



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PRIVADA COSMOS**

**UNITEPC**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**



**IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO ANALIZADOR DE RED  
ELÉCTRICA MONOFÁSICA CON CONTROLADOR CORTEX Y TECNOLOGÍA  
IOT**

Proyecto de Grado para optar al Título de

Licenciatura en Ingeniería Electrónica

**POSTULANTE: JORGE EDUARDO CASTILLO SALETAS**

**TUTOR: ING. MARTIN VALENCIA ALEJO**

**Cochabamba - Bolivia**

**2022**

## **DEDICATORIA**

Esta tesis está dedicada a: Dios quien ha sido mi guía y fortaleza. A mis padres, quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más. A mi prometida por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona.

## **AGRADECIMIENTO**

Mi eterna gratitud a Dios por siempre guiarme, protegerme y llenar a mí y a mi familia con muchas bendiciones.

A mis padres por ese ejemplo de vida, educación, amor y por el apoyo para ser mejor día a día como persona y profesional.

A mi mama espiritual Gledys Isabel Estinnetth Méndez, por el apoyo incondicional y por su cariño infinito, a don Julián Álvarez Valencia por su apoyo y consejos.

A mi tutor Ingeniero Martin Valencia por compartir con mi persona sus conocimientos, por su paciencia, por sus consejos y guiarme en el proceso.

A mi prometida Katty De La Cruz Pizarro por su inmensa paciencia, por motivarme día a día a ser mejor y por su amor incondicional.

A mis docentes por los conocimientos impartidos durante mis años de estadía en la universidad.

Y a todas aquellas personas como familiares, amigos que siempre estuvieron presentes con palabras de apoyo y de aliento.

# INDICE

<b>RESUMEN .....</b>	<b>22</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>3</b>
<b>Presentación del tema de investigación .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Antecedentes .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2 Planteamiento del problema .....</b>	<b>4</b>
1.2.1 Formulación del problema.....	5
<b>1.3 Objetivos.....</b>	<b>6</b>
1.3.1 Objetivo General .....	6
1.3.2 Objetivos Específicos .....	6
<b>1.4 Justificación.....</b>	<b>6</b>
1.4.1 Justificación Técnica .....	6
1.4.2 Justificación Teórica.....	7
1.4.3 Justificación Práctica .....	7
1.4.4 Justificación Económica .....	7
<b>1.5 Delimitación .....</b>	<b>8</b>
1.5.1 Delimitación Técnica.....	8
1.5.2 Delimitación Temporal.....	8
1.5.3 Delimitación Espacial.....	8
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>10</b>
<b>Marco Teórico.....</b>	<b>10</b>
<b>2.1. Armónicos .....</b>	<b>10</b>
2.1.1 Ruidos e Impulsos .....	11
2.1.3 Variaciones Lentas y Rápidas de Tensión.....	12
2.1.4 Parpadeo .....	13
2.1.5 Microcortes.....	14
2.1.6 Cortes largos .....	15

2.1.7 Distorsión .....	15
2.1.8 Variaciones de frecuencia.....	16
<b>2.2 Serie de Fourier .....</b>	<b>17</b>
2.2.1 Procesamiento Digital de Señales .....	19
2.2.2 Algoritmo Radix 4 FFT .....	19
2.2.3 Teorema de Muestreo de Nyquist.....	20
2.2.4 Librería DSP de Texas Instruments.....	20
<b>2.3 Especificaciones de Microcontroladores .....</b>	<b>20</b>
<b>2.4 Microcontrolador Hércules RM46L852 .....</b>	<b>21</b>
2.4.1 Conversor Análogo Digital.....	21
2.4.2 Unidad de Punto Flotante .....	22
2.4.3 Entrada y Salidas Digitales.....	22
2.4.4 Módulo de Comunicación Serial .....	23
<b>2.5 Cálculos de Potencia.....</b>	<b>24</b>
2.5.1 Cálculos del RMS.....	25
2.5.2 Cálculos de la Potencia Eléctrica.....	26
2.5.3 Cálculos de la Potencia Activa .....	27
2.5.4 Cálculos de la Potencia Reactiva.....	28
2.5.5 Cálculos de la Potencia Aparente .....	29
2.5.6 Cálculos del Factor de Potencia.....	29
<b>2.6 Microcontrolador Node-MCU.....</b>	<b>30</b>
2.6.1 Pines PWM.....	31
2.6.2 Comunicación.....	31
2.6.2.1 UART. ....	31
2.6.2.2 I2C .....	31
2.6.2.3 SPI .....	31
<b>2.7 Etapa Analógica.....</b>	<b>33</b>
2.7.1 Sensor de Voltaje.....	33
2.7.1.1 Amplificador Seguidor de voltaje.....	33
2.7.1.2 Circuito Offset .....	34

2.7.1.3 Filtro de Salida RC Pasabajo .....	34
2.7.1.4 Ley de ohm .....	35
2.7.1.5 Divisor de Voltaje.....	35
2.7.2 Sensor de Corriente .....	36
2.7.2.1 Amplificador Diferencial.....	36
2.7.3 Sensor de Frecuencia.....	37
2.7.3.1 Compuerta Lógica Schmitt Trigger.....	37
2.7.3.2 Comparador de Voltaje.....	38
<b>2.8 Diagrama de Bloques .....</b>	<b>39</b>
<b>2.9 Internet de las Cosas (IoT).....</b>	<b>41</b>
2.9.1 Protocolo De Comunicación MQTT .....	41
2.9.2 Node-Red.....	42
2.9.2.1 QoS .....	43
2.9.2.2 Tópico.....	43
2.9.2.3 Publish / Suscribe .....	44
2.9.2.4 Broker .....	44
2.9.2.5 Nodos Dashboard .....	45
2.9.2.6 Nodos base de datos .....	45
2.9.2.7 Nodos MQTT.....	45
2.9.2.8 Nodo de Función .....	46
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>47</b>
<b>Diseño Metodológico .....</b>	<b>47</b>
<b>3.1 Enfoque de investigación .....</b>	<b>47</b>
<b>3.2 Tipo de investigación.....</b>	<b>47</b>
3.2.1 Investigación Descriptiva .....	47
3.2.2 Investigación Exploratoria.....	48
<b>3.3 Método .....</b>	<b>48</b>
<b>3.4 Técnicas de investigación .....</b>	<b>48</b>
3.4.1 Observación.....	48

<b>3.5 Instrumentos de investigación</b> .....	<b>49</b>
<b>3.6 Universo y muestra</b> .....	<b>49</b>
3.6.1 Universo: .....	49
3.6.2 Muestra .....	49
<b>3.7 Materiales</b> .....	<b>50</b>
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>51</b>
<b>Diseño de Ingeniería</b> .....	<b>51</b>
<b>4.1 Diseño de Hardware</b> .....	<b>51</b>
4.1.1 Sensor de Corriente .....	51
4.1.1.1 Características Pinza amperimétrica Mastech MS3302: .....	52
4.1.1.2 Cálculo para 22 Amperios: .....	53
4.1.1.3 Cálculo para 400 A.....	53
4.1.1.4 Circuito de acople.....	55
4.1.1.5 Cálculos de voltaje offset .....	59
4.1.2 Sensor de Voltaje.....	62
4.1.2.1 Análisis de Sensor De Voltaje .....	62
4.1.2.2 Análisis en Voltaje Continuo.....	63
4.1.2.3 Cálculo de los Valores Max, Min y Rms: .....	65
4.1.2.4 Voltaje del Offset .....	66
4.1.2.5 Diseño del Sensor de Voltaje .....	69
4.1.2.6 Especificaciones Técnicas del diseño de sensor de voltaje. ....	69
4.1.2.7 Cálculo de la Distribución de Potencia.....	73
4.1.2.8 Calculo de Potencia de la Resistencia .....	74
4.1.2.9 Análisis de la etapa en continua .....	76
4.1.2.10 Cálculo de los valores máximo, mínimo y rms. ....	76
4.1.2.11 Cálculo de la Señal Offset Para la Entrada de Voltaje Alterno .....	78
4.1.3 Sensor de frecuencia.....	80
4.1.3.1 Comparador de voltaje.....	81
4.1.3.2 Circuito Schmitt Trigger.....	81
4.1.3.3 Dispositivos seleccionados .....	81

4.1.3.3.1	74HC14 Compuerta NOT.....	81
4.1.3.3.2	MCP6022.....	83
4.1.3.3.3	Cálculos en la Etapa de Divisor de Voltaje.....	83
4.1.3.3.4	Cálculos de Filtro Pasa Bajo BUTTERWOTH.....	85
4.1.3.3.5	Cálculos en la Etapa de Comparador.....	88
4.1.3.3.6	Cálculos en la Etapa de Schmitt Trigger.....	89
4.1.3.3.7	Módulo HET.....	91
4.1.4	Diseño de la Etapa Digital.....	93
4.1.4.1	Reloj en Tiempo Real DS3132 RTC.....	93
4.1.4.1.1	Características del reloj en tiempo real:.....	94
4.1.4.2	Memoria EEPROM 24LC32.....	95
4.1.4.2.1	Protocolo de Comunicación SPI.....	96
4.1.4.3	Diseño de la Etapa de Visualización de Datos e interfaz.....	98
4.1.4.4	Memoria SD.....	103
<b>4.2</b>	<b>Diseño de Software.....</b>	<b>104</b>
4.2.1	Node-Red.....	104
4.2.2	Interfaz Gráfica.....	111
4.2.3	Halcogen.....	112
4.2.4	Code Composer Studio.....	113
4.2.5	Módulo ADC.....	114
4.2.5.1	Sensibilidad de la Corriente.....	119
4.2.5.2	Sensibilidad del Voltaje.....	119
4.2.6	Módulo Temporizador de Alta Precisión (GIO).....	120
4.2.7	Modulación Captura Ancho de Pulso.....	120
4.2.8	Módulo RTI.....	120
4.2.8.1	Diagrama de Contadores.....	120
4.2.9	Entradas y Salidas.....	121
4.2.10	Módulo de SCI.....	121
<b>4.3</b>	<b>Funciones Matemáticas.....</b>	<b>121</b>
4.3.1	Cálculos del Valor RMS.....	121
4.3.2	Cálculos de las Potencias Activa, Reactiva y Aparente.....	123

4.3.2.1 Potencia Activa.....	124
4.3.2.2 Potencia Reactiva .....	125
4.3.2.3 Potencia Aparente.....	125
4.3.2.4 Factor de Potencia FP.....	126
4.3.2.5 Cruce por Cero .....	127
<b>4.4 Software XAMPP .....</b>	<b>127</b>
<b>4.5 IDE Arduino.....</b>	<b>128</b>
4.5.1 Conexión Remoto Arduino con Node-Red .....	128
<b>4.6 Diagrama de Flujo del Programa principal.....</b>	<b>136</b>
4.6.1 Flujograma del osciloscopio.....	137
4.6.2 Flujograma de los armónicos.....	138
4.6.3 Flujograma de Potencia .....	139
4.6.4 Flujograma de las Fluctuaciones .....	140
4.6.5 Diagrama de Flujo del Módulo ESP32.....	141
4.6.6 Diagrama Interrupción ADC .....	142
4.6.7 Motor de cálculo kernel.....	143
<b>Capítulo V .....</b>	<b>144</b>
<b>Análisis e Interpretación de Resultados .....</b>	<b>144</b>
<b>5.1 Etapa Analógica.....</b>	<b>144</b>
5.1.1 Circuito Sensor de Voltaje.....	144
5.1.2 Circuito Acondicionador de Corriente .....	146
5.1.3 Circuito Sensor de Frecuencia.....	147
<b>5.2 Etapa Digital .....</b>	<b>149</b>
5.2.1 Reloj Digital .....	149
5.2.2 Memoria EEPROM 24LC32 .....	149
5.2.3 Etapa de Visualización de Datos e Interfaz.....	151
5.2.3.1 Circuito de Pantalla Touch de 7” .....	151
<b>5.3 Prototipo Analizador Monofásico de Red Eléctrica.....</b>	<b>152</b>
5.3.1 Instalación y Configuración del Prototipo Analizador Monofásico .....	153

5.3.2 Conexión al Prototipo Analizador de red monofásica.....	159
<b>5.4 Análisis Económico.....</b>	<b>164</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>169</b>
<b>Recomendaciones.....</b>	<b>171</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>172</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>175</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Árbol de problemas.....	5
Figura 2: Ciudad de Lima distrito San Juan de Miraflores.....	9
Figura 3: Ubicación instalaciones de empresa de hilo de algodón Andes Yarn.....	9
Figura 4: Armónicos.....	10
Figura 5: Onda de tensión con Ruido Eléctrico.....	12
Figura 6: Onda de tensión con presencia de Impulso Eléctrico .....	12
Figura 7: Variación Lenta de Tensión .....	13
Figura 8: Variación Rápida de Tensión.....	13
Figura 9: Flicker .....	14
Figura 10: Microcortes de tensión.....	14
Figura 11: Corte largo de tensión.....	15
Figura 12: Forma de onda de tensión con gran distorsión armónica.....	16
Figura 13: Forma de onda de tensión con variación de frecuencia .....	16
Figura 14: Señal de onda continua .....	17
Figura 15: Señal de onda continua .....	18
Figura 16: Microcontrolador Hércules RM46L852 .....	24
Figura 17: Diagrama fasorial de la potencia instantánea.....	27
Figura 18: Diagrama fasorial de la potencia activa .....	28
Figura 19: Diagrama fasorial de la potencia reactiva.....	29
Figura 20: NodeMCU Pin Out .....	32
Figura 21: Seguidor de voltaje .....	33

Figura 22: Esquema de Filtro pasa bajo .....	34
Figura 23: Filtro pasa bajo.....	34
Figura 24: Esquema de Divisor de Voltaje.....	35
Figura 25: Amplificador diferencial en modo de ganancia controlada. ....	36
Figura 26: Símbolos de compuerta lógica. ....	38
Figura 27: Forma de onda.....	38
Figura 28: Comparador de voltaje .....	39
Figura 29: Diagrama de Bloques .....	40
Figura 30: Diagrama de comunicación MQTT .....	42
Figura 31: Conexiones del Node-red.....	43
Figura 32: Diagrama de Publish y subscribe .....	44
Figura 33: Pinza amperimétrica Mastech MS3302 .....	52
Figura 34: Valores pico a pico de una onda de corriente .....	55
Figura 35: Circuito de acople .....	56
Figura 36: Valor Mínimo y Máximo .....	58
Figura 37: Circuito de voltaje offset.....	58
Figura 38: Valores Máximos Y Mínimos.....	60
Figura 39: Circuito Sensor de Corriente.....	61
Figura 40: Bloque de sensor de corriente .....	62
Figura 41: Valor pico y amplitud de una señal eléctrica .....	63
Figura 42: Señal acondicionada para el Microcontrolador Hércules .....	64
Figura 43: Divisor de Voltaje .....	64
Figura 44: Diagrama de Bloque de sensor de voltaje.....	66
Figura 45: Ajuste del Offset .....	67

Figura 46: Onda senoidal con Voltaje Offset .....	68
Figura 47: Formula resistencia en Serie .....	72
Figura 48: Resistencias en Serie .....	73
Figura 49: Valores Mínimos y Máximos.....	77
Figura 50: Valores Mínimo y Máximo.....	79
Figura 51: Circuito Sensor de Voltaje .....	79
Figura 52: Placa electrónica Sensor de voltaje.....	80
Figura 53: Diagrama de Bloques del Circuito Sensor de Frecuencia.....	80
Figura 54: Comparador de Voltaje. ....	81
Figura 55: Circuito Schmitt Trigger. ....	82
Figura 56: Esquema MCP6022 .....	83
Figura 57: Etapa Divisor de Tensión del Sensor de Frecuencia.....	84
Figura 58: Etapa de Filtro Pasa Bajo del Sensor de Frecuencia.....	86
Figura 59: Filtro de Primer Grado .....	87
Figura 60: Curva de Filtros de 1,2,3 y 4 orden.....	87
Figura 61: Etapa comparador de voltaje del Sensor de Frecuencia.....	88
Figura 62: Cruce por Cero Del sensor de Frecuencia.....	89
Figura 63: Schmitt Trigger sensor de Frecuencia.....	90
Figura 64: Lecturas sensor de Frecuencia .....	91
Figura 65: Flanco de subida .....	92
Figura 66: Circuito sensor de frecuencia.....	93
Figura 67: Diagrama de Bloques Interno .....	94
Figura 68: Pines de conexión ds3132.....	95
Figura 69: Pines de la Memoria 24LC32.....	95

Figura 70: Conexión Maestro y Esclavo .....	97
Figura 71: Transmisión de datos SPI.....	97
Figura 72: Diagrama de Bloque de Lámina Touch Screen .....	98
Figura 73: Diagrama de Bloque de Pantalla Touch.....	99
Figura 74: Diagrama de Bloque de Backlight .....	100
Figura 75: Pines de Conexión de Pantalla LCD.....	101
Figura 76: Pantalla LCD de 7 Pulgadas .....	101
Figura 77: Esquema de Conexión de Hércules a Placa y de Placa a pantalla Touch .....	102
Figura 78: Comunicación entre los Pines de Hércules y Pantalla Touch.....	103
Figura 79: Descarga Node-Red .....	105
Figura 80: Pasos de Instalación Node-Red.....	106
Figura 81: Pasos de Instalación Node-Red.....	106
Figura 82: comando Node-js .....	107
Figura 83: Ejecución del comando presentado por el fabricante.....	107
Figura 84: Ejecución del comando Node-red.....	108
Figura 85: Entorno de Node-red.....	108
Figura 86: Configuración Node-red (descargar librería).....	109
Figura 87: Instalación de la base de datos en Node-red .....	110
Figura 88: Instalación de Dashboards en Node-red.....	110
Figura 89: Instalación de Bróker Aedes en Node-red .....	111
Figura 90: Diagrama de Bloques RM46L852 .....	112
Figura 91: Diagrama de Bloques del Microcontrolador RM46L852 .....	112
Figura 92: Estructura Principal de Code Composer Studio.....	113
Figura 93: Distribuciones de Canales ADC .....	114

Figura 94: onda senoidal con voltaje pico, periodo.....	122
Figura 95: Detector de cruce por cero .....	127
Figura 96: Icono de XAMPP .....	127
Figura 97: Conexión a Red Wifi.....	129
Figura 98: Interfaz CMD .....	129
Figura 99: Conexión MQTT.....	130
Figura 100: Aedes MQTT conectado .....	130
Figura 101: Usuario y Clave de MQTT .....	131
Figura 102: Se Inicializa Programa XAMPP .....	132
Figura 103: Creación de Base de Datos en la Web XAMPP.....	132
Figura 104: Conexión con la Base de Datos .....	133
Figura 105: Conexión Exitosa entre Node-Red y Base de Datos.....	133
Figura 106: Base de datos.....	134
Figura 107: Datos adquiridos Exportador a Excel.....	135
Figura 108: Visualización de Dashboard .....	135
Figura 109: Flujograma Principal.....	136
Figura 110: Flujograma de osciloscopio .....	137
Figura 111: Flujograma de armónicos.....	138
Figura 112: Flujograma de la potencia.....	139
Figura 113: Flujograma de Fluctuaciones .....	140
Figura 114: Flujograma ESP32 .....	141
Figura 115: Flujograma ADC.....	142
Figura 116: Flujograma de motor de cálculo Kernel.....	143
Figura 117: Circuito Equipo Sensor de Voltaje Armado en Placa.....	144

Figura 118: Sensor de voltaje, salida de amplificador operacional.....	145
Figura 119: Sensor de voltaje, salida del amplificador operacional a Microcontrolador .....	145
Figura 120: Acondicionador de corriente.....	146
Figura 121: Sensor de Corriente, salida de amplificador operacional a Microcontrolador.....	147
Figura 122: Circuito del Sensor de Frecuencia en Placa.....	147
Figura 123: Señal de voltaje(verde) y frecuencia (amarilla).....	148
Figura 124: Señal de voltaje (Verde) y Frecuencia (amarilla) separadas.....	148
Figura 125: Circuito de Reloj Ds3132.....	149
Figura 126: Circuito de Reloj DS3132.....	150
Figura 127: Señal de escritura Memoria EEPROM.....	150
Figura 128: Señal de reloj RTC DS 24LC32.....	151
Figura 129: Dimensiones de pantalla LCD.....	152
Figura 130: Prototipo Analizador Monofásico.....	152
Figura 131: Tablero de Distribución.....	154
Figura 132: Medición de Voltaje y Corriente.....	155
Figura 133: Prototipo Analizador Monofásico de Red Eléctrica.....	156
Figura 134: Prototipo Analizador Monofásico de Red Eléctrica, en Modo Multímetro .....	156
Figura 135: Prototipo Analizador Monofásico de Red Eléctrica, Midiendo la Frecuencia.....	157
Figura 136: Modo Fluctuaciones.....	157
Figura 137: Modo Osciloscopio.....	158
Figura 138: Modo Multímetro.....	158

Figura 139: Esquema de comunicación IoT .....	159
Figura 140: Envío de Datos a Node-red .....	160
Figura 141: Dashboard capturando mediciones de 1 Voltio .....	161
Figura 142: Dashboard capturando mediciones de 213 Voltio .....	161
Figura 143: Almacenamiento de Datos en Tiempo Real.....	162
Figura 144: Almacenamiento de Datos .....	163

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Comparación de microcontroladores .....	21
Tabla 2: Estados Lógicos.....	82
Tabla 3: Resolución de Voltaje y Corriente .....	118
Tabla 4: Análisis económico Sensor de Voltaje.....	164
Tabla 5: Análisis económico circuito acondicionador de corriente .....	165
Tabla 6: Análisis económico Sensor de frecuencia .....	165
Tabla 7: Análisis económico de Componentes.....	166
Tabla 8: Análisis económico de Estructura .....	167
Tabla 9: Análisis económico total del prototipo.....	167
Tabla 10: Comparativa de Precios.....	168

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A.....	175
Manual de MCP6022.....	175
Manual de 74HC14.....	177
Manual de 74HC595.....	179
Manual de ESP32 .....	182
Manual de Microcontrolador Hércules.....	186
Manual de MÓDULO RTC DS3231 + EEPROM AT24C32 .....	192
Anexo B.....	196
Software Halcogen .....	196
Software Code Composer Studio .....	205
Anexo C.....	209
Código de Programación del ESP32 .....	209
Anexo D.....	217
Instalación de software XAMPP .....	217
Instalación de software IDE Arduino .....	223
Anexo E .....	225
Conectar ESP32 con WIFI .....	225
Conectar ESP 32 con servidor .....	226

## Anexo F

Figura 1.1 : Interfaz Halcogen.....	196
Figura 1.2: Nuevo Proyecto en Halcogen.....	197
Figura 1.3: Selección de Microcontrolador .....	198
Figura 1.4: Habilitando GIO.....	198
Figura 1.5: Habilitar GIOB.....	199
Figura 1.6: Configuración de Entrada y salida.....	200
Figura 1.7: Habilitar Modulo Serial .....	201
Figura 1.8: Configuración del Módulo Serial.....	201
Figura 1.9: Habilitar ADC .....	202
Figura 1.10: Configurando Pines de entrada del ADC.....	203
Figura 1.11: Temporizadores Internos .....	204
Figura 1.12: Compuertas lógicas AND y XOR del módulo HET .....	204
Figura 1.13: Selección flancos de subida y flancos de bajada en modulo HET.....	205
Figura 1.14: Interfaz principal de Code Composer Studio.....	206
Figura 1.15: Creación de Proyecto .....	207
Figura 1.16: Propiedades del proyecto .....	207
Figura 1.17: Selección Verificación Rápida.....	208
Figura 1.18: Descarga para XAMPP .....	217
Figura 1.19: bienvenida XAMPP .....	217
Figura 1.20: Seleccionar componentes de XAMPP .....	218
Figura 1.21: Ubicación de almacenamiento de XAMPP.....	218
Figura 1.22: Selección de idioma .....	219
Figura 1.23: Bitnami para XAMPP .....	219

Figura 1.24: Instalación de XAMPP .....	220
Figura 1.25: Asistente de Configuración de XAMPP .....	220
Figura 1.26: bienvenida XAMPP .....	221
Figura 1.27: Panel de Control de XAMPP .....	221
Figura 1.28: Página Web de XAMPP.....	222
Figura 1.29: Página Web de XAMPP.....	222
Figura 1.30: Descarga Ide Arduino .....	223
Figura 1.31: Instalación de Ide Arduino.....	223
Figura 1.32: URL del ESP32.....	224
Figura 1.33: Agregar Librería PubSubClient.h .....	224
Figura 1.34: Designación de IP del ESP32 .....	225
Figura 1.35: Conexión de Router .....	226
Figura 1.36: Comunicación MQTT .....	227
Figura 1.37: Inserta IP y puerto en el MQTT.....	228
Figura 1.38: Suscriptor .....	229
Figura 1.39: Conexión de los nodos .....	230
Figura 1.40: Mensaje final.....	230

## **RESUMEN**

### **“IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO ANALIZADOR DE RED ELÉCTRICA MONOFÁSICA CON CONTROLADOR CORTEX Y TECNOLOGÍA IOT”**

**JORGE EDUARDO CASTILLO SALETAS**

El proyecto representa una contribución significativa para el campo industrial y cualquier usuario que requiera visualizar o analizar las perturbaciones eléctricas, sus fluctuaciones y armónicos, que afectan a las redes de distribución monofásicas, lo cual produce un incremento en gastos, y en algunos casos, las interferencias de la señal pueden provocar daños graves en los equipos electrónicos, por tal motivo, se implementa un prototipo que permite el análisis de la red eléctrica, y con la aplicación IoT, se generan reportes en tiempo real. En cuanto a la metodología, el enfoque es cuantitativo, el tipo de investigación es descriptivo y exploratorio, el método utilizado es deductivo, y como técnica de investigación se empleó la observación, cuyo instrumento es el diario de campo. Para el diseño del prototipo, se aplica el algoritmo de procesamiento digital de señales con el microcontrolador Hércules RM46L852 de alta gama, el cual efectúa una lectura de la señal de voltaje, corriente, frecuencia, potencia aparente, cálculos de potencia activa, reactiva, y factor de potencia, asimismo, el circuito fue diseñado mediante el software Proteus. Como resultado del proyecto, el prototipo ejecuta mediciones de señal de voltaje y corriente, mostrando al usuario las lecturas de las señales en tiempo real, visualización de Dashboards creados en Node-red, visualización de los valores obtenidos en una pantalla Touch de 7", y gracias a la memoria interna con la que cuenta, se almacena toda la información en formato Excel, permitiendo que el usuario comunique equipo y computador personal por medio de la red wifi.

## Introducción

Las instalaciones industriales en la actualidad presentan defectos en las redes de distribución monofásicas debido a perturbaciones eléctricas, variaciones lentas, parpadeo, recorte, distorsión y variaciones de frecuencia, provocadas por componentes semiconductores, presentes en la fuente de alimentación de cada grupo. Por lo tanto, es difícil pensar un mundo sin electrónica de potencia, como fuentes de alimentación, transformadores, arrancadores, máquinas eléctricas, soldadoras de arco, lámparas y demás.

Sin embargo, este es un problema grave de consumo y distribución de energía, que hace que la energía eléctrica se distorsione de forma no lineal, es decir, discontinua en el tiempo. Este cambio se puede dividir en diversos componentes eléctricos.

La presencia de los defectos enumerados en la instalación puede acarrear muchos problemas, como sobrecalentamiento de los conductores, interruptores automáticos y diferenciales intempestivos, bajo factor de potencia de las instalaciones industriales, vibración en el cuadro eléctrico, acoplamiento en la red telefónica. y datos (audio y video), deterioro de los patrones de onda de voltaje y consecuente falla de equipos eléctricos, sobrecalentamiento de motores asíncronos, deterioro del aislamiento y frenado de los mismos.

Con el fin de detectar con precisión y rapidez problemas en la red de distribución, se implementará el diseño e implementación de un analizador de redes eléctricas monofásicas utilizando IoT (Internet of Things Industry 4.0) para que el usuario pueda acceder a reportes y estos puedan ser visualizados en tiempo real.

Con relación a lo mencionado, este proyecto está estructurado de la siguiente manera:

Capítulo I: Presentación del tema de investigación, el cual hace referencia a los antecedentes y aspectos relacionados con la interferencia y el ruido en una red eléctrica monofásica, así como en este capítulo los objetivos específicos del desarrollo del proyecto, argumentos y distinciones.

Capítulo II: Marco teórico, el cual identifica y describe los conceptos básicos y fundamentos para la implementación del proyecto, tales como tipos de sensores, métodos de medición de energía y tipos de perturbaciones eléctricas.

Capítulo III: Diseño metodológico, la metodología utilizada será una metodología aplicada orientada a la generación de conocimiento directamente aplicable a los problemas sociales.

Capítulo IV: Diseño de ingeniería, se describe en detalle el desarrollo del analizador de red eléctrica monofásico con IoT.

Capítulo V: Análisis e interpretación de resultados, los resultados obtenidos, analizados e interpretados para brindar conclusiones y/o recomendaciones.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones.

# CAPÍTULO I

## Presentación del tema de investigación

### 1.1 Antecedentes

En la primera parte del proyecto, se realizó una revisión bibliográfica de los temas tratados en el estudio, dando como resultado varios proyectos relacionados con este tema, pero con un enfoque diferente. A continuación, se hace una breve mención de los proyectos destacados.

En 2003, en el Instituto Tecnológico de Aguascalientes (México), los estudiantes diseñaron un analizador de redes eléctricas, que mide la mayoría de los parámetros de energía eléctrica como voltaje, corriente, potencia, armónicos y distorsión armónica con microcontroladores de 10 bits. (López Rivas, 2003)

En el año 2015, en la Escuela de Graduados de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional (México), la unidad Zacateco, se presentó el proyecto: “Diseño y Fabricación de un Analizador Efectivo de Energía y Distorsión de Uso Doméstico”, mismo que consta de un estudio de varios tipos de sensores que miden perturbaciones eléctricas utilizando un filtro de cuadratura activo con amplificadores operacionales. (Rincón Roa, 2015)

En el año 2020, se proporciona un proyecto titulado “Analizador de Redes Trifásicas” de la Universidad Politécnica de Cataluña (España). Este proyecto tiene como objetivo diseñar y programar un prototipo de analizador de redes de potencia con tres hilos y un neutro, además de incorporar el sistema de comunicación MODBUS, de forma que se puedan monitorizar los datos de la red eléctrica. (Cano Castro, 2020)

Lamentablemente, a nivel nacional el panorama cambia, ya que no existen referencias bibliográficas ni trabajos previos en el campo de la calidad de energía eléctrica. En Cochabamba no se encontraron temas relacionados con el diseño y construcción de un analizador eléctrico monofásico.

Por contrario, equipos disminuidos de medida de calidad de energía ingresan al mercado boliviano, puesto que este tipo de tecnología no es de uso común, ni habitual en las empresas bolivianas. De esta manera, se crea la necesidad de comprender a fondo los conceptos que rodean estos desarrollos para mejorar la integración con equipos existentes o diseñar nuevos equipos que se adapten a las necesidades del entorno industrial del país.

Sin embargo, cabe mencionar que hoy en día, existen diferentes marcas de analizadores eléctricos que oscilan desde los 2000 a los 5000 dólares. Por ejemplo, en la marca Fluke, existen variedad de modelos como Fluke 434-II, Fluke 437 serie II, Fluke 438-II, Fluke 1736 y muchos más, pero el elevado precio de dichos equipos y la falta de capacitación de las empresas hacen que no adquieran los equipos.

## **1.2 Planteamiento del problema**

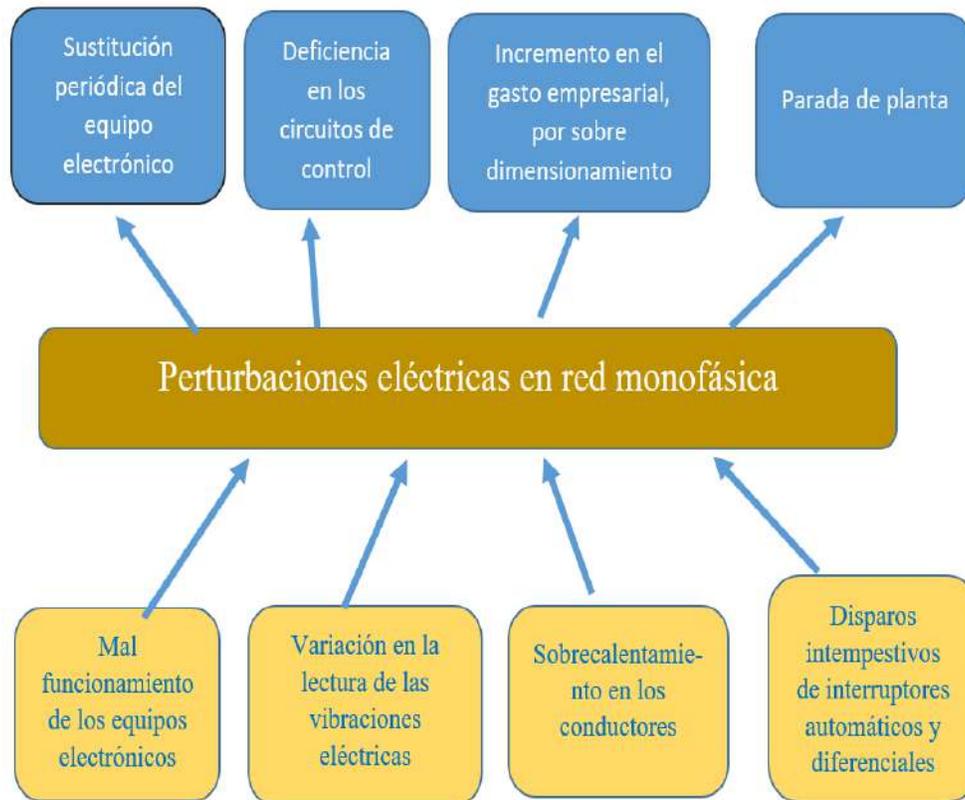
La economía internacional se ha vuelto cada vez más dependiente de las tecnologías de información sofisticadas, procesos industriales controlados por PC y circuitos digitales. La importancia de la confiabilidad en la energía eléctrica de alta calidad ha crecido acorde a años pasados. Es así que la interconexión de los sistemas de comunicación, redes de datos, suministros y cadenas de distribución locales de energía da a las interrupciones del servicio eléctrico consecuencias nacionales y globales. Son estas las perturbaciones eléctricas que se ven muy a menudo afectando a equipos fundamentales en la industria.

Además, la creciente confianza de la sociedad en los circuitos digitales, hicieron que las breves interrupciones eléctricas sean costosas. Muchos componentes electrónicos son afectados por interrupciones menores a un segundo o por fluctuaciones de voltaje y otras distorsiones de la señal eléctrica, que años atrás podrían haber pasado desapercibidas.

La creciente evolución tecnológica, además de estándares de calidad en la industria boliviana, hace que surjan interrogantes en cuanto el suministro de energía eléctrica, si esta es verdaderamente la adecuada para el buen funcionamiento de los instrumentos que componen una industria, sin llegar a comprometer el correcto desempeño y no causar problemas en la operatividad de las líneas de producción de la industria.

De acuerdo a los conceptos mencionados, en la figura 1 se presenta un árbol de problemas, a través de esta técnica se identifica el problema central, el cual se intenta resolver mediante la intervención del proyecto, utilizando la relación de causa y efecto.

**Figura 1:** *Árbol de problemas.*



Fuente: Elaboración propia.

### ***1.2.1 Formulación del problema***

Para comprender mejor el problema principal, se plantea la siguiente pregunta: ¿Cómo detectar interferencias eléctricas en una red monofásica aplicando tecnología IoT, para mejorar el trabajo en medianas y grandes industrias?

## **1.3 Objetivos**

### ***1.3.1 Objetivo General***

Implementar un analizador de señales que contenga un sistema IoT y ayude a detectar perturbaciones eléctricas en la industria.

### ***1.3.2 Objetivos Específicos***

- Diseñar circuitos que midan voltaje y corriente para soportar y analizar cambios en redes eléctricas.
- Desarrollar una base de datos de monitoreo de la red eléctrica.
- Implementar un sistema de comunicación IoT utilizando un NODE-MCU para generar informes en tiempo real y gráficos de tendencias sobre las variaciones del sistema de energía.
- Realizar pruebas del prototipo analizador en una red eléctrica monofásica para verificar su correcto funcionamiento y obtener datos en tiempo real respecto a las perturbaciones eléctricas.

## **1.4 Justificación**

### ***1.4.1 Justificación Técnica***

Durante el desarrollo de este prototipo se cuenta con procesamiento digital de señales, lo que permite el análisis de la red eléctrica. Además, gracias a la aplicación IoT se generan reportes de forma remota, lo cual es muy importante, ya que el monitoreo de la red se efectúa de forma inalámbrica y este hecho es útil para usuarios industriales y usuarios privados.

El prototipo fue diseñado para competir con otros anchos de vía existentes, convirtiéndose en una alternativa más en el mercado nacional.

### ***1.4.2 Justificación Teórica***

Los desarrollos tecnológicos actuales en la industria, hacen necesario el surgimiento de nuevas medidas de control de la red eléctrica, que son de vital importancia para el correcto funcionamiento y mantenimiento de los equipos eléctricos y aparatos, más aún cuando se trata de la industria, ya que para su desarrollo y crecimiento es fundamental ejecutar un correcto control de la energía eléctrica. Por lo tanto, este proyecto representa una contribución significativa para el campo industrial y para la vida profesional del ingeniero electrónico, puesto que contribuye al conocimiento obtenido a partir de la implementación del prototipo, abriendo el camino para futuros estudios, quedando a disposición de los estudiantes, investigadores, educadores y cualquier otro profesional interesado en el tema.

### ***1.4.3 Justificación Práctica***

En la ciudad de Cochabamba, ante los retos de las industrias, las redes de baja y alta tensión sufren cambios abruptos en cuanto a la variación del voltaje suministrado por la empresa a cargo de la red eléctrica. Lo que conlleva a utilizar este tipo de instrumentos de medición para medir dichos cambios que se generan en la red de energía eléctrica, ya que estos cambios provocan un deterioro de los componentes que forman el conjunto de la industria, lo que a futuro puede resultar un gasto para la empresa o industria del cual depende de la red de energía eléctrica.

Por lo tanto, el proyecto está enfocado en dar una solución al problema planteado, mediante el diseño e implementación del prototipo equipo analizador, que permitirá tener un control sobre la contaminación eléctrica que ellas mismas producen. Así mismo les permitirá tener un control de su consumo eléctrico y prevenir daños sobre sus equipos de planta.

### ***1.4.4 Justificación Económica***

El presente proyecto de investigación está orientado a la implementación del prototipo analizador monofásico de red eléctrica, que puede ser comercializable o ayude al ahorro de gastos de equipos eléctricos y electrónicos de una empresa, industria, institución o locales comerciales. De esta manera se tendría un beneficio del bajo costo del prototipo y de la tecnología IoT, ya que en la actualidad las empresas no realizan un análisis de red eléctrica

por los costos altos que conllevan (aproximadamente oscilan entre los 3 mil y 4 mil dólares), ocasionando pérdidas económicas y materiales, además de considerar un costo accesible para las pequeñas empresas.

## **1.5 Delimitación**

### ***1.5.1 Delimitación Técnica***

Este estudio se realizó sobre una línea eléctrica monofásica, por lo que el diseño del prototipo analizador está enfocado en medir y registrar los parámetros, tales como:

- Variaciones de voltaje
- Fluctuaciones eléctricas
- Armónicos
- Variaciones de frecuencia

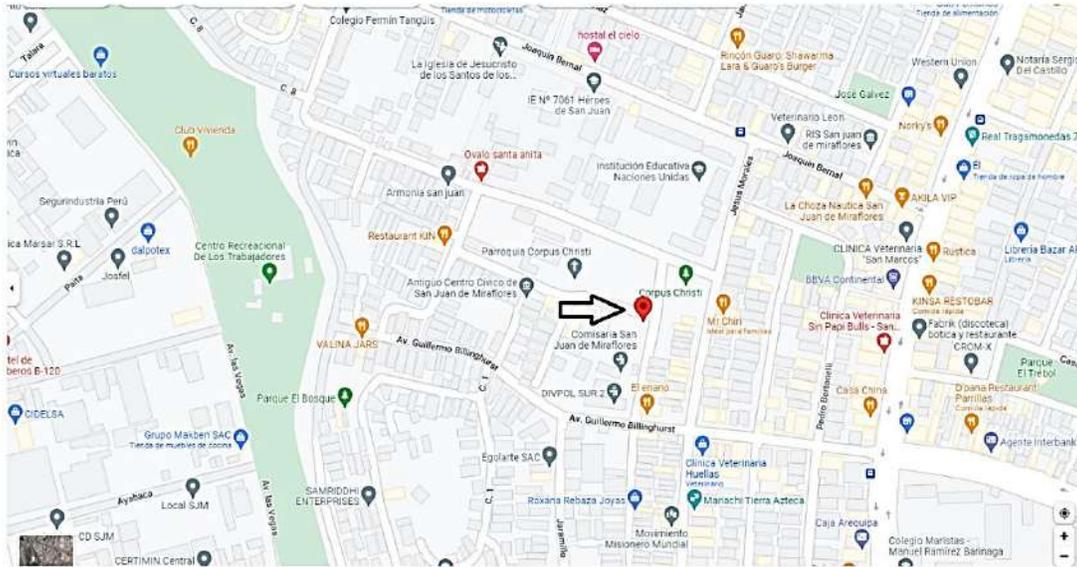
### ***1.5.2 Delimitación Temporal***

Este proyecto se implementa entre los meses de abril a septiembre del año 2022.

### ***1.5.3 Delimitación Espacial***

El diseño del proyecto fue realizado en la Ciudad de Lima, distrito San Juan de Miraflores, como se muestra en la figura 2. La etapa de implementación y pruebas del prototipo se efectuaron en la empresa Andes Yarn que se dedica a la elaboración de hilo de algodón ubicada en la Ciudad de Arequipa (figura 3).

**Figura 2:** Ciudad de Lima distrito San Juan de Miraflores



Fuente: Elaboración Google Maps.

**Figura 3:** Ubicación instalaciones de empresa de hilo de algodón Andes Yarn



Fuente: Elaboración Google Maps.

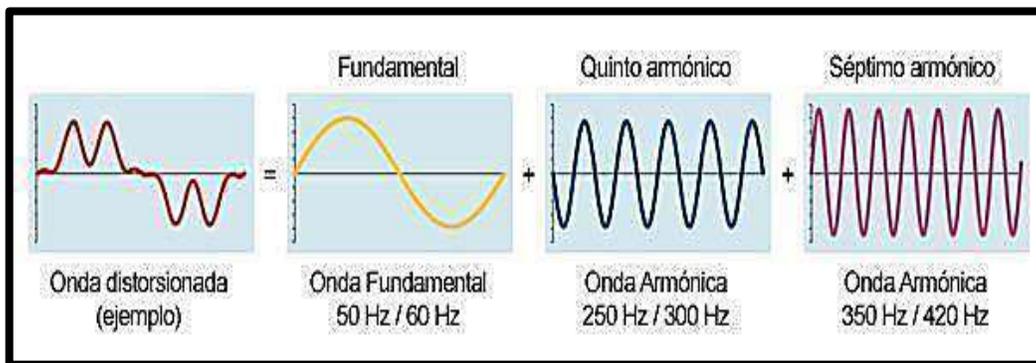
## CAPÍTULO II

### Marco Teórico

#### 2.1. Armónicos

Los armónicos tienen una frecuencia que es un múltiplo (2, 3, 4, 5, ... n) de la frecuencia fundamental (50 o 60 Hz en las redes eléctricas). El número “n” determina el rango de la componente armónica. Se denomina “armónico del rango n” a la componente armónica del rango correspondiente a “n” veces la frecuencia de la red. Los armónicos son creados por equipos electrónicos con cargas no lineales como, por ejemplo: variadores de frecuencia, rectificadores, computadoras, etc.; estos armónicos se pueden describir mejor como característica de una forma de onda de voltaje o corriente en relación de la frecuencia fundamental. Los armónicos generan ineficiencias en las operaciones de los equipos debido a la mayor necesidad de consumo de energía eléctrica. (Sant, 2022)

Figura 4: Armónicos



Fuente: <https://acortar.link/gCQqMj>

Estos armónicos afectan principalmente a la calidad de la onda de voltaje y pueden perturbar de manera negativa a muchas máquinas y dispositivos, así como la propia instalación. Las cargas principales que crean armónicos en la red eléctrica son:

- Hornos de arco voltaico
- Arco de soldar eléctrico

- Transformadores elevadores y reductores
- Rectificadores CA/CC (corriente alterna y corriente continua)

Las causas de introducir corrientes armónicas en el sistema de potencia incluyen:

- Calentamiento en cables, transformadores y motores.
- Mal funcionamiento de los equipos electrónicos de control, de protección como breaker, interruptores termomagnéticos, etc.
- Errores en los medidores tipo inducción, tienden a tener malas lecturas de la señal eléctrica.

Las corrientes armónicas generadas a través de las cargas lineales que provocan distorsiones en la forma de onda del voltaje que dependen de la naturaleza de las corrientes armónicas, así como de la red eléctrica y las cargas de las mismas. (Sant, 2022)

### ***2.1.1 Ruidos e Impulsos***

El ruido eléctrico es una señal de interferencia no deseada, que se añade a la señal principal, de la misma manera que la puede alterar, produciendo efectos que pueden ser muy perjudiciales; las perturbaciones pueden producir daños muy serios en los equipos electrónicos. Si son frecuentes y de poco valor (decenas de voltios), se denominan ruido. Si son aleatorios y su valor elevado (cientos de voltios), se llaman impulsos. (Oñate Viera, 2014)

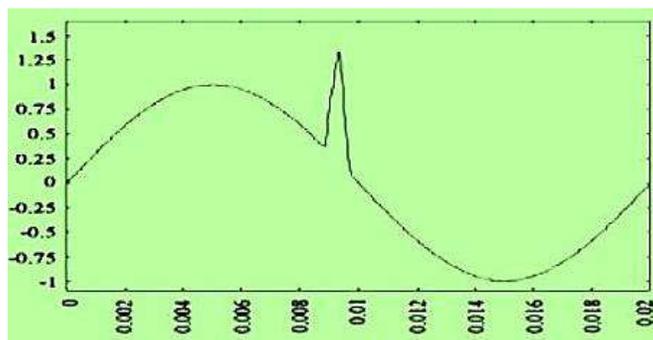
El ruido eléctrico es ocasionado por máquinas eléctricas de escobillas, soldadura de arco, interruptores termomagnéticos, etc., los cuales se encuentra conectados en un punto cercano a la carga eléctrica utilizada. Mientras que los impulsos eléctricos suelen producirse por la conexión y desconexión de los bancos de condensadores, funcionamiento de hornos, termostatos, etc. La forma de onda de la tensión de ruido eléctrico se muestra en la figura 5, mientras tanto en la figura 6 se muestra la forma de onda de voltaje con la presencia de un impulso eléctrico. (Oñate Viera, 2014)

**Figura 5:** *Onda de tensión con Ruido Eléctrico*



Fuente: <https://acortar.link/iQVvm0>

**Figura 6:** *Onda de tensión con presencia de Impulso Eléctrico*

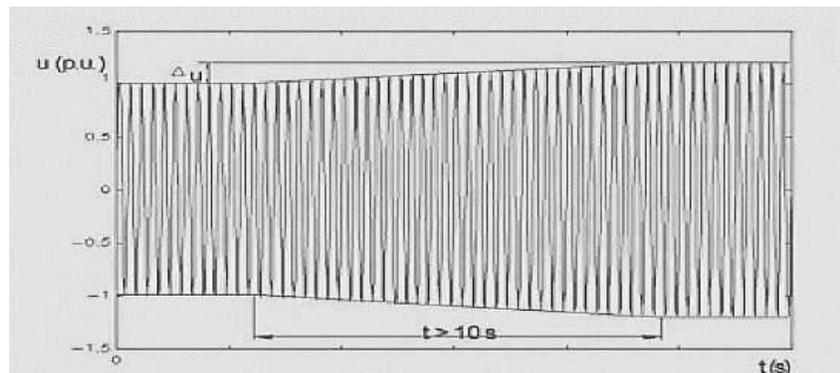


Fuente: <https://acortar.link/iQVvm0>

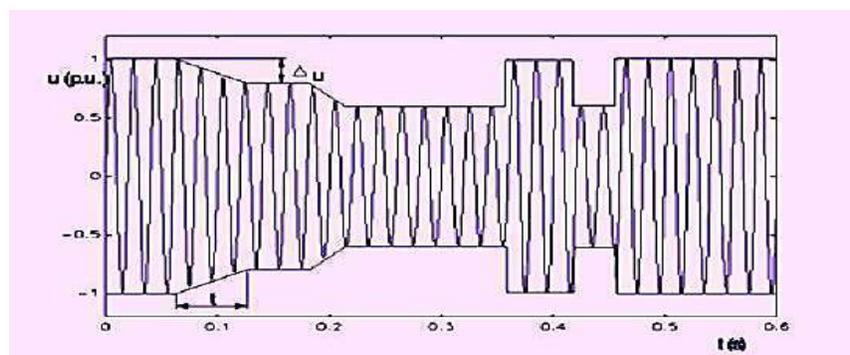
### **2.1.3 Variaciones Lentas y Rápidas de Tensión**

Las variaciones lentas se presentan con una duración de diez segundos a más, debido a las variaciones de las cargas eléctricas con impedancia alta de cortocircuito, como se muestra en la figura 7.

Una variación rápida de tensión dura menos de diez segundos, se produce por la conexión y desconexión de grandes cargas y maniobras en las líneas de la red eléctrica. El daño producido depende de su amplitud y la duración, dado que un equipo podría soportar una mayor amplitud en un corto tiempo y otros equipos en un tiempo más largo. Este tipo de variaciones se muestra en la figura 8. (Oñate Viera, 2014)

**Figura 7:** *Variación Lenta de Tensión*

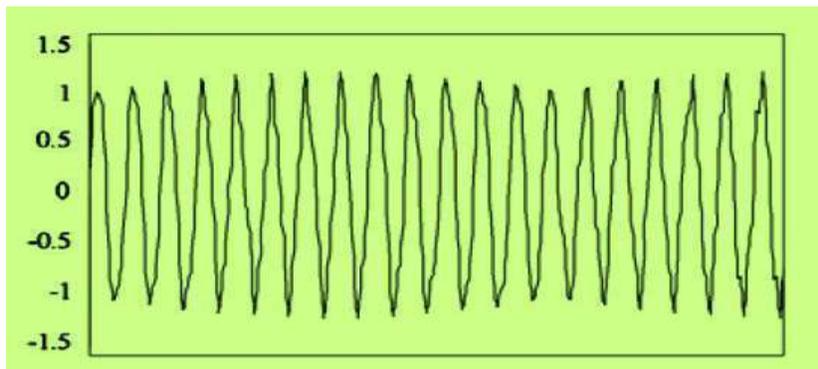
Fuente: <https://acortar.link/GIUjsK>

**Figura 8:** *Variación Rápida de Tensión*

Fuente: <https://acortar.link/GIUjsK>

#### **2.1.4 Parpadeo**

Es una variación rápida y periódica de voltaje, que provoca una fluctuación correspondiente en el brillo de la lámpara a una frecuencia detectable por el ojo humano. Este tipo de variación de voltaje se muestra en la figura 9. (Sánchez Huerta, 2006)

**Figura 9:** *Flicker*

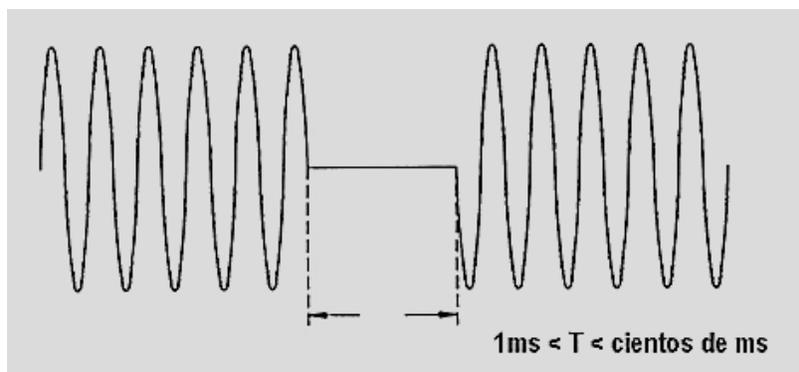
Fuente <https://acortar.link/GIUjsK>

### 2.1.5 Microcortes

Se trata de caídas de voltaje profundas o totales que duran unos pocos ms (milisegundos) (Salicru, 2022). Tienen dos causas diferentes:

- Cortocircuitos cerca del punto de consumo, que luego son liberados por la protección correspondiente.
- Fallos eléctricos por disparos de fusibles de cierre automáticos por sobretensión.

En la figura 10 se muestra la forma de onda con Microcortes.

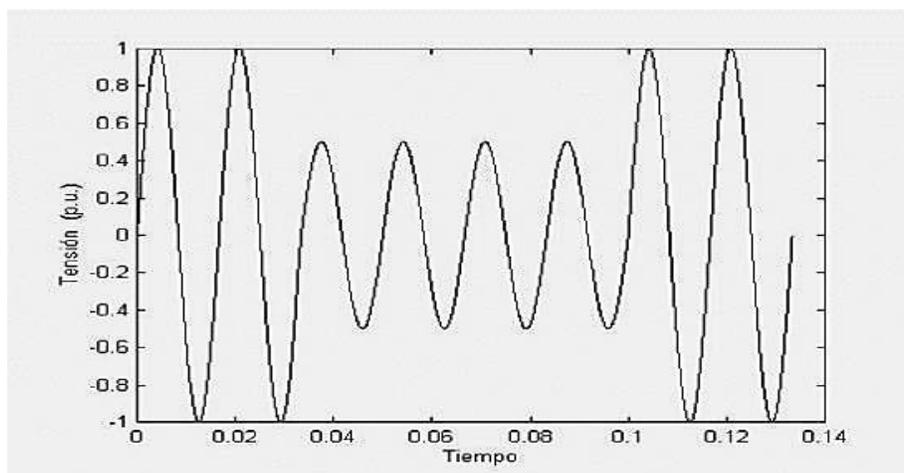
**Figura 10:** *Microcortes de tensión*

Fuente: <https://acortar.link/WfXSg3>

### 2.1.6 Cortes largos

Son anulaciones del voltaje de la red o disminución inferior a 50 % de su valor nominal, de duración superior a un ciclo. Suelen ser causados por fallas o en la desconexión, centros de generación de energía eléctrica. Este tipo de perturbaciones provoca una falla completa del equipo que está siendo alimentado. La demostración de corte largo se muestra en la figura 11. (Sánchez Huerta, 2006)

**Figura 11:** Corte largo de tensión

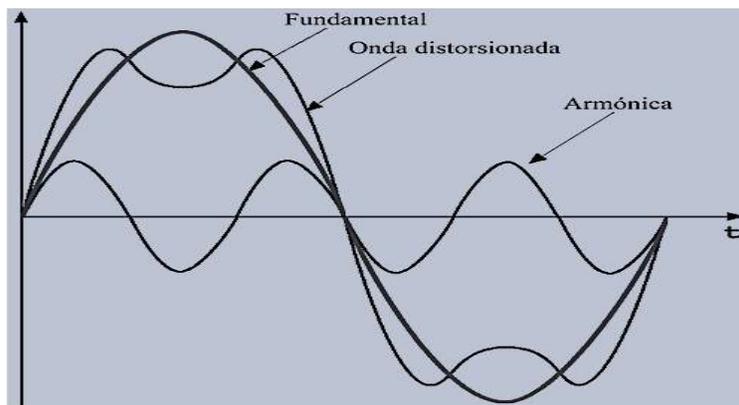


Fuente: <https://acortar.link/GIUjsK>

### 2.1.7 Distorsión

Es la deformación de la forma de onda del voltaje debido a la presencia de armónicos. Su nombre técnico es Distorsión armónica total (THD). Esto es causado principalmente por núcleos magnéticos saturados, convertidores estáticos, fuentes conmutadas y otras cargas no lineales. Casi todas las cargas críticas, como equipos electrónicos, soportan hasta un 5% de distorsión armónica. En la figura 12 se muestra una forma de onda con distorsión armónica. (Sánchez Huerta, 2006)

**Figura 12:** Forma de onda de tensión con gran distorsión armónica

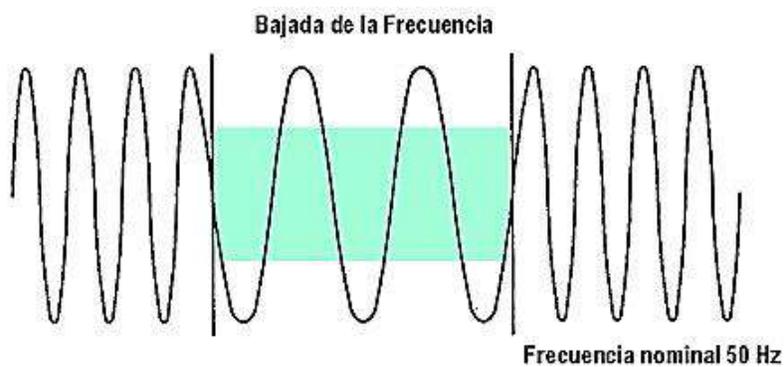


Fuente: <https://acortar.link/DgIwFJ>

### 2.1.8 Variaciones de frecuencia

Se trata de un cambio en la frecuencia de la señal senoidal proporcionada por la red eléctrica. En el país de Bolivia se tiene una frecuencia de 60 Hz. En general, este problema ocurre ocasionalmente en la red eléctrica en condiciones normales y puede ser causado por la conexión de los centros de generación de energía, como se puede observar en la figura 13. (Sánchez Huerta, 2006)

**Figura 13:** Forma de onda de tensión con variación de frecuencia



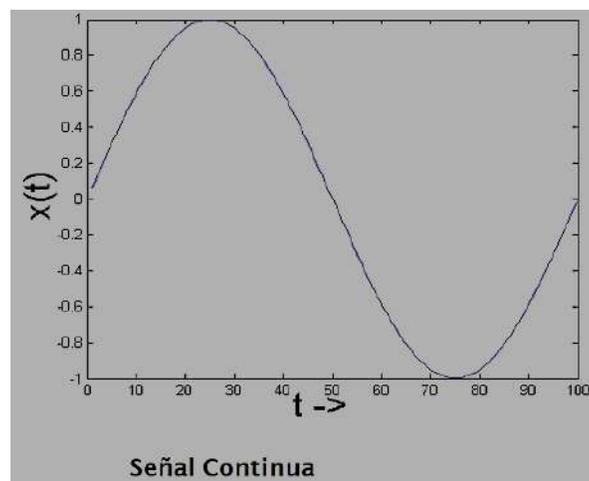
Fuente: <https://acortar.link/GIUjsK>.

## 2.2 Serie de Fourier

El análisis de Fourier permite expresar señales periódicas como una suma infinita (serie) de senos y cosenos. La importancia radica, que facilita el procesamiento digital de señales, ya que para procesar estas señales es necesario expresarlas como una combinación lineal de términos, lo cual proporciona la serie y la transformada de Fourier.

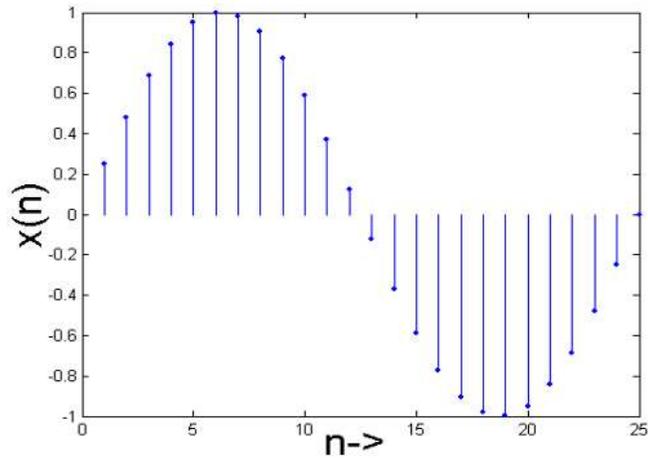
Para comprender mejor el procesamiento de señales, es fundamental considerar la diferencia entre las señales analógicas y digitales. La magnitud de la señal analógica puede ser cualquier valor, es decir, la amplitud de una señal analógica muestra una variación continua en su rango de operación. Una forma alternativa de representar una señal es una secuencia de números, cada uno de los cuales representa la magnitud de la señal en un momento dado. La señal resultante se denomina señal digital, a diferencia de una señal analógica, que es una señal cuantificada y discreta en el tiempo. A continuación, en la figura 14, se muestra una onda de señal continua. (Carrizo, 2014)

**Figura 14:** Señal de onda continua



Fuente: Fourier y el procesamiento digital de señales

En la figura 15 se puede visualizar una onda de señal discreta.

**Figura 15:** Señal de onda continua**Señal discreta**

Fuente: Fourier y el procesamiento digital de señales

Serie de Fourier es una serie infinita que converge una función periódica y continua a trozos o se podría decir por partes. Constituyen la herramienta matemática básica del análisis de Fourier que se emplea para analizar funciones periódicas a través de la descomposición de dicha función, en una suma infinita de funciones sinusoidales mucho más simples se emplea la combinación de senos y cosenos con frecuencias enteras, en donde las series de Fourier permiten obtener el espectro de frecuencia de señales continuas y periódicas, como de igual forma permite obtener el espectro de frecuencia aperiódicas. (Carrizo, 2014)

Las series de Fourier tienen la siguiente forma:

$$f(t) \sim \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[ a_n \cos \cos \frac{2n\pi}{T} t + b_n \sin \frac{2n\pi}{T} \right]$$

Dado  $a_0$ ,  $a_n$  y  $b_n$  son los coeficientes de Fourier que toman los valores:

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) dt$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \cos \cos \left( \frac{2n\pi}{T} t \right) dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \sin \sin \left( \frac{2n\pi}{T} t \right) dt$$

Por la identidad de Euler, las fórmulas mencionadas anteriormente se pueden expresar en su forma compleja que es la siguiente:

$$f(t) \sim \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{2\pi i \frac{n}{T} t}$$

En la transformada de Fourier de  $f(t)$ , su aplicación es para que cada punto del espacio de  $t$ , le corresponde un punto en el espacio de frecuencia de  $\omega$ . Al aplicar estas operaciones a una señal permite ver como se distribuyen las diferentes frecuencias que la componen y permitirá manipular la señal de entrada de una forma más sencilla, la distribución de frecuencia es una función discreta y no continua. (Medina, 2010)

### ***2.2.1 Procesamiento Digital de Señales***

El procesamiento digital de señales o DSP (sigla en inglés de digital signal processing), es el procesamiento matemático de una señal de información para cambiarla o mejorarla de alguna manera. Se caracteriza por la representación en el dominio del tiempo discreto, en el dominio frecuencia discreta, u otro dominio discreto de señales por medio de una secuencia de números o símbolos y el procesamiento de esas señales. Las Series Fourier y la Transformada de Fourier son útiles para estos fines porque permiten ver la distribución de frecuencias de la señal, lo que discretiza la señal para que los valores de frecuencia puedan almacenar digitalmente por cada tiempo determinado, luego mediante un ADC (conversor digital a analógico) se leen estos datos y se logra reproducir la señal original. (Carrizo, 2014)

### ***2.2.2 Algoritmo Radix 4 FFT***

Aplicar la transformada de Fourier para obtener datos en frecuencia, en la práctica los microcontroladores, lo pueden hacer, pero se demoran mucho y ocupan demasiada memoria, por lo cual se cuenta con un algoritmo llamado Radix 4.

Al reutilizar los resultados de cálculo intermedios más pequeños para calcular múltiples salidas de frecuencia, logra que el algoritmo reordene la ecuación de la transformada discreta de Fourier en cuatro partes, entre muestras pares e impares, por lo que la longitud de las muestras se establece con lo siguiente: 16, 64, 256, 1024, 2048. Esto quiere decir que si se quiere que devuelva 512 muestras se tiene que muestrear con cuatro veces más. (Pinto Guillen, 2021)

### ***2.2.3 Teorema de Muestreo de Nyquist***

El teorema de muestreo Nyquist trata de la relación de la velocidad de muestreo y la frecuencia de la señal medida. Cabe señalar que la tasa de muestreo ( $f_s$ ) debe ser mayor que el doble del componente de frecuencia más alto comparado a la señal medida. Dicha frecuencia se denomina como la frecuencia de Nyquist  $f_n$ .

$$f_s > 2 * f_n$$

### ***2.2.4 Librería DSP de Texas Instruments***

La librería DSP consta de varios módulos de cálculos matemáticos como, por ejemplo: multiplicación, suma, resta, funciones trigonométricas, funciones de estadística, filtros digitales FIR, cálculo de la transformada de Fourier y muchas más. Esta librería se usa para desarrollar el motor de cálculo de valores Máximo, Mínimo, RMS.

## **2.3 Especificaciones de Microcontroladores**

Las razones para elegir el Microcontrolador Hércules RM46L852 de Texas Instruments son: la memoria del programa, la velocidad del ciclo Scan y la velocidad del programa porque se necesita que este sea un proceso muy rápido para poder monitorear la onda de voltaje, corriente y frecuencia en tiempo real. Como se muestra en la tabla N°1, en la cual se hace la comparación del microcontrolador Hércules con otras marcas reconocidas como lo son Atmega y Microchip.

**Tabla 1:** Comparación de microcontroladores

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>ATMEGA</b>	<b>MICROCHIP</b>	<b>TEXAS INSTRUMENTS</b>	<b>TEXAS INSTRUMENTS</b>
	Arduino Mega	DSPIC33	RM46L852	MSP432
Memoria del programa	256 KB	256 KB	1,25 MB	128 KB
Memoria de Variables	8 KB	16 KB	192 KB	64 KB
Velocidad del procesador	16 MHZ	100 MHz	220 MHz	48 MHz
Nro. De Bits del procesador	8-bits	32 bits + float	32 bits + float	32 bits + float
Velocidad ciclo Scan	1 MIPS	100 MIPS	365,2 DMIPS	58,56 DMIPS

Fuente: Elaboración propia con base a especificaciones técnicas.

## 2.4 Microcontrolador Hércules RM46L852

El procesador RM46L852 es una familia de microcontroladores de alto rendimiento. A continuación, se muestra las características del procesador:

### 2.4.1 Conversor Análogo Digital

El conversor de analógico a digital (ADC) es un dispositivo que convierte una señal analógica variable en el tiempo en una representación de números digitales de la amplitud de esa señal.

El microcontrolador Hércules RM46L852 tiene una resolución del convertidor análogo digital de 12 bits, que cuenta con 24 entradas en total y 64 palabras de memoria RAM de buffer, protegida por paridad cada una.

Los canales del conversor análogo digital se pueden usar individual o se pueden agrupar por software para secuencias de conversión. (Texas, 2015)

El módulo ADC admite 3 grupos de conversión. Cada uno de estos grupos se pueden configurar para que sean activos mediante el software Halcogen.

Uno de los principales parámetros de un convertidor análogo digital es la velocidad y la resolución de muestra. La tasa de muestra del ADC es la frecuencia en la que la señal de entrada se prueba. Dicha velocidad de muestreo determina el ancho de banda máximo de la señal de entrada, también conocida como teorema de Nyquist. La resolución del ADC determina la precisión de la representación digital discreta, que puede producir sobre el rango de valores analógicos. (Texas, 2015)

#### ***2.4.2 Unidad de Punto Flotante***

La unidad de punto flotante es un componente de la CPU especializado en el cálculo de operaciones con punto flotante. Las operaciones matemáticas básicas que el punto flotante puede realizar son la suma, multiplicación, división. (Texas, 2015)

El microcontrolador RM46L852 integra la CPU de punto flotante que ofrece una eficacia de 1.66 DMIPS/MHz y puede funcionar hasta 220 MHz proporcionando 365 DMIPS Millones de Instrucciones Por Segundo. (Texas, 2015)

#### ***2.4.3 Entrada y Salidas Digitales***

Las entradas y salidas digitales (nivel lógico), son los elementos básicos de un sistema de hardware digital. También se conocen como GPIO. El módulo GPIO de este dispositivo admite dos puertos, GIOA y GIOB. Pines de E/S bidireccionales y programables por bits. GIOA y GIOB admiten interrupciones externas. (Texas, 2015)

El módulo GPIO tiene las siguientes características:

- Cada pin IO se puede configurar mediante el software Halcogen.
- Detección de interrupciones programables.
- Polaridad de detección de flanco programable, ya sea flanco de subida como flanco de bajada.
- Banderas de interrupciones individuales establecidas por el registro GIOFLG.

- Pullup/pulldown interno que permite que los pines de E/S no utilizados queden desconectados.

#### ***2.4.4 Módulo de Comunicación Serial***

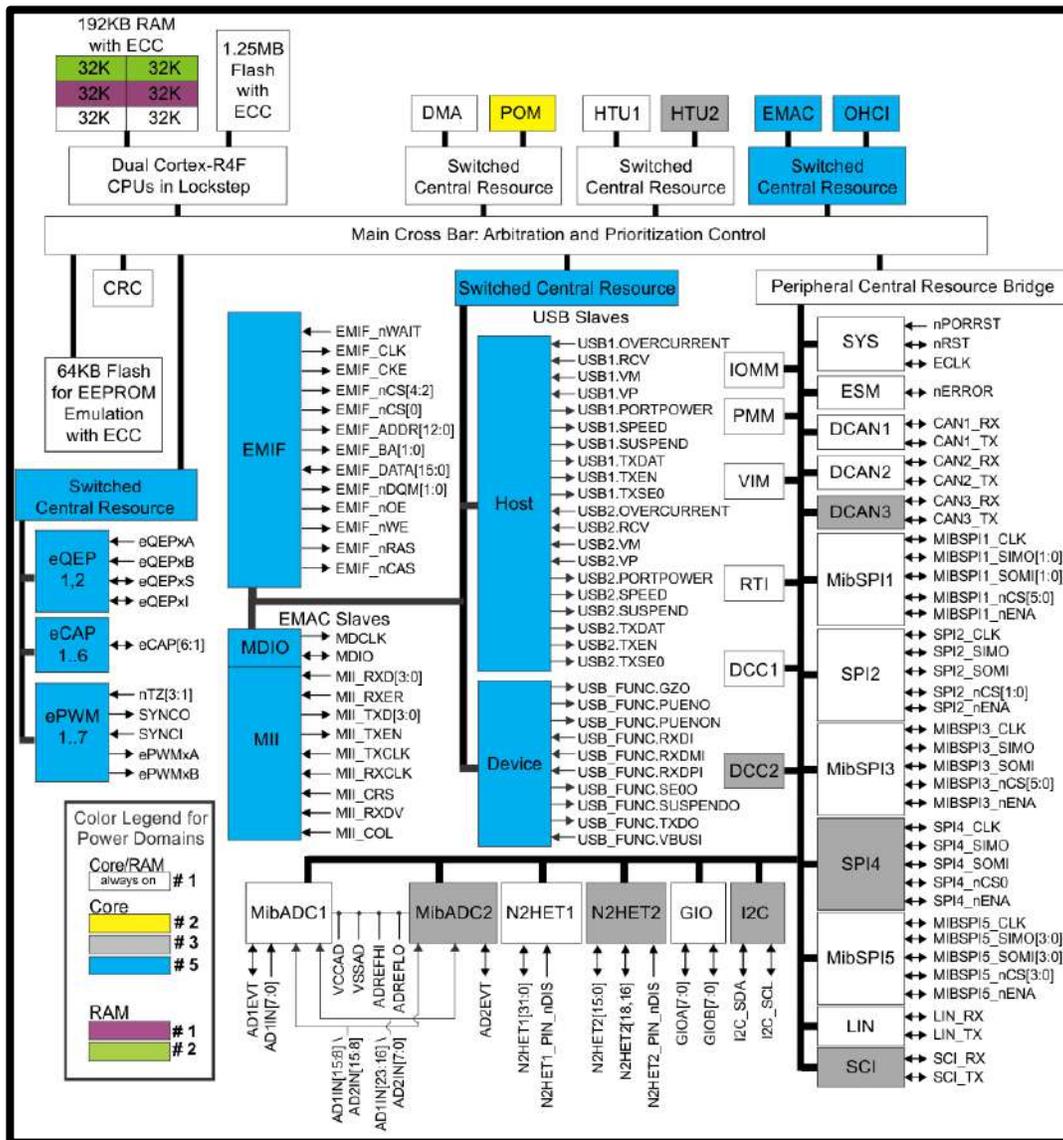
La comunicación serial puede transmitir o recibir datos bit a bit, también llamado comunicación UART (Standard universal asynchronous receiver-transmitter). (Texas, 2015)

A continuación, se describen las características del módulo UART:

- Admite la operación de dúplex completo o medio.
- Formato de transmisión de recepción de doble buffer.
- Formato de trama configurable de 3 a 13 bits por carácter.
- Modos de comunicación asíncrona.
- Stop programable para uno o dos bits de parada
- Microcontrolador de alto rendimiento para aplicaciones críticas.

En la figura 16 se muestra la composición interna del microcontrolador RM46L852 de la familia de Texas instruments:

Figura 16: Microcontrolador Hércules RM46L852



Fuente: <https://acortar.link/Fi7pPW>

## 2.5 Cálculos de Potencia

La potencia eléctrica se calcula considerando la carga eléctrica o también llamada como tensión eléctrica, que pasa por una diferencia de potencia, llamada corriente, el resultado cuya unidad es Watts. Actualmente, en la industria muy pocas empresas se encargan de analizar la red eléctrica, ya que el analizador monofásico aplica un gran costo para dichas empresas.

### 2.5.1 Cálculos del RMS

El valor Rms de voltaje o corriente también se conoce como valor cuadrático medio o Rms. El valor Rms de la onda de voltaje periódica se basa en la potencia media entregada a una resistencia, para voltaje continuo aplica sobre una resistencia.

$$P = \frac{V_{cc}^2}{R}$$

Para una tensión periódica sobre una resistencia, el voltaje eficaz se define como tensión que proporciona la misma potencia media que el voltaje continuo. La tensión eficaz puede calcularse de la siguiente manera:

$$P = \frac{V_{cf}^2}{R}$$

Se calcula la potencia media de una resistencia a partir de las ecuaciones ya mencionadas anteriormente, se obtiene:

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt \\ &= \frac{1}{T} \int_0^T v(t)i(t) dt \\ &= \frac{1}{T} \int_0^T \frac{v^2(t)}{R} dt \\ &= \frac{1}{R} \left[ \frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt \right] \end{aligned}$$

Igualando las expresiones para la potencia media dadas por las ecuaciones anteriores, se obtiene:

$$P = \frac{V_{cf}^2}{R}$$

$$= \frac{1}{R} \left[ \frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt \right]$$

$$V_{cf}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt$$

Obteniendo la siguiente ecuación para la tensión eficaz o RMS:

$$V_{ef} = V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt}$$

Donde se sabe que el valor eficaz es la raíz cuadrada del valor medio del cuadrado de la tensión, expresión que da el nombre de RMS (Root Mean Square).

De la misma manera, la corriente eficaz se obtiene a partir de la ecuación dada por:

$$p = I_{rms}^2 R$$

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt}$$

El valor eficaz de tensión y corriente es útil para calcular la potencia absorbida por la resistencia. Además, las clasificaciones de los dispositivos generalmente se especifican en forma de tensión y corriente eficaz o RMS. (Hart, 2001)

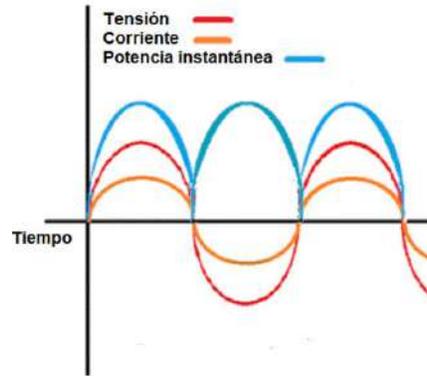
### **2.5.2 Cálculos de la Potencia Eléctrica**

La potencia instantánea se denomina como el producto del voltaje instantáneo  $v(t)$  y la intensidad de corriente instantánea  $I(t)$ .

Se calcula a partir de la tensión y corriente que la traspasa.

$$P(t) = V(t) * I(t)$$

**Figura 17:** Diagrama fasorial de la potencia instantánea



Fuente: <https://acortar.link/Y2BUqb>

### 2.5.3 Cálculos de la Potencia Activa

La potencia activa es aquella potencia que utiliza un circuito o sistema eléctrico o electrónico para realizar una transformación de energía eléctrica a otro tipo de energía utilizable. También llamada potencia media, es el valor medio de la potencia instantánea. (García, 2022)

Su unidad de medida es Vatios y se calcula de la siguiente manera:

$$P = V * I * \cos\varphi$$

Donde:

I = Corriente eficaz

V = Tensión eficaz

$\cos\varphi$  = Coseno del desfase

Siendo  $\varphi$ :

$$\varphi = \arctg \frac{X}{R}$$

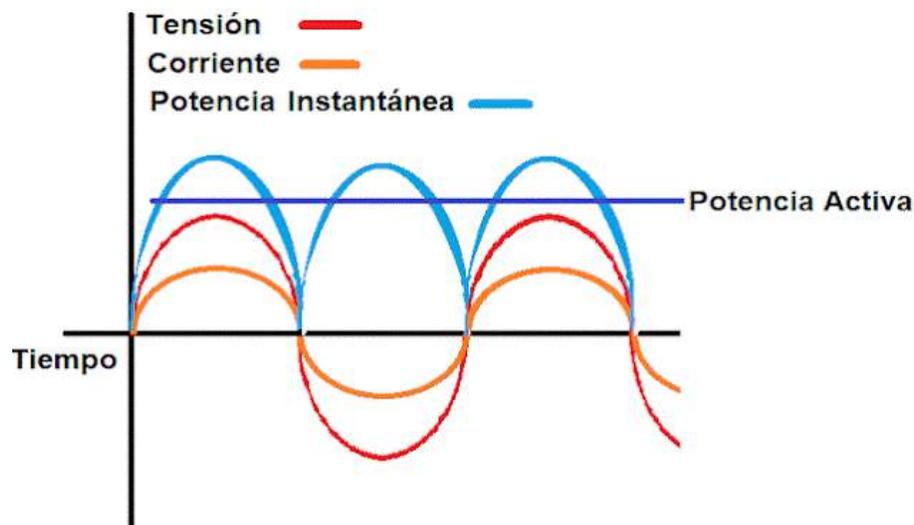
Donde:

R=resistencia de la carga

X= reactancia

En la figura 18 se muestra el diagrama fasorial de la potencia activa que se le conoce como la potencia útil.

**Figura 18:** *Diagrama fasorial de la potencia activa*



Fuente: <https://acortar.link/Y2BUqb>

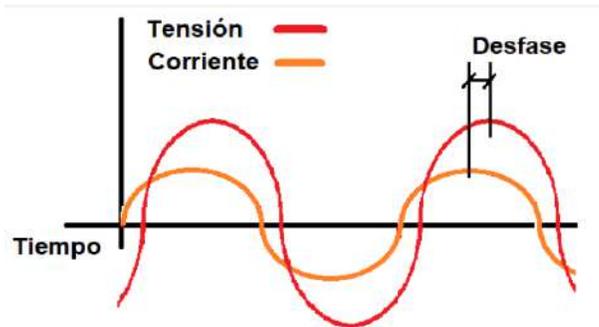
#### 2.5.4 Cálculos de la Potencia Reactiva

La potencia reactiva, potencia “fantasma” o energía reactiva, como es conocida en algunas fuentes, ya que no produce ningún tipo de trabajo útil, es la potencia en la cual la corriente está fuera de fase con respecto al voltaje. Se calcula de la siguiente manera:

$$P = V * I * \text{sen}\varphi$$

En la figura 19 se muestra el diagrama fasorial de la potencia reactiva conocida como la potencia no útil.

**Figura 19:** Diagrama fasorial de la potencia reactiva



Fuente: <https://acortar.link/Y2BUqb>

### 2.5.5 Cálculos de la Potencia Aparente

Esta potencia es una de las más importantes, ya que está presente en las demás potencias. Se calcula de la siguiente manera:

$$S = P^2 + Q^2$$

Donde:

P = Potencia activa, en watts (W)

Q = Potencia reactiva, en voltamperios reactivos (VAR)

La potencia aparente también se puede definir como el producto de los valores eficaces (RMS) del voltaje y la intensidad de corriente:

$$S = V_{rms} * I_{RMS}$$

### 2.5.6 Cálculos del Factor de Potencia

El factor de potencia de una carga se define como el cociente de la potencia media y la potencia aparente. Se calcula de la siguiente manera:

$$fp = \frac{P}{S} = \frac{P}{V_{RMS} I_{RMS}}$$

## 2.6 Microcontrolador Node-MCU

Node-MCU es una plataforma de código abierto basada en ESP32 que puede conectar objetos y permitir la transmisión de datos mediante el protocolo wifi.

Sus características correspondientes a las placas son:

- Programabilidad en el Ide de Arduino.
- Disponible como punto de acceso o estación practicable en aplicaciones de API impulsadas por eventos.
- Tiene una antena interna.
- Contiene 13 pines GPIO, 10 canales PWM, I<sup>2</sup>C, SPI, ADC, UART, y 1-Wire.

El módulo ESP32, es un procesador integrado con interfaces para conectarse con varios periféricos. Tiene dos núcleos de procesamiento cuyas frecuencias operativas pueden controlarse independientemente entre 80 y 240 MHz. Los periféricos del procesador facilitan la conexión a una variedad de interfaces externas como:

- Interfaz periférica serial (SPI).
- *I2C*.
- Transmisor receptor asíncrono universal (UART).
- Tarjetas SD.
- Ethernet.
- Interfases táctiles y capacitivas.

El Internet de las Cosas, es un área en crecimiento en el mundo de la tecnología. Ha cambiado la forma en la que se trabaja. Los objetos físicos y el mundo digital ahora están más interconectados, y puede rastrear y controlar cualquier cosa desde cualquier parte del mundo, lo que lo hace ideal para la mayoría de los proyectos de IoT. (Espressif, 2016)

### **2.6.1 Pines PWM**

Algunos pines digitales tienen una función de modulación de ancho de pulso (PWM), que permite simular una señal analógica usando una secuencia rápida de pulsos digitales. Cuanto más largo sea el tiempo de "ejecución" de estos ciclos, más fuerte aparecerá la señal. (Espressif, 2016)

### **2.6.2 Comunicación**

El NodeMCU es compatible con los tres principales protocolos de comunicación en serie que se encuentran en Arduino (y una gran cantidad de otros dispositivos equipados con MCU). Aquellos son:

#### **2.6.2.1 UART.**

UART, o Universal Asynchronous Receiver/Transmitter, es una forma de comunicación en serie basada en un solo cable que va en ambas direcciones. Dado que el formato es asíncrono, no es necesario enviar una señal de reloj a través de un cable separado. Los datos se transmiten solo a una velocidad determinada (velocidad por lotes), y los dispositivos conectados descomprimen los datos a medida que se acercan al otro polo.

#### **2.6.2.2 I2C**

El protocolo I2C tiene una señal de reloj separada, pero usa un solo cable para transmitir datos. Esto es ideal para conectar una máquina maestra a varias esclavas, cada una con una dirección separada.

I2C también se conoce como "TWI" o "Interfaz de dos cables". Los pines SCL y SDA están ubicados en los pines digitales D1 y D2. Como sugiere su nombre, I<sup>2</sup>C es ideal para interconectar circuitos integrados. (Espressif, 2016)

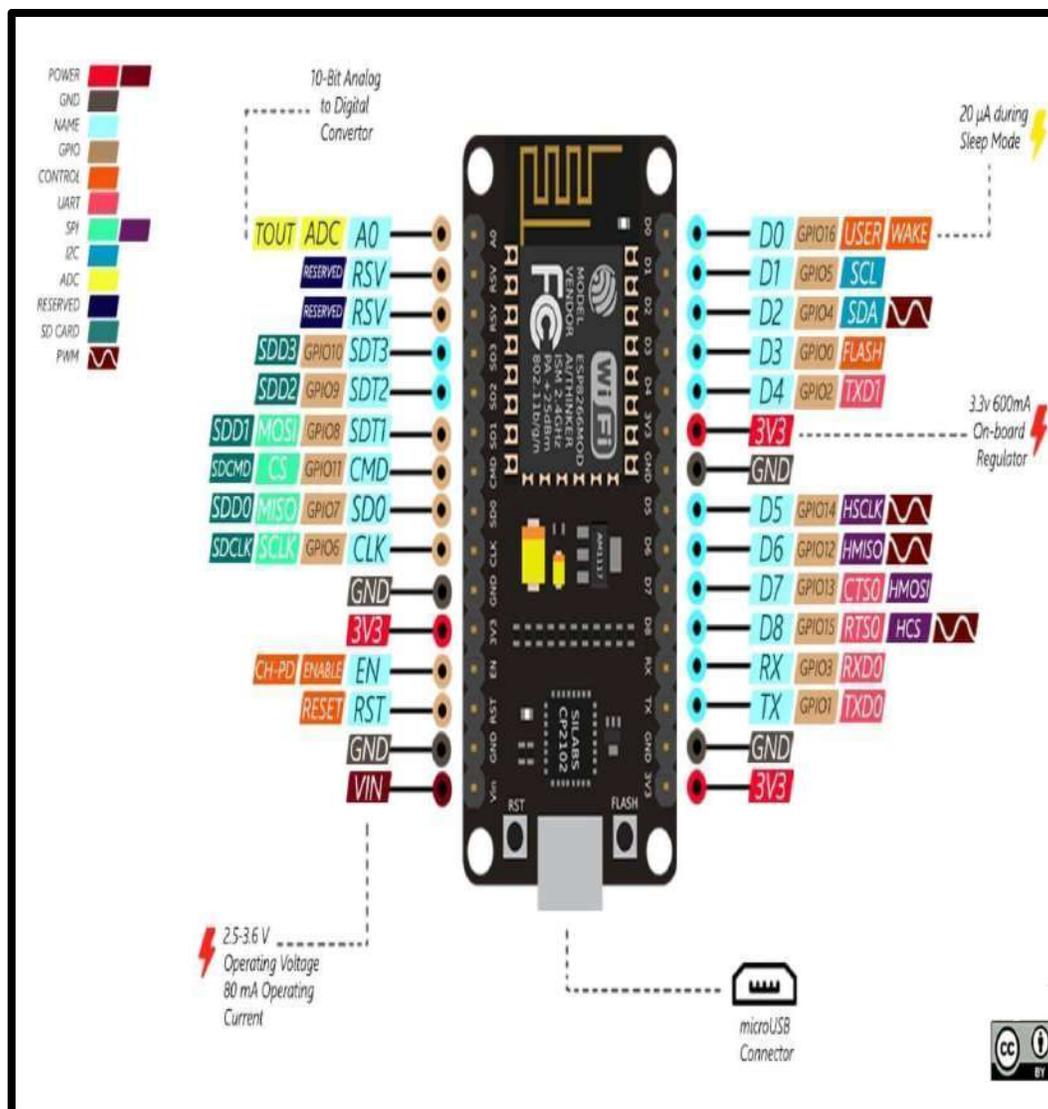
#### **2.6.2.3 SPI**

Una variedad de comunicaciones en serie es SPI, o "Interfaz periférica en serie", se usa comúnmente para conectar microcontroladores y otros circuitos integrados, como I<sup>2</sup>C,

pero usa tres pines en lugar de solo dos. También es doble, lo que significa que cualquier operación de lectura puede coincidir con una operación de escritura en la otra dirección. A diferencia de I2C, solo el dispositivo host en la cadena SPI puede cambiar la velocidad del reloj. En Node MCU, SPI usa tres pines: D5 es CLK; D6 es Master In Slave Out (o MISO); D7 es Master Out Slave In (MOSI). (Espressif, 2016)

En la figura 20 se muestra la composición interna del microcontrolador NodeMCU ESP32 que cuenta con un módulo Wifi integrado:

**Figura 20:** NodeMCU Pin Out



Fuente: <https://descubrearduino.com/nodemcu/>

## 2.7 Etapa Analógica

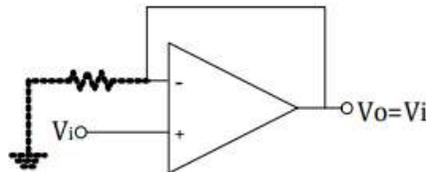
### 2.7.1 Sensor de Voltaje

#### 2.7.1.1 Amplificador Seguidor de voltaje

También llamado buffer, es un circuito amplificador operacional que tiene una ganancia de tensión de 1.

Esto significa que el amplificador operacional no proporciona ninguna amplificación a la señal. La razón por la que se llama seguidor de voltaje es porque el voltaje de salida sigue directamente al voltaje de entrada, lo que significa que el voltaje de salida es el mismo que el voltaje de entrada. Entonces, por ejemplo, si entran 10 V en el amplificador operacional en la entrada, 10 V salen en la salida. Un seguidor de voltaje actúa como un búfer, sin amplificar ni atenuar la señal, en la figura 21 se observa al amplificador operacional en configuración seguidor de voltaje. (Doménech Asensi, 2019)

**Figura 21:** Seguidor de voltaje



Fuente: Electrónica, dispositivos y aplicaciones.

Entonces

$$V_0 = V_i$$

Donde

$V_i$ : Voltaje de Entrada

$V_0$  : Voltaje de Salida

### 2.7.1.2 Circuito Offset

El offset de una señal alterna es el nivel de señal continua sumada a una señal alterna. Por lo tanto, si la señal está centrada en el origen, se dice que el desplazamiento de offset es 0. Si el desplazamiento es hacia arriba, el offset es positivo, si el desplazamiento es hacia abajo, el offset será negativo.

### 2.7.1.3 Filtro de Salida RC Pasabajo

Un filtro RC pasa bajo es un circuito de filtro que consta de una resistencia y un capacitor que pasa a través de señales de baja frecuencia, mientras que el bloqueo pasa por señales de alta frecuencia, en la figura 22 se muestra el esquema de filtro pasa bajo, donde se observa que se tiene una entrada y al pasar por el filtro se obtiene la señal deseada a la salida. (Miraya, 2004)

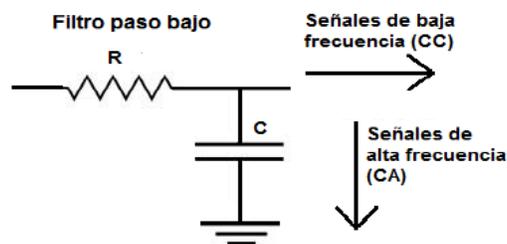
**Figura 22:** Esquema de Filtro pasa bajo



Fuente: <https://acortar.link/cLmqTC>

Para crear un filtro paso bajo filtro RC, se coloca resistencia en serie en la señal de entrada y un capacitor en paralelo con la señal de entrada, como se muestra en la figura 23.

**Figura 23:** Filtro pasa bajo



Fuente: <https://acortar.link/FCZyA2>

#### 2.7.1.4 Ley de ohm

La ley de Ohm se usa para determinar la relación entre tensión, corriente y resistencia en un circuito eléctrico.

Entonces:

$$V = I * R$$

Donde:

V: voltaje

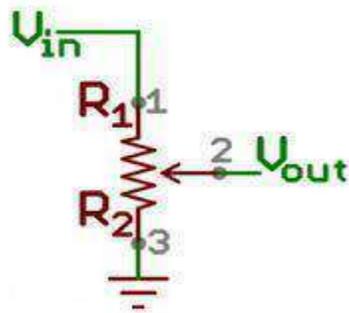
I: corriente

R: resistencia

#### 2.7.1.5 Divisor de Voltaje

Es una configuración de circuito que distribuye el voltaje de la fuente entre dos o más resistencias conectadas en serie, como se muestra en la figura 24.

**Figura 24:** Esquema de Divisor de Voltaje



Fuente: <https://acortar.link/Da9vy9>.

En la ecuación del divisor de voltaje se conocen los tres valores del circuito anterior, el voltaje de entrada ( $V_{in}$ ), y ambos valores de resistencia R1 y R2, con los cuales se encuentra el voltaje de salida.

Entonces:

$$V_{out} = V_{in} \left( \frac{R2}{R1 + R2} \right)$$

Donde:

$V_{out}$  = Voltaje de salida

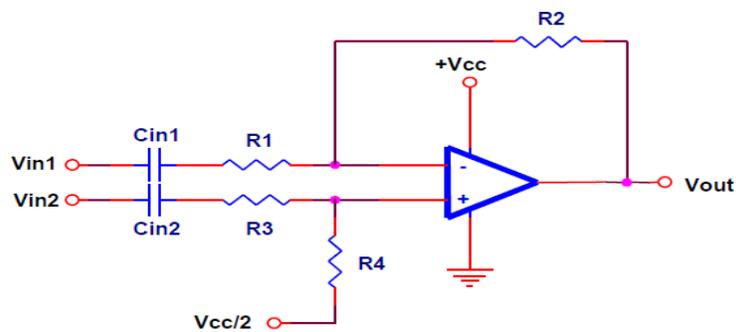
$V_{in}$  = Voltaje de entrada

## 2.7.2 Sensor de Corriente

### 2.7.2.1 Amplificador Diferencial

El amplificador diferencial amplifica la diferencia entre dos voltajes de entrada, la no inversora menos la inversora. La ventaja del amplificador diferencial es que elimina el ruido en modo común. En este caso, la salida está en función a una ganancia, la cual es proporcional a la relación de las resistencias, en la figura 25 se observa al amplificador operacional en configuración diferencial. (Texas, 2000)

**Figura 25:** Amplificador diferencial en modo de ganancia controlada.



Fuente: Texas instruments (a single-supply op-amp circuit collection. pag 9)

Donde:

$$R1 = R3$$

$$R2 = R4$$

La ganancia se encuentra en la relación:

$$G = \frac{R2}{R1}$$

Analizando la configuración de amplificador inversor de ganancia controlada. Para encontrar el voltaje de salida se tiene la siguiente ecuación.

$$V_0 = \frac{R2}{R1} * V2 - V1$$

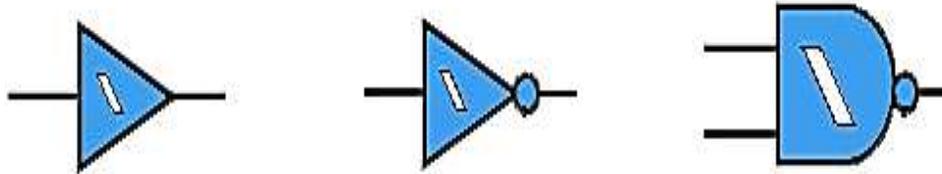
Así mismo, también forman parte del circuito: el amplificador operacional en configuración seguidor de voltaje y circuito offset mencionados anteriormente.

### ***2.7.3 Sensor de Frecuencia***

#### **2.7.3.1 Compuerta Lógica Schmitt Trigger**

Son dispositivos electrónicos que se utilizan para convertir señales imperfectas, lentas o con ruido en señales digitales claras, rápidas y sin ruido. Realizan las mismas funciones lógicas que las compuertas comunes, pero sus diferentes características las hacen muy útiles para aplicaciones donde se presentan problemas como señales mal definidas, ruidosas o distorsionadas. En la figura 26 se observa la simbología de la compuerta lógica. (Instruments, 2021)

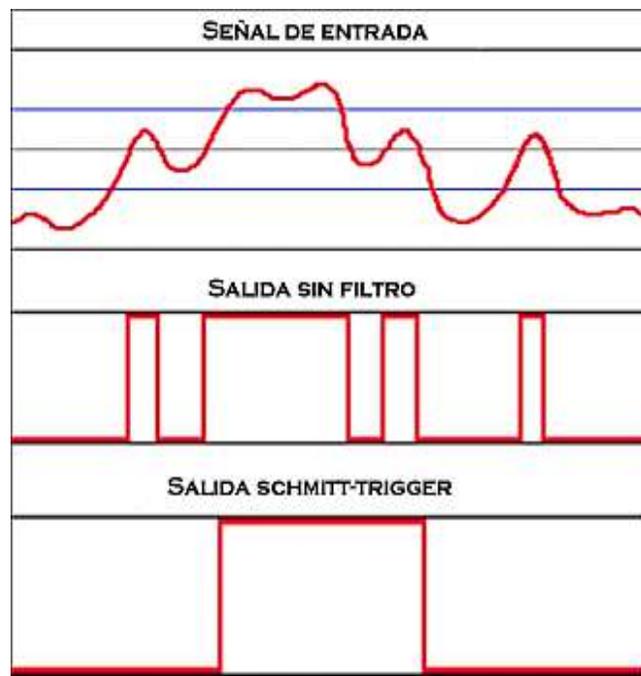
**Figura 26:** Símbolos de compuerta lógica.



Fuente: <https://acortar.link/U834vA>

La compuerta Schmitt trigger poseen una propiedad llamada histéresis que las hacen inmunes al ruido, una compuerta Schmitt trigger entrega una onda cuadrada a la salida, sin importar la forma de onda de la señal de entrada, como se puede apreciar en la figura 27:

**Figura 27:** Forma de onda



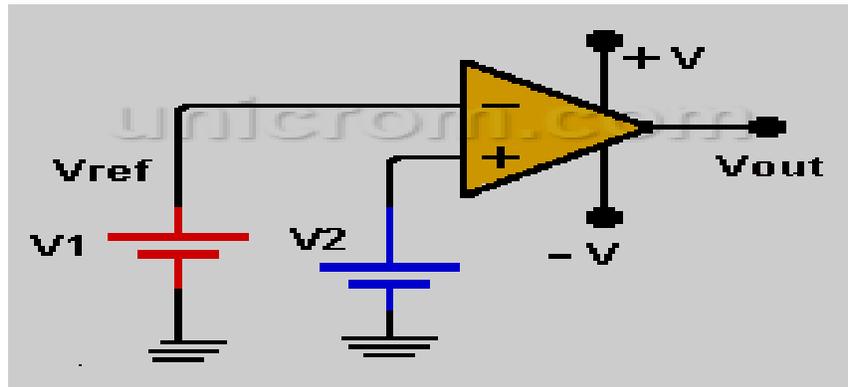
Fuente: <https://acortar.link/U834vA>

### 2.7.3.2 Comparador de Voltaje

Un comparador es un circuito electrónico que tiene como misión comparar dos entradas, para determinar cuál de las dos señales en su entrada es mayor. El valor de salida

del comparador de voltaje indica qué entrada es mayor o menor. En la figura 28 se observa la configuración comparador de voltaje teniendo a la entrada dos voltajes, los cuales se comparan y el de mayor valor será la salida. (Bueso, 2006)

**Figura 28:** Comparador de voltaje

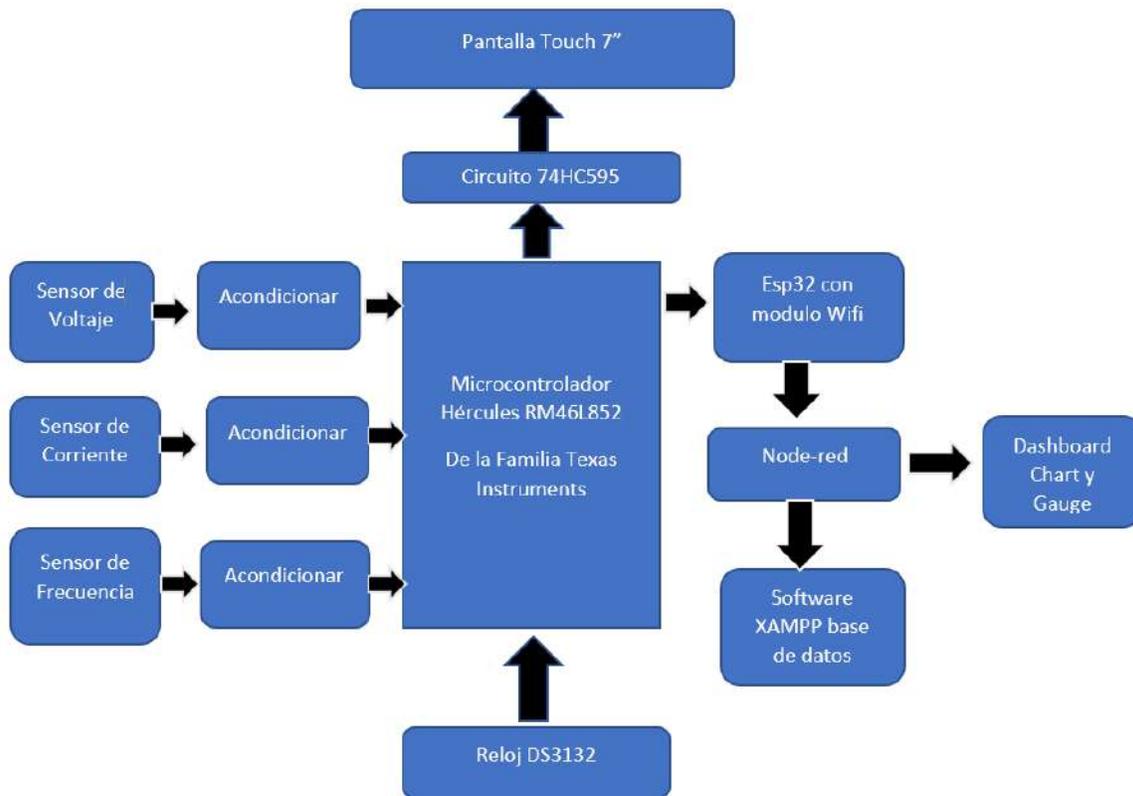


Fuente: <https://unicrom.com/comparador-con-amplificador-operacional/>

## 2.8 Diagrama de Bloques

En la figura 29 se muestra el diagrama de bloques:

**Figura 29:** Diagrama de Bloques



Fuente: Elaboración propia.

Los datos obtenidos por los sensores de corriente, voltaje y frecuencia serán procesados por el microcontrolador Hércules, por medio de su librería DSP (procesamiento digital de señales). Obtenidos los valores de los sensores ya mencionados se realizarán operaciones matemáticas con la librería motor de kernel y radix4, en donde se encuentra los valores máximos, mínimos y rms. De igual manera los valores de la potencia activa, reactiva, aparente como el factor de potencia. Dichos datos serán enviados a una pantalla LCD, por medio de la comunicación SPI y los módulos HET, GIO.

De igual manera se enviaron los datos por comunicación serial rs232 al microcontrolador ESP32 que cuenta con un módulo Wifi para así enviar dichos valores al Node-red con su protocolo de comunicación MQTT, que es un protocolo de mensajería. Y mediante Dashboard en tiempo real se visualizará por medio de gauge y chart la onda de voltaje, corriente y frecuencia como sus valores obtenidos

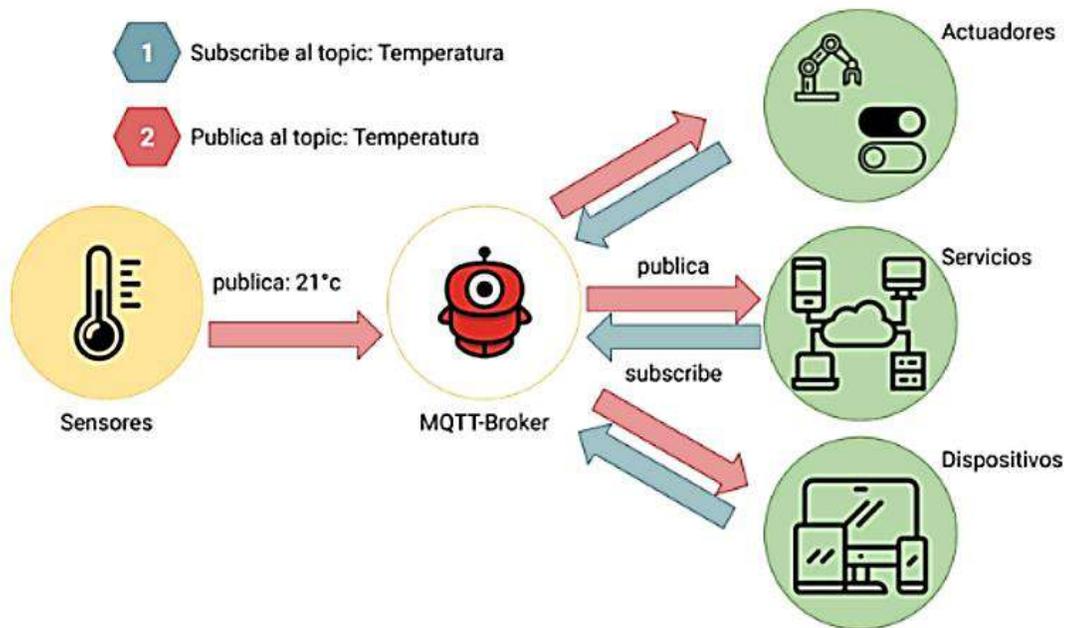
## **2.9 Internet de las Cosas (IoT)**

El internet de las cosas IoT describe una red de objetos integrados con sensores, software u otras tecnologías que se conectan e intercambian datos con otros dispositivos y sistemas a través de internet. En los últimos años, la IoT se ha convertido en una de las tecnologías más fundamentales del siglo XXI, ya que permite una comunicación perfecta entre personas, procesos y sensores. Si bien es cierto que la idea de IoT ha existido durante mucho tiempo, existen una serie de tecnologías que han hecho posible que hoy sea una herramienta para muchos en la actualidad. (Oracle, 2022)

### ***2.9.1 Protocolo De Comunicación MQTT***

Está basado en TCP/IP como base de comunicación para la comunicación. MQTT (Message Queue Telemetry Transport) es un protocolo usado para la comunicación machine-to-machine (M2M) en el IoT. Está orientado a la comunicación de sensores, consume muy poco ancho de banda y puede ser utilizado en la mayoría de dispositivos. Su función básica es hacer posible la lectura de datos y envío de comandos a dispositivos que requieren bajo ancho de banda y menor consumo energético, en la siguiente se muestra una comunicación MQTT. En la figura 30 se muestra un diagrama de comunicación partiendo desde un sensor que publica los datos al MQTT, envía y recibe datos de los actuadores, de igual manera a los dispositivos. (Llamas, 2019)

**Figura 30:** Diagrama de comunicación MQTT



Fuente: <https://acortar.link/ztjHKX>

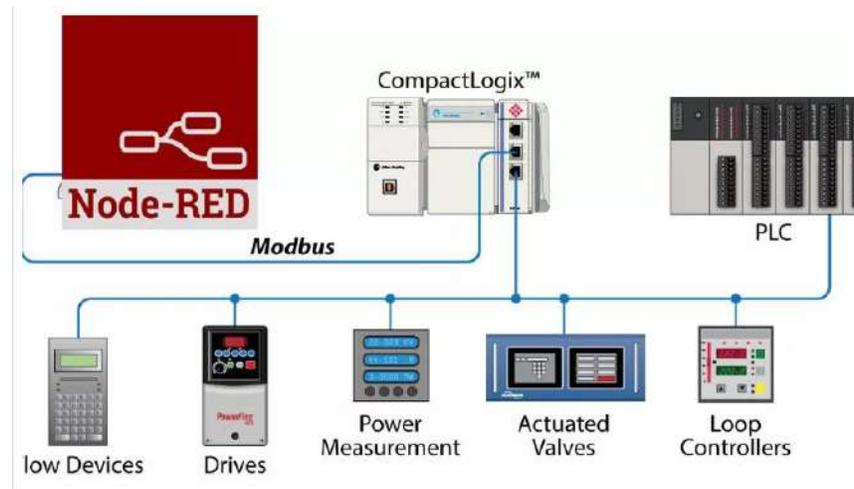
Por defecto el protocolo de comunicación MQTT emplea el puerto 1883 y el 8883 cuando funciona sobre la TLS (Transport Layer Security, seguridad de la capa de transporte)

### 2.9.2 Node-Red

Node-red es una herramienta de programación visual implementada en controladores de hardware. Funciona mostrando visualmente las relaciones y funciona de una manera que se puede programar sin escribir.

Es un panel de tránsito (flow) que se puede conectar a nodos que se comunican entre sí, se puede instalar en equipos con Windows o Linux. En la figura 31 se observa el node-red con diferentes dispositivos. (Viladecavalls, 2020)

**Figura 31:** Conexiones del Node-red.



Fuente: <https://acortar.link/vJMBut>

### 2.9.2.1 QoS

MQTT dispone de un mecanismo de calidad del servicio o QoS, es la parte más esencial del protocolo MQTT ya que en cual se define la calidad de los mensajes. (Llamas, 2019)

Existen 3 niveles de la calidad de servicio que se mencionan a continuación:

QoS 0: El mensaje se envía solamente una vez. En caso de fallo puede que algún mensaje no se entregue.

QoS 1: El mensaje se envía hasta que se garantiza la entrega. En caso de fallo, el suscriptor puede recibir algún mensaje duplicado.

QoS 2: Se garantiza que cada mensaje sea entregado al suscriptor.

### 2.9.2.2 Tópico

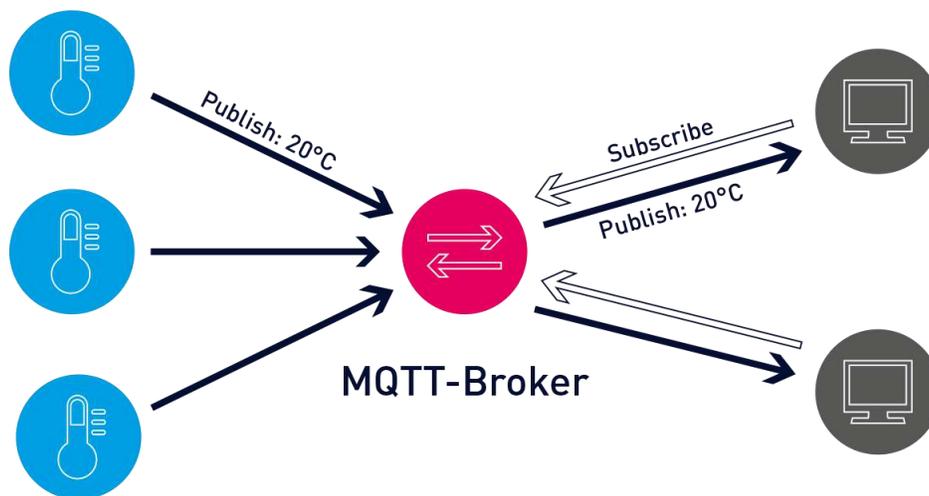
Un tópico se refiere al que publica los mensajes de un determinado tema y suscribe solo los mensajes que le interesan, consiste en una cadena de texto que tiene una longitud máxima de 65536 caracteres. (Vespito, 2003)

### 2.9.2.3 Publish / Suscribe

En el protocolo de comunicación MQTT existen publicadores de datos y suscriptores. El publicador, por ejemplo, es un sensor que cada 90 segundos, y el suscriptor es el destinatario del dato, el cual debe indicar al bróker que es de su interés en recibir ese dato en específico. (Vespito, 2003)

En la figura 32 se muestra un ejemplo de publish y subscribe.

**Figura 32:** Diagrama de Publish y subscribe



Fuente: <https://acortar.link/ztjHKX>

### 2.9.2.4 Broker

Es el servidor por el cual se comunican los clientes, recibe comunicaciones de un cliente X y se las envía a un cliente Y, ya que los clientes no se conectan entre sí, se conectan mediante un broker. Cada cliente puede ser un editor o suscriptor o ambos, de acuerdo al interés de cada cliente.

El Node-red tiene incluido el bróker por lo cual ya no es necesario instalar el programa mosquitto.

### **2.9.2.5 Nodos Dashboard**

Los Dashboard utilizados en el Node-red son los siguientes:

Nodo gauge: Adiciona un widget a la interfaz del usuario, tiene 4 tipos de nodos: estándar que es un indicador simple, circular que tiene 360° completo, burbuja y onda. De la misma manera se puede modificar en los colores de los indicadores.

Nodo chart: es un nodo para hacer posible la gráfica de dato, tiene diferentes modelos de gráficos como, por ejemplo: gráficos circulares, gráficos lineales basados en el tiempo. (Tolptal, 2022)

### **2.9.2.6 Nodos base de datos**

Nodo que proporciona acceso básico a la base de datos MySQL. Su función es cuando la base de datos está registrada con el usuario y contraseña que se le ha dado, ejecuta una sentencia SQL que contiene el tópico del mensaje.

Node Red permite una amplia integración con otros servicios tales como:

Integración con MQTT, estos son nodos que permite publicar y suscribir mensajes.

Integración con API REST, el protocolo HTTP se usa con la opción para generar la cadena de consulta mgPayload.

En Node Red también se pueden enviar correos, pero se tiene que habilitar una contraseña de aplicación, envío de mensajes de texto o realizar una llamada de voz, que está configurado para hacer dichas tareas.

### **2.9.2.7 Nodos MQTT**

Protocolo de comunicación de mensajería que funciona con un servidor central que es el broker y con los suscriptores a tópicos que son los mensajes que son enviados a través del broker, existen dos tipos de nodos que permiten una comunicación y son los siguientes:

MQTT in es el encargado de suscribir los mensajes de un tema en específico (topic) y lee dichos mensajes.

MQTT out es el encargado de publicar los mensajes.

### **2.9.2.8 Nodo de Función**

Un nodo de función es un bloque de funciones de JavaScript que se ejecuta en función de los mensajes recibidos por el nodo. Los mensajes se pasan como un objeto JavaScript llamado `msg`. Por defecto, tiene una propiedad `msg.payload` que contiene el cuerpo del mensaje, además de otros atributos opcionales.

## CAPÍTULO III

### Diseño Metodológico

Para desarrollar el proyecto y alcanzar los objetivos marcados, se aplicó la siguiente metodología:

#### **3.1 Enfoque de investigación**

Los planteamientos cuantitativos se derivan de la literatura y corresponden a una extensa gama de propósitos de investigación, como: describir tendencias y patrones, evaluar variaciones, identificar diferencias, medir resultados y probar teorías. (Hernandez Sampieri, 2014)

De acuerdo a la información mencionada, la investigación realizada en el presente trabajo corresponde al enfoque cuantitativo, debido a que se centra en cuantificar la recopilación y análisis de datos, que son datos numéricos y, por tanto, medibles como la onda de voltaje, onda de corriente, y frecuencia.

#### **3.2 Tipo de investigación**

##### ***3.2.1 Investigación Descriptiva***

Miden, evalúan o recolectan datos sobre diversos conceptos (variables), aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno a investigar. En un estudio descriptivo se selecciona una serie de cuestiones y se mide o recolecta información sobre cada una de ellas, para así, describir lo que se investiga. (Hernández Sampieri, 2014)

Con el presente trabajo se busca describir todo el proceso de diseño, desarrollo e implementación, de un prototipo de analizador para red monofásica, analizando las características de la red eléctrica de los equipos eléctricos y electrónicos con los que cuenta la empresa Andes Yarn S.A.C.

### **3.2.2 Investigación Exploratoria**

Los estudios exploratorios se realizan cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado, del cual se tienen muchas dudas o no se ha abordado antes. Es decir, cuando la revisión de la literatura reveló que tan solo hay guías no investigadas e ideas vagamente relacionadas con el problema de estudio, o bien, si se desea indagar sobre temas y áreas desde nuevas perspectivas. (Hernández Sampieri, 2014)

El presente trabajo abarca temas no estudiados en el ámbito nacional de la ingeniería electrónica, por tanto, corresponde un tipo de investigación exploratoria, ya que el diseño e implementación del prototipo propuesto abarca una problemática con un alto grado de complejidad, de la cual lamentablemente no se han encontrado investigaciones relacionadas en nuestro país.

### **3.3 Método**

Los métodos deductivo y lógico buscan formular preguntas de investigación e hipótesis para posteriormente probarlas. (Hernández Sampieri, 2014)

Así, el proyecto aplica el método deductivo, puesto que se infiere a conclusiones a partir de las teorías y datos obtenidos producto de las pruebas realizadas gracias a la implementación del prototipo analizador.

### **3.4 Técnicas de investigación**

#### **3.4.1 Observación**

“Este método de recolección de datos consiste en el registro sistemático, válido y confiable de comportamientos y situaciones observables, a través de un conjunto de categorías y subcategorías”. (Hernández Sampieri, 2014)

De esta manera, se aplicó la técnica de la observación durante todas las etapas de desarrollo del proyecto, mediante percepción visual intencionada y directa del diseño, desarrollo y funcionamiento del prototipo implementado.

### **3.5 Instrumentos de investigación**

Como instrumentos de investigación correspondientes a la técnica de observación, se utilizó un diario de campo como fuente primaria de recolección de la información observada.

### **3.6 Universo y muestra**

#### ***3.6.1 Universo:***

El universo es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones. Es la totalidad del fenómeno a estudiar, donde las entidades de la población poseen una característica común, la cual se estudia y da origen a los datos de la investigación. (Hernández Sampieri, 2014)

Por tanto, el universo en el presente trabajo corresponde a todas las instituciones, empresas, industrias, centros comerciales y usuarios privados de la ciudad de Cochabamba que usan la red de energía eléctrica monofásica y que requieren de controles, diagnósticos del consumo y cuidados de equipos eléctricos y electrónicos.

#### ***3.6.2 Muestra***

La muestra es, en esencia, un subgrupo de la población. Se dice que es un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características llamada población. (Hernández Sampieri, 2014)

De este modo, la muestra recopilada en el trabajo de investigación corresponde a todos los datos que fueron recopilados mediante la implementación de pruebas del prototipo en la empresa Andes Yarn S.A.C.

### 3.7 Materiales

- Computador personal: 1 Laptop Dell Vostro i7 onceava generación, 16 GB RAM, 512 SSD.
- Pinza amperimétrica Mastech MS3302: cuya función es medir la corriente teniendo un rango de medida de 0 a 400 Amperios rms.
- Microcontrolador Hércules RM46: equipo esencial para el proyecto de investigación con la cual se realizó la programación del prototipo analizador de red monofásica.
- Software Proteus: es una aplicación usada en el proyecto de investigación para la ejecución de proyectos de construcción de equipos electrónicos en todas sus etapas: diseño del esquema electrónico, programación del software, construcción de la placa de circuito impreso, siendo de gran utilidad para la elaboración de los circuitos electrónicos.
- Software IDE Arduino: es un programa informático compuesto por un conjunto de herramientas de programación basado en C++.
- Software Halcogen: utilizado en el trabajo de investigación, ya que proporciona una interfaz gráfica al usuario que le permite configurar los periféricos internos del microcontrolador.
- Software code composer: usado en el proyecto como Entorno de Desarrollo Integrado para programar y depurar los microcontroladores de los Instrumentos Texas.
- Software XAMPP: utilizado para crear la base de datos, siendo un software libre.

## CAPÍTULO IV

### Diseño de Ingeniería

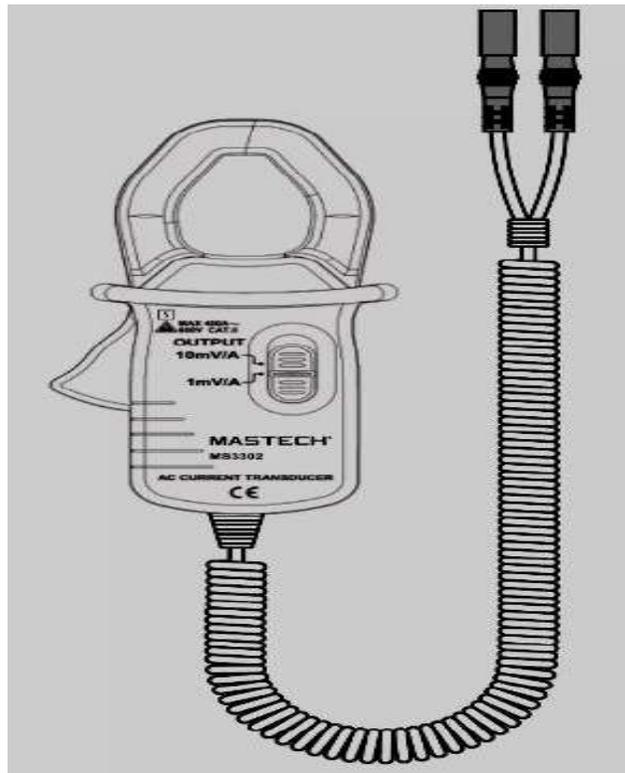
En el presente capítulo se muestra el diseño de hardware en el que se describen: los cálculos de los sensores de voltaje, corriente y frecuencia. Así mismo se tiene la etapa digital donde se describen los componentes electrónicos, como la memoria SD, reloj en tiempo real, memoria EEPROM y la pantalla LCD Touch de 7"; también se muestra el diseño de software donde se explica el proceso de diseño de diferentes circuitos que conforman cada etapa del prototipo analizador monofásico de energía eléctrica.

#### 4.1 Diseño de Hardware

##### *4.1.1 Sensor de Corriente*

Conocida la gran variedad de sensores de corriente como: tipo de inducción o bobina de rogowski, tipo hall, resistencia shunt, transformador de intensidad CT, se eligió el sensor de corriente de pinza amperimétrica que se basa en el principio de inducción, que a diferencia de los demás sensores cuenta con los siguientes beneficios: rango de corriente hasta los 400 Arms, cuenta con salida de voltaje, tiene dos sensibilidades que pueden seleccionarse. En la figura 33 se observa la pinza amperimétrica con los botones de sensibilidad de 1 y 10 mV/A.

**Figura 33:** Pinza amperimétrica Mastech MS3302



Fuente: Datasheet Pinza amperimétrica pág.1

La pinza de corriente CA se ha diseñado de acuerdo con la norma IEC-61010 relativa a los requisitos de seguridad para pinzas amperimétricas portátiles para mediciones y pruebas eléctricas.

#### **4.1.1.1 Características Pinza amperimétrica Mastech MS3302:**

- Rango de corriente: 0 – 400 Amperios AC RMS.
- Niveles de voltaje de salida:
  - 10 mV/A AC
  - 1 mV/A AC
- Tensión de trabajo: 600 V CAT II por IEC-61010-1.
- Temperatura de funcionamiento: 0° a 50 ° C - 80 % humedad relativa.

- Temperatura de almacenamiento: - 20 ° a 60 ° C.
- Tipo de detección: detección de bobina de inducción para corriente alterna.
- Especificación eléctrica:
  - 10 mV/A ± 2.0 % ± 0.5 A
  - 1 mV/A ± 2.0 % ± 0.5 A

En la pinza amperimétrica se tiene un botón para seleccionar la sensibilidad con la cual se va a trabajar, se cuenta con el rango de 1 y 10 mv/A.

#### 4.1.1.2 Cálculo para 22 Amperios:

✓ Para sensibilidad de 1 mV/A

$$V_o = 22A * \frac{1mV}{A}$$

$$V_o = \frac{22}{1000}V$$

$$V_o = 0.022 V$$

✓ Para la sensibilidad de 10 mV/A

$$V_o = 22A * \frac{10mV}{A}$$

$$V_o = 0.22 V$$

#### 4.1.1.3 Cálculo para 400 A

● Para sensibilidad de 1 mV/A

$$V_o = 400A * \frac{1mV}{A}$$

$$V_o = \frac{22}{1000} V$$

$$V_o = 0.4 V$$

- Para la sensibilidad de 10 mV/A

$$V_o = 400A * \frac{10mV}{A}$$

$$V_o = 4.0 V$$

Por lo tanto, se tiene dos rangos para calcular la corriente con la sensibilidad de 10 mV/A donde salen valores altos, en comparación con la sensibilidad de 1 mV/A que da un resultado más bajo, ya que el microcontrolador tiene una ventana de 0 a 3.3 Voltios.

Para cuestiones de diseño se tiene un rango de trabajo de 0 a 400 Irms de la pinza amperimétrica. Para encontrar la corriente pico se considera la siguiente ecuación:

$$I_{MAX} = I_{RMS} * \sqrt{2}$$

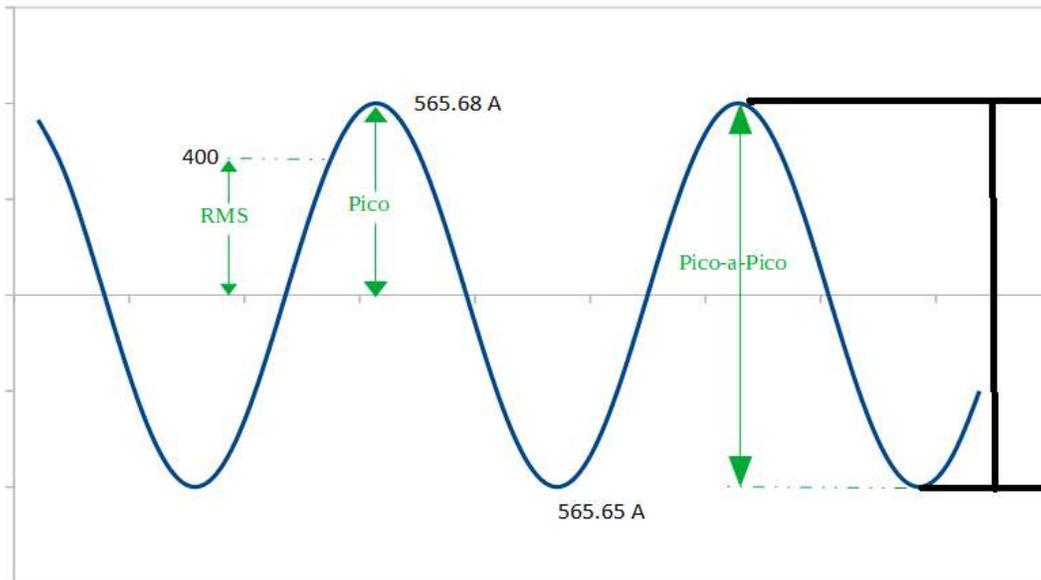
Reemplazando:

$$I_{MAX} = 400 * \sqrt{2}$$

$$I_{MAX} = 565 \text{ Amperios}$$

Teniendo los valores Rms, se puede obtener el valor pico el cual se calculó y como se muestra en la figura 34 donde se observa el valor RMS de 400 A, y 565.68 A el valor pico.

**Figura 34:** Valores pico a pico de una onda de corriente

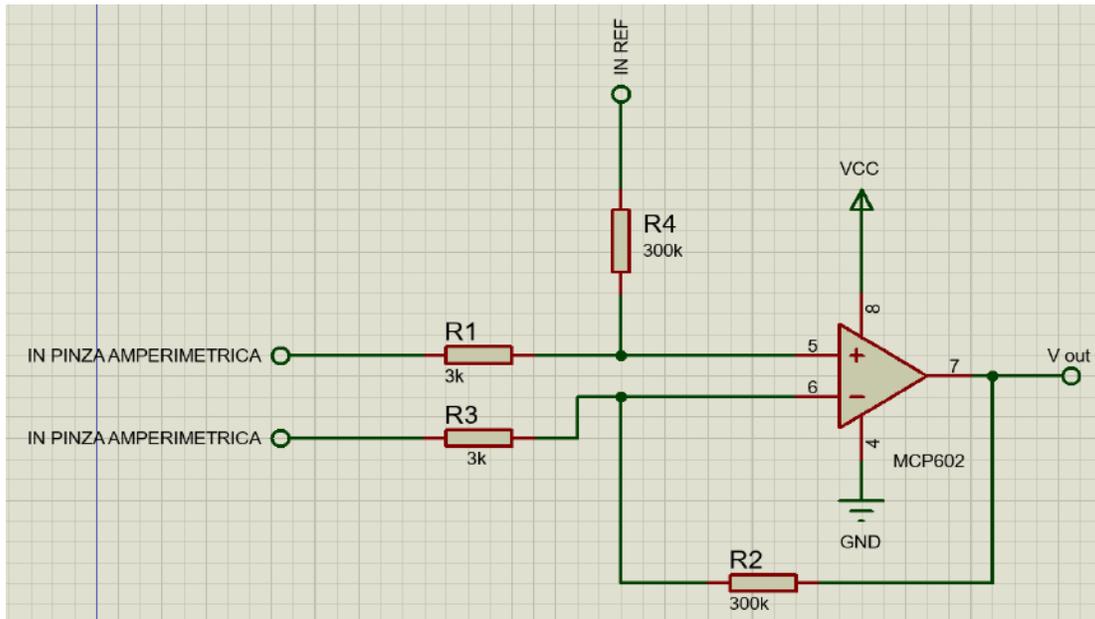


Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.1.4 Circuito de acople

El circuito de acople se basa en un amplificador operacional en configuración amplificador diferencial, en donde se obtiene una ganancia de 100 para que el valor obtenido por la pinza amperimétrica sea multiplicado por dicha ganancia; se muestra en la figura 35 y representado con las fórmulas mostradas a continuación.

**Figura 35:** Circuito de acople



Fuente: Elaboración propia mediante software proteus.

Siguiendo las siguientes fórmulas:

$$R1 = R3 ; R2 = R4:$$

$$V_{out} = (R2/R1) (V_{in2} - V_{in1})$$

$$R1||R2 = R3||R4$$

Donde:

$$R1 \text{ Y } R3 = 3 \text{ K } \Omega$$

$$R2 \text{ Y } R4 = 300 \text{ K } \Omega$$

Fórmula de ganancia de la configuración amplificador diferencial:

$$Ganancia = \frac{R2}{R1}$$

$$Ganancia = \frac{300 \text{ k}}{3 \text{ k}} = 100$$

Como se puede apreciar en el resultado, se obtuvo una ganancia de 100 a la salida del amplificador operacional en configuración diferencial.

Por ejemplo, teniendo una corriente de 10 amperios con la sensibilidad de 1 mV/A:

✓ Para sensibilidad de 1 mV/A

$$V_o = 10A * \frac{1mV}{A}$$

$$V_o = \frac{10}{1000}V$$

$$V_o = 0.01V$$

El voltaje de salida será el que ingrese al circuito acoplador, en la configuración de diferencial, donde se calcula con la siguiente formula el voltaje de salida del amplificador operacional:

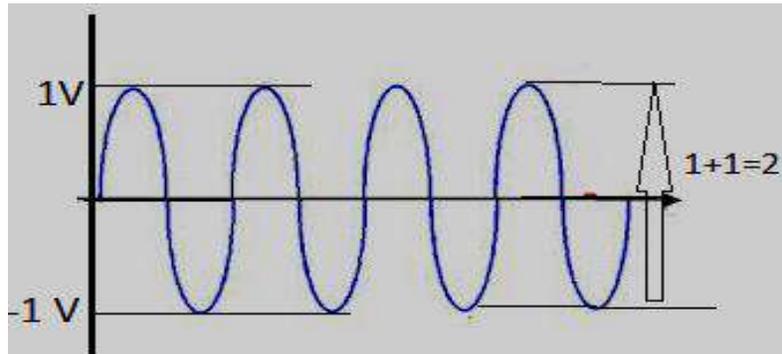
$$V_{out} = \left(\frac{R2}{R1}\right) * V_{in1}$$

$$V_{out} = \frac{300k}{3k} * 0.01V$$

$$V_{out} = 1V$$

Obtenido el valor de la ganancia se procede a graficar donde se tiene un valor de 1 Voltio negativo y positivo como se muestra en la figura 36.

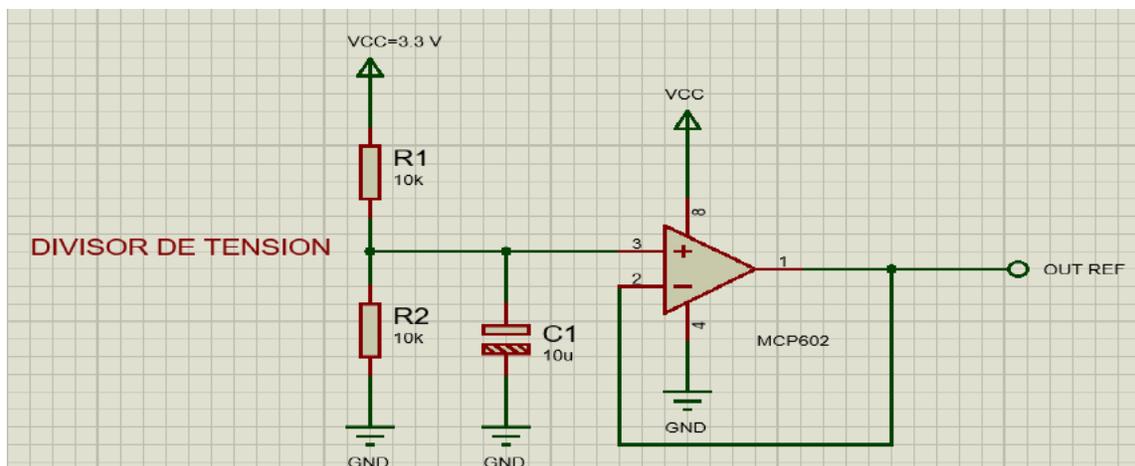
**Figura 36:** Valor Mínimo y Máximo



Fuente: Elaboración propia.

Observando que la salida es 1 Voltio, teniendo en cuenta que la onda alterna oscila entre valores positivos y valores negativos, se tuvo que acondicionar un circuito de voltaje offset, como se observa en la figura 37:

**Figura 37:** Circuito de voltaje offset



Fuente: Elaboración propia mediante software proteus.

La figura 37 se muestra un circuito, donde se puede subir el pedestal del voltaje, ya que se cuenta con valores negativos y positivos en la onda, la finalidad del circuito, es la obtención de valores positivos a la salida, así mismo consta de un divisor de tensión en el cual se obtiene un voltaje. Por otro lado, el amplificador operacional en configuración

seguidor de voltaje, permite ingresar un voltaje con una impedancia casi infinita, y teniendo como resultado el mismo voltaje, pero con una salida de corriente mayor.

Aplicando la fórmula de divisor de tensión:

$$V_o = V_{IN} * \frac{R_x}{R_x + R_y}$$

Donde:

$$V_{IN} = 3.3 \text{ V}$$

$$R_x = 10 \text{ K } \Omega$$

$$R_y = 10 \text{ K } \Omega$$

$$V_o = 3.3 \text{ V} * \frac{10 \text{ k}}{10 \text{ k} + 10 \text{ k}}$$

$$V_o = 1.65 \text{ Voltios}$$

#### 4.1.1.5 Cálculos de voltaje offset

El valor Offset resultó 1.65 Voltios, a este valor se le añade los valores máximos y valores mínimos, otorgándole un pedestal positivo para que trabaje en la ventana del microcontrolador Hércules.

$$V_{max} = 1 + 1.65$$

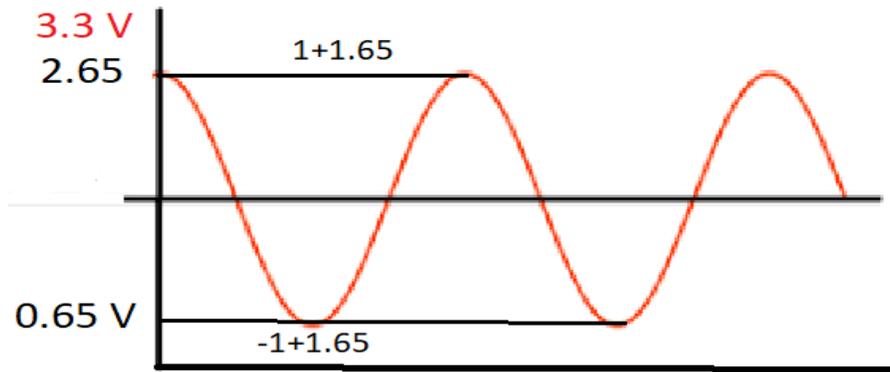
$$V_{max} = 2.65 \text{ V}$$

$$V_{min} = -1 + 1.65$$

$$V_{min} = 0.65 \text{ V}$$

Habiendo encontrado el valor máximo y mínimo, aplicando el voltaje offset, se muestra en la figura 38:

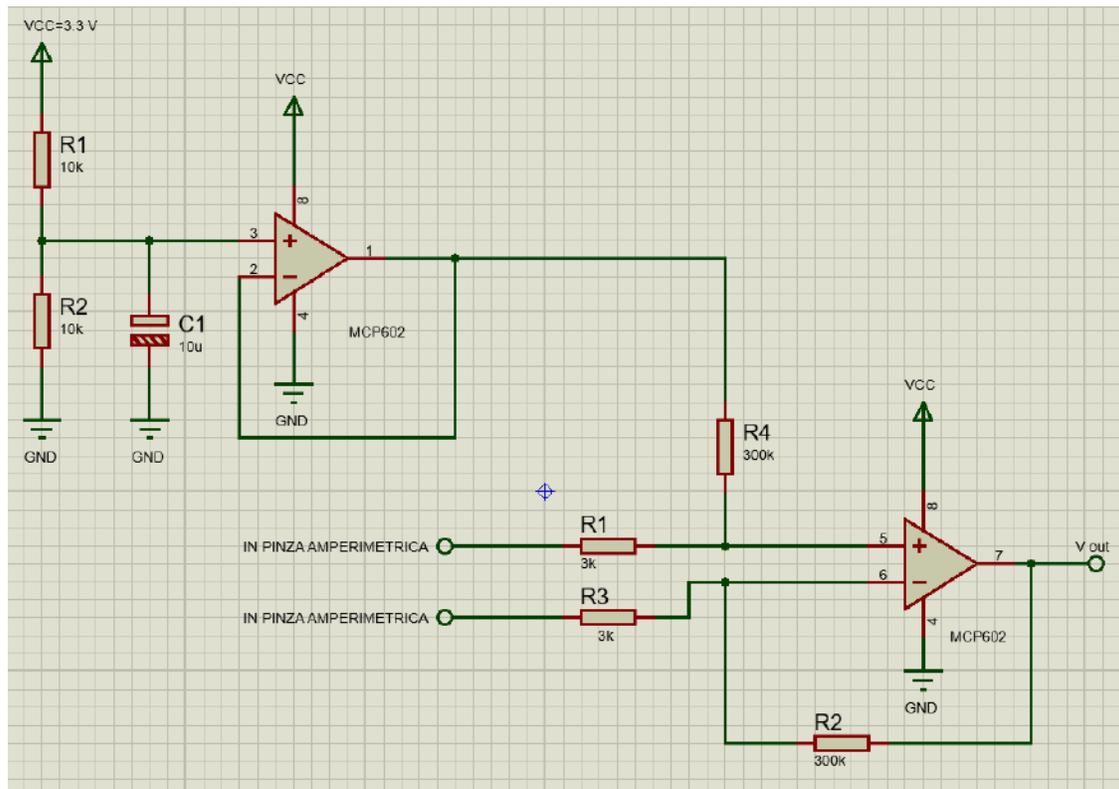
**Figura 38:** *Valores Máximos Y Mínimos*



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 39, se muestra el diagrama del circuito acondicionador de corriente, donde se observa la configuración de seguidor de voltaje y la de diferencial, ya explicadas anteriormente. También se observa el capacitor, siendo este un componente usado para la estabilidad del circuito.

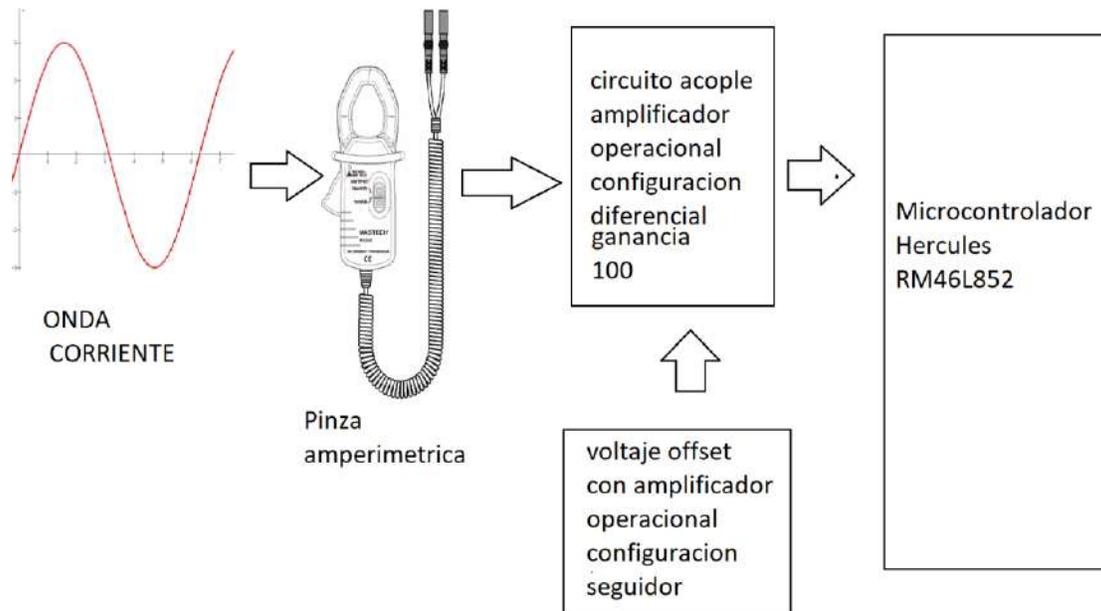
**Figura 39:** Circuito Acondionador de Corriente



Fuente: Elaboración propia mediante software proteus.

En la figura 40 se muestra el esquema del sensor de corriente que se divide en etapas. La primera etapa es donde entra la onda senoidal, la segunda etapa es el detector de dicha señal que consta de una pinza amperimétrica con un rango de sensibilidad de 1mV/A y de 10 mV/A, en el ejemplo se usó la sensibilidad de 1mV/A para de diseño, en la tercera etapa se tiene el circuito de acople que tiene una configuración diferencial que permite multiplicarlo por 100 el valor obtenido de la pinza amperimétrica, ya que la configuración de diferencial permite elegir dicha ganancia (con un juego de resistencias), como ya se mostró en los cálculos anteriormente. El único obstáculo que se tiene serían los valores positivos y negativos en dicha salida, la que se soluciona aumentando un circuito offset en un divisor de voltaje con la configuración de seguidor de voltaje la cual permite subir el pedestal del voltaje, y contar solo con valores positivos para el ingreso a la última etapa que corresponde al microcontrolador hércules RM46L852 en donde brinda una ventana de 0 a 3.3 Voltios en el conversor análogo digital del microcontrolador Hércules RM46L852.

**Figura 40:** Bloque de sensor de corriente



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.2 Sensor de Voltaje

Para el diseño del sensor de voltaje se utilizaron amplificadores operacionales en su configuración seguidor de voltaje, además se aplicó la ley de Ohm y reducción de resistencias donde las resistencias actúan como un divisor de voltaje, lo que permite reducir en 100 veces una señal sin alterar su fase.

En base a la gráfica, se cuenta con un voltaje AC de 220 Vrms y una frecuencia de 50 Hz. El principal inconveniente es que el microcontrolador trabaja en una ventana de 0 a 3.3 V. Para esto se usa reducción por resistencias, para bajar el voltaje y para los valores positivos y negativos del voltaje de compensación (Offset), para subir el péndulo y convertirlo en un voltaje positivo.

##### 4.1.2.1 Análisis de Sensor De Voltaje

Sabiendo:

$$V_{max} = V_{rms} * \sqrt{2}$$

Donde:

$V_{rms}$  = Es el voltaje en RMS de entrada al sensor

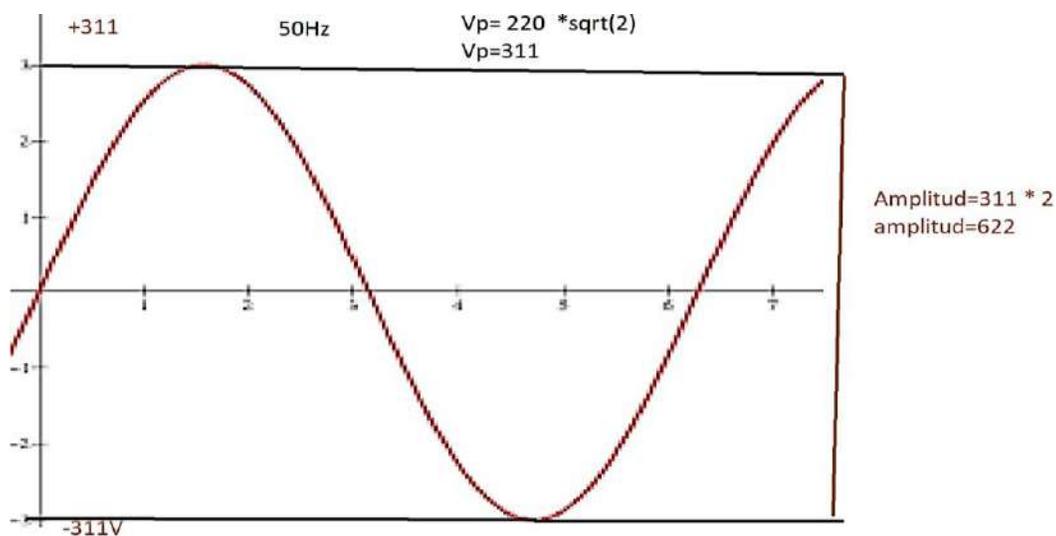
$V_{max}$  = Es el voltaje Máximo que ingresa al sensor de voltaje

$$V_{max} = 220 \times \sqrt{2}$$

$$V_{max} = 311.13 \text{ V}$$

Conociendo el voltaje RMS se procedió a calcular el voltaje, en la figura 41 se observa la forma de onda con el valor RMS y el voltaje pico.

**Figura 41:** Valor pico y amplitud de una señal eléctrica

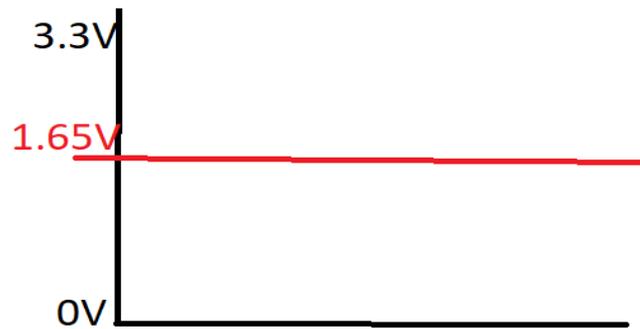


Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.2.2 Análisis en Voltaje Continuo

El objetivo es que la señal de potencia ya encontrada entre a una ventana de voltaje 0 a 3.3 Voltios, para poder realizar el acondicionamiento de la señal para tratarla con el microcontrolador Hércules. En la figura 42 se muestra la señal acondicionada del ADC del microcontrolador RM46L852 Hércules, el cual tiene una ventana de trabajo de 0 a 3.3 Voltios.

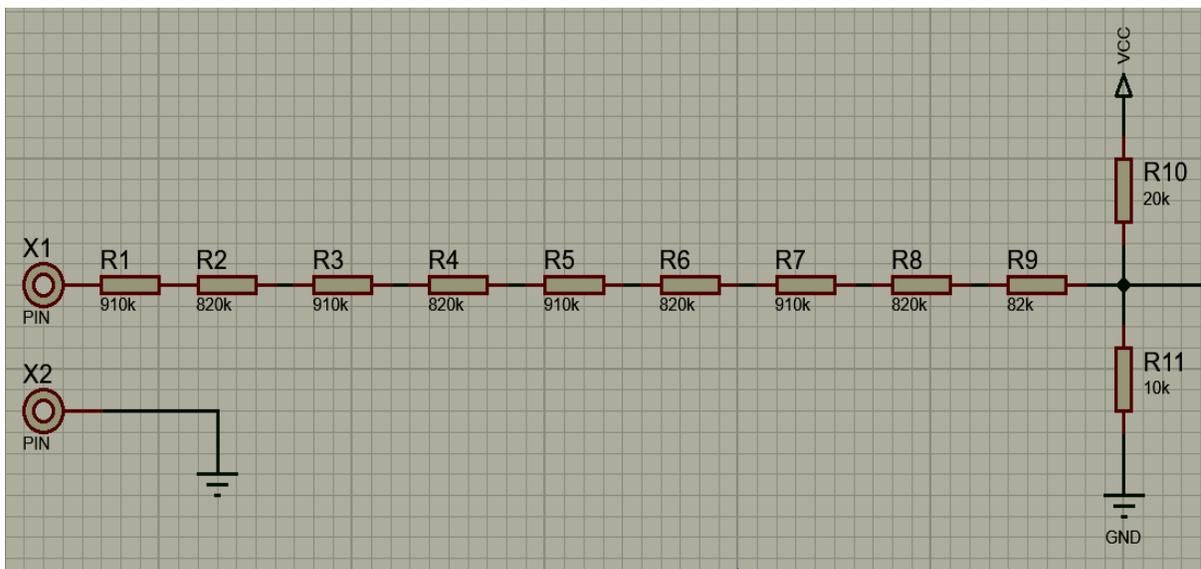
**Figura 42:** Señal acondicionada para el Microcontrolador Hércules



Fuente: Elaboración propia.

Para realizar el acondicionamiento se requiere hacer un análisis del circuito para el cálculo de atenuación, usando el divisor de tensión, como se muestra en la figura 43.

**Figura 43:** Divisor de Voltaje



Fuente: Elaboración propia mediante Software proteus.

Donde se tiene un divisor de voltaje:

Ecuación del divisor de voltaje:

$$V_{out} = V_{in} * \left( \frac{R_X}{R_X + R_Y} \right)$$

$$R_x = 10K\Omega$$

$$R_y = 7 M\Omega$$

Ecuación de la atenuación del sensor de Voltaje:

$$V_{out} = V_{in} * \left( \frac{10K}{10K + 7 M} \right)$$

$$Atenuacion = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{10K}{10K + 7 M}$$

$$Atenuacion = 1.4265 e^{-3}$$

#### 4.1.2.3 Cálculo de los Valores Max, Min y Rms:

Cálculo del valor Rms:

$$V_{rms} = 220 \times 1.426 e^{-3}$$

$$V_{rms} = 0.3138 V_{rms}$$

Cálculo del valor Máximo:

$$V_{max} = 311 \times 1.426 e^{-3}$$

$$V_{max} = -0.443 V_{rms}$$

Cálculo del valor Mínimo:

$$V_{min} = -311 \times 1.426 e^{-3}$$

$$V_{min} = -0.443 V_{rms}$$

En la figura 44 se observa el diagrama de bloques teniendo como punto de partida la onda senoidal con el valor pico obtenido. Asimismo, se muestra el circuito con la impedancia de  $7 \text{ M}\Omega$ . Obteniéndose la atenuación para así poder encontrar los valores máximos y mínimos.

**Figura 44:** Diagrama de Bloque de sensor de voltaje



Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvo una amplitud menor a 1 Voltio, persistiendo los valores de voltaje negativo y el microcontrolador Hércules no trabaja con valores negativos, ya que su ventana de trabajo analógico es de 0 a 3,3 Voltios, al voltaje obtenido se le suma un voltaje offset.

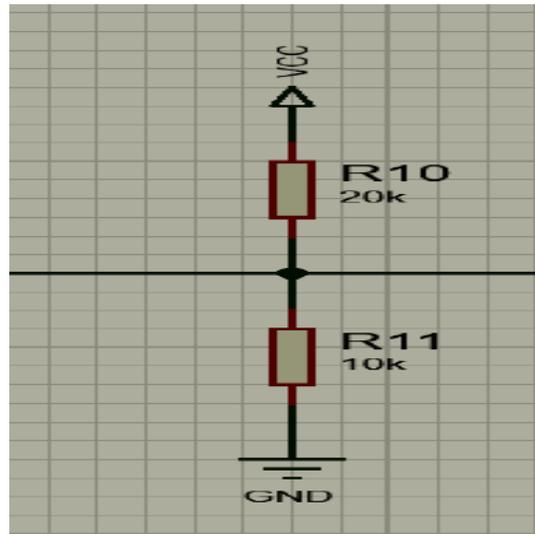
#### 4.1.2.4 Voltaje del Offset

El offset de una señal alterna se puede definir como el nivel de la señal continua que se suma a una señal alterna. Así, si la señal está centrada en el origen, se dice que el nivel de offset es 0. Si está desplazada hacia arriba, el offset es positivo, mientras que, si está desplazada hacia abajo, será negativo.

Mediante el mando de ajuste de offset se puede controlar el nivel de offset que se añade a la señal alterna. Si se gira en sentido horario se varía positivamente el offset, y en sentido antihorario negativamente.

En este caso se usa un circuito para aumentar de manera positiva a la onda del voltaje Offset, como se observa en la figura 45 del circuito que está en base al divisor de tensión como se muestra continuación:

**Figura 45:** Ajuste del Offset



Fuente: Elaboración propia mediante software proteus.

Donde:

Vcc: Voltaje de 3.3 V

R10: 20 K  $\Omega$

R11: 10 K  $\Omega$

Cálculo de la señal Offset para la entrada de voltaje alterno

$$V_{out} = V_{in} * \left( \frac{R_X}{R_X + R_Y} \right)$$

$$V_0 = 3.3 \times \frac{10K}{10K + 20K}$$

$$V_0 = 1.1 \text{ Voltio}$$

El valor Offset dio como resultado 1.1 Voltio, dicho valor será agregado al cálculo del valor máximo y valor mínimo y le da un pedestal positivo para que trabaje en la ventana del microcontrolador Hércules.

$$V_{max} = 0.44 + 1.1$$

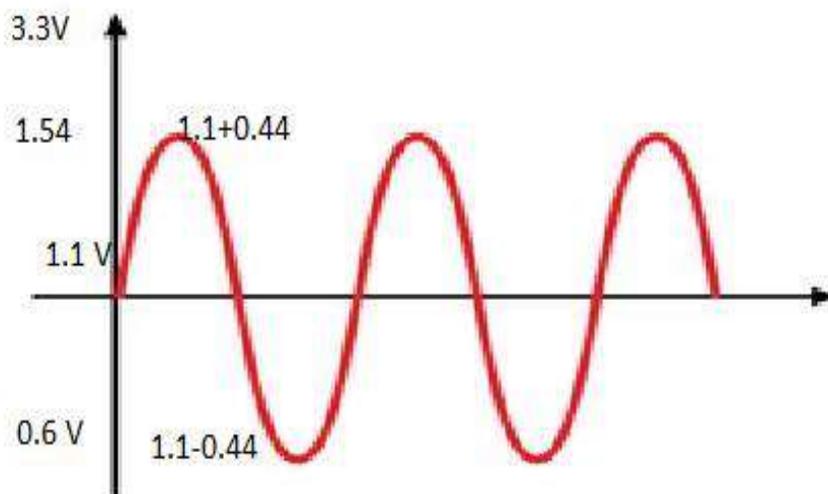
$$V_{max} = 1.54 \text{ V}$$

$$V_{min} = -0.44 + 1.1$$

$$V_{min} = 0.66 \text{ V}$$

Se agrega el valor de 1.1. Voltios a la señal análoga y le da un pedestal de subida, como se puede visualizar en la figura 46:

**Figura 46:** Onda senoidal con Voltaje Offset



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.2.5 Diseño del Sensor de Voltaje

El sensor de voltaje tiene como objetivo reducir la tensión de alta potencia a una tensión en la que se pueda trabajar en el conversor análogo digital del microcontrolador Hércules dicho rango oscila entre los valores de 0 a 3.3 Voltios. El rango de dicho conversor es determinado por el microcontrolador, cabe recalcar que cada microcontrolador tiene su propia ventana de trabajo.

Por norma, el analizador monofásico IEC 61850, el voltaje de entrada será 1 KV.

$$V_{Max} = V_{in_{Max}} \times \sqrt{2}$$

Donde:

$$V_{Max} = 1 \text{ K}V_{rms}.$$

Aplicando la ecuación

$$V_{max} = 1 \text{ KV} * \sqrt{2}$$

$$V_{Max} = 1414.2 \text{ Voltios}$$

Por razones de no trabajar en el límite del voltaje se selecciona para el diseño.

$$V_{Max} = 1.5 \text{ KV}$$

#### 4.1.2.6 Especificaciones Técnicas del diseño de sensor de voltaje.

$$V_{in} = 1.5 \text{ Kv}$$

$$V_o = 0 \text{ y } 3.3 \text{ V.}$$

Donde:

$$V_{in} = \text{Voltaje de entrada}$$

$$V_0 = \text{Voltaje de salida}$$

Donde  $V_{in}$ : Es la amplitud máxima del voltaje de entrada.

$$V_{in} = V_{rms} * \sqrt{2}$$

Aplicando la ecuación para obtener el voltaje pico:

$$V_{in} = 220 * \sqrt{2}$$

$$V_{in} = 311.13 \text{ Voltios}$$

Donde:

$$V_{in} = \text{Voltaje entrada pico}$$

$$V_{rms} = \text{Voltaje de entrada AC}$$

Y  $V_0$  es la amplitud máxima entre el Voltaje de fuente y el Voltaje offset deseado

$$V_0 = V_{cc} - V_{off}$$

Donde:

$$V_0 = \text{Amplitud maxima}$$

$$V_{cc} = \text{Voltaje de la fuente}$$

$$V_{off} = \text{Voltaje Offset}$$

Siendo  $V_{off} = 1.1$  Voltios (Valor que se selecciona de acuerdo al movimiento de la onda), aplicando la Ecuación:

$$V_o = V_{cc} - V_{off}$$

$$V_0 = 3.3V - 1.1V$$

$$V_0 = 2.2V$$

Al encontrar el valor de la amplitud máxima se usa el divisor de voltaje para encontrar la resistencia.

Donde  $R_y$  es la impedancia de entrada y  $R_x$  es la resistencia de carga.

$$V_0 = V_{in} * \frac{R_x}{R_x + R_y}$$

Donde:

$$V_0 = \text{Amplitud Maxima}$$

$V_{in}$  = Voltaje máximo

$$R_x = \text{Resistencia de carga}$$

$$R_y = \text{Impedancia de entrada}$$

$$2.2 = 1500 * \frac{R_x}{R_x + R_y}$$

Por ser diseño se escoge la resistencia de carga con un valor de  $R_x=10k\Omega$  y se reemplaza en la ecuación.

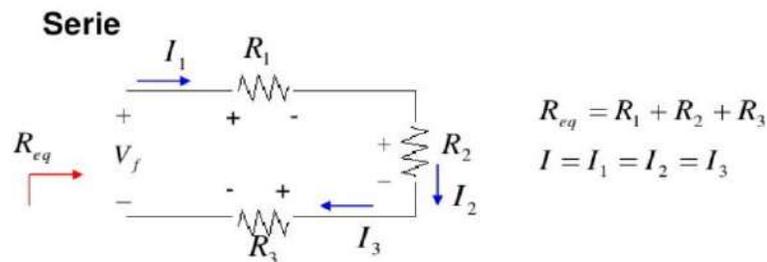
$$2.2 = 1500 * \frac{10k}{10k + R_y}$$

$$2.2 \times (10 K + R_y) = 1500 \times 10 K$$

$$R_y = 6.8 M\Omega$$

Donde la resistencia de entrada es reemplazada por una resistencia de 7 MΩ por seguridad de diseño. En la figura 47 se observa la fórmula de resistencias en serie, para así poder reemplazar la resistencia de 7 MΩ por 9 resistencias en serie, ya que la potencia para una sola resistencia conllevaría a problemas futuros. Calculando los valores comerciales para que sumadas dichas resistencias da el valor de 7 MΩ.

**Figura 47:** Formula resistencia en Serie



Fuente: <https://acortar.link/yL6cVF>.

Donde:

$$R1 = 910 K \Omega.$$

$$R2 = 620 K \Omega.$$

$$R3 = 910 K \Omega.$$

$$R4 = 820 K \Omega.$$

$$R5 = 910 K \Omega.$$

$$R6 = 820 K \Omega.$$

$$R7 = 910 K \Omega.$$

$$R8 = 820 K \Omega.$$

$$R9 = 82 K \Omega.$$

Aplicando la Fórmula de Resistencia en Serie:

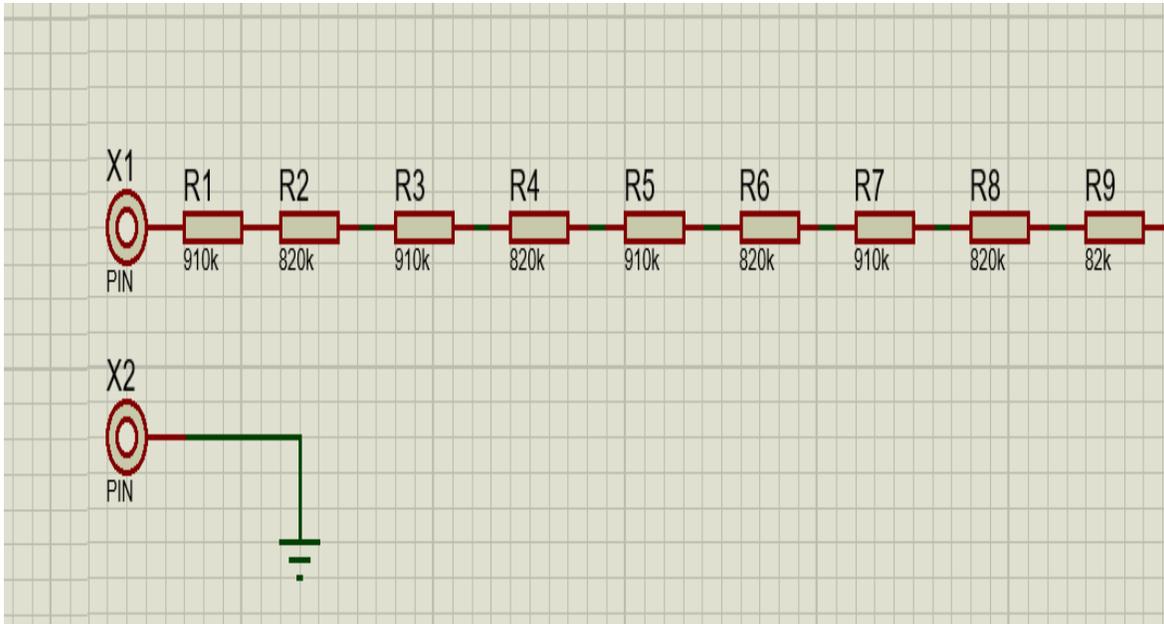
$$R_{total} = R1 + R2 + R3 + R4 + R5 + R6 + R7 + R8 + R9$$

$$R_{total} = 91 K + 620 K + 910 K + 820 K + 910 K + 820 K + 910 K + 820 K + 82 K$$

$$R_{total} = 7 M\Omega.$$

En la figura 48 se observa los valores de las 9 resistencias.

**Figura 48:** Resistencias en Serie



Fuente: Elaboración propia mediante software proteus.

Teniendo dimensionadas las 9 resistencias a utilizar, se procede a escoger de que potencia serán dichas resistencias. Por lo tanto, se utiliza la fórmula de Ley de Ohm.

#### 4.1.2.7 Cálculo de la Distribución de Potencia

Para encontrar la potencia primero se debe encontrar el valor de la corriente:

$$I = \frac{V}{Z}$$

$$I = \frac{1500}{7M\Omega}$$

$$I = 0.214 \text{ mA}$$

Donde:

I = Corriente.

V= Voltaje.

Z = impedancia (resistencia).

#### 4.1.2.8 Calculo de Potencia de la Resistencia

Una vez encontrada la corriente se procede a encontrar la potencia, empleando la ley de Watts.

$$P = I^2 * R$$

$$P = 0.000214^2 * 7000000$$

$$P = 0.32 \text{ Watts}$$

Donde:

P= Potencia.

I = corriente.

R = Resistencia.

Por los estándares de las resistencias, se tomaría una resistencia de 0.5 Watts según lo calculado bajo el criterio de diseño, realmente podría trabajar una resistencia de  $7M\Omega$  a un voltaje de 1500 Voltios. El voltaje es muy elevado, por lo que se llega a la conclusión que dicha resistencia es mejor distribuirla para que así la potencia sea menor, entonces se calcula la potencia entre el número de resistencias.

$$Pr = P/N_r$$

Donde:

Pr = Potencia por resistencia (según diseño serán 9).

P = Potencia.

N<sub>r</sub> = Número de resistencias.

$$Pr = 0.32/9$$

$$Pr = 0.035 \text{ Watts}$$

Obtenido la potencia de 0.035 Watts que será para cada resistencia.

Se deben seleccionar 9 resistencias de 1/8 W

$$0.125 \text{ Watt} \gg 0.035 \text{ watts}$$

$$P_{max} = 0.049 \text{ Watts} \ll 0.125$$

Análisis

$$I = V/Z$$

Z: Es la impedancia de entrada del circuito sensor de voltaje

V: es el voltaje en RMS de entrada al sensor

I: Corriente de entrada del sensor de voltaje

Z=7 M Ω >> Esta impedancia de entrada de tu sensor de voltaje

$$I = V/Z$$

$$I = 220V_{rms}/7M\Omega$$

$$I = 31.42\mu A_{rms}$$

#### 4.1.2.9 Análisis de la etapa en continua

El objetivo es acondicionar la señal de potencia en una señal tratable por el microcontrolador, en una ventana de voltaje de 0 a 3.3v.

Ecuación de la Atenuación del Sensor de Voltaje:

$$V_o = V_{in} * \frac{10k\Omega}{10k\Omega + 7M\Omega}$$

Donde:

$$V_o = \textit{Amplitud maxima}$$

$$V_{in} = \textit{Voltaje de entrada}$$

Los valores son reemplazados en la siguiente fórmula para así poder encontrar la Atenuación.

$$\textit{Atenuacion} = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{10k\Omega}{10k\Omega + 7M\Omega}$$

$$\textit{Atenuacion} = 1.4265e^{-3}$$

Encontrada la atenuación del voltaje se procede a multiplicar por voltaje máximo, mínimo y RMS.

#### 4.1.2.10 Cálculo de los valores máximo, mínimo y rms.

Cálculo del valor  $V_{o_{rms}}$

$$V_{o_{rms}} = V_{in_{rms}} \times \textit{Atenuacion}$$

$$V_{o_{rms}} = 220 * 1.4265e^{-3}$$

$$V_{o_{rms}} = 0.3138$$

Cálculo del valor  $v_{o_{Max}}$

$$V_{o_{max}} = V_{in_{Max}} \times \text{Atenuacion}$$

$$V_{o_{max}} = 311 * 1.4265e^{-3}$$

$$V_{o_{max}} = 0.443$$

Cálculo del valor  $v_{o_{min}}$

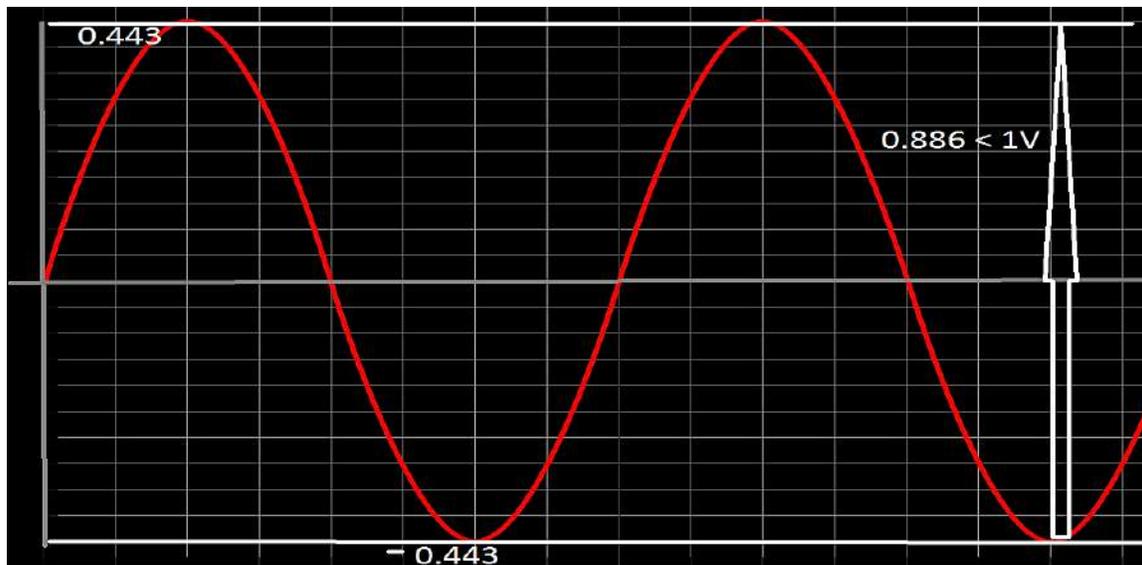
$$V_{o_{max}} = -V_{in_{Max}} \times \text{Atenuacion}$$

$$V_{o_{max}} = -311 * 1.4265e^{-3}$$

$$V_{o_{min}} = -0.443$$

En la figura 49 se puede observar los valores máximos y su amplitud es menor a 1 V:

**Figura 49:** Valores Mínimos y Máximos



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.2.11 Cálculo de la Señal Offset Para la Entrada de Voltaje Alterno

Luego de obtener los resultados se observa que los valores son negativos, y la ventana ADC del microcontrolador, trabaja con valores positivos por ende se usa un offset para así poder subir el pedestal a valores netamente positivos.

$$V_o = 3.3 * \frac{10k}{10k + 20k}$$

$$V_o = 1.1 \text{ Voltios}$$

Se agrega el 1.1 voltios a la señal análoga y le da un pedestal de subida de voltaje.

$$V_{max} = V_o + V_{o_{max}}$$

$$V_{max} = 0.443 + 11$$

$$V_{max} = 1.54 \text{ Voltios}$$

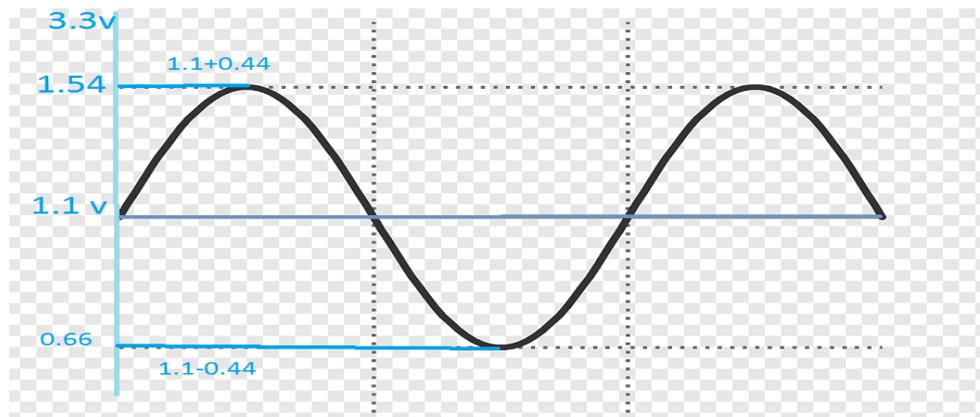
$$V_{min} = V_o + V_{o_{min}}$$

$$V_{min} = 1.1 - 0.4433$$

$$V_{min} = 0.66 \text{ Voltios}$$

Se realiza la gráfica con los valores mínimos y máximos encontrados como se observa en la figura 50.

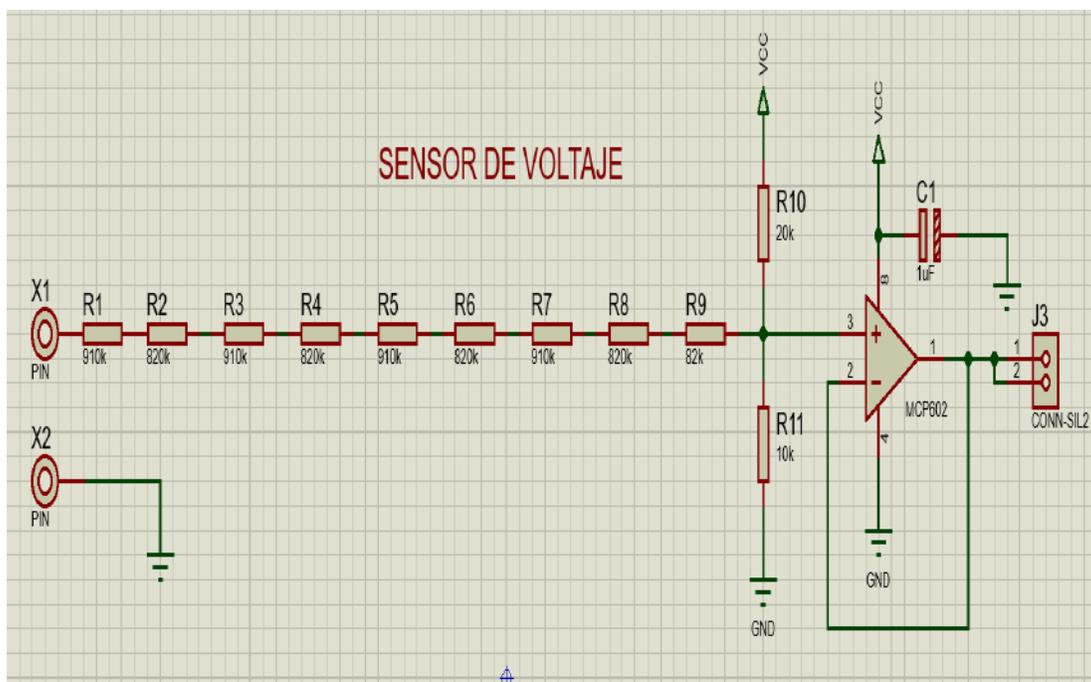
**Figura 50:** Valores Mínimo y Máximo



Fuente: Elaboración propia.

En figura 51, se muestra el diagrama del sensor de voltaje donde se puede observar el capacitor que le da estabilidad al circuito, de la misma manera se observa el amplificador operacional en su configuración seguidor de voltaje, también se observa las 9 resistencias que da un valor de 7 M $\Omega$ .

**Figura 51:** Circuito Sensor de Voltaje



Fuente: Elaboración propia con software proteus.

En la figura 52 se puede observar el circuito del sensor de voltaje ya montado en la placa electrónica, donde se observa las resistencias SMD como el amplificador operacional SMD.

**Figura 52:** Placa electrónica Sensor de voltaje

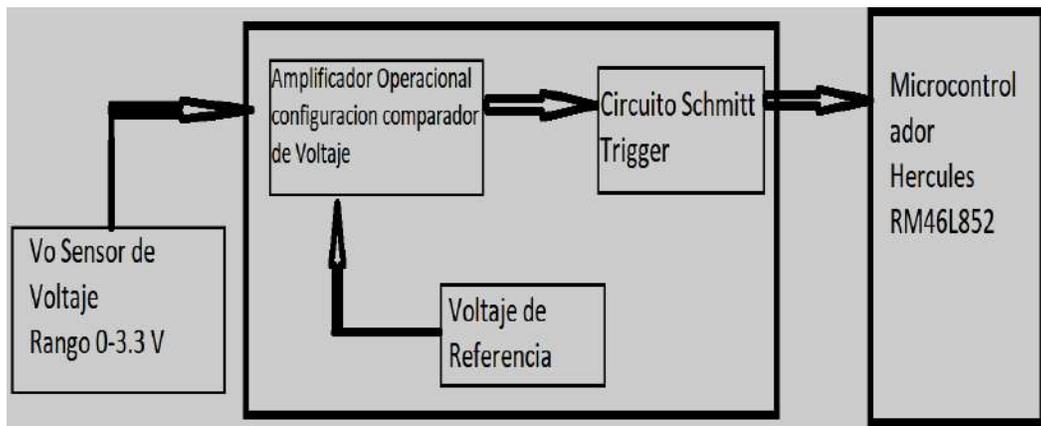


Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.3 Sensor de frecuencia

En la figura 53 se observa el diagrama de bloques del circuito de frecuencia. Dicho diagrama mostrado tiene como función tomar la señal de voltaje sensado por el divisor resistivo, y compararlo con una señal de referencia, para obtener una señal cuadrada con la misma frecuencia que tiene la señal de voltaje de línea.

**Figura 53:** Diagrama de Bloques del Circuito Sensor de Frecuencia

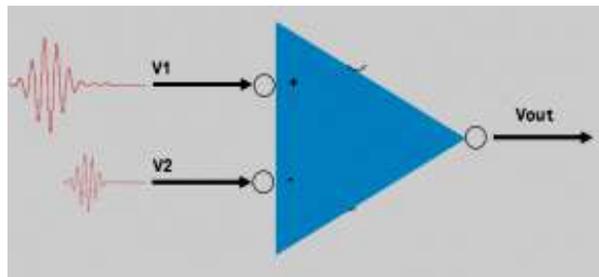


Fuente: Elaboración propia.

### 4.1.3.1 Comparador de voltaje

El amplificador operacional en su configuración comparador de voltaje permite comparar dos señales y de la misma manera determinar un nivel de voltaje mayor a la otra como se muestra en la figura 54.

**Figura 54:** Comparador de Voltaje.



Fuente: <https://acortar.link/qOWcjlw>

### 4.1.3.2 Circuito Schmitt Trigger

La salida del comparador de voltaje entrega una señal cuadrada no definida con ruido, por lo cual se tiene que hacer pasar dicha señal por un juego de compuertas Schmitt Trigger, con el objetivo de obtener una señal cuadrada bien definida manteniendo la frecuencia de dicha señal analógica original, en donde se tiene una alimentación de voltaje que oscila entre los 2 a 6 Vcc, y cuenta con 6 compuertas de negación.

### 4.1.3.3 Dispositivos seleccionados

#### 4.1.3.3.1 74HC14 Compuerta NOT

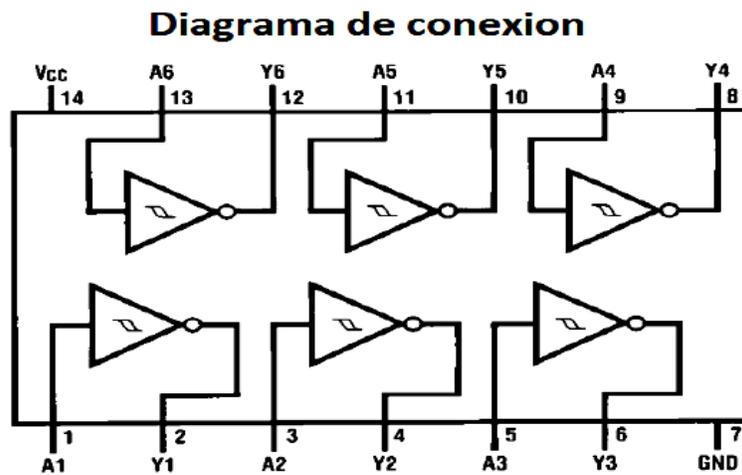
Para el circuito Schmitt trigger se utilizará el circuito integrado 74hc14 de la familia Cmos, que cuenta con seis inversores. La histéresis de sus entradas incrementa la inmunidad al ruido y elimina el cambio brusco de fase y frecuencia.

Su función principal es recuperar señales de onda cuadrada que se deforman, teniendo las siguientes características:

- Voltaje de salida: 0 Vcc
- Número de compuertas: 6 compuertas inversoras
- Voltaje de alimentación: 2 Vcc a 6 Vcc
- Rango de temperatura de operación:  $-40^{\circ}$  a  $+85^{\circ}$
- Rango de temperatura de almacenamiento:  $-65^{\circ}$  a  $+150^{\circ}$

En la figura 55 se muestra el esquema de la compuerta 74HC14 donde se puede apreciar los pines de alimentación como los pines de entrada y salida, de igual manera se representa en una tabla los valores de entrada y salida de dicha compuerta.

**Figura 55:** Circuito Schmitt Trigger.



Fuente: <http://es.datasheetq.com/datasheet-download/78299/1/Fairchild/74HC1>

**Tabla 2:** Estados Lógicos

ENTRADA	SALIDA
A	Y
0	1
1	0

Fuente: Elaboración propia

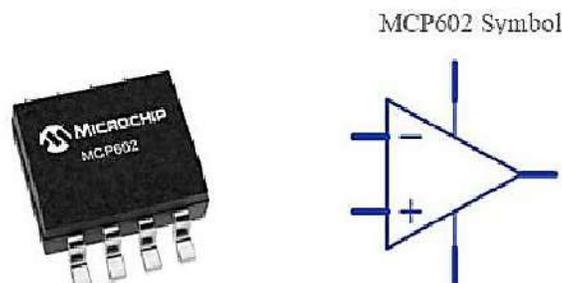
#### 4.1.3.3.2 MCP6022

El circuito integrado MCP6022, es utilizado en la configuración comparador de voltaje, también usado en la configuración seguidor de voltaje,

El circuito MCP602 tiene un producto ancho de banda de ganancia de 2.8 MHz con una corriente operativa baja de 230  $\mu\text{A}$ , y tiene una operación de alta velocidad y una oscilación de salida rail to rail, que significa que el mismo voltaje de entrada será el que se obtiene en la salida, no tiene caída de tensión como los demás amplificadores operaciones. Teniendo una corriente de salida o suministro de 30 mA, siendo su suministro de voltaje de 2.7 V a 5.5 Voltios. Tiene un rango de temperatura de trabajo de  $-40^\circ$  a  $+85$ . Su velocidad de respuesta es de 2.3 V/ $\mu\text{s}$ .

En la figura 56 se observa el componente MCP6022 en SMD como su diagrama, del mismo dicho componente se alimenta con voltaje DC, en comparación a otros amplificadores operacionales como el LM324 que requiere una alimentación simétrica.

**Figura 56:** Esquema MCP6022

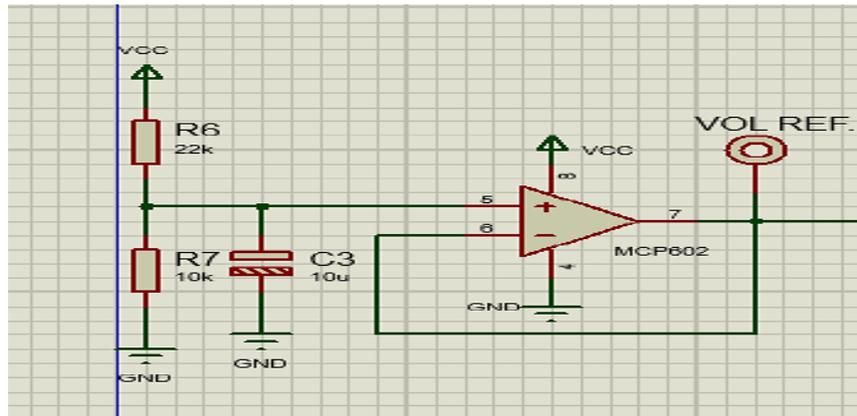


Fuente: <https://acortar.link/2smgdA>

#### 4.1.3.3.3 Cálculos en la Etapa de Divisor de Voltaje

En la figura 57 se muestra la etapa de divisor de voltaje, donde se muestran los cálculos, el valor obtenido ingresa al amplificador operacional en la configuración de seguidor, que el voltaje que ingresa al amplificador operacional sea el mismo en la salida y dicho amplificador tiene la característica de rail to rail.

**Figura 57:** Etapa Divisor de Tensión del Sensor de Frecuencia



Fuente: Elaboración propia mediante Software Proteus.

Se aplica divisor de voltaje para la siguiente etapa del circuito teniendo la siguiente fórmula.

$$V_0 = V_{in} * \frac{R_7}{R_7 + R_6}$$

Donde:

$$V_{in} = 3.3 \text{ V}$$

$$R_6 = 10 \text{ K}\Omega$$

$$R_7 = 22 \text{ K}\Omega$$

Aplicando la formula:

$$V_0 = 3.3 \text{ V} * \frac{10\text{K}\Omega}{10\text{K}\Omega + 22\text{K}\Omega}$$

$$V_0 = 1.031 \text{ V}$$

Para encontrar la corriente del circuito se hace uso de la siguiente fórmula:

$$I = \frac{V_{in}}{R_6 + R_7}$$

$$I = \frac{3.3}{10k\Omega + 22k\Omega}$$

$$I = 103.12 \mu A$$

El amplificador operacional tiene una alta impedancia de entrada que es casi infinito; la corriente encontrada es la que ingresa al amplificador operacional y dicho valor es de 103  $\mu A$ , y el conversor análogo digital del microcontrolador no la reconocerá, allí es donde el amplificador operacional MCP602, que es rail to rail, cuenta con la característica que, si a su salida se le exige mayor corriente, dicho amplificador operacional podrá suministrarla logrando así estabilizar la señal

#### ***4.1.3.3.4 Cálculos de Filtro Pasa Bajo BUTTERWOTH***

Es un filtro de ganancia unitaria, donde R1 y R2 son resistencias iguales, de la misma manera R3 y R4, asimismo C1 tiene que ser mayor a C2, donde se puede calcular la frecuencia de corte. El filtro se usa porque en el campo no existe condiciones ideales, una señal ideal sería:

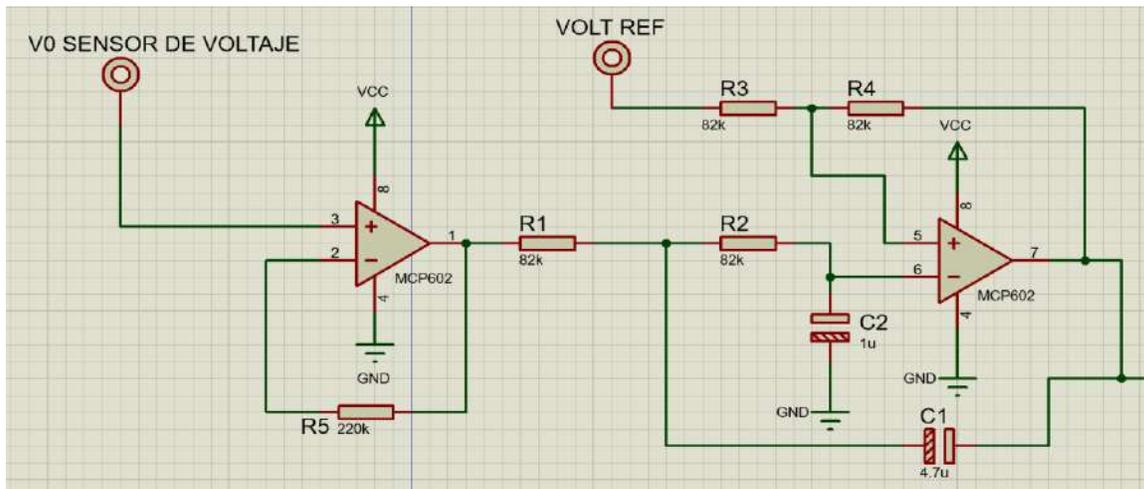
$$V(t) = 220\sin(\omega t)$$

En la realidad se tiene la señal de:

$$V(t) = 220 \sin(\omega t) + 1 \sin(3\omega t) + 0.85 \sin(5\omega t) + 0.05 \sin(7\omega t) + 0.001 \sin(21\omega t)$$

A la salida del filtro elimina el ruido y se tiene una señal ideal, en la figura 58 se muestra el circuito del filtro.

**Figura 58:** Etapa de Filtro Pasa Bajo del Sensor de Frecuencia



Fuente: Elaboración propia mediante Software Proteus.

Donde:

$$C1 = 4.7 \mu F$$

$$C2 = 1 \mu F$$

$$R1 = 82 \text{ K}\Omega$$

$$R2 = 82 \text{ K}\Omega$$

Usando la fórmula de Frecuencia de Corte:

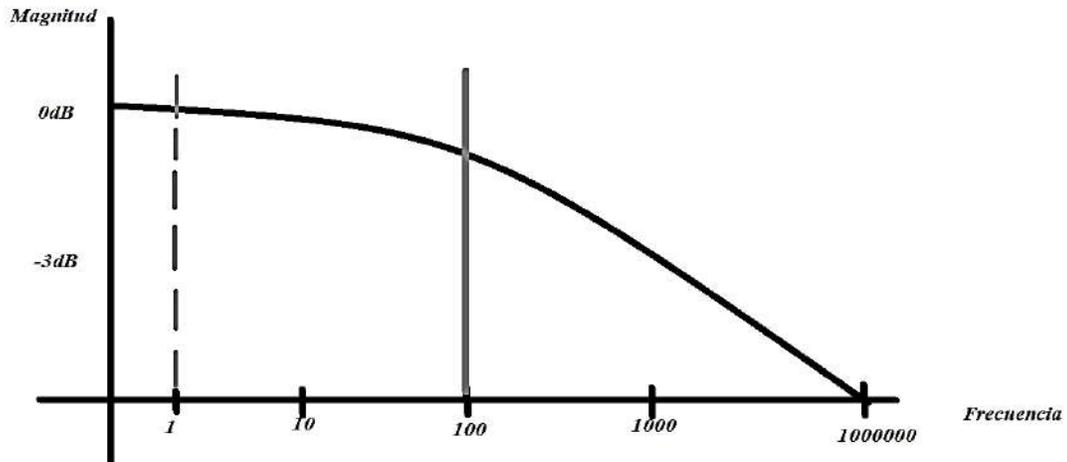
$$F_c = \frac{\sqrt{2}}{4\pi I * R1C2}$$

$$F_c = \frac{\sqrt{2}}{4\pi I * 82K * 1\mu F}$$

$$F_c = 1.37 \text{ Hz}$$

Usando diagrama de Bode; en 0 dB no existe atenuación. Para que una señal se considere atenuada o afectada tiene que ser menor a -3 dB, en dicho valor se verán cambios en la forma de onda que sale de un filtro, en la figura 59 se muestra el filtro de primer grado.

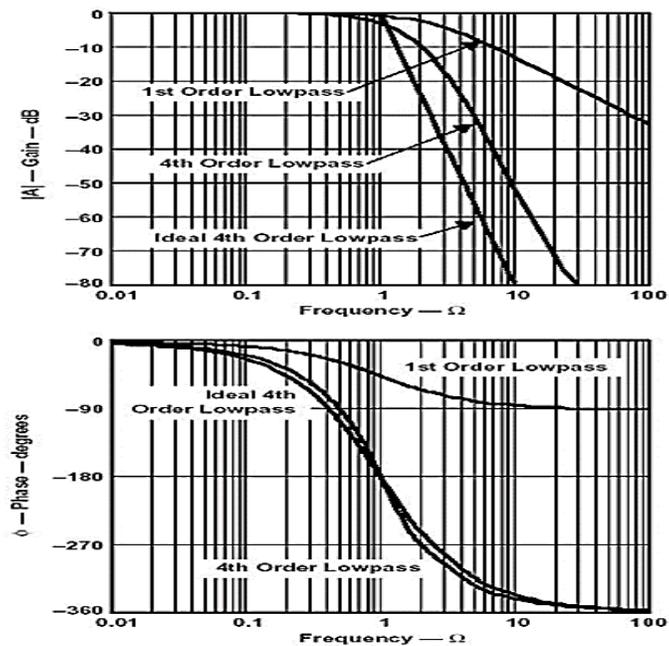
**Figura 59:** Filtro de Primer Grado



Fuente: Elaboración propia.

El filtro está diseñado a 1.37 Hz, pero es eficiente a los 100 Hz por ser un filtro de primer orden, en la figura 60 se puede observar filtros de primer orden, segundo orden, tercer orden y cuarto orden, al ser un filtro mayor la caída será más rápida.

**Figura 60:** Curva de Filtros de 1,2,3 y 4 orden



Fuente: <https://acortar.link/C9dR8>

#### 4.1.3.3.5 Cálculos en la Etapa de Comparador

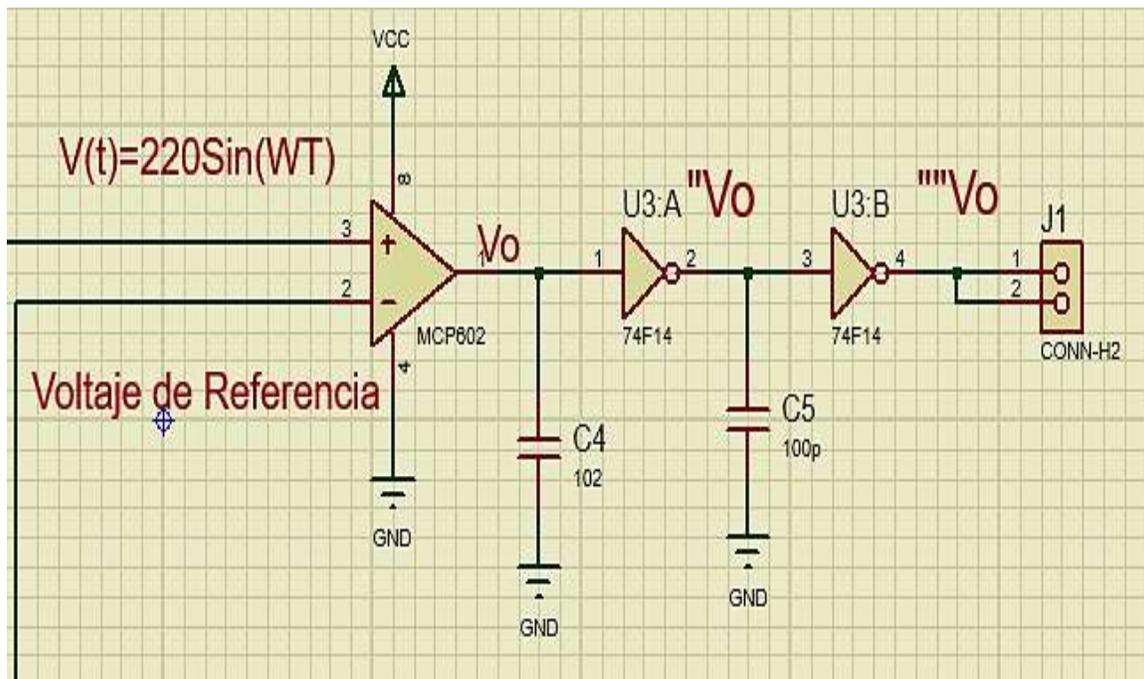
Las señales en la configuración del Comparador tienen la siguiente salida del amplificador operacional:

$V_o = V(t) = 220 \sin(\omega t) > \text{Voltaje de Referencia}$  entonces su valor será 1 (3.3 Voltios)

$V_o = V(t) = 220 \sin(\omega t) < \text{Voltaje de Referencia}$  entonces su valor será 0 (0 Voltios)

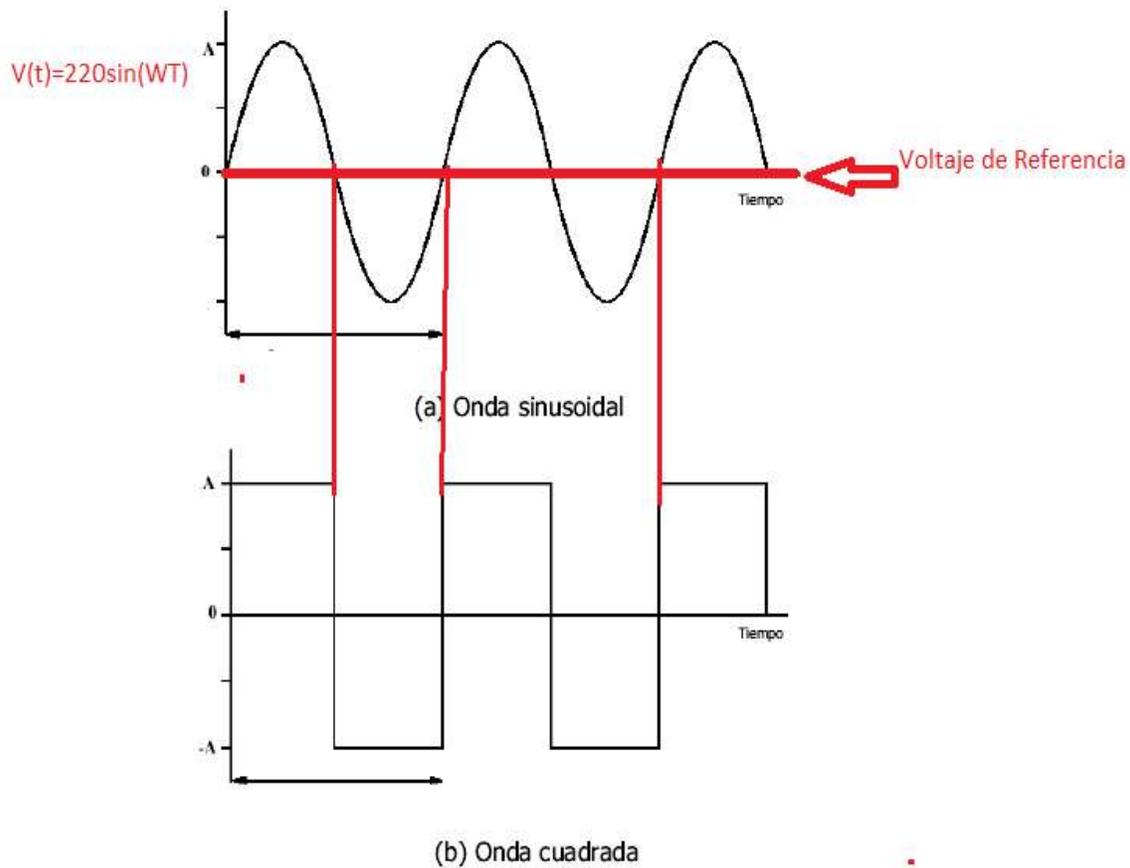
En la figura 61 se observa dichas señales que ingresan al amplificador operacional en su configuración comparador.

**Figura 61:** Etapa comparador de voltaje del Sensor de Frecuencia



Fuente: Elaboración propia mediante software proteus.

**Figura 62:** Cruce por Cero Del sensor de Frecuencia



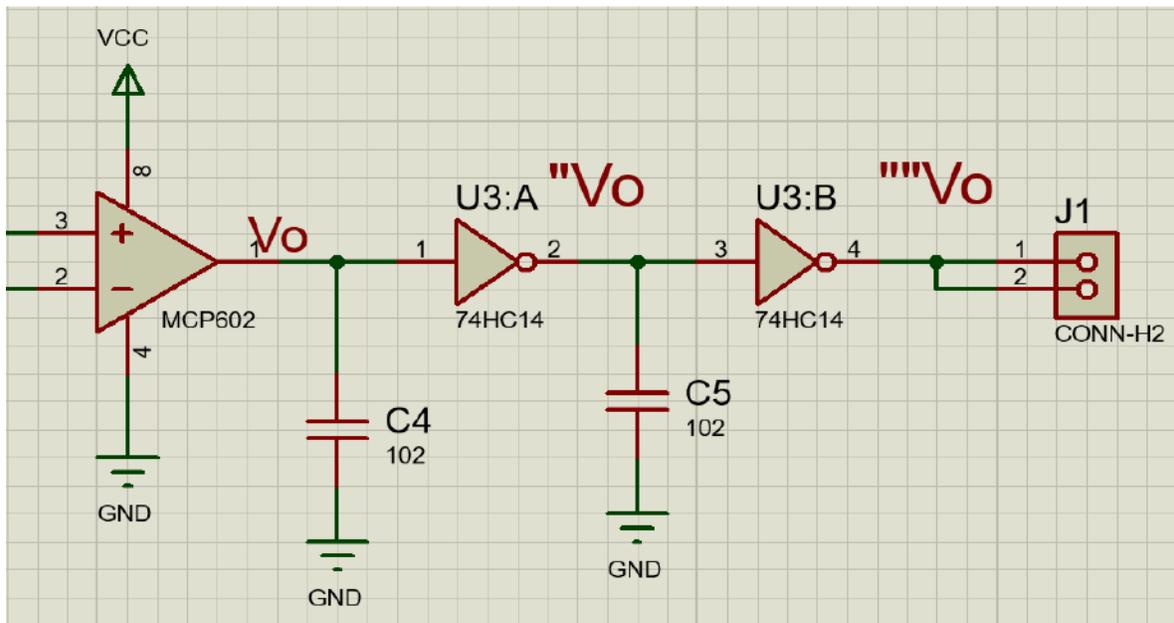
Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la figura 62, cuando la onda sinusoidal esté en el valor positivo, su valor será de 1 (3.3 Voltios), mientras este en el valor negativo su valor será de 0 (0 Voltios).

#### ***4.1.3.3.6 Cálculos en la Etapa de Schmitt Trigger***

La salida  $V_o$  usa dos compuertas lógicas negador 74HC14, cuando es doble negación la salida es una afirmación. Se tiene como finalidad el uso del integrado 74HC14 ya que cuenta con una característica que es el Schmitt Trigger que tiene como funcionalidad eliminar ruido. En la figura 63 se observa la salida  $V_o$  como su doble negación.

**Figura 63:** Schmitt Trigger sensor de Frecuencia

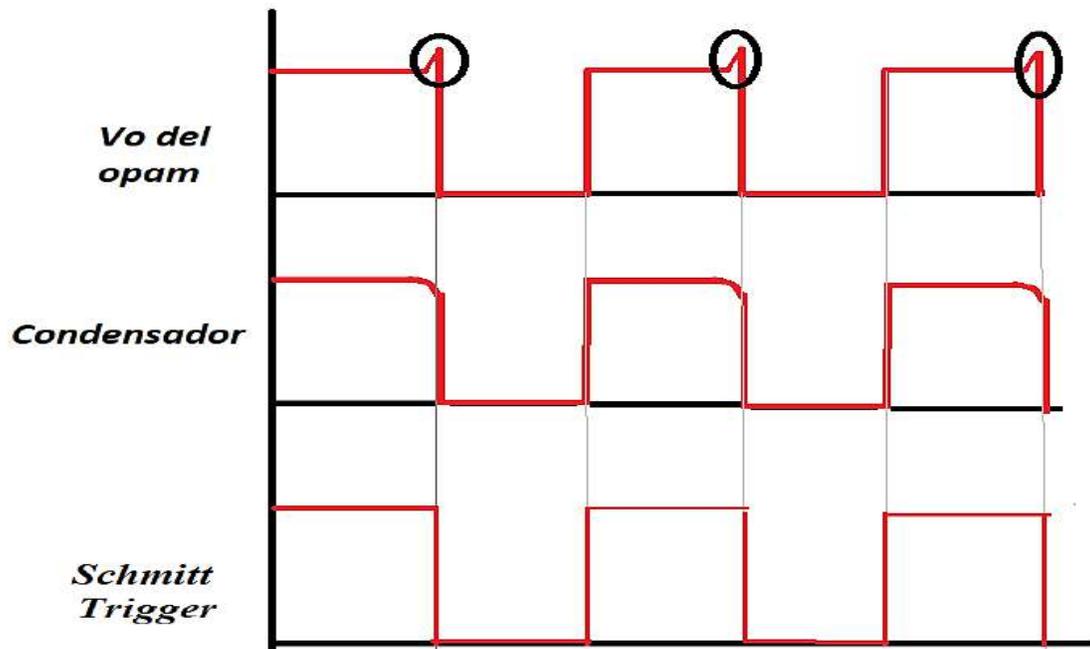


Fuente: Elaboración propia mediante software proteus.

El condensador actúa como un filtro de ruido ya que la señal entra con rizado y el condensador lo atenúa para tener una señal cuadrada para que el microcontrolador no haga falsas lecturas, en la figura 64 se puede observar lo siguiente:

- La primera onda de la salida del amplificador operacional  $V_o$ , muestra la onda con rizado y el microcontrolador es sensible y a dichos rizados lo contara como frecuencia.
- Para eliminar el rizado se usa el condensador, la onda es curvada del condensador.
- El Schmitt trigger, proporciona una onda cuadrada.
- Este proceso se realiza dos veces y como resultado se obtiene una onda perfectamente cuadrada en la frecuencia de 60 Hz y esa señal ingresa al microcontrolador por su módulo HET que mide el tiempo.

**Figura 64:** Lecturas sensor de Frecuencia



Fuente: Elaboración propia.

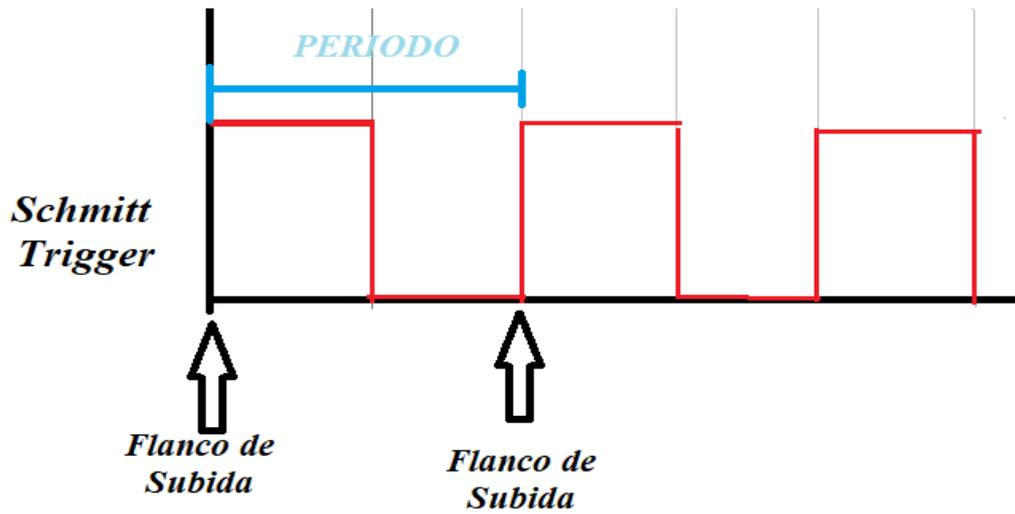
#### 4.1.3.3.7 Módulo HET

Funciona utilizando el periodo de la señal, es decir, inicia con un flanco de subida y termina con otro flanco de subida y cuenta con las siguientes características:

- Detecta el flanco de subida.
- Enciende un temporizador interno en Microsegundos.
- Espera otro flanco de subida para detener y captura el valor del temporizador.

En la figura 65 se observa los flancos de subida como el periodo.

Figura 65: Flanco de subida



Fuente: Elaboración propia.

Para encontrar el periodo se usa la siguiente fórmula:

$$T = \frac{1}{F}$$

Donde:

F: Frecuencia

T: Periodo

Utilizando la formula:

$$T = \frac{1}{50}$$

$$T = 20000 \text{ microsegundos}$$

Teniendo el periodo se puede encontrar la Frecuencia:

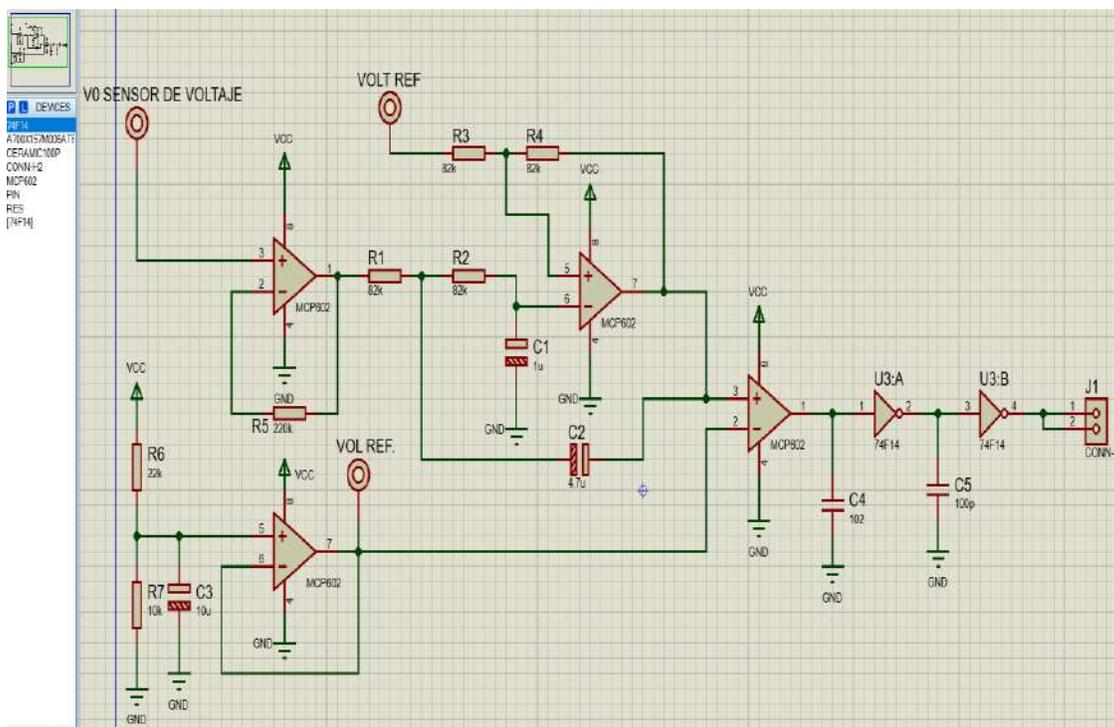
$$F = \frac{1}{T}$$

$$F = \frac{1}{20000E - 6}$$

$$F = 50 \text{ Hz}$$

En la figura 66 se observa el circuito de sensor de frecuencias con todas las partes ya mencionadas.

**Figura 66:** Circuito sensor de frecuencia



Fuente: Elaboración propia mediante software proteus.

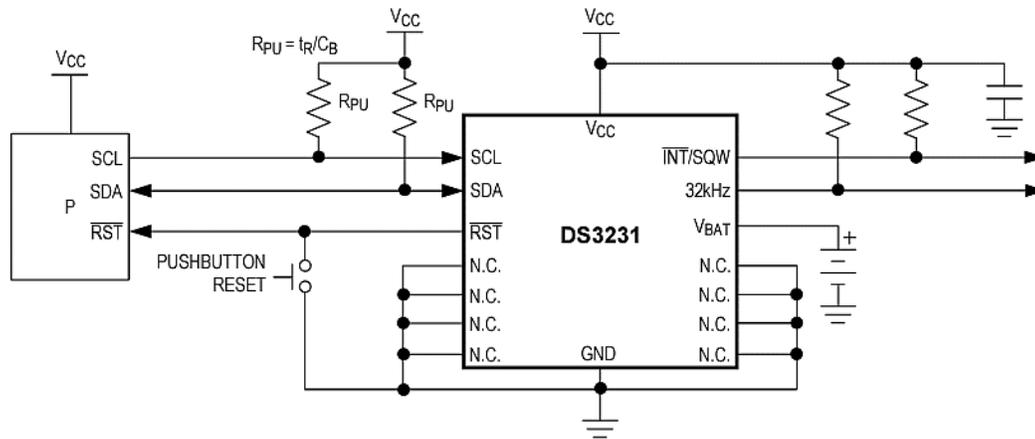
#### 4.1.4 Diseño de la Etapa Digital

##### 4.1.4.1 Reloj en Tiempo Real DS3132 RTC.

El reloj en tiempo real cuenta segundos, minutos, hora, fecha del mes, día de la semana, tiene una RAM no volátil de 56 bytes para almacenamiento de datos, cuenta con una interfaz serie de dos hilos. El bus I<sup>2</sup>C, es un estándar que facilita la comunicación entre

microcontroladores, memorias y otros dispositivos. Solo requiere dos líneas de señal, gnd y un común, permitiendo el intercambio de información entre muchos dispositivos a una velocidad de 100 Kb por segundo, en caso de los Reloj llega a una velocidad de 3.4 MHz. En la figura 67 se muestra el diagrama de bloques del Reloj en tiempo real.

**Figura 67:** Diagrama de Bloques Interno



Fuente: <https://acortar.link/LJqAyK>.

**SDA:** Entrada y salida de datos en serie, es el pin de entrada salida para la interfaz en serie de dos hilos.

**SCL:** Entrada de reloj en Serie, se utiliza para sincronizar el movimiento de datos en la interfaz serie.

**SQW/OUT:** Controlador de salida/ onda cuadrada

**X1, X2:** Conexiones para el cristal de cuarzo estándar de 32.768 kHz

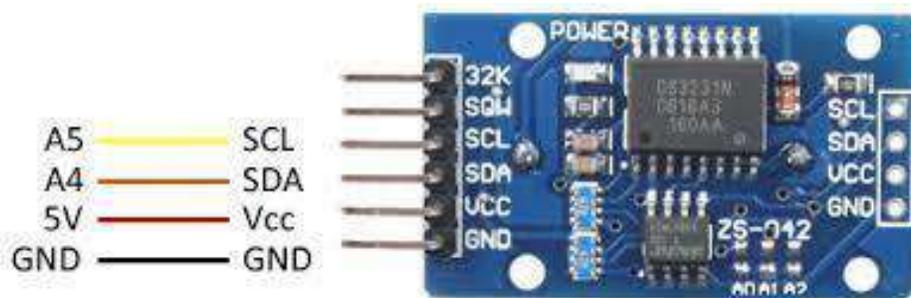
#### **4.1.4.1.1 Características del reloj en tiempo real:**

- Voltaje de operación: +3 Voltios.
- Rango de Temperatura: -40° C a +85° C.
- RAM de almacenamiento: 56 x 8.
- Consumo de Corriente: 500 nA.

- Almacenamiento interno: 56 bytes de RAM no volátil.
- Conexión de Cristal: 32.768 kHz.
- Duración de Batería: Batería litio de 48 mA Respalda durante 10 años Aprox.

En la figura 68 se aprecia los pines de conexión del reloj en tiempo real que tiene integrada la memoria EEPROM.

**Figura 68:** Pines de conexión ds3132



Fuente: <https://acortar.link/yoiLZW>.

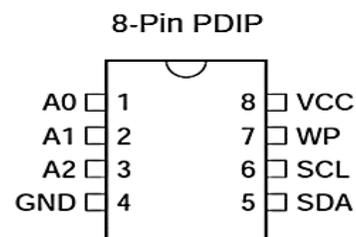
#### 4.1.4.2 Memoria EEPROM 24LC32.

La memoria EEPROM tiene dos funciones: escribir palabras en 8 bits y leer palabras en 8 bits. Asimismo, forma parte del circuito DS3132 donde comparten el mismo bus de comunicación con el protocolo I2C. En la figura 69 se observan los pines de conexión, asimismo la arquitectura del dispositivo.

**Figura 69:** Pines de la Memoria 24LC32

#### Pin Configurations

Pin Name	Function
A0 - A2	Address Inputs
SDA	Serial Data
SCL	Serial Clock Input
WP	Write Protect



Fuente: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/74858/MICROCHIP/24LC256.html>.

#### ***4.1.4.2.1 Protocolo de Comunicación SPI***

El protocolo “Serial Peripheral Interface”, es una estrategia desarrollada para conectar más de dos dispositivos por medio de un bus o conjunto de cables de fácil implementación y alta velocidad. Es un protocolo que trabaja en modo full dúplex para recibir y transmitir información, permitiendo así que dos dispositivos puedan comunicarse entre sí al mismo tiempo utilizando canales diferentes.

En el protocolo SPI se define un maestro y un esclavo, donde el maestro es aquel dispositivo capaz de transmitir información a sus esclavos. Para que el procedimiento tenga éxito es necesario tener registros de desplazamiento, uno para el maestro y uno para el esclavo. Dichos registros de desplazamiento son los que se encargan de almacenar los bits de manera paralela para realizar una conversación paralela a serial para la transmisión de información, sus características del protocolo son:

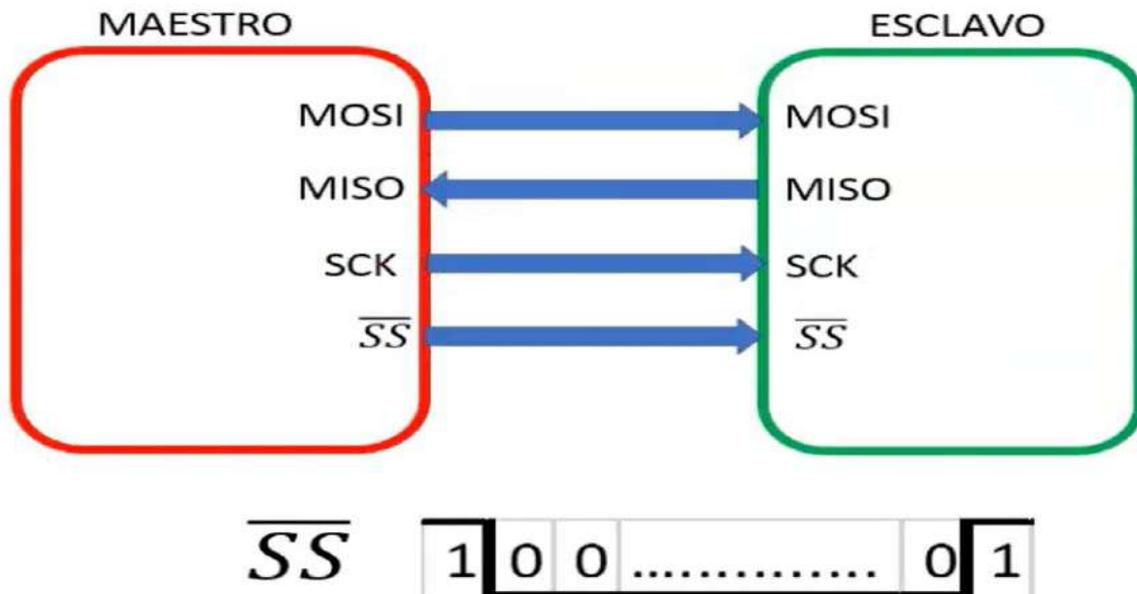
- Es digital.
- Es alámbrico.
- Es full-Dúplex.
- Comunicación Síncrona.
- Un maestro y varios esclavos.
- Multidispositivo (Más de dos dispositivos).

Las señales que utiliza el protocolo SPI para la comunicación son:

- MOSI (Master output Slave input).
- MISO (Master input Slave output).
- SCK (Serial Clock).
- SS (Slave select).

En la figura 70 se observa la conexión maestro esclavo de la comunicación SPI:

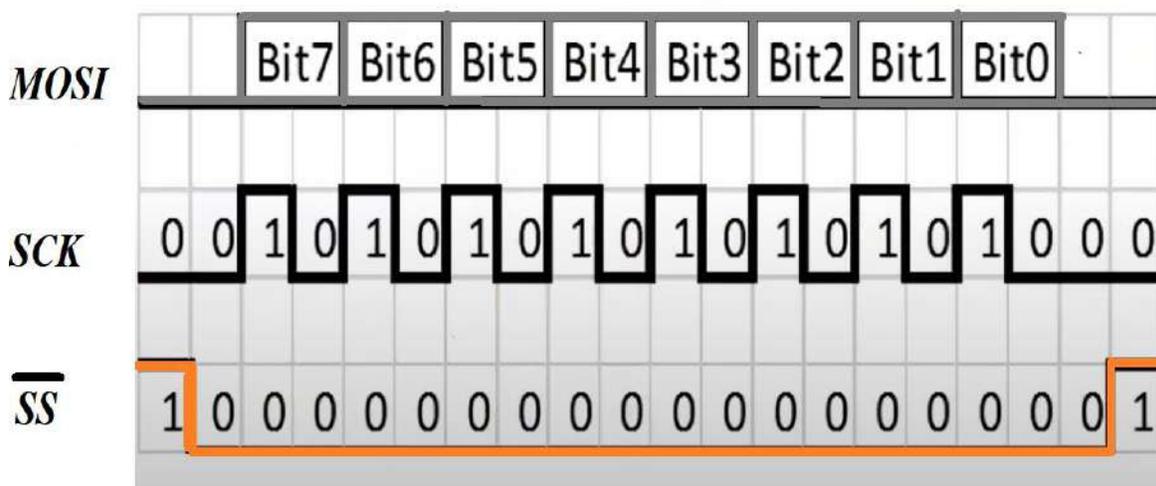
**Figura 70:** *Conexión Maestro y Esclavo*



Fuente: Elaboración propia.

El paquete de información en una transmisión en el Byte, donde un 1 byte es igual a 8 bits, que se transmite de la siguiente manera. Como se observa en la figura 71.

**Figura 71:** *Transmisión de datos SPI*



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.4.3 Diseño de la Etapa de Visualización de Datos e interfaz

El equipo cuenta con una pantalla LCD que se divide en tres partes:

- 1: Lámina Touch Screen que al presionarla genera coordenadas en X, Y.
- 2: La pantalla Touch Recibe datos de un circuito integrado SSD1963, que le llegan 3 tipos de datos diferentes en paralelo:

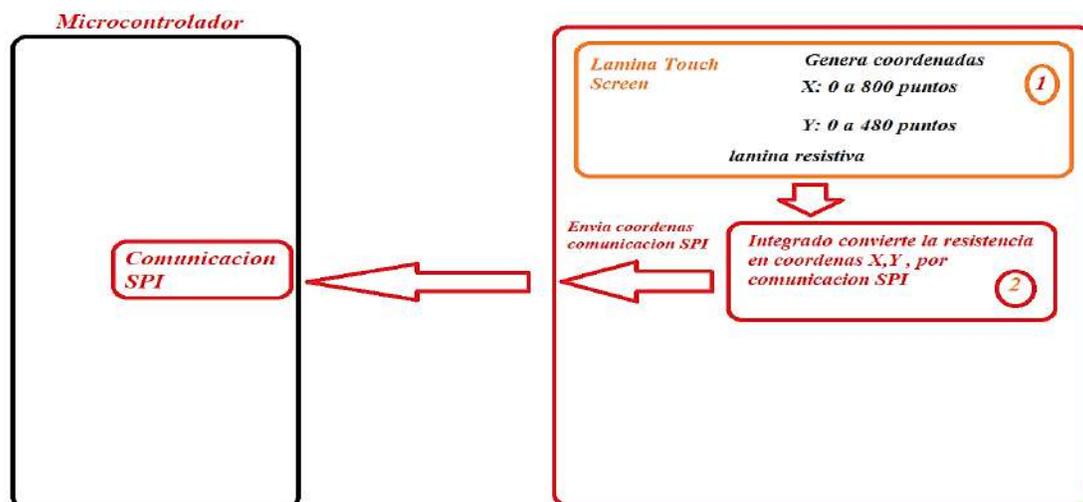
Primer dato: Palabra de Control, reset, chip select, vir y reseteo completo

Segundo dato: Data Alto que va conectado DB8 al DB15

Tercer dato: Dato Bajo que va conectado DB0 al DB7

3: Back light (Regular la luz de fondo de la pantalla LCD mediante PWM)

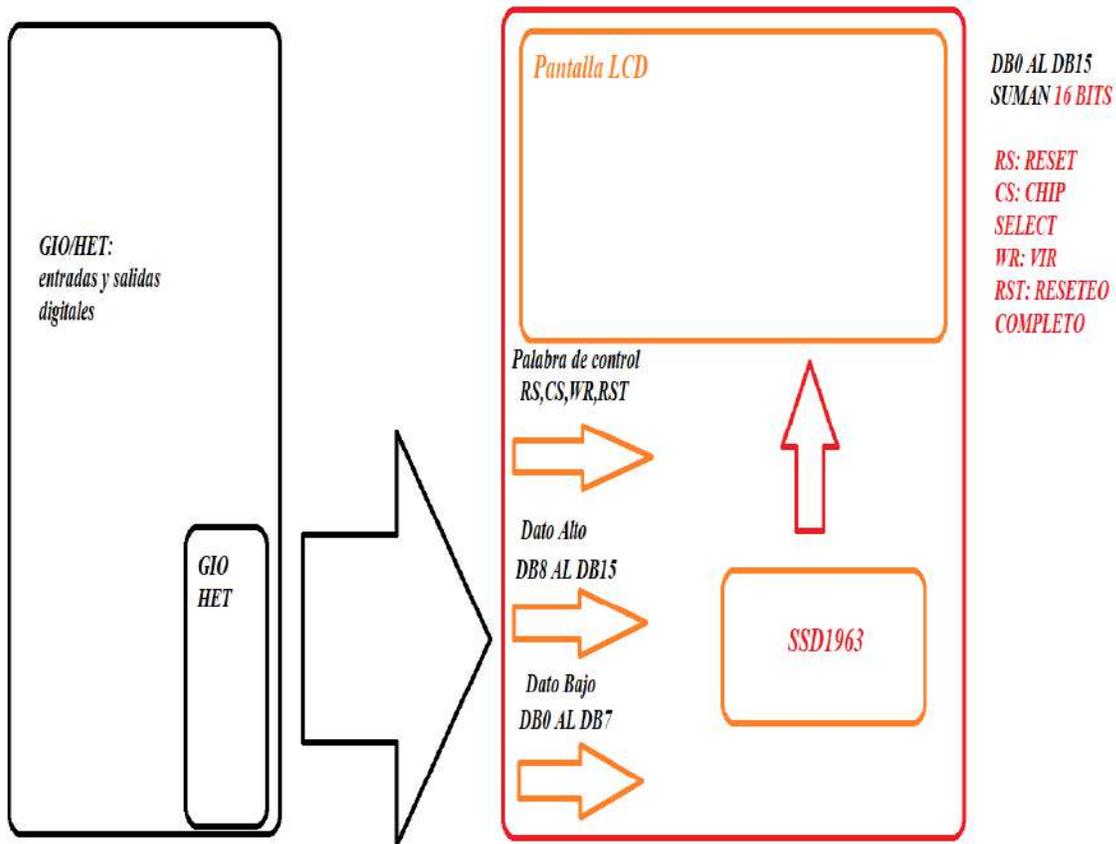
**Figura 72:** Diagrama de Bloque de Lámina Touch Screen



Fuente: Elaboración propia.

La lamina resistiva Touch Screen que al presionarla genera coordenadas, X 0 a 800 valores y en Y 0 a 480 valores en un plano cartesiano, dicha lamina se conecta a un chip que traduce en coordenadas X, Y. Por comunicación SPI envía coordenadas que son enviadas al microcontrolador al módulo interno SPI, como se muestra en la figura 72.

**Figura 73:** Diagrama de Bloque de Pantalla Touch



Fuente: Elaboración propia

La pantalla LCD recibe datos del circuito integrado SSD1963, y dicho integrado recibe datos en paralelo que son palabras de control, dato alto y dato bajo.

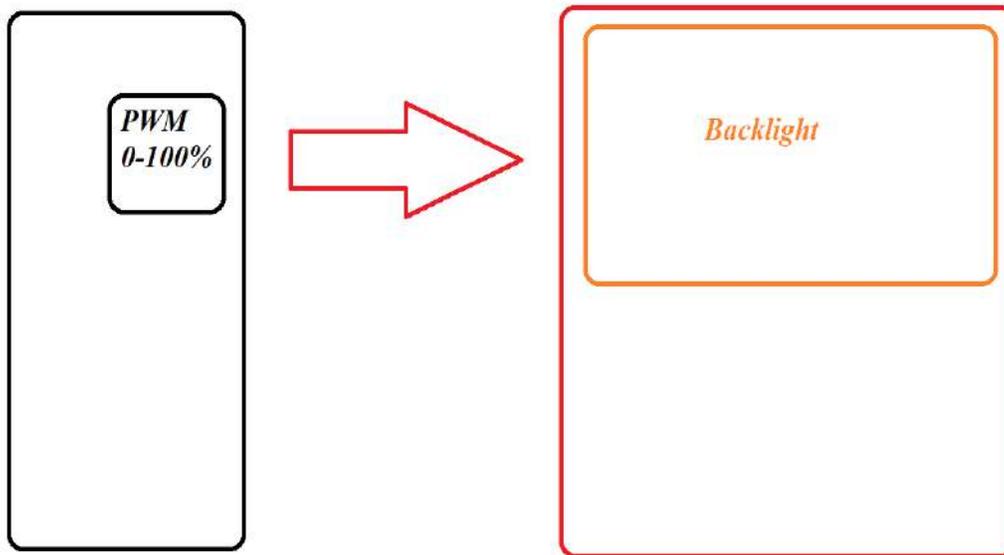
En la palabra de control se tiene RS (reset), CS (chip select), RST (reseteo completo) y WR (vir).

En el dato alto se tiene desde DB8 hasta el DB15.

En el dato bajo se tiene desde el DB0 hasta el DB7.

Todas estas palabras es la que requiere el microcontrolador para poder escribir o realizar una imagen. En el microcontrolador se conecta en el módulo de entradas y salidas GIO y el HET, como se muestra en la figura 73.

**Figura 74:** Diagrama de Bloque de Backlight



Fuente: Elaboración propia.

La manera de poder reducir o aumentar la luminosidad de la pantalla LCD, se le conoce como Backlight, que es un arreglo de leds, que es la luz de fondo, como se muestra en la figura 74.

El equipo cuenta con una pantalla táctil por donde se seleccionará las tareas que el prototipo analizador monofásico debe desarrollar, además de poder visualizar la información que ha sido procesada como:

- Configuración del Equipo.
- Teclado para la configuración de parámetros.
- Voltaje, Corriente, Frecuencia, Potencia.
- Forma de onda.

A continuación, se presentan las características técnicas de la pantalla LCD de 7 pulgadas

- Voltaje I/O digital: 3.3 VDC.
- Voltaje del LCD Microcontrolador: 3.3 VDC.

- Voltaje Luz de fondo: 5 VDC.
- Salida paralela del Microcontrolador: 16 Bits.
- Tamaño de la Pantalla: 7 Pulgadas.
- Resolución: 800 X 480.
- Touch: Lamina Resistiva.

En la figura 75 se muestra los pines de conexión de la pantalla LCD Touch de 7", mientras en la figura 76 se muestra la pantalla.

**Figura 75:** Pines de Conexión de Pantalla LCD



Fuente: Elaboración propia.

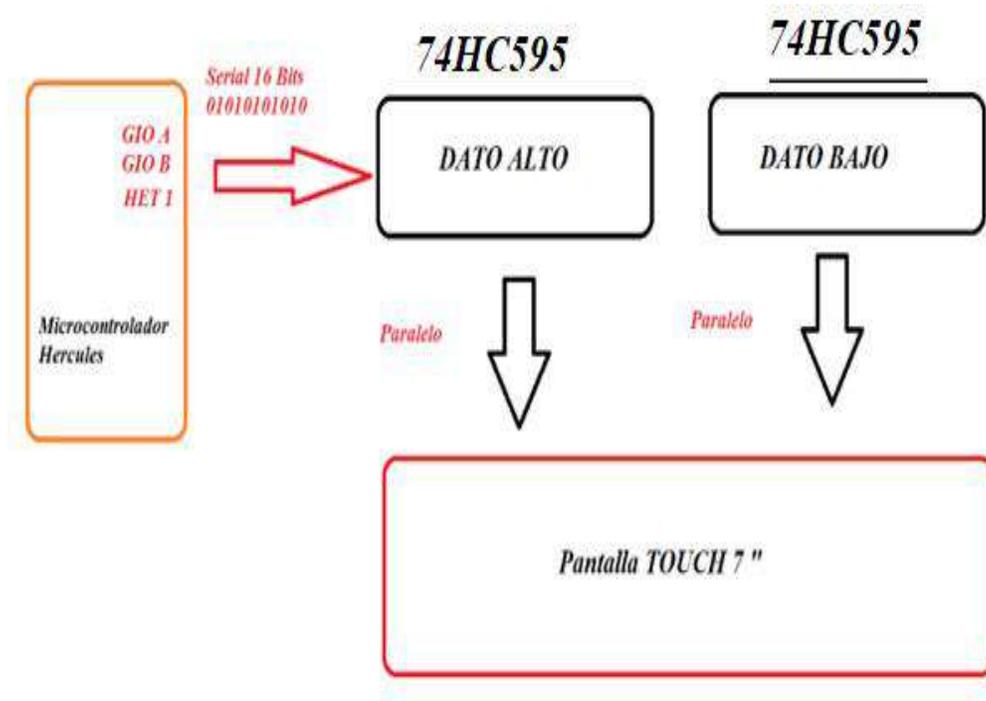
**Figura 76:** Pantalla LCD de 7 Pulgadas



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 77, se muestra los pines utilizados en la pantalla LCD Touch, donde dichos pines van a una placa electrónica, para que la comunicación sea en paralelo y así, utilizar la menor cantidad de GIO en el microcontrolador, de la misma manera que los datos circulen de una manera más rápida.

**Figura 77:** Esquema de Conexión de Hércules a Placa y de Placa a pantalla Touch



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 78, se muestran los pines de conexión, como son los de dato bajo, dato alto y de la misma manera la palabra de control que fue mencionada anteriormente.

**Figura 78:** *Comunicación entre los Pines de Hércules y Pantalla Touch*

Palabra de Control	Pines	Touch Screen	Pines2
LCD-RS	HET1/28	DCLOCK	GIOB/1
LCD-WR	HET1/8	CS	GIOB/0
LCD-CS	HET1/23	DIN	HET1/31
LCD-RST	HET1/11	DOUT	HET2/10
<b>Dato Bajo</b>		IRQ	HET2/9
DB0	HET1/2		
DB1	HET1/18		
DB2	HET1/16		
DB3	HET1/30		
DB4	HET1/14		
DB5	HET1/12		
DB6	GIOA/5		
DB7	GIOA/2		
<b>Dato Alto</b>			
DB8	GIOA/1		
DB9	GIOA/0		
DB10	HET1/22		
DB11	HET1/25		
DB12	GIOB/3		
DB13	HET1/29		
DB14	GIOB/2		
DB15	HET1/10		

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.4.4 Memoria SD

El prototipo analizador de red monofásica requiere un dispositivo de almacenamiento masivo donde se pueda almacenar la información en archivos Excel, por lo que es importante que el prototipo cuente con una gran capacidad de memoria en el cual se almacenan formas de onda y eventos.

En el mercado se puede obtener una memoria SD de gran capacidad, para este proyecto se selecciona una memoria SD de 2 GB, su almacenamiento equivale a:

1 GB contiene un total de 1024 megabytes.

Entonces

$$SD = 2 \text{ GB} * 1024$$

$$SD = 2048 \text{ MB}$$

## 4.2 Diseño de Software

En el presente capítulo se presentan los esquemas generales de los softwares utilizados para el prototipo analizador monofásico de red eléctrica, asimismo se presentan diagramas de flujo, y ecuaciones para poder comprender de manera eficiente el software del microcontrolador que ejecuta, para realizar cada una de las tareas.

### 4.2.1 Node-Red

Node red es un editor de flujo online, donde se puede agregar o eliminar nodos y conectarlos entre sí, lo que permite una comunicación entre ellos. Hay dos tipos de nodos, nodo de inyección y nodo de función.

Su plataforma está basada en Node.js y fue creada con el fin de simplificar el desarrollo de aplicaciones orientadas al manejo de eventos asíncronos como las aplicaciones IoT.

Esta herramienta permite generar diseños que se puedan visualizar en diferentes dispositivos.

Se hizo uso de los siguientes nodos:

- Nodo debug
- Nodo function
- Nodo Mqtt
- Nodo chart
- Nodo gauge

Pasos para instalar Node Red en la portátil:

Paso 1: ir al link de descarga del Node-red:

<https://nodejs.org/es/>

Paso 2: descarga de Node-red, recomendado para la mayoría como se muestra en la figura 79.

**Figura 79:** Descarga Node-Red

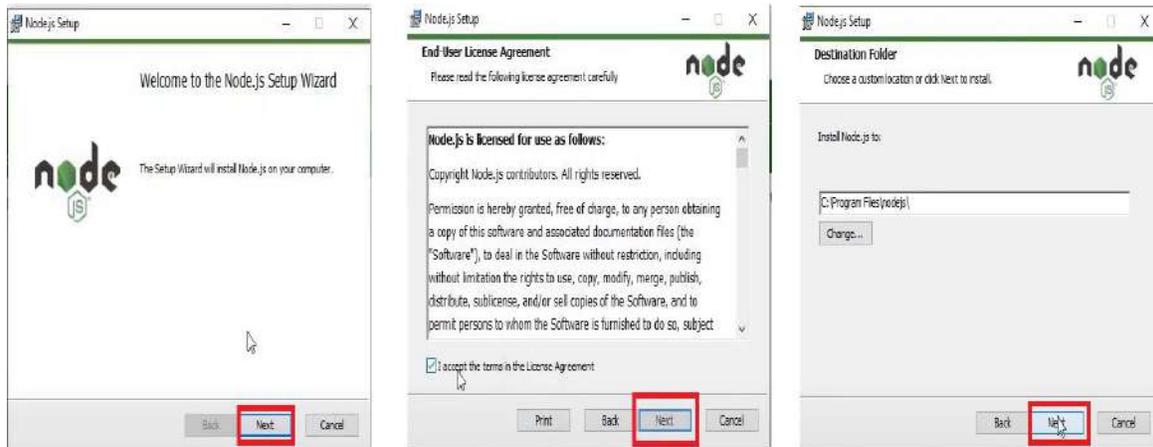


Fuente: <https://nodejs.org/es/>

Paso 3: Se genera la ventana de instalación, click en siguiente, se acepta los términos y condiciones, luego crea los archivos y el lugar donde se almacenará en la portátil y click en siguiente, en las siguientes imágenes se muestra paso a paso el proceso de instalación.

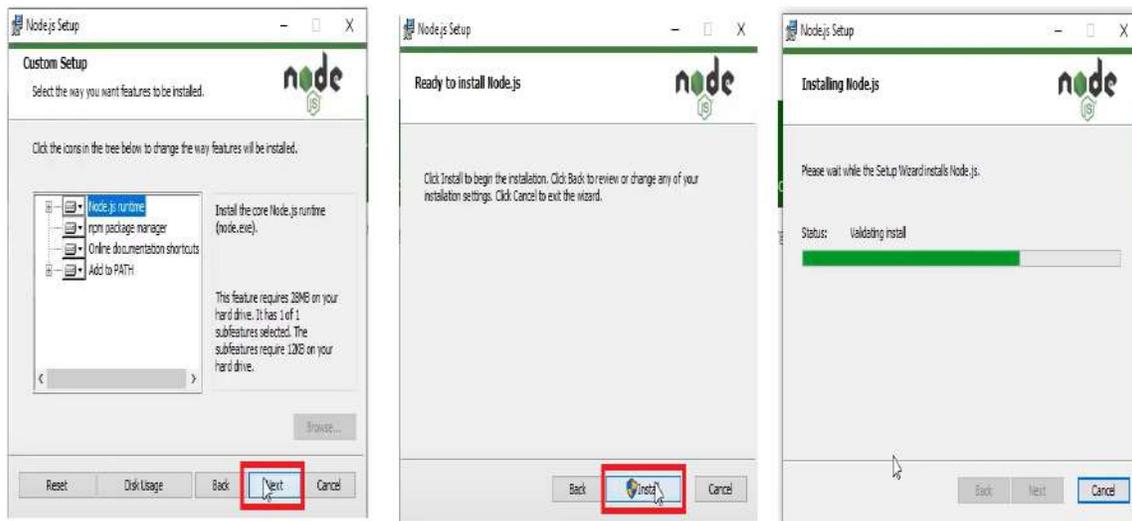
En la figura 80 se muestra los pasos de instalación en donde se le da click en next, ya que se acepta la licencia del programa y se almacena en una unidad del disco duro, el cual se puede escoger según la conveniencia del usuario. En la figura 81 de igual manera se le da click en next y se procede a instalar el programa.

**Figura 80:** Pasos de Instalación Node-Red



Fuente: Node-Red.

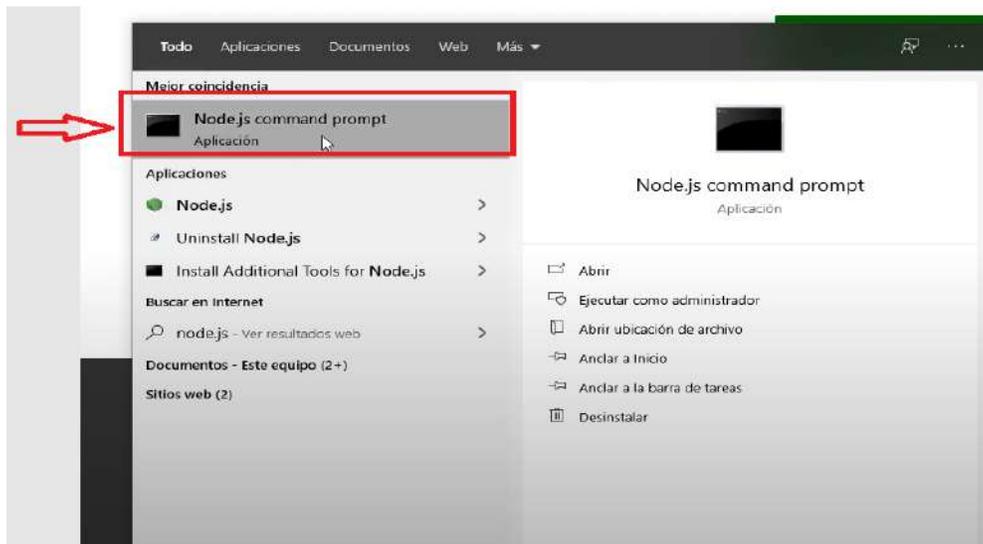
**Figura 81:** Pasos de Instalación Node-Red



Fuente: Node-red.

Paso 4: Ya instalado Node-red, se accede a la barra de búsqueda de Windows, luego se escribe Node-red y se elige Node.js que es el comando para ingresar al Node-red como se muestra en la figura 82. Una vez ingresado al comando CMD se ejecuta el siguiente comando “`npm install -g --unsafe-perm node-red`”, como se observa en la figura 83.

**Figura 82:** comando Node-js



Fuente: Windows 10.

**Figura 83:** Ejecución del comando presentado por el fabricante

```

npm
Your environment has been set up for using Node.js 12.16.3 (x64) and npm.
C:\Users\50232> npm install -g --unsafe-perm node-red
npm WARN deprecated request@2.8.0: request has been deprecated, see https://github.com/request/request/issues/3142
[.....] \ fetchMetadata: sill resolveWithNewModule ws@3.3.3 checking installable status
  
```

Fuente: Comando CMD.

Paso 5: Ejecutar el comando Node-red, para iniciar los archivos necesarios para el Node-red, que genera un comando (IP `http://127.0.0.1:1880/`), para ingresar a un navegador; como se observa en la figura 84.

**Figura 84:** Ejecución del comando Node-red

```

Your environment has been set up for using Node.js 16.17.0 (x64) and npm.
C:\Users\HOME>node-red
25 Aug 19:02:19 - [info]
Welcome to Node-RED
=====
25 Aug 19:02:19 - [info] Node-RED version: v3.0.2
25 Aug 19:02:19 - [info] Node.js version: v16.17.0
25 Aug 19:02:19 - [info] Windows_NT 10.0.22000 x64 LE
25 Aug 19:02:20 - [info] Loading palette nodes
25 Aug 19:02:21 - [info] Dashboard version 3.1.7 started at /ui
25 Aug 19:02:21 - [info] Settings file : C:\Users\HOME\.node-red\settings.js
25 Aug 19:02:21 - [info] Context store : 'default' [module=memory]
25 Aug 19:02:21 - [info] User directory : \Users\HOME\.node-red
25 Aug 19:02:21 - [warn] Projects disabled : editorTheme.projects.enabled=false
25 Aug 19:02:21 - [info] Flows file : \Users\HOME\.node-red\flows.json
25 Aug 19:02:21 - [info] Server now running at http://127.0.0.1:1880/
25 Aug 19:02:21 - [warn]

-----
Your flow credentials file is encrypted using a system-generated key.

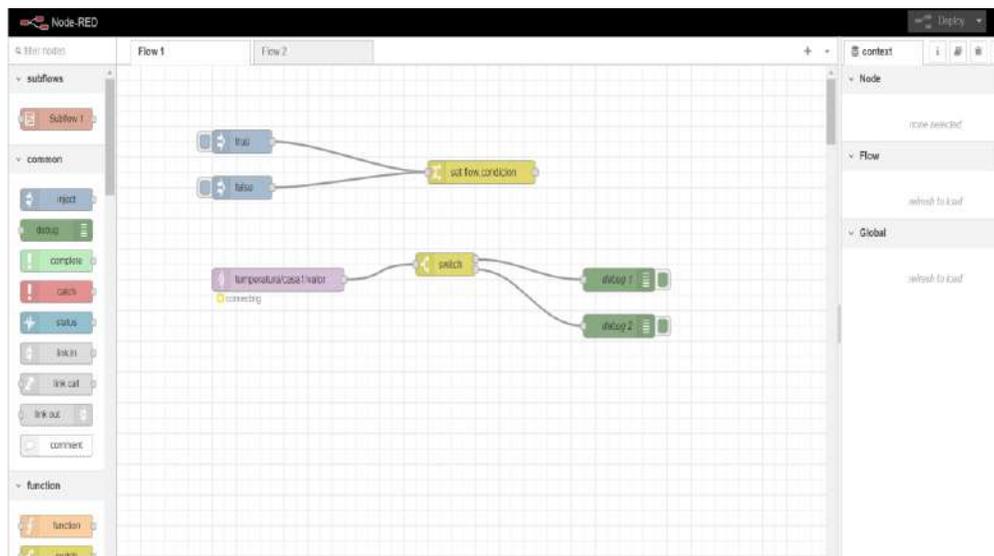
If the system-generated key is lost for any reason, your credentials
file will not be recoverable, you will have to delete it and re-enter
your credentials.

You should set your own key using the 'credentialSecret' option in
your settings file. Node-RED will then re-encrypt your credentials
  
```

Fuente: Comando CMD.

En la figura 85 se observa el entorno de Node-red; para poder visualizar dicho entorno se ingresa al navegador y se coloca la IP asignada por el comando CMD.

**Figura 85:** Entorno de Node-red



Fuente: Node-red 2022.

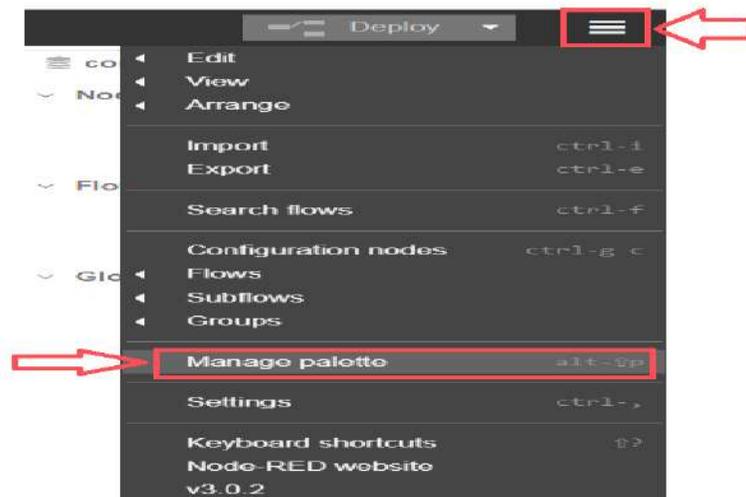
Paso 6: instalación de librerías a utilizar en el presente proyecto:

- Node-red-node-MySQL: nodo de base de datos en Node-red.
- Node-red-Dashboard: Dashboard en Node red.
- Node-red-contrib-Aedes: bróker Aedes.

Se muestra la instalación de librerías detalladamente.

Paso 6.1: Para instalar las librerías se selecciona Manage palette como se visualiza en la figura 86.

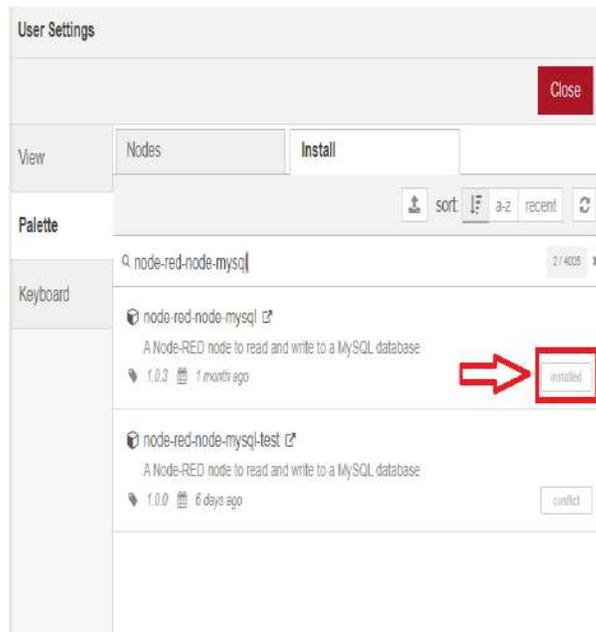
**Figura 86:** Configuración Node-red (descargar librería)



Fuente: Node-red 2022.

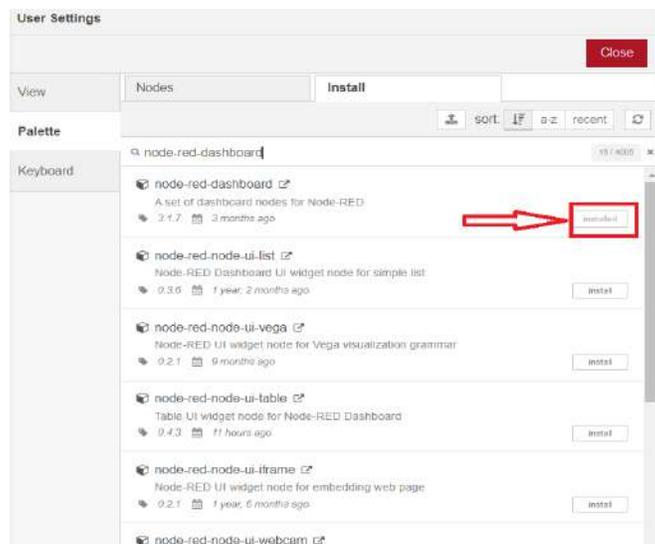
Paso 6.2 Instalación de librería de Node-red-node-MySQL:

Para la instalación de la librería MySQL se añade el nombre y se le da click en install como se aprecia en la figura 87.

**Figura 87:** *Instalación de la base de datos en Node-red*

Fuente: Node-red 2022.

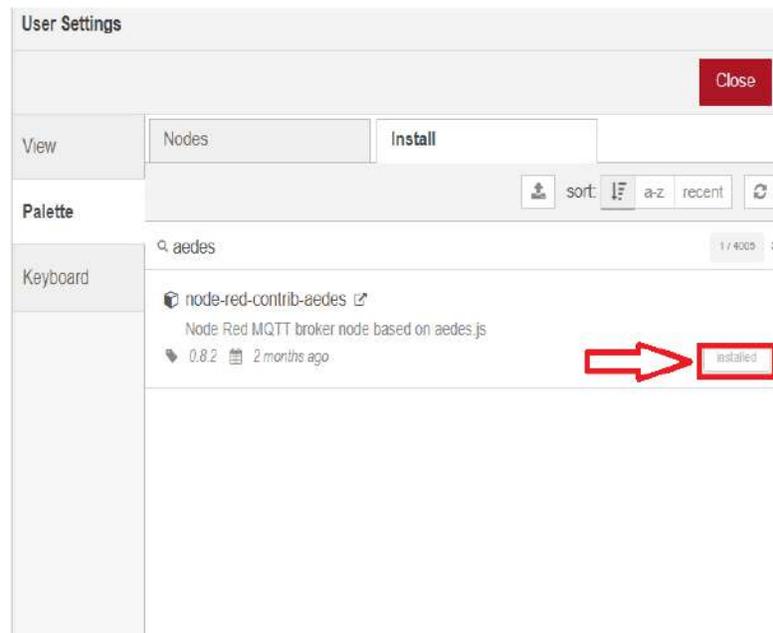
Paso 6.3 Instalación de Dashboards, se inserta el nombre a instalar, como se muestra en la figura 88.

**Figura 88:** *Instalación de Dashboards en Node-red*

Fuente: Node-red 2022.

Paso 6.4 Instalación de Aedes, se introduce el nombre Aedes para la instalación, como se visualiza en la siguiente figura 89.

**Figura 89:** *Instalación de Bróker Aedes en Node-red*



Fuente: Node-red 202.

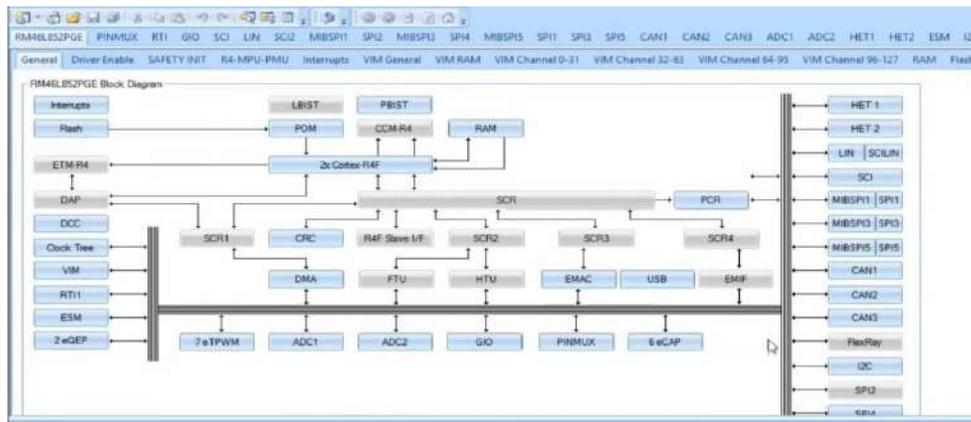
#### 4.2.2 Interfaz Gráfica

La familia del microcontrolador Hércules 46L852 de la empresa Texas Instrument cuenta con una interfaz Halcogen y trabaja en conjunto con el IDE Code Composer Studio, ambas sirven para configurar los periféricos y programar la MCU.

Halcogen proporciona una interfaz gráfica al usuario, que permite configurar los periféricos internos del microcontrolador, en este caso se usó el microcontrolador RM46L852.

Ya configurado el Halcogen, se define los puertos de entrada, salidas, PWM, RTI, Comparadores, que permite utilizar el programa Code Composer Studio para completar el código y realizar la programación.

**Figura 90:** Diagrama de Bloques RM46L852



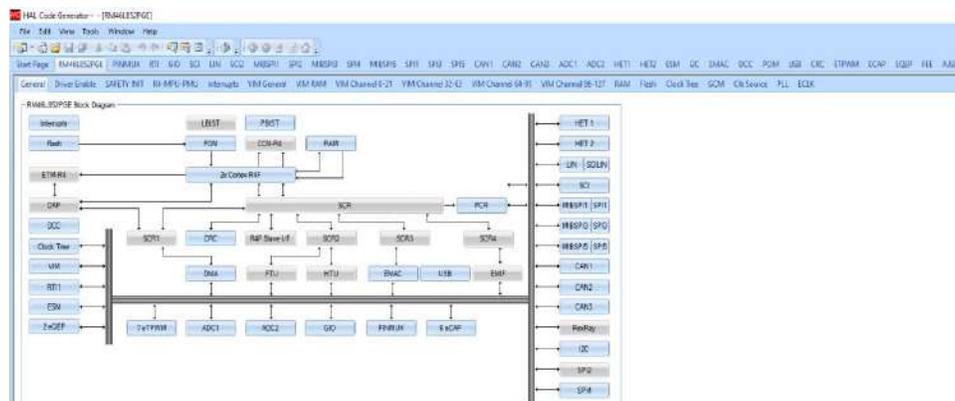
Fuente: Halcogen 2022.

En la figura 90 se puede apreciar los diferentes módulos internos con los que cuenta el microcontrolador Hércules 46L852.

#### 4.2.3 Halcogen

Es un software libre que proporciona a los usuarios una interfaz gráfica, permitiendo configurar periféricos, interrupciones, relojes y otros parámetros del microcontrolador Hércules. Una vez que se configura el dispositivo Hércules, el usuario puede habilitar una entrada o salida digitales, como el convertor análogo digital, módulo serial, entre otros. (Texas Instrument – Halcogen, 2022).

**Figura 91:** Diagrama de Bloques del Microcontrolador RM46L852



Fuente: Software Halcogen.

En la figura 91, se observa los periféricos y módulo internos del microcontrolador Hércules, en la sección de anexo se explicará el uso del software halcogen.

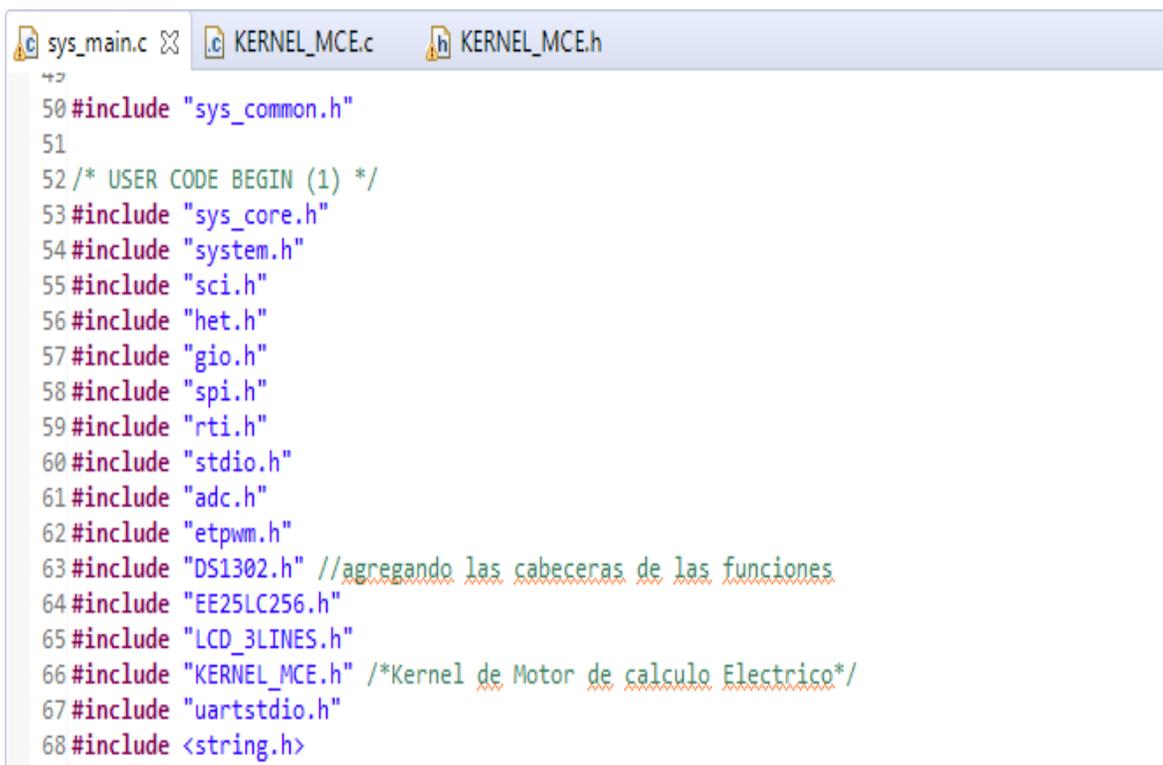
#### 4.2.4 Code Composer Studio

El software Code Composer Studio™, es un entorno de desarrollo integrado (IDE) compatible con las carteras de microcontroladores, es un software libre que comprende un conjunto de herramientas que se utilizan para desarrollar una programación detallada, el cual incluye un compilador C++, incluye un compilador optimizador de C/C++, un editor de código fuente y un entorno de creación de proyectos.

El IDE proporciona una interfaz de usuario único que lo lleva a través de cada paso del flujo de desarrollo de la aplicación. (Instruments, 2022)

En la figura 92, se muestra el entorno del IDE de code composer studio.

**Figura 92:** Estructura Principal de Code Composer Studio



```

sys_main.c
KERNEL_MCE.c
KERNEL_MCE.h
50 #include "sys_common.h"
51
52 /* USER CODE BEGIN (1) */
53 #include "sys_core.h"
54 #include "system.h"
55 #include "sci.h"
56 #include "het.h"
57 #include "gio.h"
58 #include "spi.h"
59 #include "rti.h"
60 #include "stdio.h"
61 #include "adc.h"
62 #include "etpwm.h"
63 #include "DS1302.h" //agregando las cabeceras de las funciones
64 #include "EE25LC256.h"
65 #include "LCD_3LINES.h"
66 #include "KERNEL_MCE.h" /*Kernel de Motor de calculo Electrico*/
67 #include "uartstdio.h"
68 #include <string.h>

```

Fuente: Code Composer Studio.

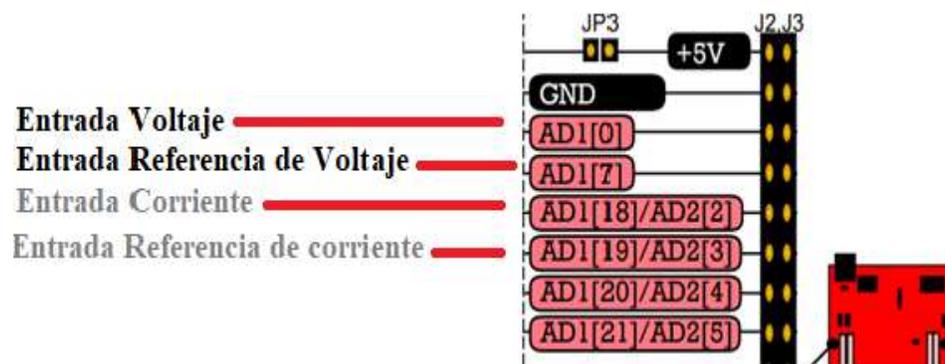
#### 4.2.5 Módulo ADC

Módulo Conversor Análogo Digital, el microcontrolador cuenta con dos módulos independientes que son ADC 1 y ADC 2, dichos módulos permiten hacer un trabajo de forma individual.

El módulo ADC de la MCU, cuenta con resoluciones desde 8 Bits, 10 Bits, 12 Bits las cuales se pueden elegir en el programa Halcogen. La ventana del Conversor Análogo Digital es de 0 a 3.3 Voltios, el tiempo que tarda el microcontrolador en comparar el nivel de voltaje y entregar el dato en su registro, es de 0.560360 microsegundos.

El prototipo trabaja con 4 canales ADC, con la distribución que se muestra figura 93:

**Figura 93:** Distribuciones de Canales ADC



Fuente: Datos del Fabricante Hércules Texas Instruments.

Los pines operativos seleccionados son:

- AD1[0]: Ingresa la señal de Voltaje Alterno.
- AD1[7]: Ingresa la señal de Referencia solo Voltaje.
- AD2[2]: Ingresa la señal de Corriente Alterna.
- AD2[3]: Ingresa la señal de Referencia solo Corriente.

La señal de referencia en el voltaje offset esta enviado por la configuración del amplificador operacional, dicha señal tiene un voltaje offset único, su obtención será de mucha utilidad durante el proceso, también permite obtener valores netamente positivos a la memoria del controlador, ya que la ventana del microcontrolador es de 0 a 3.3 Voltios.

Dicha señal muestreada, permite mover los valores positivos a cero y otorgar valores positivos y negativos, lo que permite a las Librerías DSP un cálculo más preciso del voltaje mínimo, voltaje máximo, voltaje Rms, etc.

La señal de referencia en la corriente enviada por la configuración del amplificador operacional, permite trabajar en la ventana del microcontrolador de 0 a 3.3 Voltios.

Cada canal utiliza un tiempo de 0.560360 microSegundos, por tanto, para 4 canales se utilizan un tiempo total:

$$Tx4ch = Nchadc * tTotal$$

Donde:

$Nchadc = 4$  Canales

$tTotal = 0.560360$

Reemplazando:

$$Tx4ch = 4 * 0.560360 \mu S$$

$$Tx4ch = 2.24 \mu S$$

La conversión de los 4 canales ADC, tiene un tiempo de retardo de 2.24 microSegundos, que da una frecuencia máxima de muestreo de:

$$Fx4ch = \frac{1}{Tx4ch}$$

$$Fx4ch = \frac{1}{2.24 \mu S}$$

$$Fx4ch = 446.1417 \text{ Khz}$$

El ancho de banda es hasta el armónico 21 de la frecuencia de 50 Hz, por lo tanto:

$$BW = N^{\circ}armonicos * Frecuencia \text{ de línea}$$

Donde:

- BW: Ancho de banda
- Número de armónicos: 21
- Frecuencia de línea: 50 Hz

Reemplazando:

$$BW = 21 * 50$$

$$BW = 1050 \text{ Hz}$$

Entonces:

$$F_{x4ch} \gg BW$$

Según Nyquist Shannon debe ser 2 veces más grande.

$$FS = 2 * BW$$

$$FS = 2 * 1050$$

$$FS = 2100 \text{ Hz}$$

Entonces  $FS < 2.1 \text{ kHz}$ , es posible utilizar esta frecuencia de muestreo. Se captura 2048 valores de la señal de voltaje y corriente, siendo el periodo de muestreo:

Ts: periodo de muestreo

$$Ts = \frac{1}{Fs}$$

$$Ts = \frac{1}{2100}$$

$$T_s = 476.19 \mu S$$

El tiempo total de muestra de 2048 valores equivale a:

Tt: Tiempo Total.

$$T_t = \text{Numero de muestras} * \text{Periodo de muestreo}(T_s)$$

$$T_t = 2048 * 476.19 \mu S$$

$$T_t = 0.975 S$$

Utilizando el método matemático Radix 4, la frecuencia de muestreo se divide entre 4 y es el nuevo ancho de banda que aparece en el dominio de la frecuencia, Por lo tanto:

$$BW_{radix4} = \frac{FS}{4}$$

$$BW_{radix4} = \frac{2100}{4}$$

$$BW_{radix4} = 525 Hz$$

Se desea obtener un ancho de banda de señal =2.1 KHz, por ende, el ancho de banda de  $BW_{radix4}$  no es aceptable, en consecuencia, se debe volver a calcular,

Seleccionando un  $FS=16 K \gg BW$

Recalculando:

$$T_s = \frac{1}{F_s}$$

$$T_s = \frac{1}{16000}$$

$$T_s = 62.5 \mu S$$

Se calcula el tiempo Total:

$$T_t = 2048 * 62.5 \mu S$$

$$T_t = 0.128 s$$

Según Radix 4

$$BW_{radix4} = \frac{FS}{4}$$

$$BW_{radix4} = \frac{16000Hz}{4}$$

$$BW_{radix4} = 4000Hz$$

Se cumple la condición; el conversor análogo digital es ideal para el muestreo de la señal alterna que se desea visualizar en el prototipo.

Al tener una resolución que varía de 8, 10, 12 bits, en el conversor análogo digital, se eligió la resolución de 12 bits, teniendo un voltaje máximo de 3.3 voltios, por lo tanto, se tiene un LSB de:

$$LSB = \frac{V_{max}}{2^n}$$

$$LSB = \frac{3.3}{2^{12}}$$

$$LSB = 805.66 \mu V$$

Con este dato y ya conociendo la atenuación dado por el sensor de voltaje para el muestreo de voltaje se calcula la sensibilidad del equipo ante los cambios de voltaje y corriente.

**Tabla 3:** Resolución de Voltaje y Corriente

TIPO DE SENSOR	SENSIBILIDAD	ADC. RESOL.	SENSIBILIDAD > ADC RESOL.
----------------	--------------	-------------	------------------------------

---

<b>VOLTAJE</b>	3.1415 mV	806 uV	Si
<b>CORRIENTE</b>	10 mV	806 uV	Si

---

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.5.1 Sensibilidad de la Corriente

Atenuación de la pinza amperimétrica =10 (dato en la pinza amperimétrica)

$$\text{Sensibilidad} = \text{atenuación de pinza} * \text{LSB}$$

$$\text{Sensibilidad} = 10m * 805.66 \mu V$$

$$\text{Sensibilidad} = 8.0566e^{-3}$$

Teniendo el resultado se concluye que el prototipo puede capturar variaciones de corriente desde 8.0566 mA, cabe recalcar que el módulo ADC es la parte principal del prototipo, debido a que la mayor parte de la información para procesar se obtiene de esta interfaz.

#### 4.2.5.2 Sensibilidad del Voltaje

Para el desarrollo de esta etapa se requiere la atenuación que se calculó en el sensor de voltaje en el apartado 4.2.3.

$$\text{Atenuación} = 1.4265 e^{-3}$$

$$\text{SensibilidadVol} = \frac{1}{\text{Atenuacion}} * \text{LSB}$$

$$\text{SensibilidadVol} = \frac{1}{1.4265 e^{-3}} * 805.66e^{-6}$$

$$\text{SensibilidadVol} = 0.56478$$

El prototipo puede capturar variaciones de voltaje mínimas de 0.5648 Voltios.

#### ***4.2.6 Módulo Temporizador de Alta Precisión (GIO)***

NHET, es un módulo temporizador avanzado inteligente, que proporciona funciones de sincronización para aplicaciones en tiempo real, sus canales de Hardware de alta resolución le permiten mayor precisión para las funciones de: medición, comparaciones, señales PWM.

Los Módulos GIO se puede utilizar como entrada o salida, su registro es de 8 Bits y sus interrupciones son más sencillas en el programa.

#### ***4.2.7 Modulación Captura Ancho de Pulso***

El módulo de temporizador se utiliza especialmente para medir el ancho de pulso procedente del sensor de frecuencia. Cuando se detecta un flanco ascendente o un flanco descendente, el temporizador comienza a contar según lo programado y luego finaliza cuando se recibe un nuevo flanco. Cuando el buffer carga datos con el valor equivalente en decimal, es decir, en uS:

Registro (valor decimal) =16736, es equivalente a 16736 uS.

#### ***4.2.8 Módulo RTI***

El módulo RTI consta de dos submódulos, dos contadores y un comparador. Para definir la frecuencia de trabajo, se debe registrar a través del RTI1clk, que está conformado por 75 MHz. Cuando el temporizador culmina, se activa una bandera de interrupción y se ejecuta la tarea programada.

##### **4.2.8.1 Diagrama de Contadores**

Este módulo permite configurar la frecuencia en base del tiempo de conteo, que es equivalente a la frecuencia de pre-conteo. El módulo RTI tiene dos módulos que funcionan de forma independiente, por lo que uno se puede configurar en la frecuencia de conteo base y el otro se puede configurar en un valor completamente diferente sin afectar el

funcionamiento del módulo RTI. Esto es beneficioso porque un contador se puede configurar durante mucho tiempo, mientras se puede configurar otro temporizador durante un tiempo corto.

Solo se utiliza el contador 0, que se encarga de generar una interrupción cada 1 segundo, que permite medir la frecuencia de línea que viene del sensor de frecuencia.

#### ***4.2.9 Entradas y Salidas***

El microcontrolador RM46L852, puede multiplexar su módulo NHET y configurarlos como datos de salida y entradas digitales. Se encarga de controlar la pantalla LCD, el reloj interno del microcontrolador RTC DS3132.

Cuenta con 64 pines E/S, los cuales se pueden configurar para que trabaje como salidas PWM, temporizadores o contadores de pulso. Además, cuenta con compuertas lógicas en sus salidas y entradas como AND y XOR que se pueden combinar entre sí.

#### ***4.2.10 Módulo de SCI***

El módulo de comunicación Serial se utiliza para la comunicación serial entre el procesador Hércules RM46L852 y el módulo WIFI ESP32, ambos se comunican a una velocidad de 115200 Baudios con 1 bit de paridad.

### **4.3 Funciones Matemáticas**

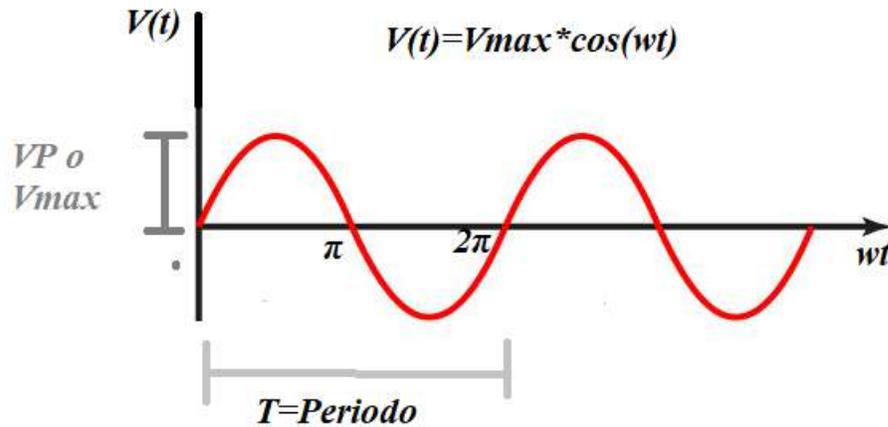
#### ***4.3.1 Cálculos del Valor RMS***

El valor RMS de una onda se relaciona con su capacidad de suministro de energía, es el valor definitorio más importante de las funciones periódicas, se trata del valor que está directamente relacionado con la potencia eléctrica. Corresponde al valor de corriente continua que proporcionaría a una resistencia el mismo trabajo por ciclo.

$$V_{Ef} = \sqrt{\frac{1}{T} * \int_0^T V(t)^2 * dt}$$

Fórmula donde inicia el voltaje eficaz, primero se identifica el periodo, voltaje pico que se muestra en la figura 94:

**Figura 94:** onda senoidal con voltaje pico, periodo



Fuente: Elaboración propia.

Se desarrolla la fórmula para encontrar una fórmula más sencilla, reemplazando  $V(t)$  en la fórmula:

$$V_{Ef} = \sqrt{\frac{1}{T} * \int_0^T (V_{max}^2 * \cos^2(\omega t) dt)}$$

$$V_{ef}^2 = \frac{V_{max}}{t} \int_0^T \cos^2(\omega t) dt$$

Sabiendo que el T es igual a  $2\pi$  se reemplaza en la fórmula:

$$V_{ef}^2 = \frac{V_{max}}{2\pi} \int_0^{2\pi} \cos^2(\omega t) dt$$

Identidad trigonométrica

$$\cos^2 x = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos 2x$$

Reemplazando la identidad trigonométrica en la fórmula

$$V_{ef}^2 = \frac{Vmax}{2\pi} \int_0^{2\pi} \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos \cos (2wt) \right) dt$$

$$V_{ef}^2 = \frac{Vmax}{2\pi} \left[ \int_0^{2\pi} \frac{1}{2} dt + \int_0^{2\pi} \frac{1}{2} \cos \cos (2wt) dt \right]$$

$$V_{ef}^2 = \frac{Vmax}{2\pi} \left[ \frac{2\pi}{2} \right]$$

$$V_{ef}^2 = \frac{Vmax^2}{2}$$

$$V_{ef} = \sqrt{\frac{Vmax^2}{2}}$$

$$V_{ef} = \frac{Vmax}{\sqrt{2}}$$

Se demostró paso a paso la fórmula del valor eficaz del voltaje, de la misma manera se encuentra para la corriente eficaz que se muestra a continuación:

$$I_{ef} = \frac{Imax}{\sqrt{2}}$$

#### **4.3.2 Cálculos de las Potencias Activa, Reactiva y Aparente**

Donde:

Q= Potencia Reactiva

P= Potencia Activa

S= Potencia Aparente

### 4.3.2.1 Potencia Activa

También conocida como la potencia útil o real, es el valor promedio de la potencia instantánea, se representa con la letra P y su unidad es Watts.

$$P = \frac{1}{2} * V_{max} * I_{max} * \cos(\theta_v - \theta_i)$$

Donde:

$$V_{max} = V_{ef} * \sqrt{2}$$

$$I_{max} = I_{ef} * \sqrt{2}$$

Reemplazando en la fórmula:

$$P = \frac{1}{2} * V_{ef} * \sqrt{2} * I_{ef} * \sqrt{2} * \cos(\theta_v - \theta_i)$$

$$P = V_{ef} * I_{ef} * \cos\theta$$

Donde:

$$V_{ef} = V_{rms} = V$$

$$I_{ef} = I_{rms} = I$$

Reemplazando en la fórmula:

$$P = V * I * \cos\theta \quad \text{su Unidad es Watts}$$

### 4.3.2.2 Potencia Reactiva

La Potencia Reactiva no es una potencia útil porque no produce trabajo. Esta potencia sirve para crear los campos magnéticos y eléctricos en las bobinas y condensadores, se representa con la letra Q y su unidad es VAR (volt amperio reactivo).

$$Q = \frac{1}{2} * V_{max} * I_{max} * \text{Sen} (\theta_v - \theta_i)$$

Donde:

$$V_{max} = V_{ef} * \sqrt{2}$$

$$I_{max} = I_{ef} * \sqrt{2}$$

Reemplazando en la fórmula:

$$Q = \frac{1}{2} * V_{ef} * \sqrt{2} * I_{ef} * \sqrt{2} * \text{Sen} (\theta_v - \theta_i)$$

$$Q = V_{ef} * I_{ef} * \text{Sen} \theta$$

Donde:

$$V_{ef} = V_{rms} = V$$

$$I_{ef} = I_{rms} = I$$

Reemplazando en la fórmula

$$Q = V * I * \text{Sen} \theta \quad \text{su Unidad es VAR}$$

### 4.3.2.3 Potencia Aparente

Se conoce como potencia aparente a la combinación matemática de la potencia activa y reactiva, se representa con la letra S y su unidad es VA (volt amperio).

$$S = V * I \text{ su unidad es VA}$$

#### 4.3.2.4 Factor de Potencia FP

El factor de potencia es el Ángulo de desfase entre el voltaje y corriente. Su valor oscila entre 0 y 1.

$$FP = \frac{P}{S}$$

Donde:

P= Potencia Activa

S= Potencia Aparente

El Factor de potencia siempre estará entre 0 y 1

FP= 1 cuando la carga es puramente resistiva  $\theta_v = \theta_i$

$$FP = \text{Cos}(\theta_v - \theta_i)$$

$$FP = \text{Cos}(0)$$

$$FP = 1$$

FP= 0 cuando la carga es puramente Reactiva  $\theta_v \neq \theta_i$

$$\theta_v \neq \theta_i = \pm 90$$

El factor de potencia adelantado y atrasado:

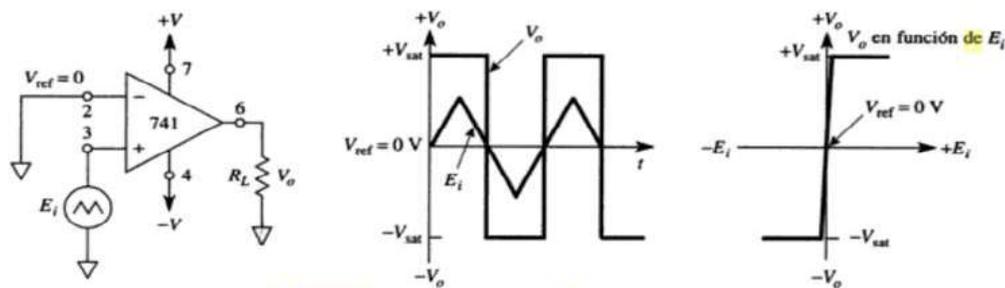
FP= adelantado es una carga capacitiva, la corriente se adelanta al voltaje

FP= atrasado, es una carga inductiva, la corriente se atrasa al voltaje

### 4.3.2.5 Cruce por Cero

El amplificador operacional funciona como un comparador. Su entrada (+) contrasta el voltaje  $E_i$  con un voltaje de referencia de 0 V ( $V_{ref} = 0$  V). Pero cuando el voltaje es mayor que el  $V_{ref}$ , el voltaje de entrada es igual a voltaje de saturación. Esto se debe a que el voltaje de entrada (+) es más positivo que el voltaje de entrada (-). Por lo tanto, el signo del voltaje es positivo, en la figura 95 se muestra el detector de cruce por cero. (Fiore, 2021)

Figura 95: Detector de cruce por cero



Fuente: Operational Amplifiers & Linear Integrated Circuits, Robert F. Coughlin, Frederick F.

## 4.4 Software XAMPP

XAMPP, es un servidor independiente de plataforma de código abierto. Permite instalar fácilmente Apache en una portátil personal, en cualquier sistema operativo (Linux, Windows, MAC o Solaris). Es de uso gratuito, es el encargado de crear, editar, consultar, y gestionar base de datos en MySQL de una manera rápida y sencilla, en la siguiente figura se puede observar el icono del programa de la base de datos XAMPP.

Figura 96: Icono de XAMPP



Fuente: <https://acortar.link/XcaxXL>.

## 4.5 IDE Arduino

En la interfaz del programa Ide Arduino, es un conjunto de herramientas de Software que permite desarrollar y grabar el código que sea necesario.

En este caso se hace uso de la plataforma del ide Arduino para programar el ESP32, a continuación, se muestra la instalación de Ide Arduino, las librerías y URL de la Placa Esp32.

### 4.5.1 Conexión Remoto Arduino con Node-Red

Para establecer la conexión remota Iot se siguen los siguientes pasos:

Paso 1: se establece una red Wifi (en este caso el celular hará la función de Router) una vez enlazado con la señal wifi, Jortesis, siendo la clave 1234512345, establecida la conexión, se procede a abrir el CMD y se inserta el siguiente comando “ipconfig” así poder visualizar la IP designado. Para que se conecte el ESP32, que tiene el siguiente código en el IDE Arduino, la IP que se escribió en el código, fue proporcionado por el CMD, como se puede observar en la siguiente Figura N.º 115.

- `mqtt_server = "192.168.182.107"`
- `char ssid [] = "Jortesis";`
- `char password [] = "1234512345"`

En la figura 97 se muestra la conexión a la red Jortesis con clave 1234512345.

**Figura 97:** *Conexión a Red Wifi*

Fuente: Computador.

Ingresado a la red wifi Jortesis se procede a revisar el número de IP asignado, para ello se ingresa al comando CMD de la portátil y se introduce el siguiente comando “IPCONFIG” como se muestra en la figura 98.

**Figura 98:** *Interfaz CMD*

```
Nodejs command prompt
C:\Users\HOME> ipconfig
Configuración IP de Windows

Adaptador de Ethernet Ethernet:

    Estado de los medios. . . . . : medios desconectados
    Sufijo DNS específico para la conexión. . . :

Adaptador de LAN inalámbrica Conexión de área local* 1:

    Estado de los medios. . . . . : medios desconectados
    Sufijo DNS específico para la conexión. . . :

Adaptador de LAN inalámbrica Conexión de área local* 2:

    Estado de los medios. . . . . : medios desconectados
    Sufijo DNS específico para la conexión. . . :

Adaptador de LAN inalámbrica Wi-Fi:

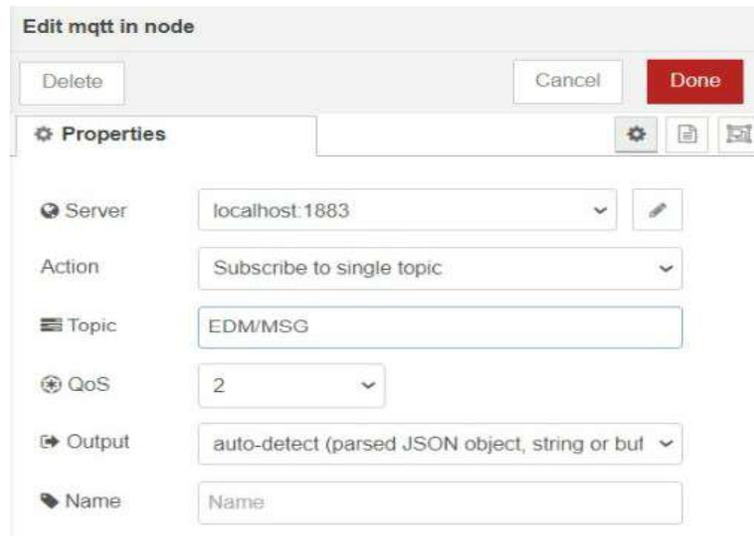
    Sufijo DNS específico para la conexión. . . :
    Vínculo: dirección IPv6 local. . . . : fe80::2chd-3bd-5aa4-42f3%5
    Dirección IPv4. . . . . : 192.168.182.107
    Máscara de subred . . . . . : 255.255.255.0
    Puerta de enlace predeterminada . . . . : 192.168.182.146

C:\Users\HOME>
```

Fuente: Computador.

Paso 2: Se enlaza con el Aedes MQTT, donde existen dos tipos de folder: suscripción y de publicación, en este caso se hizo uso del folder de publicación, en la figura 99 se observa que el server es localhost:1883, el topic EDM/MSG y el Q02 es 2.

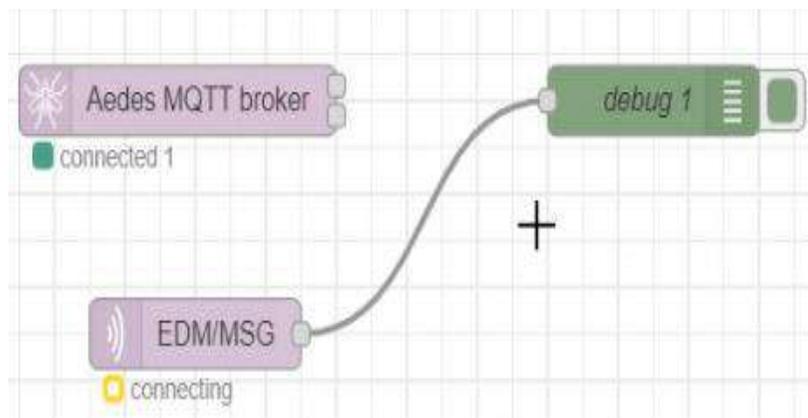
**Figura 99:** *Conexión MQTT*



Fuente: Node-Red.

En la figura 100 se visualiza el nodo de Aedes Bróker utilizado en el Node-red para enlazar el ESP32 con el programa Node-red por medio del protocolo de comunicación MQTT que es un protocolo de mensajería.

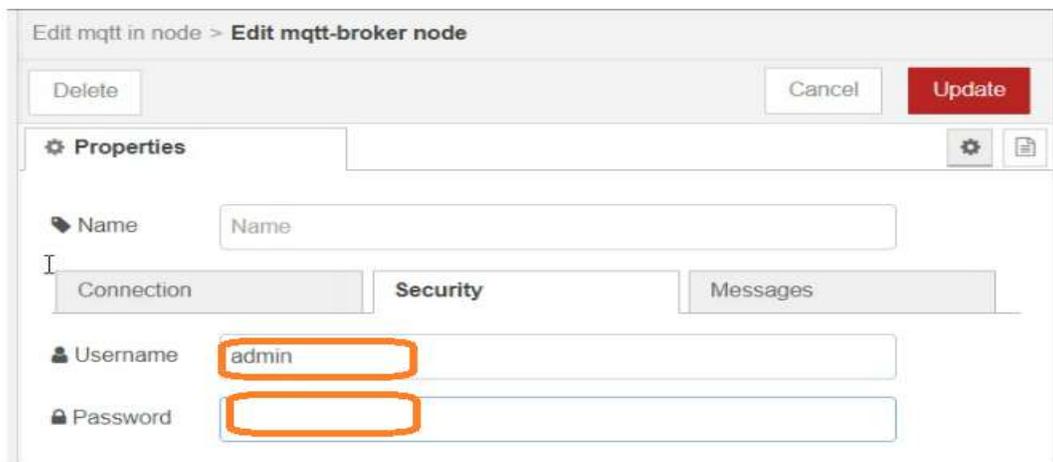
**Figura 100:** *Aedes MQTT conectado*



Fuente: Node-Red.

Paso 3: Se procede a ingresar el usuario que es admin y la clave que es admin en MQTT, dicho usuario y clave se ingresa en la programación del IDE de Arduino, en la figura 101 se observa que se ingresa el username (usuario) y Password que ambos son admin.

**Figura 101:** *Usuario y Clave de MQTT*



The image shows a screenshot of the Node-Red interface for editing an MQTT node. The window title is "Edit mqtt in node > Edit mqtt-broker node". At the top, there are buttons for "Delete", "Cancel", and "Update". Below this is a "Properties" section with a "Name" field. The "Security" tab is selected, showing "Username" and "Password" fields. The "Username" field contains the text "admin" and is highlighted with an orange box. The "Password" field is empty and also highlighted with an orange box. There are also "Connection" and "Messages" tabs visible.

Fuente: Node-Red 2022.

Paso 4: Se procede hacer la conexión entre Node-Red y XAMPP, primero se accede al programa XAMPP y se le da click en start en lo que es apache y MySQL, dado los click nos aparece en STOP, esto quiere decir que la base de datos se inicializó, como se puede observar en la figura 102.

**Figura 102:** Se Inicializa Programa XAMPP

**XAMPP Control Panel v3.3.0**

Service	Module	PID(s)	Port(s)	Actions	Admin	Config	Logs
✓	Apache	4284	80, 443	Stop	Admin	Config	Logs
✓	MySQL	4468	3306	Stop	Admin	Config	Logs
✓	FileZilla			Start	Admin	Config	Logs
✗	Mercury			Start	Admin	Config	Logs
✗	Tomcat			Start	Admin	Config	Logs

Log output:

```

17:18:57 [main] Initializing Control Panel
17:18:57 [main] Windows Version: Home 64-bit
17:18:57 [main] XAMPP Version: 7.4.29
17:18:57 [main] Control Panel Version: 3.3.0 [ Compiled: Apr 6th 2021 ]
17:18:57 [main] Running with Administrator rights - good!
17:18:57 [main] XAMPP Installation Directory: "c:\program files\xampp\"
17:18:57 [main] WARNING: Your install directory contains spaces. This may break programs/scripts
17:18:57 [main] Checking for prerequisites
17:18:58 [main] All prerequisites found
17:18:58 [main] Initializing Modules
17:18:58 [Apache] XAMPP Apache Service is already running on port 80
17:18:58 [Apache] XAMPP Apache Service is already running on port 443
  
```

Fuente: XAMPP 2022.

Paso 5: Se procede a crear la base de datos que se le puso como nombre `bd_tesis`, que es muy intuitiva en cuanto a su uso, donde se creó fecha -hora de tipo Timestamp, voltaje del tipo float (para obtener datos con punto flotante y con dos decimales), corriente del tipo float y frecuencia también del tipo float, como se observa en la figura 103.

**Figura 103:** Creación de Base de Datos en la Web XAMPP

Los cambios en la Tabla modo\_multimetro se hicieron exitosamente.

```
ALTER TABLE `modo_multimetro` CHANGE `fecha-hora` `fecha-hora` TIMESTAMP NOT NULL DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP;
```

[ Editar en línea ] [ Editar ] [ Crear código PHP ]

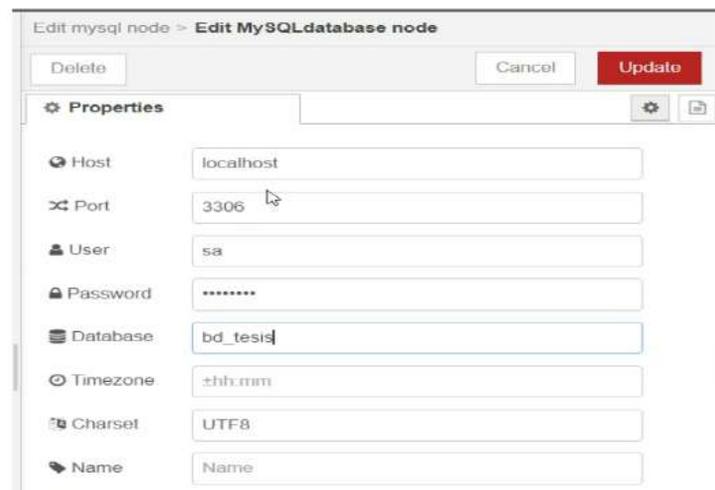
Estructura de tabla Vista de relaciones

#	Nombre	Tipo	Cotejamiento	Atributos	Nulo	Predeterminado	Comentarios	Extra	Acción
<input type="checkbox"/>	1 fecha-hora	timestamp			No	current_timestamp()			Cambiar Eliminar Más
<input type="checkbox"/>	2 voltaje	float			No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más
<input type="checkbox"/>	3 corriente	float			No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más
<input type="checkbox"/>	4 frecuencia	float			No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más

Fuente: XAMPP 2022.

Paso 6: Ya creada la base de datos, se realiza la conexión entre Node-Red y XAMPP, con el nombre que se le puso a dicha base de datos (bd\_tesis), como se puede visualizar en la figura 104:

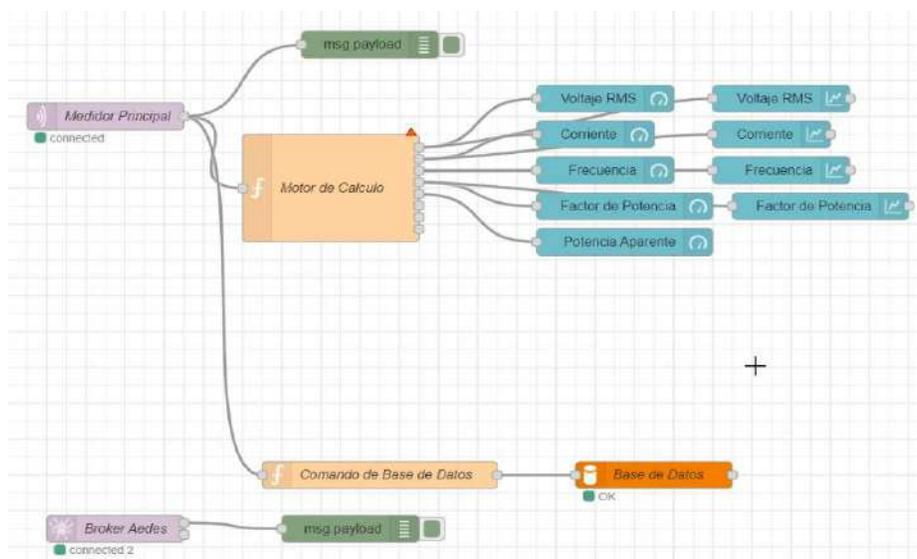
**Figura 104:** *Conexión con la Base de Datos*



Fuente: Node-Red.

Paso 7: Por consiguiente, se puede visualizar que el entorno Node-red y la base de datos fue conectada exitosamente, como se aprecia en la figura 105:

**Figura 105:** *Conexión Exitosa entre Node-Red y Base de Datos*



Fuente: Node-Red 2022.

Paso 8: Los datos adquiridos del voltaje, corriente, frecuencia y la hora por la base de datos se almacenan en la misma página Web de XAMPP, como se visualiza en la figura 106.

**Figura 106:** Base de datos

				fecha-hora	voltaje	corriente	frecuencia
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	2022-09-03 17:36:35	100.82	0.15	59.89
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	2022-09-03 17:36:36	138.35	0.15	19.34
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	2022-09-03 17:36:37	127.84	0.16	19.34
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	2022-09-03 17:36:38	115.65	0.15	60.72
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	2022-09-03 17:36:39	127.53	0.16	60.09
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	2022-09-03 17:36:40	136.72	0.15	1.54
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	2022-09-03 17:36:41	133.78	0.15	1.54
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	2022-09-03 17:36:42	127.14	0.15	0.73
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	2022-09-03 17:36:43	110.32	0.15	58.64
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	2022-09-03 17:36:44	110.85	0.15	59.67
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	2022-09-03 17:36:45	117.29	0.15	60.22
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	2022-09-03 17:36:46	115.31	0.15	60.19
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	2022-09-03 17:36:47	116.66	0.15	60.02
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	2022-09-03 17:36:48	117.63	0.15	71.18
<input type="checkbox"/>	Editar	Copiar	Borrar	2022-09-03 17:36:49	112.51	0.15	62.04

Fuente: XAMPP 2022.

Paso 9: Dichos datos adquiridos en la Base de Datos se pueden exportar en un archivo Excel como se muestra en la figura 107:

**Figura 107:** Datos adquiridos Exportador a Excel

	A	B	C	D
1	fecha-hora	voltaje	corriente	frecuencia
2	3/09/2022 17:36	227.81	0.15	60.05
3	3/09/2022 17:36	130.77	0.15	60.05
4	3/09/2022 17:36	120.06	0.15	59.5
5	3/09/2022 17:36	145.34	0.16	59.5
6	3/09/2022 17:36	107.45	0.15	60.04
7	3/09/2022 17:36	100.82	0.15	59.89
8	3/09/2022 17:36	138.35	0.15	19.34
9	3/09/2022 17:36	127.84	0.16	19.34
10	3/09/2022 17:36	115.65	0.15	60.72
11	3/09/2022 17:36	127.53	0.16	60.09
12	3/09/2022 17:36	136.72	0.15	1.54
13	3/09/2022 17:36	133.78	0.15	1.54
14	3/09/2022 17:36	127.14	0.15	0.73
15	3/09/2022 17:36	110.32	0.15	58.64
16	3/09/2022 17:36	110.85	0.15	59.67
17	3/09/2022 17:36	117.29	0.15	60.22
18	3/09/2022 17:36	115.31	0.15	60.19
19	3/09/2022 17:36	116.66	0.15	60.02
20	3/09/2022 17:36	117.63	0.15	71.18
21	3/09/2022 17:36	112.51	0.15	62.04
22	3/09/2022 17:36	109.98	0.15	60.11
23	3/09/2022 17:36	109.14	0.15	59.97
24	3/09/2022 17:36	110.44	0.15	59.79
25	3/09/2022 17:36	111.19	0.15	61.2
26	3/09/2022 17:36	102.58	0.15	60.33
27	3/09/2022 17:36	140.04	0.15	60.16
28	3/09/2022 17:36	132.76	0.15	59.77
29	3/09/2022 17:36	275.3	0.15	57.11

Fuente: Excel 2022.

Paso 10: Utilizando los nodos Chart y gauge para poder visualizar los valores de voltaje, corriente, frecuencia y factor de potencia. Para ingresar a dichos Dashboard se ingresa en URL: localhost:1880/ui, donde se observa en tiempo real la señal de voltaje, corriente, frecuencia y el factor de potencia, como se observa en la figura 108.

**Figura 108:** Visualización de Dashboard

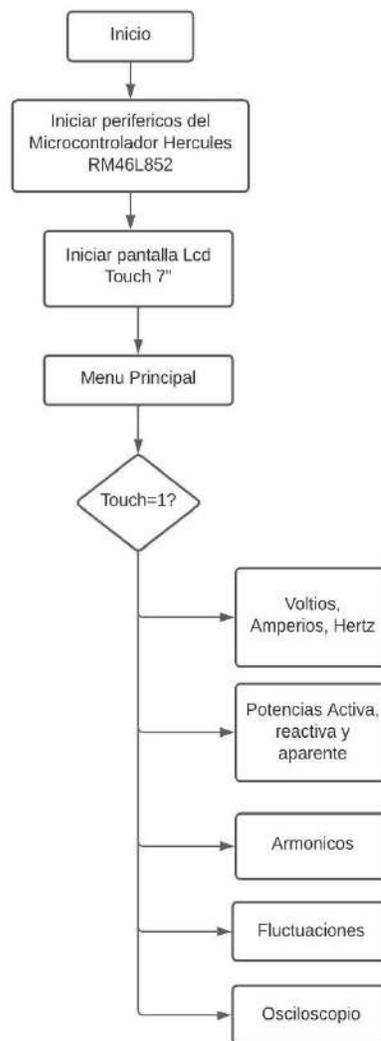


Fuente: XAMPP 2022.

## 4.6 Diagrama de Flujo del Programa principal

En el Flujograma se muestra el Diagrama de Flujo principal, este flujograma muestra el orden de cada tarea que puede realizar el prototipo analizador de red eléctrica monofásico, el prototipo cuenta con cinco tareas, para navegar en la pantalla Touch de 7" de manera muy intuitiva, en la figura 109 se puede visualizar dicho flujograma el cual cuenta con 5 submenús.

**Figura 109:** *Flujograma Principal*

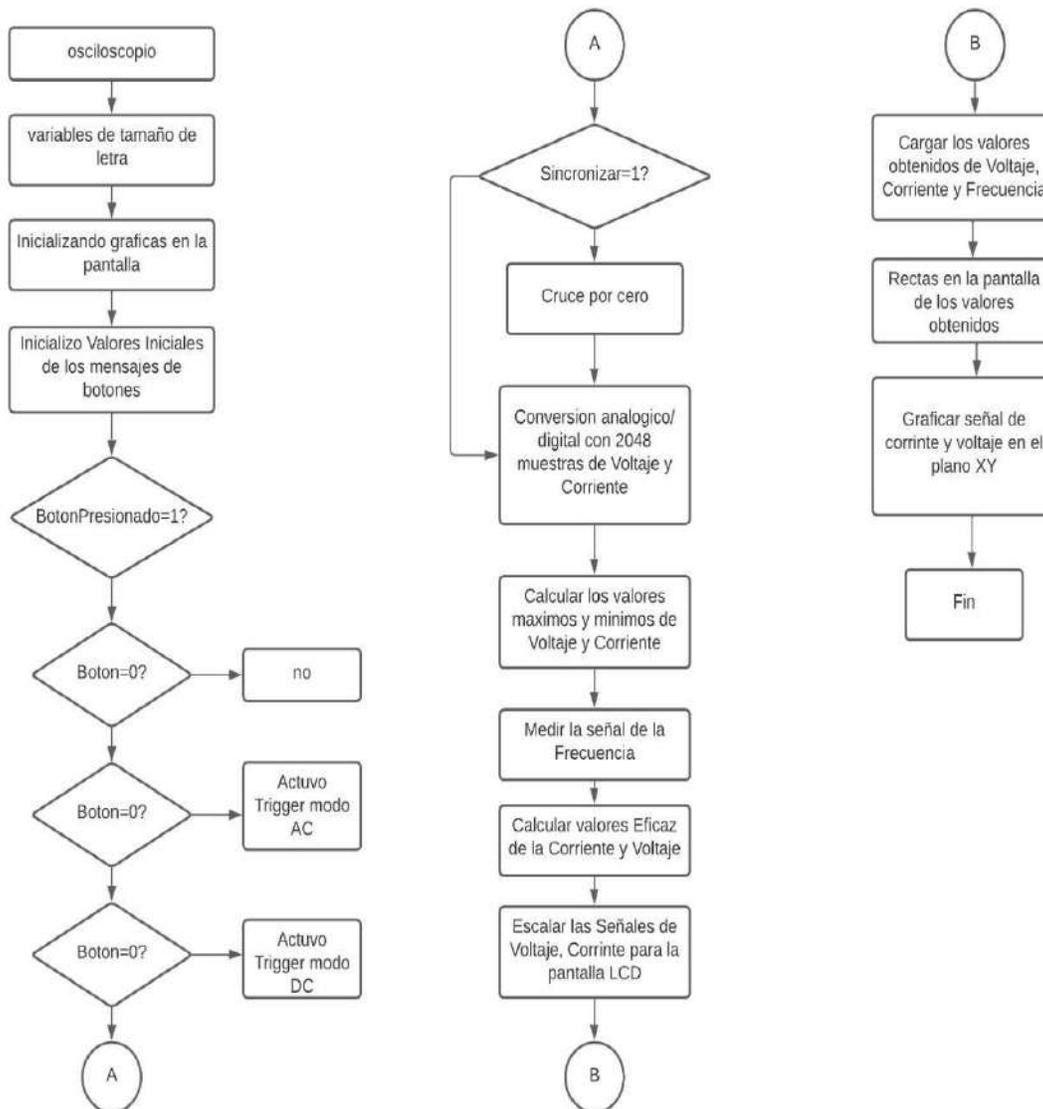


Fuente: Elaboración propia Software Lucidchart.

#### 4.6.1 Flujograma del osciloscopio

Cuando la pantalla Lcd enciende se observa un menú principal del sistema, se ingresa al submenú de osciloscopio, contiene el algoritmo de operación de Corriente, Voltaje y frecuencia. Las señales de voltaje y corriente son graficadas en el plano de coordenadas de X-Y de la pantalla Lcd.

**Figura 110:** Flujograma de osciloscopio

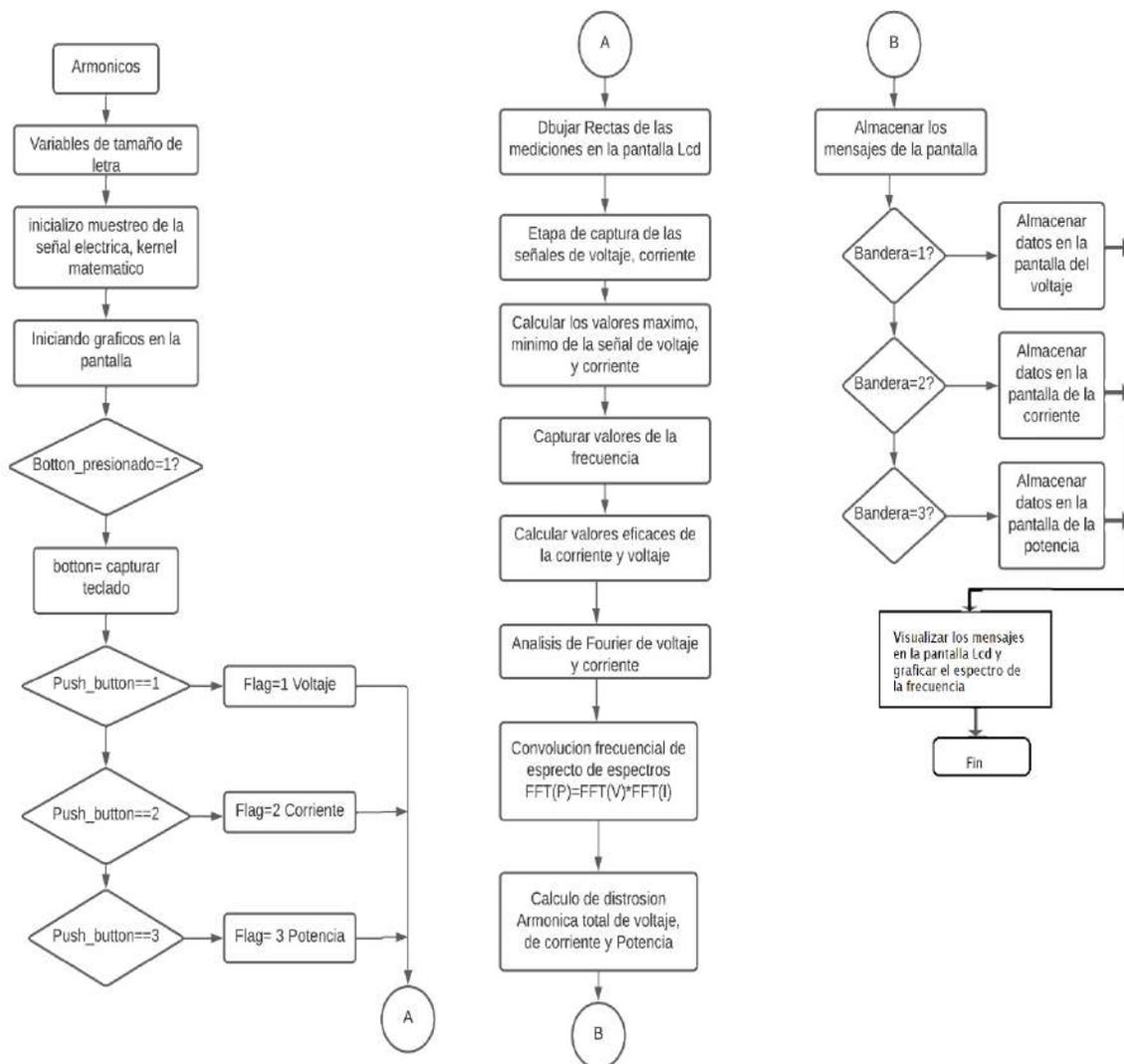


Fuente: Elaboración propia Software Lucidchart.

#### 4.6.2 Flujograma de los armónicos

Cuando la pantalla Lcd enciende se observa el menú principal del sistema, se ingresa al submenú de armónicos que utiliza transformada de Fourier (radix4) como algoritmo principal para el análisis de los armónicos de la señal alterna C.A; este algoritmo puede mostrar los armónicos de la señal de voltaje y corriente, a partir de estos armónicos el equipo calcula por convolución frecuencial los armónicos.

Figura 111: Flujograma de armónicos

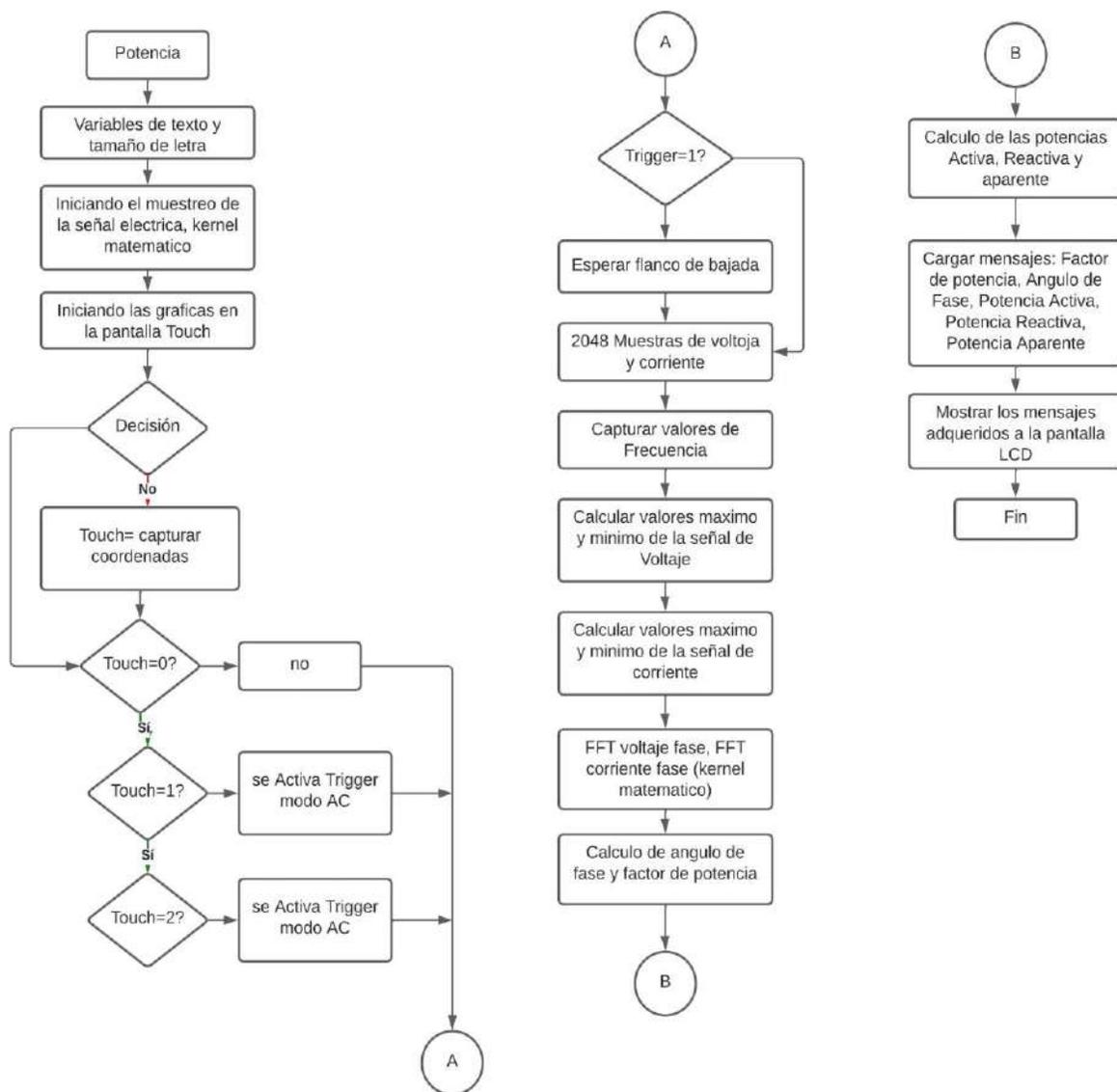


Fuente: Elaboración propia Software Lucidchart.

### 4.6.3 Flujograma de Potencia

Cuando la pantalla Lcd enciende se observa el menú principal del sistema, se ingresa al submenú de potencia, que tiene utiliza transformada de Fourier (radix4) como algoritmo principal para el cálculo del ángulo de desfase y de esa manera encontrar las potencias aparente, activa, reactiva y el factor de potencia para así poder mostrar en la pantalla LCD que se generan en los márgenes de un plano X-Y.

**Figura 112:** Flujograma de la potencia

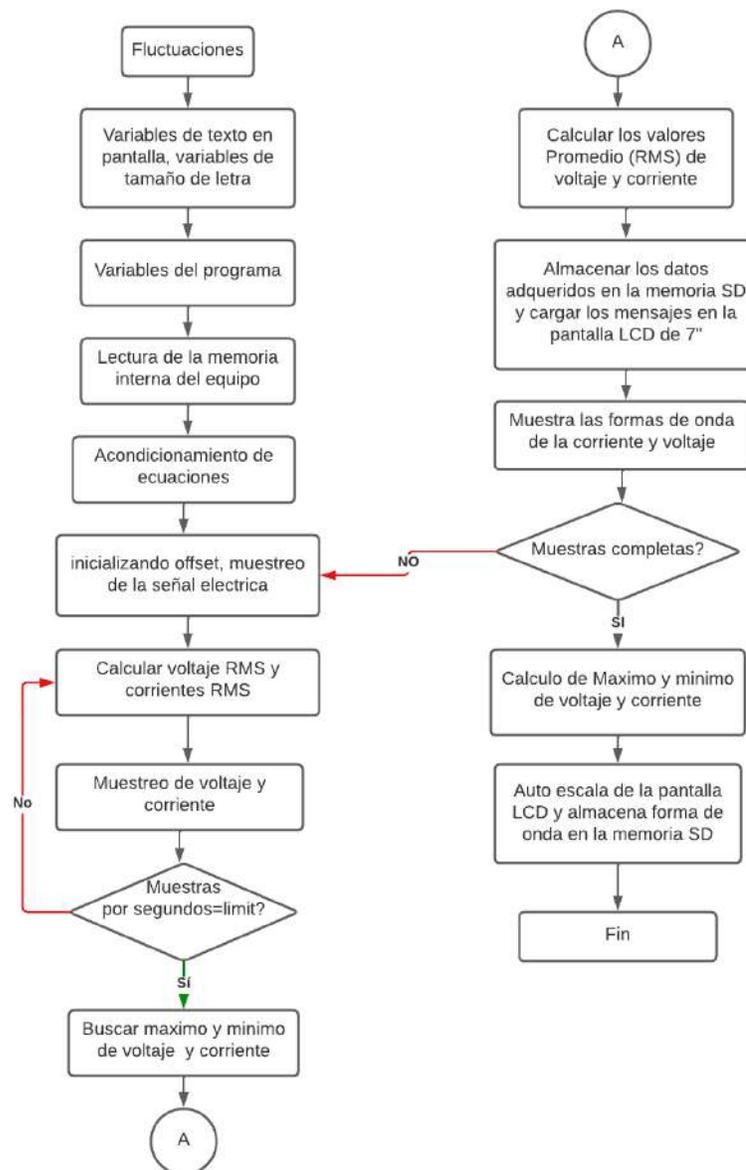


Fuente: Elaboración propia Software Lucidchart.

#### 4.6.4 Flujograma de las Fluctuaciones

Cuando la pantalla Lcd enciende se observa un menú principal del sistema, que tiene varias funciones, en este caso se ingresa a fluctuaciones, que mide las fluctuaciones producidas por el voltaje y corriente en CA.

**Figura 113:** Flujograma de Fluctuaciones



Fuente: Elaboración propia Software Lucidchart.

#### 4.6.5 Diagrama de Flujo del Módulo ESP32

Se tiene la interfaz del módulo Wifi ESP32, que se encarga de la conexión a la red de donde será instalado el prototipo, así el usuario podrá ver las señales de voltaje, corriente, frecuencia, teniendo en cuenta que el servidor es la computadora donde se instaló los softwares.

**Figura 114:** Flujograma ESP32



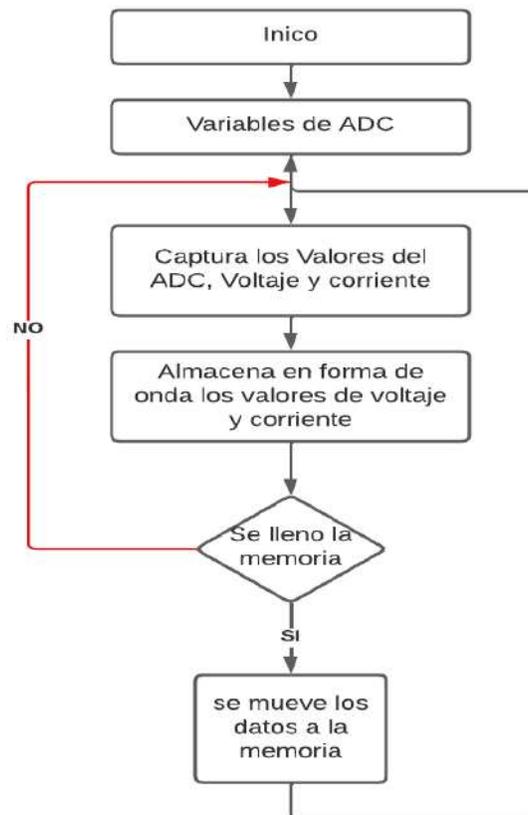
Fuente: Elaboración propia Software Lucidchart.

#### 4.6.6 Diagrama Interrupción ADC

El siguiente algoritmo está implementado en el microcontrolador Hércules RM46L852, debido a la gran capacidad de memoria RAM, memoria Flash y la velocidad de su procesador de 220 MHz.

Se genera una interrupción cada 48.88 us, el procesador al atender la interrupción, realiza la captura de Voltaje y la corriente que se muestra en el ADC del microcontrolador RM46L852, lo almacena en la memoria de un array de datos con punto flotante; el conjunto con esta tarea un contador de eventos va incrementando su valor hasta llegar a su valor 4096 eventos; este sector de la memoria, esta área de la memoria proporciona información al motor de cálculo eléctrico kernel.

*Figura 115: Flujoograma ADC*

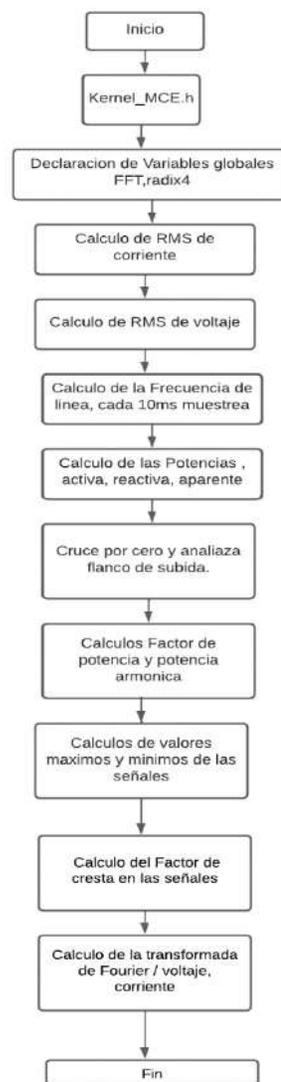


Fuente: Elaboración propia Software Lucidchart.

#### 4.6.7 Motor de cálculo kernel

El motor de cálculo recibe los datos de la señal de corriente, el voltaje, la frecuencia y procede a encontrar los valores mínimos, RMS, máximos, y las potencias como es la activa, reactiva y aparente, así como el factor de potencia, con los datos almacenados en la memoria ram en forma de estructura de datos, se envían a través de su módulo serial al microcontrolador ESP32.

**Figura 116:** Flujoograma de motor de cálculo Kernel



Fuente: Elaboración propia Software Lucidchart.

## Capítulo V

### Análisis e Interpretación de Resultados

En este capítulo se describe cada parte de la elaboración del equipo con todos los circuitos diseñados, como el sensor de corriente, sensor de voltaje, sensor de frecuencia para el prototipo analizador de red monofásica basado en Iot.

#### 5.1 Etapa Analógica

En la etapa Analógica se podrá observar los circuitos como: el sensor de voltaje, sensor de corriente, sensor de frecuencia mencionados anteriormente y en este capítulo se describen las formas de onda como resultado a lo elaborado en las placas electrónicas.

##### 5.1.1 Circuito Sensor de Voltaje

Realizados los cálculos se comprobó en protoboard, luego se procede a desarrollar las pruebas para el correcto funcionamiento, una vez comprobada su funcionalidad se procede a hacer la placa electrónica usando resistencias SMD, como el amplificador operacional en SMD MCP6022, como se muestra en la figura 117.

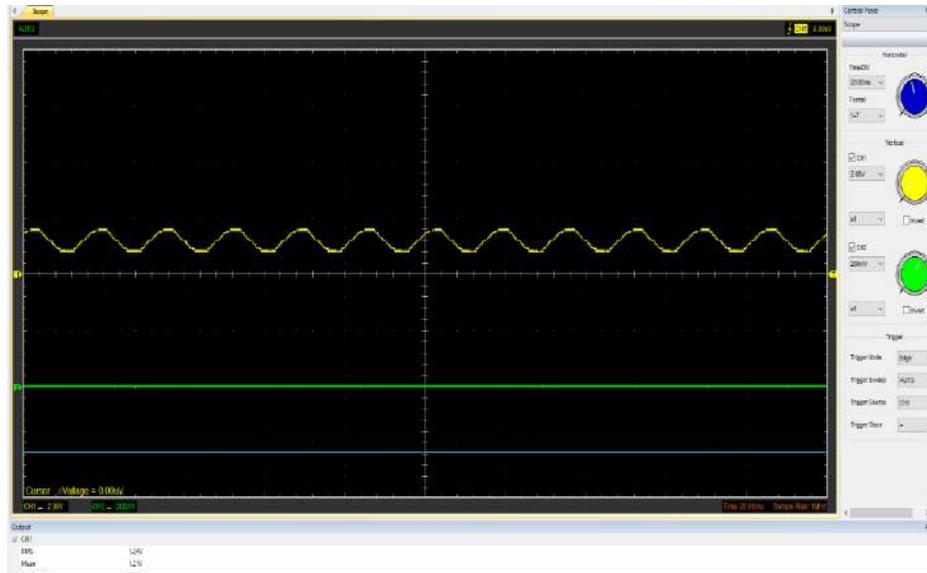
**Figura 117:** Circuito Equipo Sensor de Voltaje Armado en Placa



Fuente: Elaboración propia.

En la 118 figura se muestra la onda del sensor de voltaje.

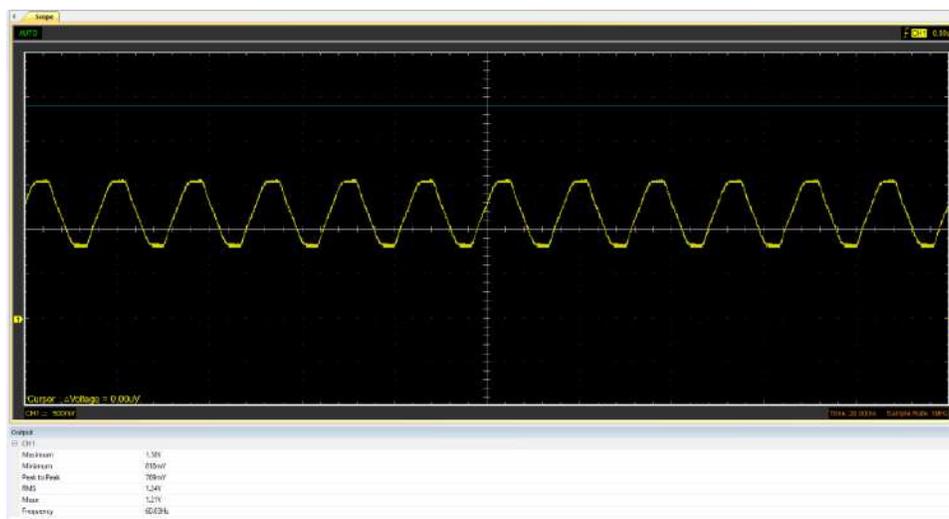
**Figura 118:** Sensor de voltaje, salida de amplificador operacional



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 119 se muestra la onda de voltaje que ingresa al microcontrolador Hércules RM46L852

**Figura 119:** Sensor de voltaje, salida del amplificador operacional a Microcontrolador



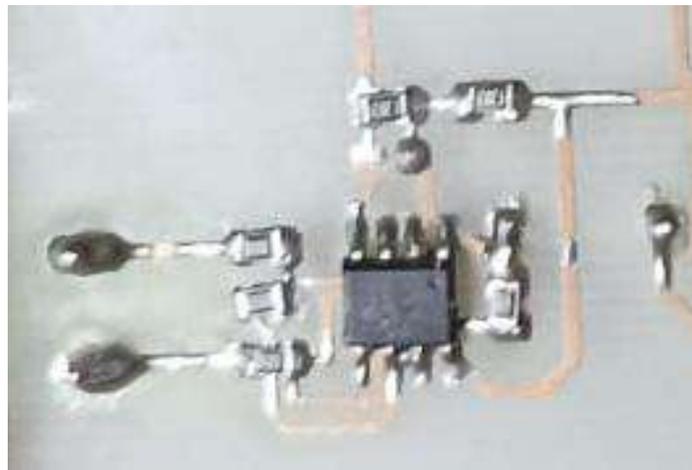
Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.2 Circuito Acondicionador de Corriente

Para la etapa del Sensado de corriente se utilizó la pinza Amperimétrica Mastech MS3302, primero, se realizó pruebas con un circuito en protoboard para comprobar que el sensado sea el correcto.

Una vez que las pruebas fueron efectuadas con éxito en el protoboard se procedió a hacerlo en placa el circuito, en las siguientes figuras se muestra la placa electrónica del circuito Acondicionador, así como la forma de onda del sensor de corriente, en la figura 120 se observa la placa electrónica del circuito acondicionador y en la figura 121 se aprecia la forma de onda del sensado de corriente.

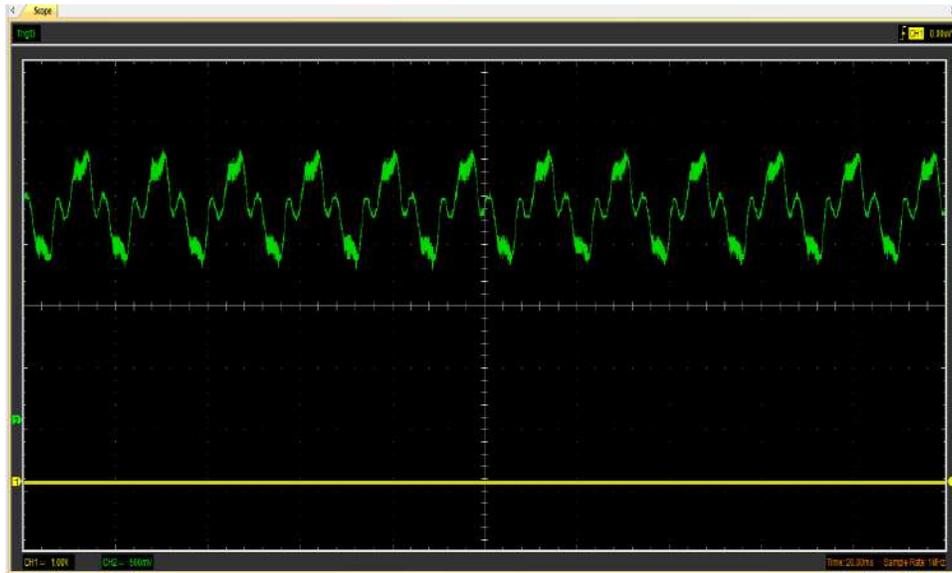
**Figura 120:** Acondicionador de corriente.



Fuente: Elaboración propia.

Se utilizó los componentes electrónicos en smd, ya que se busca que la placa sea lo más pequeña posible, como se observa en la figura 120, se hizo uso del amplificador operacional MCP6022 en smd, de igual manera en las resistencias. Al circuito se le llama acondicionador, puesto que el sensado lo realiza la pinza amperimétrica por medio del campo magnético que lo transforma a voltaje en su salida, y dicha salida ingresa al circuito acondicionador con una ganancia de 100.

**Figura 121:** *Sensor de Corriente, salida de amplificador operacional a Microcontrolador*



Fuente: Elaboración propia.

### **5.1.3 Circuito Sensor de Frecuencia**

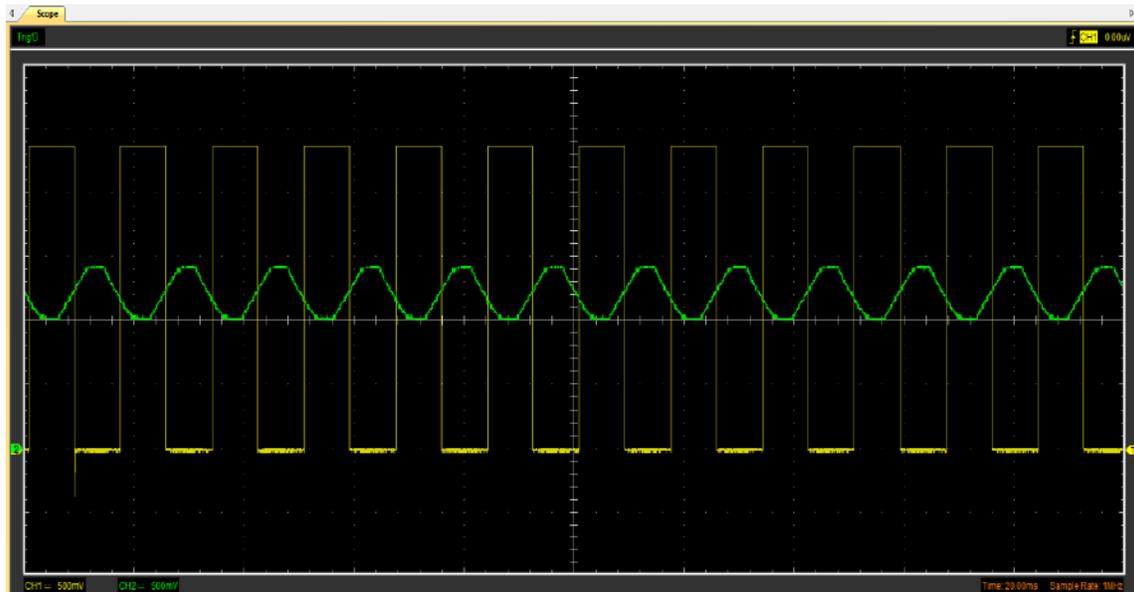
El circuito del sensor de frecuencia se basa en un comparador, y en compuertas lógicas 74HC14 inversoras, en la figura 122 se muestra la placa electrónica del sensor de frecuencia con dispositivos SMD, y en la figura 123 se muestra la forma de onda de la frecuencia como la del voltaje.

**Figura 122:** *Circuito del Sensor de Frecuencia en Placa*



Fuente: Elaboración propia.

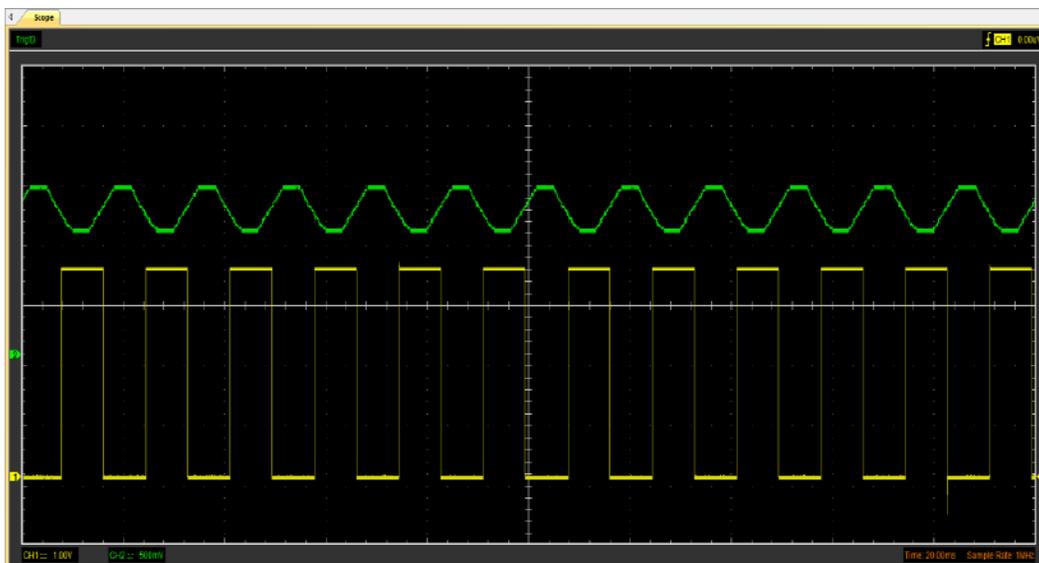
**Figura 123:** Señal de voltaje(verde) y frecuencia (amarilla)



Fuente: Elaboración propia.

Se muestra las formas de onda del voltaje y la frecuencia separadas, dando como resultado la forma de onda de la frecuencia sin ruido, como se observa en la figura 124.

**Figura 124:** Señal de voltaje (Verde) y Frecuencia (amarilla) separadas



Fuente: Elaboración propia.

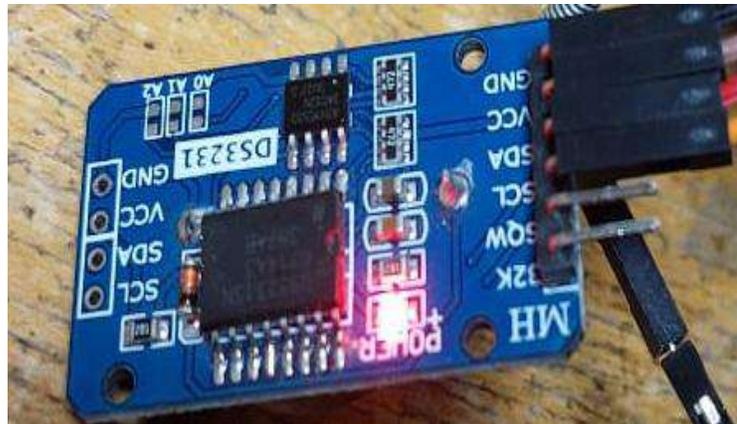
## 5.2 Etapa Digital

En la etapa digital se observan los circuitos como el Reloj digital en tiempo real, la memoria EEPROM que viene incorporado en el mismo circuito que el reloj digital, también se puede visualizar la pantalla LCD Touch de 7 “.

### 5.2.1 Reloj Digital

El circuito Reloj digital se encarga de almacenar la hora y fecha actualizada y es de bajo consumo de energía, el reloj en tiempo real DS3132 cuenta segundos, minutos, horas, días, mes, año, a continuación, en la figura 125 se observa el dispositivo.

**Figura 125:** Circuito de Reloj Ds3132

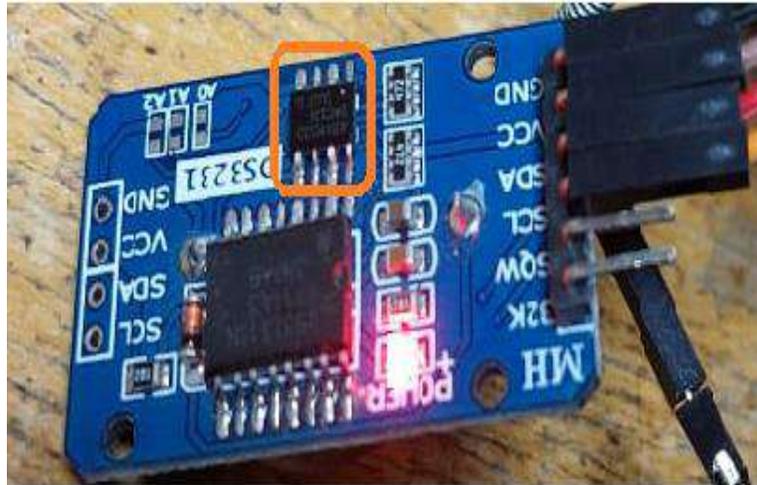


Fuente: DS3231

### 5.2.2 Memoria EEPROM 24LC32

La memoria EEPROM, funciona bajo el protocolo I2C, es la encargada de almacenar los archivos en una memoria no volátil, es una característica importante para el prototipo, ya que permite la desconexión y conservación de la información almacenada, viene integrado con el Reloj en tiempo Real, como se muestra en la siguiente figura 126:

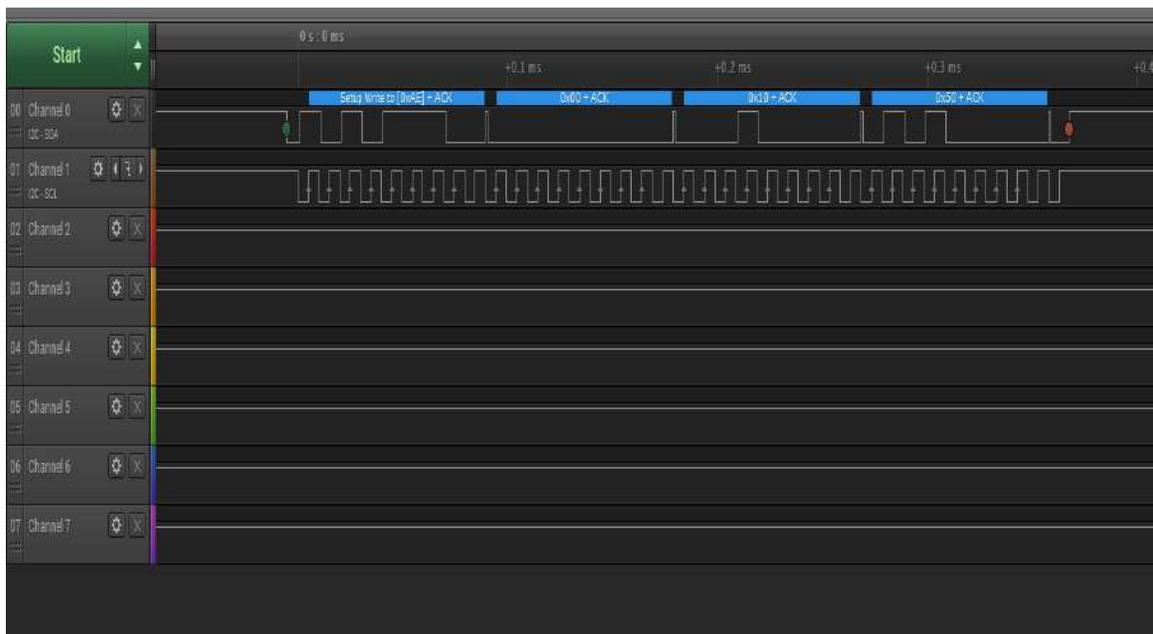
**Figura 126:** Circuito de Reloj DS3132



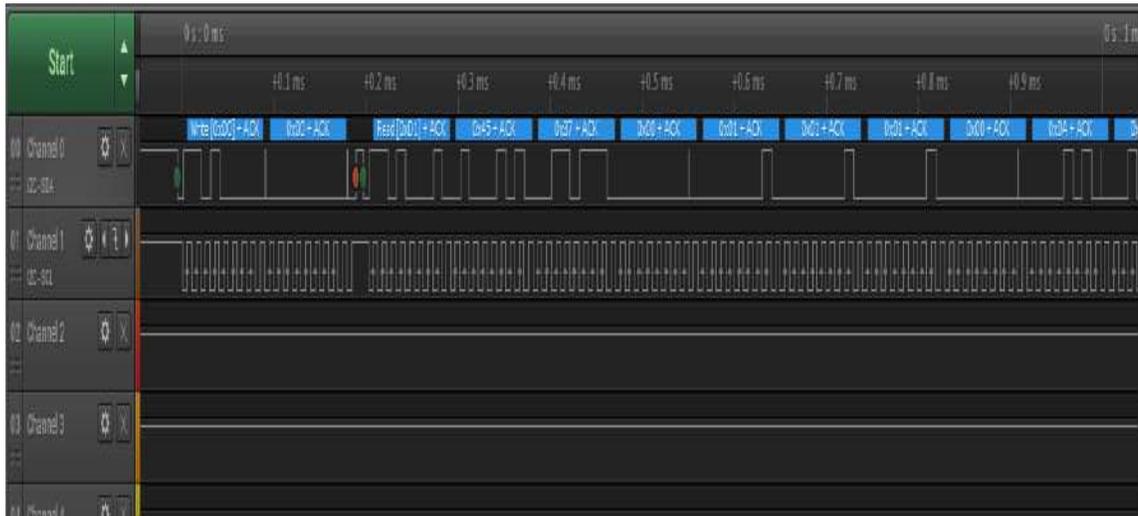
Fuente: 24L32

En la figura 127 se puede observar la forma ondas del reloj ds3132 para la transmisión de datos, así como en la figura 128 que verifica la señal de la memoria EEPROM.

**Figura 127:** Señal de escritura Memoria EEPROM



Fuente: Osciloscopio virtual

**Figura 128:** Señal de reloj RTC DS 24LC32

Fuente: Osciloscopio virtual.

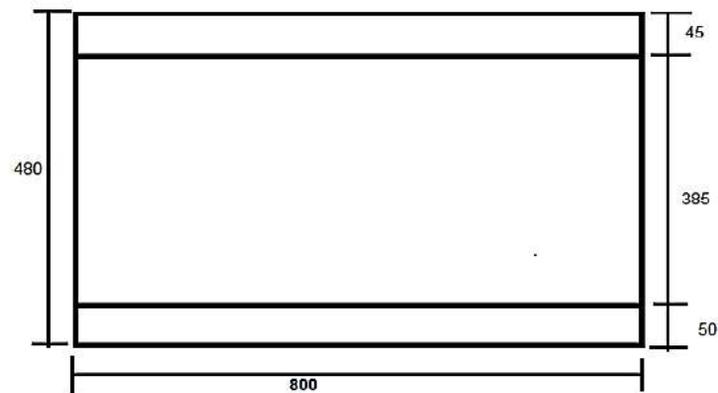
### 5.2.3 Etapa de Visualización de Datos e Interfaz

#### 5.2.3.1 Circuito de Pantalla Touch de 7"

La pantalla LCD Touch es la encargada de mostrar los valores medidos.

Escalamiento de señales para pantalla LCD, una forma de onda es la representación gráfica de una onda, siempre se presenta con el tiempo en el eje horizontal (X) y la amplitud en el eje vertical (Y); considerando que la pantalla debe contar con un menú de botones en la pantalla superior de 45 píxeles e inferior de 50 píxeles de altura y navegar en las diferentes tareas, en la siguiente imagen se muestra dimensionado dichos espacios, en la figura 129 se puede observar las coordenadas X , Y de la pantalla Touch de 7 “. (Valencia Alejo, 2016).

**Figura 129:** Dimensiones de pantalla LCD



Fuente: <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/UCSM/5324/74.0144.IE.pdf?sequence>

### 5.3 Prototipo Analizador Monofásico de Red Eléctrica

En la Figura 130 se observa el prototipo analizador de red eléctrica monofásico, el multímetro se usó para medir el voltaje antes del montaje del prototipo, también se usó para corroborar la medición del voltaje.

**Figura 130:** Prototipo Analizador Monofásico



Fuente: Elaboración propia.

### ***5.3.1 Instalación y Configuración del Prototipo Analizador Monofásico***

La instalación del prototipo debe ser realizada por personal capacitado con conocimientos en trabajo de líneas eléctricas monofásicas, 220 Vac, usando EPPs de seguridad personal, a continuación, los pasos a seguir para la instalación del prototipo:

1: Identificar el área de trabajo y revisar donde se va a instalar el prototipo analizador monofásico, de preferencia en el tablero principal de la red de energía, aguas abajo del Interruptor Termomagnético.

2: Señalizar el área de trabajo para que personas externas a la instalación no interfieran,

3: Con el detector de voltaje o multímetro verificar si hay tensión en la red principal, luego de realizar la identificación de peligros, evaluando riesgos y controles.

4: Identificar el Interruptor Termomagnético principal y desenergizar por seguridad.

5: Montar el prototipo en un lugar seguro dentro del tablero Principal.

6: Conectar dos cables aguas debajo del Interruptor Termomagnético, dichos cables son para la medición de voltaje.

7: Conectar la pinza amperimétrica, revisar que esté correctamente sujeta dicha pinza.

8: Fijar bien los cables al interruptor termomagnético y comprobar la continuidad con ayuda del multímetro para verificar que esté correctamente instalado los cables.

9: Para la configuración de la red Wifi, se tiene el celular en modo router (Punto de Acceso móvil). Y se verifica la IP designada en el CMD con el comando Ipconfig.

10: Se inicia el programa XAMPP y se conecta con la base de datos, se visualiza en la pantalla que se conectó correctamente a la red.

11: Se sube la llave del interruptor termomagnético y el prototipo empieza la medición y la transmisión de datos.

Se realizaron las pruebas en la ciudad de Arequipa en la empresa Andes Yarn S.A.C. que se dedica a la elaboración de Hilo de Algodón. Cuenta con un tablero Trifásico más

neutro para la compensación de cargas, por ejemplo, toman S + Neutro y da como resultado un valor de 220 Voltios monofásico, R+ Neutro que de igual manera resulta 220 Vac, en la figura 131 se visualiza el tablero de distribución en donde se ejecutaron las pruebas correspondientes.

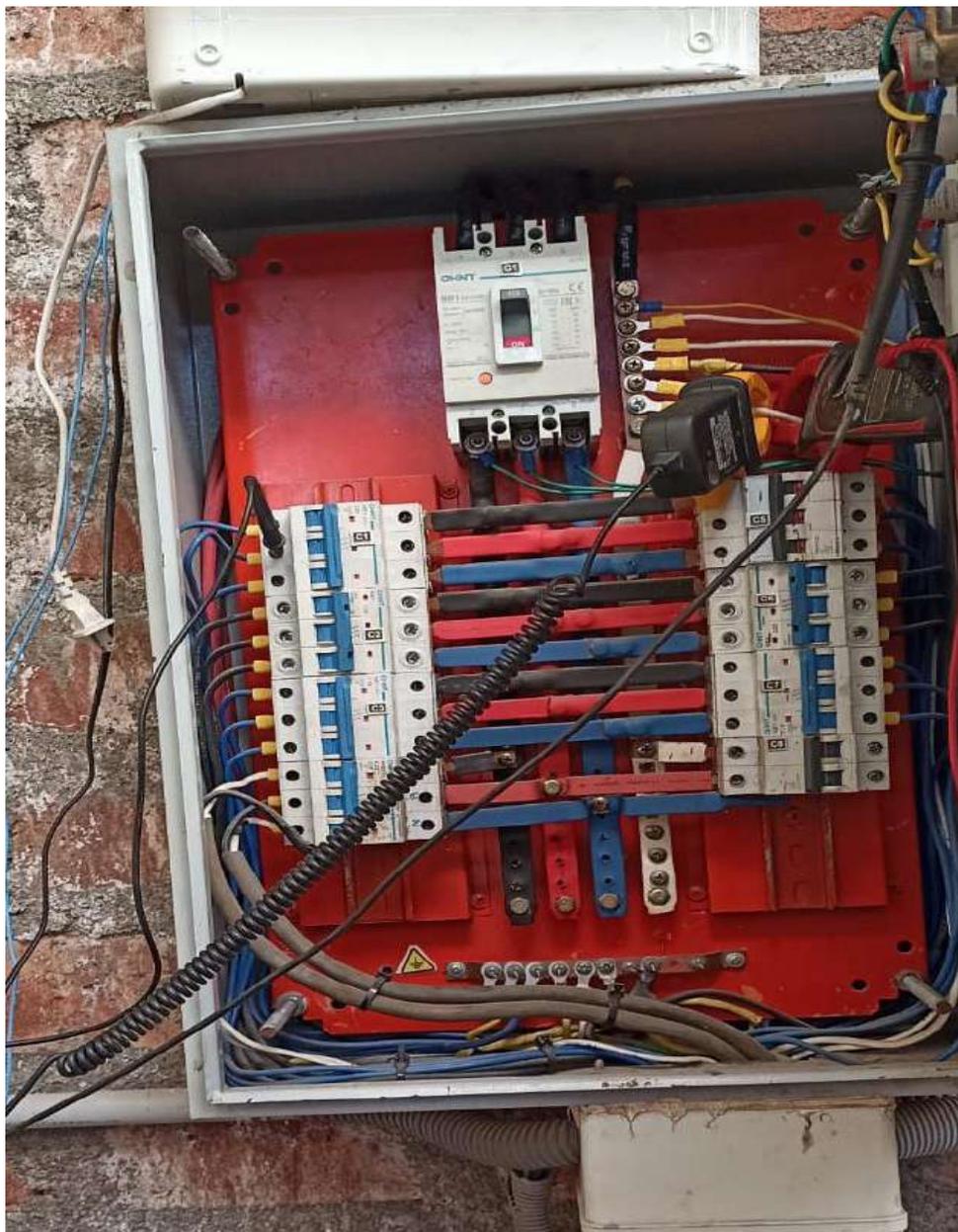
**Figura 131:** *Tablero de Distribución*



Fuente: Elaboración propia Empresa Andes Yarn S.A.C.

En la figura 132 se observa el sensor de corriente ya instalado en el tablero de potencia para capturar datos, de la misma manera se observa otra pinza amperimétrica para hacer la comparación de la corriente, ya que una pinza toma 4 datos por segundo, mientras tanto la pinza del prototipo toma 4086 datos por segundo, eso hace que sea más eficiente al capturar dichos datos.

**Figura 132:** *Medición de Voltaje y Corriente*



Fuente: Elaboración propia Empresa Andes Yarn S.A.C.

En la figura 133 se aprecia el prototipo analizador de red monofásica en modo multímetro, dicho analizador se encuentra desconectado como se aprecia en el valor de voltaje Vac.

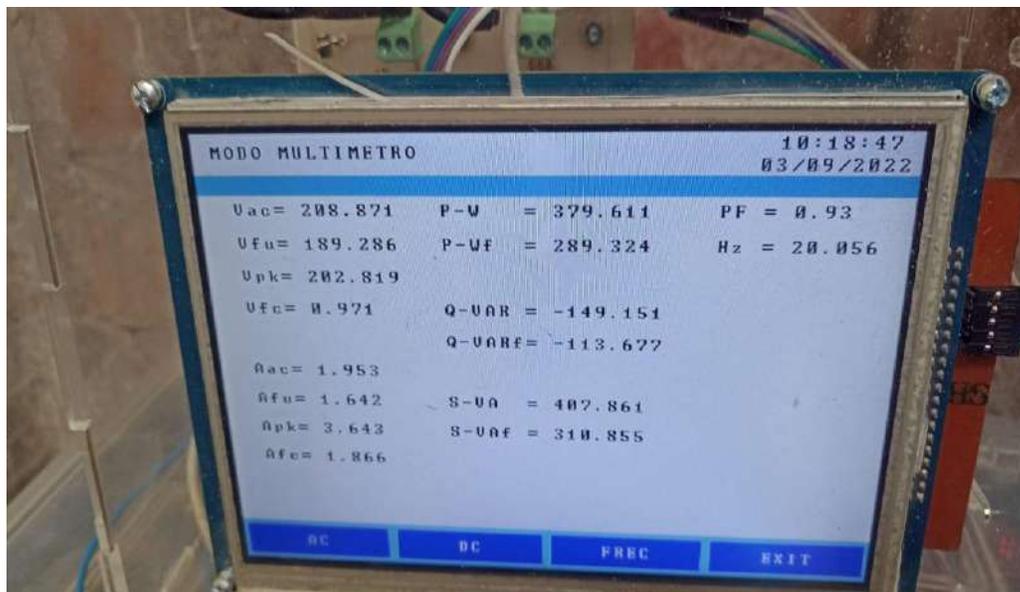
**Figura 133:** Prototipo Analizador Monofásico de Red Eléctrica



Fuente: Elaboración propia

En la figura 134, se percibe el prototipo ya con carga de voltaje y de corriente, obteniendo un voltaje de 208.871 V y la corriente 1.953 A.

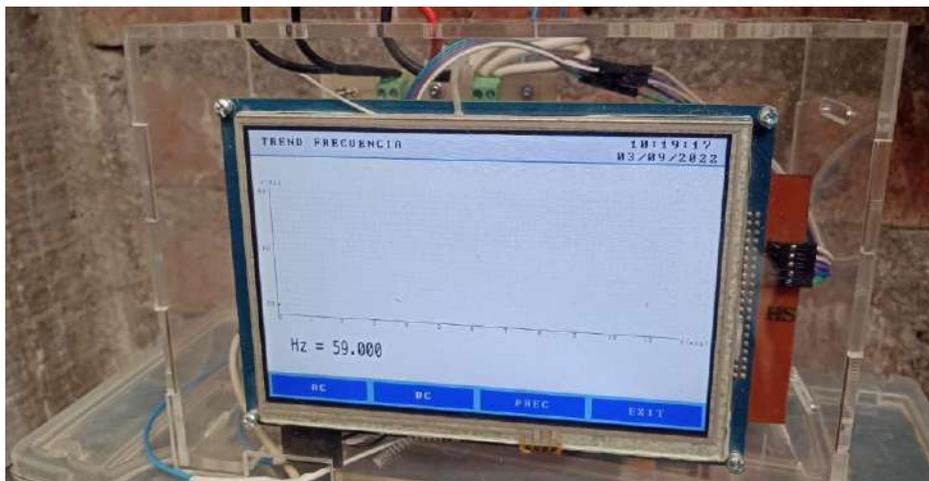
**Figura 134:** Prototipo Analizador Monofásico de Red Eléctrica, en Modo Multímetro



Fuente: Elaboración propia

En la figura 135, se evidencia la tendencia de la frecuencia, con resultado de 59.00 Hz, dichos valores se realizaron en Perú en la ciudad de Arequipa.

**Figura 135:** *Prototipo Analizador Monofásico de Red Eléctrica, Midiendo la Frecuencia*



Fuente: Elaboración propia

En la figura 136 se muestra en modo fluctuaciones donde se puede apreciar las señales de voltaje y corriente, el voltaje tiene un rango de 0 a 400 Voltios y la corriente tiene un rango de 0 a 10 Amperios,

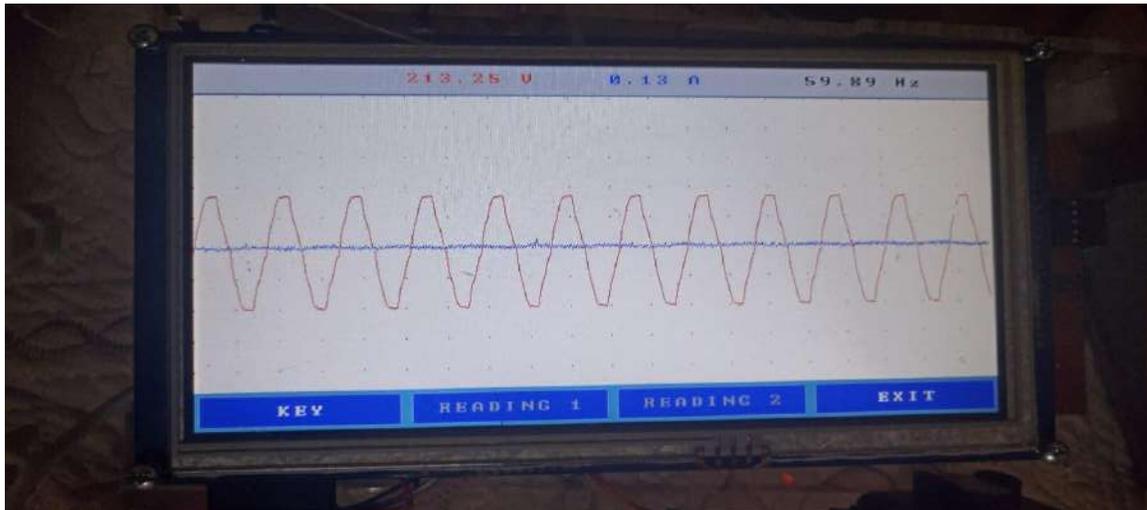
**Figura 136:** *Modo Fluctuaciones*



Fuente: Elaboración propia

En el Modo Osciloscopio se observan: los valores del voltaje, corriente y la frecuencia, así como la forma de onda, como se observa en la figura 137.

**Figura 137:** *Modo Osciloscopio*



Fuente: Elaboración propia

En el Modo Multímetro se puede apreciar los valores del voltaje, corriente y de la potencia, como el factor de potencia, como se observa en la figura 138.

**Figura 138:** *Modo Multímetro*



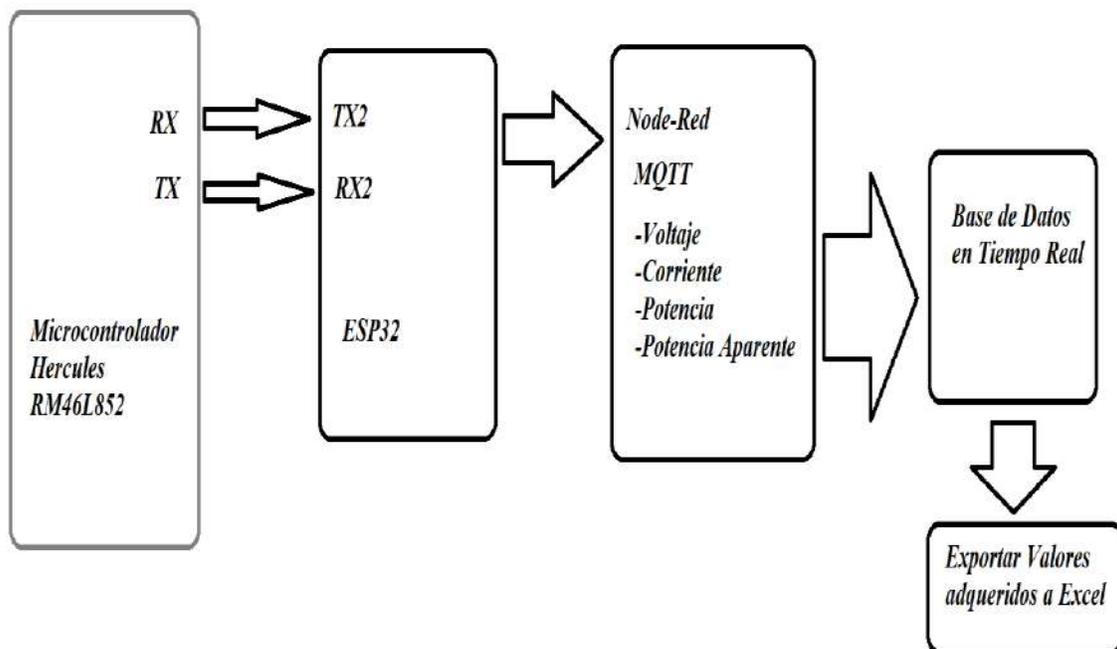
Fuente: Elaboración propia

Teniendo el prototipo implementado satisfactoriamente se realizó la prueba de Node-red, conectándose exitosamente a la red Wifi, haciendo uso del celular como router (Punto de acceso), siendo la señal de dicho router Jortesis y la clave 1234512345, y dándole un número de IP: "192.168.182.107"

### 5.3.2 Conexión al Prototipo Analizador de red monofásica

Para que el prototipo envíe correctamente los datos a la base de datos, es una comunicación Serial, entre el microcontrolador Hércules y el Esp32, como se puede observar en la siguiente figura 139.

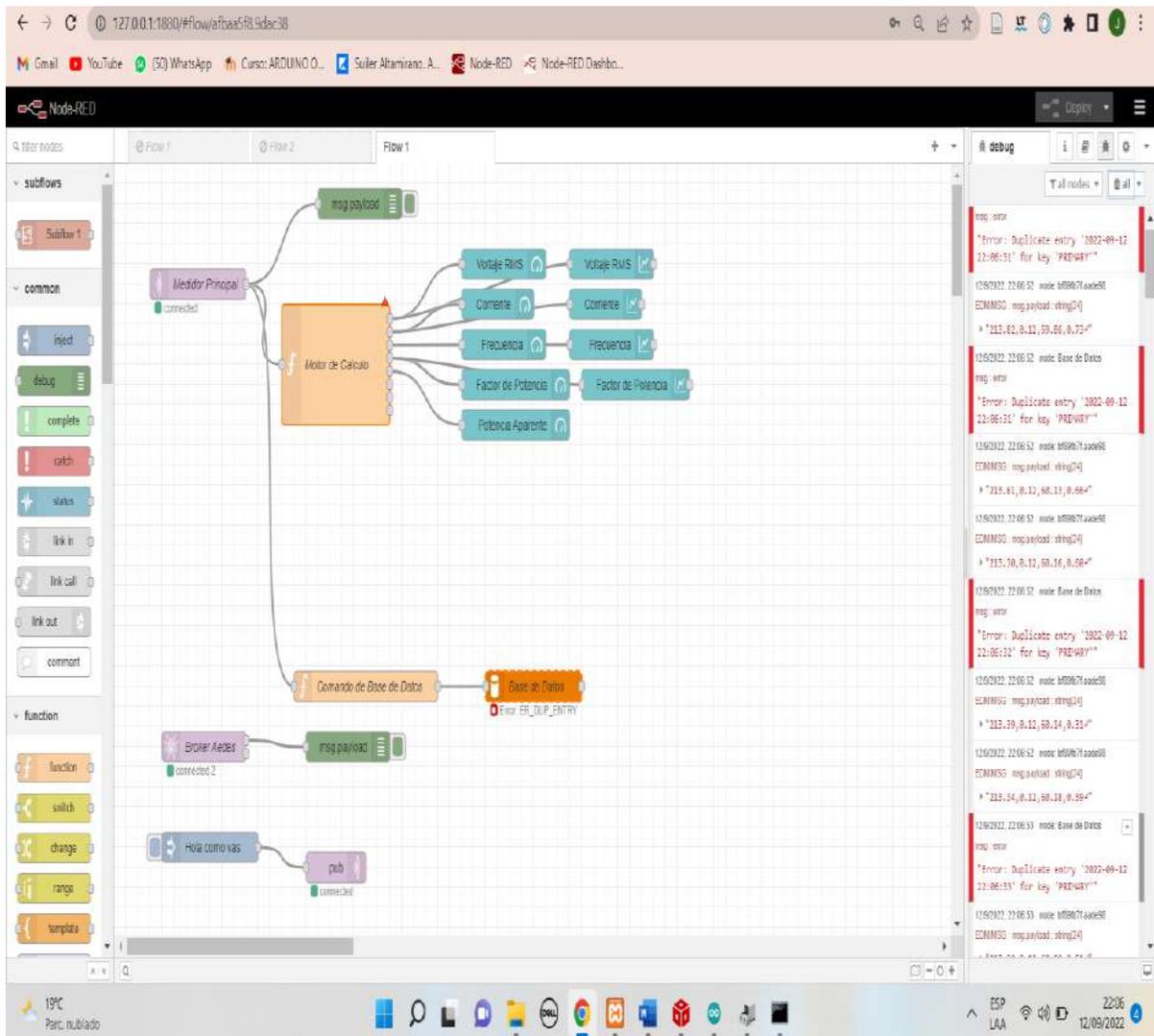
**Figura 139:** Esquema de comunicación IoT



Fuete: Elaboración propia.

Teniendo la comunicación serial entre los microcontroladores, el Esp32 tiene módulo Wifi incorporado que permite conectar al Node-red, en la figura 140 se observa los datos que llegan al Node-red.

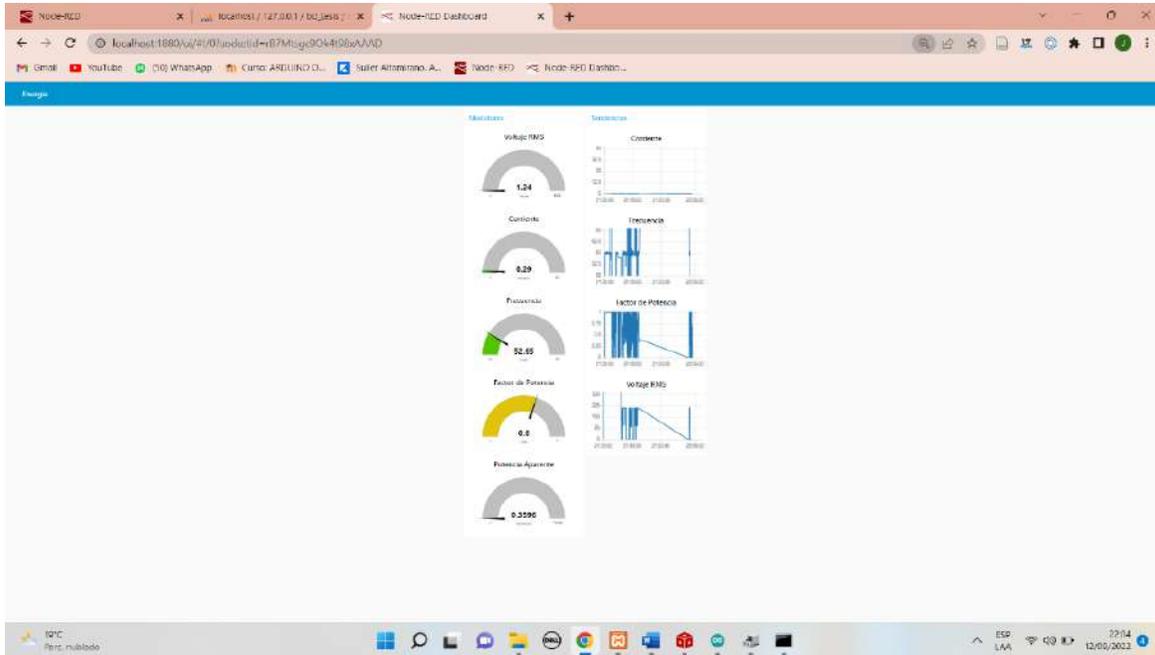
**Figura 140:** *Envío de Datos a Node-red*



Fuente: Node-red 2022.

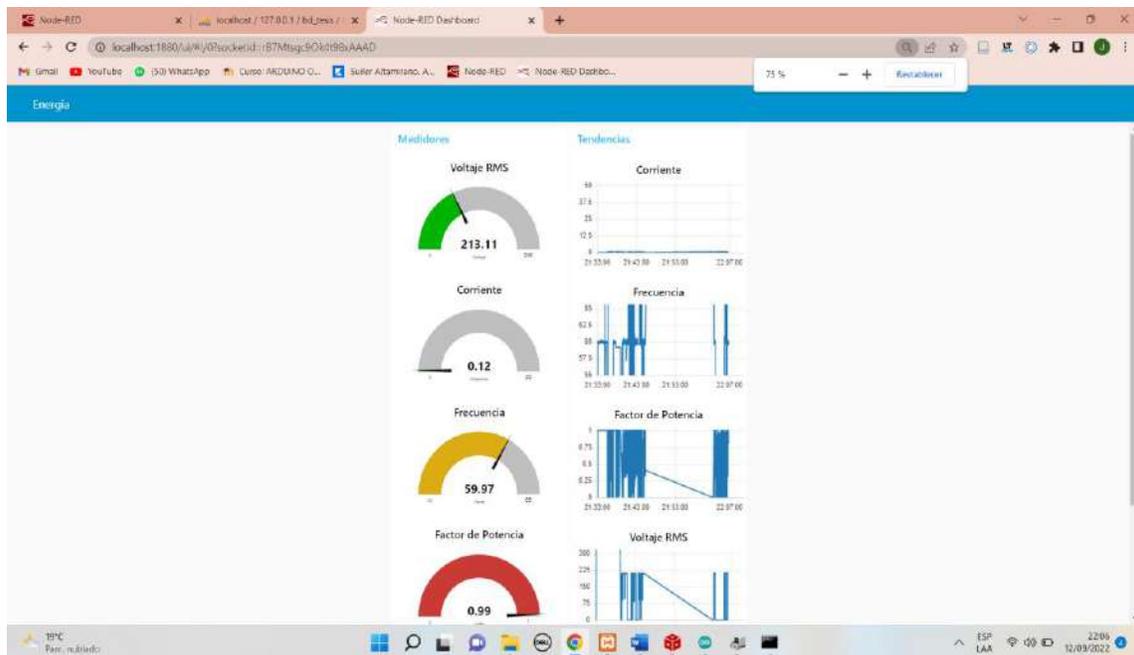
Obtenidos los datos de voltaje, corriente, frecuencia y la potencia aparente, se procede a observar en el Dashboards, primero se apertura el Dashboards sin conexión alguna, para observar el valor de 0 Voltios, luego se procede a medir el voltaje para corroborar que el programa esté tomando las lecturas correctas y en tiempo real como se muestra en las siguientes figuras, la figura 141 se muestra Dashboard sin conexión a la carga eléctrica, que da un valor de 1.24 Vrms, en la figura 142, se conecta la carga que dio el valor de 213.11 Voltios, para así poder comprobar que dicho Dashboard está tomando los valores en tiempo real.

**Figura 141:** Dashboard capturando mediciones de 1 Voltio



Fuente: Localhost:1880/ui.

**Figura 142:** Dashboard capturando mediciones de 213 Voltio



Fuente: Localhost:1880/ui.

Teniendo los valores reales en el Dashboard, como último paso se verifica en la base de datos creada con el programa XAMPP, que es software gratuito, se observa en las figuras 143 y 144 los valores de voltaje, corriente y frecuencia almacenados en la base de datos.

**Figura 143:** Almacenamiento de Datos en Tiempo Real

The screenshot shows the phpMyAdmin interface for a database named 'bd\_tesis'. The selected table is 'table\_modos\_multimetro'. The table contains the following data:

fecha-hora	voltaje	corriente	frecuencia
2022-09-12 22:07:00	213.22	0.12	59.98
2022-09-12 22:07:01	213.25	0.12	59.02
2022-09-12 22:07:02	213.32	0.12	59.03
2022-09-12 22:07:03	213.34	0.12	59.71
2022-09-12 22:07:04	85.9	0.31	59.67
2022-09-12 22:07:05	213.15	0.12	60.08
2022-09-12 22:07:06	213.29	0.12	60
2022-09-12 22:07:07	87.93	0.3	60.05
2022-09-12 22:07:08	87.99	0.3	60.02
2022-09-12 22:07:09	87	0.3	60.05
2022-09-12 22:07:10	85.84	0.29	59.99
2022-09-12 22:07:11	86.99	0.28	60.04
2022-09-12 22:07:12	86.87	0.29	59.47
2022-09-12 22:07:13	174.75	0.21	60.1
2022-09-12 22:07:14	88.91	0.31	59.98
2022-09-12 22:07:15	86.86	0.29	60
2022-09-12 22:07:16	86.87	0.29	60.06
2022-09-12 22:07:17	176.82	0.19	60.07
2022-09-12 22:07:18	213.43	0.12	59.99
2022-09-12 22:07:19	143.55	0.24	58.06
2022-09-12 22:07:20	213.47	0.12	60.05
2022-09-12 22:07:21	213.79	0.12	60

Fuente: <http://localhost/phpmyadmin>.

**Figura 144:** Almacenamiento de Datos

The screenshot shows the phpMyAdmin interface with a table named 'modo\_multimetro' selected. The table has four columns: 'fecha\_hora', 'voltaje', 'corriente', and 'frecuencia'. The data is as follows:

fecha_hora	voltaje	corriente	frecuencia
2022-09-12 21:39:45	99.27	0.37	60.49
2022-09-12 21:39:46	200.43	0.13	60.03
2022-09-12 21:39:47	150.25	0.27	60.32
2022-09-12 21:39:48	90.09	0.37	59.75
2022-09-12 21:39:49	00.0	0.30	59.94
2022-09-12 21:39:50	90.77	0.37	60.02
2022-09-12 21:39:51	90.06	0.30	59.99
2022-09-12 21:39:52	90.95	0.30	60.09
2022-09-12 21:39:53	208.91	0.13	60
2022-09-12 21:39:54	200.94	0.13	59.97
2022-09-12 21:39:55	208.79	0.13	59.99
2022-09-12 21:39:56	200.04	0.13	60
2022-09-12 21:39:57	208.80	0.13	59.95
2022-09-12 21:39:58	208.92	0.13	59.91
2022-09-12 21:39:59	208.79	0.13	60.09
2022-09-12 21:40:00	208.89	0.13	60.04
2022-09-12 21:40:01	208.7	0.13	60.9
2022-09-12 21:40:02	208.72	0.13	59.88
2022-09-12 21:40:03	200.48	0.13	59.98
2022-09-12 21:40:04	208.38	0.13	59.95
2022-09-12 21:40:05	208.50	0.13	60.03
2022-09-12 21:40:06	200.61	0.13	60.07
2022-09-12 21:40:07	208.77	0.13	60.09
2022-09-12 21:40:08	200.89	0.13	59.96
2022-09-12 21:40:09	208.84	0.13	60.02
2022-09-12 21:40:10	208.84	0.13	60

Fuente: <http://localhost/phpmyadmin>.

## 5.4 Análisis Económico

El análisis económico del proyecto, está basado en la inversión que se realizó en la implementación del prototipo analizador de red eléctrica monofásico basado en IoT para observar las perturbaciones eléctricas, en las siguientes tablas se puede visualizar los componentes.

Para el sensor de voltaje se seleccionaron los siguientes componentes:

**Tabla 4:** Análisis económico Sensor de Voltaje

ítem	DESCRIPCIÓN	VALOR	CANTIDAD	COSTO POR UNIDAD	PRECIO
1	Resistencias Smd	910KOH M	4	\$ 0.66	\$ 2.65
2	Resistencias Smd	820KOH M	3	\$ 0.66	\$ 1.98
3	Resistencias Smd	82KOHM	1	\$ 0.66	\$ 0.66
4	Resistencias Smd	10KOHM	1	\$ 0.66	\$ 0.66
5	Resistencias Smd	100KOH M	1	\$ 0.66	\$ 0.66
6	Condensador	1uF	1	\$ 0.32	\$ 0.32
7	Amplificador Operacional De Alta Precisión Rail To Rail	MCP6022	1	\$ 2.25	\$ 2.25
8	Cables De Prueba		2	\$ 0.66	\$1.32
<b>Total</b>				<b>\$9.17</b>	

Fuente: Empresa Top Bolivia (Cochabamba)

Para el circuito acondicionador de corriente se seleccionaron los siguientes componentes, teniendo en cuenta la pinza amperimétrica que permite sensar la corriente.

**Tabla 5:** *Análisis económico circuito acondicionador de corriente*

<b>ítem</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALOR</b>	<b>CANTID.</b>	<b>COSTO POR UNIDAD</b>	<b>PRECIO</b>
1	Resistencias Smd	10KOHM	2	\$ 0.66	\$ 1.32
2	Resistencias Smd	3KOHM	2	\$ 0.66	\$ 1.32
3	Resistencias Smd	300KOHM	2	\$ 0.66	\$ 1.32
5	Amplificador Operacional De Alta Precisión Rail To Rail	MCP6022	1	\$ 2.5	\$ 2.5
6	Condensador No Polarizado	10 uf	1	\$ 0.32	\$ 0.32
7	Pinza Amperimétrica	Mastech MS3302	1	\$ 31.75	\$ 31.75
<b>Total</b>					<b>\$ 38.2</b>

Fuente: Empresa Top Bolivia (Cochabamba).

Para el sensor de Frecuencia se seleccionaron los siguientes componentes, teniendo en cuenta la compuerta negadora, capacitores, amplificador operacional y las resistencias.

**Tabla 6:** *Análisis económico Sensor de frecuencia*

<b>ítem</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALOR</b>	<b>CANTID.</b>	<b>COSTO POR UNIDAD</b>	<b>PRECIO</b>
1	Compuerta Smicht Trigger - Smd Amplificador	74HC14	1	\$ 0.529	\$ 0.529
2	Operacional De Alta Precisión Rail To Rail	MCP6022	2	\$ 2.45	\$ 4.9
3	Resistencias Smd	82KOHM	4	\$ 0.66	\$ 0.66
4	Resistencias Smd	220KOHM	1	\$ 0.66	\$ 0.66
5	Resistencias Smd	22KOHM	1	\$ 0.66	\$ 0.66
6	Resistencias Smd	10KOHM	1	\$ 0.66	\$ 0.66

7	Condensador	1uF	1	\$ 0.32	\$ 0.32
8	Condensador	4.7uF	1	\$ 0.32	\$ 0.32
9	Condensador	10uF	1	\$ 0.32	\$ 0.32
<b>Total</b>				<b>\$ 8.21</b>	

Fuente: Empresa Top Bolivia (Cochabamba).

En la siguiente tabla se muestra los componentes como: los microcontroladores ESP32, Hércules RM46L852, Pantalla Lcd Touch, como el integrado 74HC595, que es el adaptador para la pantalla Lcd.

**Tabla 7: Análisis económico de Componentes**

<b>Microcontrolador-Visualización</b>					
Ítem	Descripción	Valor	Cantid.	Costo Por Unidad	Precio
1	MÓDULO WIFI	ESP-32	1	\$ 13.23	\$ 13.23
2	Microcontrolador Hércules	RM46L852	1	\$ 74.07	\$ 74.07
3	PANTALLA Touch De 7"		1	\$ 66.14	\$ 66.14
4	CONECTOR TIPO ESPADÍN HEMBRA		6	\$ 0.40	\$ 2.4
5	CONECTOR TIPO ESPADÍN MACHO		6	\$ 0.40	\$ 2.4
6	74HC595		2	\$ 0.27	\$ 0.54
7	Placa Virgen	20*10 Cm	1	\$ 2.65	\$ 2.65
8	Memoria SD	2 Gb	1	\$ 6.61	\$ 6.61
9	Acido		1	\$ 2.11	\$ 2.11
10	Estaño		1	\$ 1.32	\$ 1.32
<b>Total</b>				<b>\$ 171.5</b>	

Fuente: Empresa Top Bolivia (Cochabamba).

Teniendo en cuenta que todos los componentes tienen que tener una base, se optó por el material acrílico para realizar una caja donde vayan todos los componentes.

**Tabla 8:** *Análisis económico de Estructura*

<b>ANÁLISIS ECONÓMICO DE LOS EQUIPOS</b>				
<b>ÍTEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO POR UNIDAD</b>	<b>PRECIO</b>
1	CAJA DE ACRÍLICO PARA EL EQUIPO	1	\$ 47.62	\$ 47.62
2	PERNOS DE 25 X 14 MM	8	\$ 0.16	\$ 1.28
3	PERNOS DE 10 X 14 MM	8	\$ 0.11	\$ 0.88
4	VOLANDAS	20	\$ 0.10	\$ 2
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 51.78</b>	

Fuente: Empresa Top Bolivia (Cochabamba).

Con los precios de cada etapa de los sensores, se procede a sacar el total:

**Tabla 9:** *Análisis económico total del prototipo*

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>COSTO</b>
Sensor De Voltaje	\$ 9.17
Sensor De Corriente	\$ 38.2
Sensor De Frecuencia	\$ 8.21
Microcontrolador-Visualización	\$ 171.5
Análisis Económico De Los Equipos	\$ 51.78
<b>Total</b>	<b>\$ 278.86</b>

Fuente: Empresa Top Bolivia (Cochabamba).

**Tabla 10:** *Comparativa de Precios*

<b>ITEM</b>	<b>PRECIO U\$S</b>
Analizador De Redes Eléctricas Sa2100	U\$S2.650
Fluke 1735 Analizador De Energía	U\$S1.960
Analizador De Redes Fluke Dsx 5000	U\$S6.000
Analizador De Redes, Powerlogic Ion7400	U\$S1.900
Analizador De Redes Eléctricas Sa2100	U\$S2.650
Analizador De Redes Eléctricas Fluke 43b	U\$S4.300
Analizador de red monofásico con tecnología IoT	U\$S278.86

Fuente: Precios de página de cada fabricante.

Como se puede observar en la tabla, los precios de analizadores de red eléctrica exceden los 1.900 dólares, a comparación del prototipo analizador de red eléctrica diseñado, que tiene como costo total \$ 278.86. Por lo tanto, se puede comprobar que el prototipo es accesible para las pequeñas y medianas empresas, ya que cuenta con un precio accesible.

## Conclusiones

- Se implementó un analizador monofásico con IoT con el fin de usarlo en empresas, instituciones, locales comerciales y en industrias, para observar las fluctuaciones en la señal de voltaje, corriente y frecuencia, armónicos, potencias, asimismo, comunicarlos a través de internet con el servidor de datos.
- Se diseñó un sensor de voltaje basado en la reducción de resistencias para su correcto sensado, con el fin de observar en la onda sinusoidal las fluctuaciones de voltaje, donde se puede apreciar el voltaje mínimo, máximo y voltaje RMS.
- Se diseñó un sensor de Corriente basado en la bobina de rogoski o principio de inducción, la pinza amperimétrica tiene un rango de corriente de 0 a 400 Amperios, con sensibilidad de 1mV/A y 10 mV/A, con una salida de voltaje de dicha pinza, por tener un valor pequeño, como se apreció en los cálculos, fue necesario emplear un amplificador operacional en configuración diferencial con una ganancia de 100. Para verificar que el sensor de corriente funcione correctamente se realizó la comparación con una pinza amperimétrica de la marca Fluke, y así corroborar ambos datos.
- Se desarrolló una base de datos usando el software XAMPP, que es un programa de libre acceso y de uso muy intuitivo, donde se observan los valores del voltaje, corriente y frecuencia; utilizando el reloj en tiempo real para almacenar los datos en la hora correcta, dichos datos se pueden exportar en Excel de manera fácil, y así observar las variaciones que se tuvo durante el día.
- Se utilizó del programa Node-red, que es un programa de libre acceso, el cual permitió crear los Dashboards de voltaje, corriente y frecuencia mediante nodos, para que los usuarios puedan visualizar en tiempo real si hay alguna variación en la red eléctrica, mediante teléfonos móviles o un computador portátil.
- Se efectuaron las pruebas del prototipo analizador monofásico de red eléctrica, en una empresa textil, donde se obtuvieron los datos de voltaje, corriente y la frecuencia.

Así mismo, se logró observar los Dashboards en tiempo real, como el almacenamiento de datos, y se verificó la fecha y hora exacta que se realizaron las pruebas.

- Los programas utilizados en el presente trabajo de investigación fueron: Halcogen, Code Composer Studio, Proteus, Ide Arduino, XAMPP, Node-red, que permitieron realizar: la programación del Microcontrolador Hércules RM46L852 de la familia de Texas Instruments, diseño de circuitos electrónicos para elaborar los sensores y así realizar la programación del microcontrolador ESP32.

## Recomendaciones

- Se recomienda continuar con el trabajo para una red trifásica que traería consigo mejores resultados, las cuales tendría ventaja económica frente a las trifásicas comerciales
- Para una mejor protección del prototipo se recomienda el uso del tablero IP65, ya que este está diseñado para la protección contra el polvo y agua, su estructura de la caja es de acero.
- Como se trabaja con el programa XAMPP que es un software libre y de fácil acceso, podría existir algún tipo de hackeo, por ende se recomienda la utilización de otros programas de base de datos, como lo son Teradata, Oracle, Microsoft SQL server, Sybase, etc.
- Se recomienda contar con una señal wifi estable, para poder visualizar los datos en tiempo real en la base de datos.

## Bibliografía

- Circutor, S. (2015). Técnica de compensación y filtrado de perturbaciones armónicas. Obtenido de <http://circutor.es/es/formacion/armonicos-electricos>.
- Figuerola, D. (2010). El costo de las perturbaciones eléctricas en empresas industriales y empresas de economía digital.
- Gómez, D. (2010). El costo de las perturbaciones eléctricas en empresas industriales y empresas de economía digital.
- Instruments, T. (2015). RM46L852 16- and 32-Bit RISC Flash Microcontroller. SPNS185C.
- IOTSENS. (2021). Consultado <https://www.iotsens.com/que-es-la-industria-4-0-y-que-aporta-a-mi-empresa/>.
- López, J. (2021). Factoría del futuro. Consultado <https://www.factoriadelfuturo.com/que-es-la-industria-4-0/>.
- Pari, R. (2017). Sistema de control de tráfico vehicular en base a internet de las cosas. La Paz.
- Suarez, J. (2005). Análisis de la distorsión armónica y los efectos de atenuación y diversidad en áreas residenciales.
- Trinidad Torres, F. (2017). Transformada de Fourier y su aplicación en procesamiento digital de imágenes. Puebla.
- Factoría del Futuro. (2021, 15 septiembre). ¿Qué es la Industria 4? Consultado <https://www.factoriadelfuturo.com/que-es-la-industria-4-0/>.
- Administrador. (2020, noviembre 10). Comparador con Amplificador operacional. Electrónica Unicrom. <https://unicrom.com/comparador-con-amplificador-operacional/>
- Andrés. (2019, septiembre 3). ¿Qué son cargas no lineales, qué problemas generan y que dice la Norma? [Empresa]. <https://www.electrificacion.com/cargas-no-lineales/>
- Fiore, J. M. (2021). Operational amplifiers and linear integrated circuits theory and applications (Version 3.2.6, 07 May 2021). James M. Fiore.
- Miyara, F. (2004). Filtros Activos (II). Universidad Nacional De Rosario.

- Redacción. (2019, marzo 30). Node MCU una plataforma para IOT de código abierto. Descubrearduino.com. <https://descubrearduino.com/nodemcu/>
- Sánchez huerta, V. (2006). Perturbaciones en la red eléctrica. *Caos Conciencia*, I, 25-29.
- Sant, J. (2022). Armónicos eléctricos. Circutor. <https://circutor.com/soporte/formacion/notebooks/armonicos-electricos/>
- Texas, I. (2000). A single-supply Op-Amp Circuit Collection.
- Texas, I. (2015). RM46L852.
- Texas, I. (2021). SN74HC14.
- Zapata Pérez, J., & Villo Pérez, I. (2019). Circuitos y funciones electrónicas (I).
- Bueso, S. (2006). *COMPARADOR NO INVERSOR*. 8.
- Cano Castro, I. (2020). *Analizador de redes trifasicas*.
- Carrizo, M. (2014). *Fourier y el procesamiento digital de señales*.
- Domenech Asensi, G. (2019). *Circuitos y funciones electronicas*.
- Espressif. (2016). *Esp32 Datasheet*.
- Garcia, J. C. (2022, agosto 19). ⚡ ¿Qué es la **【Potencia Activa】** y Cómo se Calcula? <https://potenciacero.com/potencia-electrica/activa>
- Hart, D. (2001). *Electronica de Potencia*.
- Hernandez Sampieri, R. (2014). *Metodologia de la investigacion* (6.<sup>a</sup> ed.).
- Instruments, T. (2021). *Schmitt-trigger 74HC14*.
- Instruments, T. (2022). *CCSTUDIO IDE, configuración, compilador o depurador | TI.com*. <https://www.ti.com/tool/CCSTUDIO>
- Llamas, L. (2019). ¿Qué es MQTT? Su importancia como protocolo IoT. *Luis Llamas*. <https://www.luisllamas.es/que-es-mqtt-su-importancia-como-protocolo-iot/>
- Lopez Rivas, J. V. (2003). *Analizador de Redes Electricas*.
- Medina, J. (2010). *Analisis de Fourier para el tratamiento de señales*.
- Miraya, F. (2004). *Filtros Activos*.
- Oñate Viera, V. (2014). “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICO PARA INTERCONECTAR LA SMART GRID FORMADA POR LOS RECONECTADORES U-SERIES WITH ADV C CONTROLLER EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA DE LA EMPRESA ELÉCTRICA PROVINCIAL COTOPAXI S.A.

- Oracle. (2022). *¿Qué es el Internet de las cosas (IoT)?* <https://www.oracle.com/mx/internet-of-things/what-is-iot/>
- Pinto Guillen, V. (2021). *Diseño e implementación de 2 equipos medidores de energía basados en IOT para gestión de consumo energético.*
- Rincón Roa, I. F. (2015). Diseño y construcción de un analizador de redes eléctricas para sistemas trifásicos de bajo voltaje. *I+D Revista de Investigaciones*, 6(2), 19. <https://doi.org/10.33304/revinv.v06n2-2015005>
- Salicru. (2022). *Principales tipos de Perturbaciones Eléctricas.* <https://www.salicru.com/>. <https://www.salicru.com/bo-es/principales-tipos-de-perturbaciones-electricas.html>
- Sanchez Huerta. (2006). Perturbaciones en la red eléctrica. *Caos Conciencia*, I, 25-29.
- Sant, J. (2022). Armónicos eléctricos. *CIRCUTOR*. <https://circuitor.com/soporte/formacion/notebooks/armonicos-electricos/>
- Texas, I. (2000). *A single-supply Op-Amp Circuit Collection.*
- Texas, I. (2015). *RM46L852.*
- Toptal. (2022). *Programación Visual con Node-Red: Conectando el Internet de las Cosas con Facilidad.* Toptal Engineering Blog. <https://www.toptal.com/nodejs/programacion-visual-con-node-red-conectando-el-internet-de-las-cosas-con-facilidad>
- Valencia Alejo, martin. (2016). *Diseño y aplicación de un analizador de calidad de energía eléctrica.*
- Vespito. (2003). *MySQL 5.0 Reference Manual.*
- Viladecavalls. (2020, mayo 11). *Node-RED, the visual programming tool for Internet of Things* [Text]. <https://www.pickdata.net/es/noticias/node-red-programacion-visual-iot>

# Anexos

## Anexo A

### Manual de MCP6022



# MICROCHIP MCP6021/1R/2/3/4

## Rail-to-Rail Input/Output, 10 MHz Op Amps

### Features

- Rail-to-Rail Input/Output
- Wide Bandwidth: 10 MHz (typical)
- Low Noise: 8.7 nV/√Hz, at 10 kHz (typical)
- Low Offset Voltage:
  - Industrial Temperature: ±500 μV (maximum)
  - Extended Temperature: ±250 μV (maximum)
- Mid-Supply V<sub>REF</sub>: MCP6021 and MCP6023
- Low Supply Current: 1 mA (typical)
- Total Harmonic Distortion:
  - 0.00053% (typical, G = 1 V/V)
- Unity Gain Stable
- Power Supply Range: 2.5V to 5.5V
- Temperature Range:
  - Industrial: -40°C to +85°C
  - Extended: -40°C to +125°C

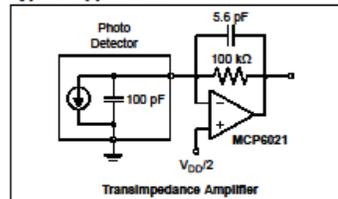
### Applications

- Automotive
- Multi-Pole Active Filters
- Audio Processing
- DAC Buffer
- Test Equipment
- Medical Instrumentation

### Design Aids

- SPICE Macro Models
- FilterLab® Software
- Mindi™ Circuit Designer & Simulator
- Microchip Advanced Part Selector (MAPS)
- Analog Demonstration and Evaluation Boards
- Application Notes

### Typical Application



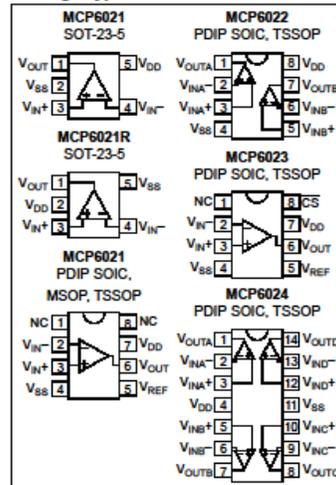
### Description

The MCP6021, MCP6021R, MCP6022, MCP6023 and MCP6024 from Microchip Technology Inc. are rail-to-rail input and output op amps with high performance. Key specifications include: wide bandwidth (10 MHz), low noise (8.7 nV/√Hz), low input offset voltage and low distortion (0.00053% THD+N). The MCP6023 also offers a Chip Select pin (CS) that gives power savings when the part is not in use.

The single MCP6021 and MCP6021R are available in SOT-23-5. The single MCP6021, single MCP6023 and dual MCP6022 are available in 8-lead PDIP, SOIC and TSSOP. The Extended Temperature single MCP6021 is available in 8-lead MSOP. The quad MCP6024 is offered in 14-lead PDIP, SOIC and TSSOP packages.

The MCP6021/1R/2/3/4 family is available in Industrial and Extended temperature ranges. It has a power supply range of 2.5V to 5.5V.

### Package Types



## MCP6021/1R/2/3/4

### 1.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

#### Absolute Maximum Ratings †

$V_{DD} - V_{SS}$ .....	7.0V
Current at Analog Input Pins ( $V_{IN+}$ , $V_{IN-}$ ) .....	$\pm 2$ mA
Analog Inputs ( $V_{IN+}$ , $V_{IN-}$ ) †† .....	$V_{SS} - 1.0V$ to $V_{DD} + 1.0V$
All Other Inputs and Outputs .....	$V_{SS} - 0.3V$ to $V_{DD} + 0.3V$
Difference Input Voltage .....	$ V_{DD} - V_{SS} $
Output Short Circuit Current .....	Continuous
Current at Output and Supply Pins .....	$\pm 30$ mA
Storage Temperature .....	$-65^{\circ}$ C to $+150^{\circ}$ C
Maximum Junction Temperature ( $T_J$ ) .....	$+150^{\circ}$ C
ESD Protection On All Pins (HBM; MM) .....	$\geq 2$ kV; 200V

† Notice: Stresses above those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at those or any other conditions above those indicated in the operational listings of this specification is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

†† See Section 4.1.2 "Input Voltage and Current Limits".

#### DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated,  $T_A = +25^{\circ}$ C,  $V_{DD} = +2.5V$  to  $+5.5V$ ,  $V_{SS} = GND$ ,  $V_{CM} = V_{DD}/2$ ,  $V_{OUT} \approx V_{DD}/2$  and  $R_L = 10$  k $\Omega$  to  $V_{DD}/2$ .

Parameters	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
<b>Input Offset</b>						
Input Offset Voltage:						
Industrial Temperature Parts	$V_{OS}$	-500	—	+500	$\mu$ V	$V_{CM} = 0V$
Extended Temperature Parts	$V_{OS}$	-250	—	+250	$\mu$ V	$V_{CM} = 0V$ , $V_{DD} = 5.0V$
Extended Temperature Parts	$V_{OS}$	-2.5	—	+2.5	mV	$V_{CM} = 0V$ , $V_{DD} = 5.0V$ $T_A = -40^{\circ}$ C to $+125^{\circ}$ C
Input Offset Voltage Temperature Drift	$\Delta V_{OS}/\Delta T_A$	—	$\pm 3.5$	—	$\mu$ V/ $^{\circ}$ C	$T_A = -40^{\circ}$ C to $+125^{\circ}$ C
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	74	90	—	dB	$V_{CM} = 0V$
<b>Input Current and Impedance</b>						
Input Bias Current	$I_B$	—	1	—	$\mu$ A	
Industrial Temperature Parts	$I_B$	—	30	150	$\mu$ A	$T_A = +85^{\circ}$ C
Extended Temperature Parts	$I_B$	—	640	5,000	$\mu$ A	$T_A = +125^{\circ}$ C
Input Offset Current	$I_{OS}$	—	$\pm 1$	—	$\mu$ A	
Common-Mode Input Impedance	$Z_{CM}$	—	$10^{13}  6$	—	$\Omega  \mu$ F	
Differential Input Impedance	$Z_{DIFF}$	—	$10^{13}  3$	—	$\Omega  \mu$ F	
<b>Common-Mode</b>						
Common-Mode Input Range	$V_{CMR}$	$V_{SS}-0.3$	—	$V_{DD}+0.3$	V	
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	74	90	—	dB	$V_{DD} = 5V$ , $V_{CM} = -0.3V$ to $5.3V$
	CMRR	70	85	—	dB	$V_{DD} = 5V$ , $V_{CM} = 3.0V$ to $5.3V$
	CMRR	74	90	—	dB	$V_{DD} = 5V$ , $V_{CM} = -0.3V$ to $3.0V$
<b>Voltage Reference (MCP6021 and MCP6023 only)</b>						
$V_{REF}$ Accuracy ( $V_{REF} - V_{DD}/2$ )	$V_{REF\_ACC}$	-50	—	+50	mV	
$V_{REF}$ Temperature Drift	$\Delta V_{REF}/\Delta T_A$	—	$\pm 100$	—	$\mu$ V/ $^{\circ}$ C	$T_A = -40^{\circ}$ C to $+125^{\circ}$ C
<b>Open-Loop Gain</b>						
DC Open-Loop Gain (Large Signal)	$A_{OL}$	90	110	—	dB	$V_{CM} = 0V$ , $V_{OUT} = V_{SS}+0.3V$ to $V_{DD}-0.3V$
<b>Output</b>						
Maximum Output Voltage Swing	$V_{OL}$ , $V_{OH}$	$V_{SS}+15$	—	$V_{DD}-20$	mV	0.5V input overdrive
Output Short Circuit Current	$I_{SC}$	—	$\pm 30$	—	mA	$V_{DD} = 2.5V$
	$I_{SC}$	—	$\pm 22$	—	mA	$V_{DD} = 5.5V$

## Manual de 74HC14


**SN74HC14, SN54HC14**

SCL8085K – DECEMBER 1982 – REVISED JUNE 2021

### SNx4HC14 Hex Inverters with Schmitt-Trigger Inputs

#### 1 Features

- Buffered inputs
- Wide operating voltage range: 2 V to 6 V
- Wide operating temperature range: -40°C to +85°C
- Supports fanout up to 10 LSTTL loads
- Significant power reduction compared to LSTTL logic ICs

#### 2 Applications

- [Synchronize inverted clock inputs](#)
- [Debounce a switch](#)
- Invert a digital signal

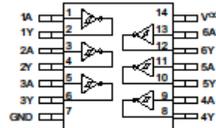
#### 3 Description

This device contains six independent inverters with Schmitt-trigger inputs. Each gate performs the Boolean function  $Y = \bar{A}$  in positive logic.

##### Device Information<sup>(1)</sup>

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
SN74HC14DR	SOIC (14)	8.70 mm x 3.90 mm
SN74HC14DBR	SSOP (14)	6.40 mm x 5.30 mm
SN74HC14NR	PDIP (14)	19.30 mm x 6.40 mm
SN74HC14NSR	SO (14)	10.20 mm x 5.30 mm
SN74HC14PWR	TSSOP (14)	5.00 mm x 4.40 mm
SNS4HC14JR	CDIP (14)	21.30 mm x 7.60 mm
SNS4HC14WR	CFP (14)	9.20 mm x 6.29 mm
SNS4HC14FKR	LCCC (20)	8.90 mm x 8.90 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.



Functional pinout

An IMPORTANT NOTICE at the end of this data sheet addresses availability, warranty, changes, use in safety-critical applications, intellectual property matters and other important disclaimers. PRODUCTION DATA.

### 5 Pin Configuration and Functions

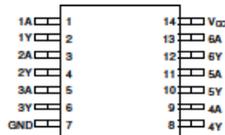


Figure 5-1. D, DB, N, NS, PW, J, or W Package 14-Pin SOIC, SSOP, PDIP, SO, TSSOP, CDIP, or CFP Top View

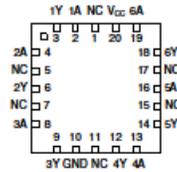


Figure 5-2. FK Package 20-Pin LCCC Top View

### Pin Functions

NAME	PIN		I/O	DESCRIPTION
	D, DB, N, NS, PW, J, or W	FK		
1A	1	2	Input	Channel 1, Input A
1Y	2	3	Output	Channel 1, Output Y
2A	3	4	Input	Channel 2, Input A
2Y	4	6	Output	Channel 2, Output Y
3A	5	8	Input	Channel 3, Input A
3Y	6	9	Output	Channel 3, Output Y
GND	7	10	—	Ground
4Y	8	12	Output	Channel 4, Output Y
4A	9	13	Input	Channel 4, Input A
5Y	10	14	Output	Channel 5, Output Y
5A	11	16	Input	Channel 5, Input A
6Y	12	18	Output	Channel 6, Output Y
6A	13	19	Input	Channel 6, Input A
V <sub>cc</sub>	14	20	—	Positive Supply
NC		1, 5, 7, 11, 15, 17	—	Not Internally connected



SN54HC595, SN74HC595

SCLS041J – DECEMBER 1982 – REVISED OCTOBER 2021

**SNx4HC595 8-Bit Shift Registers With 3-State Output Registers**

**1 Features**

- 8-bit serial-in, parallel-out shift
- Wide operating voltage range of 2 V to 6 V
- High-current 3-state outputs can drive up to 15 LSTTL loads
- Low power consumption: 80- $\mu$ A (maximum)  $I_{CC}$
- $t_{pd}$  = 13 ns (typical)
- $\pm 8$ -mA output drive at 5 V
- Low input current: 1  $\mu$ A (maximum)
- Shift register has direct clear
- On products compliant to MIL-PRF-38535, all parameters are tested unless otherwise noted. On all other products, production processing does not necessarily include testing of all parameters.

**2 Applications**

- Network switches
- Power infrastructure
- LED displays
- Servers

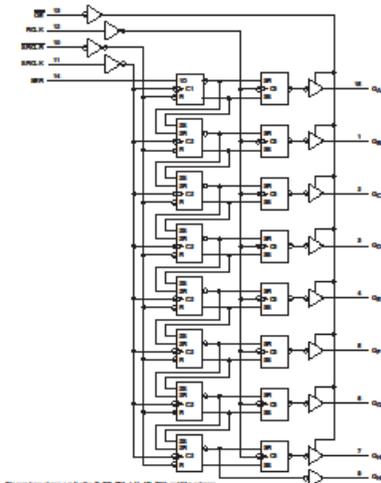
**3 Description**

The SNx4HC595 devices contain an 8-bit, serial-in, parallel-out shift register that feeds an 8-bit D-type storage register. The storage register has parallel 3-state outputs. Separate clocks are provided for both the shift and storage register. The shift register has a direct overriding clear (SRCLR) input, serial (SER) input, and serial outputs for cascading. When the output-enable ( $\overline{OE}$ ) input is high, the outputs are in the high-impedance state.

**Device Information**

PART NUMBER	PACKAGE <sup>(1)</sup>	BODY SIZE (NOM)
SN54HC595FK	LCCC (20)	8.89 mm x 8.89 mm
SN54HC595J	CDIP (16)	21.34 mm x 6.92 mm
SN74HC595N	PDIP (16)	19.31 mm x 6.35 mm
SN74HC595D	SOIC (16)	9.90 mm x 3.90 mm
SN74HC595DW	SOIC (16)	10.30 mm x 7.50 mm
SN74HC595DB	SSOP (16)	6.20 mm x 5.30 mm
SN74HC595PW	TSSOP (16)	5.00 mm x 4.40 mm

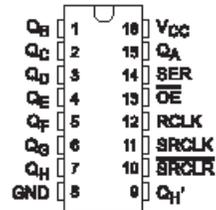
(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.



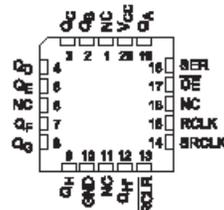
**Functional Block Diagram**

**IMPORTANT NOTICE** at the end of this data sheet addresses availability, warranty, changes, use in safety-critical applications, intellectual property matters and other important disclaimers. PRODUCTION DATA.

### 5 Pin Configuration and Functions



D, N, NS, J, DB, or PW Package  
16-Pin SOIC, PDIP, SO, CDIP, SSOP, or TSSOP  
Top View



FK Package  
20-Pin LCCC  
Top View

Table 5-1. Pin Functions

NAME	PIN		I/O <sup>(1)</sup>	DESCRIPTION
	SOIC, PDIP, SO, CDIP, SSOP, or TSSOP	LCCC		
GND	8	10	—	Ground Pin
OE	13	17	I	Output Enable
QA	15	19	O	Q <sub>A</sub> Output
Qb	1	2	O	Q <sub>b</sub> Output
Qc	2	3	O	Q <sub>c</sub> Output
Qd	3	4	O	Q <sub>d</sub> Output
Qe	4	5	O	Q <sub>e</sub> Output
Qf	5	7	O	Q <sub>f</sub> Output
Qg	6	8	O	Q <sub>g</sub> Output
Qh	7	9	O	Q <sub>h</sub> Output
Qh'	9	12	O	Q <sub>h'</sub> Output
RCLK	12	14	I	RCLK Input
SER	14	18	I	SER Input
SRCLK	11	14	I	SRCLK Input
SRCLR	10	13	I	SRCLR Input
NC	—	1	—	No Connection
		16		
		11		
		16		
VCC	—	20	—	Power Pin

(1) Signal Types: I – Input, O – Output, I/O – Input or Output.

## SN54HC595, SN74HC595

SCLS041J – DECEMBER 1982 – REVISED OCTOBER 2021



www.ti.com

## 6 Specifications

### 6.1 Absolute Maximum Ratings

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)<sup>(1)</sup>

		MIN	MAX	UNIT
$V_{CC}$	Supply voltage	-0.5	7	V
$I_{IK}$	Input clamp current <sup>(2)</sup>	$V_I < 0$ or $V_I > V_{CC}$	$\pm 20$	mA
$I_{OK}$	Output clamp current <sup>(2)</sup>	$V_O < 0$ or $V_O > V_{CC}$	$\pm 20$	mA
$I_O$	Continuous output current	$V_O = 0$ to $V_{CC}$	$\pm 35$	mA
	Continuous current through $V_{CC}$ or GND		$\pm 70$	mA
$T_J$	Junction temperature		150	°C
$T_{stg}$	Storage temperature	-65	150	°C

- (1) Stresses beyond those listed under *Absolute Maximum Ratings* may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under *Recommended Operating Conditions* is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.
- (2) The input and output voltage ratings may be exceeded if the input and output current ratings are observed.

### 6.2 ESD Ratings

		VALUE	UNIT
$V_{ESD}$	Electrostatic discharge	Human body model (HBM), per ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 <sup>(1)</sup>	2000
		Charged device model (CDM), per ANSI/ESDA/JEDEC JS-002 <sup>(2)</sup>	1000

- (1) JEDEC document JEP155 states that 500-V HBM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.
- (2) JEDEC document JEP157 states that 250-V CDM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.

### 6.3 Recommended Operating Conditions

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)<sup>(1)</sup>

		SN54HC595			SN74HC595			UNIT
		MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
$V_{CC}$	Supply voltage	2	5	6	2	5	6	V
$V_{IH}$	High-level input voltage	$V_{CC} = 2\text{ V}$	1.5		1.5			V
		$V_{CC} = 4.5\text{ V}$	3.15		3.15			
		$V_{CC} = 6\text{ V}$	4.2		4.2			
$V_{IL}$	Low-level input voltage	$V_{CC} = 2\text{ V}$		0.5		0.5	V	
		$V_{CC} = 4.5\text{ V}$		1.35		1.35		
		$V_{CC} = 6\text{ V}$		1.8		1.8		
$V_I$	Input voltage	0		$V_{CC}$	0		$V_{CC}$	V
$V_O$	Output voltage	0		$V_{CC}$	0		$V_{CC}$	V
$\Delta t/\Delta v$	Input transition rise or fall time <sup>(2)</sup>	$V_{CC} = 2\text{ V}$		1000			1000	ns
		$V_{CC} = 4.5\text{ V}$		500			500	
		$V_{CC} = 6\text{ V}$		400			400	
$T_A$	Operating free-air temperature	-55		125	-40		85	°C

- (1) All unused inputs of the device must be held at  $V_{CC}$  or GND to ensure proper device operation. See the TI application report, *Implications of Slow or Floating CMOS Inputs*, SCBA004.
- (2) If this device is used in the threshold region (from  $V_{IH,max} = 0.5\text{ V}$  to  $V_{IH,min} = 1.5\text{ V}$ ), there is a potential to go into the wrong state from induced grounding, causing double clocking. Operating with the inputs at  $t_r = 1000\text{ ns}$  and  $V_{CC} = 2\text{ V}$  does not damage the device; however, functionally, the CLK inputs are not ensured while in the shift, count, or toggle operating modes.

# ESP32 NODE MCU

## ESP32 - WiFi & Bluetooth SoC Module

Creado por **Espressif Systems**, **ESP32** es un sistema de bajo consumo y bajo costo en un chips SoC (System On Chip) con Wi-Fi y modo dual con Bluetooth!

En el fondo, hay un microprocesador **Tensilica Xtensa LX6** de doble núcleo o de un solo núcleo con un frecuencia de reloj de hasta **240MHz**.

**ESP32** está altamente integrado con switch de antena , balun para RF, amplificador de potencia, amplificador de recepción con bajo nivel de ruido, filtros y módulos de administración de energía, totalmente integrados dentro del mismo chip!!.

Diseñado para dispositivos móviles; tanto en las aplicaciones de electrónica, y las de IoT (Internet de las cosas), **ESP32** logran un consumo de energía ultra bajo a través de funciones de ahorro de energía

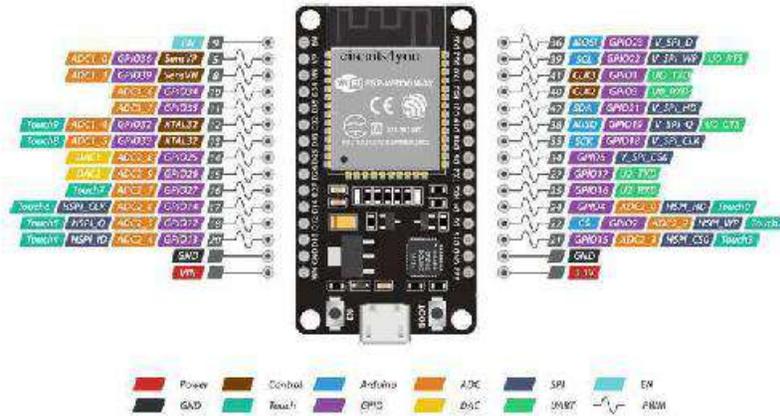
Incluye la sintonización de reloj con una resolución fina, modos de potencia múltiple y escalado de potencia dinámica.

### Características principales:

- **Procesador principal:** Tensilica Xtensa LX6 de 32 bits.
- **Wi-Fi:** 802.11 b / g / n / e / i (802.11n @ 2.4 GHz hasta 150 Mbit / s).
- **Bluetooth:** v4.2 BR / EDR y Bluetooth Low Energy (BLE).
- **Frecuencia de Clock:** Programable, hasta 240MHz.
- **Rendimiento:** hasta 600DMIPS.
- **ROM:** 448KB, para arranque y funciones básicas.
- **SRAM:** 520KiB, para datos e instrucciones.



## PIN-OUT



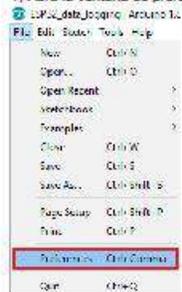
ESP32 Dev. Board Pinout

## Instalando el complemento ESP32 en Arduino IDE

**Importante:** Antes de iniciar el procedimiento de instalación, asegúrese de tener la última versión del IDE de Arduino instalada en su computadora. Si no lo hace, desinstálelo e instálelo de nuevo. De lo contrario, puede que no funcione.

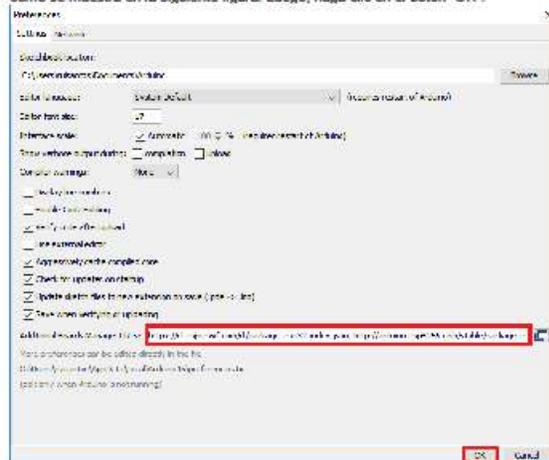
Para instalar la placa ESP32 en su IDE de Arduino, siga las siguientes instrucciones:

1) Abra la ventana de preferencias desde el IDE de Arduino. Ir a Archivo > Preferencias



## Microelectrónica Componentes srl

2) Ingrese [https://dl.espressif.com/dl/package\\_esp32\\_index.json](https://dl.espressif.com/dl/package_esp32_index.json) en el campo "URL adicionales de Board Manager" como se muestra en la siguiente figura. Luego, haga clic en el botón "OK":



**Nota:** si ya tiene la URL de placas ESP8266, puede separar las URL con una coma de la siguiente manera:

[https://dl.espressif.com/dl/package\\_esp32\\_index.json](https://dl.espressif.com/dl/package_esp32_index.json),

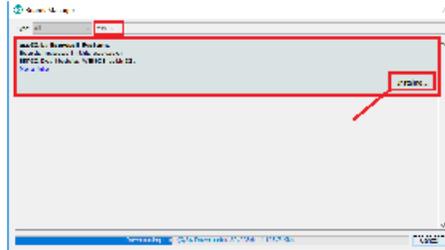
[http://arduino.esp8266.com/stable/package\\_esp8266com\\_index.json](http://arduino.esp8266.com/stable/package_esp8266com_index.json)

3) Gestor de placas libres. Vaya a Herramientas > Placa > Gestor de placas ...



## Microelectrónica Componentes srl

4) Busque ESP32 y presione el botón de instalación para "ESP32 by Espressif Systems":



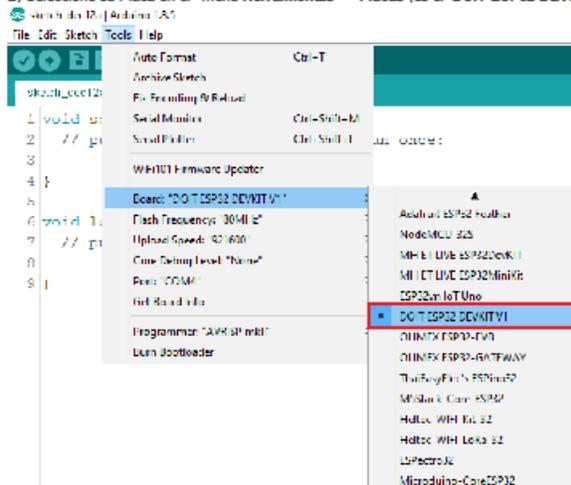
5) Eso es todo. Debe instalarse después de unos segundos.

## Probando la instalación

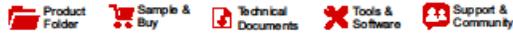
Conecte la placa ESP32 a su computadora. Luego, sigue estos pasos:

1) Abra el IDE de Arduino

2) Seleccione su Placa en el menú Herramientas > Placas (es el DOIT ESP32 DEVKIT V1)



## Manual de Microcontrolador Hércules



RM46L852

SPNS195C – SEPTEMBER 2012 – REVISED JUNE 2015

### RM46L852 16- and 32-Bit RISC Flash Microcontroller

#### 1 Device Overview

##### 1.1 Features

- High-Performance Microcontroller for Safety-Critical Applications
  - Dual CPUs Running in Lockstep
  - ECC on Flash and RAM Interfaces
  - Built-In Self-Test (BIST) for CPU and On-chip RAMs
  - Error Signaling Module With Error Pin
  - Voltage and Clock Monitoring
- ARM® Cortex®-R4F 32-Bit RISC CPU
  - 1.66 DMIPS/MHz With 8-Stage Pipeline
  - FPU With Single- and Double-Precision
  - 12-Region Memory Protection Unit (MPU)
  - Open Architecture With Third-Party Support
- Operating Conditions
  - Up to 220-MHz System Clock
  - Core Supply Voltage (VCC): 1.14 to 1.32 V
  - I/O Supply Voltage (VCCIO): 3.0 to 3.8 V
- Integrated Memory
  - 1.25MB of Program Flash With ECC
  - 192KB of RAM With ECC
  - 64KB of Flash for Emulated EEPROM With ECC
- 16-Bit External Memory Interface (EMIF)
- Common Platform Architecture
  - Consistent Memory Map Across Family
  - Real-Time Interrupt (RTI) Timer (OS Timer)
  - 128-Channel Vectored Interrupt Module (VIM)
  - 2-Channel Cyclic Redundancy Checker (CRC)
- Direct Memory Access (DMA) Controller
  - 16 Channels and 32 Peripheral Requests
  - Parity Protection for Control Packet RAM
  - DMA Accesses Protected by Dedicated MPU
- Frequency-Modulated Phase-Locked Loop (FMPLL) With Built-In Slip Detector
- Separate Nonmodulating PLL
- IEEE 1149.1 JTAG, Boundary Scan and ARM CoreSight™ Components
- Advanced JTAG Security Module (AJSM)
- Calibration Capabilities
  - Parameter Overlay Module (POM)
- 16 General-Purpose Input/Output (GPIO) Pins Capable of Generating Interrupts
- Enhanced Timing Peripherals for Motor Control
  - 7 Enhanced Pulse Width Modulator (ePWM) Modules
  - 6 Enhanced Capture (eCAP) Modules
  - 2 Enhanced Quadrature Encoder Pulse (eQEP) Modules
- Two Next Generation High-End Timer (N2HET) Modules
  - N2HET1: 32 Programmable Channels
  - N2HET2: 18 Programmable Channels
  - 180-Word Instruction RAM Each With Parity Protection
  - Each N2HET Includes Hardware Angle Generator
  - Dedicated High-End Timer Transfer Unit (HTU) for Each N2HET
- Two 12-Bit Multibuffered Analog-to-Digital Converter (MibADC) Modules
  - ADC1: 24 Channels
  - ADC2: 16 Channels Shared With ADC1
  - 64 Result Buffers Each With Parity Protection
- Multiple Communication Interfaces
  - 10/100 Mbps Ethernet MAC (EMAC)
    - IEEE 802.3 Compliant (3.3-V I/O Only)
    - Supports MII, RMII, and MDIO
  - USB
    - 2-Port USB Host Controller
    - One Full-Speed USB Device Port
  - Three CAN Controllers (DCANs)
    - 64 Mailboxes Each With Parity Protection
    - Compliant to CAN Protocol Version 2.0A and 2.0B
  - Inter-Integrated Circuit (I<sup>2</sup>C)
  - Three Multibuffered Serial Peripheral Interface (MibSPI) Modules
    - 128 Words Each With Parity Protection
    - 8 Transfer Groups
  - Up to Two Standard Serial Peripheral Interface (SPI) Modules
  - Two UART (SCI) Interfaces, One With Local Interconnect Network (LIN 2.1) Interface Support
- Packages
  - 144-Pin Quad Flatpack (PGE) [Green]
  - 337-Ball Grid Array (ZWT) [Green]



An IMPORTANT NOTICE at the end of this data sheet addresses availability, warranty, changes, use in safety-critical applications, intellectual property matters and other important disclaimers. PRODUCTION DATA.

## 1.2 Applications

- Industrial Safety Applications
  - Industrial Automation
  - Safe Programmable Logic Controllers (PLCs)
  - Power Generation and Distribution
  - Turbines and Windmills
  - Elevators and Escalators
- Medical Applications
  - Ventilators
  - Defibrillators
  - Infusion and Insulin Pumps
  - Radiation Therapy
  - Robotic Surgery

## 1.3 Description

The RM46L852 device is a high-performance microcontroller family for safety systems. The safety architecture includes dual CPUs in lockstep, CPU and memory BIST logic, ECC on both the flash and the data SRAM, parity on peripheral memories, and loopback capability on peripheral I/Os.

The RM46L852 device integrates the ARM Cortex-R4F floating-point CPU which offers an efficient 1.66 DMIPS/MHz, and can run up to 220 MHz providing up to 365 DMIPS. The device supports the little-endian [LE] format.

The RM46L852 device has 1.25MB of integrated flash and 102KB of data RAM with single-bit error correction and double-bit error detection. The flash memory on this device is a nonvolatile, electrically erasable and programmable memory, implemented with a 64-bit-wide data bus interface. The flash operates on a 3.3-V supply input (same level as I/O supply) for all read, program, and erase operations. When in pipeline mode, the flash operates with a system clock frequency of up to 220 MHz. The SRAM supports single-cycle read and write accesses in byte, halfword, word, and double-word modes throughout the supported frequency range.

The RM46L852 device features peripherals for real-time control-based applications, including two Next Generation High-End Timer (N2HET) timing coprocessors with up to 44 I/O terminals, seven Enhanced Pulse Width Modulator (ePWM) modules with up to 14 outputs, six Enhanced Capture (eCAP) modules, two Enhanced Quadrature Encoder Pulse (eQEP) modules, and two 12-bit Analog-to-Digital Converters (ADCs) supporting up to 24 inputs.

The N2HET is an advanced intelligent timer that provides sophisticated timing functions for real-time applications. The timer is software-controlled, using a reduced instruction set, with a specialized timer micromachine and an attached I/O port. The N2HET can be used for pulse-width-modulated outputs, capture or compare inputs, or general-purpose I/O (GIO). The N2HET is especially well suited for applications requiring multiple sensor information and drive actuators with complex and accurate time pulses. A High-End Timer Transfer Unit (HTU) can perform DMA-type transactions to transfer N2HET data to or from main memory. A Memory Protection Unit (MPU) is built into the HTU.

The ePWM module can generate complex pulse width waveforms with minimal CPU overhead or intervention. The ePWM is easy to use and it supports both high-side and low-side PWM and deadband generation. With integrated trip zone protection and synchronization with the on-chip MibADC, the ePWM module is ideal for digital motor control applications.

The eCAP module is essential in systems where the accurately timed capture of external events is important. The eCAP can also be used to monitor the ePWM outputs or for simple PWM generation when the eCAP is not needed for capture applications.

The eQEP module is used for direct interface with a linear or rotary incremental encoder to get position, direction, and speed information from a rotating machine as used in high-performance motion and position-control systems.

The device has two 12-bit-resolution MibADCs with 24 total inputs and 64 words of parity-protected buffer RAM each. The MibADC channels can be converted individually or can be grouped by software for sequential conversion sequences. Sixteen inputs are shared between the two MibADCs. Each MibADC supports three separate groupings of channels. Each group can be converted once when triggered or configured for continuous conversion mode. The MibADC has a 10-bit mode for use when compatibility with older devices or faster conversion time is desired. MibADC1 also supports the use of external analog multiplexers.

The device has multiple communication interfaces: three MibSPIs, two SPIs, one LIN, one SCI, three DCANs, one I<sup>2</sup>C, one Ethernet, and one USB module. The SPI provides a convenient method of serial high-speed communications between similar shift-register type devices. The LIN supports the Local Interconnect standard 2.0 and can be used as a UART in full-duplex mode using the standard Non-Return-to-Zero (NRZ) format. The DCAN supports the CAN 2.0 (A and B) protocol standard and uses a serial, multimaster communication protocol that efficiently supports distributed real-time control with robust communication rates of up to 1 Mbps. The DCAN is ideal for systems operating in noisy and harsh environments (for example, automotive and industrial fields) that require reliable serial communication or multiplexed wiring. The Ethernet module supports MII, RMII, and MDIO interfaces.

The USB module includes a 2-port USB host controller that is revision 2.0-compatible, based on the OHCI specification for USB, release 1.0. The USB module also includes a USB device controller compatible with the USB specification revision 2.0 and USB specification revision 1.1.

The I2C module is a multimaster communication module providing an interface between the microcontroller and an I<sup>2</sup>C-compatible device through the I<sup>2</sup>C serial bus. The I<sup>2</sup>C supports speeds of 100 and 400 Kbps.

A Frequency-Modulated Phase-Locked Loop (FMPLL) clock module is used to multiply the external frequency reference to a higher frequency for internal use. The Global Clock Module (GCM) manages the mapping between the available clock sources and the device clock domains.

The device also has an External Clock Prescaler (ECP) module that when enabled, outputs a continuous external clock on the ECLK terminal. The ECLK frequency is a user-programmable ratio of the peripheral interface clock (VCLK) frequency. This low-frequency output can be monitored externally as an indicator of the device operating frequency.

The Direct Memory Access (DMA) controller has 16 channels, 32 peripheral requests, and parity protection on its memory. An MPU is built into the DMA to protect memory against erroneous transfers.

The Error Signaling Module (ESM) monitors all device errors and determines whether an interrupt or external error pin (ball) is triggered when a fault is detected. The nERROR terminal can be monitored externally as an indicator of a fault condition in the microcontroller.

The External Memory Interface (EMIF) provides a memory extension to asynchronous and synchronous memories or other slave devices.

A Parameter Overlay Module (POM) enhances the calibration capabilities of application code. The POM can reroute flash accesses to internal memory or to the EMIF, thus avoiding the reprogramming steps necessary for parameter updates in flash.

With integrated safety features and a wide choice of communication and control peripherals, the RM46L852 device is an ideal solution for high-performance real-time control applications with safety-critical requirements.

**Table 1-1. Device Information<sup>(1)</sup>**

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE
RM46L852ZWT	NFBGA (337)	16.0 mm X 16.0 mm
RM46L852PGE	LQFP (144)	20.0 mm X 20.0 mm

(1) For more information, see Section 9, Mechanical Packaging and Orderable Information.

1.4 Functional Block Diagram

NOTE

The block diagram reflects the 337BGA package. Some pins are multiplexed or not available in the 144QFP. For details, see the respective terminal functions tables in Section 4.3.

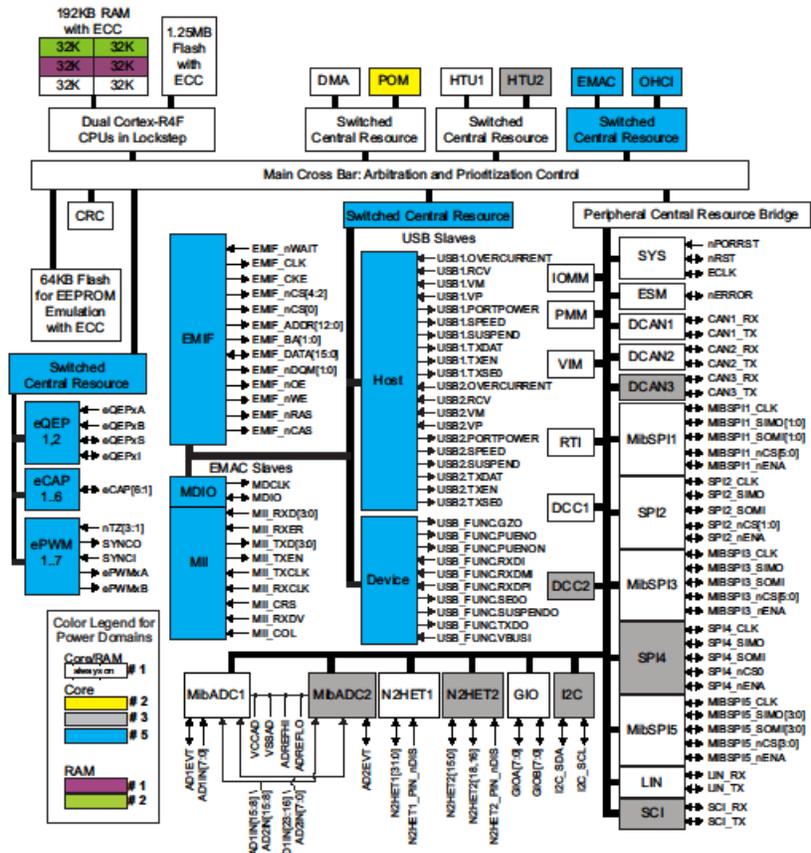


Figure 1-1. Functional Block Diagram

### 3 Device Comparison

Table 3-1 lists the features of the RM46L852 devices.

Table 3-1. RM46L852 Device Comparison<sup>(1)(2)</sup>

FEATURES	DEVICES					
	<a href="#">RM46L852ZWT<sup>(3)</sup></a>	<a href="#">RM46L852ZWT<sup>(3)</sup></a>	<a href="#">RM46L852PGE</a>	<a href="#">RM46L450PGE</a>	<a href="#">RM44L520PGE</a>	<a href="#">RM42L432PZ</a>
Generic Part Number	<a href="#">RM46L852ZWT<sup>(3)</sup></a>	<a href="#">RM46L852ZWT<sup>(3)</sup></a>	<a href="#">RM46L852PGE</a>	<a href="#">RM46L450PGE</a>	<a href="#">RM44L520PGE</a>	<a href="#">RM42L432PZ</a>
Package	357 BGA	357 BGA	144 QFP	144 QFP	144 QFP	100 QFP
CPU	ARM Cortex-R4F	ARM Cortex-R4F	ARM Cortex-R4F	ARM Cortex-R4F	ARM Cortex-R4F	ARM Cortex-R4
Frequency (MHz)	220	220	220	200	200	100
Flash (KB)	3072	1280	1280	1024	788	384
RAM (KB)	256	192	192	128	128	32
Data Flash (EEPROM) (KB)	64	64	64	64	64	16
USB OHCI + Device	2x0 or 1x1	2x0 or 1x1	2x0 or 1x1	2x0 or 1x1	–	–
EMAC	10/100	10/100	10/100	10/100	–	–
CAN	3	3	3	3	3	2
MBADC 12-bit (Ch)	2 (24ch)	2 (24ch)	2 (24ch)	2 (24ch)	2 (24ch)	1 (18ch)
NZHEIT (Ch)	2 (44)	2 (44)	2 (40)	2 (40)	2 (40)	1 (19)
ePWM Channels	–	14	14	14	14	–
eCAP Channels	–	8	8	8	8	–
eQEP Channels	–	2	2	2	2	1
MBSP (CS)	3 (8 + 8 + 4)	3 (8 + 8 + 4)	3 (8 + 8 + 1)	3 (8 + 8 + 1)	3 (8 + 8 + 1)	1 (4)
SP (CS)	2 (2 + 1)	2 (2 + 1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	2 (4 + 4)
SCI (LIN)	2 (1 with LIN)	2 (1 with LIN)	2 (1 with LIN)	2 (1 with LIN)	2 (1 with LIN)	1 (with LIN)
I2C	1	1	1	1	1	–
GPIO (INT) <sup>(4)</sup>	144 (with 16 interrupt capable)	101 (with 16 interrupt capable)	64 (with 10 interrupt capable)	64 (with 10 interrupt capable)	64 (with 10 interrupt capable)	45 (with 8 interrupt capable)
EMIF	16-bit data	16-bit data	–	–	–	–
ETM (Trace) (Data)	(32)	–	–	–	–	–
RTFDM (Data)	(18/16)	–	–	–	–	–
Operating Temperature	-40°C to 105°C	-40°C to 105°C	-40°C to 105°C	-40°C to 105°C	-40°C to 105°C	-40°C to 105°C
Core Supply (V)	1.14 V – 1.32 V	1.14 V – 1.32 V	1.14 V – 1.32 V	1.14 V – 1.32 V	1.14 V – 1.32 V	1.14 V – 1.32 V
I/O Supply (V)	3.0 V – 3.6 V	3.0 V – 3.6 V	3.0 V – 3.6 V	3.0 V – 3.6 V	3.0 V – 3.6 V	3.0 V – 3.6 V

(1) For additional device variants, see [www.ti.com/m](http://www.ti.com/m)

(2) This table reflects the maximum configuration for each peripheral. Some functions are multiplexed and not all pins are available at the same time.

(3) Superset device.

(4) Total number of pins that can be used as general purpose input or output when not used as part of a peripheral.

## 4 Terminal Configuration and Functions

### 4.1 PGE QFP Package Pinout (144-Pin)

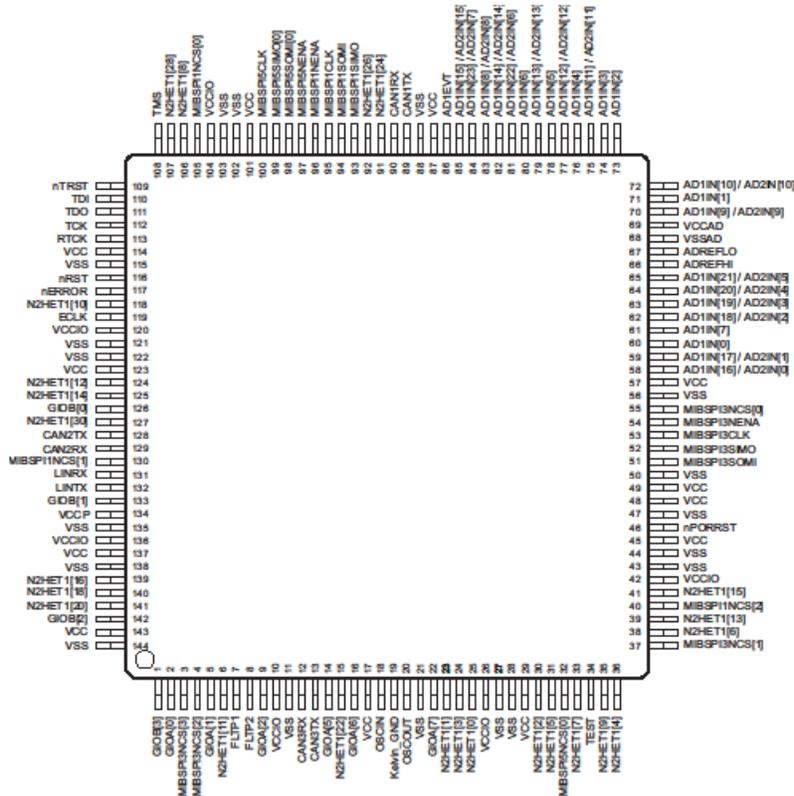


Figure 4-1. PGE QFP Package Pinout (144-Pin)

Note: Pins can have multiplexed functions. Only the default function is depicted in above diagram.

## Manual de MÓDULO RTC DS3231 + EEPROM AT24C32

### DS3231

### Extremely Accurate I<sup>2</sup>C-Integrated RTC/TCXO/Crystal

#### General Description

The DS3231 is a low-cost, extremely accurate I<sup>2</sup>C real-time clock (RTC) with an integrated temperature-compensated crystal oscillator (TCXO) and crystal. The device incorporates a battery input, and maintains accurate timekeeping when main power to the device is interrupted. The integration of the crystal resonator enhances the long-term accuracy of the device as well as reduces the piece-part count in a manufacturing line. The DS3231 is available in commercial and industrial temperature ranges, and is offered in a 16-pin, 300-mil SO package.

The RTC maintains seconds, minutes, hours, day, date, month, and year information. The date at the end of the month is automatically adjusted for months with fewer than 31 days, including corrections for leap year. The clock operates in either the 24-hour or 12-hour format with an AM/PM indicator. Two programmable time-of-day alarms and a programmable square-wave output are provided. Address and data are transferred serially through an I<sup>2</sup>C bidirectional bus.

A precision temperature-compensated voltage reference and comparator circuit monitors the status of V<sub>CC</sub> to detect power failures, to provide a reset output, and to automatically switch to the backup supply when necessary. Additionally, the RST pin is monitored as a pushbutton input for generating a  $\mu$ P reset.

#### Benefits and Features

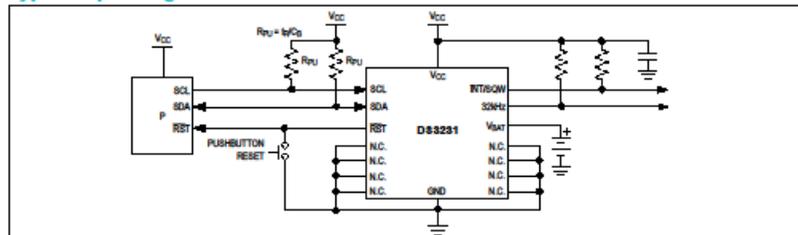
- Highly Accurate RTC Completely Manages All Timekeeping Functions
  - Real-Time Clock Counts Seconds, Minutes, Hours, Date of the Month, Month, Day of the Week, and Year, with Leap-Year Compensation Valid Up to 2100
  - Accuracy  $\pm 2$ ppm from 0°C to +40°C
  - Accuracy  $\pm 3.5$ ppm from -40°C to +85°C
  - Digital Temp Sensor Output:  $\pm 3$ °C Accuracy
  - Register for Aging Trim
  - RST Output/Pushbutton Reset Debounce Input
  - Two Time-of-Day Alarms
  - Programmable Square-Wave Output Signal
- Simple Serial Interface Connects to Most Microcontrollers
  - Fast (400kHz) I<sup>2</sup>C Interface
- Battery-Backup Input for Continuous Timekeeping
  - Low Power Operation Extends Battery-Backup Run Time
  - 3.3V Operation
- Operating Temperature Ranges: Commercial (0°C to +70°C) and Industrial (-40°C to +85°C)
- Underwriters Laboratories® (UL) Recognized

#### Applications

- Servers
- Telematics
- Utility Power Meters
- GPS

Ordering Information and Pin Configuration appear at end of data sheet.

#### Typical Operating Circuit



Underwriters Laboratories is a registered certification mark of Underwriters Laboratories Inc.

DS3231

Extremely Accurate I<sup>2</sup>C-Integrated  
RTC/TCXO/Crystal**Absolute Maximum Ratings**

Voltage Range on Any Pin Relative to Ground	.....-0.3V to +6.0V	Junction Temperature	.....+125°C
Junction-to-Ambient Thermal Resistance (θ <sub>JA</sub> ) (Note 1)	73°C/W	Storage Temperature Range	.....-40°C to +85°C
Junction-to-Case Thermal Resistance (θ <sub>JC</sub> ) (Note 1)	23°C/W	Lead Temperature (soldering, 10s)	.....+260°C
Operating Temperature Range		Soldering Temperature (reflow, 2 times max)	.....+260°C
DS3231S	.....0°C to +70°C	(see the <i>Handling, PCB Layout, and Assembly</i> section)	
DS3231SN	.....-40°C to +85°C		

**Note 1:** Package thermal resistances were obtained using the method described in JEDEC specification JESD51-7, using a four-layer board. For detailed information on package thermal considerations, refer to [www.maximintegrated.com/thermal-tutorial](http://www.maximintegrated.com/thermal-tutorial).

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

**Recommended Operating Conditions**(T<sub>A</sub> = T<sub>MIN</sub> to T<sub>MAX</sub>, unless otherwise noted.) (Notes 2, 3)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Voltage	V <sub>CC</sub>		2.3	3.3	5.5	V
	V <sub>BAT</sub>		2.3	3.0	5.5	V
Logic 1 Input SDA, SCL	V <sub>IH</sub>		0.7 x V <sub>CC</sub>		V <sub>CC</sub> + 0.3	V
Logic 0 Input SDA, SCL	V <sub>IL</sub>		-0.3		0.3 x V <sub>CC</sub>	V

**Electrical Characteristics**

(V<sub>CC</sub> = 2.3V to 5.5V, V<sub>CC</sub> = Active Supply (see Table 1), T<sub>A</sub> = T<sub>MIN</sub> to T<sub>MAX</sub>, unless otherwise noted.) (Typical values are at V<sub>CC</sub> = 3.3V, V<sub>BAT</sub> = 3.0V, and T<sub>A</sub> = +25°C, unless otherwise noted.) (Notes 2, 3)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Active Supply Current	I <sub>CCA</sub>	(Notes 4, 5)	V <sub>CC</sub> = 3.63V		200	μA
			V <sub>CC</sub> = 5.5V		300	
Standby Supply Current	I <sub>CCS</sub>	I <sup>2</sup> C bus inactive, 32kHz output on, SQW output off (Note 5)	V <sub>CC</sub> = 3.63V		110	μA
			V <sub>CC</sub> = 5.5V		170	
Temperature Conversion Current	I <sub>CCSOONV</sub>	I <sup>2</sup> C bus inactive, 32kHz output on, SQW output off	V <sub>CC</sub> = 3.63V		575	μA
			V <sub>CC</sub> = 5.5V		650	
Power-Fail Voltage	V <sub>PF</sub>		2.45	2.575	2.70	V
Logic 0 Output, 32kHz, INT/SQW, SDA	V <sub>OL</sub>	I <sub>OL</sub> = 3mA			0.4	V
Logic 0 Output, RST	V <sub>OL</sub>	I <sub>OL</sub> = 1mA			0.4	V
Output Leakage Current 32kHz, INT/SQW, SDA	I <sub>LO</sub>	Output high impedance	-1	0	+1	μA
Input Leakage SCL	I <sub>I</sub>		-1		+1	μA
RST Pin I/O Leakage	I <sub>OL</sub>	RST high impedance (Note 6)	-200		+10	μA
V <sub>BAT</sub> Leakage Current (V <sub>CC</sub> Active)	I <sub>BATLKG</sub>			25	100	nA

DS3231

Extremely Accurate I<sup>2</sup>C-Integrated  
RTC/TCXO/Crystal**Electrical Characteristics (continued)**(V<sub>CC</sub> = 2.3V to 5.5V, V<sub>CC</sub> = Active Supply (see Table 1), T<sub>A</sub> = T<sub>MIN</sub> to T<sub>MAX</sub>, unless otherwise noted.) (Typical values are at V<sub>CC</sub> = 3.3V, V<sub>BAT</sub> = 3.0V, and T<sub>A</sub> = +25°C, unless otherwise noted.) (Notes 2, 3)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Output Frequency	f <sub>OUT</sub>	V <sub>CC</sub> = 3.3V or V <sub>BAT</sub> = 3.3V		32 768		kHz
Frequency Stability vs. Temperature (Commercial)	Δf/f <sub>OUT</sub>	V <sub>CC</sub> = 3.3V or V <sub>BAT</sub> = 3.3V, aging offset = 00h	0°C to +40°C		±2	ppm
			>40°C to +70°C		±3.5	
Frequency Stability vs. Temperature (Industrial)	Δf/f <sub>OUT</sub>	V <sub>CC</sub> = 3.3V or V <sub>BAT</sub> = 3.3V, aging offset = 00h	-40°C to <0°C		±3.5	ppm
			0°C to +40°C		±2	
Frequency Stability vs. Voltage	Δf/V		>40°C to +85°C		±3.5	ppm/V
					1	
Trim Register Frequency Sensitivity per LSB	Δf/LSB	Specified at:	-40°C		0.7	ppm
			+25°C		0.1	
			+70°C		0.4	
			+85°C		0.8	
Temperature Accuracy	Temp	V <sub>CC</sub> = 3.3V or V <sub>BAT</sub> = 3.3V	-3		+3	°C
Crystal Aging	Δf/f <sub>O</sub>	After reflow, not production tested	First year		±1.0	ppm
			0–10 years		±5.0	

**Electrical Characteristics**(V<sub>CC</sub> = 0V, V<sub>BAT</sub> = 2.3V to 5.5V, T<sub>A</sub> = T<sub>MIN</sub> to T<sub>MAX</sub>, unless otherwise noted.) (Note 2)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Active Battery Current	I <sub>BATA</sub>	E <sub>OSC</sub> = 0, BBSQW = 0, SCL = 400kHz (Note 5)	V <sub>BAT</sub> = 3.63V		70	μA
			V <sub>BAT</sub> = 5.5V		150	
Timekeeping Battery Current	I <sub>BATT</sub>	E <sub>OSC</sub> = 0, BBSQW = 0, EN32kHz = 1, SCL = SDA = 0V or SCL = SDA = V <sub>BAT</sub> (Note 5)	V <sub>BAT</sub> = 3.63V	0.84	3.0	μA
			V <sub>BAT</sub> = 5.5V	1.0	3.5	
Temperature Conversion Current	I <sub>BATTC</sub>	E <sub>OSC</sub> = 0, BBSQW = 0, SCL = SDA = 0V or SCL = SDA = V <sub>BAT</sub>	V <sub>BAT</sub> = 3.63V		575	μA
			V <sub>BAT</sub> = 5.5V		650	
Data-Retention Current	I <sub>BATDR</sub>	E <sub>OSC</sub> = 1, SCL = SDA = 0V, +25°C			100	nA

DS3231

Extremely Accurate I<sup>2</sup>C-Integrated  
RTC/TCXO/Crystal**AC Electrical Characteristics**(V<sub>CC</sub> = V<sub>CC(MIN)</sub> to V<sub>CC(MAX)</sub> or V<sub>BAT</sub> = V<sub>BAT(MIN)</sub> to V<sub>BAT(MAX)</sub>, V<sub>BAT</sub> > V<sub>CC</sub>, T<sub>A</sub> = T<sub>MIN</sub> to T<sub>MAX</sub>, unless otherwise noted.) (Note 2)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
SCL Clock Frequency	f <sub>SCL</sub>	Fast mode	100		400	kHz
		Standard mode	0		100	
Bus Free Time Between STOP and START Conditions	t <sub>BUF</sub>	Fast mode	1.3			μs
		Standard mode	4.7			
Hold Time (Repeated) START Condition (Note 7)	t <sub>HD:STA</sub>	Fast mode	0.6			μs
		Standard mode	4.0			
Low Period of SCL Clock	t <sub>LOW</sub>	Fast mode	1.3			μs
		Standard mode	4.7			
High Period of SCL Clock	t <sub>HIGH</sub>	Fast mode	0.6			μs
		Standard mode	4.0			
Data Hold Time (Notes 8, 9)	t <sub>HD:DAT</sub>	Fast mode	0		0.9	μs
		Standard mode	0		0.9	
Data Setup Time (Note 10)	t <sub>SU:DAT</sub>	Fast mode	100			ns
		Standard mode	250			
START Setup Time	t <sub>SU:STA</sub>	Fast mode	0.6			μs
		Standard mode	4.7			
Rise Time of Both SDA and SCL Signals (Note 11)	t <sub>r</sub>	Fast mode	20 +		300	ns
		Standard mode	0.1C <sub>B</sub>		1000	
Fall Time of Both SDA and SCL Signals (Note 11)	t <sub>f</sub>	Fast mode	20 +		300	ns
		Standard mode	0.1C <sub>B</sub>		300	
Setup Time for STOP Condition	t <sub>SU:STO</sub>	Fast mode	0.6			μs
		Standard mode	4.7			
Capacitive Load for Each Bus Line	C <sub>B</sub>	(Note 11)			400	pF
Capacitance for SDA, SCL	C <sub>I/O</sub>			10		pF
Pulse Width of Spikes That Must Be Suppressed by the Input Filter	t <sub>SP</sub>			30		ns
Pushbutton Debounce	PB <sub>DB</sub>			250		ms
Reset Active Time	t <sub>RST</sub>			250		ms
Oscillator Stop Flag (OSF) Delay	t <sub>OSF</sub>	(Note 12)		100		ms
Temperature Conversion Time	t <sub>CONV</sub>			125	200	ms

**Power-Switch Characteristics**(T<sub>A</sub> = T<sub>MIN</sub> to T<sub>MAX</sub>)

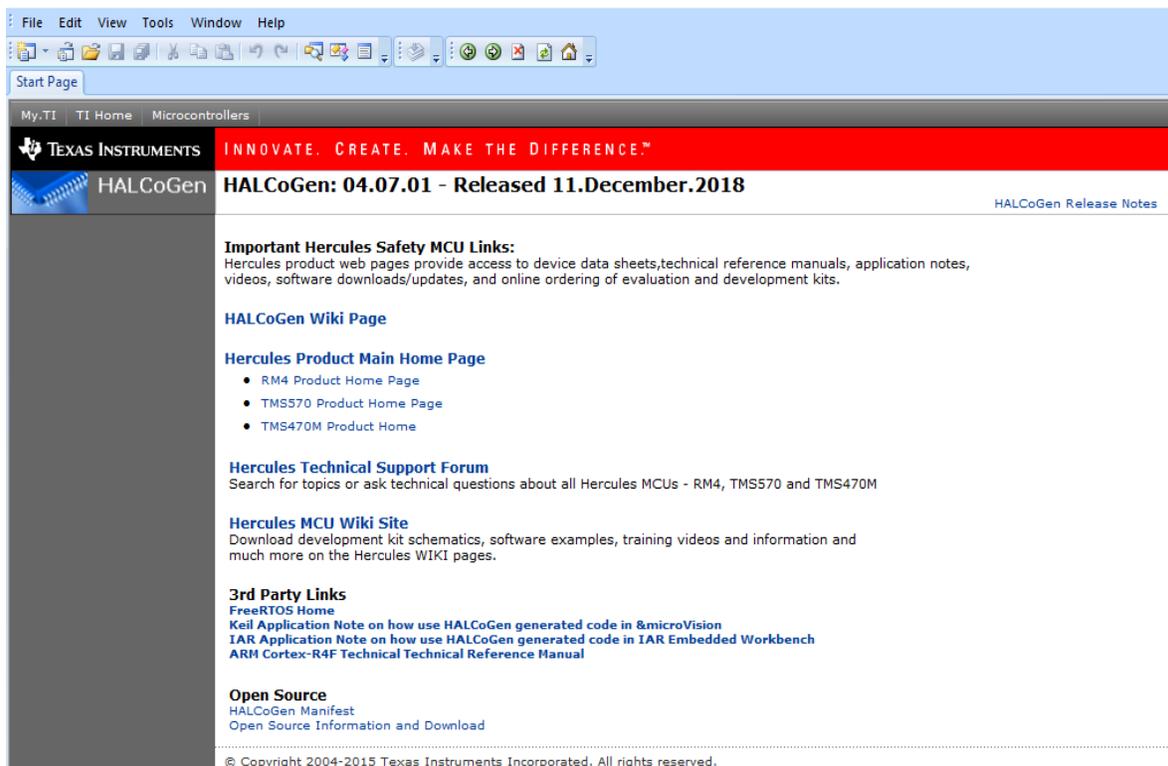
PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
V <sub>CC</sub> Fall Time; V <sub>PF(MAX)</sub> to V <sub>PF(MIN)</sub>	t <sub>VCCF</sub>		300			μs
V <sub>CC</sub> Rise Time; V <sub>PF(MIN)</sub> to V <sub>PF(MAX)</sub>	t <sub>VCCR</sub>		0			μs
Recovery at Power-Up	t <sub>REC</sub>	(Note 13)		250	300	ms

## ANEXO B

### Software Halcogen

Interfaz principal al abrir el programa Halcogen es un software de Texas instruments y permite seleccionar periféricos, RTI, ADC, PWM, modulo Serial que se va a utilizar según sea el proyecto que se va a realizar.

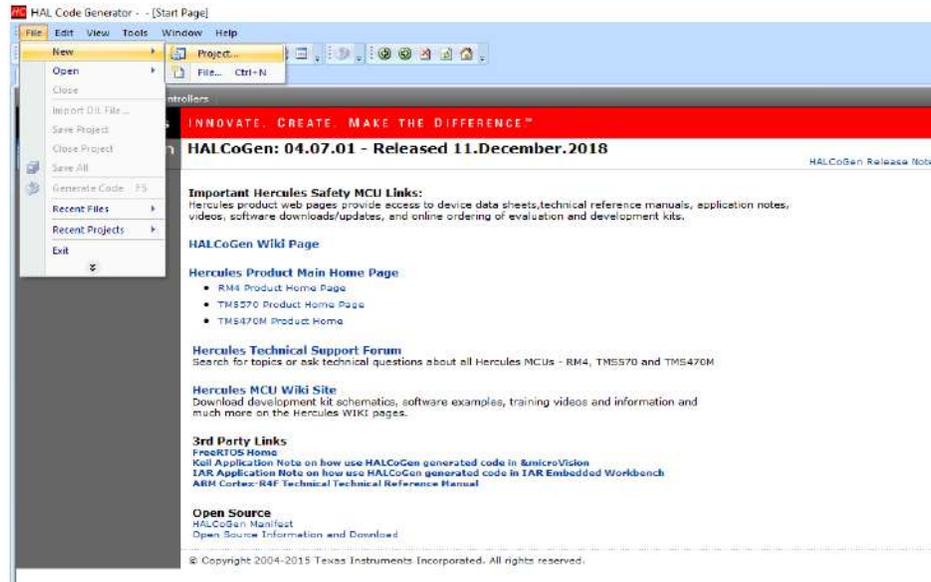
**Figura 1.1 :** Interfaz Halcogen



Fuente: Halcogen 2022

Para crear un proyecto nuevo se selecciona File, se selecciona New y Project, como se muestra en la figura:

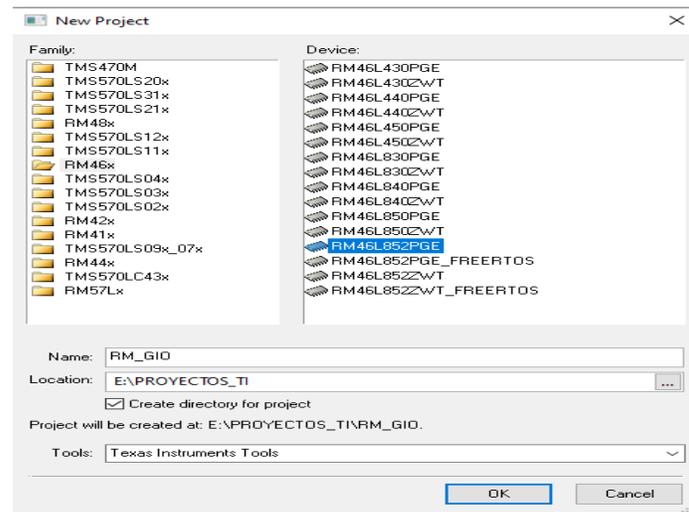
**Figura 1.2:** *Nuevo Proyecto en Halcogen*



Fuente: Halcogen 2022

Aparece una ventana donde se tiene que seleccionar el microcontrolador que se usara, en este caso el microcontrolador es el Hércules RM46L852, se ingresa un nombre que tiene que ser el mismo que se le pondrá en el programa Code composer, como la ubicación, ambos tienen q estar en la misma carpeta.

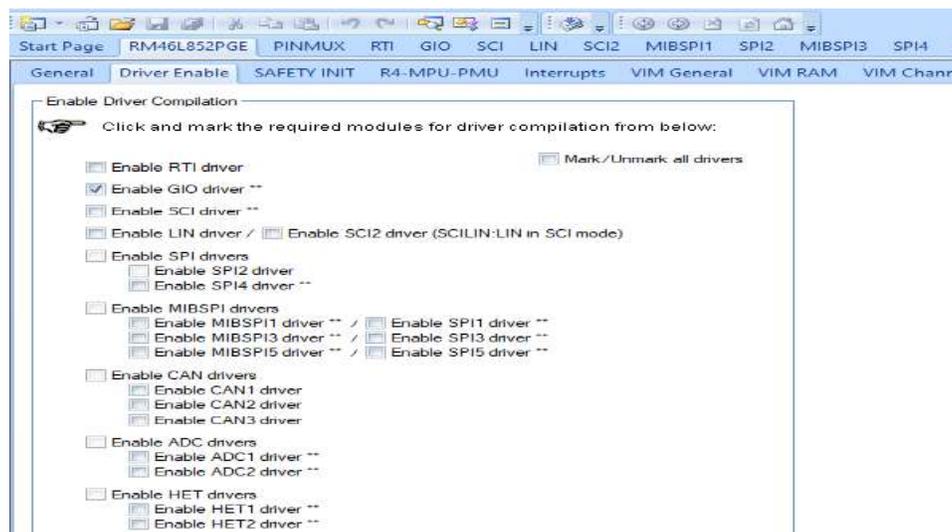
**Figura 1.3:** Selección de Microcontrolador



Fuente: Halcogen 2022

Para el Primer caso se habilita el periférico GIO Driver, este periférico se puede seleccionar tanto como entrada como salida.

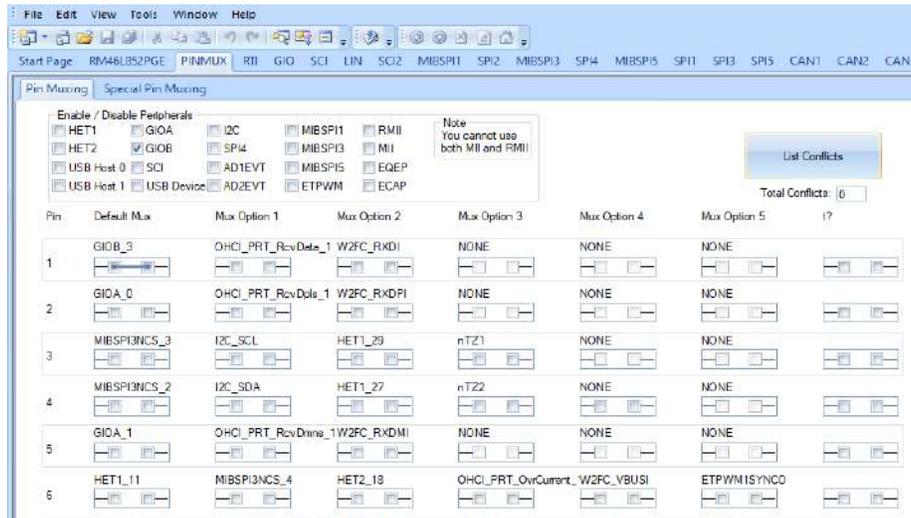
**Figura 1.4:** Habilitando GIO



Fuente: Halcogen 2022

Se habilita el GIOB ya que en este caso se harán pruebas con el led interno del microcontrolador.

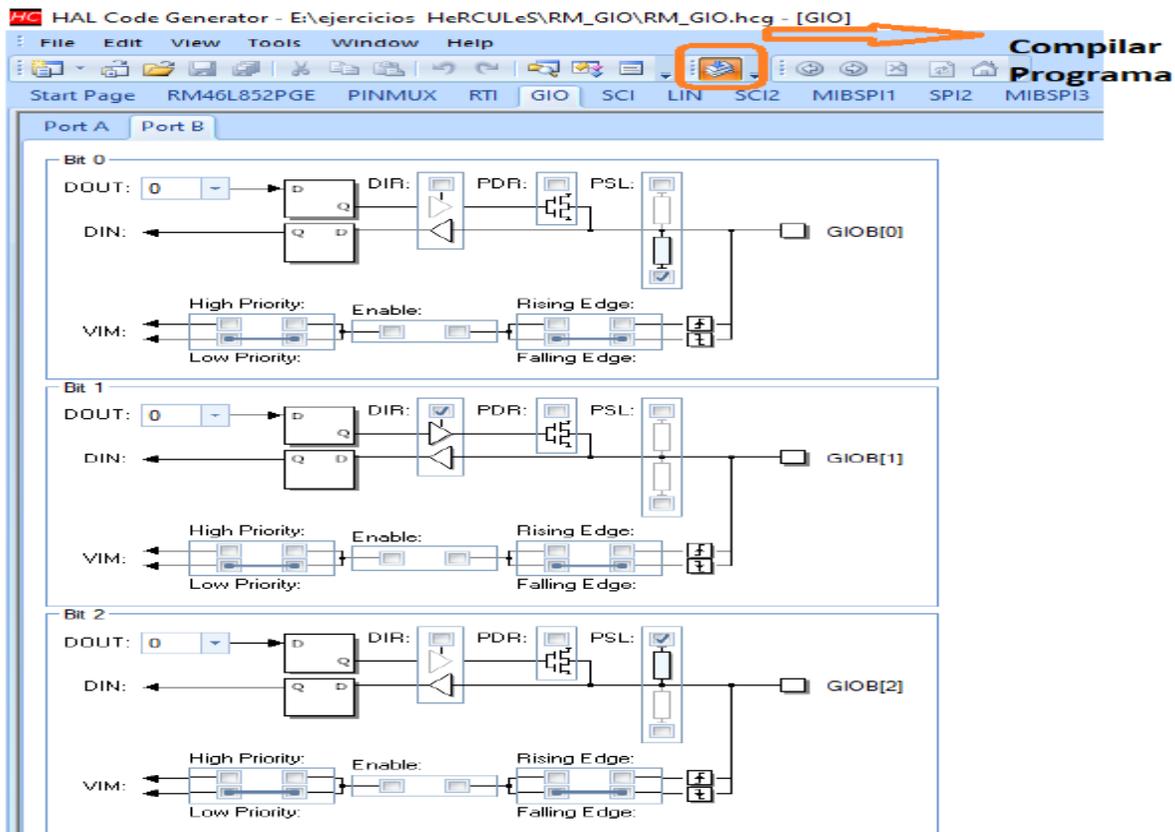
**Figura 1.5:** *Habilitar GIOB*



Fuente: Halcogen 2022

El GIO B se configura como una salida, y el GIOB 2 se configura como una entrada y luego se compila, y eso es todo para la configuración inicial para los periféricos del RM46L852

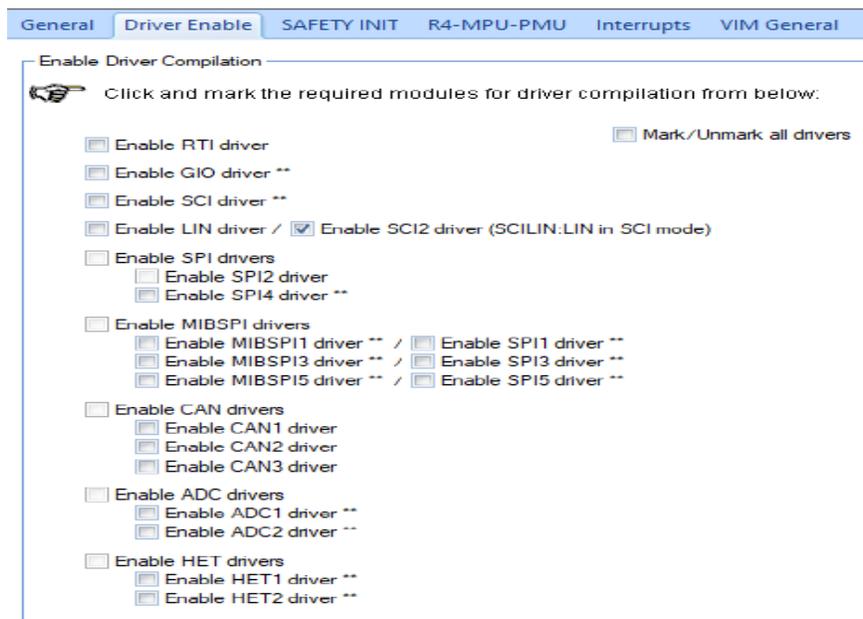
Figura 1.6: Configuración de Entrada y salida



Fuente: Halcogen 2022

Para el Segundo caso se habilita el módulo serial ya que este módulo es muy importante, ya que por este se enviarán los datos al microcontrolador ESP32.

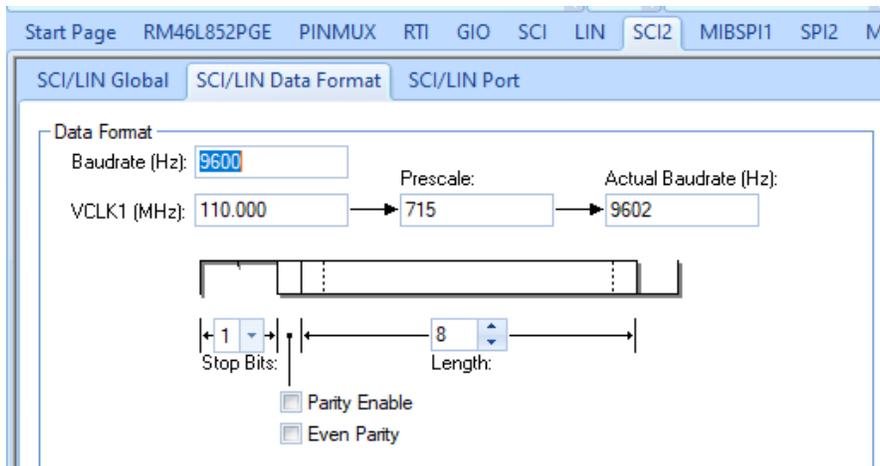
**Figura 1.7:** *Habilitar Modulo Serial*



Fuente: Halcogen 2022

La velocidad en baudios que es 9600 , 1 bit de paridad , 8 de longitud y la velocidad en Hz.

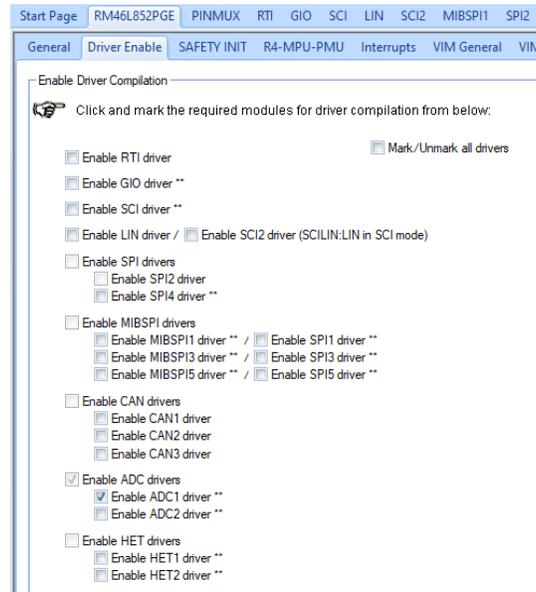
**Figura 1.8:** *Configuración del Módulo Serial*



Fuente: Halcogen 2022

Para el tercer caso se habilita el módulo ADC ya que por este módulo es por donde entrara la señal de voltaje y de corriente cuenta con una ventana de 0 a 3.3 Voltios y con una resolución de 10,12 bits.

**Figura 1.9:** *Habilitar ADC*



Fuente: Halcogen 2022

En eventos grupales se selecciona el grupo 1 para configurar que pin se usara, en FiFo Size el tamaño de datos, en este caso se selecciona el Pin 0 y Pin 7 como entradas ADC de acuerdo a lo que dice el manual, el muestreo de ambas entradas va a demorar 3.245455 uS.

**Figura 1.10:** Configurando Pines de entrada del ADC

Start Page RM46L852PGE PINMUX RTI GIO SCI LIN SCI2 MIBSPI1 SPI2 MIBSPI3

ADC1 General ADC1 Group Event ADC1 Group 1 ADC1 Group 2 ADC1 Memory ADC1 Port

ADC1 Group 1 Configuration

Fifo Size: 2

Data Resolution (Bit): 12\_BIT

Enable Channel Id in Conversion Results

Enable Continuous Conversion

ADC1 Group 1 Trigger

EVENT

Default Trigger

Alternate Trigger

Rising Edge

Falling Edge

SW Trigger

Hardware

Software

Trigger

ADC1 Group 1 Sampling

Start: tScan tExtended End:

Enable Sampling Capacitor Discharge Discharge Time: 0.00

Discharge Prescaler: 0 tDischarge (ns): 0.00

Cycle Time: 100.00

Sample Time: 300.00

Sample Prescaler: 1 tSample (ns): 300.00

tScanTotal (ns): 45.455

tExtended (ns): 300.00

tConversion (us): 1.300

tTotal (us): 3.245455

ADC1 Group 1 Channel Selection

Enable Pin 0  Enable Pin 1  Enable Pin 2  Enable Pin 3

Enable Pin 4  Enable Pin 5  Enable Pin 6  Enable Pin 7

Enable Pin 8  Enable Pin 9  Enable Pin 10  Enable Pin 11

Enable Pin 12  Enable Pin 13  Enable Pin 14  Enable Pin 15

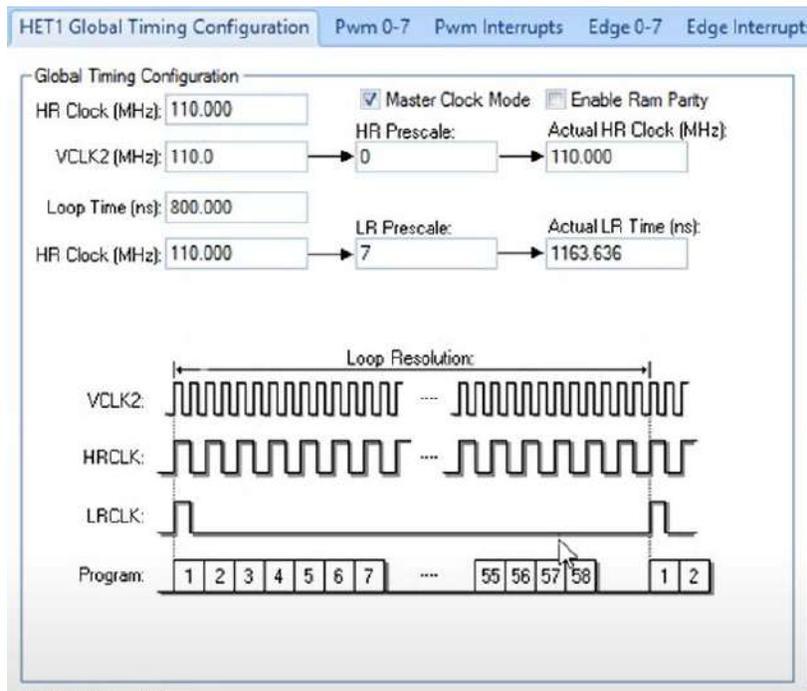
Enable Pin 16  Enable Pin 17  Enable Pin 18  Enable Pin 19

Enable Pin 20  Enable Pin 21  Enable Pin 22  Enable Pin 23

Fuente: Halcogen 2022

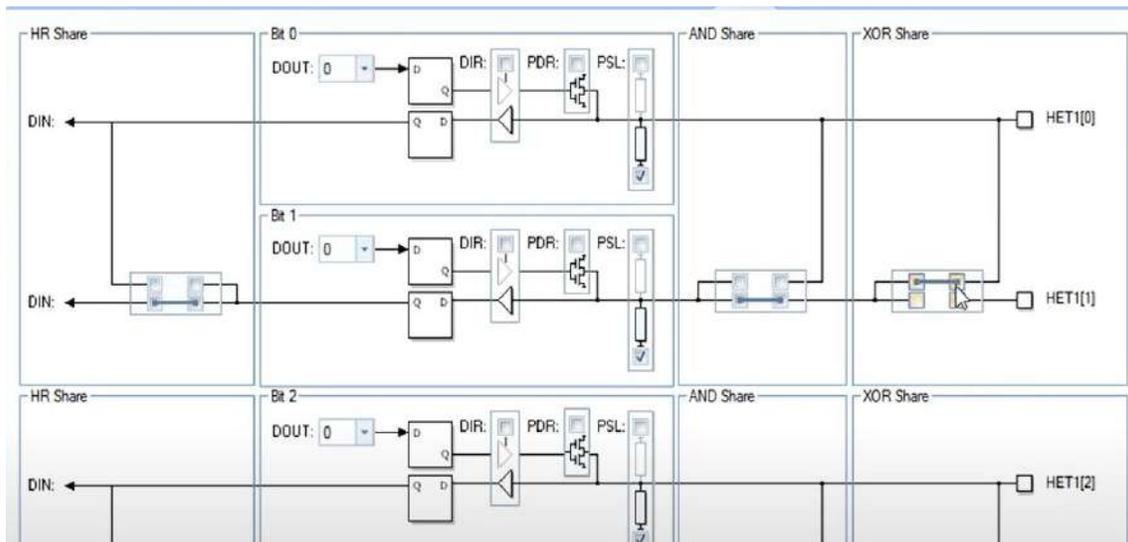
Para el cuarto caso se habilita el módulo NHET, por este módulo ingresará la señal de la frecuencia. Son módulos que a través de temporizadores internos puede realizar diferentes funciones, y al mismo tiempo puede ser usado como entrada o salidas digitales, hay un juego entre los pares pueden trabajar con compuertas lógicas AND y XOR, se tiene 31 pines HET que se pueden seleccionar como entrada o salida. En las siguientes imágenes se muestra el temporizador interno y las compuertas del módulo HET:

**Figura 1.11:** Temporizadores Internos



Fuente: Halcogen 2022

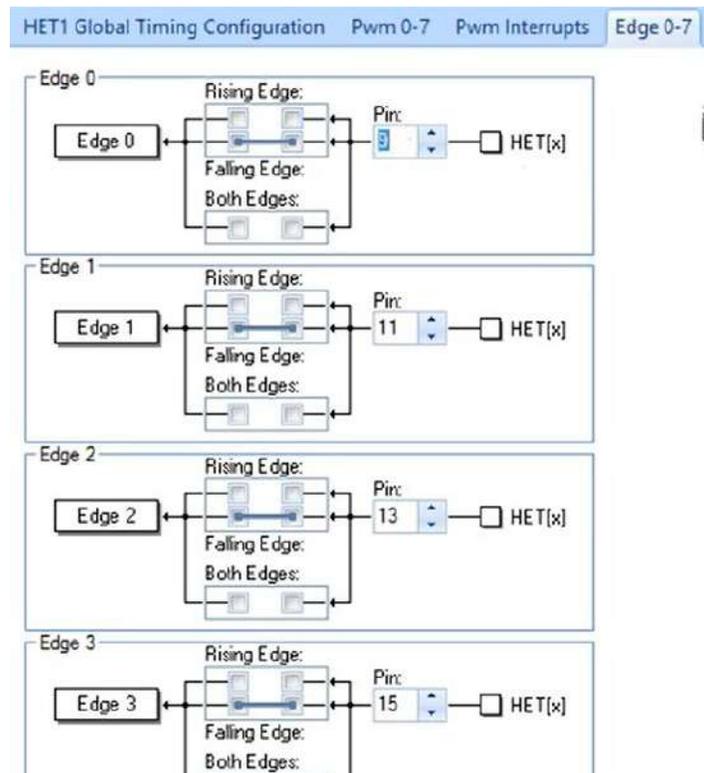
**Figura 1.12:** Compuertas lógicas AND y XOR del módulo HET



Fuente: Halcogen 2022

Para el sensor de Frecuencia se usaron flancos de subida en el módulo HET, en donde se puede elegir si se captura los blancos de subida o flancos de bajada.

**Figura 1.13:** Selección flancos de subida y flancos de bajada en modulo HET

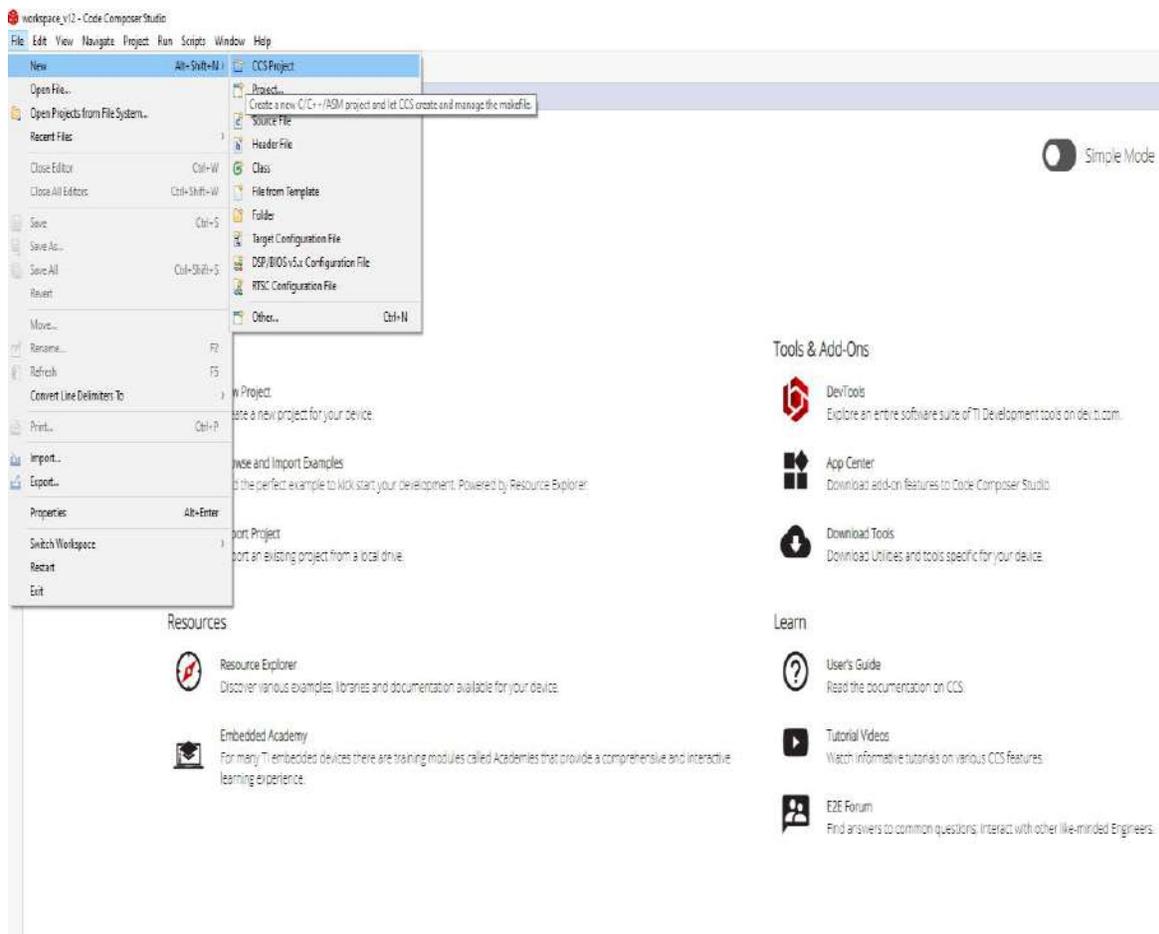


Fuente: Halcogen 2022

### *Software Code Composer Studio*

Interfaz principal al abrir el programa Code Composer es un software de Texas instruments y permite realizar la programación del microcontrolador Hércules. Para crear un proyecto nuevo se selecciona File, se selecciona New y Project, como se muestra en la figura:

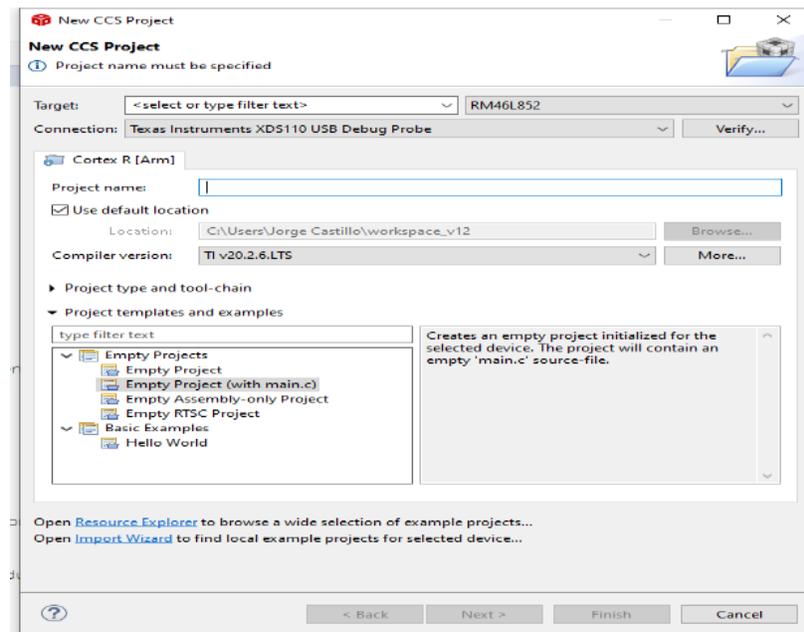
**Figura 1.14:** *Interfaz principal de Code Composer Studio*



Fuente: Code Composer Studio 2022

Se verifica la dirección donde se almacenará el programa, ya que tiene que estar en la misma ubicación donde se guardó el programa del halcogen, de la misma manera tiene que tener el mismo nombre de proyecto, y se selección el microcontrolador RM46L852, y el tipo de conexión es el Texas instruments XDS110 USB debug Probe

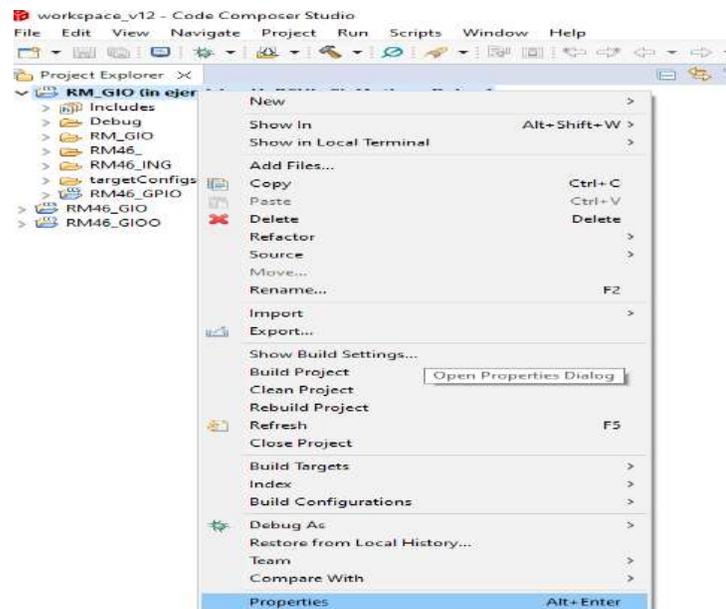
Figura 1.15: Creación de Proyecto



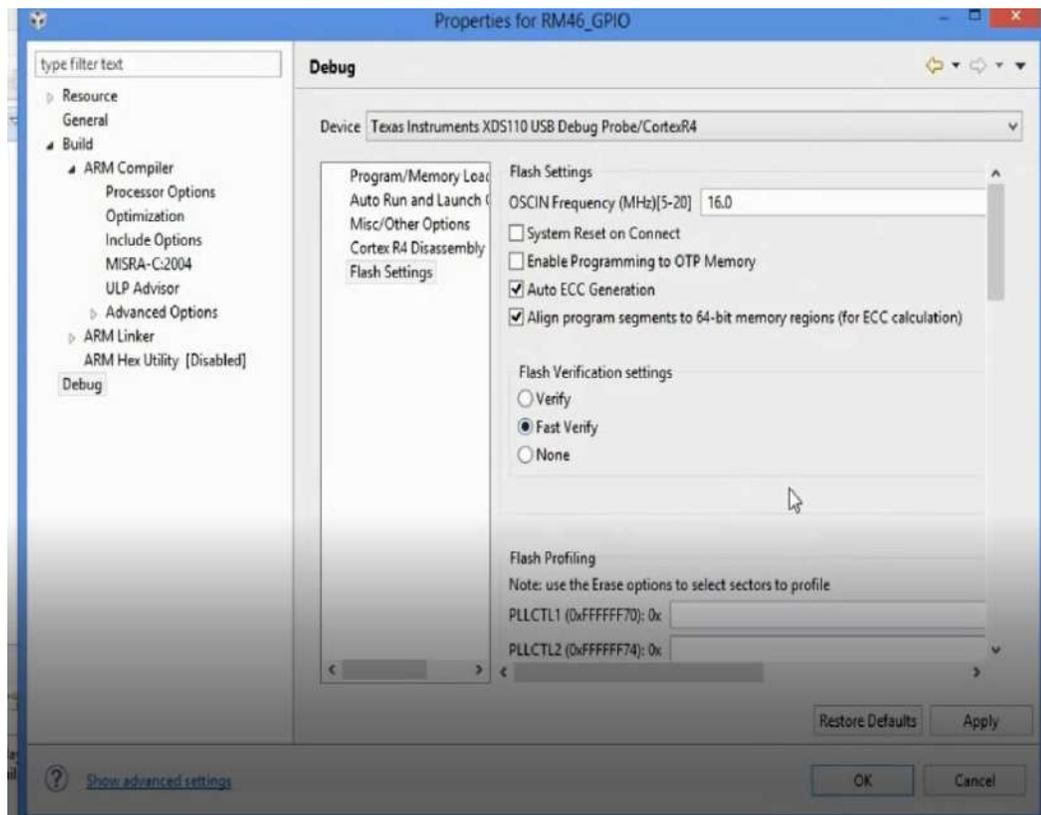
Fuente: Code composer Studio 2022

Y se crea el proyecto, en el nombre del proyecto se le da click derecho para incluir librerías y darle la opción de verificación rápida como se muestra en las siguientes figuras:

Figura 1.16: Propiedades del proyecto



Fuente: Code composer Studio 2022

**Figura 1.17:** Selección Verificación Rápida

Fuente: Code composer Studio 2022

**ANEXO C*****Código de Programación del ESP32***

```
#include <Arduino.h>

#include <WiFi.h>

#include <PubSubClient.h>

//*****

//**** MQTT CONFIG ****

//*****

const char *mqtt_server = "192.168.182.107"; //Servidor MQTT

const int mqtt_port = 1883;          // puerto de enlace para las comunicaciones

const char *mqtt_user = "admin"; // mqtt en rode red

const char *mqtt_pass = "admin";

const char *root_topic_subscribe = "EDM/MSG1";

const char *root_topic_publish = "EDM/MSG";

//*****

//**** WIFICONFIG ****

//*****

char ssid[] = "Jortesis"; // red de celular

// your network password

char password[] = "1234512345"; // clave de la red
```

```
#define ONBOARD_LED  2

#define UART_PIN     13

#define UART_PINTX   12

// variables will change:

int UartState = 0;    // variable for reading the pushbutton status

//*****

//**** GLOBALES ****

//*****

WiFiClient espClient;

PubSubClient client(espClient);

char msg[40];

long count = 0;

//*****

/** FUNCIONES **

//*****

void callback(char* topic, byte* payload, unsigned int length);

void reconnect();

void setup_wifi();

void TxDataWifiServer();

void setup() {
```

```
Serial.begin(115200);

Serial2.begin(115200);

Serial2.setTimeout(250); //Se agrego nueva linea de comando para el tiempo de
espera menor
```

```
pinMode(ONBOARD_LED, OUTPUT);

pinMode(UART_PINTX, OUTPUT);

pinMode(UART_PIN, INPUT);

setup_wifi();

client.setServer(mqtt_server, mqtt_port);

client.setCallback(callback);

TxDataWifiServer();

}

void loop() {
```

```
    UartState = digitalRead(UART_PIN);

    if (UartState == 1) {

        TxDataWifiServer();

    } else {

        if (!client.connected()) {

            reconnect();
```

```
    }

    if (client.connected()) {

        if (Serial2.available()) {

            String inString = Serial2.readString();

            inString.toCharArray(msg, 40);

            Serial.println(inString);

            client.publish(root_topic_publish, msg);

        }

    }

    client.loop();

}

}

/* USER CODE BEGIN (4) */

void TxDataWifiServer() {

    digitalWrite(ONBOARD_LED, HIGH);

    Serial2.print(WiFi.localIP());

    Serial2.print(',');

    Serial2.print(WiFi.RSSI());

    Serial2.print(',');

    Serial2.print(ssid);
```

```
Serial2.print(',');

Serial2.print(mqtt_server);

Serial2.print(',');

Serial2.print(mqtt_port);

Serial2.print(',');

Serial2.print(root_topic_publish);

Serial2.print(',');

Serial2.print(mqtt_user);

Serial2.print(',');

Serial2.println(mqtt_pass);

digitalWrite(ONBOARD_LED, LOW);

}

void setup_wifi() {

  delay(10);

  // se conecta a nuestra red Wifi

  Serial.println();

  Serial.print("Conectando a ssid: ");

  Serial.println(ssid);
```

```
WiFi.begin(ssid, password);

while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {

    delay(500);

    Serial.print(".");

}

Serial.println("");

Serial.println("Conectado a red WiFi!");

Serial.println("Dirección IP: ");

}

//*****

/*  CONEXION MQTT  */

//*****

void reconnect() {

    while (!client.connected()) {

        Serial.print("Intentando conexión Mqtt...");

        // se crea un cliente ID

        String clientId = "POWER_METER_RM46";

        clientId += String(random(0xffff), HEX);

        //se intenta conectar
```

```
if (client.connect(clientId.c_str(), mqtt_user, mqtt_pass)) {

    Serial.println("Conectado!");

    // se suscribe

    if (client.subscribe(root_topic_subscribe)) {

        Serial2.println("Suscripcion ok");

        Serial.println("Suscripcion ok");

    } else {

        Serial.println("fallo Suscripcion");

        Serial2.println("fallo Suscripcion");

    }

} else {

    Serial.print("falló :( con error -> ");

    Serial.print(client.state());

    Serial.println(" Intentamos de nuevo en 5 segundos");

    delay(5000);

}

}

}

//*****
```

```
/** CALLBACK *  
  
/*******  
  
void callback(char* topic, byte* payload, unsigned int length) {  
  
    String incoming = "";  
  
    Serial.print("Mensaje recibido desde -> ");  
  
    Serial.print(topic);  
  
    Serial.println("");  
  
    for (int i = 0; i < length; i++) {  
  
        incoming += (char)payload[i];  
  
    }  
  
    incoming.trim();  
  
    Serial.println("Mensaje -> " + incoming);  
  
    digitalWrite(UART_PINTX, HIGH);  
  
    Serial2.println(incoming);  
  
    digitalWrite(UART_PINTX, LOW);  
  
}
```

## Anexo D

### Instalación de software XAMPP

Paso 1: ir al link de descarga del XAMPP:

<https://www.apachefriends.org/es/download.html>

**Figura 1.18:** Descarga para XAMPP



Versión	Suma de comprobación	Tamaño
7.4.29 / PHP 7.4.29	¿Qué está incluido? md5 sha1	159 Mb
8.0.19 / PHP 8.0.19	¿Qué está incluido? md5 sha1	161 Mb
8.1.6 / PHP 8.1.6	¿Qué está incluido? md5 sha1	164 Mb

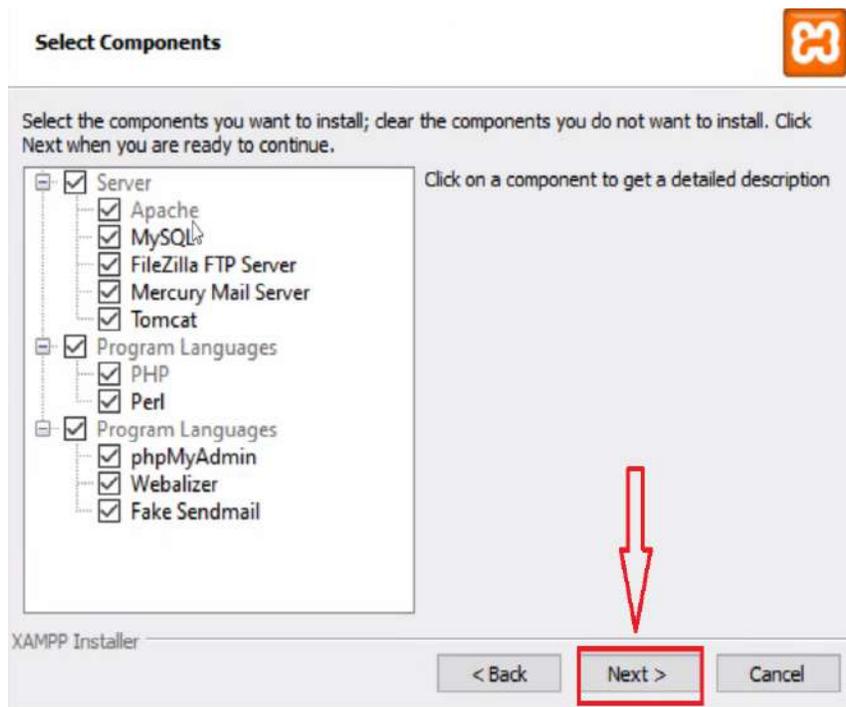
Fuente: <https://www.apachefriends.org/es/download.html>.

Paso 2: Mensaje de bienvenida del software XAMPP, se sigue los pasos de instalación como se muestran en las siguientes figuras:

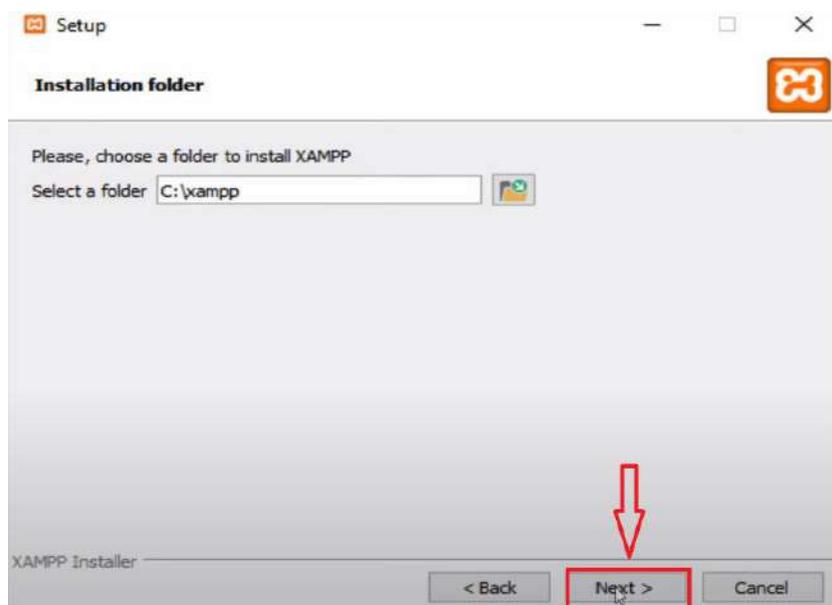
**Figura 1.19:** bienvenida XAMPP



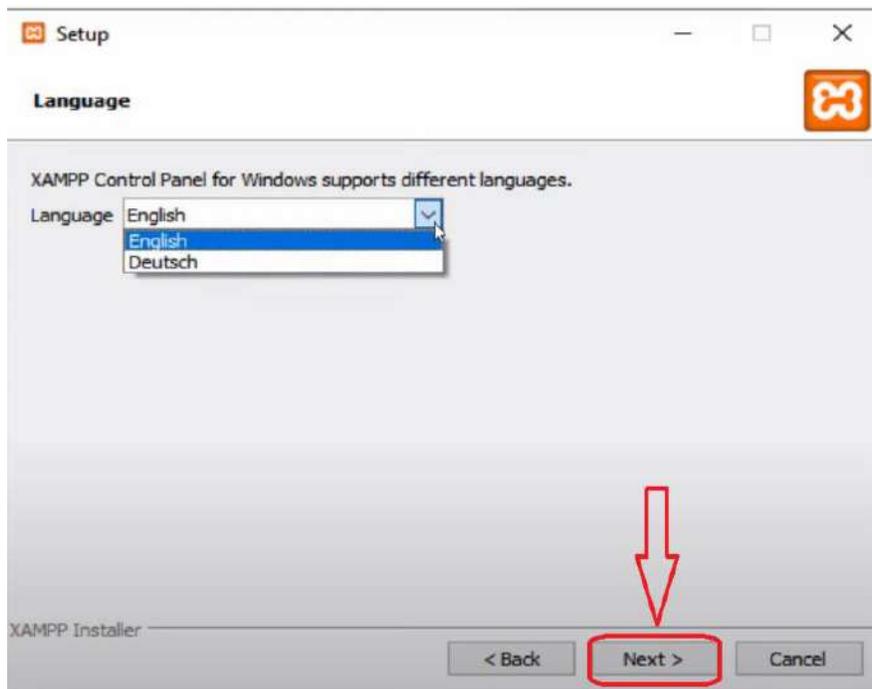
Fuente: XAMPP 2022.

**Figura 1.20:** *Seleccionar componentes de XAMPP*

Fuente: XAMPP 2022.

**Figura 1.21:** *Ubicación de almacenamiento de XAMPP*

Fuente: XAMPP 2022.

**Figura 1.22:** Selección de idioma

Fuente: XAMPP 2022.

**Figura 1.23:** Bitnami para XAMPP

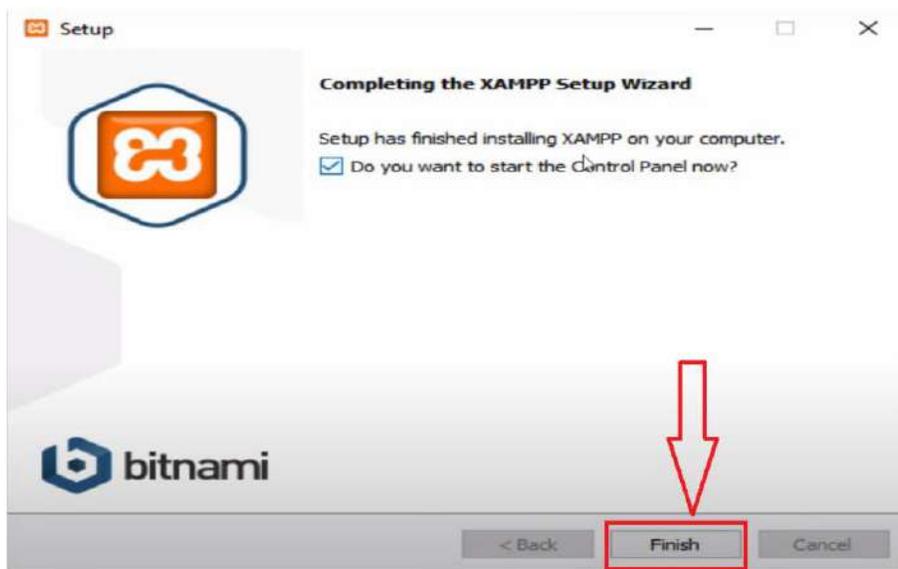
Fuente: XAMPP 2022.

**Figura 1.24:** *Instalación de XAMPP*



Fuente: XAMPP 2022.

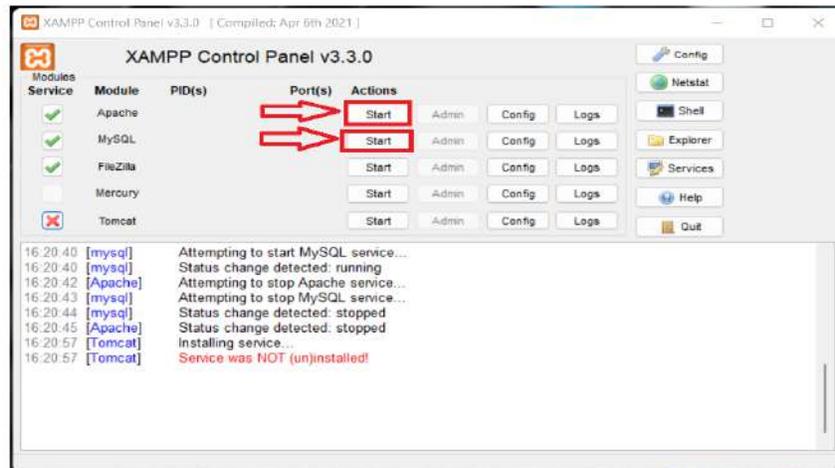
**Figura 1.25:** *Asistente de Configuración de XAMPP*



Fuente: XAMPP 2022.

Paso 3: Una vez instalado el software XAMPP, se apertura dicho programa y click en el módulo de Apache y MySQL, como se muestra en la figura:

**Figura 1.26:** bienvenida XAMPP



Fuente: Software XAMPP.

Paso 3.1 Ya accionado los módulos Apache y MySQL, click en admin en Apache:

**Figura 1.27:** Panel de Control de XAMPP



Fuente: Software XAMPP.

Paso 3.2: Una vez seleccionado admin en Apache, este redireccionara a la página web en el cual indica que se instaló correctamente XAMPP.

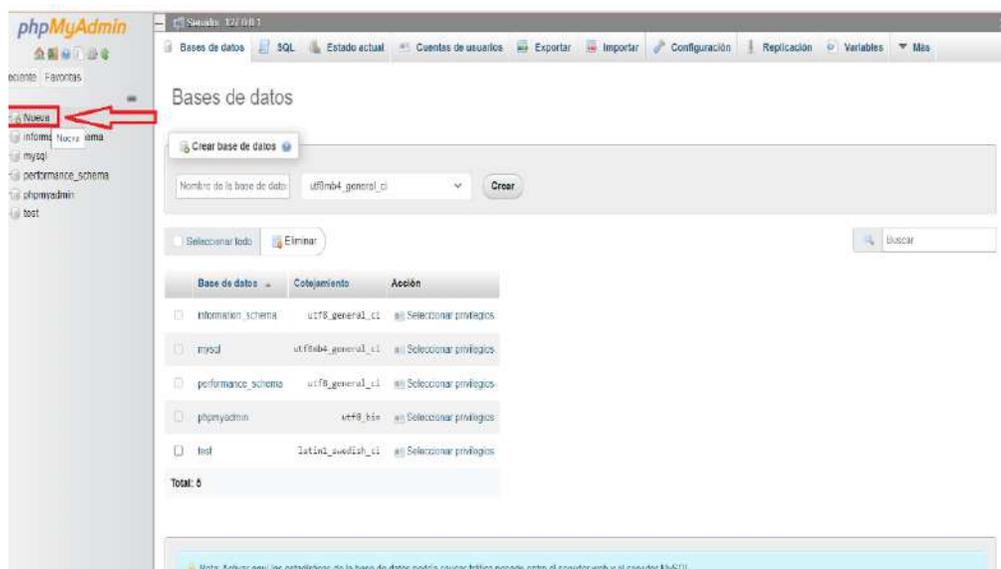
**Figura 1.28:** *Página Web de XAMPP*



Fuente: Software XAMPP, <http://localhost/phpmyadmin/index.php?route=/server/databases>.

Paso 3.3: El siguiente paso es crear una base de datos observada en la siguiente imagen:

**Figura 1.29:** *Página Web de XAMPP*



Fuente: Software XAMPP, <http://localhost/phpmyadmin/index.php?route=/server/databases>

## Instalación de software IDE Arduino

Paso 1: Se descarga el programa y se instala, en donde se selecciona una carpeta donde se guardará el programa.

Figura 1.30: Descarga Ide Arduino

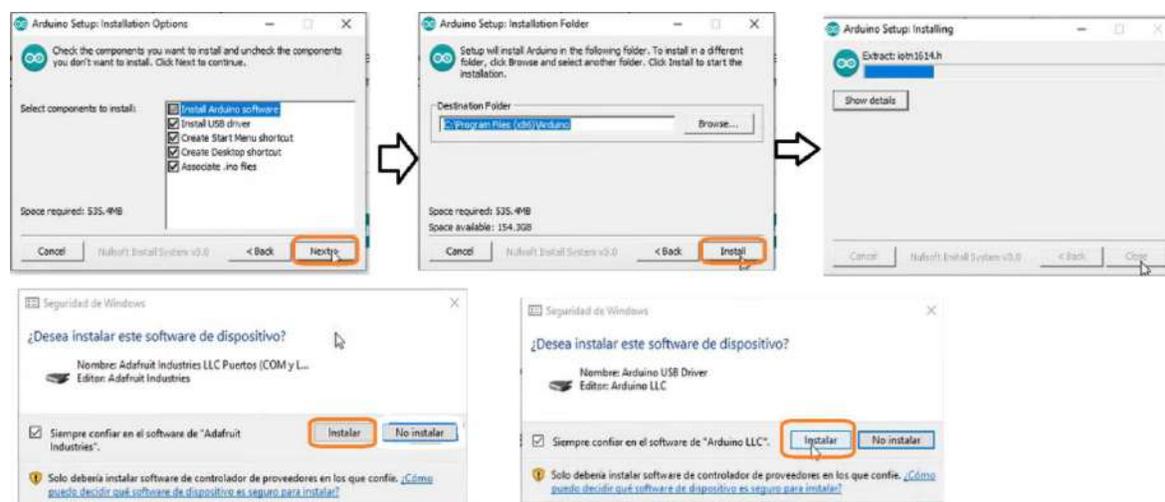


## Descargas



Fuente: <https://www.arduino.cc/en/software>.

Figura 1.31: Instalación de Ide Arduino

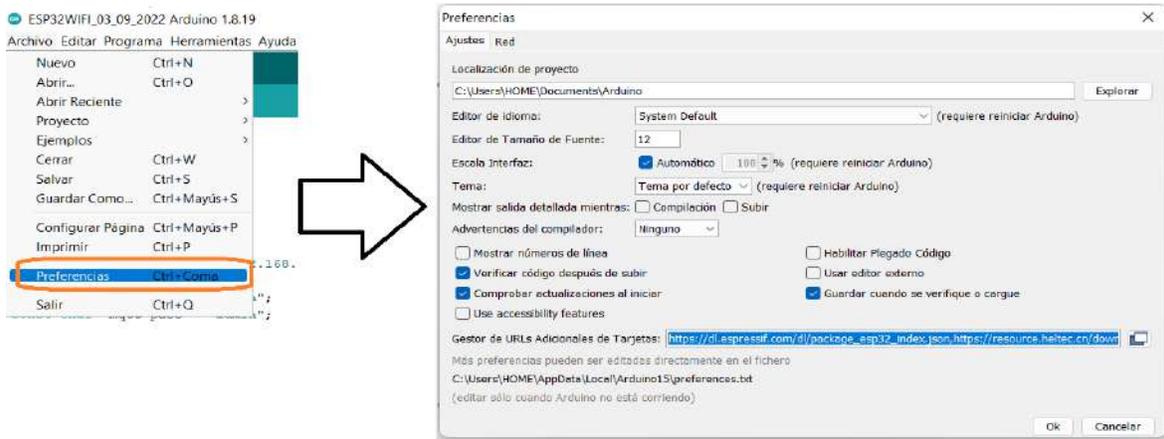


Fuente: Ide Arduino.

Paso 2: Agregar Librerías y URL para la placa ESP32:

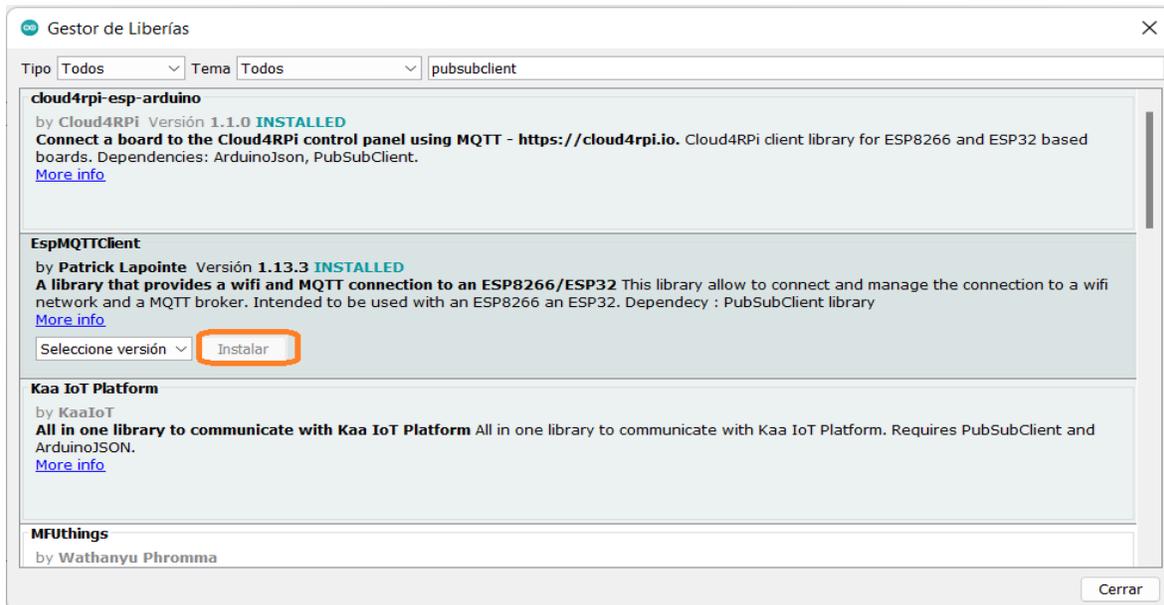
- [https://resource.heltec.cn/download/package\\_heltec\\_esp32\\_index.json](https://resource.heltec.cn/download/package_heltec_esp32_index.json):
- [https://dl.espressif.com/dl/package\\_esp32\\_index.json](https://dl.espressif.com/dl/package_esp32_index.json)

Figura 1.32: URL del ESP32



Fuente: Ide Arduino.

Figura 1.33: Agregar Librería PubSubClient.h



Fuente: Ide Arduino.

## Anexo E

### Conectar ESP32 con WIFI

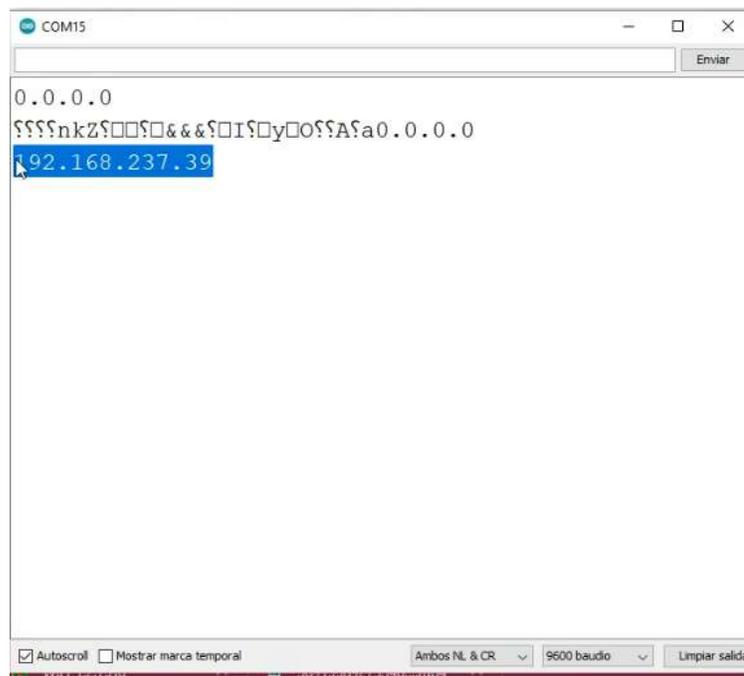
Se utiliza el comando `WiFi.begin(ssid, pass)`, y la librería `#Include<Wifi.h>`. El ssid es la red creada, en este caso dicha red wifi es “Jortesis”, mientras el pass es la clave que se asigna a la red wifi, en este caso es “1234512345”, una vez conectado a la red, accedemos al comando CDM para poder visualizar dicho IP asignado, con el comando “`IPCONFIG`” para poder validar que se está conectado a la red.

Para visualizar el IP mediante el software Arduino se inserta el siguiente comando:

“`Serial.println(Wifi.localIP())`”

Para poder visualizar por medio del serial Begin el IP designado a la esp32, se introduce el comando “`Serial.begin(9600)`”, y en la figura se puede observar el IP designado a la ESP32.

**Figura 1.34:** Designación de IP del ESP32

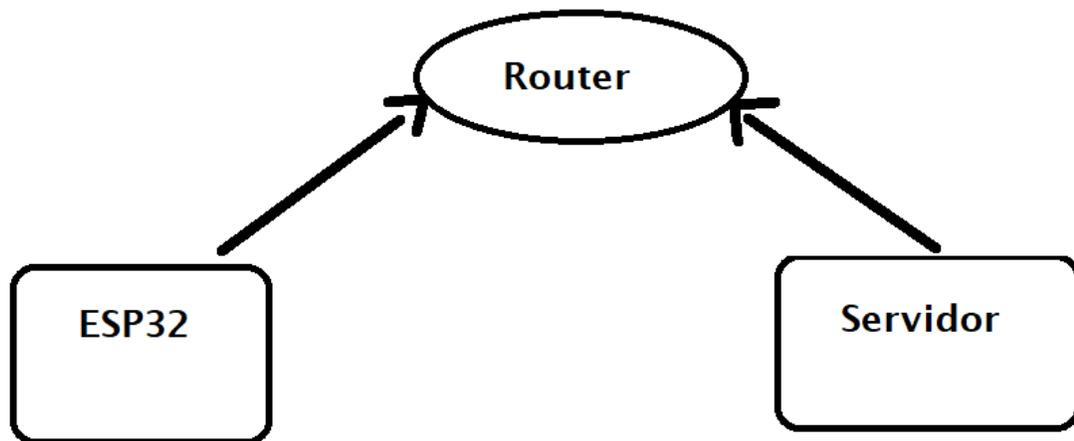


Fuente: Ide Arduino

### ***Conectar ESP 32 con servidor***

Ya conectado el ESP32 a la red wifi, de la misma manera el servidor se conecta a la misma red wifi (Jortesis), en la figura 1.35 se muestra que tanto el ESP32 como el servidor tienen que estar en la misma red (conexión al mismo router).

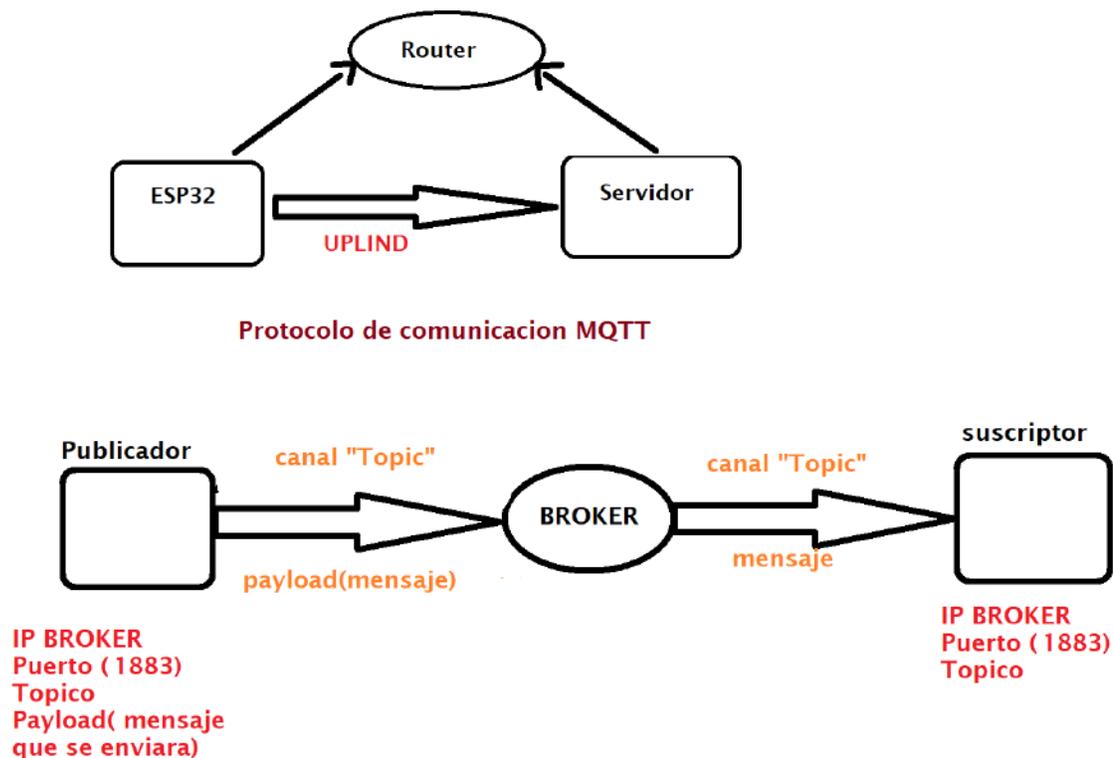
**Figura 1.35:** *Conexión de Router*



Fuente: Elaboración propia.

El paso siguiente es conectar el ESP32 con el servidor, en este caso nuestro servidor es la computadora. Al envío de datos del ESP32 al servidor se le llama UPLIND que para poder transmitir se necesita un protocolo, y dicho protocolo de comunicación es MQTT. que es un protocolo de mensajería para IoT, MQTT en su topología tiene un Bróker, en la siguiente figura 1.36 se muestra en la parte del publicador donde se necesita un IP bróker, el puerto (1883 es constante), tópico (porque canal se enviaran los datos), payload (el mensaje que será transmitido), de igual manera el suscriptor que necesita un IP bróker, puerto (1883 es contante) y el tópico. En el suscriptor ya no se necesita el payload porque del publicador se envía al suscriptor.

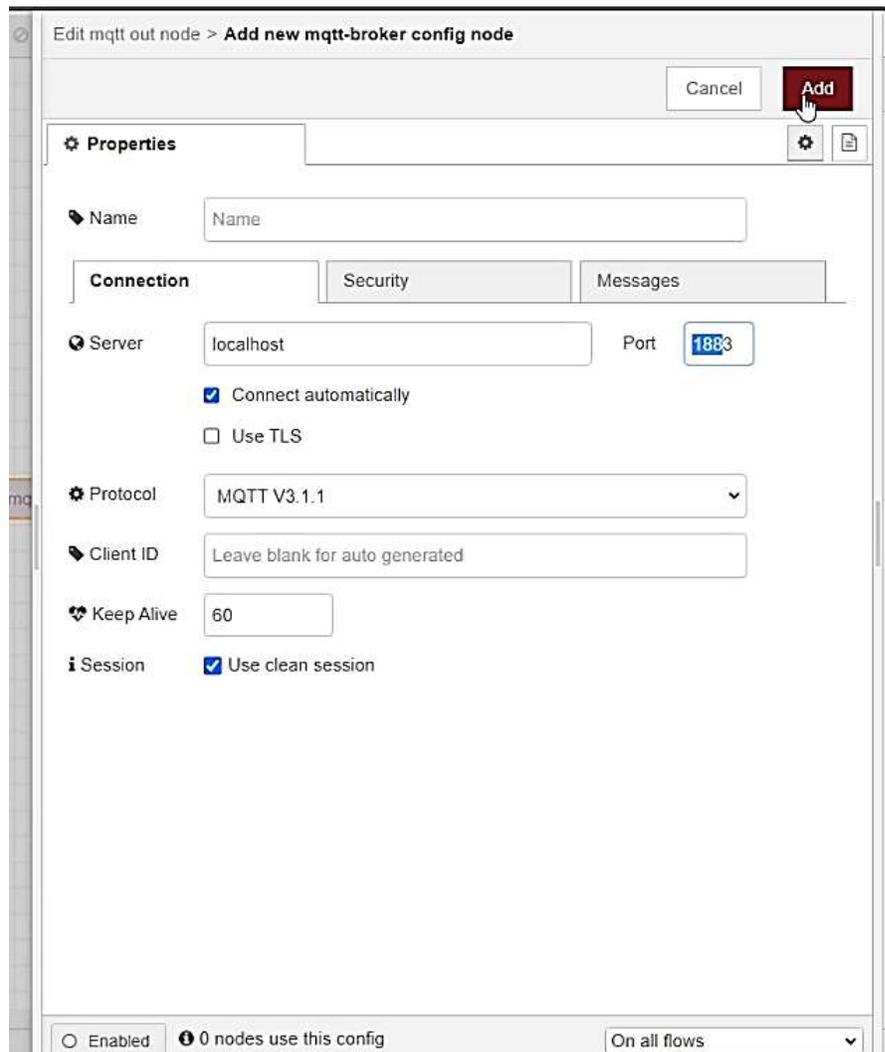
Figura 1.36: Comunicación MQTT



Fuente: Elaboración propia.

En el Node-red ya tiene un nodo llamado bróker, a diferencia de otros programas como Python que se deberá instalar dicho bróker, el bróker más conocido es “Mosquito”.

En la figura 1.37 se muestra el publicador, en donde se añade el IP del bróker, y el puerto (el puerto ya se mencionó que es constante “1883”).

**Figura 1.37:** Inserta IP y puerto en el MQTT

Edit mqtt out node > Add new mqtt-broker config node

Cancel Add

**Properties**

Name

**Connection** Security Messages

Server localhost Port 1883

Connect automatically

Use TLS

Protocol MQTT V3.1.1

Client ID Leave blank for auto generated

Keep Alive 60

Session  Use clean session

Enabled 0 nodes use this config On all flows

Fuente: Node-red 2022

Añadido el IP y puerto se procede a insertar el nombre del canal y el QoS.

El QoS o llamado calidad de servicio el cual se tiene 3 casos:

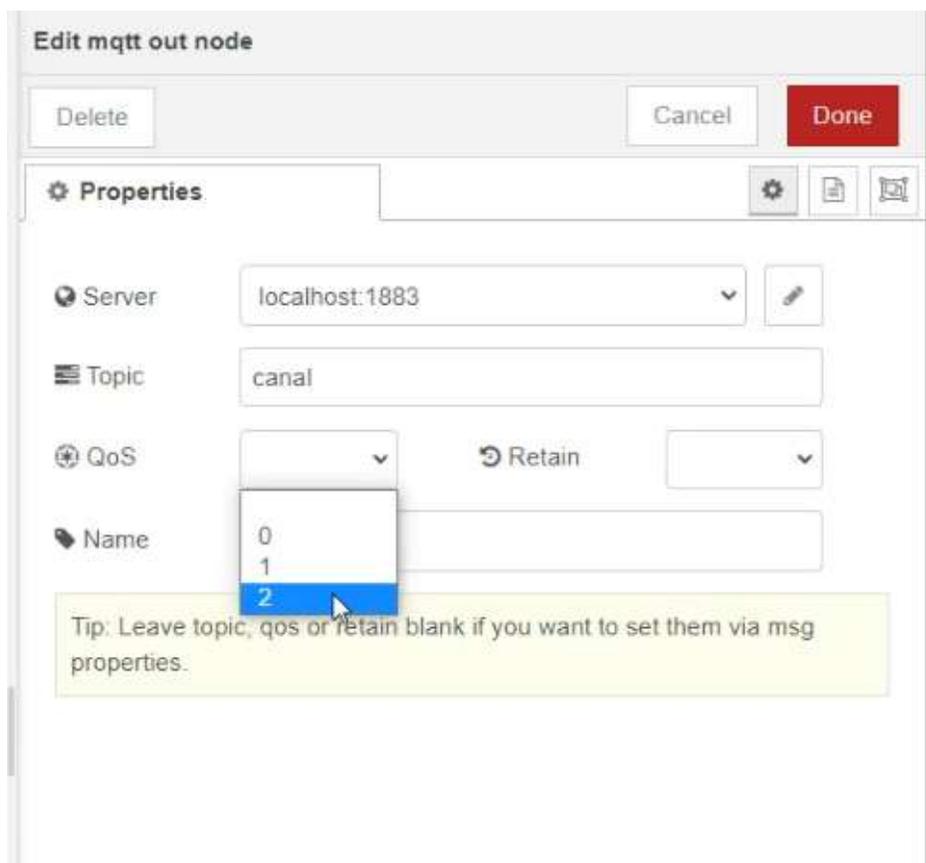
QoS 0: Por lo menos se va a enviar 1 mensaje

QoS 1: Por lo menos llega 1 o 2 mensajes

QoS 2: Llega 1 mensaje

En la figura 1.38 se puede observar el nodo del protocolo de comunicación MQTT el cual se configura el Topic, el QoS y el server.

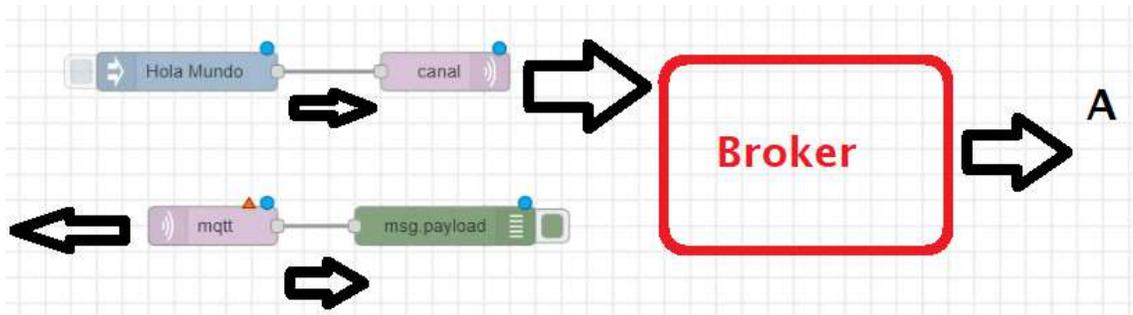
**Figura 1.38:** *Suscriptor*



Fuente: Node-red

Ya configurado el Suscriptor de la misma manera se configura el Publicador en el Node-red, en la figura 1.39 se puede observar el MQTT como suscriptor y Publicador, teniendo un nodo Inject el cual dará el mensaje (hola mundo) que está conectado al publicador. En la salida se tiene el suscriptor con un nodo debug para que se muestre en la pantalla el mensaje como se puede observar en la figura 1.40.

**Figura 1.39:** *Conexión de los nodos*



Fuente: Node-red

**Figura 1.40:** *Mensaje final*



Fuente: Node-red 2022