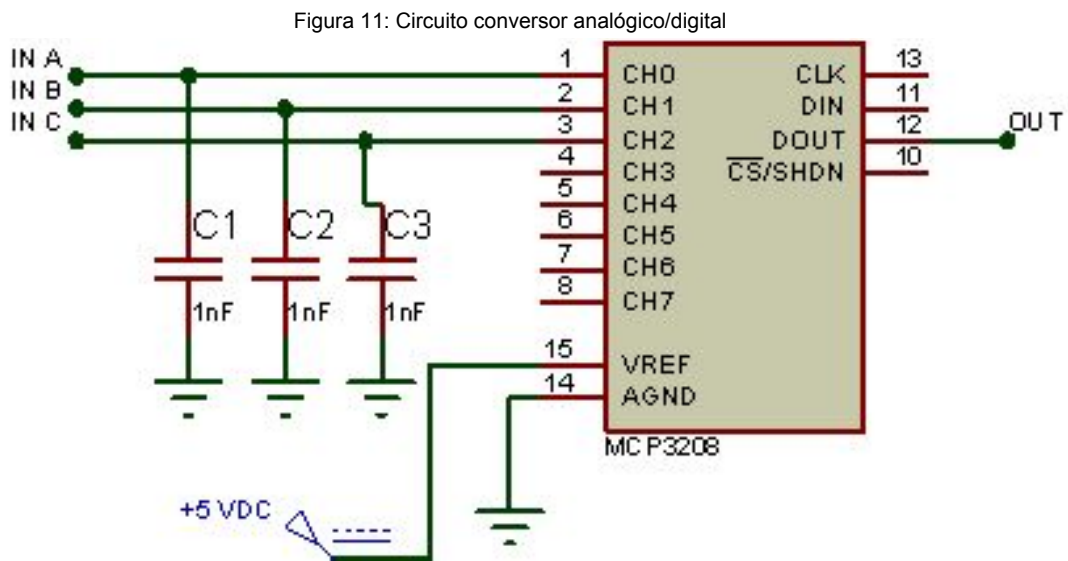


Fuente: Elaborado con PROTEUS 8

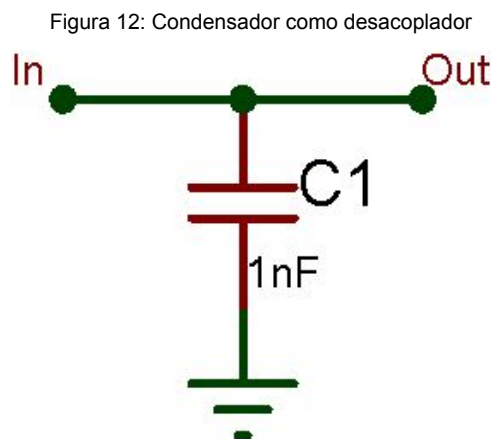
El diseño de este circuito es igual que el mostrado en la Figura 5 y utiliza las ecuaciones (4) y (5) del mismo modo para calcular los valores de los componentes resistivos.

#### 2.4.4. Diseño del circuito conversor analógico/digital

Este circuito está diseñado para digitalizar 3 señales de voltaje de ciclo positivo con amplitud de hasta 5 V Pico-Pico mediante el ADC MCP3208.



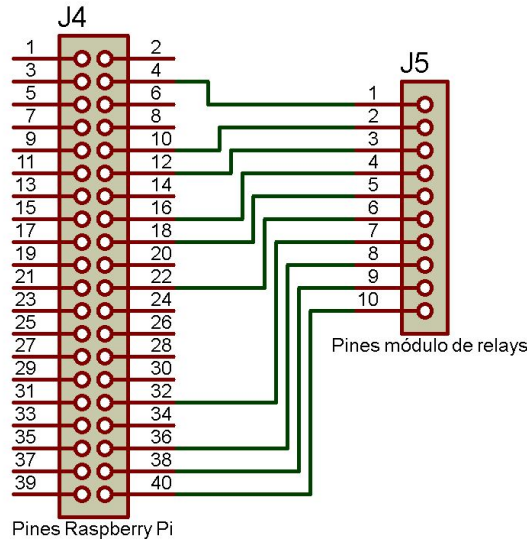
Antes de que las variables eléctricas lleguen hasta el ADC se utiliza un condensador para que se reduzca el ruido de la señal analógica y así poder realizar una digitalización de mejor calidad. Esta configuración se puede observar en la Figura 12.



### 2.4.5. Diseño de la conexión del módulo de relays, multiplexores y ADC con Raspberry Pi

En la Figura 13 se puede observar la conexión de pines entre la Raspberry Pi y el módulo de relays. De la Raspberry Pi se escogieron las terminales 4 y 40 como pines de alimentación para el módulo actuador, de la misma forma se utilizan los pines 10, 12, 16, 18, 22, 32, 36 y 38 como señales de control para la activación y desactivación de los relays.

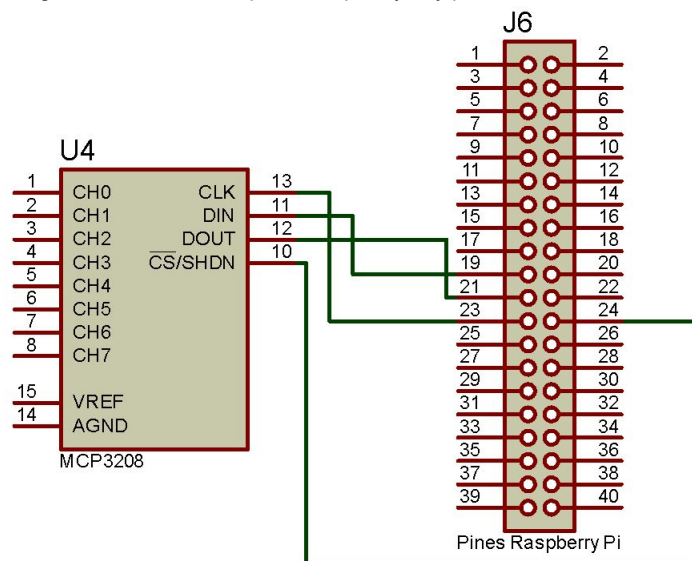
Figura 13: Conexión de pines Raspberry Pi y módulo de relays



Fuente: Elaborado con PROTEUS 8

De acuerdo a la Figura 14, los pines 10, 11, 12 y 13 del ADC MCP3208 se conectan con las terminales de la Raspberry Pi 24, 19, 21 y 23 respectivamente.

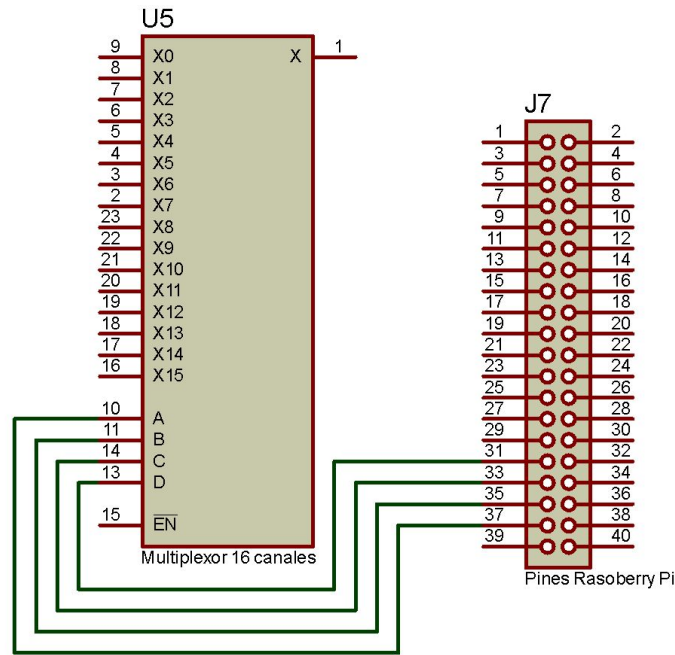
Figura 14: Conexión de pines Raspberry Pi y pines de ADC MCP3208



Fuente: Elaborado con PROTEUS 8

La Figura 15 muestra la conexión entre el multiplexor de 16 canales y la Raspberry Pi. Para esta configuración se toman como origen de las señales de control los pines GPIO 37, 35, 33 y 31 del miniordenador y se conectan con las terminales A, B, C y D del multiplexor respectivamente.

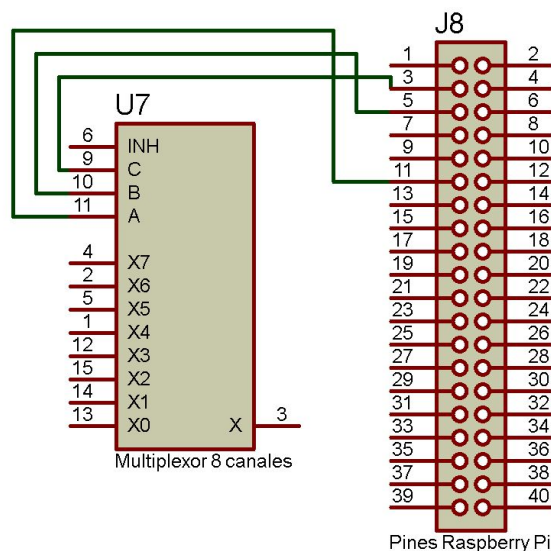
Figura 15: Conexión de pines Raspberry Pi y multiplexor de 16 canales



Fuente: Elaborado con PROTEUS 8

De la misma forma en la Figura 16 se conectan los pines GPIO 11, 7 y 5 del miniordenador y se conectan con las terminales A, B y C del multiplexor de 8 canales.

Figura 16: Conexión de pines Raspberry Pi y multiplexor de 8 canales



Fuente: Elaborado con PROTEUS 8



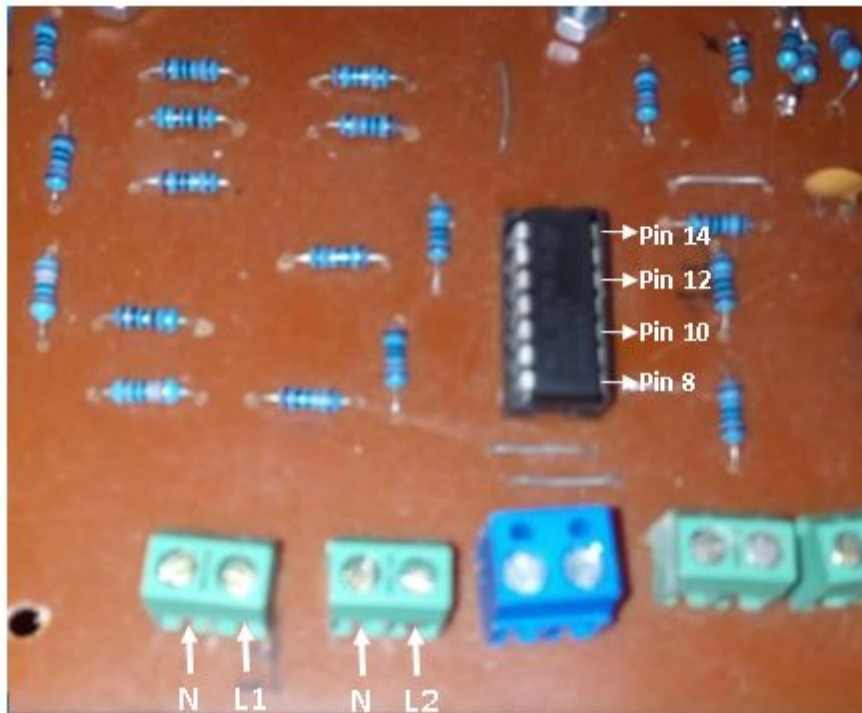


### 2.5.1. Acondicionamiento de Señales

Las señales analógicas de voltaje y corriente se transforman proporcionalmente a una tensión entre 0 a +5 voltios Pico-Pico mediante procesos diferentes para cada unidad de medida. La conversión a este rango de voltaje se realiza debido a que en la fase de conversión analógica digital se utiliza el ADC MCP3208, el cual requiere los parámetros de tensión antes mencionados para poder digitalizar las señales de entrada.

#### 2.5.1.1. Circuito Acondicionador de Voltaje

Figura 19: Prototipo de circuito acondicionador de voltaje ensamblado

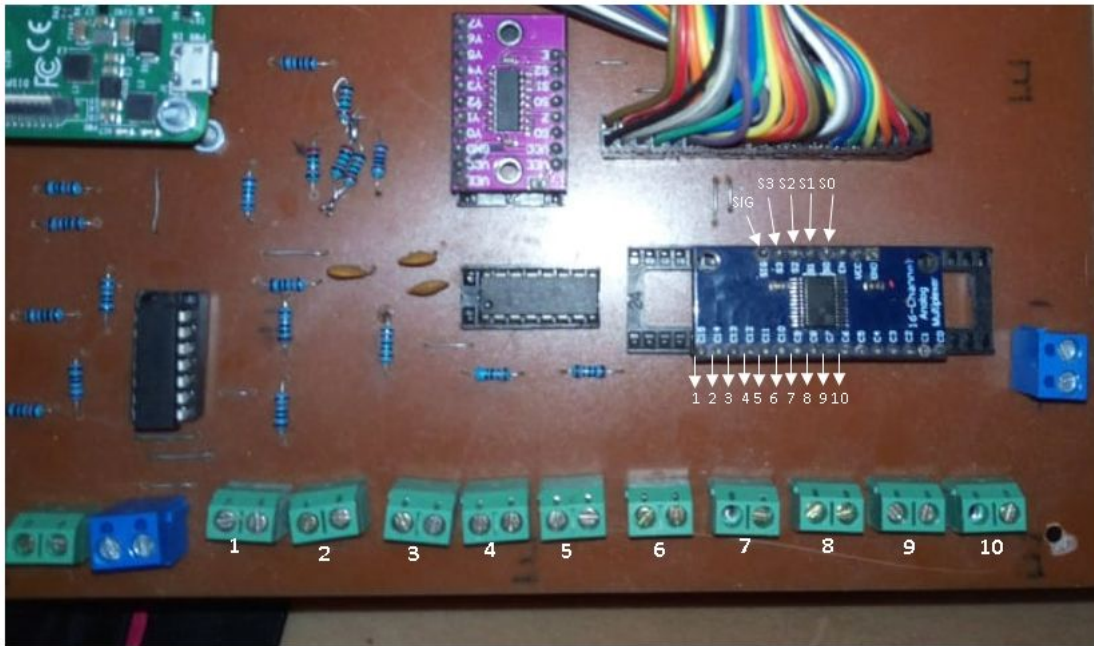


Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 19 se observa los bornes a los cuales son ajustadas las 2 líneas de tensión, posteriormente la energía de cada una de ellas se reduce de 132 V RMS a 1.32 V RMS mediante 2 divisores de voltaje, uno para cada línea de fuerza. Luego cada una de las señales de tensión se suman con su correspondiente componente continua de 2.5 V DC mediante el uso de amplificadores operacionales. Los terminales no inversores 10 y 12 del chip LM324N se usan como entradas y como salida los pines 8 y 14.

### 2.5.1.2. Circuito Acondicionador de Corriente

Figura 20: Prototipo de circuito acondicionador de corriente ensamblado



Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la Figura 20, la tarjeta de adquisición de datos cuenta con hasta 10 entradas de señales de corriente. Cada una de las señales se fijan en bornes, posteriormente se conectan a cada uno de los canales entrada del multiplexor Cd74hc4067 en donde al enviar señales de control en los pines S0, S1, S2 y S3 se elige la señal que se desea enviar a través del pin SIG del dispositivo.

A continuación se presenta la tabla de verdad del multiplexor utilizado en esta etapa:

Tabla 2: Tabla de verdad del multiplexor Cd74hc4067

Señales de Control				Salidas
S0	S1	S2	S3	Canal
0	0	0	0	C0
0	0	0	1	C1
0	0	1	0	C2
0	0	1	1	C3
0	1	0	0	C4
0	1	0	1	C5
0	1	1	0	C6
0	1	1	1	C7

1	0	0	0	C8
1	0	0	1	C9
1	0	1	0	C10
1	0	1	1	C11
1	1	0	0	C12
1	1	0	1	C13
1	1	1	0	C14
1	1	1	1	C15

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 20, se muestra que la señal correspondiente circula hacia el pin 3 del chip LM324N en donde a través de un amplificador operacional en conjunto con el multiplexor 74hc4051 se tiene la opción de aumentar la amplitud de la señal analógica que circula por el hasta 5 veces, seleccionando mediante un código de 3 bits el canal de entrada del mux.. Luego la señal sale por el pin 1 para ingresar al pin 5 del mismo chip, en donde se dispone a sumarle una tensión de 2.5 VDC ocasionando que el voltaje AC se desplace según el valor de la componente continua.

La tabla de verdad del multiplexor implementado para el circuito amplificador de ganancia variable es la siguiente:

Tabla 3: Tabla de verdad del multiplexor 74hc4051

Señales de Control			Salidas
S0	S1	S2	Canal
0	0	0	C0
0	0	0	C1
0	0	1	C2
0	0	1	C3
0	1	0	C4
0	1	0	C5
0	1	1	C6
0	1	1	C7

Fuente: Elaboración Propia

### 2.5.2. Conversión Analógico/Digital

Figura 21 : Prototipo de circuitod de conversion analogico/digital ensamblado



Fuente: Elaboración Propia

Las señales acondicionadas de corriente y voltaje que salen de los pines 7, 8 y 14 se conectan en paralelo con un condensador de 100nf que actúa como desacoplador de voltaje AC. Este elemento reduce el ruido de las señales en la tarjeta de adquisición de datos.

Este proceso se realiza para que la digitalización de las señales por parte del ADC MCP3208 sea lo más precisa posible. Mediante el uso del protocolo SPI este dispositivo recibe la orden de leer uno de sus canales y enviar los datos al miniordenador raspberry PI.

### 2.5.3. Actuadores

Figura 22 : Prototipo de circuitos de conexión entre el módulo de relés e interfaz GPIO ensamblado



Fuente: Elaboración Propia

El módulo de 8 relés controla el encendido y apagado de circuitos eléctricos mediante la activación o desactivación de cinco contactores.

Las líneas de cada contactor se colocan en las ranuras de los relés denominadas normalmente abierto NO y luego mediante el envío de datos binarios desde los pines GPIO de la Raspberry Pi se abren o cierran los circuitos según la necesidad del usuario.

### 3. CAPÍTULO III: EVALUACIÓN DEL PROTOTIPO

#### 3.1. PLAN DE EVALUACIÓN

La evaluación del dispositivo se realiza mediante la comparación de los valores medidos con el osciloscopio FLUKE 123 y 250 datos digitalizados por el ADC MCP3208 para cada una de las señales de tensión e intensidad, además se presenta la forma de onda ideal de las variables de voltaje y corriente simulada con la herramienta PROTEUS. En la simulación, el origen de la corriente se reemplaza por un generador de voltaje únicamente para efectos de visualización, este cambio no afecta el correcto funcionamiento del circuito.

#### 3.2. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN

Tabla 4: Valores medidos y digitalizados de ondas de voltaje y corriente

Origen de señal	Medición con Osciloscopio Fluke 123			Digitalización de Señal con ADC MCP3208		% Error
	V RMS	V Pico-Pico		V Pico-Pico		V Pico-Pico
L1	1.31 V (131.7 V)	3.7 V (369 V)	Anexo 1	4.67 V	Anexo 10	26 %
L2	1.3 V (130.5 V)	3.67 V (368 V)	Anexo 2	4.46 V	Anexo 11	20 %
TC1	0.1025 V	0.486 V	Anexo 3	0.23 V	Anexo 12	53 %
TC2	0.105 V	0.530 V	Anexo 4	0.15 V	Anexo 13	72 %
TC3	0.8 V	3.8 V	Anexo 5	3.66 V	Anexo 14	4 %
TC4	0.877 V	4.34 V	Anexo 6	4.08 V	Anexo 15	6 %
TC5	0.388 V	2.72 V	Anexo 7	2.82 V	Anexo 16	4 %
TC6	0.475 V	3.12 V	Anexo 8	4.27 V	Anexo 17	37 %
TC7	0.607 V	4.9 V	Anexo 9	3.33 V	Anexo 18	32 %

Fuente: Elaboración propia

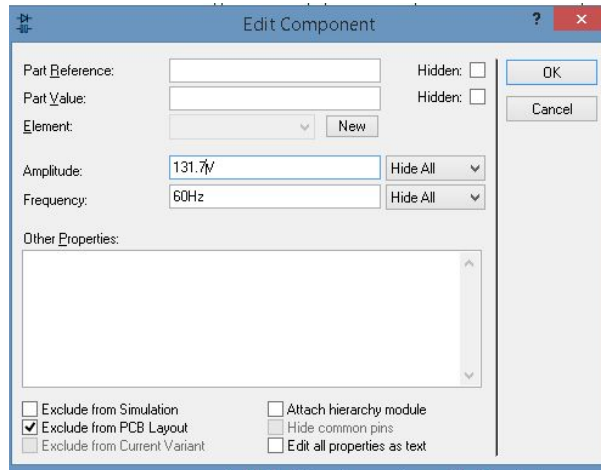
En la Tabla 4 se pueden observar los valores medidos con el osciloscopio FLUKE 123 y los datos digitalizados por el ADC MCP3208 pertenecientes a las variables de corriente y voltaje, así como también el porcentaje de error del voltaje Pico-Pico entre las dos mediciones para cada uno de los orígenes de las señales. Estos errores pueden ser

reducidos mediante una calibración por software implementando un sistema de visualización de las formas de onda.

### 3.2.1. Simulación de onda de voltaje

En primer lugar se establece el valor de la amplitud del voltaje. en este caso se escoge el valor de mayor tensión el cual es de 131.7 V RMS.

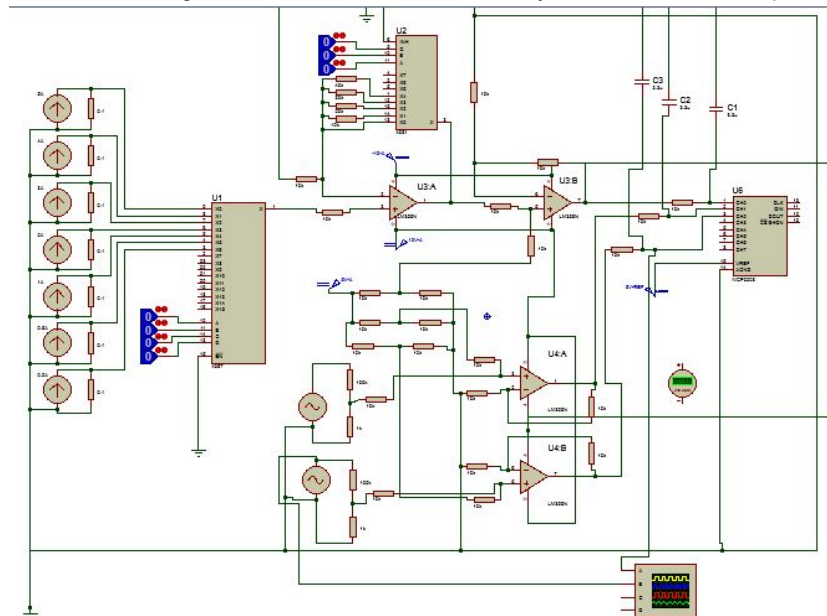
Figura 23 : Simulación de onda de voltaje- amplitud de voltaje



Fuente: Elaborado con Proteus 8

Luego se realiza la conexión del osciloscopio con las secciones del circuito que se desean medir. En este caso se ha elegido la fuente de voltaje y la entrada del ADC que lee dicha magnitud.

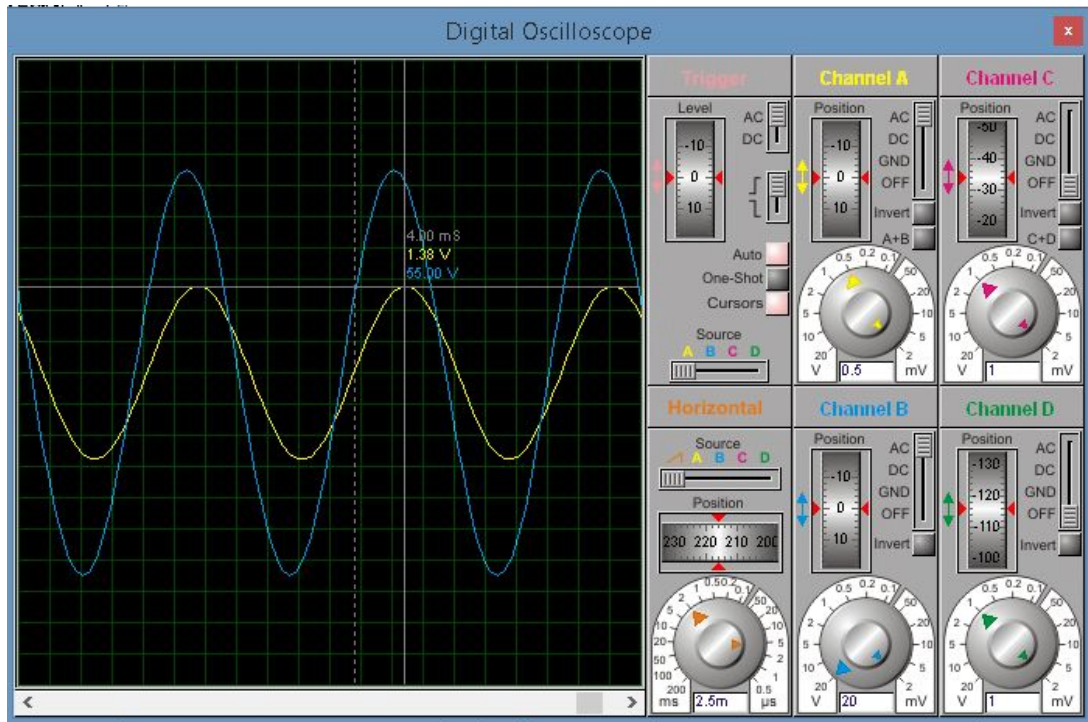
Figura 24 : Simulación de onda de voltaje-conexión de osciloscopio



Fuente: Elaborado con Proteus 8

Finalmente se visualiza las formas de onda de las dos señales medidas.

Figura 25 : Simulación de onda de voltaje-visualización



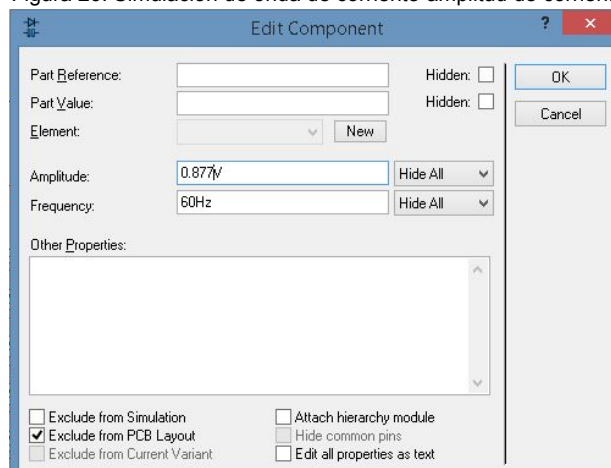
Fuente: Elaborado con Proteus 8

Como se muestra en la Figura 24, el voltaje de la componente amarilla posee un valor máximo de tensión de 1.84 V lo que significa que su amplitud máxima es de 3.68 V, lo que significa que no excede el voltaje de referencia del ADC que es 5 V.

### 3.2.2. Simulación de la onda de corriente

Se establece el voltaje de 0.877 V como entrada del circuito.

Figura 26: Simulación de onda de corriente-amplitud de corriente

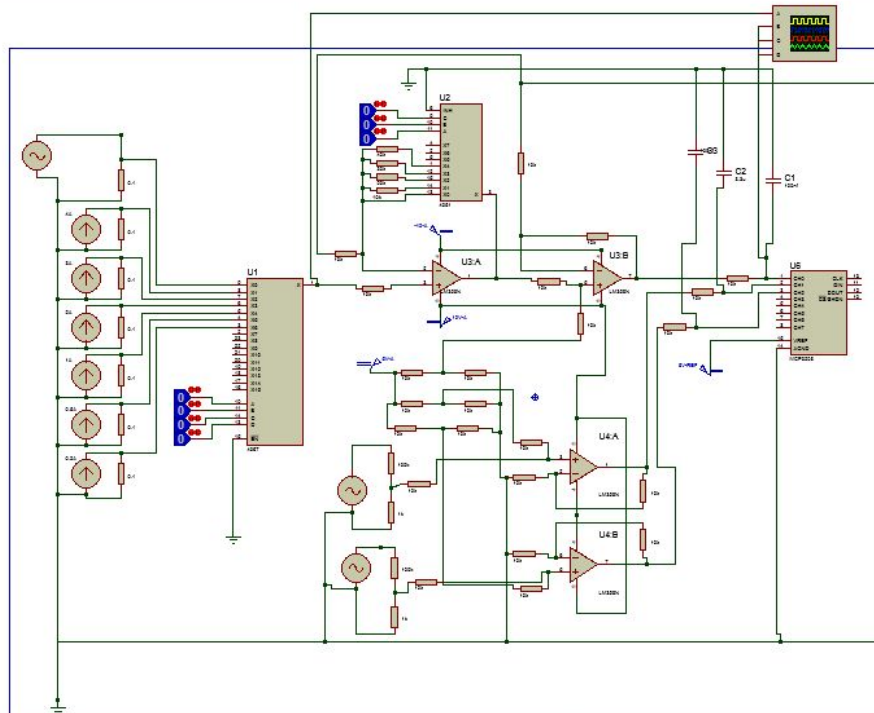


Fuente: Elaborado con Proteus 8



Se realizan las respectivas conexión de las terminales del osciloscopio con los punto a medir.

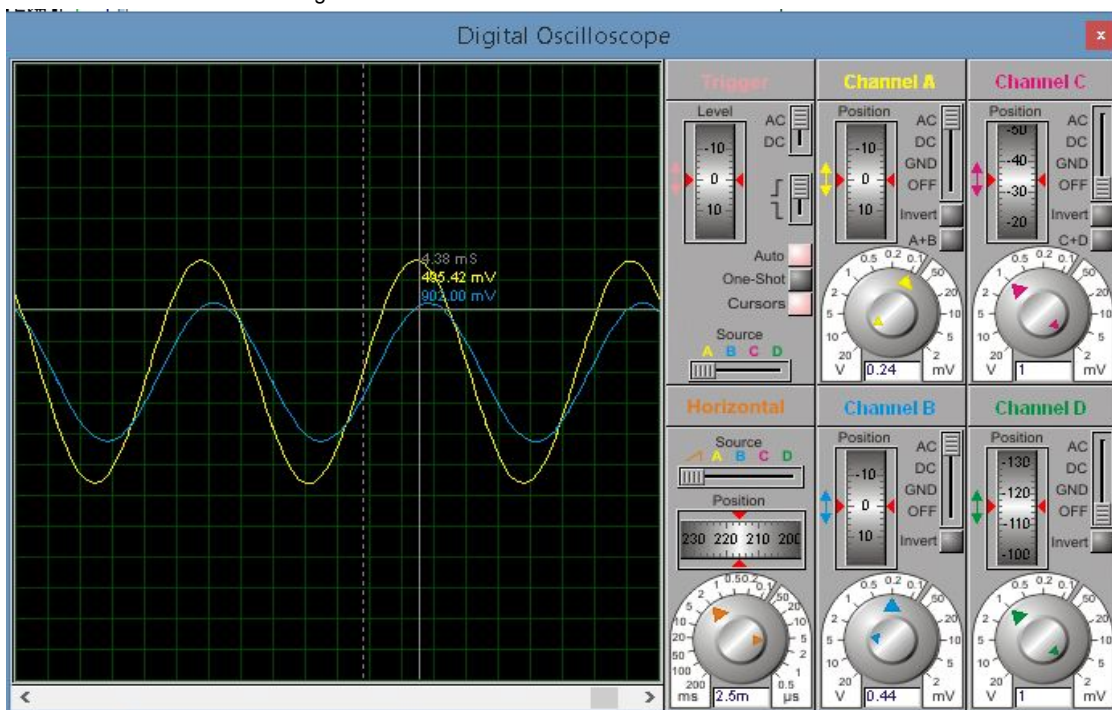
Figura 27: Simulación de onda de corriente-conexiones



Fuente: Elaborado con Proteus 8

Por último se visualiza la onda de voltaje.

Figura 28: Simulación de onda de corriente-visualización



Fuente: Elaborado con Proteus 8

La forma de onda de la Figura 27, muestra que la señal analógica que ingresa al convertidor analógico/digital tiene una tensión promedio de 990 mV por lo cual su voltaje máximo es de aproximadamente 1.98 V, por lo que esta señal puede ser digitalizada por el ADC debido a que no excede el voltaje de referencia del PIC.

### **3.3. CONCLUSIONES**

- La herramienta de diseño y simulación de circuitos Proteus cuenta con una extensa cantidad de librerías que albergan cientos de componentes electrónicos que fueron usados en todas las etapas del prototipo desarrollado.
- Los elementos electrónicos al poseer valores de medición y valores nominales, se calibraron de acuerdo a las necesidades de cada una de las fases de diseño y construcción del dispositivo DAQ.
- La tarjeta de adquisición de datos implementada es un dispositivo funcional, el cual digitaliza cada una de las señales de tensión de voltaje y corriente, además controla el corte y suministro de energía hacia de diferentes circuitos eléctricos.

### **3.4. RECOMENDACIONES**

- Proteus ofrece un abanico de componentes electrónicos, pero no contiene elementos para trabajar con miniordenadores como con la Raspberry Pi, por lo cual se vio necesario interactuar con otro tipo de tarjetas como Arduino cuya interfaz si es soportada por Proteus, por lo tanto es recomendable aprender a trabajar con aquella placa debido a que el soporte para otras aún no está disponible.
- Al momento de pasar a la etapa del diseño PCB del circuito no se tomó en cuenta revisar las dimensiones de las ranuras ni las pistas de conectividad del diseño por lo que se cometieron errores al soldar los componentes, por lo que es necesario que una vez el esquema electrónico de un circuito pase a ensamblarse en una tarjeta se revise la distribución de los componentes y las dimensiones de la plantilla PCB que otorga Proteus.
- Al momento de implementar el prototipo es necesario verificar que el orden de conexión de las señales de voltaje a la placa sea el correcto, es decir la tierra del circuito debe ir conectado con el neutro para evitar dañar los circuitos. La digitalización de las señales posee un porcentaje de error que puede ser reducido mediante la calibración de cada forma de onda implementando un sistema de visualización de datos que se comuniquen con la Raspberry Pi

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] F. J. Enríquez, E. Sifuentes, G. Bravo, y A. Castro, «Sistema Embebido para Validar el Funcionamiento de la Tarjeta de Adquisición de Datos USB-6009 de National Instruments», *Información tecnológica*, vol. 27, n.º 5, pp. 191-200, 2016, doi: 10.4067/S0718-07642016000500021.
- [2] M. Ambrož, «Raspberry Pi as a low-cost data acquisition system for human powered vehicles», *Measurement*, vol. 100, pp. 7-18, mar. 2017, doi: 10.1016/j.measurement.2016.12.037.
- [3] M. Kunicki, S. Borucki, D. Zmarzły, y J. Frymus, «Data acquisition system for on-line temperature monitoring in power transformers», *Measurement*, vol. 161, p. 107909, sep. 2020, doi: 10.1016/j.measurement.2020.107909.
- [4] L. Caponetto, A. Gabrielli, E. Gandolfi, F. M. Giorgi, D. Lo Presti, y N. Randazzo, «Development realization and test of an electronic data acquisition board for the NEMO experiment», *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, vol. 596, n.º 1, pp. 103-106, oct. 2008, doi: 10.1016/j.nima.2008.07.120.
- [5] N. Erraissi, M. Raoufi, N. Aarich, M. Akhsassi, y A. Bennouna, «Implementation of a low-cost data acquisition system for “PROPRE.MA” project», *Measurement*, vol. 117, pp. 21-40, mar. 2018, doi: 10.1016/j.measurement.2017.11.058.
- [6] M. Karami, G. V. McMorrow, y L. Wang, «Continuous monitoring of indoor environmental quality using an Arduino-based data acquisition system», *Journal of Building Engineering*, vol. 19, pp. 412-419, sep. 2018, doi: 10.1016/j.jobe.2018.05.014.
- [7] D. A. R. Caro, E. V. López, y H. M. M. Barajas, «Diseño e implementación de un sistema de adquisición y monitoreo de datos (shm) para un rectificador de protección catódica usado en ductos.», *Respuestas*, vol. 21, n.º 1, pp. 45-55, 2016.
- [8] M. E. Cardona, S. López, M. E. Cardona, y S. López, «Una revisión de literatura sobre el uso de sistemas de adquisición de datos para la enseñanza de la física en la educación básica, media y en la formación de profesores», *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 39, n.º 4, 2017, doi: 10.1590/1806-9126-rbef-2016-0308.
- [9] D. C. Ruiz-Ayala, C. A. Vides-Herrera, y A. Pardo-García, «Monitoreo de variables

- meteorológicas a través de un sistema inalámbrico de adquisición de datos», *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, vol. 8, n.º 2, pp. 333-341, jun. 2018, doi: 10.19053/20278306.v8.n2.2018.7971.
- [10] J. E. Osorio, J. D. Pérez Ramírez, y M. A. Rodríguez Barrera, «Data acquisition system implementation to monitor a direct current machine», *Tecnura*, vol. 14, n.º 27, pp. 60-68, jul. 2010.
- [11] J. A. F. Laguna, J. A. C. Osorio, y O. E. C. Hernández, «Amperímetro Digital De Baja Potencia Implementado Con Microcontrolador Pic16f877a», *Scientia Et Technica*, vol. XV, n.º 42, pp. 199-204, 2009.
- [12] J. A. M. Vargas, J. A. M. Escobar, y F. M. Aguirre, «Aplicación Del Método Paso a Paso En La Solución De Problemas De Electroneumática», *Scientia Et Technica*, vol. XVII, n.º 47, pp. 313-317, 2011.
- [13] J. Fuentes, S. Castro, B. Medina, F. Moreno, y S. Sepúlveda, «Experimentación de controladores digitales clásicos en un sistema embebido aplicado en un proceso térmico», *Revista UIS Ingenierías*, vol. 17, n.º 1, pp. 81-92.
- [14] A.-A. Álvaro Angel y T.-C. Rosa Liliana, «Sistema multipotenciostato basado en instrumentación virtual», *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, vol. 15, n.º 3, pp. 321-337, jul. 2014, doi: 10.1016/S1405-7743(14)70344-0.
- [15] R. B. M y N. Q. C, «Instrumentación Virtual para Sistema de Medición y Análisis de la Red Eléctrica», *Revista Facultad de Ingeniería*, n.º 6, 1999, Accedido: dic. 08, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=11400608>.
- [16] I. Domínguez-Rodríguez, F. E. Hernández-Montero, y M. L. Ruiz-Barrios, «Sistema de digitalización de señal basado en FPGA y configurado utilizando MatLab», *Científica*, vol. 14, n.º 3, pp. 129-135, 2010.
- [17] M. Astrain, M. Ruiz, A. Carpeño, S. Esquembri, E. Barrera, y J. Vega, «A methodology to standardize the development of FPGA-based high-performance DAQ and processing systems using OpenCL», *Fusion Engineering and Design*, vol. 155, p. 111561, jun. 2020, doi: 10.1016/j.fusengdes.2020.111561.
- [18] X. Gao, D. Emschermann, J. Lehnert, y W. F. J. Müller, «Throttling strategies and optimization of the trigger-less streaming DAQ system in the CBM experiment»,

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, vol. 978, p. 164442, oct. 2020, doi: 10.1016/j.nima.2020.164442.

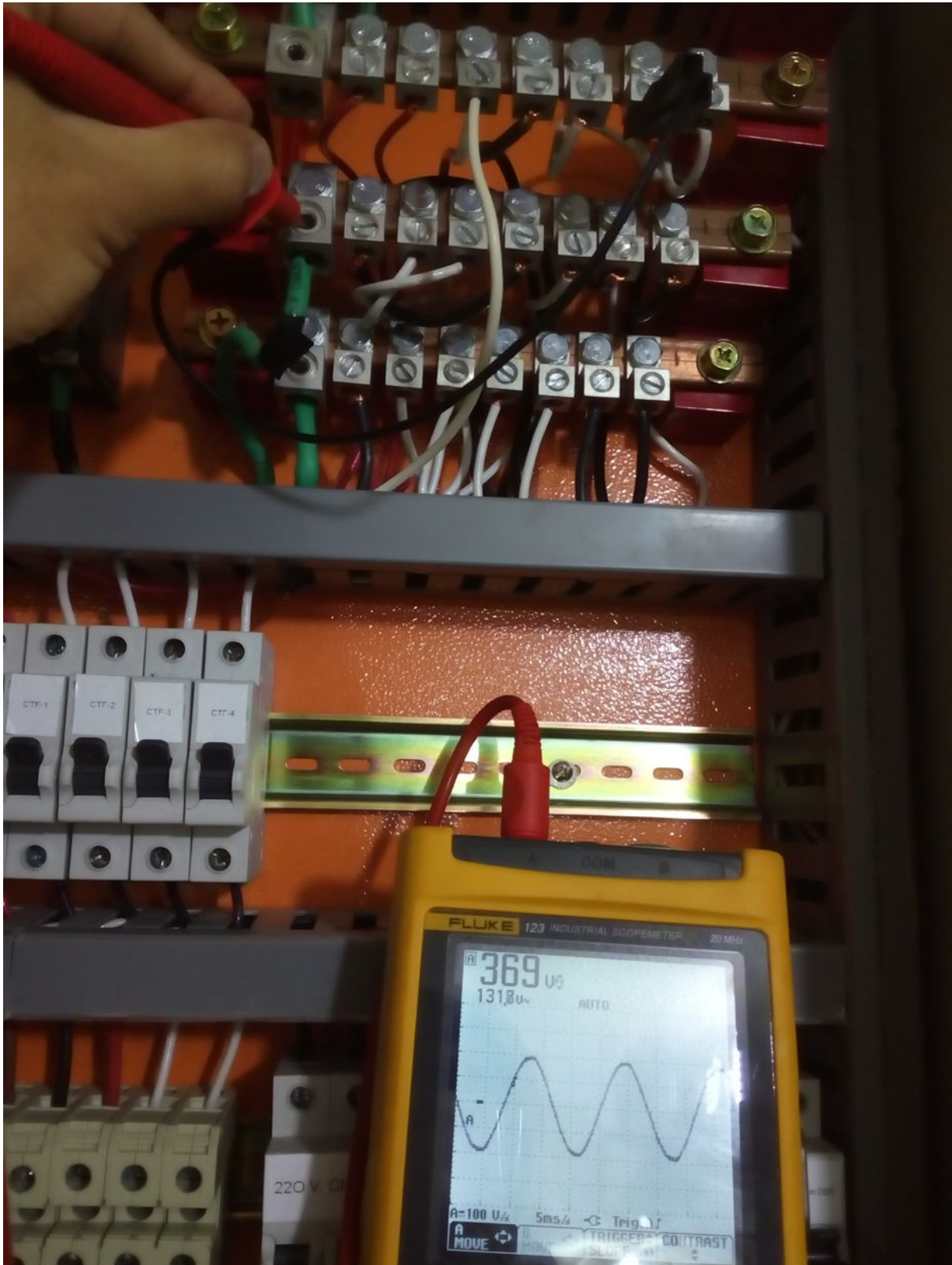
- [19] J. P. Deza, R. T. Yuen, y E. R. Lizama, «Diseño de una estación virtual para el control de las perturbaciones que afectan la temperatura de los procesos industriales», *Industrial Data*, vol. 10, n.º 1, pp. 33-41, 2007.
- [20] N. Dugarte Jerez, R. Medina, y R. Rojas, «Desarrollo del prototipo de un sistema de adquisición de datos para la digitalización de la señal electrocardiográfica de alta resolución», *Revista del Instituto Nacional de Higiene Rafael Rangel*, vol. 43, n.º 2, pp. 27-35, dic. 2012.
- [21] J. H. Alzate, J. E. T. G, y G. a. H. L, «Sistema De Control E Instrumentación Para Un Quemador Experimental De Alta Presión Tipo Cañón», *Scientia Et Technica*, vol. XI, n.º 28, pp. 25-30, 2005.
- [22] C. V. Silva y V. G. Rojas, «Diseño e implementación de un sistema electrocardiográfico digital», *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, n.º 55, pp. 99-107, 2010.
- [23] J. A. C. Osorio, H. B. C. Garzón, y J. A. C. Osorio, «Fundamentos Y Aplicación Del Muestreo En Señales Ubicadas En Las Bandas Altas Del Espectro», *Scientia Et Technica*, vol. XIV, n.º 39, pp. 37-42, 2008.
- [24] N. Dugarte J, D. Jugo, y V. Raimondi, «Sistema para digitalización del electrocardiograma e historia médica computarizada aplicada a cardiología», *Revista del Instituto Nacional de Higiene Rafael Rangel*, vol. 38, n.º 1, pp. 20-27, jun. 2007.
- [25] Z. Czaja, «A measurement method for lossy capacitive relative humidity sensors based on a direct sensor-to-microcontroller interface circuit», *Measurement*, p. 108702, nov. 2020, doi: 10.1016/j.measurement.2020.108702.
- [26] C.-B. Ramón, G.-L. R. Itzel, G.-N. M. Antonio, y B.-S. Manuel, «VLSI Design with Alliance Free CAD Tools: an Implementation Example», *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, vol. 16, n.º 3, pp. 441-452, jul. 2015, doi: 10.1016/j.riit.2015.05.007.
- [27] M. A. A. Sanches et al., «Digital controller design considering hardware constraints: application in a paraplegic patient», *Revista Brasileira de Engenharia Biomédica*, vol.

30, n.° 3, pp. 232-241, sep. 2014, doi: 10.1590/1517-3151.0196.

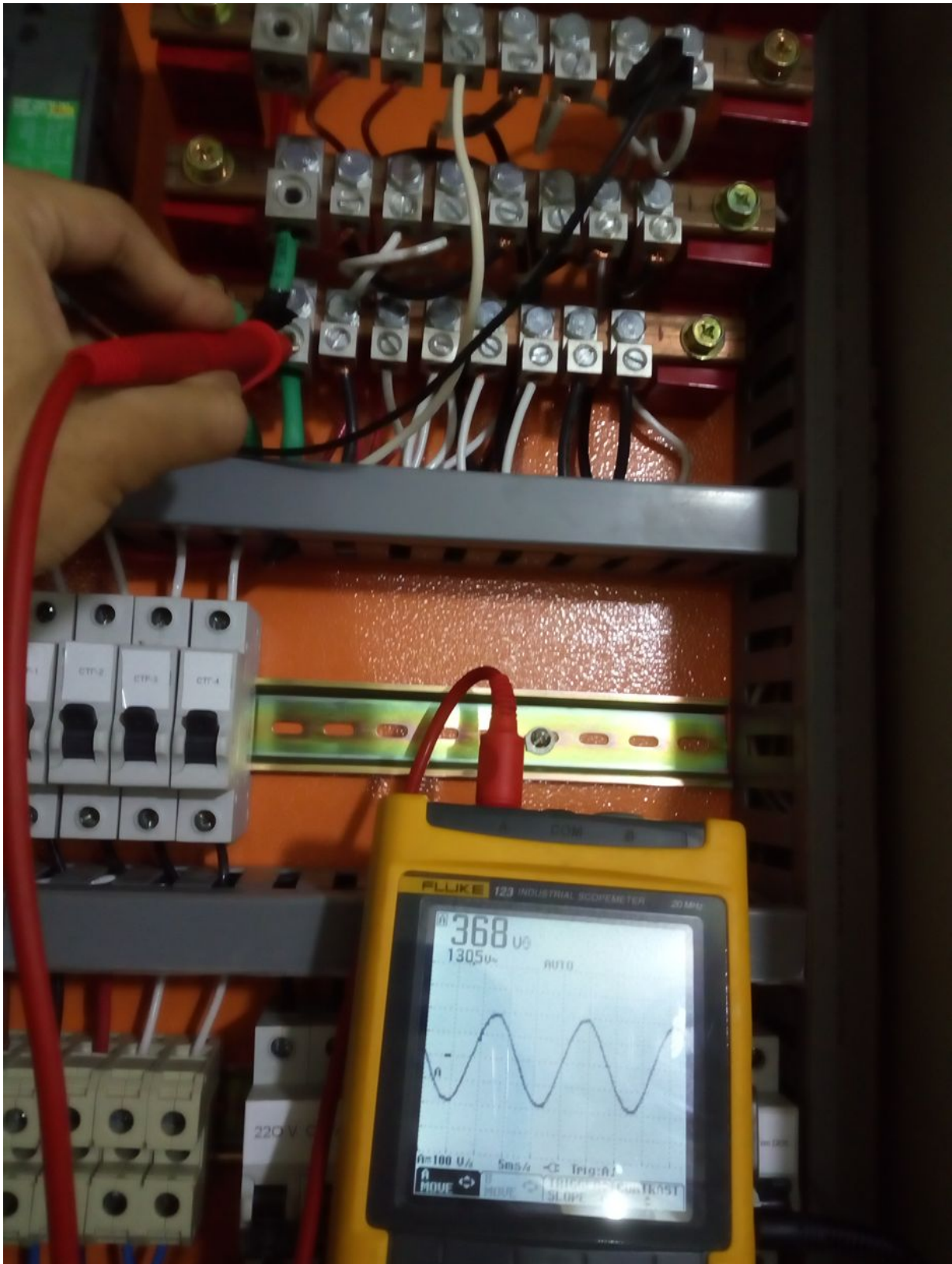


## ANEXOS

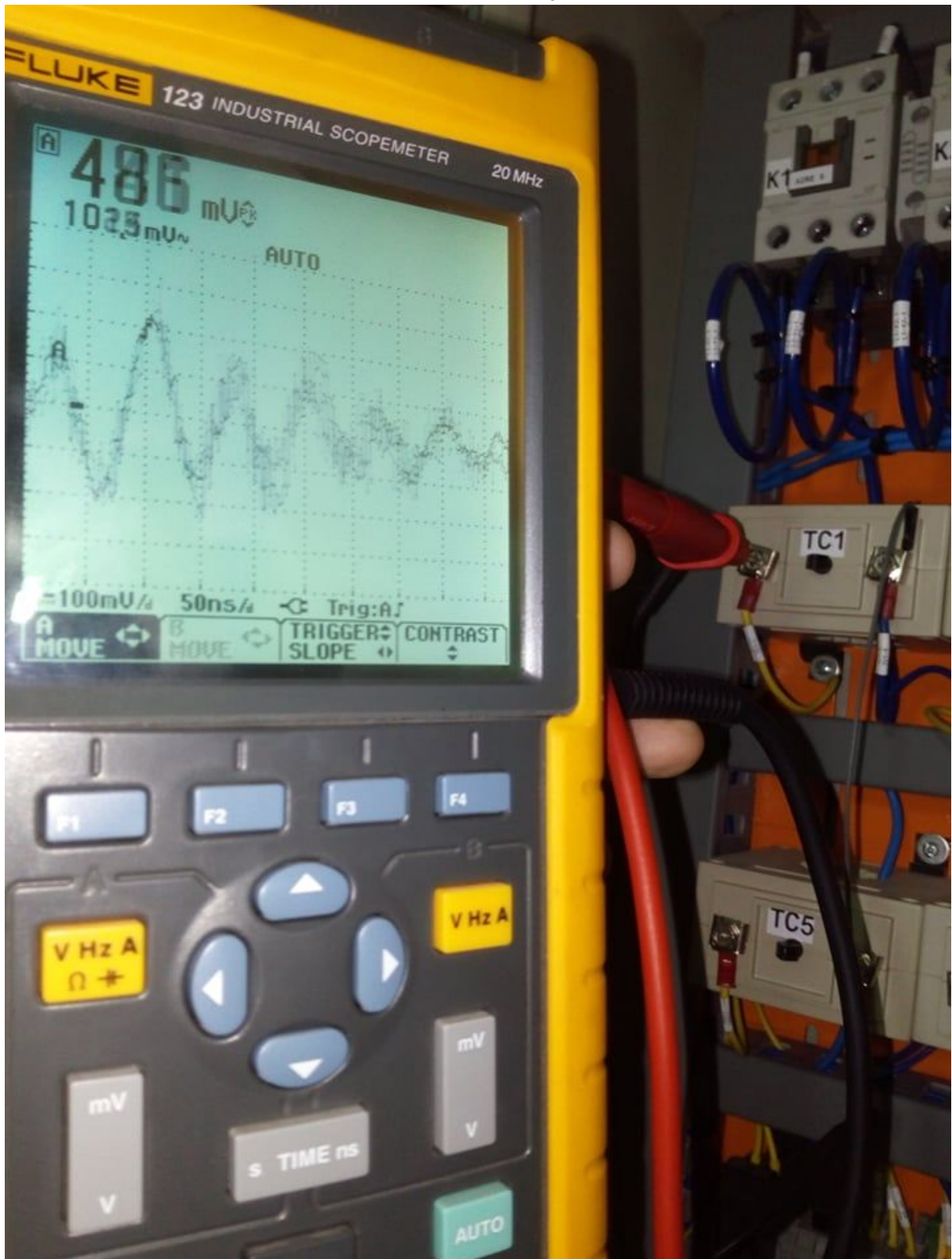
Anexo 1: Onda de voltaje de L1



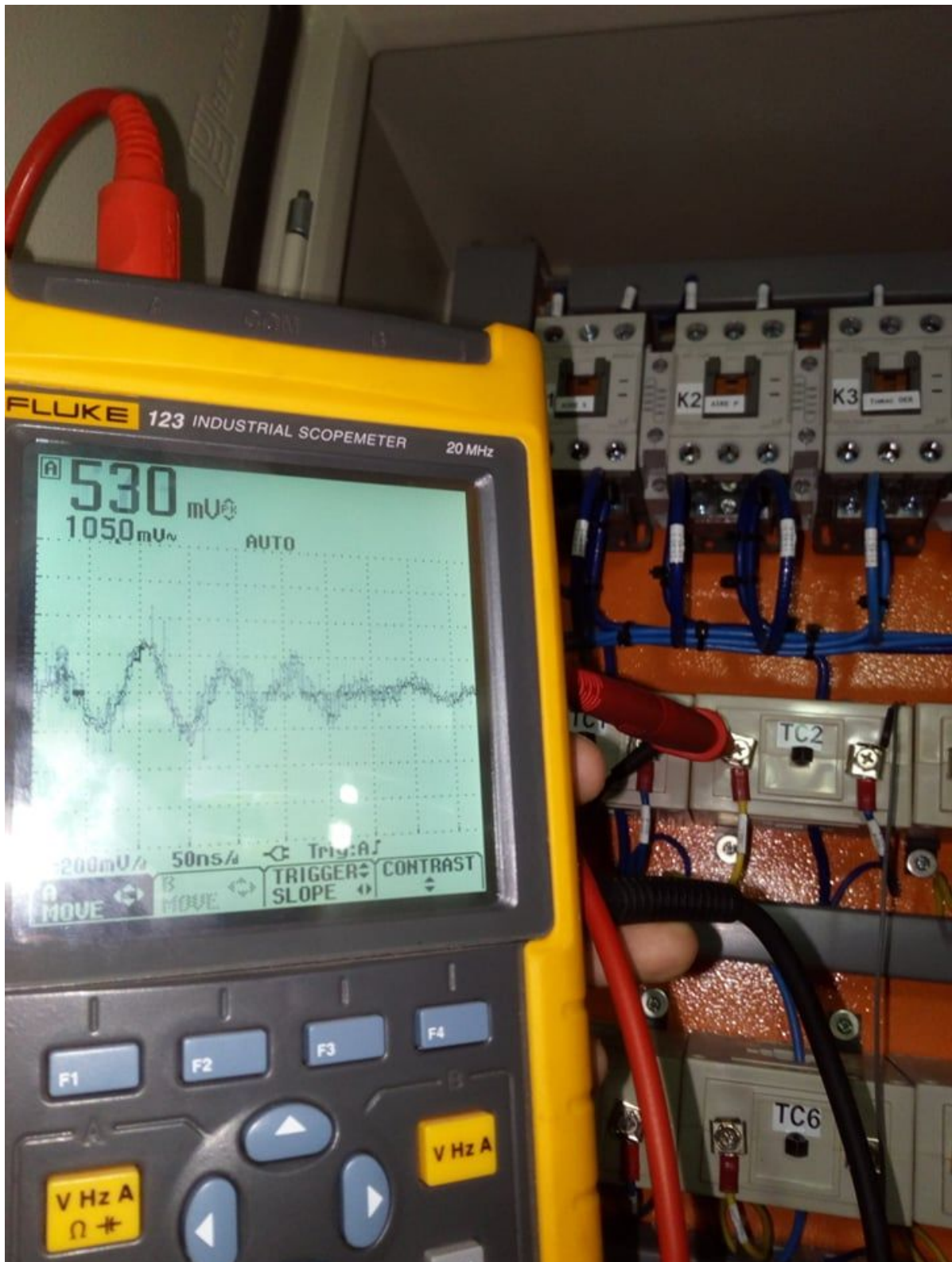
Anexo 2: Onda de voltaje de L2



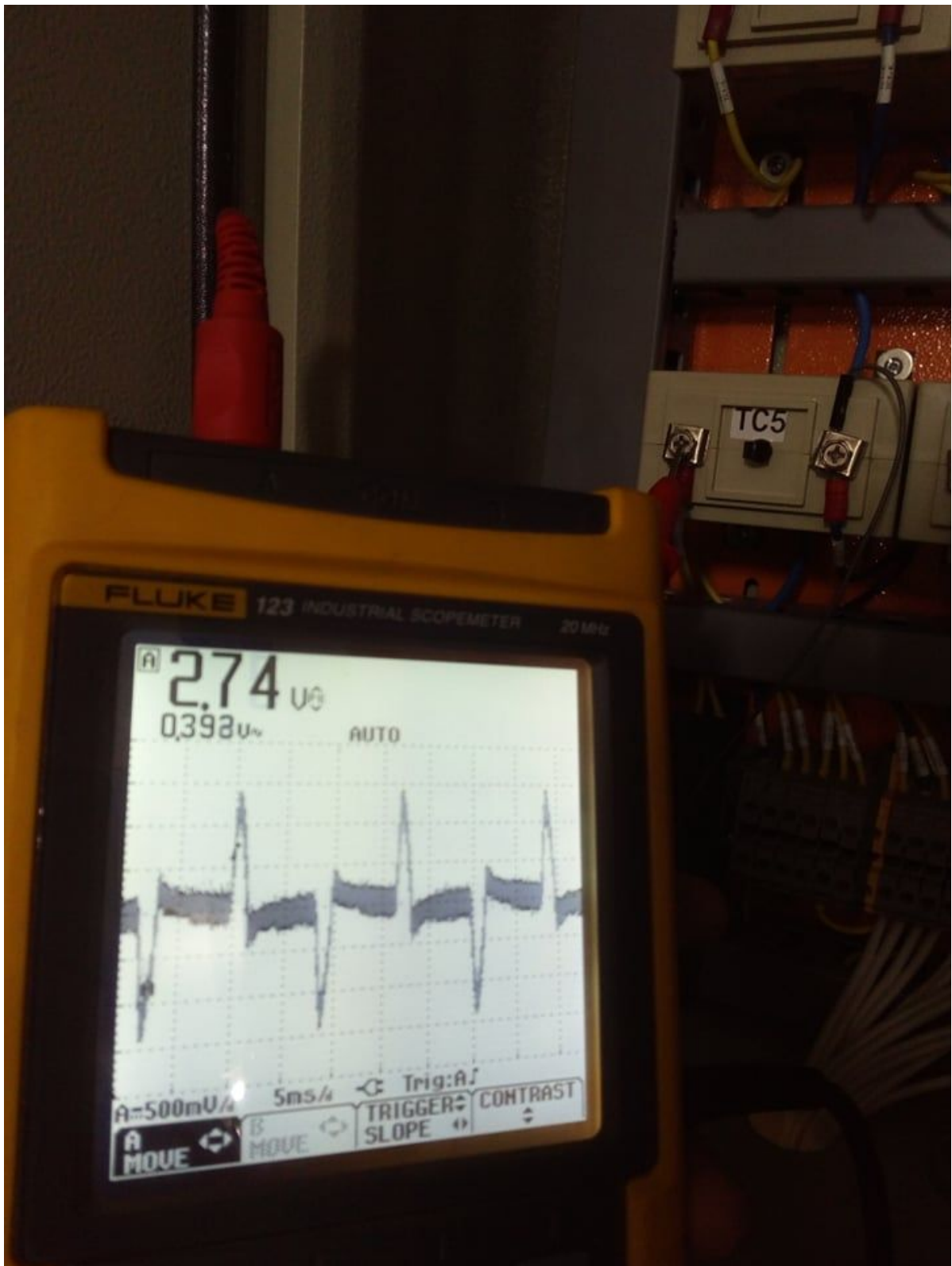
Anexo 3: Onda de voltaje de TC1



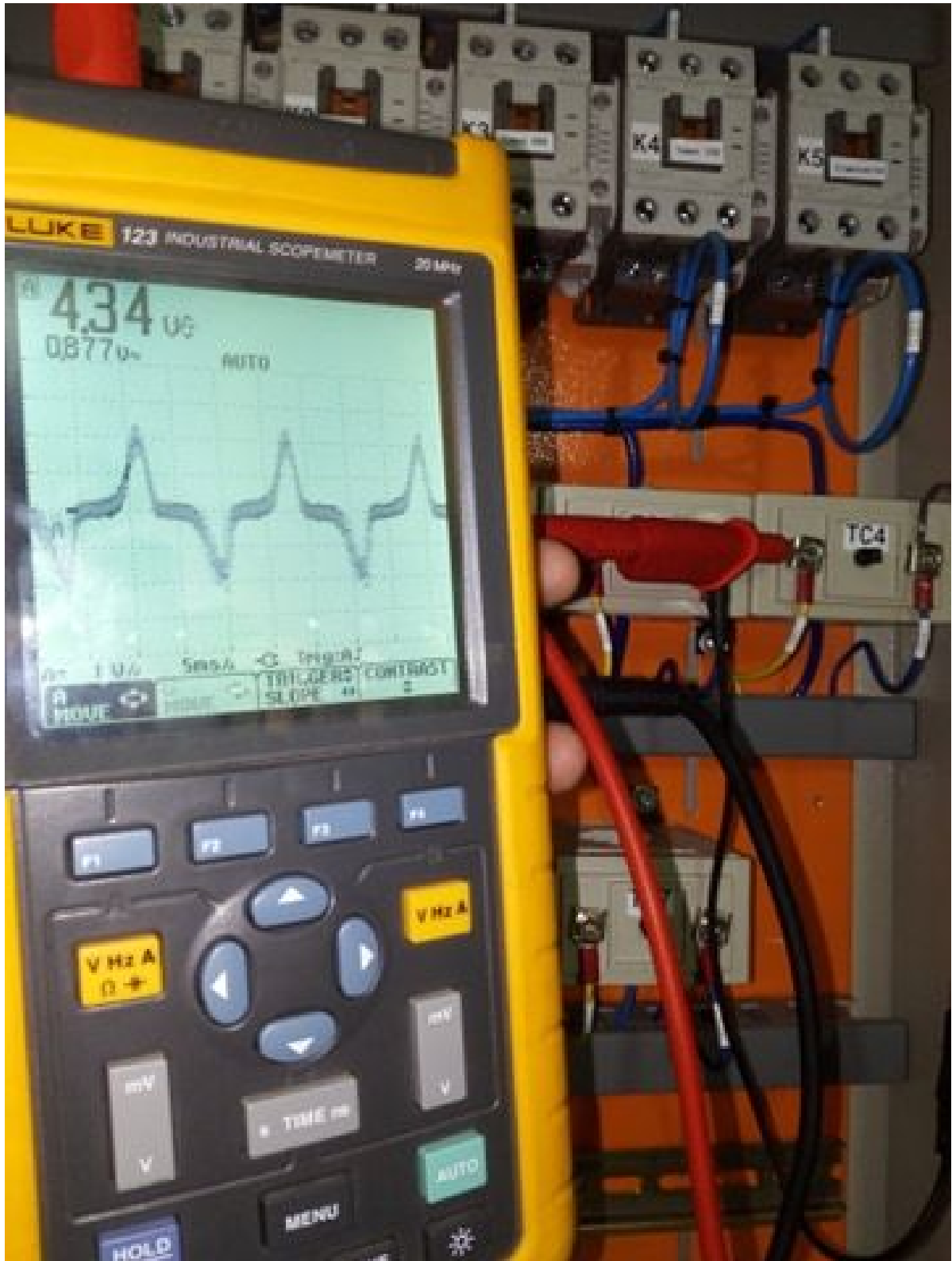
Anexo 4: Onda de voltaje de TC2



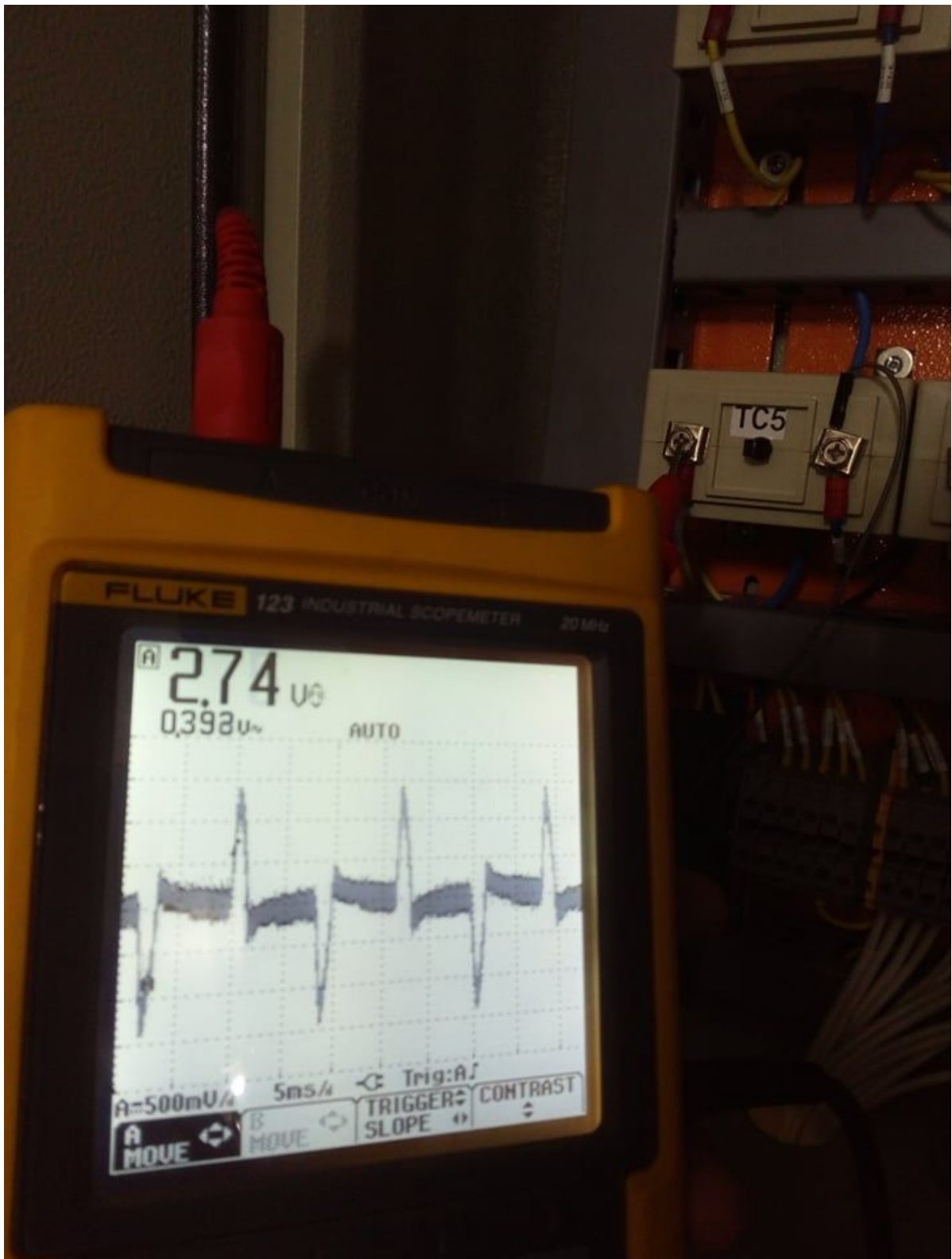
Anexo 5: Onda de voltaje de TC3



Anexo 6: Onda de voltaje de TC4



Anexo 7: Onda de voltaje de TC5

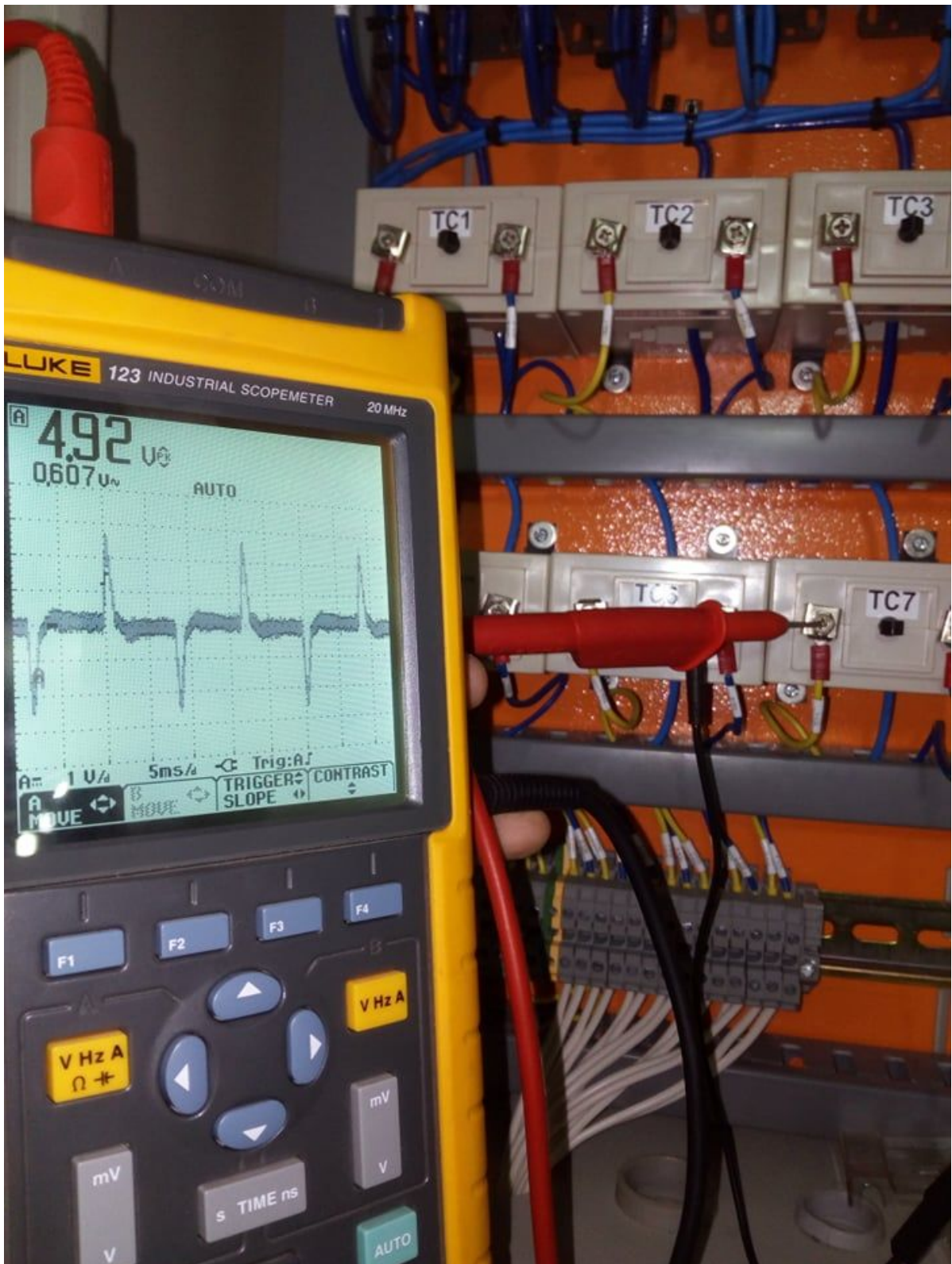


Anexo 8: Onda de voltaje de TC6

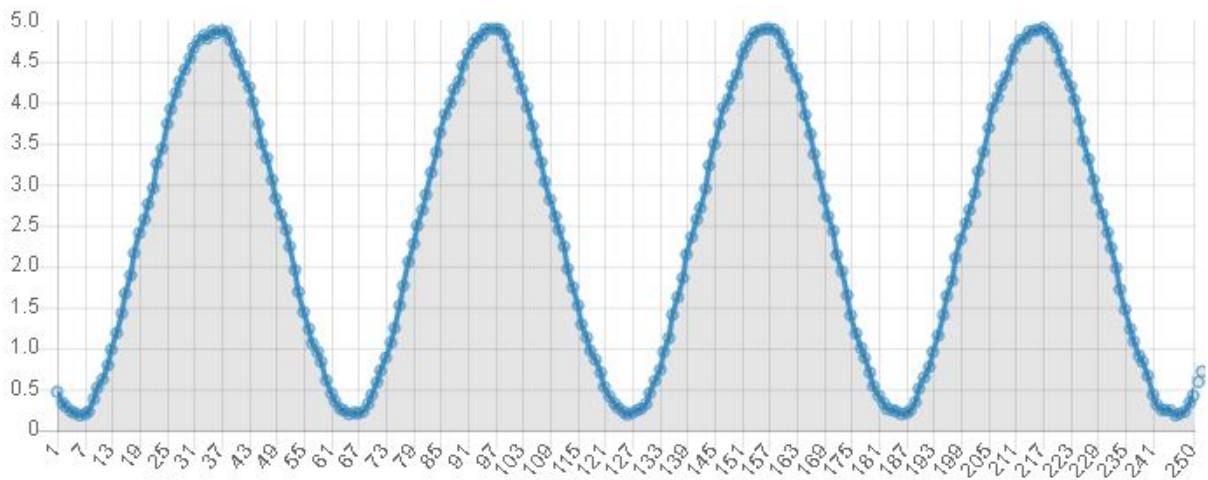




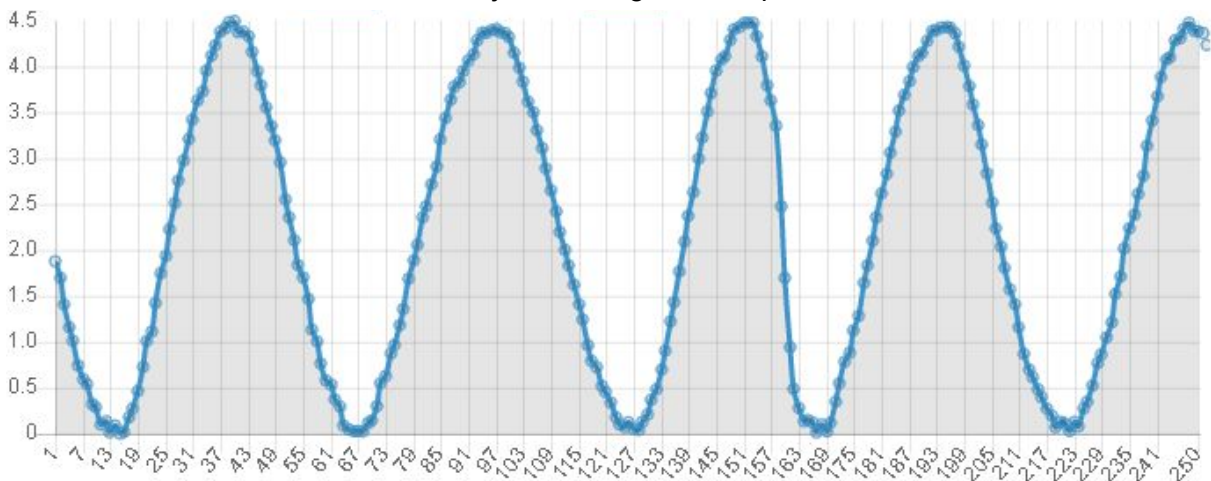
Anexo 9: Onda de voltaje de TC7



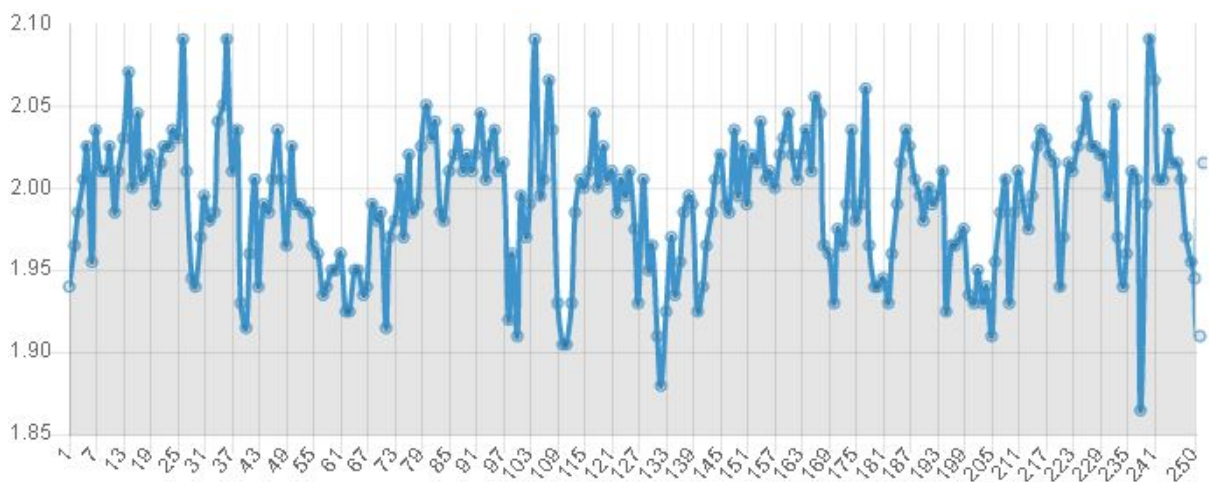
**Anexo 10:** Onda de voltaje de L1 digitalizada por el ADC MCP3208



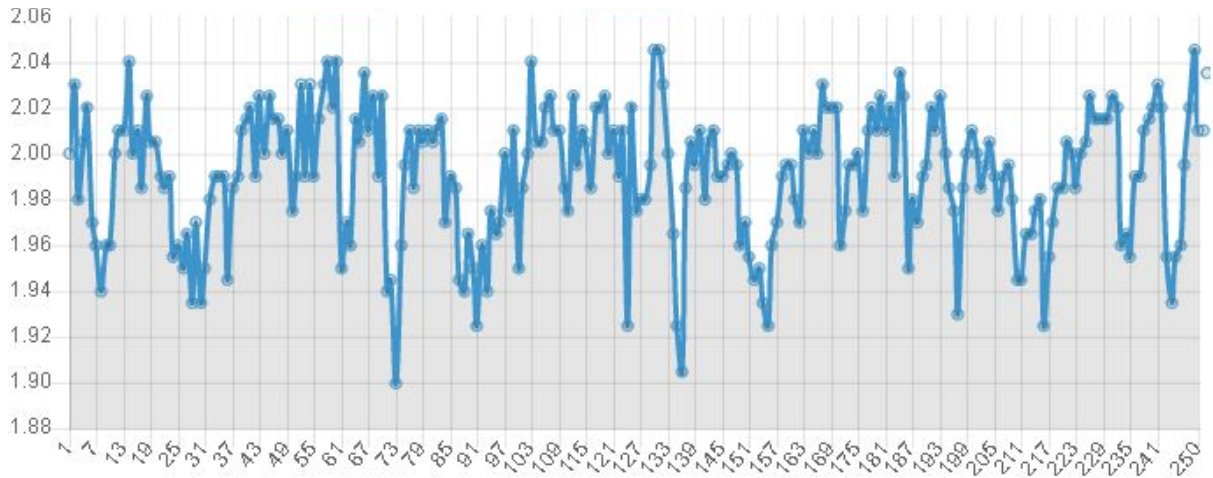
**Anexo 11:** Onda de voltaje de L2 digitalizada por el ADC MCP3208



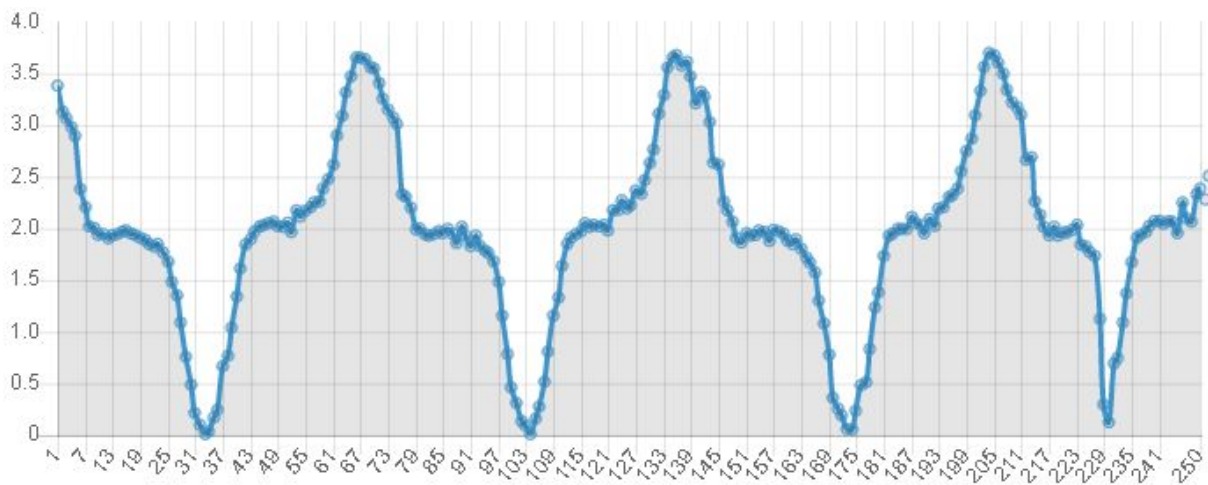
**Anexo 12:** Onda de voltaje de TC1 digitalizada por el ADC MCP3208



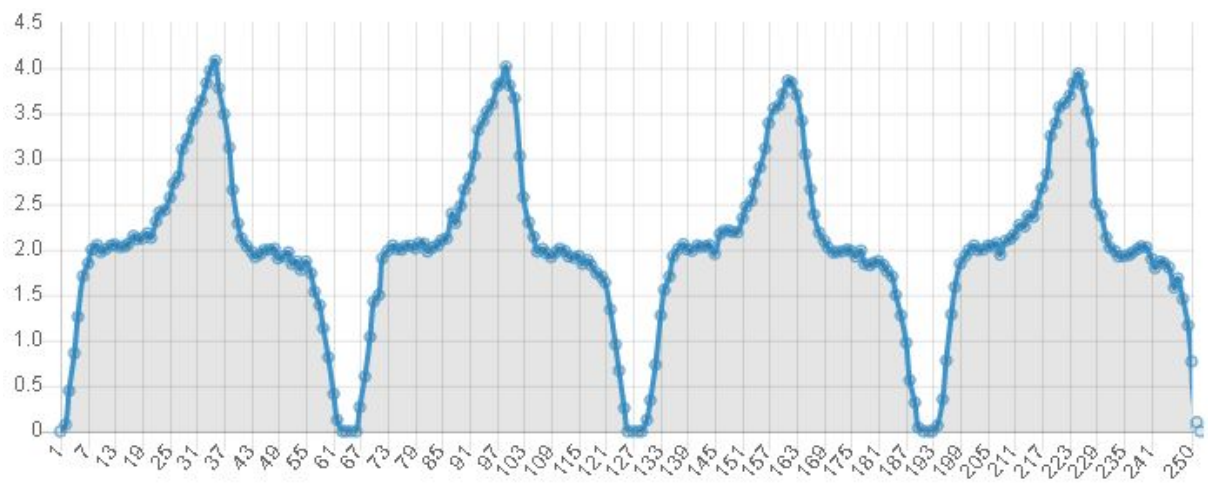
**Anexo 13: Onda de voltaje de TC2 digitalizada por el ADC MCP3208**



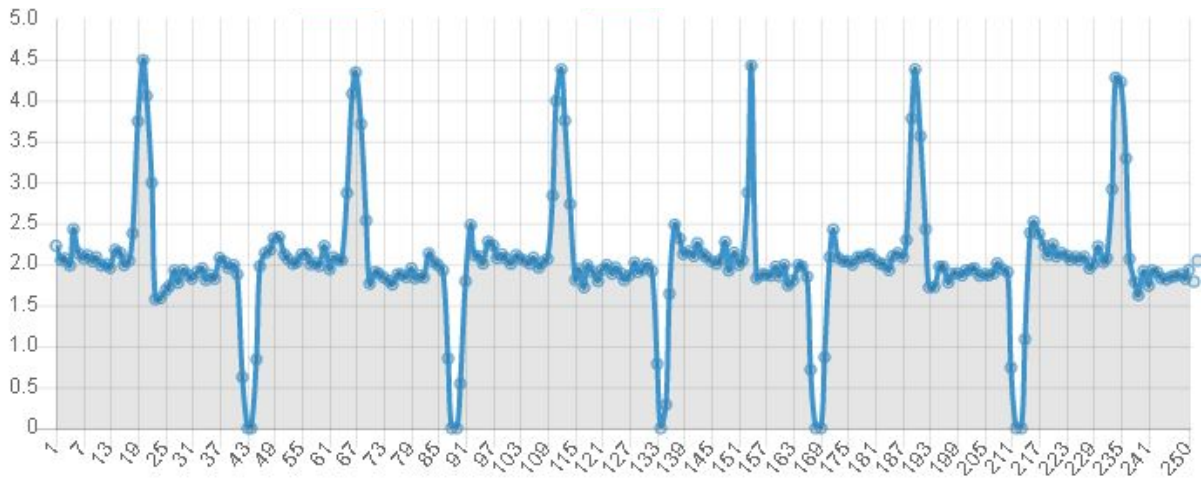
**Anexo 14: Onda de voltaje de TC3 digitalizada por el ADC MCP3208**



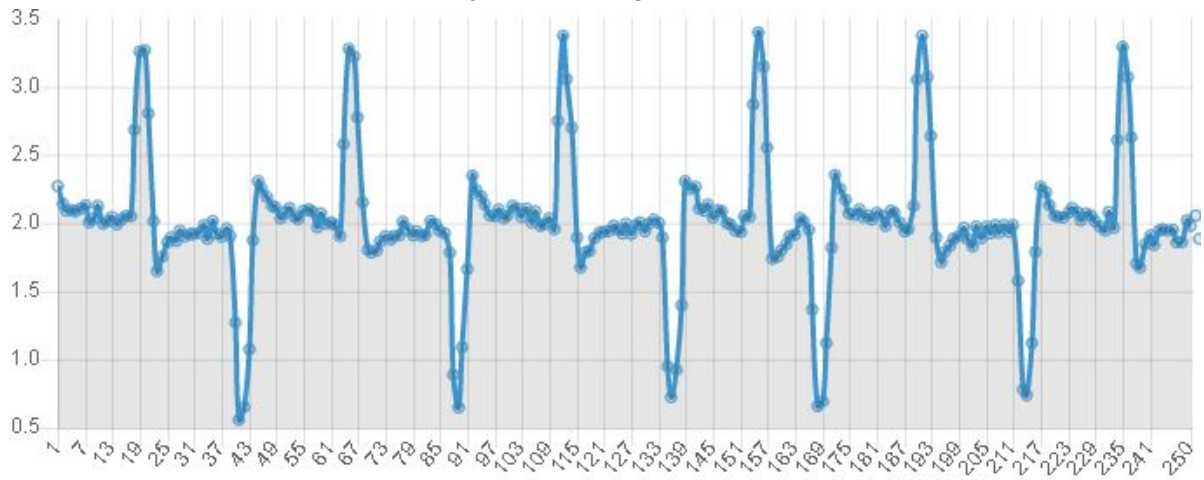
**Anexo 15: Onda de voltaje de TC4 digitalizada por el ADC MCP3208**



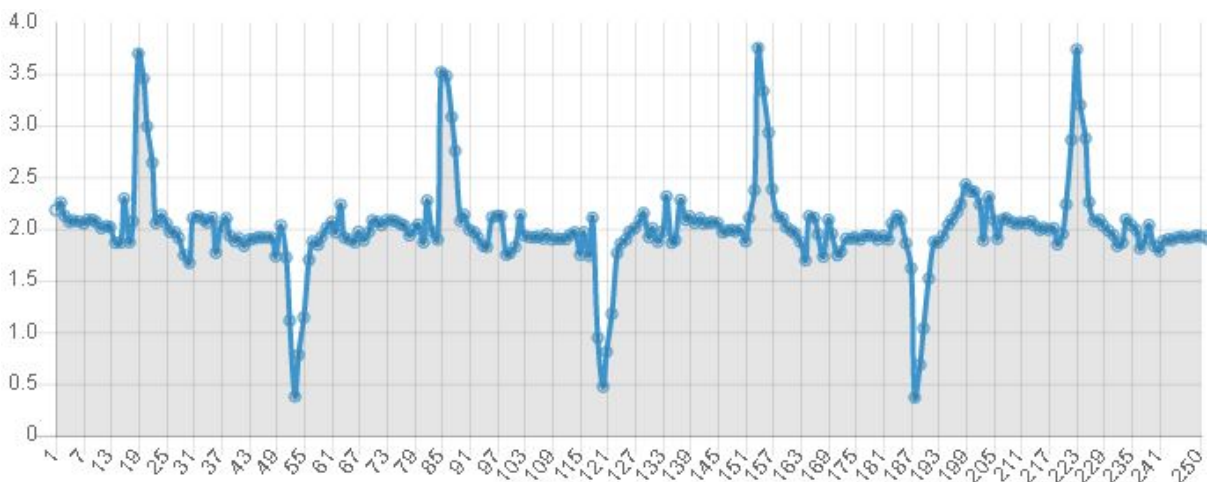
**Anexo 16: Onda de voltaje de TC5 digitalizada por el ADC MCP3208**



**Anexo 17: Onda de voltaje de TC6 digitalizada por el ADC MCP3208**



**Anexo 18: Onda de voltaje de TC7 digitalizada por el ADC MCP3208**



Anexo 19: Prototipo DAQ



Anexo 20: Tablero de recolección de variables eléctricas

