

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA



Facultad de ingenierías y arquitectura

Programa Ingeniería Electrónica

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO ELECTRÓNICO IOT PARA EL
MONITOREO DEL USO DE MAQUINARIA TIPO CNC
PRESENTE EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE GABINETES
EN LA EMPRESA MÉXICOLED TECHNOLOGY SA DE CV.**

Autor

KAREN DANIELA RAMON CRISTANCHO

Director

BLANCA JUDITH CRISTANCHO PABÓN

Codirector

ENRIQUE ALBERTO VÁZQUEZ CONSTANTINO

Pamplona 2022

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Primeramente, le doy gracias a Dios por haberme permitido culminar esta meta, guiarme y darme fuerzas en todo momento para no desistir durante toda mi carrera universitaria.

A mi madre

Por el esfuerzo que hizo para hacer posible este sueño, por ser la persona que me motiva cada día, me da fuerzas para nunca rendirme y me apoya incondicionalmente en cada meta que me propongo.

A la Ing. Judith Cristancho

Quien me a apoyado en diferentes etapas de mi vida, en los momentos buenos y malos de mi vida personal, por creer en mis capacidades y ser parte fundamental de mi proceso de formación.

Al Ing. Walter Torres

Quien me dio la oportunidad de llevar a cabo el proyecto de trabajo de grado en su empresa, me guió y asesoro con mucha paciencia en esta etapa tan importante de mi carrera profesional, además de brindarme su amistad y apoyo en todo el tiempo que estuve en su país.

Al Dr. Enrique Vázquez

Por darme la oportunidad de realizar mis pasantías en su centro de investigación CIESEM, por estar pendiente en esta etapa de mi proceso de formación y compartir conmigo parte de su conocimiento en las diferentes áreas.

A mis profesores

A todos y cada uno de los profesores del programa de ingeniería electrónica, que con su sabiduría nos dan las mejores herramientas para afrontar una vida profesional llena de retos.

Resumen

Para las empresas es muy importante mantenerse a la vanguardia a la hora de implementar tecnologías ya que esto representa una mejora significativa de la calidad de los productos y la productividad, por lo tanto, el prototipo electrónico basado en el internet de las cosas (IoT) desarrollado en este proyecto, brinda apoyo al personal encargado del área de producción de la empresa MÉXICOLED TECHNOLOGY SA DE CV que desarrolla productos basados en tecnología led, este prototipo permite el monitoreo del uso de maquinaria tipo CNC por medio de la medición del consumo de energía eléctrica. El sistema está conformado por tres etapas, la primera la etapa de medición que se encarga de obtener y acondicionar las señales de corriente y tensión de la maquinaria la cual se está monitoreando, la segunda etapa se encarga del procesamiento de las señales y envió de datos a la nube por medio de tecnología wifi utilizando la tarjeta de desarrollo ESP-WROOM-32, la tercera etapa consiste en la visualización de energía consumida por la maquinaria tipo CNC a través de una aplicación móvil que permita ver mediante gráficas el consumo energético diario, semanal y mensual.

Abstract

For companies it is very important to stabilize at the forefront when implementing technologies since this represents a significant improvement in product quality and productivity, therefore, the electronic prototype based on the Internet of Things (IoT) developed in this project, provides support to the staff in charge of the production area of the company MÉXICOLED TECHNOLOGY SA DE CV that develops products based on LED technology, this prototype allows monitoring the use of CNC-type machinery by measuring consumption of electrical energy. The system is made up of three stages, the first is the measurement stage that is responsible for obtaining and conditioning the current and voltage signals of the machinery which is being monitored, the second stage is responsible for processing the signals and sending data. to the cloud through Wi-Fi technology using the ESP32-WROOM development board, the third stage consists of viewing the energy consumed by the CNC-type machinery through a mobile application that allows you to view daily, weekly and monthly energy consumption using graphs.

Índice

1. Introducción	9
2. Justificación	10
3. Delimitación	11
3.1. Objetivos	11
3.1.1. General	11
3.1.2. Específicos	11
3.2. Acotaciones	11
4. Marco teórico	12
4.1. Internet de las cosas	12
4.1.1. Capa de dispositivos	12
4.1.2. Capa de borde	12
4.1.3. Capa de nube	12
4.1.4. HTTP	12
4.2. Cargas eléctricas	13
4.2.1. Cargas resistivas	13
4.2.2. Cargas inductivas	13
4.2.3. Cargas capacitivas	14
4.3. Energía eléctrica	14
4.3.1. Voltaje RMS	14
4.3.2. Corriente RMS	15
4.3.3. Potencia aparente (S)	15
4.3.4. Potencia activa (P)	15
4.3.5. Potencia reactiva (Q)	15
5. Metodología	16
5.1. Adquisición de señales	17
5.1.1. Acondicionamiento señal de voltaje	20
5.1.2. Acondicionamiento señal de corriente	21
5.1.3. Cruce por cero	22
5.1.4. Fuente simétrica	23
5.2. Procesamiento de las señales	24
5.3. Visualización de datos	31
6. Resultados	32
6.1. Prototipo electrónico de medición de consumo eléctrico	32
6.2. Recepción de datos en la nube	33
6.3. Visualización de los datos	34
6.4. Pruebas de funcionamiento del prototipo	37
6.5. Valor agregado y costos	37
6.5.1. Valor agregado	37
6.5.2. Costos	38
7. Conclusiones	40

8. Anexos	42
8.1. Guía básica de usuarios	42
8.1.1. Pantalla de inicio	42
8.1.2. Pantallas de gráficas de consumo	42
8.2. Pruebas sensor de corriente	42
8.3. Pruebas sensor de voltaje	44
8.4. Pruebas envío de datos	45
8.5. IDE para ESP-WROOM-32	46
8.6. Diseño caja contenedora del circuito electrónico	46
8.7. Diagrama esquemático general	47

Índice de figuras

1.	comportamiento de cargas eléctricas [1]	13
2.	Respuesta carga capacitiva [1]	13
3.	Respuesta carga inductiva [1]	14
4.	Valor eficaz, promedio y pico de la señal de voltaje [2].	14
5.	Diagrama general del sistema(Autor).	16
6.	Esquema etapa de medición(Autor).	17
7.	Sensor de corriente AC [3]	17
8.	Gráfica comparación de voltaje de salida teórico y medido(Autor).	19
9.	Sensor de voltaje [4]	19
10.	Sensor de voltaje [4]	20
11.	Circuito de acondicionamiento señal de voltaje(Autor)	21
12.	Circuito de acondicionamiento de la señal de corriente(Autor).	22
13.	Circuito cruce por cero(Autor).	22
14.	Circuito fuente simétrica(Autor).	23
15.	Montaje circuito adquisición y acondicionamiento de la señal(Autor).	23
16.	Diagrama de flujo general(Autor).	24
17.	Diagrama de flujo procesamiento de señales(Autor).	25
18.	Diagrama de flujo procesamiento de señales(Autor).	26
19.	Tarjeta de desarrollo ESP-WROOM32 [5]	26
20.	Bloques funcionales que conforman el ESP-WROOM32 [5]	27
21.	Fragmento de código obtención de corriente y voltaje rms.(Autor)	28
22.	Fragmento de código cálculo de ángulo de desfase(Autor).	29
23.	Fragmento de código conexión red Wifi(Autor).	29
24.	Fragmento de código envió de datos a servidor web(Autor).	30
25.	Interfaz inicial del backend [6]	30
26.	Diagrama de desarrollo de aplicación móvil (Autor).	31
27.	Tarjeta de adquisición de datos(Autor).	32
28.	Diseño de PCB en EasyEDA(Autor).	32
29.	Prototipo electrónico de medición de consumo eléctrico(Autor).	33
30.	Interfaz de datos recibidos en TectuinoWeb [6].	34
31.	Ventana de inicio aplicación móvil(Autor).	35
32.	Gráfica de consumo eléctrico diario(Autor).	35
33.	Gráfica de consumo eléctrico semanal(Autor).	36
34.	Gráfica de consumo eléctrico mensual(Autor).	36
35.	Imágenes prueba de funcionamiento prototipo(Autor).	37
36.	Imagen señal de corriente(Autor).	42
37.	Imagen prueba sensor de corriente, con corriente de entra 3,49A (Autor).	43
38.	Imagen prueba sensor de corriente, con corriente de entra 2,22A(Autor).	43
39.	Imagen prueba sensor de corriente, con corriente de entra 1,40A(Autor).	43
40.	Imagen prueba sensor de corriente, con corriente de entra 0.01A(Autor).	44
41.	Imagen señal de voltaje(Autor).	44
42.	Imagen prueba sensor de voltaje, con voltaje de entrada 210V (Autor).	45
43.	Imagen prueba envió de datos(Autor).	45
44.	Imagen IDE para ESP-WROOM-32(Autor).	46
45.	Imagen Diseño caja contenedora del circuito electrónico(Autor).	46
46.	Diagrama esquemático general(Autor).	47

Índice de tablas

1.	Parámetros técnicos sensor de corriente.	18
2.	Comparación entre los voltajes de salida teóricos y reales del sensor de corriente.	18
3.	Parámetros técnicos sensor de corriente.	20
4.	Comparación entre los voltajes de salida teóricos y reales del sensor de corriente.	20
5.	Costos generados por el prototipo.	39

1. Introducción

El internet de las cosas (IOT) por sus siglas en ingles Internet Of Things, es una tecnología que viene cambiando muchos estilos de vida a los cuales estamos acostumbrados y aunque su nombre no es muy conocido es una tecnología que desde hace varios años atrás se viene incorporando en los objetos que están a nuestro alrededor que viene creciendo a gran velocidad y a la cual nos debemos adaptar. Esta tecnología está irrumpiendo con fuerza en muchos sectores como la agricultura, salud, ganadería, hogar, ciudades inteligentes, industria, comercio y medio ambiente, permitiendo la recopilación, análisis y procesamientos de datos para solucionar problemas en la mayoría de los casos en tiempo real lo cual permite modelos de negocio novedosos y nuevas formas de crear valor desde su producción hasta las relaciones con los clientes.

La optimización de procesos permite que una empresa se pueda mantener competitiva con el pasar del tiempo ya que se puede identificar fácilmente los desperdicios y encontrar cuellos de botella que comprometen la productividad, fallas o mal uso de los recursos, lo que ayuda a solucionar estos problemas y reducir los costos. De ahí la importancia de diseñar un prototipo electrónico IOT para el monitoreo del uso de maquinaria como lo es la CNC que permita combinar adecuadamente los recursos humanos, materiales y financieros ayudando a reducir de costos, tiempo y una mejora de calidad en los productos.

En el presente proyecto “Diseño de un prototipo electrónico IoT para el monitoreo del uso de maquinaria tipo CNC presente en el área de producción de gabinetes en la empresa Méxicoled Technology SA de CV” se da una explicación detallada de las consideraciones que se tuvieron en cuenta para el diseño de un prototipo funcional, que permita la medición de potencia y la visualización de los datos a través de internet por medio de la tecnología IoT(Internet de las cosas), también se mostraran los resultados que se obtuvieron, las conclusiones a las cuales se llegó con la realización de este trabajo y algunos conceptos básicos para el entendimiento del mismo. En la sección de metodología se abordarán tres etapas, la primera consta de una etapa de medición que estará dividida en cuatro circuitos; el de acondicionamiento de la señal de voltaje, acondicionamiento de la señal de corriente, un cruce por cero encargado de medir el ángulo de desfase entre la señal de corriente y la señal de voltaje y una fuente simétrica a partir de una simple que se encargará de alimentar todo el sistema. La integración de estos circuitos conformaran la parte de hardware del sistema y será el encargado de obtener y acondicionar las señales de corriente y tensión de la maquinaria la cual se estará monitoreando, la segunda etapa se encargara del procesamiento de las señales y envió de datos a la nube por medio de tecnología Wifi utilizando una placa de desarrollo ESP32WROOM el cual es un microcontrolador de bajo costo utilizado comúnmente en aplicaciones de IoT y la tercera etapa consiste en la visualización de energía consumida por la maquinaria a través de una aplicación móvil por medio de gráficos.

2. Justificación

La implementación de tecnologías como el internet de las cosas permite hacer un monitoreo a partir de los datos obtenidos gracias a la integración de diversos componentes electrónicos, en este sentido el presente proyecto se pretende diseñar e implementar el prototipo de un dispositivo electrónico que sea capaz de conectarse a internet utilizando un microcontrolador ESP32-WROOM tarjeta de desarrollo de bajo costo y bajo consumo que incorpora tecnología Bluetooth y Wifi, que al ser conectada con sensores de corriente no invasivos permite la monitorización del consumo de energía eléctrica, proveniente de equipos y maquinaria presentes en el área de producción de la empresa Méxicoled ubicada en el estado de Chiapas en el sur de México que se dedica a diseñar y fabricar productos basados en tecnologías led, en aplicaciones tales como preciaadores de leds para gasolineras, pantallas electrónicas para vídeo, tableros electrónicos para básquetbol, lámparas de iluminación, entre otros, ayudando a las personas encargadas a tener una mejor planificación en el uso de dicha maquinaria lo cual va a permitir combinar adecuadamente los recursos humanos, materiales y financieros lo que se va a traducir en una reducción de costos, tiempo y una mejora de calidad en los productos.

3. Delimitación

3.1. Objetivos

3.1.1. General

Diseñar el prototipo de un dispositivo electrónico el cual se pueda conectar a internet y permita monitorear del consumo eléctrico de maquinaria tipo CNC presente en el área de producción de gabinetes.

3.1.2. Específicos

- Diseñar un prototipo electrónico de medición de consumo eléctrico de modo no invasivo para maquinaria tipo CNC usada en el área de producción de gabinetes.
- Implementar el prototipo para medir parámetros como corriente, voltaje y consumo eléctrico además de obtener sus promedios por días, semanas o meses.
- Realizar la comunicación a través de un servidor web que permita monitorear los parámetros a determinados tiempos configurables.
- Realizar pruebas de funcionamiento del prototipo.
- Establecer el valor agregado y costo generados por el prototipo electrónico

3.2. Acotaciones

- El prototipo electrónico es aplicable a la maquina CNC presente en el área de producción de gabinetes en la empresa MÉXICOLED TECHNOLOGY SA DE CV.
- Los datos que se van a obtener mediante sensores serán de voltaje y corriente.
- El desarrollo del proyecto se basará en un prototipo electrónico no comercial.

4. Marco teórico

4.1. Internet de las cosas

El internet de las cosas consiste en la interconexión de todos los objetos de nuestra vida cotidiana que pueden recolectar e intercambiar información entre ellos para actuar de manera autónoma según sea su función [7] [8] estos se conectan con un proceso llamado M2M (machine to machine, o máquina a máquina) que permite la conectividad entre las maquinas u objetos por medio de tecnologías como Bluetooth y Wifi [9]. Para que esta tecnología sea posible es necesario tener la integración de los objetos con sensores que son los encargados de recolectar los datos, microcontroladores que son los que permiten la conexión de las cosas al internet, un protocolo de información que es por el cual se trasmite y recibe la información y los actuadores que son los que se encargan de ejecutar la acción final, todo esto junto hace que los objetos puedan comunicarse entre sí, el monitoreo, control, optimización o automatización de las diferentes áreas, para esto se establece una arquitectura de un sistema IoT en general que incluye una capa de dispositivos, una capa de borde y la capa de nube [10].

4.1.1. Capa de dispositivos

Dentro de esta capa se encuentran los sensores y actuadores. Los sensores son dispositivos o sistemas muy pequeños construidos para comprender y detectar cambios en su entorno, generalmente son bastante pequeños y tienen la capacidad de detectar parámetros físicos y luego transformarlos en señales eléctricas. En el mercado podemos encontrar diferentes tipos de sensores en función del tipo de variable que se desee medir estos pueden ser ópticos, térmicos, de contacto, de humedad, magnéticos e infrarrojos entre muchos otros [10].

4.1.2. Capa de borde

Esta capa se relaciona con servicios de análisis y de pre procesamiento que se ubican en el límite de la red. Con el uso de sistemas de adquisición de datos, los datos analógicos pueden convertirse en forma digital para el pre-procesamiento y pre-análisis de los mismos antes de enviarlos a los sistemas reales ya que Los datos capturados por los sensores y actuadores no siempre son importantes para el cliente final, por lo tanto, solo los datos requeridos se procesan y se envían al servidor y a los centros de datos [10].

4.1.3. Capa de nube

esta capa hace referencia al servidor que se encarga de recibir lo datos y almacenarlos en una base de datos para realizar diferentes tareas con ellos, a menudo se complementan con aplicaciones móviles y aplicaciones de clientes basadas en la web, que presentan los datos a los usuarios finales a través de herramientas para explorar y analizar los datos que permitan la toma de decisiones [10].

4.1.4. HTTP

El Protocolo de Transferencia de Hipertexto (Hypertext Transfer Protocol) es un protocolo cliente-servidor el cual permite el envío y solicitud de datos y está soportado sobre los servicios de conexión TCP/IP. Entre los tipos de consultas más utilizados están el GET y POST. El método GET es usado para pedir o recuperar datos del servidor y el POST se utiliza para enviar información al servidor [11] [12].

4.2. Cargas eléctricas

Los equipos y dispositivos que utilizan energía eléctrica tienen la función de transformarla en otro tipo de energía, por lo que encontraremos aparatos eléctricos (cargas) que convierten la energía como puede ser: energía calorífica (cargas resistivas), campo magnético (cargas inductivas) o campo eléctrico (cargas capacitivas) [1].

4.2.1. Cargas resistivas

En este tipo de cargas toda la energía se transforma en energía lumínica o calorífica, no en movimiento. En este tipo de cargas la tensión y la corriente están en fase como se muestra en la siguiente figura. [13]

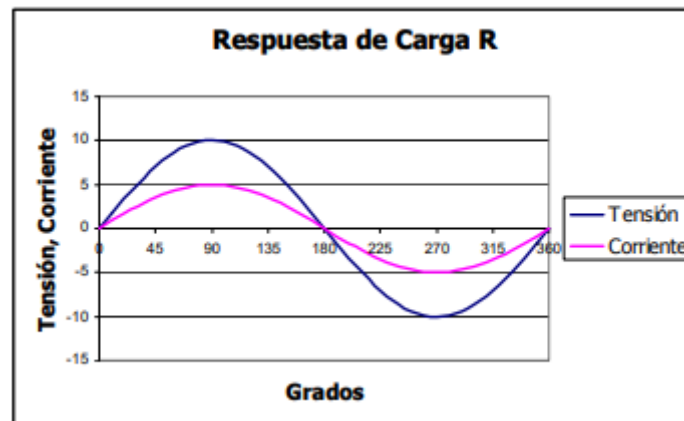


Figura 1: comportamiento de cargas eléctricas [1]

4.2.2. Cargas inductivas

En este tipo de cargas la potencia que toma la carga en el primer medio ciclo de la fuente de corriente alterna la convierte en campo magnético y en el siguiente medio ciclo regresa la potencia a la fuente. en este tipo de cargas la tensión adelanta 90° a la corriente como se muestra en la siguiente figura [13].

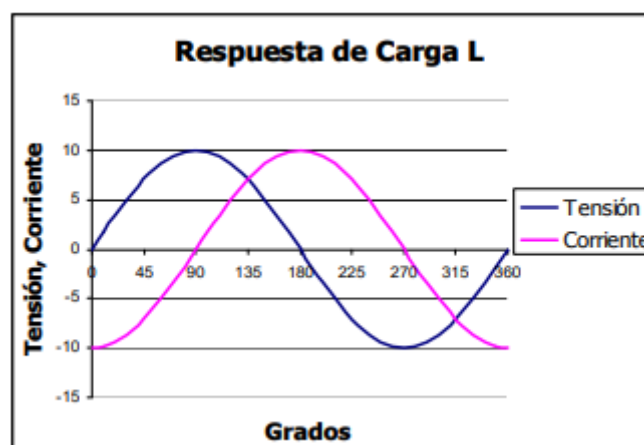


Figura 2: Respuesta carga capacitiva [1]

4.2.3. Cargas capacitivas

En este tipo de cargas la potencia que toma la carga en el primer medio ciclo de la fuente de corriente alterna la convierte en campo eléctrico y en el siguiente medio ciclo regresa la potencia a la fuente. en este tipo de cargas la tensión adelanta 90° a la corriente como se muestra en la siguiente figura [13].

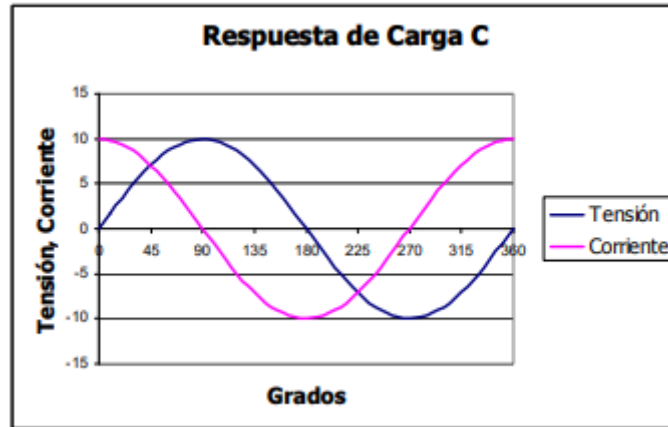


Figura 3: Respuesta carga inductiva [1]

4.3. Energía eléctrica

La energía eléctrica se obtiene mediante el movimiento de cargas eléctricas que se neutralizan en el interior de materiales conductores. Las instalaciones eléctricas tienen como función transportar la energía desde los puntos de generación hasta donde se encuentran las cargas, para determinar el consumo de energía eléctrica se deben analizar diferentes parámetros que se observan a continuación [14].

4.3.1. Voltaje RMS

También llamado valor eficaz, es un método de denotar una forma de onda sinusoidal de voltaje como un voltaje equivalente que representa el valor de voltaje DC y es el voltaje que medimos directamente en él toma corriente de nuestros hogares [14], en la figura 4 se pueden observar gráficamente estos valores.

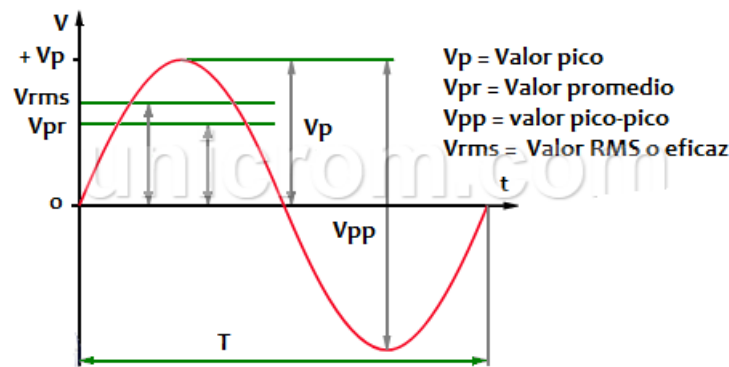


Figura 4: Valor eficaz, promedio y pico de la señal de voltaje [2].

A partir de la obtención del Voltaje rms se puede calcular el voltaje promedio o viceversa con la siguiente ecuación:

$$V_{prom} = V_{rms} \cdot \sqrt{2} \quad (1)$$

4.3.2. Corriente RMS

Se denomina corriente alterna cuando la magnitud y polaridad del voltaje varían cíclicamente. Esta es el tipo de corriente que llega a los hogares y empresas proveniente de la red eléctrica general [14] [15]. A partir de la obtención del Voltaje rms se puede calcular el Voltaje promedio o viceversa con la siguiente ecuación:

$$I_{prom} = I_{rms} \cdot \sqrt{2} \quad (2)$$

4.3.3. Potencia aparente (S)

Es la suma total de la potencia consumida por la carga, esta se define como la suma vectorial de la potencia activa (P) y la potencia reactiva (Q) se mide en Volt-Ampere y se calcula como [14] [15]:

$$S = V \cdot I \quad [VA] \quad (3)$$

4.3.4. Potencia activa (P)

Esta es la potencia real que un sistema eléctrico consume para realizar un trabajo y se define como el valor medio de la potencia instantánea para un periodo completo de la excitación y tiene relación directa con el desfase de las señales, se mide en Watts y se calcula como [14] [15]:

$$P = V \cdot I \cdot \cos(\phi) \quad (4)$$

Donde:

- V Valor eficaz de voltaje
- I Valor eficaz de corriente
- ϕ Ángulo de desfase de la corriente con la tensión

4.3.5. Potencia reactiva (Q)

Es la potencia que necesitan las bobinas y los condensadores para generar campos magnéticos o eléctricos, pero que no se transforma en trabajo efectivo, sino que fluctúa por la red entre el generador y los receptores, Se mide en Volt-Amper reactivo y se calcula como [14] [15]:

$$Q = V \cdot I \cdot \sin(\phi) \quad (5)$$

Donde:

- V Valor eficaz de voltaje
- I Valor eficaz de corriente
- ϕ Ángulo de desfase de la corriente con la tensión

5. Metodología

En esta sección se brinda una explicación detallada de las consideraciones que se tuvieron a la hora de desarrollar un prototipo electrónico IOT, para el monitoreo del uso de maquinaria tipo CNC completamente funcional. En la figura 5 se puede observar el diagrama general el cual está compuesto el sistema, este está dividido por tres etapas, la primera, la etapa de adquisición de señales, que se encarga de obtener por medio de diferentes circuitos de acondicionamiento las señales de corriente, tensión y ángulo de desfase entre estas dos señales, la segunda etapa se encarga del procesamiento de las señales (corriente rms y voltaje rms) y envió de datos (potencia activa) a la nube, por medio de una tarjeta de desarrollo ESP-WROOM-32 que cuenta con tecnología Wifi, la tercera etapa consiste en la visualización de energía consumida por la maquinaria tipo CNC a través de una aplicación móvil, que permite ver mediante gráficas el consumo energético diario, semanal y mensual.

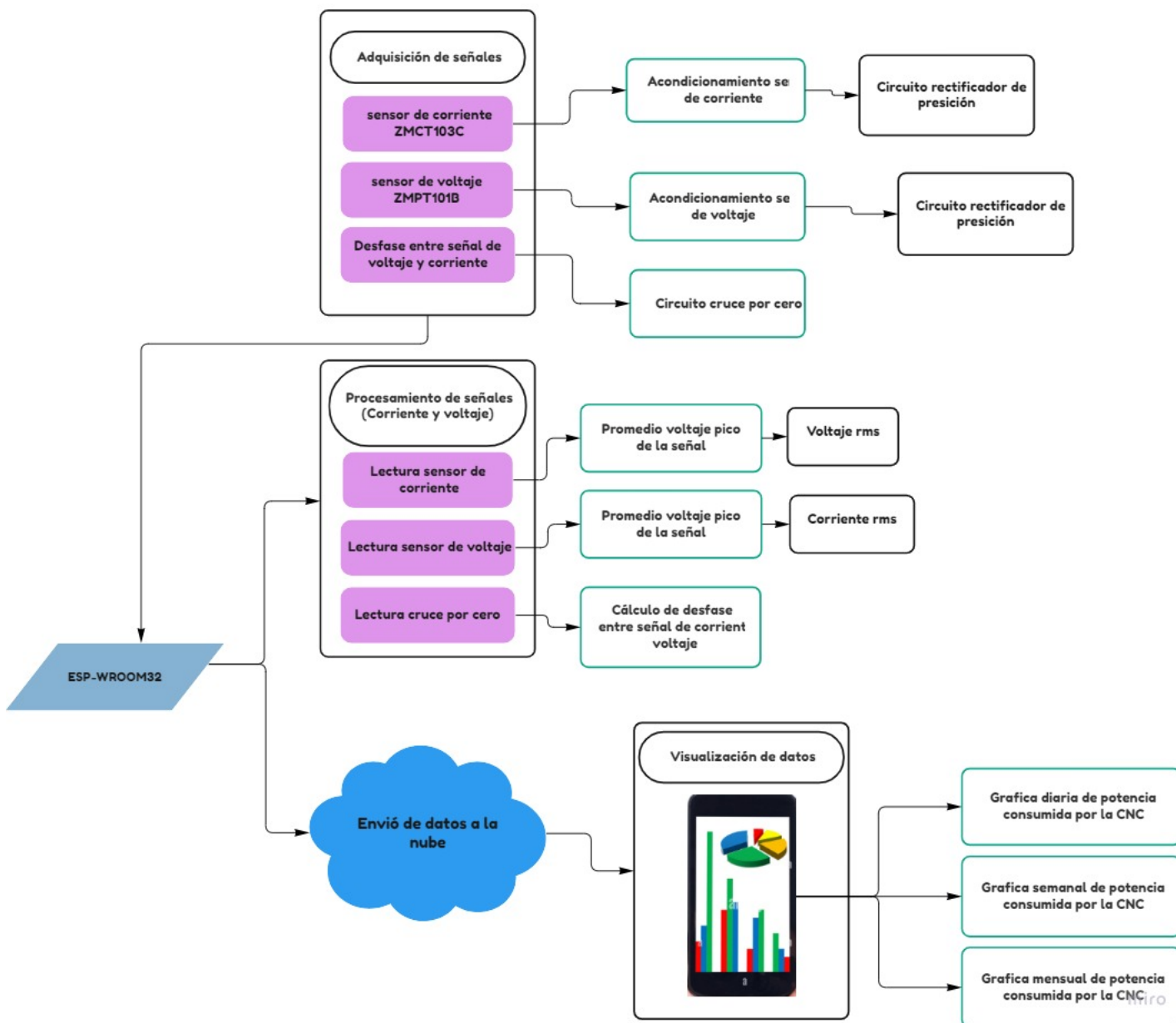


Figura 5: Diagrama general del sistema(Autor).

5.1. Adquisición de señales

La etapa de adquisición de señales se divide en tres partes como se puede observar en la figura 6, la primera consiste en hacer pruebas de funcionamiento tanto del sensor de corriente como al sensor de voltaje, seguido de esto se procede al diseño de los circuitos de acondicionamiento que van a permitir que la tarjeta de desarrollo ESP-WROOM-32 pueda leer los parámetros físicos (corriente y voltaje), por ultimo se diseña un circuito cruce por cero que es el encargado de detectar el tiempo de desfase entre la señal de corriente y la señal de voltaje.

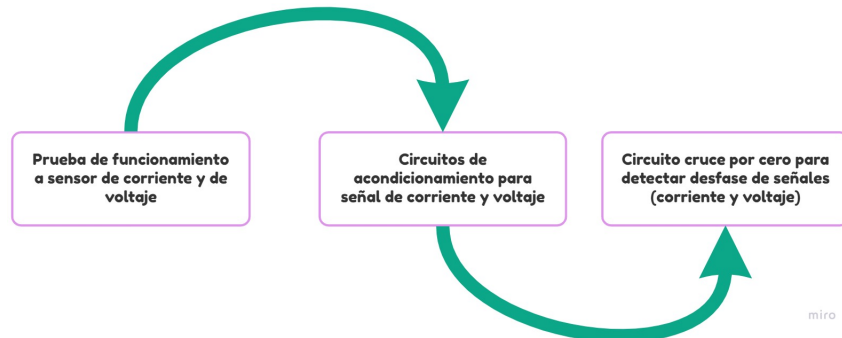


Figura 6: Esquema etapa de medición(Autor).

Para la adquisición de la señal de tensión y corriente se utilizaron dos tipos de sensores ZMPT101B Y ZMCT103C respectivamente, a los cuales se le hicieron las respectivas pruebas de funcionamiento que se pueden ver a continuación.

ZMCT103C: Transformador de corriente de alta precisión y buena consistencia no invasivo para medición de corriente el cual cuenta con una resistencia de 200ohm que permite obtener la salida en forma de voltaje [9].



Figura 7: Sensor de corriente AC [3]

Tabla 1: Parámetros técnicos sensor de corriente.

PARÁMETROS TÉCNICOS	
Model	ZMCT103C
Input current	0 - 10 A
Rated output current	5mA:5mA
turns ratio	1000:1
Accuracy class	0.2
Linearity	$\leq 0,2\%(5\% \cdot 120\%)$
Permissible error	$-0.2\% \leq f \leq 0,2\%$
Isolation voltage	4500 V
application	Precise measurement of current and power
Encapsulation	Epoxy
Installation	PCB mounting
Operating temperature	-40°C +85°C

Para comprobar el funcionamiento del sensor ZMCT103C se tuvieron en cuenta los parámetros técnicos que se muestran en la tabla 1, se utilizaron cargas con diferente consumos de corriente pasando a través del sensor y se midió su salida con un multímetro Fluke, para comprobar el valor medido se calculó también teóricamente con la ecuación (6) y se compararon ambas respuestas; haciendo un calculo del porcentaje de error entre estos dos valores teorico y medido como se muestra en la tabla 2.

La fórmula que se utilizo para calcular el voltaje de salida del sensor de corriente viene dada por:

$$V_{salida} = \frac{I_{rms}}{1000} \cdot 200\Omega \quad (6)$$

Donde 1000 es el número de vueltas del devanado secundario y los es la resistencia que trae en paralelo el módulo de este sensor.

Tabla 2: Comparación entre los voltajes de salida teóricos y reales del sensor de corriente.

Corriente rms (A)	V salida calculado(mV)	V salida medido (mV)	% Error
0,01	2	2	0,00 %
0,256	512	520	-1,54 %
1,04	208	210	-0,95 %
1,13	226	230	-1,74 %
1,4	284	288	-1,39 %
1,87	374	371	0,81 %
2,22	444	442	0,45 %
2,43	485	494	-1,82 %
3,1	620	629	-1,43 %
3,49	698	698	0,00 %
5,52	102	101	0,99 %

La figura 8 muestra gráficamente el comportamiento de los valores de voltaje medidos y calculados del sensor de corriente ZMCT103C donde se puede observar que las líneas que representan los datos están prácticamente sobrepuestas lo que quiere decir que el porcentaje de error entre estos dos valores es mínimo.

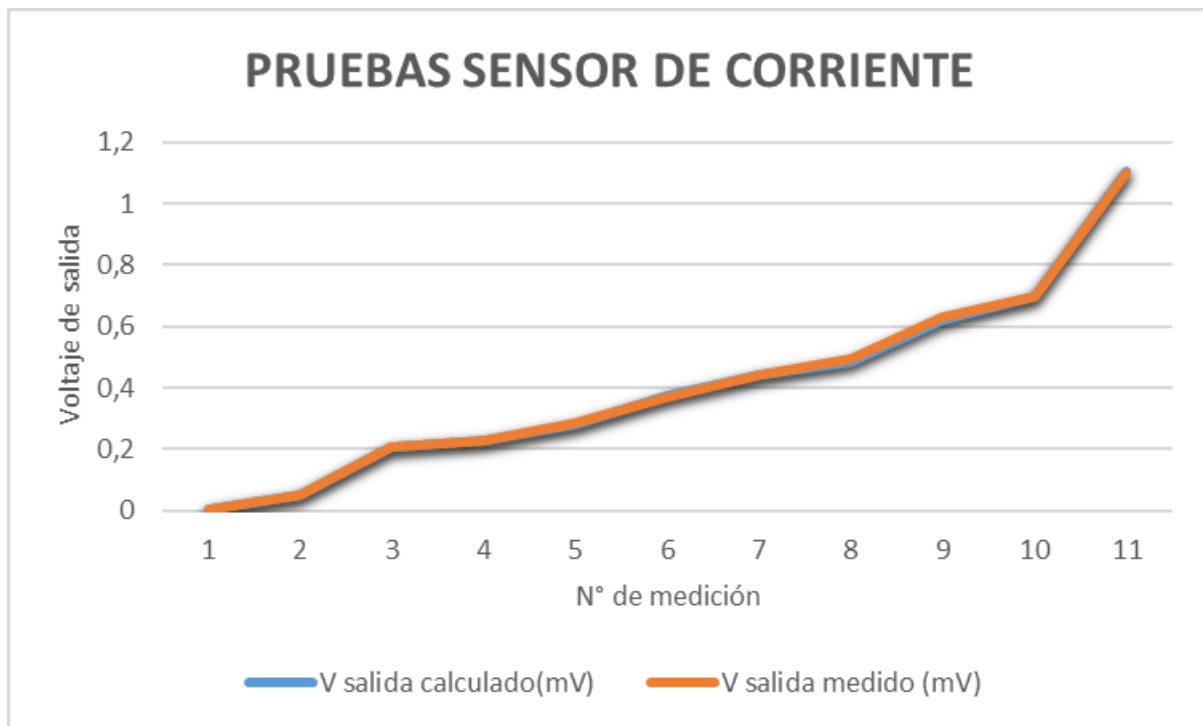


Figura 8: Gráfica comparación de voltaje de salida teórico y medido(Autor).

ZMPT101B: transformador de voltaje de alta precisión. Este módulo facilita el monitoreo del voltaje de la red de CA hasta 1000 voltios.



Figura 9: Sensor de voltaje [4]

Según los parámetros técnicos que se muestran en la tabla 3, este sensor de voltaje maneja una corriente de 2mA por esto se diseña un circuito el cual limita la corriente de entrada con la resistencia R1 y a través de la resistencia R2 se puede obtener un voltaje a la salida del sensor como se muestra en la figura 10.

La fórmula que se utilizó para calcular el voltaje de salida del sensor de voltaje viene dada por:

$$V_{salida} = \frac{V_{rms}}{220k\Omega} \cdot 240\Omega \quad (7)$$

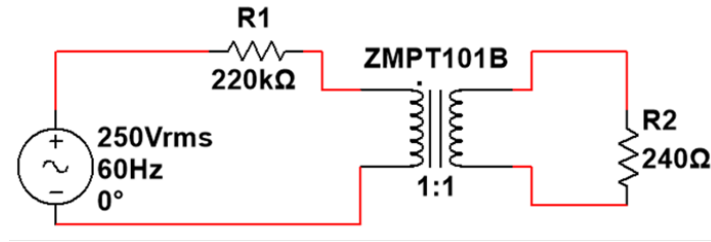


Figura 10: Sensor de voltaje [4]

Tabla 3: Parámetros técnicos sensor de corriente.

PARÁMETROS TÉCNICOS	
Model	ZMPT101B
Rated input current	2mA
Rated output current	2mA
turns ratio	1000:1000
Phase angle error	$\leq 0,2$
Operating range	0 1000 V 0 10mA
Linearity	$\leq 0,2\% (5\% \text{ dot } 120\% \text{ dot})$
Permissible error	$-0,3\% \leq f \leq 0,2\%$
Isolation voltage	4000 V
aplication	Voltage and power measurement
Encapsulation	Epoxy
Installation	PCB mounting
Operating temperature	$-40^{\circ}\text{C} \text{ } +60^{\circ}\text{C}$

Para comprobar el funcionamiento del sensor de voltaje se tuvieron en cuenta los parámetros técnicos que se muestran en la tabla 3, se midió una tensión de 220V y 113V y se hizo la comparación entre la salida teórica calculada con la ecuación (7) y la medida del multímetro Fluke a la salida del sensor, como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4: Comparación entre los voltajes de salida teóricos y reales del sensor de corriente.

Voltaje RMS (V)	Vsalida calculado(V)	Vsalida medido (V)	% Error
220	0,24	0,24	0 %
113	0,123	0,122	0,8 %

5.1.1. Acondicionamiento señal de voltaje

Para el acondicionamiento de la señal de voltaje se diseñó un circuito rectificador de precisión [16] que se muestra en la figura 11, con una ganancia de 5.6 que permite que la señal sea mayor a 0V y menor a 3,6V ya que la tarjeta de desarrollo que se utiliza para el procesamiento de los datos solo permite tomar un valor de voltaje entre 0 y 3,6V, para el valor de ganancia se tuvo en cuenta los rangos de lectura del ADC de la tarjeta de desarrollo para los cuales este es lineal que están entre 111mV y 2.5V.

Para garantizar que la señal de voltaje de salida no sea mayor a 3,3V se tomo como referencia un voltaje máximo de entrada de 250V y mínimo de 100V por lo tanto el voltaje de salida máximo y mínimo se calcula como:

$$V_{out} = \frac{V_{rms}}{R1} \cdot R2 \cdot G \quad (8)$$

$$V_{out} = \frac{250V}{220k\Omega} \cdot 240\Omega \cdot 5,6 = 1,5V \quad (9)$$

$$V_{out} = \frac{100V}{220k\Omega} \cdot 240\Omega \cdot 5,6 = 611mV \quad (10)$$

Donde:

- V_{out} es el voltaje pico de la señal de voltaje.
- V_{rms} Voltaje rms o valor eficaz.

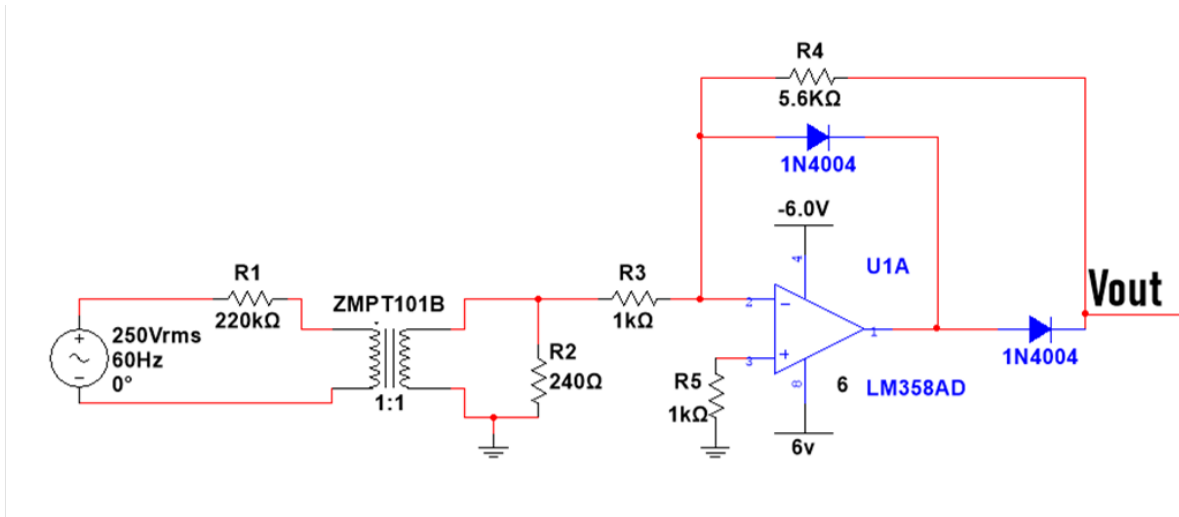


Figura 11: Circuito de acondicionamiento señal de voltaje(Autor)

5.1.2. Acondicionamiento señal de corriente

Para esta señal se utilizó al igual que en la de voltaje un circuito rectificador de precisión como se muestra en la figura 12, con una ganancia de 2 dadas por R1 y R2 tomando como referencia una entrada de corriente mínima de 1A y máxima de 5A. Para determinar el voltaje de salida se calculó como:

$$V_{out} = \frac{I_{rms}}{1000} \cdot R \cdot G \quad (11)$$

$$V_{out} = \frac{1A}{1000} \cdot 200\Omega \cdot 2 = 400mV \quad (12)$$

$$V_{out} = \frac{5A}{1000} \cdot 200\Omega \cdot 2 = 2V \quad (13)$$

Donde:

- V_{out} es el voltaje pico de la señal de corriente.
- I_{rms} es la corriente rms medida.

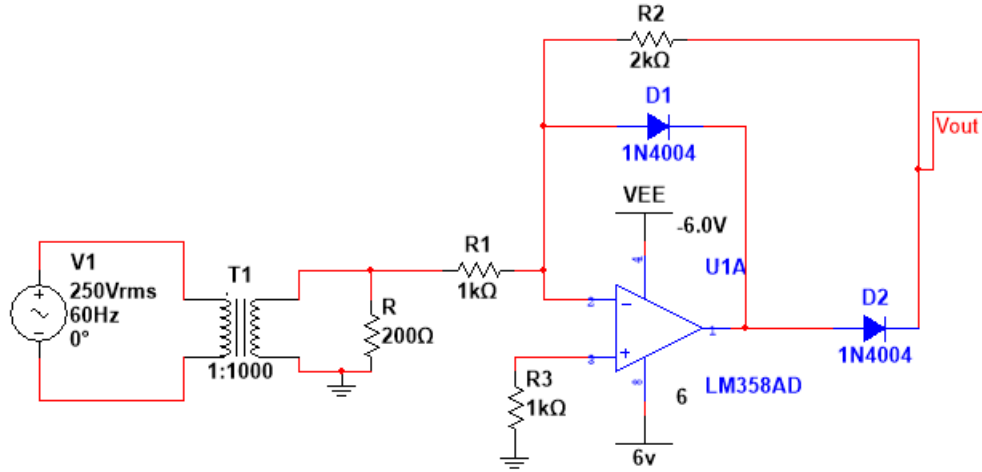


Figura 12: Circuito de acondicionamiento de la señal de corriente(Autor).

5.1.3. Cruce por cero

Este circuito se diseña para poder calcular si hay un tiempo de desfase entre la señal de voltaje y corriente para luego en la etapa de procesamiento poder determinar el ángulo de desfase entre las mismas. Este va conectado a la salida del circuito de acondicionamiento de la señal de voltaje y otro para la señal de corriente el cual consiste en un comparador de voltaje que a su salida se tendrá una señal cuadrada de 0 a 3.3V ya que a la salida de este se encuentra un divisor de tensión que limita la salida del comparador dentro de esos rangos, para esto se utiliza R15 y D8 [17] forman un divisor de tensión el cual siempre va a tener a su salida 3.3V los capacitores se colocan para evitar cambios bruscos de voltaje en caso de que se filtre un ruido y por último se tiene un potenciómetro el cual permite variar el voltaje al cual se va a comparar la señal para detectar el cruce por cero.

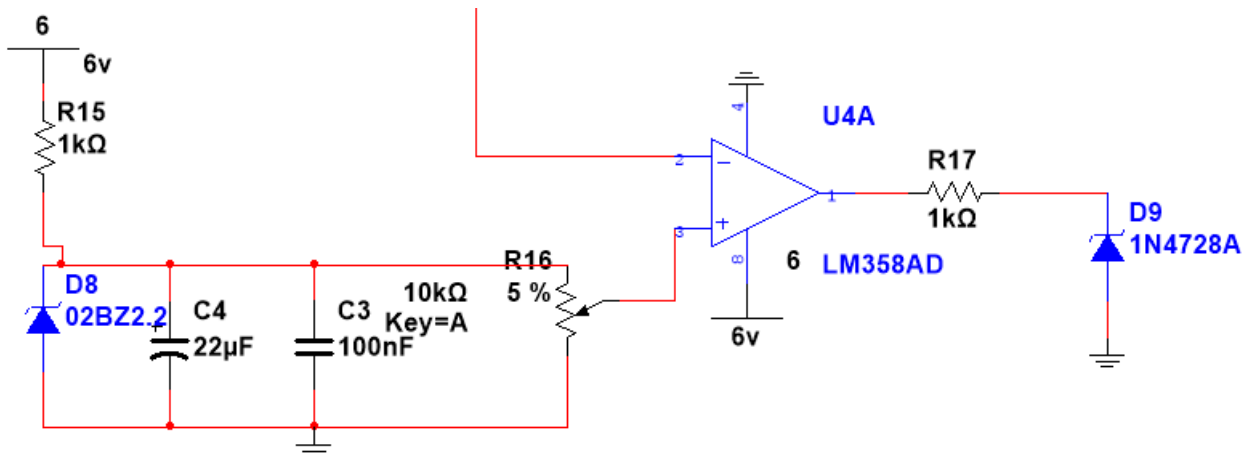


Figura 13: Circuito cruce por cero(Autor).

5.1.4. Fuente simétrica

Es necesario una etapa de polarización que entregue los voltajes requeridos para el funcionamiento adecuado de los componentes que integran la totalidad del sistema. Para esto se implementó un circuito que convierte una fuente simétrica a partir de una simple de 12V obteniendo a su salida 6V y -6V como se muestra en la figura 14. En este circuito se utiliza un divisor de voltaje el cual al tener las resistencias del mismo valor va a ver una caída de tensión de 6 voltios en cada una de ellas luego se utiliza el amplificador para asegurar que si el circuito conectado exige corriente no haya una caída de tensión, los diodos 1N4148 se utilizan para garantizar que el máximo voltaje que se pueda obtener en cada uno de ellos sea de 0,6 v seguido de esto están los transistores tip32c y tip31c los cuales garantizan que el voltaje a la salida sea dual sin importar que haya una caída de tensión.

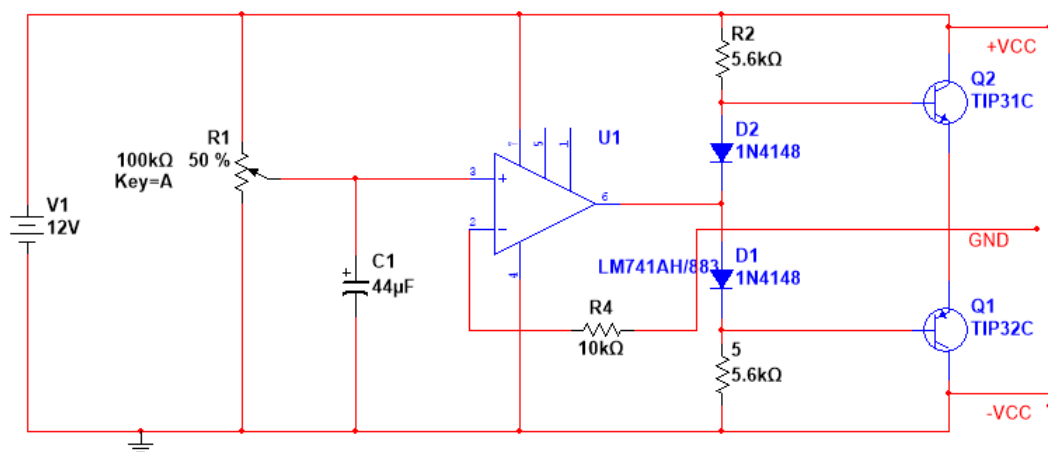


Figura 14: Circuito fuente simétrica(Autor).

Al finalizar el diseño y cálculo de cada uno de los circuitos vistos anteriormente, se procedió a hacer el montaje y acoplamiento de estos en una protoboard de prueba para corroborar su funcionamiento, como se muestra en la figura 15.

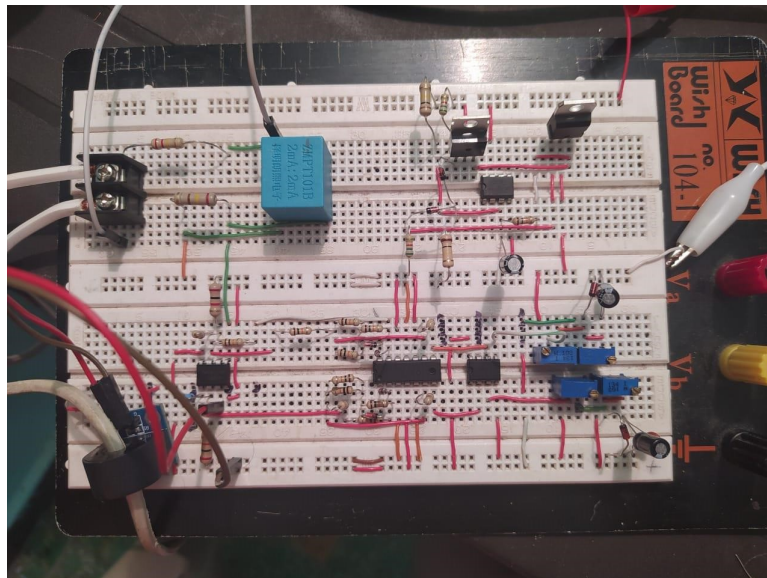


Figura 15: Montaje circuito adquisición y acondicionamiento de la señal(Autor).

5.2. Procesamiento de las señales

En la figura 16 se muestra el diagrama de flujo general que describe la estructura del código realizado para el procesamiento de las señales (corriente y voltaje).

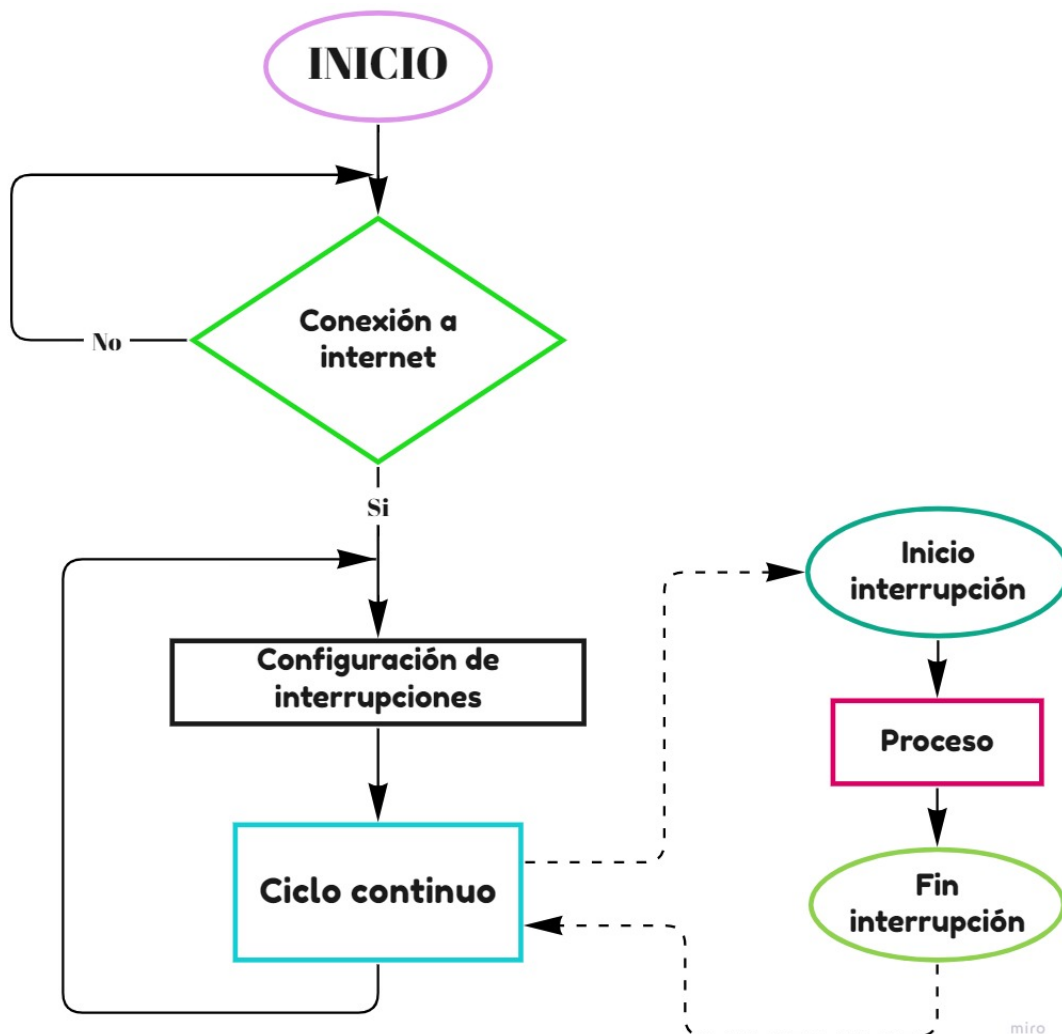


Figura 16: Diagrama de flujo general(Autor).

La figura 17 muestra en un diagrama de flujo cómo se realiza el procesamiento de la señal de voltaje y de corriente, las cuales son leídas y muestreadas cien veces para obtener un voltaje pico, este proceso se repite cien veces para obtener un valor más aproximado al real y así utilizar este valor para calcular los voltajes de corriente rms y voltaje rms despejando de las formulas (11) y (8) respectivamente.

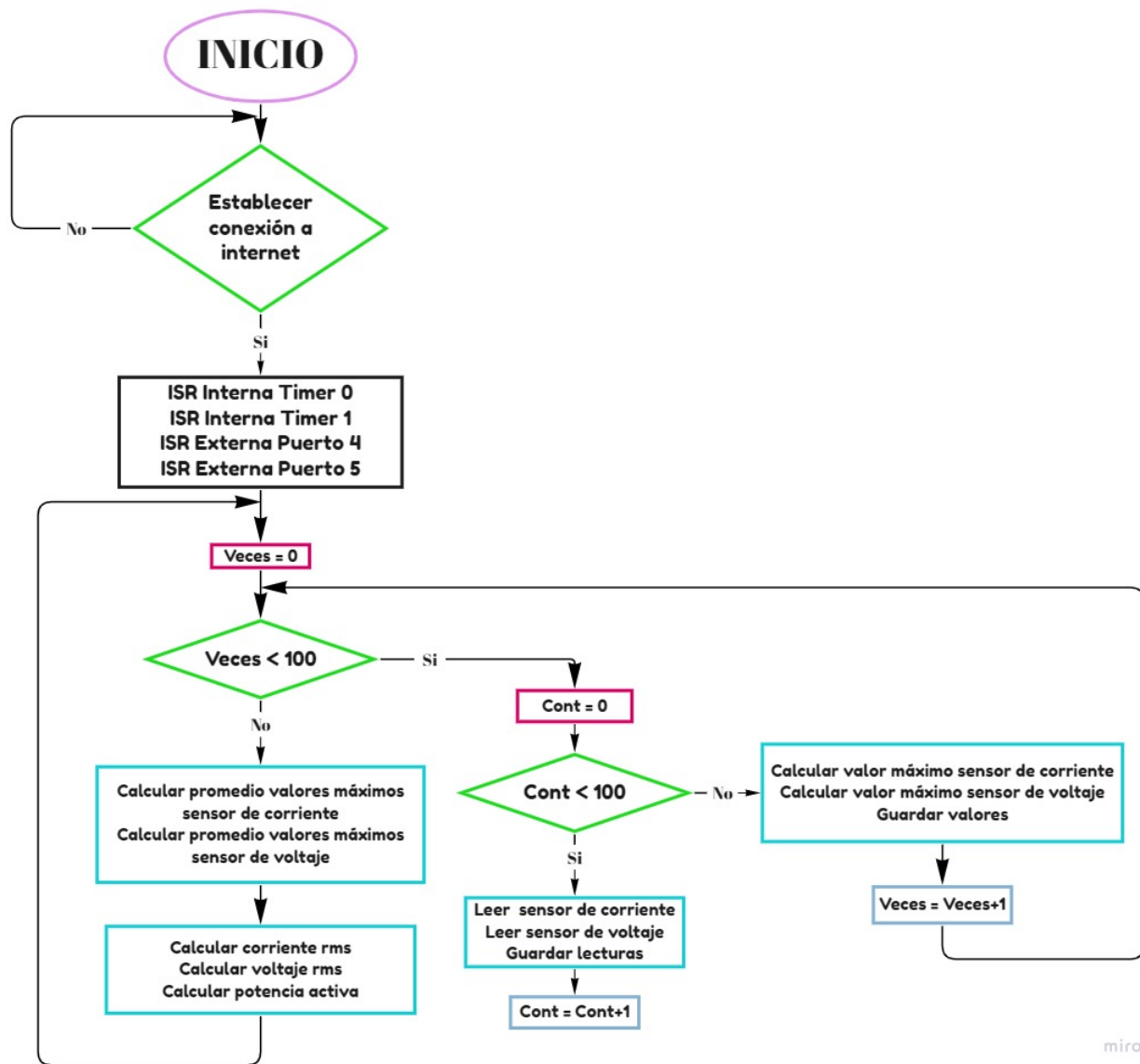


Figura 17: Diagrama de flujo procesamiento de señales(Autor).

La figura 18 muestra las interrupciones que están presentes en el código que permite el procesamiento de las señales, estas interrupciones tienen prioridad y se presentan cuatro; dos interrupciones externas, la primera que se activa cuando hay un flanco descendente en el cruce por cero de la señal de voltaje iniciando un contador y la segunda que se activa cuando hay un flanco descendente en el cruce por cero de la señal de corriente iniciando otro contador, las otras dos interrupciones son internas en donde la primera se activa cada 4sg y es la encargada de calcular el tiempo que pasa entre la activación de la interrupción externa 1 y la interrupción externa 2 y la segunda se activa cada 60sg y es la encargada de hacer el envío de datos (potencia activa) al servidor web.

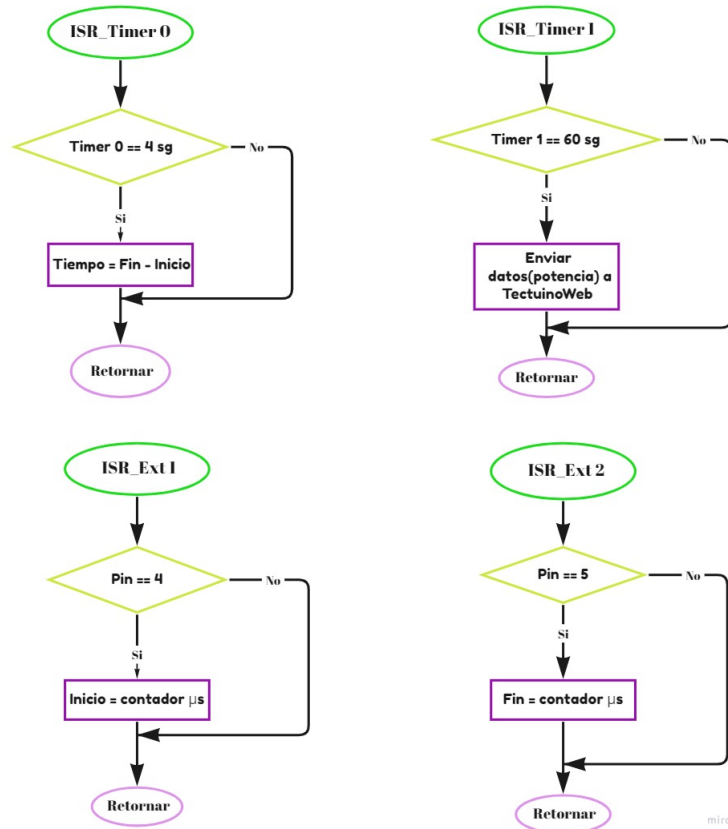


Figura 18: Diagrama de flujo procesamiento de señales(Autor).

En esta etapa procesamiento de señales, se utilizó una tarjeta de desarrollo ESP-WRROM32 la cual se encarga de convertir las señales analógicas a digitales para poder procesarlas y de hacer el envío de datos (Potencia) a la nube.

ESP-WRROM-32: módulo de bajo costo, que cuenta con tecnología Wifi, puede ser configurado como punto de acceso, o como cliente. Posee un CPU con dos núcleos que permite la programación en dos procesadores al mismo tiempo. Cuenta con memoria RAM, memoria flash, 17 puertos GPIO, 16 canales de PWM (software), 4 periféricos SPI, 2 periféricos I2C, 2 periféricos I2S, 18 canales ADC de 12 bits entre otras características que se pueden observar en la figura 20. [10]



Figura 19: Tarjeta de desarrollo ESP-WROOM32 [5]

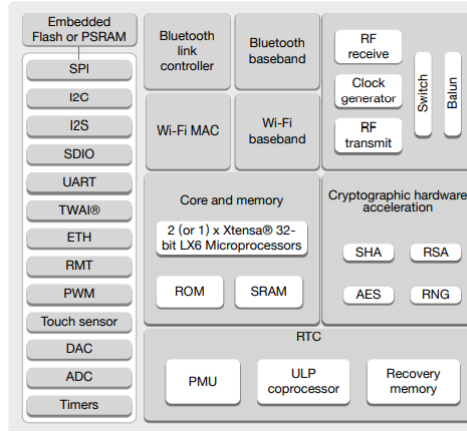


Figura 20: Bloques funcionales que conforman el ESP-WRROM32 [5]

Para el procesamiento de las señales se dividió la elaboración del código en 3 partes, la primera a la cual llamaremos etapa A se encarga de obtener el valor de corriente y voltaje, la segunda a la cual llamaremos etapa B está encargada de calcular el ángulo de fase de las dos señales (corriente y voltaje) y la tercera parte será llamada etapa C que se encargara de hacer la conexión con internet y enviar los datos(Potencia) a un servidor donde serán almacenados. La programación se realizó con lenguaje de programación Python.

Etapa A: Se muestra en la figura 21, en esta etapa se leen los datos del sensor de corriente y el sensor de voltaje, se toman 100 muestras de las cuales se obtiene el valor máximo siendo este el voltaje pico de la señal tanto de corriente como de voltaje este proceso se repite 100 veces más creando una lista, con los valores obtenidos se saca un promedio para obtener un valor más aproximado al real, teniendo el valor del voltaje pico de las dos señales(corriente y voltaje) se calcula la corriente rms y voltaje rms reales, las fórmulas para los cálculos vienen dadas por:

$$V_p = Valor - ADC \cdot \frac{V_{sistema}}{Resolución - ADC} \quad (14)$$

Donde:

- V_p es el voltaje pico leído de la señal tanto para corriente como para voltaje.
- $Valor - ADC$ es el valor de la lectura del microcontrolador.
- $V_{sistema}$ es el voltaje de funcionamiento del microcontrolador en este caso 3600mV.
- $Resolucion - ADC$ resolución máxima de la lectura en este caso 4095.

Despejando de las ecuaciones (1) y (9) se obtiene la ecuación (15)

$$V_{rms} = \frac{V_p}{\sqrt{2} \cdot G} \cdot \frac{R2}{R1} \quad (15)$$

Donde:

- V_{rms} es el voltaje rms o valor eficaz
- V_p es el voltaje pico promedio de la señal de voltaje.
- G es la ganancia puesta en el circuito de acondicionamiento de la señal de voltaje.

- R2 resistencia usada en el circuito de acondicionamiento de la señal de voltaje.
- R1 resistencia limitadora de corriente usada en el circuito de acondicionamiento de la señal de voltaje.

Despejando de las ecuaciones (2) y (12) se obtiene la ecuación (16)

$$I_{rms} = \frac{V_p}{\sqrt{2} \cdot G \cdot R} \quad (16)$$

Donde:

- I_{rms} es la corriente rms.
- G es la ganancia puesta en el circuito de acondicionamiento de la señal de corriente.
- R es la resistencia del módulo del sensor de corriente de 200Ω .

```
while True:
    veces = 0
    lista_PI = []
    lista_PV = []
    while(veces < 100 ):
        cont=0
        lista_I = []
        lista_V = []
        while (cont < 100):
            sensor_I = adc2.read()
            sensor_V = adc.read()
            time.sleep_us(200)
            lista_I.insert(cont, sensor_I)
            lista_V.insert(cont, sensor_V)
            cont = cont + 1
        picos_I = max(lista_I)
        picos_V = max(lista_V)
        lista_PI.insert(veces, picos_I)
        lista_PV.insert(veces, picos_V)
        veces = veces+1

    promedio_I = sum(lista_PI)/len(lista_PI)
    promedio_V = sum(lista_PV)/len(lista_PV)

    corriente = (promedio_I * (3600/4095)) + 100
    Irms = (corriente)/ (200*1.4142*1.9)

    voltaje = (promedio_V * (3600/4095)) + 110
    Vrms = (voltaje/(1.4142*5.6))*(240/220)

    if promedio_I == 0:
        Irms = 0

    if promedio_V == 0:
        Vrms = 0
```

Figura 21: Fragmento de código obtención de corriente y voltaje rms.(Autor)

Etapa B: En esta etapa se tienen dos interrupciones externas que son activadas por los pulsos generados por el circuito de cruce por cero tanto de la señal de corriente como de la señal de voltaje donde se determina el tiempo que tarda en ocurrir un cruce por cero y el otro, como se muestra en la figura 22, para luego calcular en ángulo de desfase con una regla de tres y poder calcular la potencia activa. La fórmula para calcular el ángulo de fase viene dada por:

$$\phi = \frac{360^\circ \cdot tiempo}{T} \quad (17)$$

Donde:

- ϕ es el ángulo de fase.
- T es el periodo de la señal

```
def XC_I(pin):
    global inicio
    inicio = 0
    inicio = time.time()
    #print(inicio)

def XC_V(pin):
    global fin
    fin = 0
    fin = time.time()

def t_desfase():
    global tiempo
    tiempo = time.time_diff(fin, inicio)

p0.irq(handler=XC_I, trigger=Pin.IRQ_RISING)
p1.irq(handler=XC_V, trigger=Pin.IRQ_RISING)
```

Figura 22: Fragmento de código cálculo de ángulo de desfase(Autor).

Etapa C [18]: En esta etapa se realiza la conexión con internet y el envío de datos al servidor web.

Para la conexión con internet se crea una función llamada connect() en la que se utiliza una clase WLAN y sus diferentes constructores que proporcionan un controlador para procesadores de red Wifi, para poder crear la conexión con internet se utiliza la interfaz network.STA_IF la cual permite conectar a los puntos de acceso de una red Wifi, como se muestra en la figura 23.

```
ssid = "Daniela"
password = "*****"

def connect():
    wlan = network.WLAN(network.STA_IF)
    wlan.active(True)
    wlan.connect(ssid, password)
    while wlan.isconnected() == False:
        pass
    print("Conexion con el WiFi %s establecida" % ssid)
    print(wlan.ifconfig())
```

Figura 23: Fragmento de código conexión red Wifi(Autor).

Para hacer el envío de datos a la nube se crea la función `connect_mxled()` donde se establece la dirección web a la cual se va a hacer el envío de los datos los cuales se pasan a formato Json para estructurarlos en forma de texto y hacer el intercambio de información entre el microcontrolador y el servidor de manera sencilla, como se muestra en la figura 24.

```
def connect_mxled():
    global data
    dato = Potencia
    addr = socket.getaddrinfo("tectuinnoweb.pythonanywhere.com", 80)[0][-1]
    s = socket.socket()
    s.connect(addr)
    es = {'IDS': '236', 'dato': dato}
    json_data = json.dumps(es)
    #print(json_data)
    envio = 'POST /api/agregar-dato/ HTTP/1.1\r\nHost: '\
            'tectuinnoweb.pythonanywhere.com\r\n'\
            'Content-Length:' +str(len(json_data))+'\r\n'\
            'Authorization: Token b8680a377fc1baa65d7d21b2178fbfe1d4a7b5ea'\
            '\r\n\r\n'+json_data + '\r\n\r\n'
    s.send(bytes(envio, 'utf8'))
    data = s.recv(1000)
    data = str(data)
    #print(data)
    s.close()
```

Figura 24: Fragmento de código envío de datos a servidor web(Autor).

Para el almacenamiento de los datos se utilizó un backend desarrollado para obtención de datos de dispositivos IoT llamado TectuinoWEB. Desarrollado por Wendy Estefanía Yáñez Morales para el Departamento de Sistemas y Computación del Tecnológico Nacional de México.

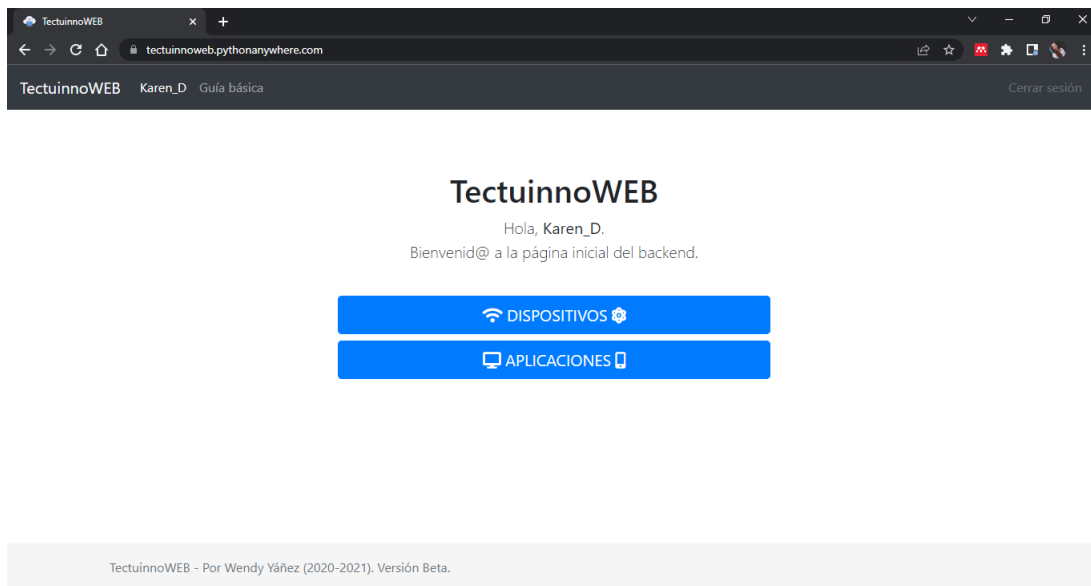


Figura 25: Interfaz inicial del backend [6]

5.3. Visualización de datos

Para desarrollar la aplicación móvil en la cual se puede observar gráficamente los datos de consumo de energía se utilizó el entorno de desarrollo Android Studio, en la figura 26 se muestran los pasos que se siguieron para la creación de la aplicación móvil, en la cual primero se hace la conexión con el servidor web (TectuinoWeb), se obtienen los datos que están en formato JSON, se colocan en un arreglo y se hace la gráfica de la potencia consumida con respecto al tiempo, por ultimo se crea un entorno de visualización que permite ver gráficamente el consumo eléctrico diario, semanal y mensual de maquinaria tipo CNC.

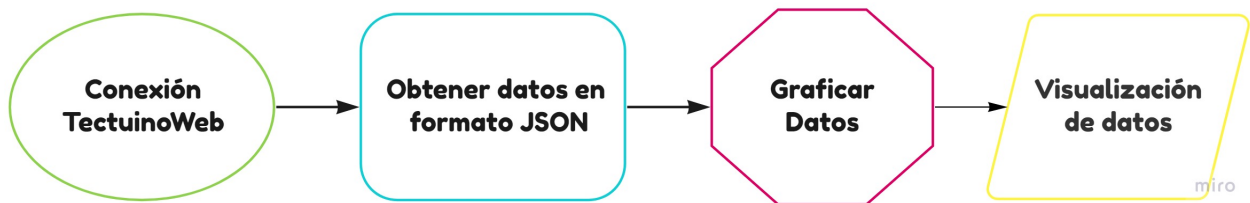


Figura 26: Diagrama de desarrollo de aplicación móvil (Autor).

6. Resultados

6.1. Prototipo electrónico de medición de consumo eléctrico

Este prototipo permite la medición de corriente y tensión de modo no invasivo, en el cual por medio de un circuito de acondicionamiento de las señales a niveles manejables de entradas analógicas de un microcontrolador ESPWROOM-32, se encarga de muestrear y aplicar los algoritmos necesarios para la obtención y el envío de datos (potencia) a la nube de la carga conectada. Los principales parámetros medidos por este dispositivo son voltaje, corriente y factor de potencia.

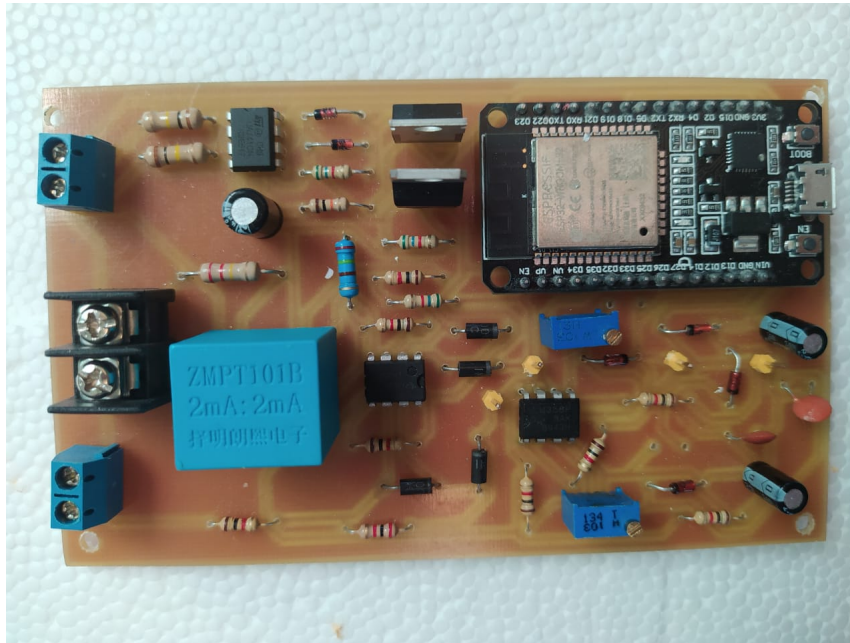


Figura 27: Tarjeta de adquisición de datos(Autor).

El diseño de la tarjeta de adquisición de datos que se muestra en la figura 27, se realizó en el software EasyEDA que cuenta con un conjunto de herramientas basado en la web que permite a los ingenieros de hardware diseñar placas de circuitos impresos como se muestra en la figura 28.

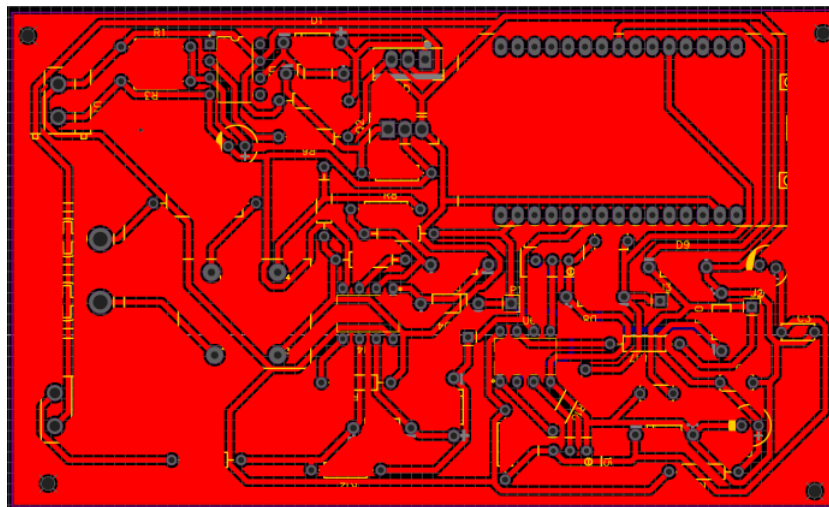


Figura 28: Diseño de PCB en EasyEDA(Autor).

En la figura 29 se muestra el prototipo final el cual cuenta con dos entradas y tres salidas; la entrada 1 que hace referencia al sensor de corriente, la entrada 2 que hace referencia al sensor de voltaje, la salida 1 permite la conexión de la carga (maquina CNC), la salida 2 hace el envío de datos al servidor web (TectuinoWeb) y la salida 3 que hace referencia a la aplicación móvil donde se pueden ver las gráficas de consumo eléctrico.

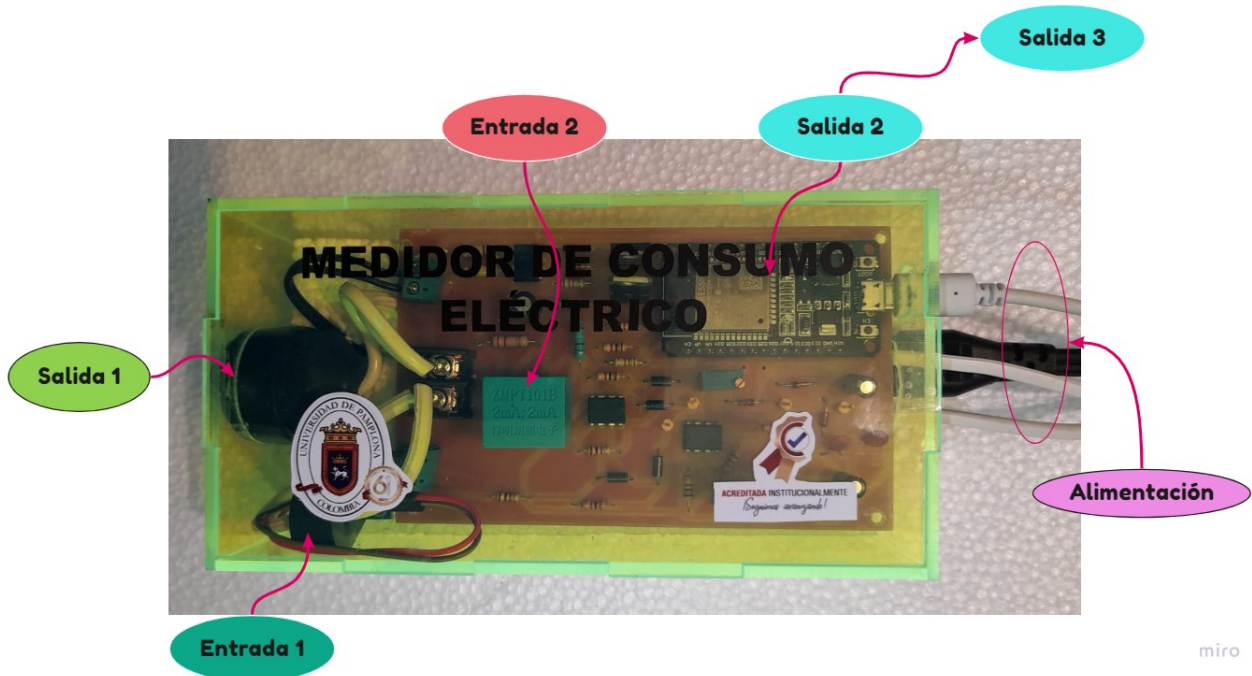
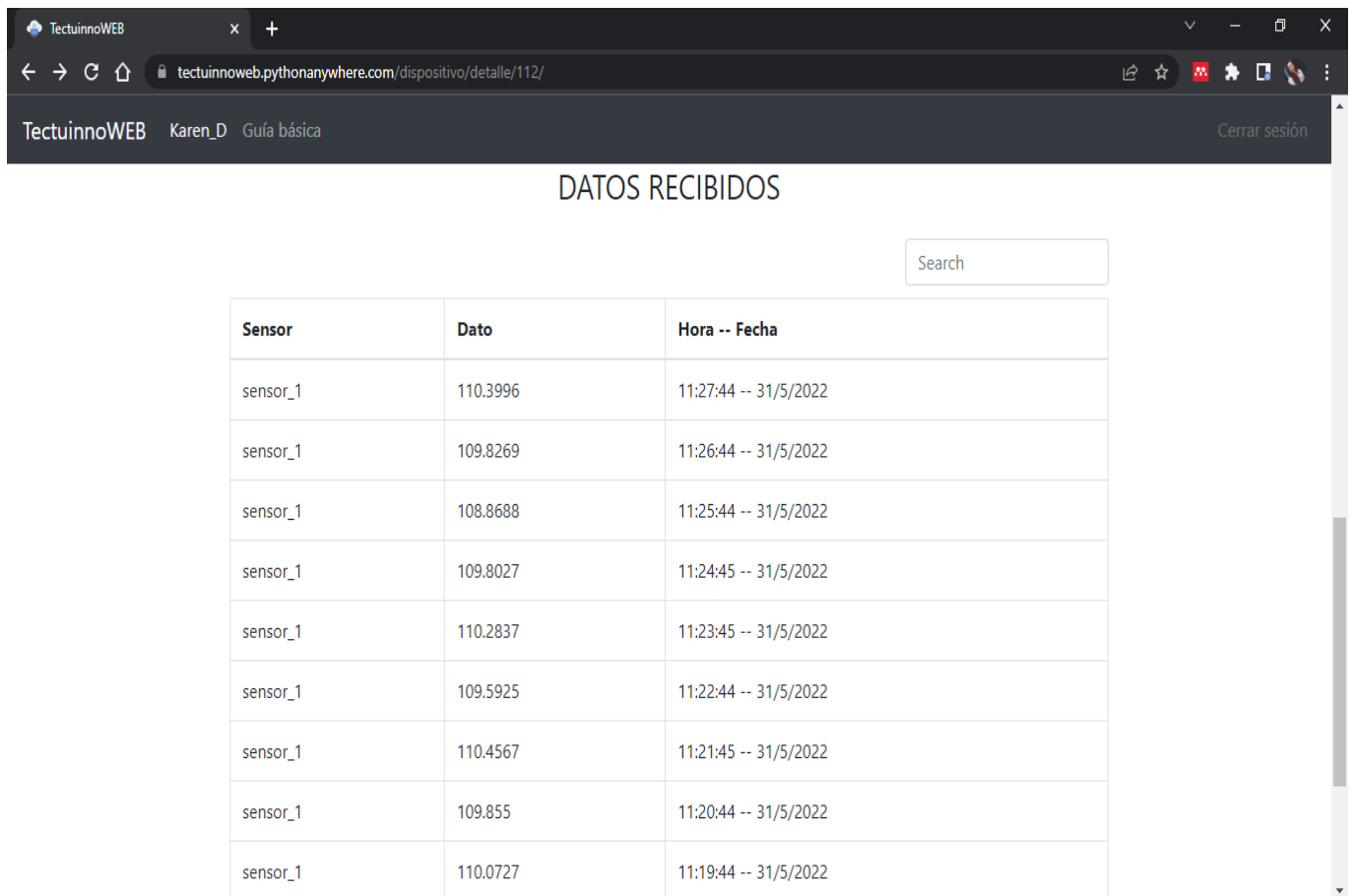


Figura 29: Prototipo electrónico de medición de consumo eléctrico(Autor).

6.2. Recepción de datos en la nube

El prototipo electrónico de medición de consumo eléctrico se encarga de enviar los datos a la nube a cada minuto, en formato JSON usando el método POST y estos son almacenados en el servidor web TectuinoWeb. En la figura 30 se muestra la interfaz de detalle de dispositivo en la sección de datos recibidos, en la cual se registra el número de sensor de donde se reciben los datos, el dato (potencia activa), la hora y la fecha en la cual se hizo la recepción del dato en el servidor web.



Sensor	Dato	Hora -- Fecha
sensor_1	110.3996	11:27:44 -- 31/5/2022
sensor_1	109.8269	11:26:44 -- 31/5/2022
sensor_1	108.8688	11:25:44 -- 31/5/2022
sensor_1	109.8027	11:24:45 -- 31/5/2022
sensor_1	110.2837	11:23:45 -- 31/5/2022
sensor_1	109.5925	11:22:44 -- 31/5/2022
sensor_1	110.4567	11:21:45 -- 31/5/2022
sensor_1	109.855	11:20:44 -- 31/5/2022
sensor_1	110.0727	11:19:44 -- 31/5/2022

Figura 30: Interfaz de datos recibidos en TectuinoWeb [6].

6.3. Visualización de los datos

Para la visualización de los datos se creó una aplicación móvil en el IDE Android Studio, la cual cuenta con una pantalla de inicio que se puede observar en la figura 31 que permite al usuario elegir el ID del dispositivo encargado del monitoreo del consumo eléctrico, en las figuras 32, 33 y 34 se pueden observar las ventanas que muestran gráficamente el consumo de energía eléctrico diario, semanal y mensual respectivamente del dispositivo conectado (maquina CNC); en cada una de ellas el usuario puede acercar el eje horizontal y puede observar el minuto exacto en el que la carga consumió cierta potencia, también puede acercar en el eje vertical y observar la potencia activa consumida por la carga (maquina CNC).



Figura 31: Ventana de inicio aplicación móvil(Autor).

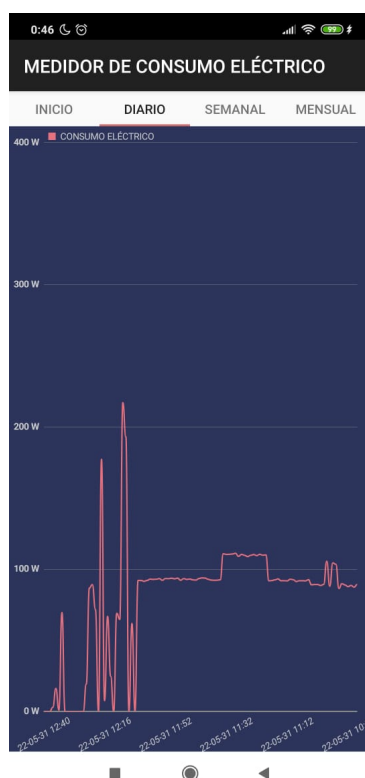


Figura 32: Gráfica de consumo eléctrico diario(Autor).

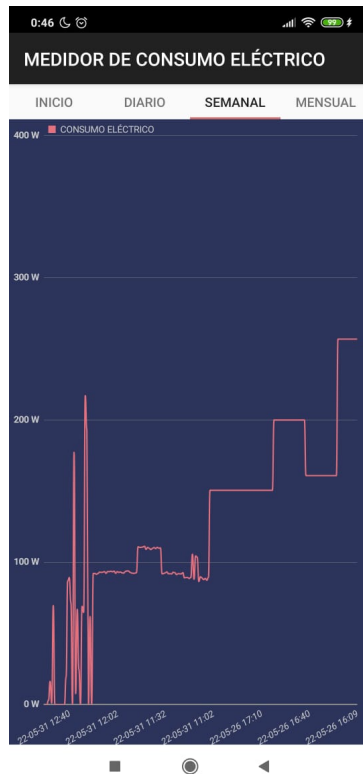


Figura 33: Gráfica de consumo eléctrico semanal(Autor).

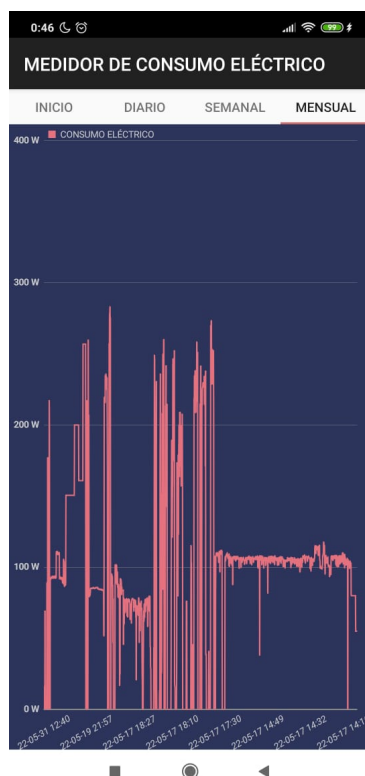


Figura 34: Gráfica de consumo eléctrico mensual(Autor).

6.4. Pruebas de funcionamiento del prototipo

Para corroborar el funcionamiento del prototipo se imprimieron en pantalla en tiempo real los datos de voltaje rms, corriente rms, tiempo de desfase de las señales y potencia al conectar una carga inductiva y se compararon con la medición de un vatímetro Tomzn que permite medir una Tensión máxima CA de 300V, Corriente máxima CA de 80 A y Frecuencia máxima de 60 Hz, como se muestra en la figura 35.

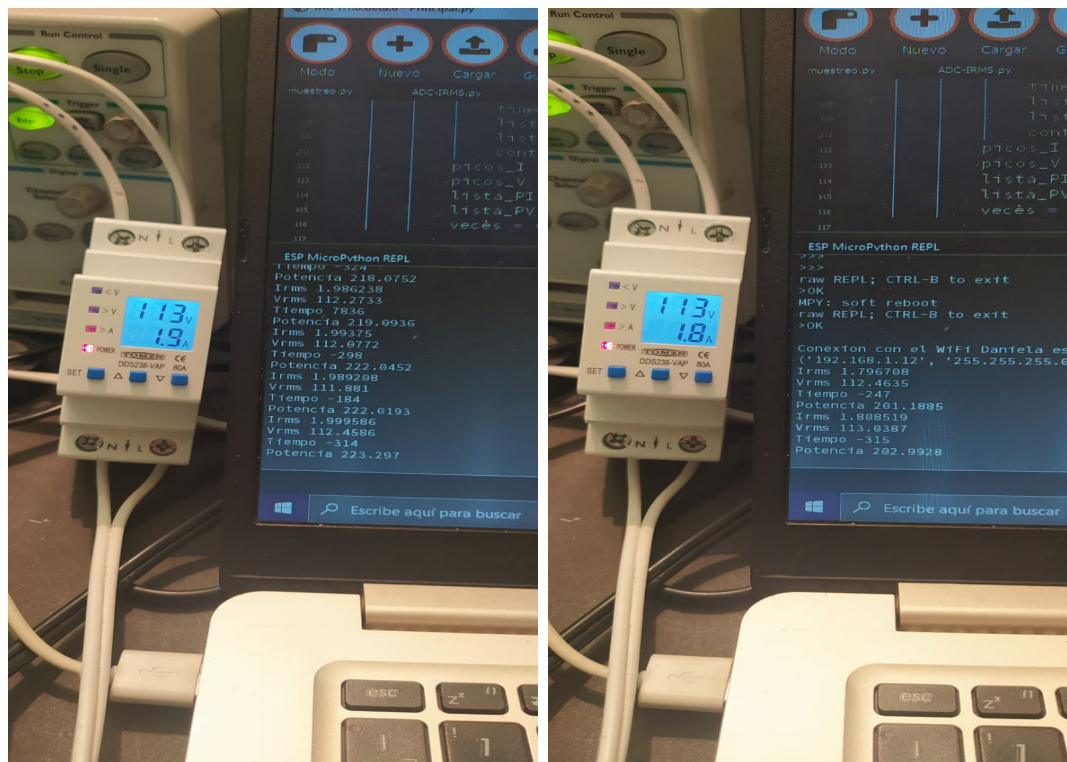


Figura 35: Imágenes prueba de funcionamiento prototipo(Autor).

6.5. Valor agregado y costos

6.5.1. Valor agregado

Normalmente cuando se desarrolla un sistema para mejorar la productividad de un proceso, procedimiento o sistema, difícilmente se concentra la atención en el valor agregado que dicho desarrollo tecnológico genera al proceso, equipo o maquina a la que se sometió la adición.

En la empresa MéxicoLed Technology, se cuentan con un sistema de producción que aún solo tienen procesos mecanizados o que para generarlos deben ser hechos por las personas que colaboran en la empresa, tal es el caso de la información administrativa financiera que se concentra por todas las actividades que se realizan, inclusive la de producción.

Cabe señalar que al ser una empresa industrial, la parte principal y medular de toda la empresa, definitivamente es la de producción, como parte de la estrategia corporativa, se han establecido diferentes metas, entre otras, establecer instrumentos que permitan conocer información real, confiable, en tiempo real y valiosa para la toma de decisiones, sobre todo en uno de los gastos que son más altos en los procesos productivos, que es la energía eléctrica, así también la subutilización óptima de los equipos y maquinaria que se dispone.

Por tal razón, este proyecto fue fundamental para la empresa, ya que al ser parte del programa de modernización y actualización de los procesos industriales, el aprovechamiento del internet de las cosas, será de las nuevas plataformas de las que la Dirección General de la empresa basará el crecimiento de la empresa en el corto y mediano plazo.

Uno de los rubros que las empresas tienen establecidos y que genera la principal fuga de recursos económicos es el no tener identificado de manera óptima los costos y gastos directos y contar con gastos y costos indirectos, este último rubro, es el que se contaba en la empresa MéxicoLed Technology, ya que el monto que se notifica por parte de la Comisión Federal de Electricidad, empresa que produce y distribuye la energía eléctrica en México, a la empresa, se divide entre la cantidad de productos fabricados y a través de esta estimación, se incorpora al costo de producción.

El prorrateo de los gastos y costos, podría definirse como una de las enfermedades económicas que tienen las empresas, ya que al no poder identificar dónde se utiliza la energía eléctrica, en qué cantidad, así también, en su caso, las pérdidas que se tienen por un uso no adecuado del equipo o maquinaria, al final, incide negativamente en el precio del producto, ya que hace que se incremente, en el caso que este gasto o costo no haya sido el óptimo.

Con los resultados generados en este proyecto, la Dirección de la empresa le permitirá en breve, iniciar con un proceso de ampliación para el desarrollo y generación de dispositivos eléctricos similares que aproveche el internet de las cosas en los demás procesos del área de producción.

6.5.2. Costos

El costo de mano de obra que se indica en la tabla 5 está calculado según el Decreto 1724 del 15 de diciembre de 2021, que establece el salario mínimo legal para el 2022 en Colombia. Se debe tener en cuenta que el costo incluye solo el tiempo de ensamble y elaboración de PCB para el prototipo final, ya que el coste humano que lleva su investigación y diseño sería de aproximadamente 600 horas. Se estima que el costo por mantenimiento cada año será del 20 % del costo actual del dispositivo electrónico.

Se aproxima que la recuperación de la inversión empujada en el costo generado en la implementación del prototipo electrónico IoT, se verá reflejada aproximadamente a partir del segundo trimestre, con la optimización de procesos e identificación de desperdicios, ahorrando en mantenimiento deficiente de la maquinaria y tiempos de respuesta de los productos y servicios. Además de que con la implementación de tecnologías de monitorización de consumo eléctrico a través de tecnología IoT se promueve la aplicación continua a los procesos, productos, y servicios, de una estrategia integrada y preventiva, hablando de una producción más limpia con el fin de incrementar la eficiencia en todos los campos, y reducir los riesgos sobre los seres humanos y el medio ambiente.

Tabla 5: Costos generados por el prototipo.

Cantidad	Componente	Precio
1	ESP-WROOM-32	30.000
1	ZMPT101B	17.000
1	ZMCT103C	15.000
1	Tip31C	3.000
1	Tip32C	3.000
2	LM358	3.000
1	LM741	1.500
16	Resistencia	1.500
2	Trimmer	2.000
4	Diodo Zener	2.000
4	Diodo 1n4004	600
2	Capacitores cerámicos	400
3	Capacitores electrolíticos	3.000
3	Borneras	4.500
1	Estaño	1.500
1	Clavija hembra	3.000
1	Clavija macho	3.000
1m	Cable Eléctrico Dúplex	1.500
1	PCB	15.000
1	caja contenedora	20.000
1	Estaño	1.500
12h	Mano de obra	50.000
	Total	180.000

7. Conclusiones

En este trabajo de grado se desarrolló un prototipo de bajo costo, no invasivo, capaz de medir y monitorear el consumo eléctrico de hasta 1kW, el cual se diseñó para tener un constante monitoreo de uso de maquinaria tipo CNC por medio de tecnología IoT.

Este dispositivo es una herramienta que facilita al personal encargado de la producción de gabinetes usados en la empresa MéxicoLed Technology SA de CV, a tener una mejor planificación en el uso de dicha maquinaria, lo cual va a permitir combinar adecuadamente los recursos humanos, materiales, y financieros lo que se va a traducir en una reducción de costos, tiempo y una mejora de calidad en los productos.

Con la implementación del dispositivo electrónico para el monitoreo del consumo de energía eléctrica en la CNC de la empresa MéxicoLed Technology SA de CV, se podrá identificar el consumo energético a través del análisis que se obtienen en los dispositivos móviles y con ello registrarlos en la contabilidad de la empresa, generando un registro del consumo de energía eléctrica por cada unidad producida de manera clara, oportuna, veraz y útil para la toma de decisiones.

Los sistemas de medición de energía eléctrica normalmente se utilizan en el consumo energético global, además de que son de tipo invasivos y mayor complejidad de conexión por lo que los sistemas electrónicos de medición con tecnología IoT ofrecen varias ventajas, e incorporan nuevos parámetros, además de que la información puede ser recopilada y almacenada en diferentes intervalos de tiempo, asimismo nos brinda mayor precisión al poderse utilizar en una carga en específico siendo básicamente los valores más confiables.

El prototipo diseñado en este trabajo de grado es de tecnología abierta lo que permite la monitorización de otros procesos de producción, ya que al ser de tipo no invasivo puede ser conectado a diferentes cargas ya sean resistivas o inductivas, además de que el microcontrolador ESP-WROOM-32 utilizado para el procesamiento de los datos permite ser programado en diferentes entornos de desarrollo y lenguajes, lo que hace que el usuario pueda adaptar la función del prototipo de acuerdo a sus necesidades.

Referencias

- [1] I. En, E. José, and L. Catalano, “Medidor monofásico iot universidad tecnológica nacional facultad regional villa maría,” 2021.
- [2] h. . <https://unicrom.com/valor-rms-promedio-pico/>. n. . A. l. . s. Unicrom, title = Valor RMS – Valor Pico – Valor Promedio.
- [3] ZMCT103, “Zmct103c current transformer,”
- [4] “Zmpt101b current-type voltage transformer structural parameters front view bottom view the main technical parameters,”
- [5] “Esp32 series datasheet including,” 2022.
- [6] W. Yáñez, “Tectuino web.” <https://tectuinnoweb.pythonanywhere.com/>, 2021.
- [7] M. B. Andrés, “Internet de las cosas,” 2018.
- [8] M. del R. Cruz-Felipe, J. M. Pinargote-Ortega, G. P. Demera-Ureta, and D. M. Zambrano-Zambrano, “Tecnologías de internet de las cosas en la obtención de información,” *Dominio de las Ciencias*, vol. 4, p. 147, 4 2018.
- [9] M. Weyrich, J. P. Schmidt, and C. Ebert, “Machine-to-machine communication,” *IEEE Software*, vol. 31, pp. 19–23, 2014.
- [10] G. Feller, “377,” 2011.
- [11] J. A. Fisteus, “El protocolo http,” 2020.
- [12] P. Http, “Protocolo http,” 2012.
- [13] M. Deras, R. Flores, and F. Peláez, “Instituto politécnico nacional escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica,” 2008.
- [14] A. . Zamora, C. Bosco, R. C. León, and J. Israel, “"diseño e implementación de un módulo didáctico para corregir el factor de potencia",” 2013.
- [15] T. Wildi, *Maquinas eléctricas y sistemas de potencia*. Pearson, sexta edición ed., 2007.
- [16] A. P. Junior, *Amplificadores operacionales y filtros activos*. McGraw Hill.
- [17] J. R. V. Gómez, *Circuitos eléctricos y electrónicos. Fundamentos y técnicas para su análisis*. Pearson.
- [18] P. S. Damien P. George and contributors, *MicroPython Documentation*, May 2019.

8. Anexos

8.1. Guía básica de usuarios

8.1.1. Pantalla de inicio

En esta pantalla el usuario se encuentra con una interfaz sencilla, en la cual para conocer el consumo eléctrico de la carga conectada con tan solo debe digitar el ID de su dispositivo. Al utilizar un ID que identifique que dispositivo se quiere monitorear permite que el usuario pueda tener acceso al registro de consumo eléctrico de diferentes dispositivos con solo ingresar su ID.

8.1.2. Pantallas de gráficas de consumo

La aplicación móvil cuenta con tres pantallas en donde el usuario puede desplazarse entre las gráficas de consumo diario, semanal y mensual. En cada una de estas pantallas puede observar la potencia activa consumida por la carga conectada (maquina CNC), al acercarse el eje horizontal el usuario puede observar el minuto exacto en el que la carga consumió cierta potencia y al acercarse el eje vertical puede observar la potencia activa consumida por la carga (maquina CNC).

8.2. Pruebas sensor de corriente

En la figura 36 se muestra la señal de corriente obtenida con un osciloscopio marca RIGOL a la salida del sensor de corriente ZMCT103C.

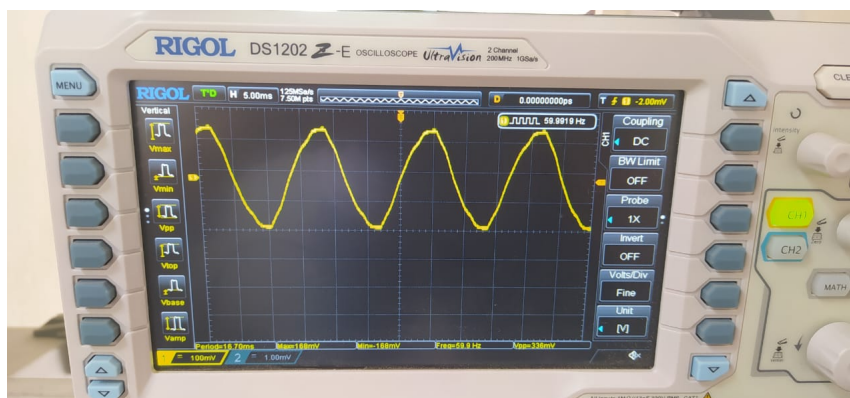


Figura 36: Imagen señal de corriente(Autor).

En las figuras 37, 38, 39 y 40 se muestran las imágenes de las pruebas que se realizaron al sensor de corrientes al medir diferentes corrientes de entrada, para esto se utilizó una pinza voltiamperimétrica para saber el valor real de la corriente de entrada y multímetro Fluke para medir el voltaje a la salida del sensor de corriente.



Figura 37: Imagen prueba sensor de corriente, con corriente de entra 3,49A (Autor).



Figura 38: Imagen prueba sensor de corriente, con corriente de entra 2,22A(Autor).



Figura 39: Imagen prueba sensor de corriente, con corriente de entra 1,40A(Autor).



Figura 40: Imagen prueba sensor de corriente, con corriente de entra 0.01A(Autor).

8.3. Pruebas sensor de voltaje

En la figura 41 se muestra la señal de voltaje obtenida con un osciloscopio marca RIGOL a la salida del sensor de voltaje ZMPT101B.

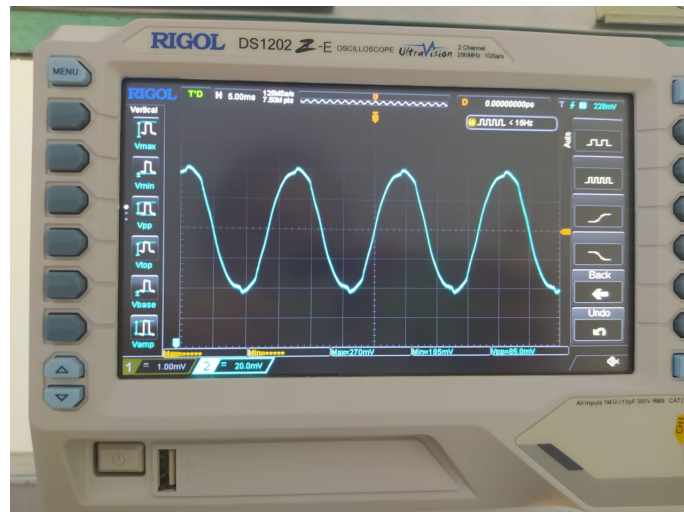


Figura 41: Imagen señal de voltaje(Autor).

En la figura 42 se muestra una imagen de las pruebas que se realizaron con el sensor de voltaje ZMPT101B midiendo directamente el voltaje de salida con un multímetro Fluke.



Figura 42: Imagen prueba sensor de voltaje, con voltaje de entrada 210V (Autor).

8.4. Pruebas envío de datos

En la figura 43 se muestra la prueba de envío de datos a un servidor web en tiempo real que se realizó con la tarjeta de desarrollo ESP-WROOM-32.

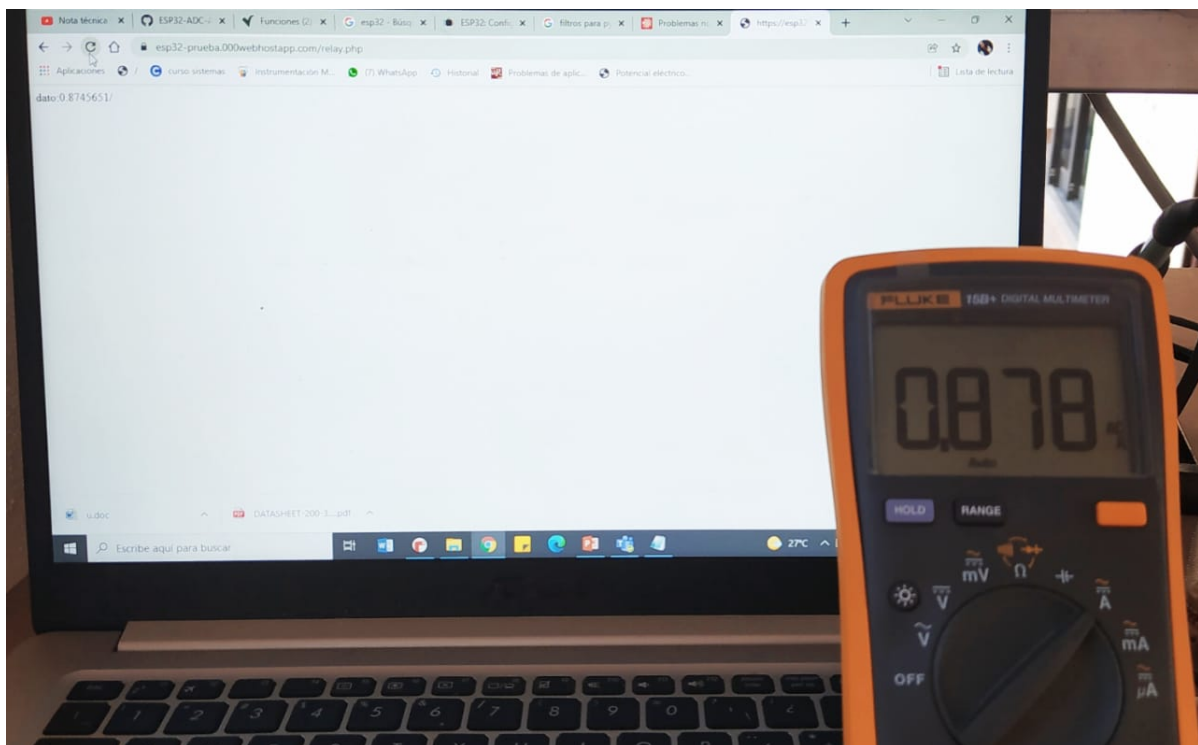


Figura 43: Imagen prueba envío de datos(Autor).

8.5. IDE para ESP-WROOM-32

En la figura 44 se muestra el IDE Mu, que se utilizó para programar la tarjeta de desarrollo ESP-WROOM-32 en lenguaje de programación Python.

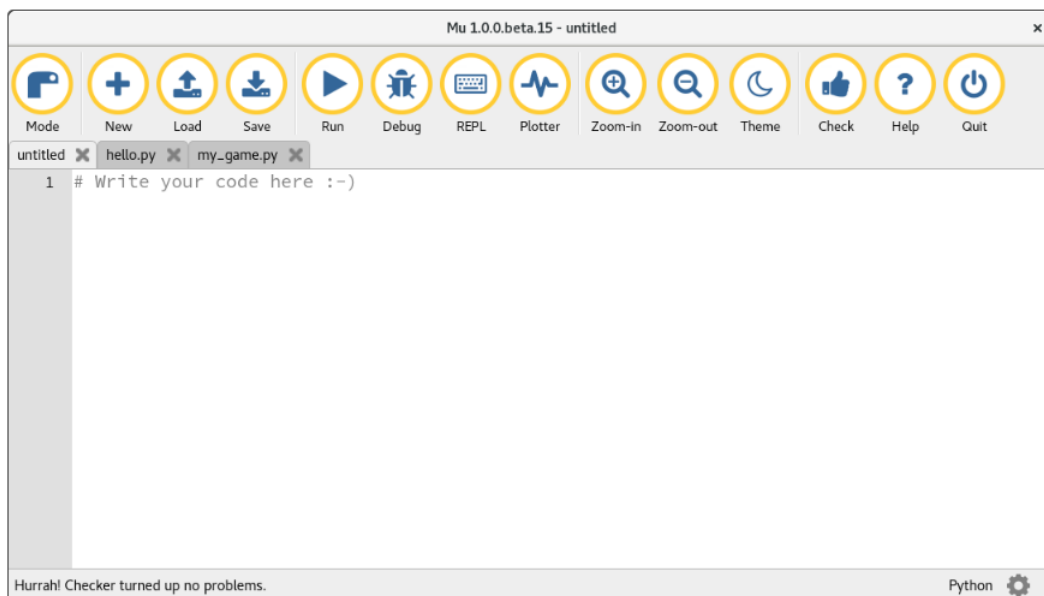


Figura 44: Imagen IDE para ESP-WROOM-32(Autor).

8.6. Diseño caja contenedora del circuito electrónico

En la figura 45 se muestra el diseño realizado en SolidWorks de la caja contenedora del circuito electrónico.

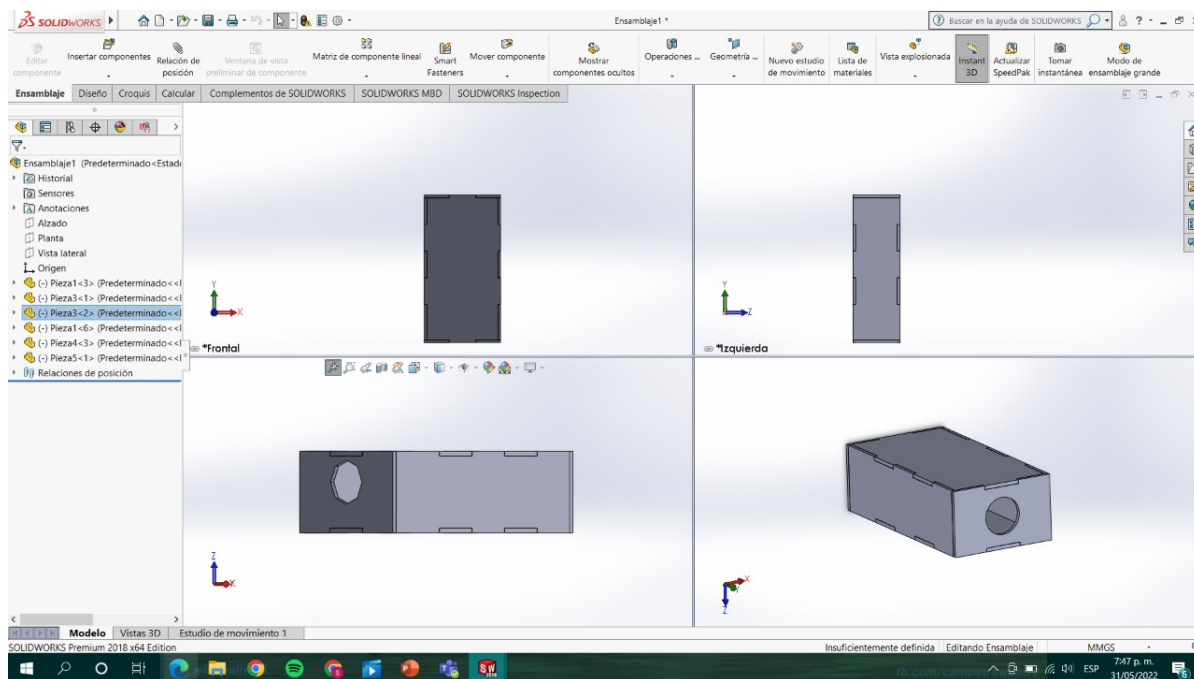


Figura 45: Imagen Diseño caja contenedora del circuito electrónico(Autor).

8.7. Diagrama esquemático general

En la figura 47 se presenta el diagrama esquemático general del prototipo el cual fue diseñado en el software EasyEDA.

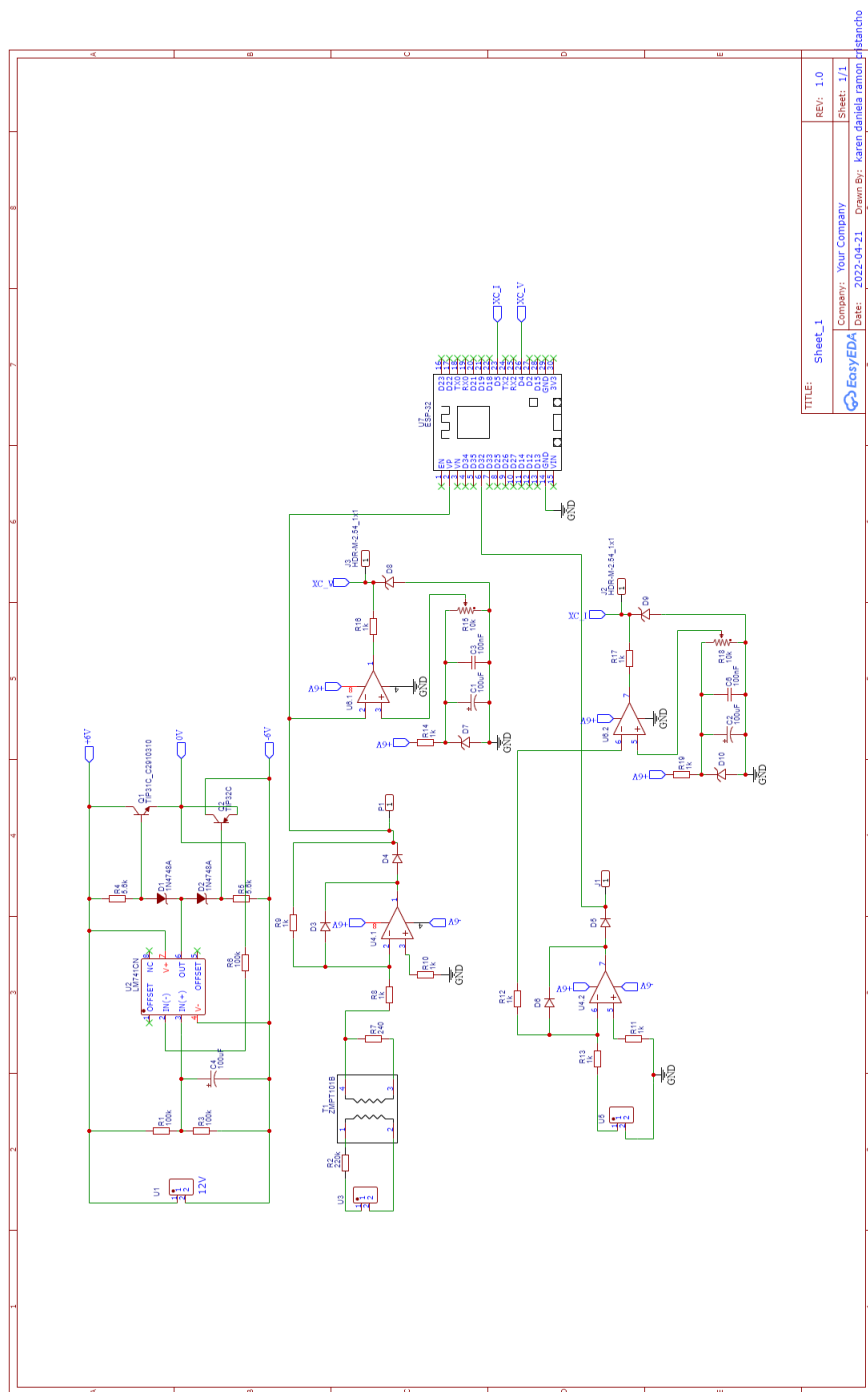


Figura 46: Diagrama esquemático general(Autor).