



Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Villa María
Departamento de Electrónica
Cátedra Trabajo Final de Grado

Medidor de consumo de agua y energía eléctrica IoT

Autor/es:

Dagatti, Diego Esteban

Fessia, Facundo

2020

Acreditación:

Fecha:

Comité Evaluador

Presidente: Msc. Ing. Pedro Danizio

1° Vocal: Esp. Ing. Héctor Ferrari

2° Vocal: Ing. José Luis Catalano



Dedicatorias

A mis padres, mis hermanos y esposa que con su apoyo me ayudaron a superar los desafíos académicos y de la vida – Diego Dagatti.

A toda mi familia, en especial a mis padres, a mi hermana y a mi sobrino, por el apoyo incondicional que me brindaron y por la confianza que depositaron en mi durante toda la carrera universitaria y a lo largo de mi vida.

A mis amigos y colegas, quienes son pilares fundamentales de mi desarrollo personal y profesional – Facundo Fessia.



Agradecimientos

Queremos agradecer a toda la comunidad de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María. Especialmente a los docentes y a todos los integrantes del Departamento de Ingeniería en Electrónica quienes han contribuido constantemente en nuestra formación.

También agradecemos a todas las personas que nos han apoyado directa o indirectamente y a aquellos que nos abrieron las puertas, compartieron sus conocimientos y nos brindaron su ayuda desinteresadamente para que este trabajo se realice con éxito.



Memoria Descriptiva

La idea que impulsó la realización de este proyecto surge de la necesidad de medir el consumo de los servicios básicos de una vivienda y presentar estos datos de una forma clara y sencilla. Esta información le brinda al usuario la posibilidad de llevar a cabo acciones con el objetivo de disminuir el consumo maximizando la eficiencia energética, ahorrar dinero y lo más importante, minimizar el impacto ambiental.

Para ello se diseñó un dispositivo que brinda, tanto al usuario doméstico como al usuario de edificios públicos y privados, la posibilidad de monitorear los consumos de energía eléctrica y de agua generados en un domicilio de aplicación.

A través de una solución IoT (Internet de las cosas), el dispositivo mide los consumos de agua y de energía eléctrica y envía los valores a través de internet a un servidor web, permitiéndole al usuario acceder a los datos desde cualquier ubicación y a través de cualquier dispositivo que disponga de una conexión a internet (PC, Smartphone, Tablet).

Se utilizaron sensores y transductores comercialmente disponibles y se trabajó sobre el sistema de adquisición de datos y comunicación wifi con dispositivos de la familia Microchip. Para la medición del caudal de agua se utilizó un caudalímetro por pulsos ubicado en la entrada de agua al edificio. Para la obtención de consumo eléctrico se miden las variables eléctricas de corriente y tensión para luego ser utilizadas en el cálculo de potencia consumida en tiempo real.

La conexión a internet del dispositivo de monitoreo se realiza a través de la red wifi, presente hoy en día, en la mayoría de domicilios evitando, de esta manera, que se generen gastos adicionales por la utilización del medidor.

A las funcionalidades antes mencionadas, se le sumó la posibilidad de brindar una protección por baja tensión.



INDICE

Dedicatorias.....	2
Agradecimientos.....	3
Memoria Descriptiva.....	4
Introducción.....	7
Análisis del problema	7
Análisis de sistemas existentes	7
Descripción de las actividades del proyecto	8
Objetivos	8
Objetivos generales.....	8
Objetivos particulares	8
Diseño del Proyecto.....	10
Revisión de requerimientos y parámetros de operación.....	10
Selección de componentes y Dispositivos.....	11
Componentes Activos.....	11
Circuitos Integrados.....	12
Amplificadores operacionales	19
Componentes Pasivos.....	21
Semiconductores.....	21
Diodos Rectificadores	21
Diodos Zener	22
No semiconductores.....	22
Caudalímetro.....	21
Sensor de Tensión ZPMT101B	24
Resistencias.....	26
Resistencias Variables	26
Capacitores	28
Conectores	29
Bloques de terminales	30
Conector Estéreo Hembra SJ1-3524N.....	31
Diagrama en Bloques del sistema	32
Diagrama en Bloques del Dispositivo de Medición.....	33



Integración con la API REST de Ubidots.....	35
Creación de variables y desarrollo del entorno gráfico.....	37
Diagrama de Flujo	39
Módulo de protección por Baja Tensión.....	44
Medición y calibración de los bloques de medición.....	45
Medición de consumo de agua	45
Medición del valor eficaz de Tensión	47
Medición del valor eficaz de Corriente.....	50
Medición de Factor de potencia.....	54
Medición de potencia.....	56
Medición de energía.....	59
Evaluación final del sistema.....	60
Fabricación del prototipo.....	60
Montaje del prototipo	62
Primera conexión al dispositivo	63
Conclusión.....	66
Bibliografía	67
Anexos.....	68
ANEXO A: Diagrama esquemático.....	68
ANEXO B: Archivos gerber para fabricación de PCB	72
ANEXO C: Circuito y programa utilizado para la calibración del caudalímetro	75



Introducción

Análisis del problema

En la actualidad, tanto la energía eléctrica como el agua son servicios costosos y que representan una parte importante de los gastos generados en cualquier edificio público, privado, vivienda, etc. Por otra parte, el uso desmedido de estos servicios genera un impacto ambiental negativo, por lo que, es una obligación hacer un uso responsable de ellos.

Por lo tanto, es muy importante y útil contar con una herramienta que nos permita conocer los consumos de energía eléctrica y de agua instantáneos e históricos para poder llevar un control de los mismos y tomar acciones con el objetivo de minimizar el impacto ambiental.

Este proyecto aplica las características generales del denominado “Internet de las cosas” (Internet of Things, que abreviaremos como IoT de aquí en adelante) a la medición de variables de consumo eléctrico y de agua.

En los últimos años IoT se ha convertido en una de las tecnologías más importantes y que más avance ha experimentado. Al hablar de IoT nos referimos a millones de dispositivos conectados que recolectan y comparten datos a través de internet. Con ayuda de la electrónica y de la informática, los objetos físicos pueden comunicarse entre sí con una intervención humana mínima y además comunicarse con los usuarios.

Este concepto brinda una infinidad de posibilidades de interacción poniendo a disponibilidad de los usuarios información del entorno y la posibilidad de tomar determinadas decisiones o acciones de acuerdo al estado de variables o datos.

Con la aplicación de IoT, se puede lograr que cualquier dispositivo esté conectado a internet y comunicándose con otros o con un servidor, enviando y recibiendo datos constantemente. Los usuarios tienen la posibilidad de visualizar datos y además realizar acciones que impacten inmediatamente en los artefactos. De esta forma y haciendo uso de tecnologías accesibles, se logra que la comunicación de cualquier persona con los dispositivos, sin importar desde qué lugar se esté operando, sea posible.

Esta tecnología abre un abanico completo de posibilidades de mejora, permitiendo hacer las cosas de una forma más eficiente, ahorrando tiempo, dinero y recursos.

Análisis de sistemas existentes

Actualmente, en el mercado, se pueden encontrar dispositivos de medición de consumo eléctrico y de consumo de agua, pero en unidades separadas, ninguno en una unidad integrada como el que se persigue en este proyecto.

Hay disponibles medidores de consumo eléctrico de diferentes tipos. Los hay con acceso remoto (por WiFi, bluetooth, GPRS) o para uso local exclusivamente. Algunos implican el pago de un servicio mensual o anual de mantenimiento de un servidor o una aplicación para poder acceder



a los datos. El rango de precios es variado y a mayor valor, mayores son las prestaciones que ofrecen.

En cuanto a la medición de consumo de agua, los dispositivos con acceso remoto suelen ser muy costosos y en bajos costos el mercado se limita sólo a la disponibilidad de caudalímetros digitales.

Descripción de las actividades del proyecto

- Diseño general del sistema
- Elección de materiales
- Diseño de circuito de sensado de tensión
- Diseño de circuito de sensado de corriente
- Diseño de circuito de sensado de consumo de agua
- Diseño de fuente de alimentación
- Realización de un programa de microcontrolador que se encargue de procesar los datos obtenidos por los sensores y enviarlos a un servidor web
- Diseño de una placa que incluya todos los componentes del sistema
- Elección y personalización de servidor web
- Desarrollo de página web embebida que permita la configuración inicial del dispositivo
- Fabricación y armado del dispositivo
- Simulaciones para testear su funcionamiento
- Prueba del dispositivo en condiciones normales de funcionamiento

Objetivos

Objetivos generales

Al inicio de este proyecto nos planteamos el objetivo de proveer al usuario una herramienta de control de consumos:

- De fácil instalación
- De bajo costo de adquisición
- Libre de mantenimiento
- De bajo costo operativo
- Con una interfaz intuitiva
- Robusta
- Aplicable a distintos ámbitos, ya sea en hogares, en locales comerciales, en oficinas, etc.
- Que permita acceder de forma remota a los datos obtenidos
- Que brinde la información necesaria para poder permitir hacer un uso responsable de la energía y reducir el consumo

Objetivos particulares

- Debe permitir la visualización de valores instantáneos e históricos de tensión, corriente, energía y consumo de agua.
- Debe proveer protección por baja tensión a la instalación eléctrica.
- El valor de protección debe ser programable por el usuario.
- Permitir la conexión o desconexión del suministro eléctrico a distancia
- Debe utilizar la red WiFi existente.





Diseño del Proyecto

Revisión de requerimientos y parámetros de operación

Como primer paso en la realización de este proyecto se plantean los requerimientos mínimos que debe cumplir el dispositivo final.

Como primera medida se plantea que la tensión de alimentación será de 220VAC, es decir que se realizará el diseño de la fuente de alimentación que se encargue de alimentar a todo el circuito de acuerdo a las especificaciones eléctricas de los componentes seleccionados.

Deberá ser aplicable a redes monofásicas de 220V. Con esto como punto de partida, podemos fijar los requerimientos del módulo de medición de consumo eléctrico.

Deberá ser capaz de medir tensiones de entre 150V y 240V, un rango lo suficientemente amplio, teniendo en cuenta que la tensión de línea en el peor de los casos no debería ser menor a 150 ni mayor a 240 Volts. Los valores de tensiones fuera de ese rango no son de mucha importancia en esta aplicación.

En cuanto al parámetro de corriente, deberá poder medir valores acordes a los consumos de un hogar, o una oficina. Por esto, se fijó como requisito que fuera capaz de sensar en el rango de valores de 0 a 30 Amperes, con la posibilidad de ampliar el rango con mínimas adaptaciones de acuerdo a su aplicación.

El consumo de agua será obtenido mediante un caudalímetro. Se buscará realizar un diseño de circuito que posibilite la utilización de caudalímetros de diferentes caudales máximos, obteniendo así una cierta flexibilidad que permita elegirlo de acuerdo a los requerimientos de cada aplicación en particular.

Para la conexión a internet, se planteó la utilización de tecnología WiFi (IEEE802.11) y se deberá poder utilizar cualquier dispositivo con un navegador web para poder interactuar con el dispositivo. Para mejorar la experiencia de uso en dispositivos móviles surge la necesidad de disponer de una aplicación exclusiva, destinada a poder realizar las mismas operaciones que se pueden hacer desde un navegador web, pero con una mayor facilidad de acceso y de operación.

Selección de componentes y Dispositivos

En esta sección se detallan los componentes utilizados en el desarrollo. Se clasificaron según su tipo. En componentes Activos o Pasivos y Semiconductores o No semiconductores. Además, se detalla la designación en esquemático, la función que cumple, los requisitos que se tuvieron en cuenta para su selección, las características principales según la clase de componente que se trate, el diagrama de conexiones y una visualización real del componente.

Componentes Activos

HLK-PM01

Designación en esquemático: SRC1

Función: Fuente de tensión principal AC/DC.

Requisitos:

- Tamaño Reducido.
- Baja potencia, menor a 3W.
- Tensión de salida 5-12VDC.

Descripción: Es un módulo de alimentación de Corriente Alterna a Corriente Continua de 5V, es ultra compacto. Es de bajo costo y pequeño tamaño. Puede alimentarse con 110/220VCA a 50/60 Hz y proporcionar una salida de 5 V a 3 W.

Características:

- Fabricante: Hi-Link.
- Rango de Voltaje de entrada: 100-240 VCA
- Rango de Frecuencia de entrada: 50-60Hz
- Voltaje de salida: 5V
- Corriente de salida: 600 mA
- Potencia: 3 W
- Corriente máxima de salida: 1000 mA
- Corriente máxima de entrada: 0.2A
- Eficiencia: 70%
- Protección contra sobrecorriente

Imagen Real:



Fig. 1 HLK-PM01



Circuitos Integrados

PIC32MX360F512L

Designación en esquemático: IC5

Función: Ejecuta las tareas de procesamiento de datos y administración de periféricos.

Requisitos:

- Disponibilidad de entradas analógicas, entradas y salidas digitales, múltiples vectores de interrupción con prioridad programable.
- Módulo SPI (*Serial Peripheral Interface*).
- Escalabilidad.
- Integración con librerías del stack TCP/IP microchip.

Descripción: El PIC32MX360F512L de Microchip es un circuito integrado programable de arquitectura fija, capaz de ejecutar órdenes grabadas en su memoria interna. Algunas características para destacar son su robustez, su bajo costo, su potencia, su consumo optimizado de energía, sus diferentes interfaces de comunicación que emplean distintos protocolos, su gran tamaño de memoria de datos y de programa, entre otras. Como características principales el procesador que lo compone es un M4K® con núcleo de 32 bits. Trabaja a una frecuencia máxima de 80 MHz y posee caché de prelectura.

Características:

- Rango de voltaje operativo de 2.3V a 3.6V.
- Memoria flash de 32K a 512K (más un adicional 12 KB de arranque de Flash).
- Memoria SRAM de 8K a 32K.
- Compatible con sockets de la mayoría de los PIC24 / dsPIC® DSC dispositivos
- Múltiples modos de administración de energía.
- Múltiples vectores de interrupción con prioridad programable.
- Temporizador Watchdog configurable con chip Oscilador RC de baja potencia para un funcionamiento confiable.

Detalle de pines:

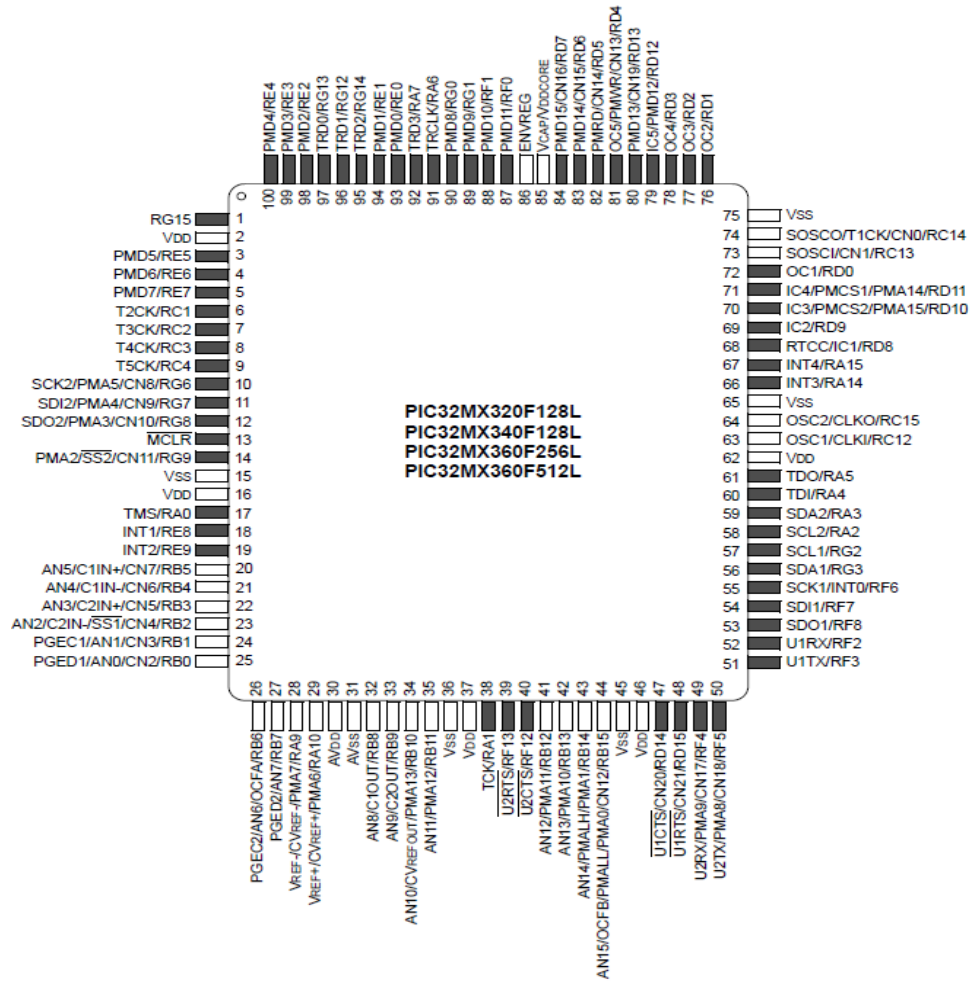


Fig. 2 PIC23MX360F512L – Esquema de pines

Imagen Real:



Fig. 3 PIC32MX360F512L

MRF24WB0MA

Designación en esquemático: IC7

Función: Modulo de comunicación Wifi IEEE802.11

Requisitos:

- Tamaño Reducido, sin antena externa.
- Compatibilidad con el microcontrolador seleccionado.
- Buena relación costo/disponibilidad.
- Disponibilidad de protocolos de seguridad.
- Disponibilidad de actualizaciones de firmware

Descripción: El MRF24WB0MA es un módulo de baja potencia, que trabaja a una frecuencia de 2.4 GHz, compatible con IEEE 802.11 y posee encapsulado de montaje superficial. Contiene integrado un oscilador de cristal, bypass y polarización pasiva con MAC integrado, banda base, RF y amplificador de potencia, soporte de hardware incorporado para AES y TKIP (WEP, WPA, Seguridad WPA2). El diseño del módulo integrado libera al diseñador de tareas de diseño de RF y antena, pruebas de cumplimiento normativo, que finalmente proporcionan un tiempo de desarrollo más rápido.

Características Principales:

- Fabricante: Microchip
- Transceptor RF compatible con IEEE 802.11
- Dirección MAC única serializada
- Velocidad de datos: 1 y 2 Mbps
- Compatible con redes IEEE 802.11b/g/n
- Tamaño: 21 mm x 31 mm 36-pines
- Tipo de encapsulado: Montaje Superficial (SMD)
- Antena integrada en PCB.
- Rango: por encima de 400 m.
- Certificaciones: (FCC), Canadá (IC), Europa (ETSI) y Japón (ARIB). Wi-Fi® (WFA ID: WFA7150)

Detalle de pines:

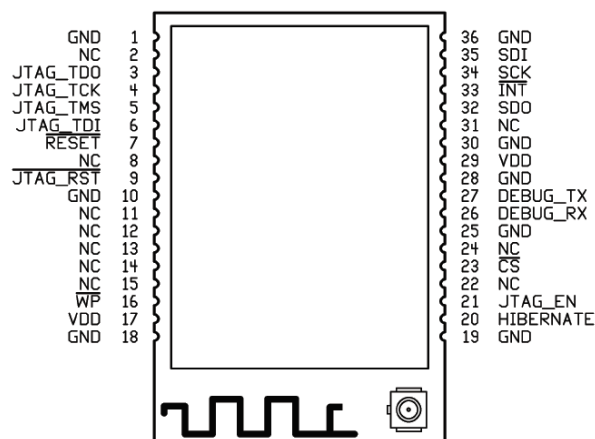


Fig. 4 MRF24WB0MA - Esquema de pines

Imagen Real



Fig. 5 MRF24WB0MA

MCP2200

Designación en esquemático: IC6

Función: Conversor USB 2.0 a protocolo UART con GPIO utilizado para depuración de software.

Descripción: El MCP2200 es un conversor serial USB 2.0 a UART que permite que las aplicaciones con MCU's que dispongan de interfaces UART (Puerto Serial Asíncrono) accedan a la conectividad USB. El MCP2200 posee una interface USB 2.0 *Full Speed* (hasta 12 Mbit/s) que integra en el mismo chip los resistores de terminación (típicos de un puerto USB), una memoria EEPROM de 256 Bytes y 8 puertos I/O de propósitos generales, de los cuales 4 de ellos integran funciones de indicaciones de estado durante una comunicación USB. El chip conversor soporta aplicaciones USB del tipo *CDC Device* (Dispositivos de Comunicación y Control) Clase 02h para comunicaciones USB – UART y control de puertos I/O, y aplicaciones Clase 03h del tipo *HID* de control I/O, acceso a la EEPROM y al buffer de configuración inicial de 128 Bytes. Microchip provee los drivers necesarios para utilizar el MCP2200 dentro de entornos Windows (XP, Vista, W7) configurándolo como un "Puerto Virtual Com" (VCP) que permite implementar aplicaciones en PC para todos los lenguajes de programación conocidos (Visual Basic, Borland, C++, Delphi, etc.). Además, provee herramientas para la configuración inicial del chip, que permiten configurar el VID (*Vendor Identification Device*), el PID (*Product Identification Device*) y la Descripción de Trama (String Description), típicos de una aplicación USB.

Características:

- Fabricante: Microchip.
- Soporta USB 2.0 Full Speed a 12 Mbits/s.
- Maneja protocolos CDC y HID para comunicación y control de I/Os.
- Buffer de 128 Bytes para manejar la salida de datos a cualquier tasa de transmisión.
- Asignación de VID, PID y SD totalmente configurable.
- Auto alimentado (*Self-Powered*) o Alimentado por el Bus (*Bus Powered*).
- Cumple con USB 2.0 (Certificado TBD). Drivers USB y software de soporte.
- Utiliza drivers estándar de Microsoft Windows para los Puertos Virtuales COM (VCP).
- Compatible con Windows XP (SP2 y posteriores), Vista y W7.
- Responde a comandos del tipo "SET LINE CODING" para cambiar en forma dinámica la tasa de transmisión (*Baud Rate*).
- Soporta tasas de transmisión desde 300 bps a 1Mbps.

- Control de Flujo por hardware.
- Opción de selección de polaridad de la señal en la UART.
- Entradas/salidas de propósito general (GPIO): 8 líneas I/O de propósitos generales controlables vía USB.
- EEPROM: 256 Bytes de EEPROM para el usuario.

Diagrama de pines:

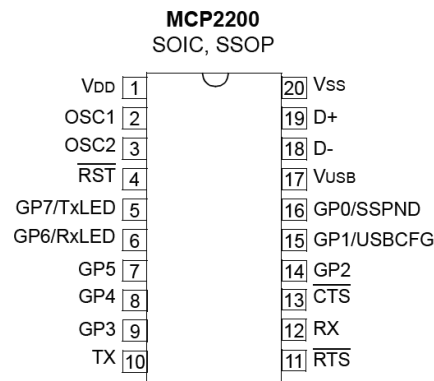


Fig. 6 MCP2200 - Esquema de pines

Imagen Real:



Fig. 7 MCP2200

25LC1024

Designación en esquemático: IC2

Función: Almacenamiento de los datos del web server embebido para la configuración de la conexión de red del dispositivo a la red wi-fi local. También almacenará la dirección IP otorgada por el servidor DHCP del dispositivo enrutador local para una reconexión rápida y automática ante un apagado o desconexión del enrutador de la red de infraestructura.

Requisitos:

- Memoria no volátil.
- Tamaño de datos mayor a 512KB.
- Tensión de alimentación: 3.3V.

Descripción: El 25LC1024 es una EEPROM de 1 Mb que utiliza el bus serie compatible con la interfaz serie periférica (SPI) estándar de la industria. El dispositivo está organizado como un bloque de 128K x 8 bits y está optimizado para un almacenamiento confiable de memoria no volátil. La protección contra escritura del software permite al usuario proteger ¼, ½ o toda la

matriz de memoria. También se proporciona un pin de protección contra escritura de hardware, que además protege contra escrituras involuntarias en el registro de estado. La EEPROM está disponible en una variedad de opciones de embalaje que ahorran espacio.

Características:

- Fabricante: Microchip.
- 128K x 8 bits (1 Mbit).
- Compatible con la interfaz periférica en serie (SPI).
- Admite modos SPI 0 y 3.
- Frecuencia de reloj de hasta 20 MHz.
- Ciclos de escritura y borrado temporizados (6 ms máx.).
- Bajo consumo de energía.
- Lectura de corriente: 10 mA (máx.) a 20 MHz.
- Escribir corriente: 7mA (Máx.) A 5.5V.
- Corriente de apagado profunda: 1 μ A (máx.) a 2.5 V.
- Protección contra escritura de bloque: Proteja 1/4, 1/2 o toda la matriz.
Más de 1 millón de ciclos de borrado / escritura.
- Retención de datos > 200 años.

Detalles de pines:

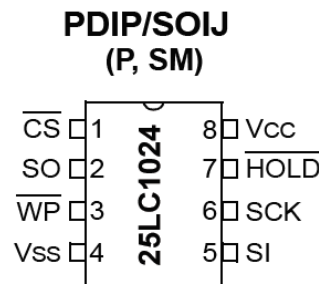


Fig. 8 25LC1024 - Esquema de pines

Imagen Real:

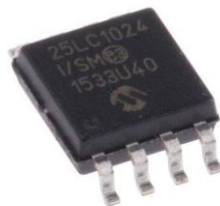


Fig. 9 25LC1024

AMS1117-3.3V

Designación en esquemático: IC8 – IC11.

Función: Regulador de tensión

Requisitos:

- Tensión de entrada: menor a 5 VDC.
- Tensión de salida: 3.3 VDC fija.
- Muy buena estabilidad.
- Corriente de salida: mayor a 500 mA.

Descripción: La serie AMS1117 de reguladores de voltaje ajustables y fijos están diseñados para proporcionar una corriente de salida de 800 mA y operar hasta 1 V diferencial de entrada a salida. La caída de tensión de la salida es de máximo 1.3 V a la máxima corriente de salida, disminuyendo a corrientes de carga más bajas. El "trimming on-chip" ajusta el voltaje de referencia al 1%. El límite de corriente también se reduce, minimizando el estrés bajo condiciones de sobrecarga tanto en el regulador como en los circuitos de la fuente de alimentación.

Características:

- Salida de corriente 800 mA
- Regulación de línea 0.2% máx.
- Tipo de encapsulado seleccionado: SOT-223
- Regulación de carga 0.4% máx.
- Tensión máxima de entrada: 15 V
- Protección contra cortocircuito y sobrecarga térmica

Detalles de pines

SOT-223 Top View

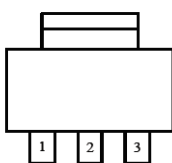


Fig. 10 AMS1117-3.3V
1(Masa) - 2(V salida) - 3 (V entrada)

Imagen Real:



Fig. 11 AMS1117-3.3V

Amplificadores operacionales

TLC2264

Designación en esquemático: AO1 - AO2:

Función: Seguidor de tensión, amplificador inversor, sumador, filtro pasa bajo.

Requisitos:

- 4 operacionales por encapsulado.
- Tensión de alimentación: Dual $> \pm 2.5$ V
- Entrada/Salida riel a riel.
- Tipo de encapsulado: SMD

PROPUESTAS

- TLC2264
- MAX4495
- OPA4196

Entre los Amplificadores operacionales se eligió el TLC2264AID en cuanto a características generales el OPA4196 es superior. Posee menor tensión de offset de entrada (input voltage offset), menor corriente de polarización (*input bias current*), mayor CMRR (Relación de rechazo al modo común) y, por tanto, mayor inmunidad a ruido. En cuanto al TLC2264 es más económico y la dificultad de conseguirse en el mercado es menor. Dadas las características de la señal de entrada, se pudo determinar que, si bien el OPA4196 es superior, el TLC2264AID cumple con los requerimientos.

Características:

- Fabricante: Texas Instruments.
- Tipo de Encapsulado: SOIC (D).
- La oscilación de salida incluye ambos rieles de suministro
- Bajo ruido 12 nV/ Hz medido a $f = 1$ kHz
- Corriente de polarización de entrada baja típica de 1 pA
- Completamente especificado para operación de suministro único y suministro dividido
- Baja potencia 500 uA máx.
- El rango de voltaje de entrada de modo común incluye riel negativo
- Voltaje de compensación de entrada baja

Diagrama de pines:

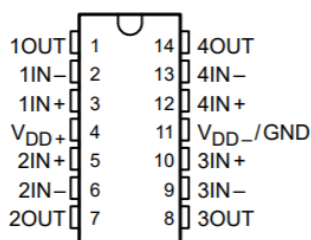


Fig. 12 TLC2264 - Esquema de pines

Imagen Real:



Fig. 13 TLC 2264

TLC2262

Designación en Esquemático: IC10

Función: Comparador

Requisitos:

- 2 operacionales por encapsulado.
- Tensión de alimentación: Dual $> \pm 2.5$ V.
- Entrada/Salida riel a riel.

Descripción: Ver TLC2264, Pág. 19

Características: Ver TLC2264, Pág. 19

Diagrama de pines

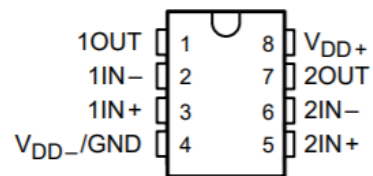


Fig. 14 TLC2262 - Esquema de pines

Imagen Real



Fig. 15 TLC2264

Componentes Pasivos

Semiconductores

Diodos

Diodos Rectificadores

Designación en esquemático

D1: 1N4148

D2: 1N4148

D3: 1N4148

D4: 1N4148

D5: 1N4148

D6: 1N4148

Función: Rectificador baja señal

Requisitos:

- Tensión VDC inversa máxima: >10 V.
- Tensión eficaz máxima > 5 V.
- Caída de tensión V_{th} : < 500 mV.
- Corriente directa promedio máxima rectificadora $I_{FAV} > 500$ mA.
- Tipo de Encapsulado: SMD.

PROPUESTAS:

- 1N5817
- 1N4007
- 1N4148

Entre las propuestas se eligió al 1N4148. Es un diodo de propósito general que cumple con los requisitos de diseño, sobre todo, por su baja caída de tensión en polarización directa y además hay buena disponibilidad en el mercado local de semiconductores.

Características:

- Fabricante Seleccionado: Vishay.
- Tipo de encapsulado: SOD-123.
- Velocidad de conmutación rápida.
- Tensión directa baja: Máximo de 0.715 V a 1 mA.
- Recuperación inversa rápida: máximo de 4 ns.
- Baja capacidad: máximo de 2 pF.
- Para aplicaciones de conmutación de uso general.

Imagen Real



Fig. 16 1N4148 - Montaje SMD



Diodos Zener

Designación en esquemático

Z1: BZV55C3V3

Z2: BZV55C3V3

Z3: BZV55C3V3

Z4: BZV55C3V3

Función: Limitador de tensión.

Requisitos:

- Tensión Zener $V_z = 3,3$ V.
- Potencia ≥ 500 mW.
- Encapsulado: SMD.

Características:

- Disipación de potencia: 500 mW.
- Tensión Zener: 3.3 V
- Tipo de encapsulado: LL-34 (Mini-MELF).
- Vidrio sellado herméticamente.
- Construcción ligada por compresión.
- La banda de color azul indica polaridad negativa.

No semiconductores

Caudalímetro

Función: Este instrumento estará dedicado a la medición del caudal en la acometida de agua de ingreso a la vivienda que luego se distribuirá a los distintos puntos de consumo del hogar.

Criterios de selección:

Tipo de fluido a medir: El fluido que se debe medir es agua potable de uso residencial.

Precisión requerida: En esta aplicación, la precisión no es un factor determinante para la selección del instrumento. Consideramos como aceptable un error menor al 5%.

Tipo de caudal: La medición de consumo se realizará en la cañería de ingreso de agua a la vivienda. Por lo que el flujo se encuentra totalmente confinado.

Costo de la instalación: Se pretende que el caudalímetro sea de fácil instalación, sin suponer un costo alto para llevar a cabo la misma, ni presentar complicaciones en el suministro de agua de la vivienda.

Costo del dispositivo: Se busca que el dispositivo sea de bajo costo y que sea fácil de adquirir, es decir que haya una alta disponibilidad en el mercado nacional. Otro requisito, es que sea de bajo o nulo costo de mantenimiento.

Propuestas: En la tabla 1 se muestran las principales características de algunos de los tipos de medidores de caudal disponibles en el mercado. Resaltado en amarillo, se puede ver a los



medidores de tipo cicloidales (o de turbina). Este tipo de medidores es el que más se adecúa a la medición de consumo de agua de uso doméstico, por su bajo precio, su alta disponibilidad y por su facilidad de instalación. Dado que los valores máximos de caudal a medir son relativamente bajos, un sensor para cañerías de diámetros pequeños posee unas características suficientemente aceptables.

Tipo	Relación de caudal	Precisión en toda la escala	Escala	Presión Máxima	T° Máxima	Perdida de carga **	Servicio	Material	Costo relativo	Ventajas	Desventajas
Placa	3:1	1-2%	No lineal	400	500	20m	Liq/Vapor/Gas	Metal/Plástico	Bajo	Simple, económico	Alta dP, fluidos limpios
Tobera	3:1	0,9-1,5%	No lineal	400	500	16m	Liq/Vapor/Gas	Metal/Plástico	Medio	Simple, preciso	Alta dP, fluidos limpios, caro
Tubo Ventury	3:1	0,75%	No lineal	400	500	4m	Liq/Vapor/Gas	Metal/Plástico	Muy alto	Preciso, poca dP+	Alta dP, fluidos limpios, muy caro
Tubo Pitot	3:1	1,5-4%	No lineal	400	500	-	Liq/Vapor/Gas	Metal/Plástico	Bajo	Simple, económico	Poca precisión
Tubo Annubar	3:1	1%	No lineal	400	500	-	Liq/Vapor/Gas	Metal/Plástico	Bajo	Simple, económico	Poca precisión
Rotámetro	10:1	1-2%	Lineal	400	250	5m	Liq/Vapor/Gas	Vidrio/cerámica	Bajo	Mayor Precisión	Golpe de ariete puede dañarlo
Vertedero	3:1	0,3%	Especial	Atmósfera	60	-	Líquidos	Metal	Bajo	Costo medio	Voluminoso caro
Turbina	15:1	2%	Lineal	200	250	0,7b	Líquidos/Gas	Metal	Alto	Preciso, margen amplio	Difícil de calibrar, fluidos limpios
Sónico	20:1	1%	Lineal	100	250	nula	Líquidos	Metal/Plástico	Alto	Cualquier líquido, poca dP	Caro, difícil de calibrar, sensible a la densidad
Placa de impacto	10:1	0,5-1%	No Lineal	100	400	0,5b	Líquidos	Metal	Medio	Fluidos viscosos	Poca capacidad
Magnético	100:1	1-2%	Lineal	20-200	150	nula	Líquidos	Teflón/Vidrio	Alto	Baja dP	Caro, sólo para líquidos conductores
Disco oscilante	5:1	0,2-0,5%	Lineal	10-150	120	0,3m	Líquidos	Metal	Bajo	Barato	Par pequeño
Pistón oscilante	5:1	0,2%	Lineal	25	150	10b	Líquidos	Metal	Medio	Líquidos viscosos y corrosivos	Alta dP
Pistón alternativo	5:1	1%	Lineal	25	100	0,2m	Líquidos	Metal	Alto	Preciso	Voluminoso, caro, alta dP
Cicloidal	10:1	0,2%	Lineal	100	150	0,3b	Líquidos/Gas	Metal/Plástico	Medio	Poca dP	Poca precisión en caudales
Birrotor	5:1	0,5%	Lineal	100	60-200	0,4b	Líquidos	Metal/Plástico	Medio	Preciso	Margen pequeño
Oval	10:1	0,3%	Lineal	100	180	1b	Gas	Metal/Plástico	Medio	No afecta la viscosidad	Alta dP
Paredes deformables	10:1	0,2%	Lineal	-	-	-	Líquidos/Gas	Metal/Plástico	Medio	Preciso	Voluminoso alta dP
Torbellino	100:1	1%	Lineal	50	100	0,4b	Líquidos/Gas	Metal/Plástico	Medio	Margen amplio, poca dP	Caro
Vórtex	10:1	0,5%	Lineal	50	400	-	Líquidos/Gas	Metal/Plástico	Medio	Soporta vibraciones	Insensible a bajo caudal
Oscilante	10:1	1%	Lineal	100	65	-	Líquidos/Gas	Metal/Plástico	Medio	Ideal para propano /butano	Caro, solo gases, bajo caudal
Térmico	10:1	1%	Lineal	100	65	5m	Líquidos/Gas	Metal/Plástico	Alto	Poca dP	Caro, Margen pequeño
Axial	5:1	1%	Lineal	100	120	0,2b	Líquidos/Gas	Metal/Plástico	Alto	poca dP	Caro, Margen pequeño

Tabla 1 Características y comparación de los instrumentos medidores de caudal (Tomado del libro Instrumentación industrial Séptima edición, Editorial Alfamomega-Marcombo y adaptado al presente trabajo). El tipo resaltado en amarillo corresponde al tipo de medidor seleccionado.

Descripción: El sensor seleccionado para este proyecto es el modelo YF-S201B fabricado por Adafruit, el cual es un medidor de flujo volumétrico de agua de paletas deslizantes diseñado para una tubería de ½ pulgada y prestaciones domésticas. Este se compone de una válvula de plástico, un rotor (parte giratoria), y un sensor de efecto Hall. Cuando el agua fluye a través de las paletas

del rotor, este comienza a girar con mayor o menor velocidad dependiendo del caudal de líquido que fluye a través de él. Ver Fig. 18.

Características:

- Compacto, de fácil instalación.
- Enroscado hermético.
- Sensor de efecto Hall de alta calidad.
- Cumple con la norma RoHS.
- Voltaje de operación: 3.3 a 24 V
- Máximo consumo de corriente: 15 mA a 5 V
- Caudal de trabajo: 1 a 30 litros/minuto (cubre todos los aparatos consumidores de agua seleccionados en la Tabla 1).
- Rango de temperatura de trabajo: -25 a 80°C.
- Rango de humedad de trabajo: 35%-80% HR.
- Presión de agua máxima: 2.0 MPa.
- Ciclo útil de salida: 50% +/- 10%.
- Tiempo de subida: 0.04 μ s.
- Tiempo de bajada: 0.18 μ s.
- Características del pulso: Frecuencia (Hz) = 7.5 * Caudal (l/min).
- Pulsos por litro: 450.
- Durabilidad: mínimo 300.000 ciclos
- Conexión de 1/2" nominal, 0.75" de diámetro externo y rosca de 1/2"
- Tamaño: 63.5 mm x 35mm x 35mm.

Diagrama de conexión:

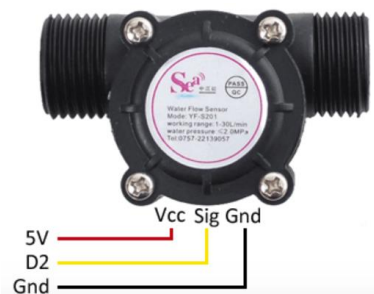


Fig. 17 Caudalímetro - Esquema de conexión.

Imagen Real:



Fig. 18 Sensor de flujo de efecto Hall seleccionado YF-S201.

Sensor de Tensión ZPMT101B

Designación en esquemático: TC1

Función: Este componente reducirá la tensión de línea de forma lineal para posteriormente ser acondicionada mediante un bloque analógico y convertida a digital. Además, proveerá de aislación galvánica respecto al suministro eléctrico domiciliario.

Descripción: El ZPMT101B es un transformador de corriente de relación de transformación 1:1 de muy baja potencia, utilizado en la mayoría de proyectos para la medición de tensión alterna en sistemas de baja tensión. Tiene un rango de tensión de trabajo lineal de 0 a 1000V. Es compacto y liviano.

Características:

- Dimensiones: 19mm x 16,55mm x 18,5mm
- Corriente nominal de entrada: 2 mA
- Corriente nominal de salida: 2 mA
- Ratio entrada-salida 1000:1000
- Diferencia de fase: $<30^\circ$ (a 50 ohm)
- Rango lineal: 0-1000 V o 0-10 mA con resistencia de carga de 50 ohms
- Linealidad: 1%
- Error permisible: $-0.6\% < f < 0\%$ (medido a corriente de entrada de 2 mA y resistor de carga de 50 ohm).
- Aislamiento eléctrico entrada: hasta 3000 V

Diagrama de conexión:

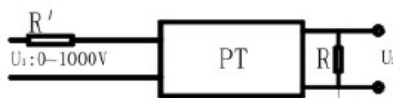


Fig. 19 ZPMT101B - Esquema de conexión.

Imagen Real:



Fig. 20 ZPMT101B.

Sensor de Corriente SCT-013-000

Designación en esquemático: TC2

Requisitos:

- Fácil instalación
- Tener la aislación correcta para su manipulación segura.
- Corriente mayor a 30 A.
- Protección contra salida abierta: Deberá tener una protección cuando sea desconectado del resistor de carga la tensión de salida no alcance valores que pueda dañar el dispositivo.

Función: Irá instalado en el tablero eléctrico domiciliario y conectado al dispositivo de medición y su propósito será escalar la corriente que consume el hogar a un valor al cual se pueda trabajar a baja potencia.

Descripción: Se trata de un transformador de corriente no invasivo que mide la intensidad de corriente que circula por un conductor sin necesidad de cortar o modificar el propio conductor. Los sensores SCT013 son transformadores de corriente, dispositivos de instrumentación que proporcionan una medición proporcional a la intensidad que cruza un circuito. La medida se realiza por electromagnetismo. Los sensores SCT013 tienen un núcleo dividido (como una abrazadera) que permite rodear el cable sin tener que cortarlo.

Características:

- Sensor de corriente tipo pinza para medición no invasiva. Transformador de corriente con núcleo de ferrita.
- Medición de corriente AC.
- Rango de medición: 0 A a 100 A.
- Relación de transformación: 2000:1 (100 A : 50 mA).
- No linealidad: $\pm 3\%$ (En el rango 10 A a 120 A)
- Resistencia del dieléctrico (Entre la carcasa y la salida): 1000 VAC / 1 min
- Incorpora diodo TVS de protección contra transitorios, incluyendo la desconexión súbita cuando el transformador está energizado
- Incluye cable de conexión de 1 m aprox. con conector de audio estéreo estándar de 3.5 mm (Plug) (La conexión central o anillo (Ring) no está conectada)
- Diámetro interior de la pinza: 1.3 cm aprox.
- Resistencia al fuego: UL94-V0.
- Temperatura de operación: $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Diagrama de conexión:

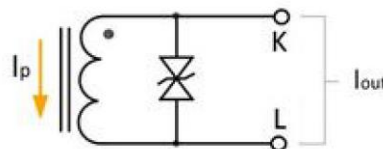


Fig. 21 Sensor de Corriente SCT-013-000 - Esquema de Conexión.

Imagen Real:



Fig. 22 SCT-013-000.

Resistencias

Resistencias Variables



Requisitos:

- Tipo: bobinado.
- Multivuelta.
- Ajuste Horizontal/Vertical.

Designación Esquemático	Valor	Potencia	Descripción
R20	100R	0,5W	Bourns 3296
R22	100R	0,5W	Bourns 3296
R62	2K	0,5W	Bourns 3296
R66	10K	0,5W	Bourns 3296
R70	10K	0,5W	Bourns 3296
R80	100R	0,5W	Bourns 3296
R85	10K	0,5W	Bourns 3296
R91	10K	0,5W	Bourns 3296
R260	100K	0,75W	Bourns 3006

Tabla 2 Resistencias variables seleccionadas

Resistencias Fijas

En la siguiente tabla se detallan las características de las resistencias utilizadas, en su mayoría de montaje superficial.

Designación Esquemático	Valor (Ohm)	Potencia (W)	Tolerancia	Encapsulado
R2	10k	0,25	5%	1206
R3	330R	0,25	5%	1206
R5	10K	0,25	5%	1206
R6	470R	0,25	5%	1206
R7	1M	0,25	5%	1206
R9	4.7k	0,25	5%	1206
R12	4.7k	0,25	5%	1206
R13	4.7k	0,25	5%	1206
R14	10k	0,25	5%	1206
R15	4.7k	0,25	5%	1206
R16	10k	0,25	5%	1206
R17	4.7k	0,25	5%	1206
R18	470R	0,25	5%	1206
R21	330R	0,25	5%	1206
R61	150K	1	1%	THT, Metal Film
R63	1,5K	0,5	5%	THT, Metal Film
R64	10K	0,25	1%	1206
R65	5K	0,25	1%	1206
R67	5K	0,25	1%	1206
R68	10K	0,25	1%	1206
R69	5K	0,25	1%	1206



R71	14K	0,25	1%	1206
R72	14K	0,25	1%	1206
R73	33R	0,5	5%	1206
R81	81R	0,5	5%	1206
R82	33R	0,5	5%	1206
R83	5K	0,25	1%	1206
R84	10K	0,25	1%	1206
R86	5K	0,25	1%	1206
R87	14K	0,25	1%	1206
R88	14K	0,25	1%	1206
R89	10K	0,25	1%	1206
R90	5K	0,25	1%	1206
R100	10K	0,25	1%	1206
R101	10K	0,25	1%	1206
R102	10K	0,25	1%	1206
R104	0R			
R105	0R			

Tabla 3 Resistencias fijas seleccionadas.

Capacitores

En la siguiente tabla se detallan los capacitores seleccionados y sus principales características.

Designación Esquemático	Valor (F)	Encapsulado	Descripción	Tensión	Tolerancia
C1	0.1u	C1206K	Cerámico	25V	10%
C2	0.1u	C1206K	Cerámico	25V	10%
C3	10u	C1206	Tantalio	16V	10%
C4	0.1u	C1206K	Cerámico	25V	10%
C5	0.1u	C1206K	Cerámico	25V	10%
C6	0.1u	C1206K	Cerámico	25V	10%
C7	0.1u	C1206K	Cerámico	25V	10%
C8	0.1u	C1206K	Cerámico	25V	10%
C9	0.1u	C1206K	Cerámico	25V	10%
C10	22p	C1206K	Cerámico	25V	10%
C11	10u	C1206	Tantalio	16V	10%
C12	22p	C1206K	Cerámico	25V	10%
C13	10u	C1206	Tantalio	16V	10%
C14	0.1u	C1206K	Cerámico	25V	10%
C15	0.1u	C1206K	Cerámico	25V	10%
C16	0.1u	C1206K	Cerámico	25V	10%
C17	0.1u	C1206K	Cerámico	25V	10%
C18	47u	CAPAE530X610N	Electrolítico	35V	10%
C19	10u	C1206	Tantalio	16V	10%



C21	100u	CAPPM6032X280N	Tantalio	10V	10%
C22	100u	CAPPM6032X280N	Tantalio	10V	10%
C23	10u	CAPAE430X550N	Electrolítico	16V	20%
C24	10u	CAPAE430X550N	Electrolítico	16V	20%
C50	10n	C1206K	Cerámico	16V	5%
C51	10n	C1206K	Cerámico	16V	5%
C52	10n	C1206K	Cerámico	16V	5%
C60	10n	C1206K	Cerámico	16V	5%
C61	10n	C1206K	Cerámico	16V	5%
C62	10n	C1206K	Cerámico	16V	5%

Tabla 4 Capacitores seleccionados.

Conectores

USB

Designación en esquemático: J3

Función: El propósito de este conector es establecer el enlace físico para la comunicación serie con el microcontrolador con el fin de ayudar al programador a depurar código y a ver los mensajes que se transmiten y reciben desde y hacia el servidor.

Requisitos:

- Componente de Montaje Superficial
- Tamaño reducido
- Conexión hembra

Características:

- Marca: Amphenol FCI.
- Tipo: Mini USB B
- Cumple con la especificación USB 2.0.
- La interfaz de acoplamiento sigue la especificación USB 2.0.
- Capaz de transferir datos a 480 Mb/s.
- Especificado para hasta 5,000 ciclos de inserción.
- Blindaje metálico completo.
- Protección contra interferencia electromagnética (EMI) y descarga electrostática (ESD)
- Compatible con la especificación On-The-Go (OTG).
- Receptáculos tipo B y AB disponibles.
- Aplicaciones flexibles en consumo, industrial y mercados automotrices
- Adecuado para transmisión de datos, medios y aplicaciones de carga
- Geometría de acoplamiento polarizado.
- Inflamabilidad UL94V-0 clasificada a alta temperatura material de carcasa termoplástica.

Detalle de pines:

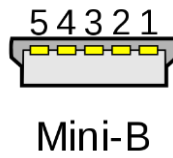


Fig. 23 Disposición de pines conector mini USB tipo B.

Imagen Real:



Fig. 24 mini USB hembra tipo B.

Bloques de terminales

Designación en Esquemático: L, L1.

Función: Serán utilizados para la interconexión con el caudalímetro y para la conexión del suministro eléctrico proveniente de la red domiciliaria.

Requisitos:

- Fácil conexión/desconexión.
- 3 pines.
- Resistencia ante la manipulación.

Características:

- Sección de cable $<2,5\text{mm}^2$
- Marca: Altech.
- 3 polos
- Tipo de montaje: Agujero pasante
- Sujeción del cable a tornillo
- Paso: 2.54 mm

Imagen Real



Fig. 25 Bloque de bornera triple.

Conector Estéreo Hembra SJ1-3524N

Designación en Esquemático: J2.

Función: Interconecta el transformador de corriente YHDC-SCT-013 y el bloque de tratamiento de señal.

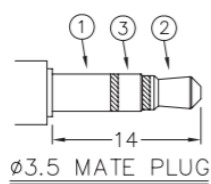
Requisitos:

- Tipo estéreo.
- Diámetro 3,5 mm
- Conexión tipo Hembra

Características:

- Fabricante: CUI Devices.
- Tensión máxima: 12 VDC.
- Estándar: 3.5 mm, 1/8 in.
- Orientación: Horizontal.
- Ciclos de acoplamiento: 5000 ciclos.
- Clase de contacto: 1 A.
- Material del contacto: Aleación de cobre.

Diagrama de conexión:



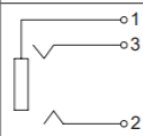
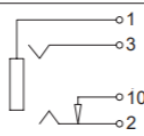
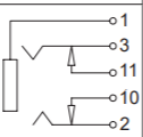
Model No.	SJ1-3523N	SJ1-3524N	SJ1-3525N
Schematic			
PIN			
1	sleeve	sleeve	sleeve
2	tip	tip	tip
3	ring	ring	ring
10	NP	tip switch	tip switch
11	NP	NP	ring switch

Fig. 26 SJ1-3524N - Esquema de conexión.

Imagen Real:



Fig. 27 SJ1-3524N.

Diagrama en Bloques del sistema

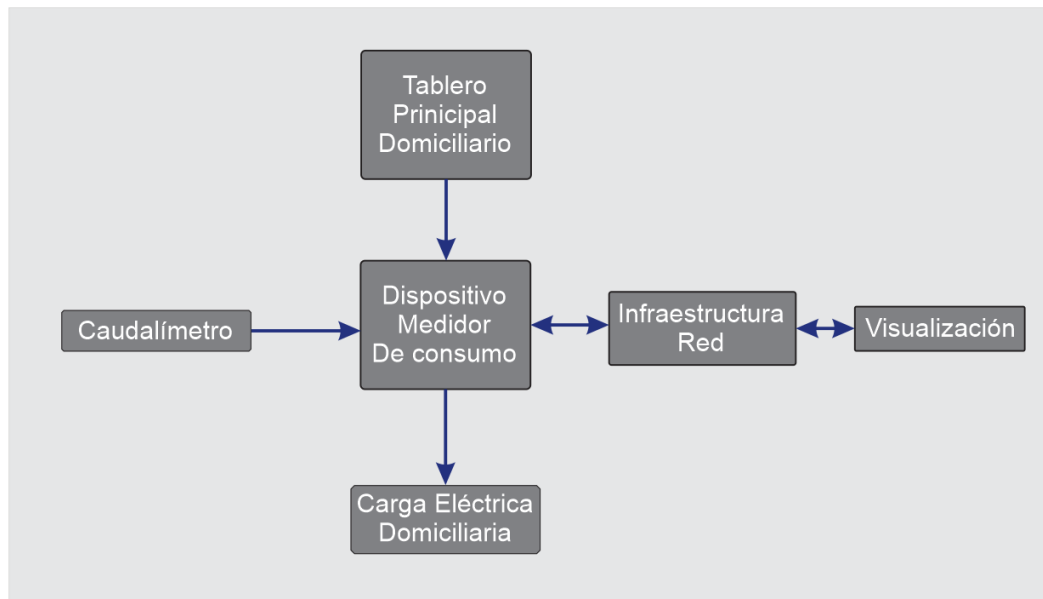


Fig. 28 Diagrama del sistema.

El sistema del que formará parte el dispositivo medidor de consumo está formado por:

Tablero Principal Domiciliario: Este contiene los elementos de protección y seccionamiento de la carga eléctrica domiciliaria que se refiere a todos los aparatos eléctricos que consuman energía eléctrica en el hogar como Heladeras, Lavarropas, Computadoras, Televisores, Calefactores eléctricos, etc. También en éste irá colocado el dispositivo medidor de consumo, el cual dispondrá de una protección e interrupción eléctrica. El dispositivo debe ser seccionado de forma independiente al resto de la distribución domiciliaria, para que se pueda implementar el seccionador bajo carga de suministro al tablero eléctrico general activado remotamente. El dispositivo cuenta con una protección configurable por baja tensión en tiempo real, la cual se activa si la tensión medida es inferior al valor preestablecido por el usuario o puede ser conmutado manualmente por el usuario desde el servidor. Para lograr esto, la placa del dispositivo integra un relé electromecánico cuyo objetivo es actuar algún elemento de comando y seccionamiento para la potencia requerida como puede ser un contactor.

Caudalímetro: Que irá colocado invasivamente en la cañería de la red de agua. Enviará los impulsos al dispositivo medidor de consumo con la finalidad de totalizar el consumo de agua.

Infraestructura de Red: Está compuesta por el módem del ISP (*Internet Service Provider*) que puede estar configurado como AP (*Access Point*) y un Enrutador WiFi. Así como también por el servidor Web donde se alojarán los datos recolectados por el dispositivo desde la red eléctrica domiciliaria.

Visualización: la interfaz dispuesta en el servidor web puede visualizarse por medio de cualquier dispositivo con pantalla que soporte conexión a internet y tenga un navegador web instalado. El servidor web elegido para este proyecto es Ubidots que está especialmente diseñado para desarrollo de soluciones IoT y permitirá al usuario monitorear remotamente los consumos a través de una API desarrollada para tal fin. Se podrán visualizar datos en tiempo real e históricos.

Diagrama en Bloques del prototipo

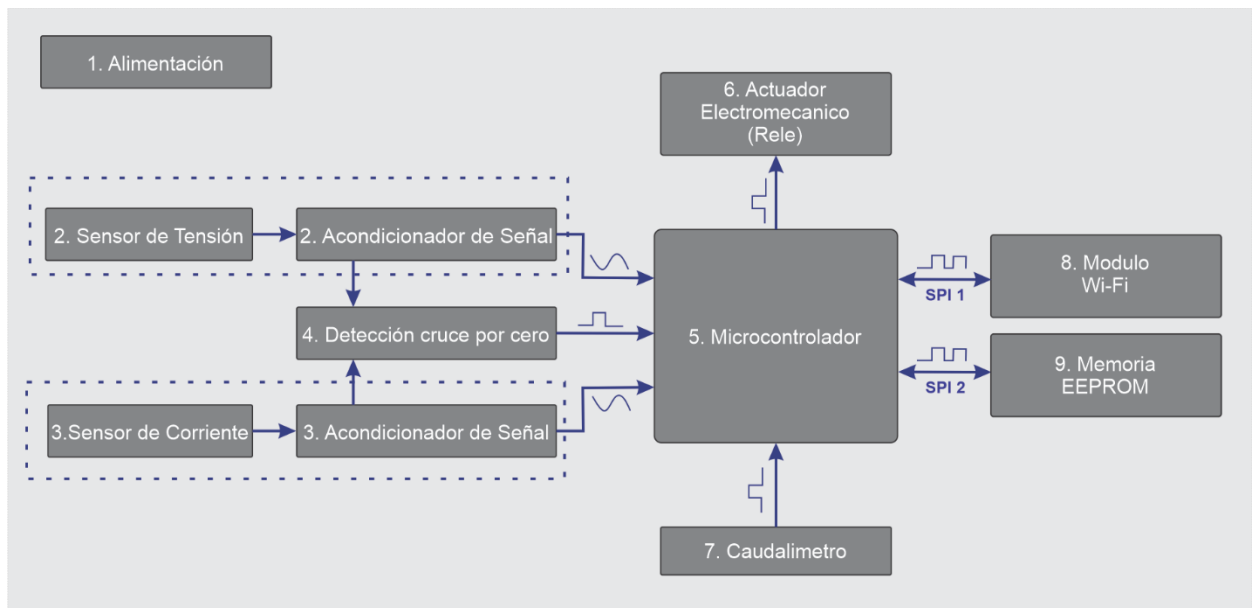


Fig. 29 Diagrama del prototipo.

1. **Alimentación:** Dispone de una fuente conmutada integrada en la placa, la cual se alimenta con tensión de red (220VAC) y cuya salida es de +5VDC. Con esta tensión de salida se alimentan dos reguladores de tensión AMS1117 que entregan una tensión de salida de +3.3VDC. Uno de los reguladores será el encargado de alimentar todo el circuito en general (microcontrolador, módulo WiFi, etc), mientras que el otro proporcionará exclusivamente la tensión de referencia para los convertidores analógico digital (ADC). Esto fue pensado así, de forma que el ADC posea una referencia lo más estable posible, independiente del resto del circuito. Los circuitos integrados de amplificadores operacionales de los acondicionadores de señales requieren una tensión de referencia positiva y una negativa. Para lograr esto, se decidió alimentar la referencia positiva con 5VDC provenientes de la fuente conmutada principal y obtener la tensión negativa con ayuda de un circuito inversor de voltaje ICL7660.

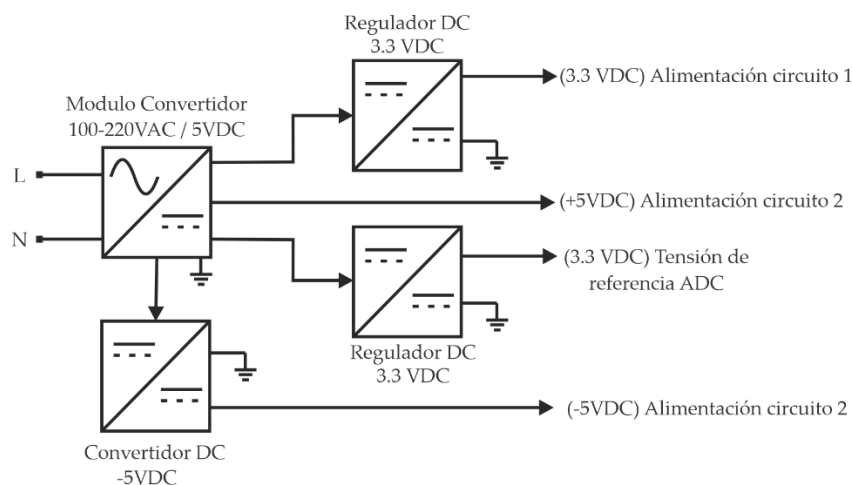


Fig. 30 Diagrama de alimentación

2. **Bloque de medición de tensión:** Este bloque está formado por un mini transformador de tensión modelo ZMPT101B que opera a una corriente nominal de 2mA. La salida de este pasa a través de un bloque seguidor de tensión que ofrece una alta impedancia de entrada y una baja impedancia de salida hacia el bloque rectificador de precisión de onda completa, el cual entrega la señal rectificada en onda completa con ganancia unitaria. Finalmente se filtra la señal con un filtro de 2do orden Sallen-Key cuya finalidad es filtrar por encima del 5^{to} armónico para evitar la distorsión de la señal y obtener una medición de verdadero valor eficaz. La salida de este filtro se conecta al pin de entrada analógica del microcontrolador.

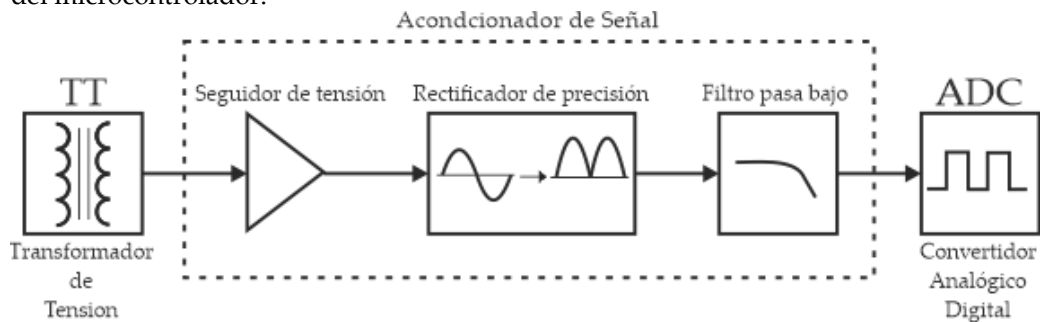


Fig. 31 Bloques de acondicionamiento de señal

3. **Bloque de medición de corriente:** Este bloque difiere del de medición de tensión en que la señal de entrada proviene de un transformador de corriente con núcleo partido, modelo YHDC SCT-0013 que tiene una relación de transformación primario/secundario de 1/2000. Para convertir la señal de corriente a tensión, es necesaria una resistencia de carga (o también conocida como "burden resistor"). Dada su baja corriente, es necesario, al igual que en el circuito acondicionador para la señal de tensión, un circuito seguidor de tensión en la entrada.
4. **Detección de cruce por cero:** Dado el concepto de medición que fue utilizado para medir tensión y corriente donde se rectifica las señales de tensión y corriente este bloque es utilizado para detectar el instante donde la potencia activa es negativa.
5. **Microcontrolador:** El microcontrolador funciona como unidad de procesamiento central del sistema. A él llegan los pulsos digitales y señales analógicas que son convertidas a digital por medio de un ADC integrado y auto gestionado. También se encarga de la comunicación con la capa física del protocolo TCP/IP a través de una comunicación serial y además comanda el actuador electromecánico para la desconexión del suministro eléctrico por baja tensión.
6. **Actuador Electromecánico:** Consta de un relé con bobina de 3,3VDC, 2 contactos auxiliares, los cuales se cablean a un aparato de maniobra como puede ser un contactor dentro del cuadro eléctrico domiciliario con la finalidad de interrumpir el suministro eléctrico de todo o una parte del edificio.
7. **Bloque de medición de consumo de agua:** Este bloque está compuesto por un caudalímetro mecánico de paletas giratorias unidireccional, La salida de pulsos del sensor efecto hall, por el que está integrado, se conecta a una entrada de interrupción del microcontrolador. Esto es implementado de tal manera con la finalidad de no perder pulsos durante la ejecución de las tareas del microprocesador.



8. **Módulo Wi-Fi:** La combinación de este módulo y el microcontrolador ejecutando el software para el intercambio de datos crean un soporte para protocolo IEEE802.11n (Wi-Fi) también soporta los modos de infraestructura y ad-hoc. Lo que permite al prototipo en un primer momento funcionar como ad hoc para una conexión punto a punto con una PC con una dirección IP prefijada hasta que el usuario elija una red a la cual conectarse y el modo pase a infraestructura donde la comunicación del prototipo se hará a través del enrutador el cual le asignara por DHCP una dirección IP disponible para establecer la comunicación vía internet con el servidor. Integra la capa física y de enlace dentro del esquema.

Para observar el esquemático de cada uno de los bloques, dirigirse a ANEXO A.

Integración con la API REST de Ubidots

Ubidots es un Servidor Web destinado a la integración de dispositivos basados en Internet de las Cosas. Presta un servicio en la nube donde cada usuario cuenta con un portal web (dashboard) para visualizar la información de sus sensores de manera remota, centralizada y en tiempo real. A continuación, se expondrá brevemente la terminología utilizada para explicar cómo fue posible la integración del desarrollo con Ubidots.

API (*Application Programming Interface*): Interfaz de Programación de Aplicaciones. Es la interfaz que un software utiliza para interactuar con otro software.

Su función es establecer cómo diferentes componentes de un sistema de software deben interactuar entre ellos. En éste caso, API especifica la interacción entre los dispositivos y Ubidots u otro webserver. De la misma manera en que las personas usan un navegador para visitar páginas web a través de URLs, botones y campos de texto, los dispositivos tienen su propia forma de interactuar con los sistemas web. Los dispositivos necesitan una “página web especial” con una estructura estandarizada y comandos preestablecidos. Estas “páginas web para dispositivos” es lo que se conoce como API REST.

Endpoint: A las URL's que reciben o retornan información de un Web API se les llama *endpoints*. Ejemplo: <http://industrial.api.ubidots.com/api/v1.6/devices/my-device> es un *endpoint*.

REST (*Representational State Transfer*): **Transferencia de Estado Representacional.** Es cualquier interfaz entre sistemas que use, generalmente, HTTP para obtener datos o generar operaciones sobre esos datos en todos los formatos posibles, como XML y JSON. Es más sencillo que otros protocolos estándar de intercambio de datos que disponen de una gran capacidad, pero también mucha complejidad. Como característica principal se podría destacar que es un protocolo cliente/servidor sin estado, cada petición HTTP contiene toda la información necesaria para ejecutarla, lo que permite que ni cliente ni servidor necesiten recordar ningún estado previo para satisfacerla. Posee una interfaz uniforme para la transferencia de datos; REST aplica acciones concretas (POST, GET, PUT y DELETE) sobre los recursos, siempre y cuando estén identificados con una URI. El Formato JSON es el que se utilizó, en este caso, para la comunicación con el servidor.

HTTP¹ (*Hypertext Transfer Protocol*): define la sintaxis y la semántica que utilizan los elementos de software de la arquitectura web (clientes, servidores, proxies) para comunicarse. Es un protocolo sin estado, es decir, no guarda ninguna información sobre conexiones anteriores. La mejor forma de describir la funcionalidad de HTTP es describir los elementos individuales del mensaje HTTP. Consta de dos tipos de mensajes: solicitudes de los clientes a los servidores y respuestas de los servidores a los clientes. Se escriben utilizando la notación BNF (*Backus-Naur Form*). En la imagen a continuación se exponen las partes que componen una solicitud HTTP, siendo algunas necesarias y solo se desarrollarán las que se utilizaron para el desarrollo de la comunicación del dispositivo con el servidor web. [Protocolo de transferencia de hipertexto, (s.f). En Wikipedia. Recuperado el 15 de junio de 2020].

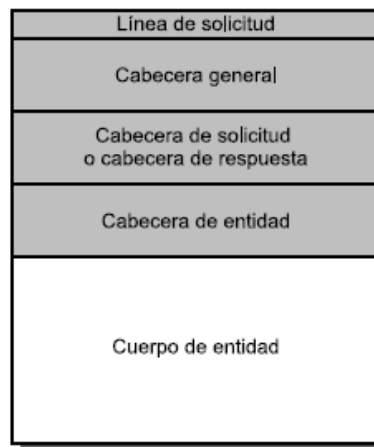


Fig. 32 Estructura General de solicitudes HTTP.

Línea de solicitud: especifica el tipo de documento solicitado, el método que se aplicará y la versión del protocolo utilizada. La línea está formada por tres elementos que deben estar separados por un espacio: el método, la dirección URL y la versión del protocolo utilizada por el cliente (por lo general, HTTP/1.1)

Entre todos los métodos del protocolo HTTP/1.1 se utilizaron solo 2:

GET («obtener»): Una solicitud para obtener la información identificada por la URL, devuelta en un cuerpo de entidad. Se utilizó para la lectura de variables desde el servidor.

POST («enviar»): Es una solicitud para enviar la información a la URL especificada. Se utilizó para escritura de variables en el servidor. La dirección URL se podría interpretar para este caso también como un *endpoint* y se puede representar en 2 partes que son:

Host: especifica el servidor al que hará las solicitudes HTTP. En este caso things.ubidots.com

Path: esta suele ser la parte restante de la URL que especifica el recurso que desea consumir, ya sea una variable o un dispositivo.

Por ejemplo, si un *endpoint* de API es: industrial.api.ubidots.com/api/v1.6/devices/my-device, entonces el *path* sería /api/v1.6/devices/my-device.

¹ Es el protocolo de comunicación que permite las transferencias de información en la World Wide Web. HTTP fue desarrollado por el World Wide Web Consortium y la Internet Engineering Task Force, colaboración que culminó en 1999 con la publicación de una serie de RFC, el más importante de ellos es el RFC 2616 que especifica la versión 1.1

Cabecera de entidad (*Header*): Las Cabeceras HTTP son los parámetros que se envían en una petición o respuesta HTTP al cliente o al servidor para proporcionar información adicional sobre la transacción en curso. Estas cabeceras proporcionan información mediante la sintaxis² 'Cabecera: Valor' y son enviadas automáticamente por el navegador o el servidor Web. Define los parámetros operativos de la solicitud HTTP, como autenticación, tipo de contenido, longitud de contenido, etc. [Anexo:Cabeceras HTTP, (s.f). En Wikipedia. Recuperado el 15 de marzo de 2020].

Cuerpo de Entidad (*Body ó Payload*): en el caso de solicitudes POST y PATCH, estos son los datos enviados por su dispositivo al servidor. Las solicitudes GET generalmente no tienen un cuerpo porque están destinadas a solicitar datos, no a enviar datos.

Creación de variables y desarrollo del entorno gráfico

En el diagrama a continuación se describen los niveles de jerarquía de la aplicación. En primera instancia tenemos el host (Ubidots). El mismo alberga una gran cantidad usuarios, los cuales ingresan mediante un usuario y una contraseña, previa registración. Cada usuario es capaz de crear en su cuenta múltiples dispositivos a los cuales se les asigna un “token de autenticación” que sirve como referencia y seguridad para ingresar datos al dispositivo. En este último existe la posibilidad de crear diversos tipos de variables que albergarán datos y que estarán descriptos por un valor, contexto y marca de tiempo (“*timestamp*”).

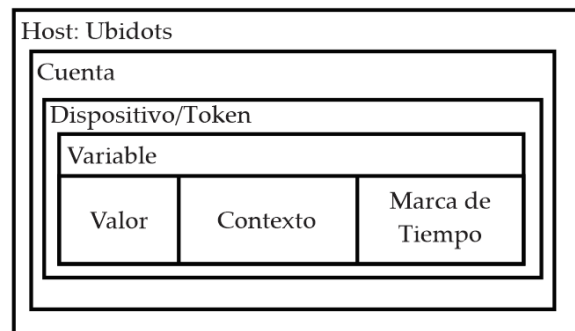


Fig. 33 Niveles Ubidots.

Ubidots cuenta con la posibilidad de desarrollar un entorno gráfico sencillo con el cual visualizar de una forma práctica y versátil los datos de las variables. Éste recibe el nombre de tablero (“*Dashboard*”). En este mismo es posible crear “*Widgets*”³ y personalizarlos de acuerdo a las posibilidades de la aplicación. Estos permiten visualizar un dato de la variable o un rango de datos dentro de un tiempo especificado. El usuario puede personalizar su tablero para solo dejar visibles las variables que sean de su interés, generar nuevas variables derivadas de las ya creadas, etc.

El dashboard desarrollado para las distintas variables de medición y control del dispositivo se puede apreciar en las figuras 32 y 33.

² Para la sintaxis de la solicitud se utilizó formato JSON.

³ widgets: partes de código que representan funcionalidades o contenidos que pueden ser instalados y ejecutados en una página web de manera sencilla.

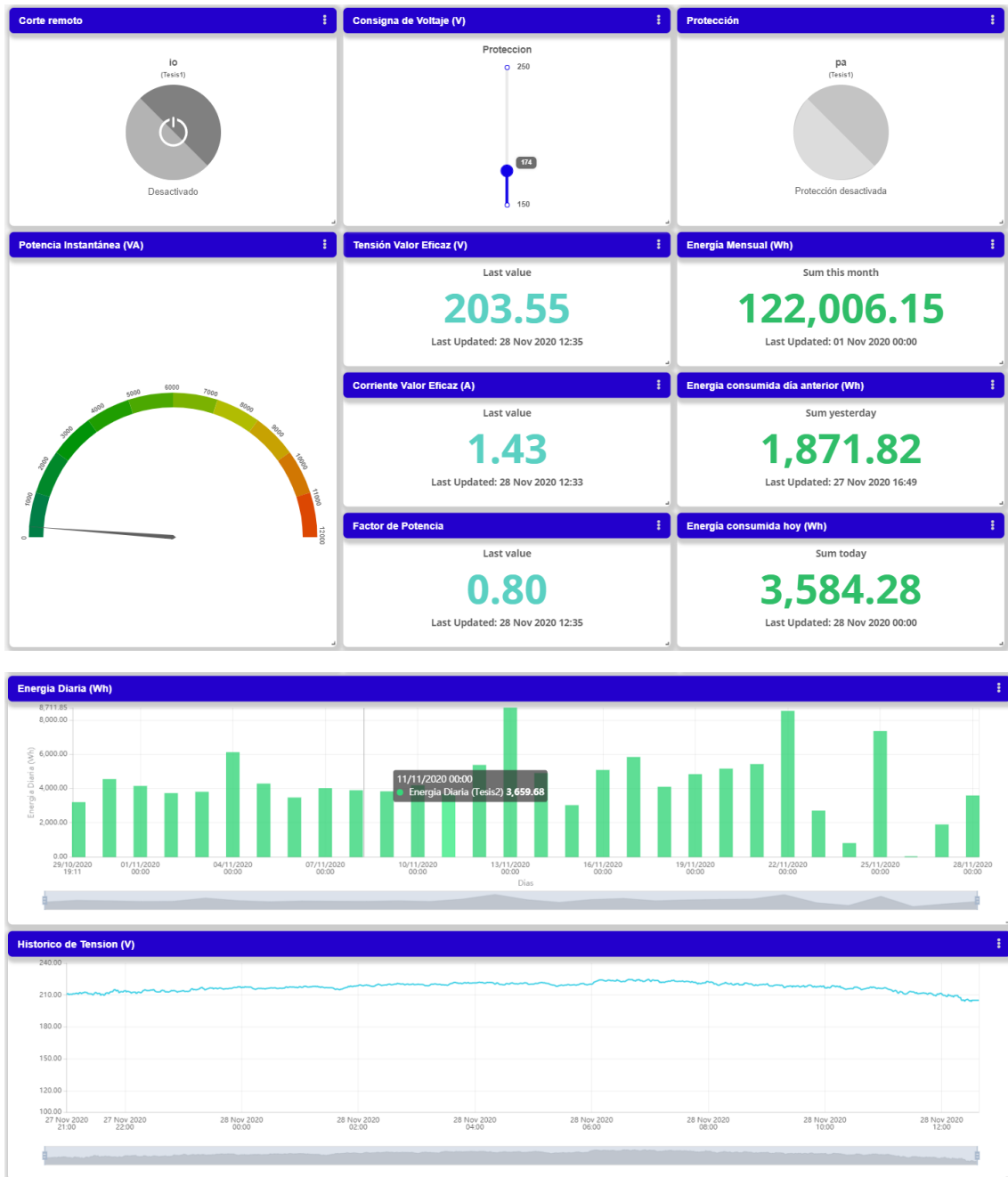


Fig. 34 De izquierda a derecha y de arriba hacia abajo están representados los paneles de corte remoto, consigna de baja tensión, estado de relé, potencia instantánea, valor eficaz de la tensión, factor de potencia, energía activa consumida diaria, mensual, histórico de consumo energético de los días que van del mes e histórico de valor de tensión durante el día.

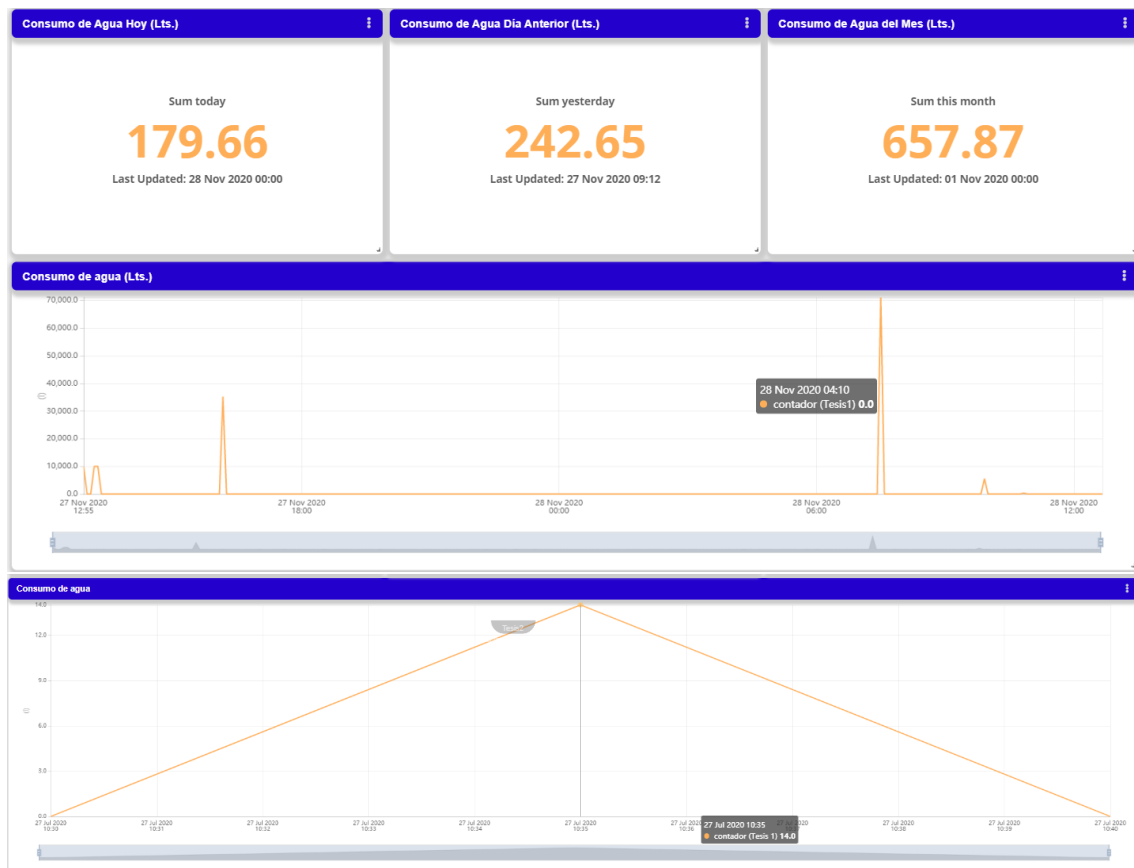


Fig. 35 Panel de consumo de agua.

Diagrama de Flujo

A continuación, se representa el diagrama de flujo del programa principal y la subrutina "Cliente TCP/IP". Es de importancia resaltar que las adquisiciones de las variables a medir se realizan mediante interrupciones por software y hardware en el microcontrolador, por lo tanto, no aparecen en el diagrama de flujo principal.

Al encender el dispositivo se realiza la comprobación e inicialización de todos los módulos. Una vez finalizada la inicialización, el programa chequea que haya configurada una red Wifi de tipo infraestructura. En caso de no encontrar una red ya configurada, como puede ser el caso de la primera vez que se vaya a utilizar, el dispositivo crea una red Ad Hoc propia, a la cual el usuario debe conectarse desde su pc, o dispositivo móvil para poder realizar la conexión con su red WiFi privada. Para ello, el dispositivo posee un web server embebido, que guiará al usuario en todo el proceso hasta lograr una conexión exitosa.

Posteriormente se configuran e inicializan las interrupciones avocadas a la medición de parámetros, que son tres.

- Interrupción externa (*Extern Interruption*): detecta y cuenta los pulsos provenientes del medidor de consumo de agua.
- Interrupción temporizada (*Timer Interruption*): realiza la medición de los valores eficaces de tensión y de corriente, también potencia activa, aparente y factor de potencia.



Inmediatamente luego de finalizar los pasos anteriores, se activan las interrupciones y comienza el proceso continuo de medición y conjuntamente el intercambio de datos con el servidor.

El intercambio de datos con Ubidots se realiza en tres etapas. En una primera instancia se efectúa el envío de los datos provenientes de las mediciones y del estado del sistema (tensión, corriente, potencia, factor de potencia, energía, contador de agua y estado de relé). Como paso siguiente se realiza la solicitud de envío de estado del botón de apagado remoto. Al recibir la solicitud, el servidor envía al dispositivo el valor de estado, es decir, si el usuario accionó el botón de apagado remoto o no. En caso de haber sido accionado, el microcontrolador ordena al relé el corte del suministro eléctrico; de lo contrario el relé continúa dando alimentación al sistema eléctrico. Por último, el dispositivo solicita el valor de protección por baja tensión seleccionado por el usuario. El microcontrolador compara el valor fijado por el usuario con el valor eficaz instantáneo medido. Si el valor medido es menor al establecido, se activa el modo de protección e inmediatamente se corta el suministro eléctrico.

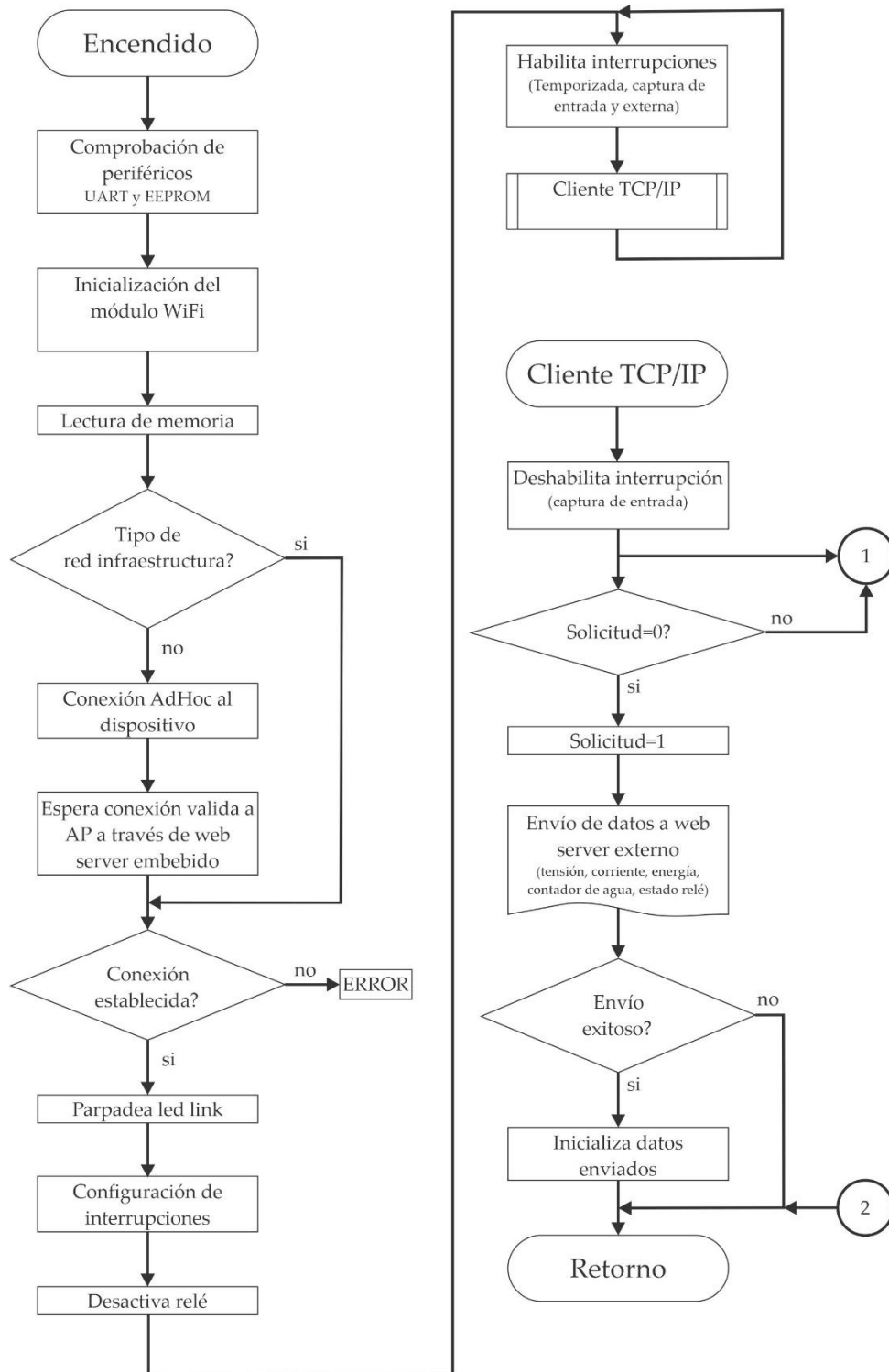


Fig. 36 Diagrama de flujo 1_1.

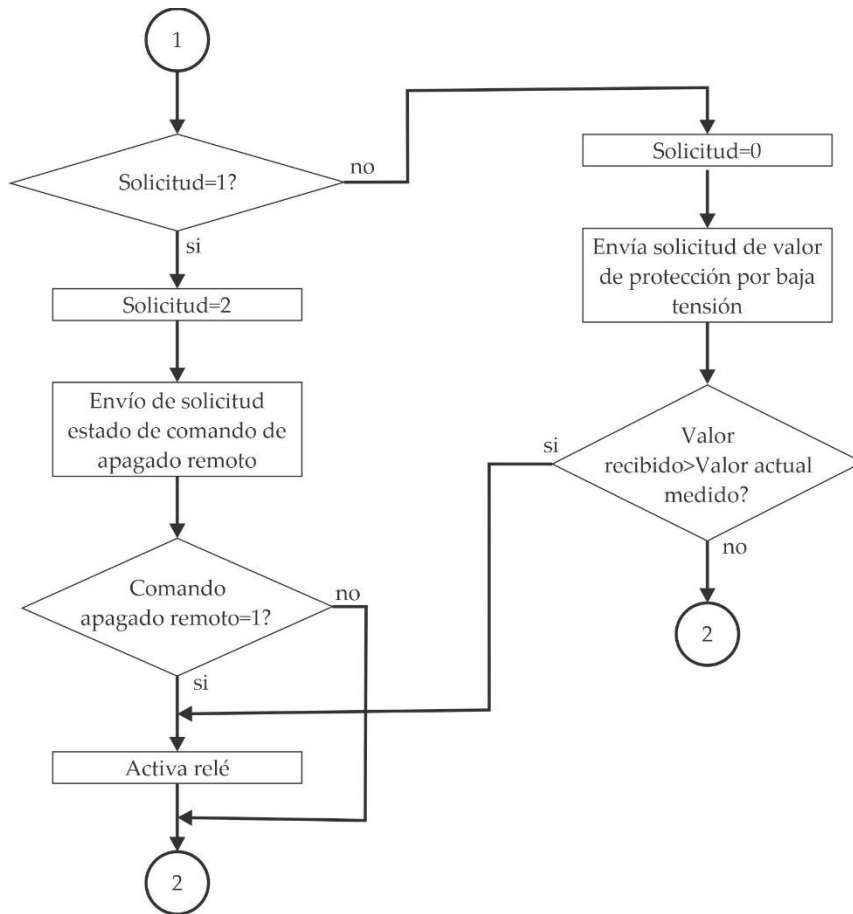


Fig. 37 Diagrama de flujo 1_2.

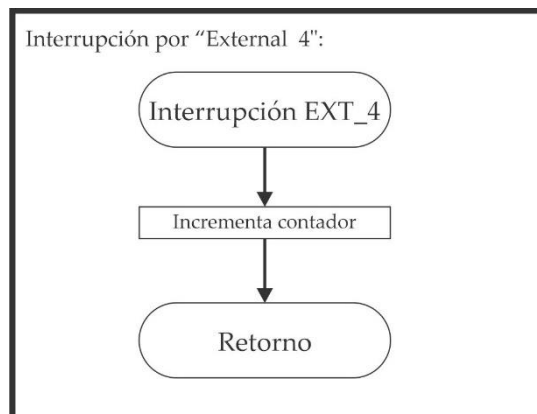


Fig. 38 Interrupción externa.

La ejecución de la rutina por interrupción temporizada, se realiza cada 500ms durante su ejecución son leídos los registros de los conversores analógicos digitales ADC_A y ADC_B utilizados para las lecturas de las variables eléctricas de tensión y corriente respectivamente. El cálculo de las demás variables eléctricas de interés se realiza en tiempo real. La entrada digital D9 del microcontrolador es utilizada para verificar el signo de la potencia activa instantánea.

interrupción por "Timer 3":

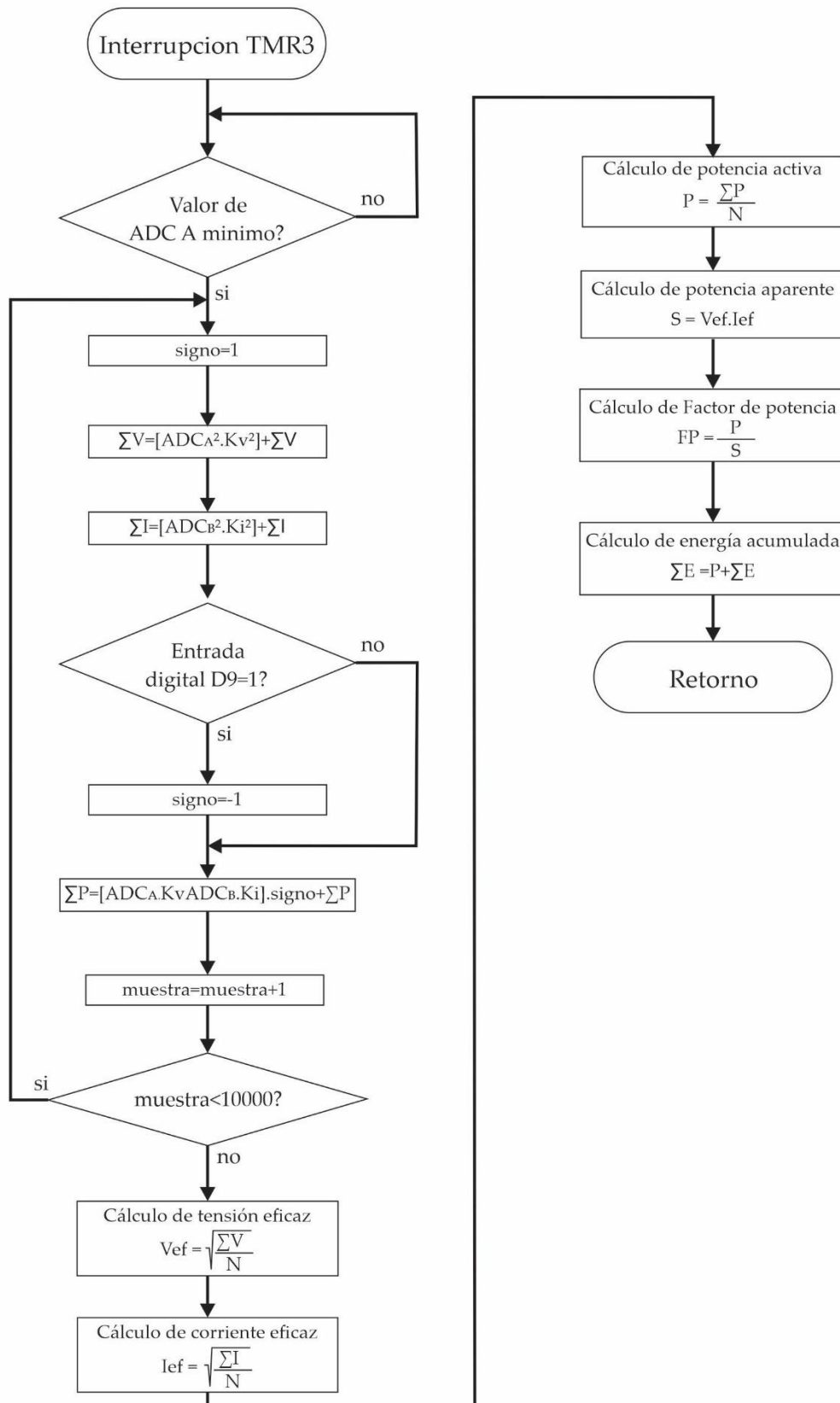


Fig. 39 Interrupción temporizada.

Módulo de protección por Baja Tensión

El dispositivo cuenta con un módulo relé que se activa por debajo del valor seleccionado por el usuario mediante la aplicación Ubidots. Este valor está limitado en el rango de 150 a 240V. Los contactos de este relé pueden ser usados para comandar otro dispositivo para seccionar la alimentación de algún equipo crítico, uno de los circuitos de la vivienda o el suministro de toda la vivienda, entre otras funciones.



Fig. 40 Módulo Relé

A continuación, se expone un esquema de cómo está conformado el módulo y su integración con el microcontrolador.

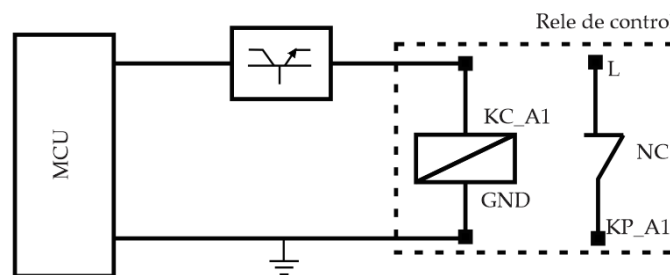


Fig. 41 Esquema de conexión de módulo relé

Por otra parte, se detalla la conexión sugerida para el seccionamiento del suministro eléctrico en la vivienda para el cual se utiliza, en este caso, un contactor trifásico dada la facilidad para adquirirlo en el mercado.

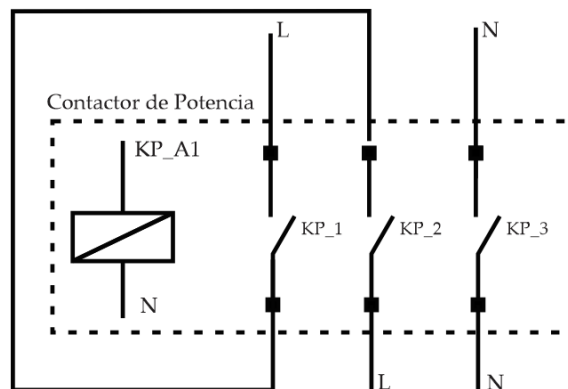


Fig. 42 Esquema de conexión sugerido contactor de línea

Medición y calibración de los bloques de medición

La calibración consiste en determinar la incertidumbre con la que se miden las 4 variables que componen el proyecto. Estas son: el consumo de agua, para el cual se tuvo en cuenta el error del caudalímetro utilizado, las mediciones de tensión, corriente y factor de potencia, deduciéndose de estas últimas la incertidumbre para la potencia instantánea y la energía.

A continuación, se detalla cuál fue el método utilizado según la variable a medir, consideraciones, características del patrón de medición y demás accesorios utilizados para realizar la calibración.

Medición de consumo de agua

Para la medición de consumo de agua, la señal proveniente del caudalímetro ingresa a uno de los pines de interrupción externa del microcontrolador y éste se encarga de contar los pulsos de la señal. La conversión de pulsos a litros de agua se realiza de la siguiente manera:

$$\text{Consumo de agua (l)} = \frac{\text{Cant.de pulsos medidos (pulsos)}}{\text{Factor de conversión } \left(\frac{\text{pulsos}}{\text{l}}\right)} \quad \text{Ecu(1)}$$

En la hoja de datos del caudalímetro elegido, el fabricante proporciona la curva de relación entre la frecuencia de pulsos de salida (Hz) y el flujo de agua (l/h). En esta se puede observar que la relación es lineal, y que produce 480 pulsos por cada litro de agua. Para ajustar la precisión del instrumento al máximo valor posible se realizó la medición experimental del factor de conversión.

Características del patrón de medición utilizado:

Para realizar la medición experimental de la señal proveniente del caudalímetro se utilizó un microcontrolador Microchip modelo 18F4550 programado para tal efecto y con un display LCD para poder visualizar los datos obtenidos.

El dispositivo detecta los flancos ascendentes de los pulsos de la señal, realiza la acumulación de ellos y simultáneamente muestra la cuenta en el display.

El circuito puede observarse en la imagen (Fig. 43).

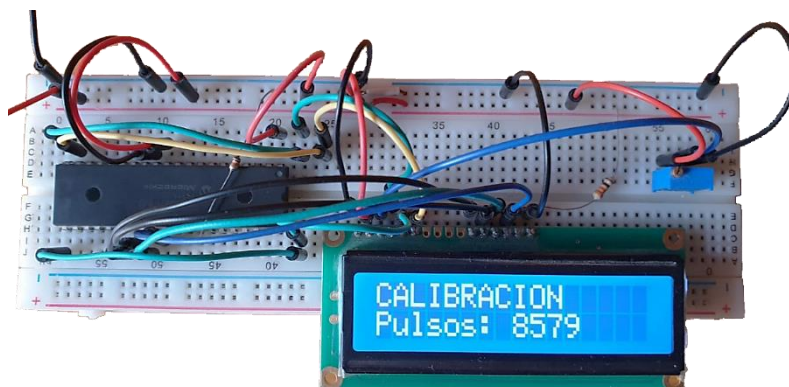


Fig. 43 Circuito en placa de prototipado para calibración de caudalímetro.



Método de contrastación utilizado:

Para realizar la calibración de manera correcta y obtener el menor error posible se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

- El medidor fue calibrado con el líquido con el que se utilizará regularmente, es decir, con agua potable.
- El medidor fue instalado de acuerdo con los requerimientos y especificaciones del fabricante.
- Se evitaron vibraciones y pulsaciones que pudieran afectar los resultados.

El procedimiento de calibración fue realizado con un recipiente graduado de 20 litros. A su vez, se realizaron mediciones a diferentes caudales, para lo cual se utilizó una bomba eléctrica con un caudal de 25 l/min que representa un valor elevado, teniendo en cuenta que el valor máximo para el sensor elegido es de 30 l/min. La medición con un caudal menor se realizó simplemente por gravedad, obteniendo un flujo de aproximadamente 5 l/min.

Resultados de la calibración

Las mediciones realizadas arrojaron los siguientes resultados:

Medida volumétrica (l)	Pulsos	
	Q = 25 l/min	Q = 5 l/min
20	8578	8572
20	8560	8559
20	8581	8570
20	8578	8570
20	8579	8578
20	8569	8569
20	8576	8570
20	8576	8571
20	8580	8579
20	8579	8578
Promedio de pulsos en 20 l	8575,6	8571,6

Tabla 5 Resultados de la calibración caudalímetro.

Como se puede observar, la diferencia de pulsos contados entre las mediciones a diferentes caudales es casi insignificante, por lo que se optó por considerar las mediciones de pulsos independientes del caudal que fluye por el sensor. Es por esto que se realizó el promedio de todas las mediciones arrojando como resultado final un valor de 428,68 pulsos/l.



Este valor obtenido es el que se utilizará como factor de multiplicación del lado del web server, cada vez que éste reciba un número de pulsos, para dar como resultado final la cantidad de litros consumidos.

Medición del valor eficaz de Tensión

El criterio por el cual se decidió medir el verdadero valor eficaz de la señal es para tener en cuenta la distorsión de la forma de onda de la tensión generada por sistemas de cargas no lineales.

Para llevar a cabo la medición de tensión alterna se decidió muestrear la señal de tensión rectificadas en onda completa, la cual ingresa a una entrada analógica del microcontrolador con un valor pico máximo de 3,3V lo que corresponde a 1023 cuentas del ADC que posee 10 bits de resolución. El rango operativo del medidor se estableció entre 0 y 240V logrando la mayor exactitud del medidor en el rango de 120 a 240V (tensión eficaz).

Se seleccionó una tasa de muestreo de 18.3Ksps separadas cada una 12us quedando por lo tanto un periodo de muestreo que abarca 22 ciclos completos de la señal a medir.

Para calcular el valor eficaz de la señal muestreada se aplica la ecuación para dominio discreto. Se aplica la raíz cuadrada de la sumatoria de los cuadrados de la media de los valores del ADC.

$$V_{ef} = \sqrt{\sum_{n=0}^N \frac{K_v ADC_{A1}^2 + K_v ADC_{A2}^2 + \dots + K_v ADC_{AN}^2}{N}} \quad \text{Ecu(2)}$$

La ecuación representa el valor en cuentas de la tensión eficaz, el cual es enviado al servidor donde se convertirá de cuentas a unidades de volt.

La división mínima o resolución del medidor se puede hallar como:

$$div. \text{ mínima} = \frac{Rango \text{ máximo} - Rango \text{ mínimo}}{ADC \text{ máximo} - ADC \text{ mínimo}} = \frac{240V}{723 \text{ cuentas}} = 0.3319 \frac{V}{cuenta} \quad \text{Ecu(3)}$$

(1)

Se trabajo con la menor división que se pudo alcanzar con las características del ADC que se disponía integrado en el microcontrolador.

Características del patrón de medición utilizado

Se utilizó un multímetro digital de la marca UNIT modelo UT71A, el cual mide verdadero valor eficaz de tensión, tiene 20000 cuentas y 4 ½ dígitos. Garantiza en el rango de los 200V una resolución de 0,01V y una exactitud en el ancho de banda de 45HZ a 1kHz ± (0.8%+40 cuentas).



Fig. 44 Instrumento patrón de tensión.

Procedimiento de ajuste y calibración

Para calibrar el medidor de tensión se dispuso de un autotransformador, también conocido como variac, con el cual se varió la amplitud de la tensión sin generar cambios en la forma de onda. Los valores obtenidos a través del microcontrolador fueron anotados en una tabla para luego obtener el coeficiente de calibración para la tensión y valor de offset para lograr ajustar la curva de medición a los valores obtenidos por el instrumento patrón.

Como la finalidad del medidor es medir la tensión de red en un sistema BT domiciliaria que no debería bajar de 180V y como máximo 240V, fue elegido este rango para su ajuste.

El procedimiento consistió en variar la tensión a medir en el rango de 120 a 240V con incrementos de 5V. Los valores obtenidos por el dispositivo y el instrumento patrón se representaron en la tabla 7 para calcular la incertidumbre y el error porcentual. También se utilizaron estos datos para crear un constante de ajuste (K_v) para el rango de 120 a 240V para el cual el error porcentual obtenido sea menor al 1%.

En la figura se representa el esquema de conexión para realizar la calibración. La tensión de línea (220V - 50 Hz) se conecta a la entrada del variac y su salida se conecta al dispositivo de medición bajo prueba al cual se conecta en paralelo el voltímetro patrón detallado anteriormente.

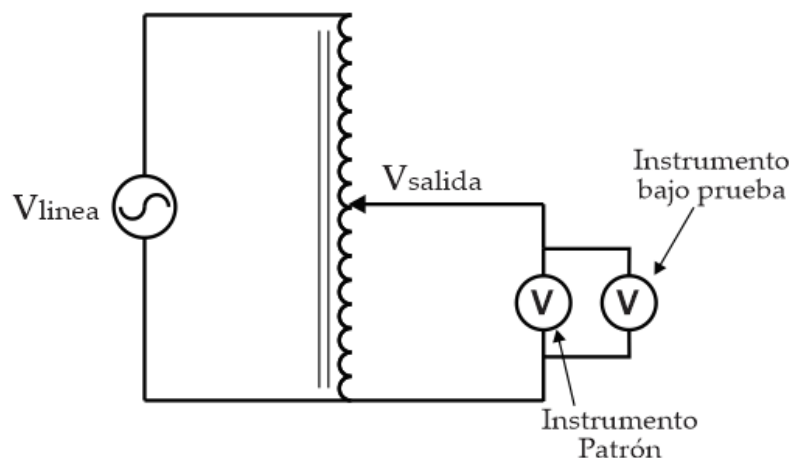


Fig. 45 Esquema de calibración medidor de tensión.



Resultados de la calibración

El error % máximo para la medición de tensión fue de 0,87%.

N° de medición	Valores medidos (V)		Errores calculados	
	Instrumento patrón	Prototipo	Error absoluto	Error relativo %
1	120,55	121,607	1,057	0,869
2	125,2	126,111	0,911	0,723
3	130,26	130,550	0,290	0,222
4	135,3	134,901	-0,399	-0,295
5	140,36	139,686	-0,674	-0,482
6	145,62	144,380	-1,240	-0,859
7	150,24	149,250	-0,990	-0,663
8	155,43	154,304	-1,126	-0,730
9	160,09	159,233	-0,857	-0,538
10	165,77	164,337	-1,433	-0,872
11	170,12	168,950	-1,170	-0,692
12	175,09	174,396	-0,694	-0,398
13	180,83	180,391	-0,439	-0,243
14	184,87	184,021	-0,849	-0,462
15	190,23	189,612	-0,618	-0,326
16	195,2	194,604	-0,596	-0,306
17	199,9	200,938	1,038	0,517
18	205,2	205,830	0,630	0,306
19	210,9	211,694	0,794	0,375
20	215,2	215,988	0,788	0,365
21	220,1	220,814	0,714	0,323
22	224,9	225,297	0,397	0,176
23	230,7	231,262	0,562	0,243
24	235,2	235,485	0,285	0,121
25	238	238,343	0,343	0,144
26	240,35	240,751	0,401	0,167

Tabla 6 Resultados de la calibración para la medición de tensión del prototipo.

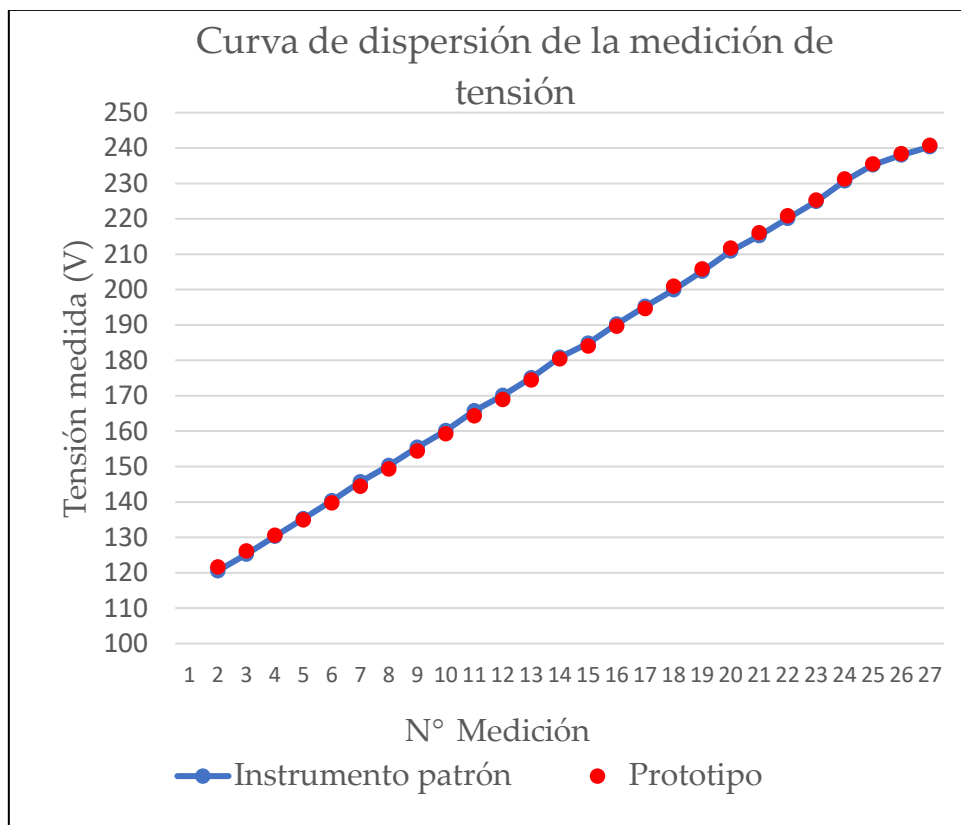


Fig. 46 Curva de dispersión de la medición de tensión

Medición del valor eficaz de Corriente

El criterio utilizado para medir el verdadero valor eficaz de la corriente fue el mismo que en la tensión. Para llevar a cabo la medición de corriente alterna se decidió muestrear la señal de corriente previamente convertida a tensión y rectificadas en onda completa, que ingresa a la entrada analógica con un valor pico máximo de 3,3V, lo que corresponde a 1023 cuentas del ADC de 10 bits de resolución. El rango operativo del medidor se estableció entre 0 y 30A. Este rango fue seleccionado a partir de la siguiente tabla.

Electrodoméstico	Potencia promedio (W)	Corriente (A)	Cant.	Corriente total (A)
Secador de cabellos	1800	8,18	1	8,18
Aire Acondicionado de 3500 frigorías F/C	2150	9,77	1	9,77
Estufa de 3 velas c/termostato	1300	5,91	1	5,91
Cafetera de filtro eléctrica	900	4,09	1	4,09
Plancha	1200	5,45	1	5,45
Microondas	800	3,64	1	3,64
Secarropas centrífugo	380	1,73	1	1,73
Televisor LCD de 40"	180	0,82	2	1,64
Freezer	230	1,05	1	1,05
Heladera con freezer	200	0,91	1	0,91



Ventilador de pie	85	0,39	2	0,77
Lavarropas semi-automático 5Kg	200	0,91	1	0,91
Monitor LED de 19"	22	0,10	1	0,10
Notebook	22	0,10	1	0,10
Lampara de bajo consumo de 20W	20	0,09	10	0,91
Lámpara de bajo consumo de 15W	15	0,07	10	0,68
Afeitadora	5	0,02	1	0,02
Cargador de celular genérico	5	0,02	2	0,05
Subtotal	9514			45,90

Tabla 7 Consumos eléctricos según ENRE (Ente Nacional Regulador de la Electricidad).

A la corriente total obtenida en la Tabla 7 se le aplicó un coeficiente de simultaneidad de 0,66⁴, quedando un nuevo valor total de corriente calculado de 30.29A, el cual fue seleccionado como rango máximo para la medición de corriente.

Al igual que en la tensión se seleccionó una tasa de muestreo de 18.3Ksps separadas cada una de las muestras 12us quedando, por lo tanto, un período de muestreo que abarca 22 ciclos completos de la señal a medir.

Para calcular el valor eficaz de la señal muestreada se aplica la ecuación Ecu(2).

$$I_{ef} = \sqrt{\sum_{n=0}^N \frac{K_i \cdot ADC_{B_1}^2 + K_i \cdot ADC_{B_2}^2 + \dots + K_i \cdot ADC_{B_N}^2}{N}}$$

Ecu(2)

La ecuación representa el valor en cuentas de la corriente eficaz que es enviado al servidor donde se convertirá de cuentas a unidades de Amper.

La división mínima del medidor se puede hallar como:

$$div. \text{minima} = \frac{\text{Rango máximo} - \text{Rango mínimo}}{\text{ADC máximo} - \text{ADC mínimo}} = \frac{30A}{723 \text{ cuentas}} = 0.02932 \frac{A}{\text{cuenta}}$$

Ecu(3)

Se trabajó con la menor división que se pudo alcanzar con las características del ADC que se disponía integrado en el microcontrolador.

⁴Valor obtenido de la "Reglamentación para la ejecución de instalaciones eléctricas en inmuebles AEA 90364" – Demanda máxima de potencia simultánea, cálculo 771.9.

Características del patrón de medición utilizado

Se utilizó una pinza voltamperimétrica digital de la marca UNIT modelo UT201. Mide valor eficaz para ondas senoidales y tiene 3 ½ dígitos. Garantiza en el rango de los 200A una resolución de 0,01A y una exactitud de $\pm (1.5\%+5 \text{ dígitos})$.



Fig. 47 Instrumento patrón de corriente.

Procedimiento de ajuste y calibración

El procedimiento consistió en variar la corriente a medir en el rango de 0 a 30A con incrementos de 1A. Los valores obtenidos por el dispositivo y el instrumento patrón se representaron en la tabla 9; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** para calcular la incertidumbre y el error porcentual. También se utilizaron estos datos para crear un constante de ajuste (K_a) para el rango de 0 a 30A para el cual el error porcentual obtenido sea menor al 1%.

En la imagen (Fig. 48) se representa el esquema de conexión para realizar la calibración. La tensión de línea se conecta a la entrada del variac y su salida se conecta a un transformador reductor de tensión cuyo secundario se conecta a un banco de cargas de resistores de potencia, calculadas en conjunto para disipar hasta 400W de potencia. Con esta configuración es posible variar la intensidad de corriente en todo el rango de medición del instrumento bajo prueba.

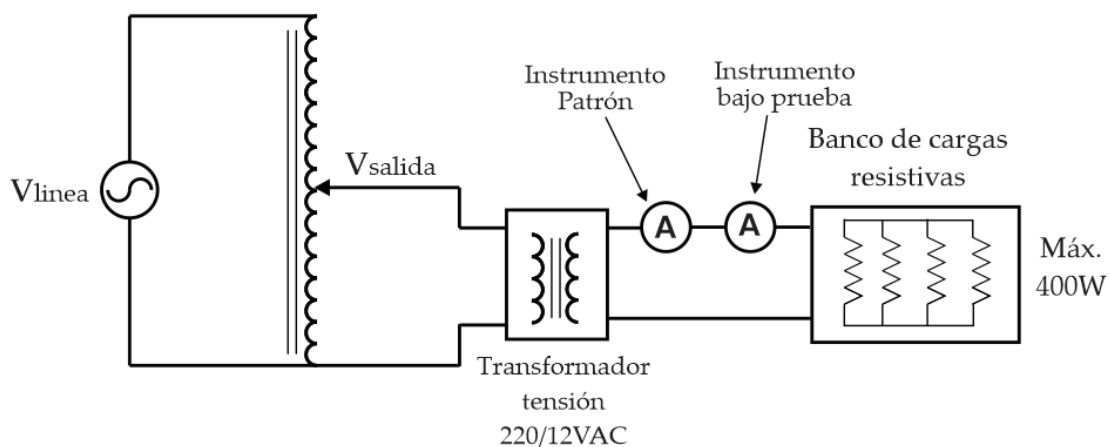


Fig. 48 Esquema de calibración medidor de corriente



Fig. 49 Banco de carga resistivo utilizado.

Resultados de la calibración

El error absoluto máximo para la medición de intensidad de corriente fue de 1,2%

N° de medición	Valores medidos (A)		Errores calculados	
	Instrumento patrón	Prototipo	Error absoluto	Error relativo %
1	0,505	0,504	0,001	0,162
2	1	0,993	0,007	0,727
3	1,49	1,481	0,009	0,582
4	2	2,014	-0,014	-0,715
5	2,5	2,503	-0,003	-0,120
6	3	3,036	-0,036	-1,186
7	3,5	3,525	-0,025	-0,698
8	4,02	4,013	0,007	0,169
9	4,5	4,502	-0,002	-0,040
10	5	4,990	0,010	0,192
11	5,5	5,479	0,021	0,383
12	6,01	6,012	-0,002	-0,034
13	8	7,922	0,078	0,985
14	10,01	9,965	0,045	0,449
15	12,03	11,964	0,066	0,551
16	14,01	13,874	0,136	0,980
17	16,08	15,917	0,163	1,022
18	18,03	17,872	0,158	0,886
19	19,95	19,737	0,213	1,078
20	22	21,780	0,220	1,008
21	23,3	23,024	0,276	1,198
22	25,1	24,890	0,210	0,845

23	26,9	26,666	0,234	0,876
24	28,2	27,955	0,245	0,878
25	29,8	29,509	0,291	0,985

Tabla 8 Resultados de la calibración para la medición de corriente del prototipo.

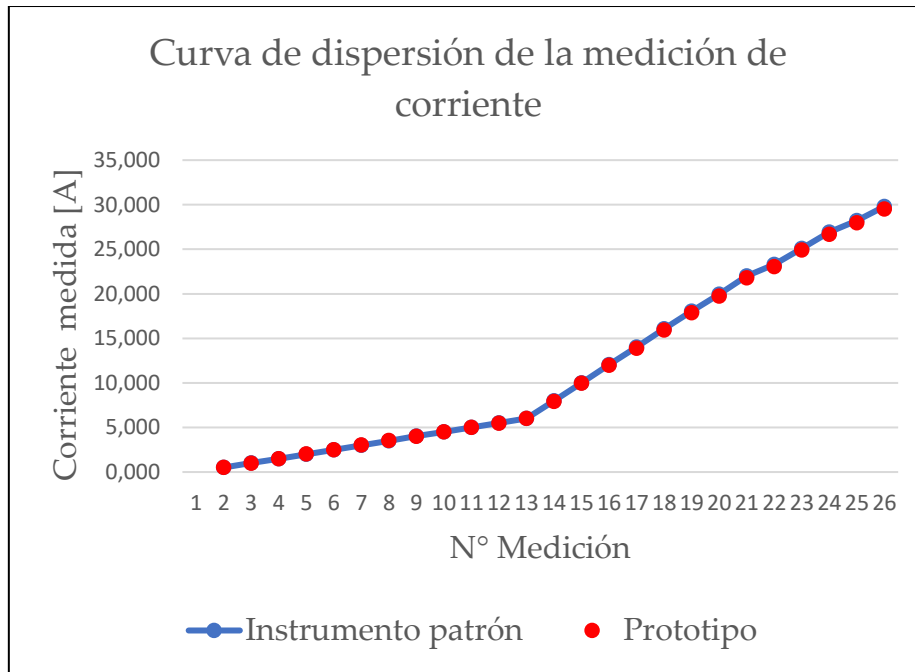


Fig. 50 Curva de dispersión para la medición de corriente

Medición de Factor de potencia

El factor de potencia se determinó por la relación entre la potencia activa y la potencia aparente medidas.

Ec. de factor de potencia.

$$FP = \frac{P}{S} \quad \text{Ecu(4)}$$

Características del patrón de medición utilizado:

Se utilizó un analizador de red eléctrica de la marca Schneider, específicamente el modelo Powerlogic PM5300. Para el rango de tensión de 230V y frecuencia de línea de 50Hz su certificado de calibración indica un error máximo porcentual de -0.17%.



Fig. 51 Powerlogic PM5300 analizador de red

Procedimiento de ajuste y calibración

Idealmente se podría utilizar el esquema de medición de la Fig. 52, por medio de una carga RLC a la cual se le debería variar la característica reactiva/inductiva para atrasar o adelantar la fase de la tensión respecto a la corriente en el rango de -45 a 45° . Tomar notas de los valores obtenidos en la pantalla de la pinza cofimétrica y del obtenido por el dispositivo a través de la PC conectada al puerto serie del mismo. En primera instancia la característica de la impedancia de carga se debería establecer como resistiva pura, obteniendo así el error de fase en la medición provocado por la componente inductiva de los transformadores de entrada y de la etapa de filtrado de los circuitos de medición, siendo posible establecer un factor de ajuste.

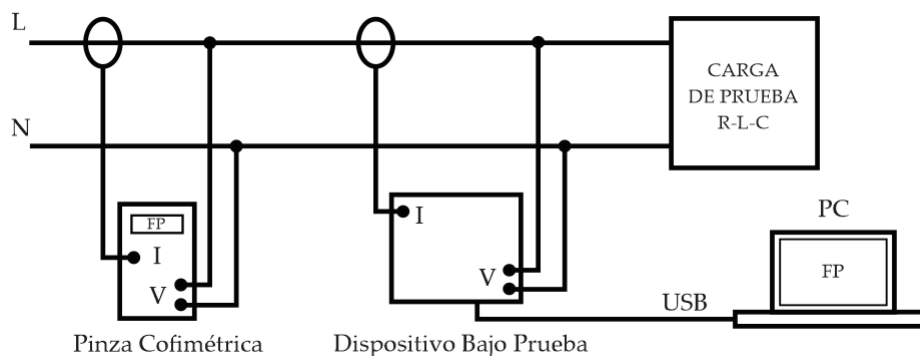


Fig. 52 Esquema sugerido para la calibración del factor de potencia.

En la práctica, para comprobar el correcto funcionamiento del medidor de factor de potencia, se midió el factor de potencia originado por el consumo combinado de distintas cargas lineales y no lineales.

Resultados de la calibración

El error absoluto máximo para la medición de factor de potencia fue en la medición n°6 de 3.259%



N° de Medición	Valores medidos			
	Instrumento Patrón	Prototipo	Error absoluto	Error relativo %
1	0,9979	0,997	-0,001	-0,090
2	0,8997	0,908	0,008	0,923
3	0,9837	0,989	0,005	0,539
4	0,9362	0,941	0,005	0,513
5	0,8522	0,856	0,004	0,446
6	0,3099	0,320	0,010	3,259

Tabla 9 Resultados de la calibración de factor de potencia.

Medición de potencia

Para obtener la potencia activa instantánea, se multiplica en tiempo real las muestras de tensión y corriente y promediándose en el total de muestras como se detalla en la ecuación debajo donde N representa la cantidad total de muestras:

$$P = \sum_{n=0}^N \frac{V_n * I_n}{N} \quad \text{Ecu(5)}$$

La potencia aparente se calcula en base a la ecuación:

$$S = V_{rms} * I_{rms} = [VA] \quad \text{Ecu(6)}$$

El rango máximo de la medición de potencia aparente esta dado por la tensión y corriente eficaz máxima medible.

$$S_{max} = V_{rms_{MAX}} * I_{rms_{MAX}} = 240[V] * 30[A] = 7,2 [KVA] \quad (7)$$

Para la potencia activa tendremos que el error relativo porcentual es mayor por efecto del error añadido por el desfase de las señales de tensión y corriente, este se determinó experimentalmente por la tabla.

Características del patrón de medición utilizado:

Para la calibración de la medición de potencia se utilizó el mismo instrumento patrón que para la medición de factor de potencia. De su certificado de calibración se puede deducir un error de $\pm 1\%$ para la potencia aparente y $\pm 1.17\%$ para la potencia activa.

Resultados de la calibración

La calibración se pudo llevar a cabo hasta el valor máximo de 4.5 KVA dado las limitaciones de la carga de prueba. Para la potencia activa se obtuvo un error relativo porcentual máximo de 1.843%, mientras que para la potencia aparente máxima se obtuvo un error relativo porcentual máximo de -2.178%.



Valores medidos								
N° de Medición	Prototipo		Instrumento Patrón		Error absoluto		Error relativo %	
	Potencia activa	Potencia aparente	Potencia activa	Potencia aparente	Potencia activa	Potencia aparente	Potencia activa	Potencia aparente
1	0	0	0	0	0	0,000	0,000	0,000
2	502	516	504	505	-2,000	11,000	-0,397	2,178
3	1015	1030	1006	1008	9,000	22,000	0,895	2,183
4	1532	1546	1531	1533	1,000	13,000	0,065	0,848
5	2027	2041	2013	2014	14,000	27,000	0,695	1,341
6	2613	2626	2577	2579	36,000	47,000	1,397	1,822
7	3085	3094	3053	3054	32,000	40,000	1,048	1,310
8	3591	3598	3526	3528	65,000	70,000	1,843	1,984
9	4026	4035	4035	4037	-9,000	-2,000	-0,223	-0,050
10	4560	4575	4538	4540	22,000	35,000	0,485	0,771

Tabla 10 Resultados de calibración para potencia activa y aparente.

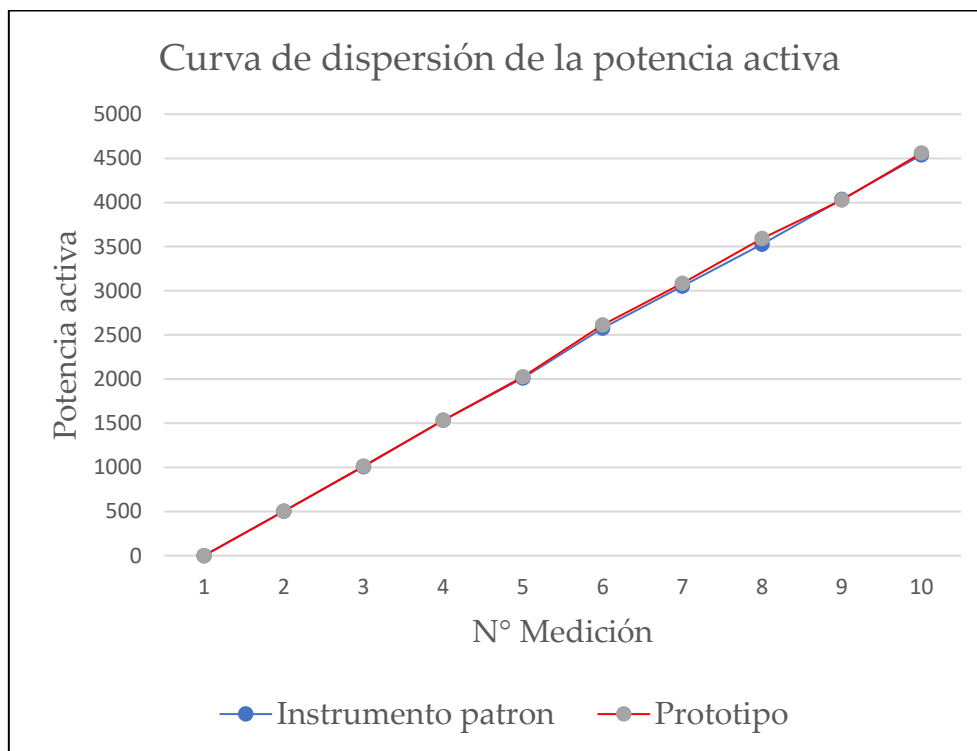


Fig. 53 Curva de dispersión de la potencia activa

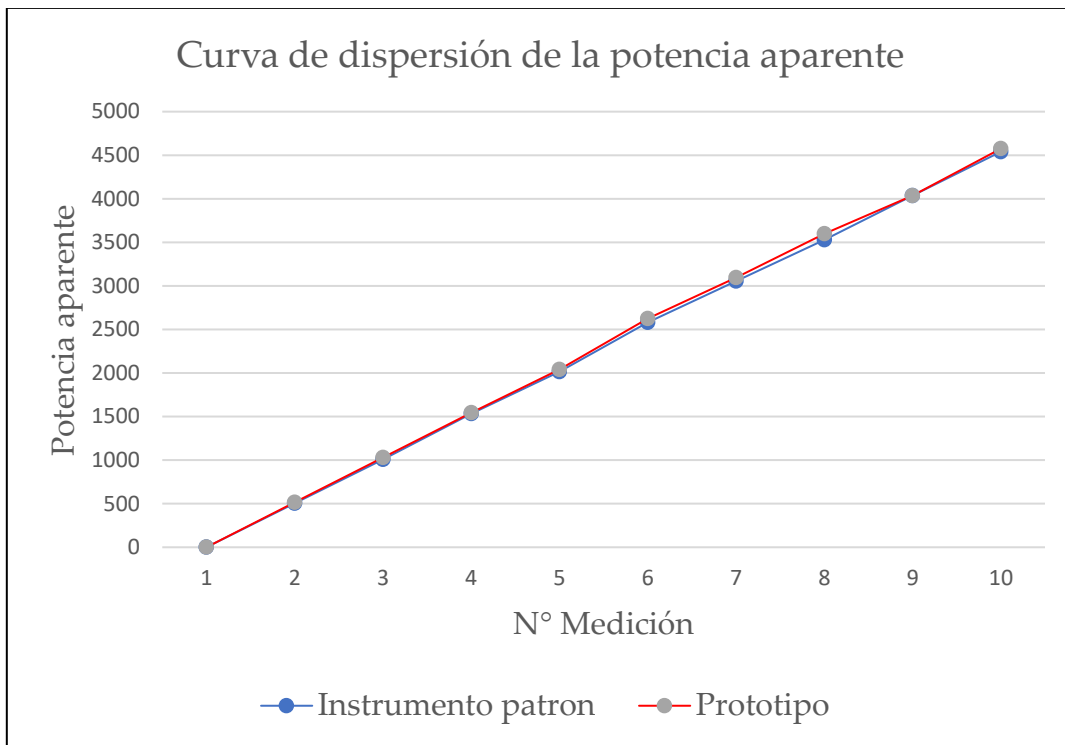


Fig. 54 Curva de dispersión de la potencia aparente

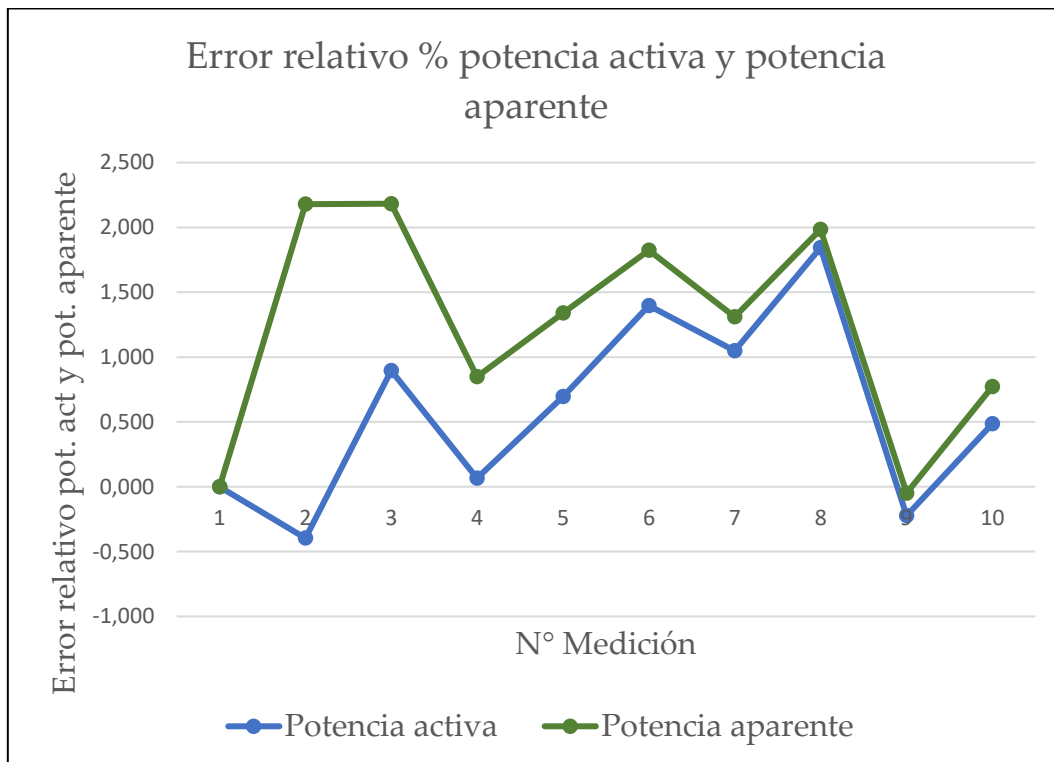


Fig. 55 Error relativo porcentual potencia activa y potencia aparente

Medición de energía

La energía suministrada se calcula en base a la potencia instantánea obtenida en el lapso de 500ms. Esta medición se acumula hasta que el dato es enviado exitosamente al servidor, lo que significa que al recibir la confirmación que envía el servidor luego de haber recibido los datos correctamente, El valor N del contador dentro del microcontrolador es borrado para comenzar nuevamente.

Para la indicación de la energía consumida desde el lado del servidor, este continúa acumulando los valores recibidos de energía. El valor acumulado se reinicia a las 00:00hs del día. Además del consumo diario, es posible mediante las herramientas dispuestas en la aplicación web obtener el consumo mensual y anual.

$$E_n = P_n \cdot 500ms \quad \text{Ecu(8)}$$

$$E = \sum_{n=1}^N E_n \quad \text{Ecu(9)}$$

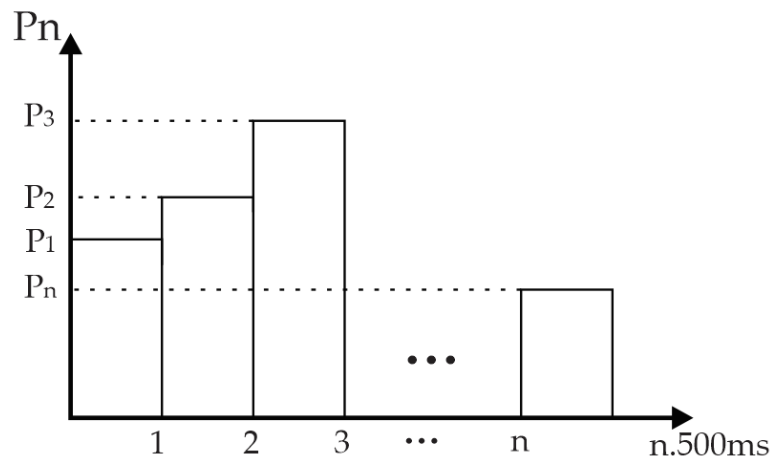


Fig. 56 Representación discreta de la energía.

La medición de energía es representada en Wh

$$E = P[W] \cdot T_{500ms}[h] = P[W] \cdot 500[ms] \cdot \left[\frac{1h}{3600 \cdot 10^3ms} \right] = P[W] \cdot 138,889 \times 10^{-6}[h] = [Wh] \quad (10)$$

El error de la medición de energía no se pudo determinar experimentalmente dado que no se disponía de un instrumento patrón calibrado y certificado.

Evaluación final del sistema

Fabricación del prototipo

Para el diseño del PCB final del dispositivo, se utilizó la herramienta *Altium Designer*. En la etapa de diseño se puso especial atención en la ubicación de cada uno de los componentes, buscando siempre lograr una placa de dimensiones contenidas y segura, ya que trabaja con valores altos de tensión (220VAC).

Se realizó un diseño de doble capa y se decidió colocar la totalidad de los componentes en la capa superior, buscando un menor costo de fabricación y mayor facilidad de montaje. La capa inferior se utilizó exclusivamente para la realización de puentes. En la imagen Fig. 57 se aprecia la vista superior en 3D.

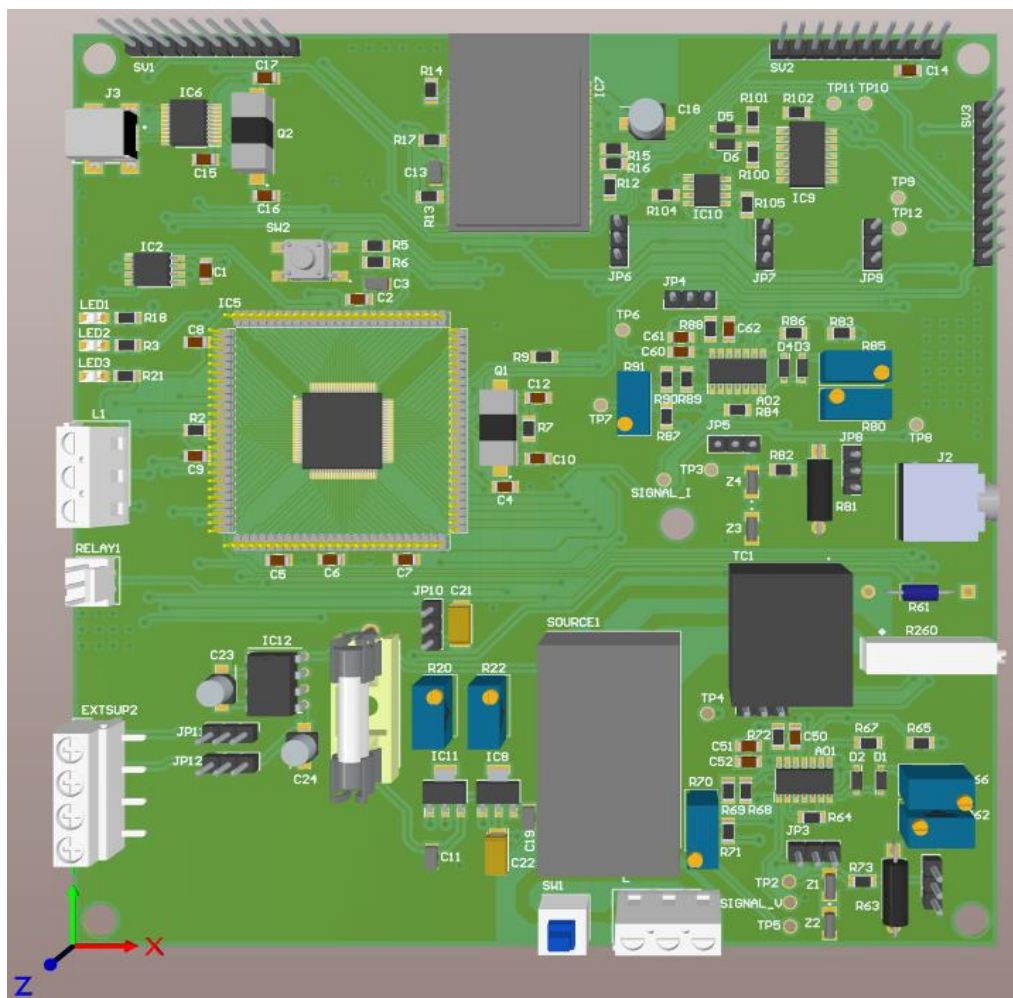


Fig. 57 Esquema 3D de diseño PCB

La placa final se realizó en material epoxi reforzado FR4 PTH (*Plated Through Hole*) de 1,6 mm de espesor, con máscara antisoldante. Además, se realizó la serigrafía de componentes con pintura UV.

El resultado final de se puede observar en la Fig. Fig. 57.

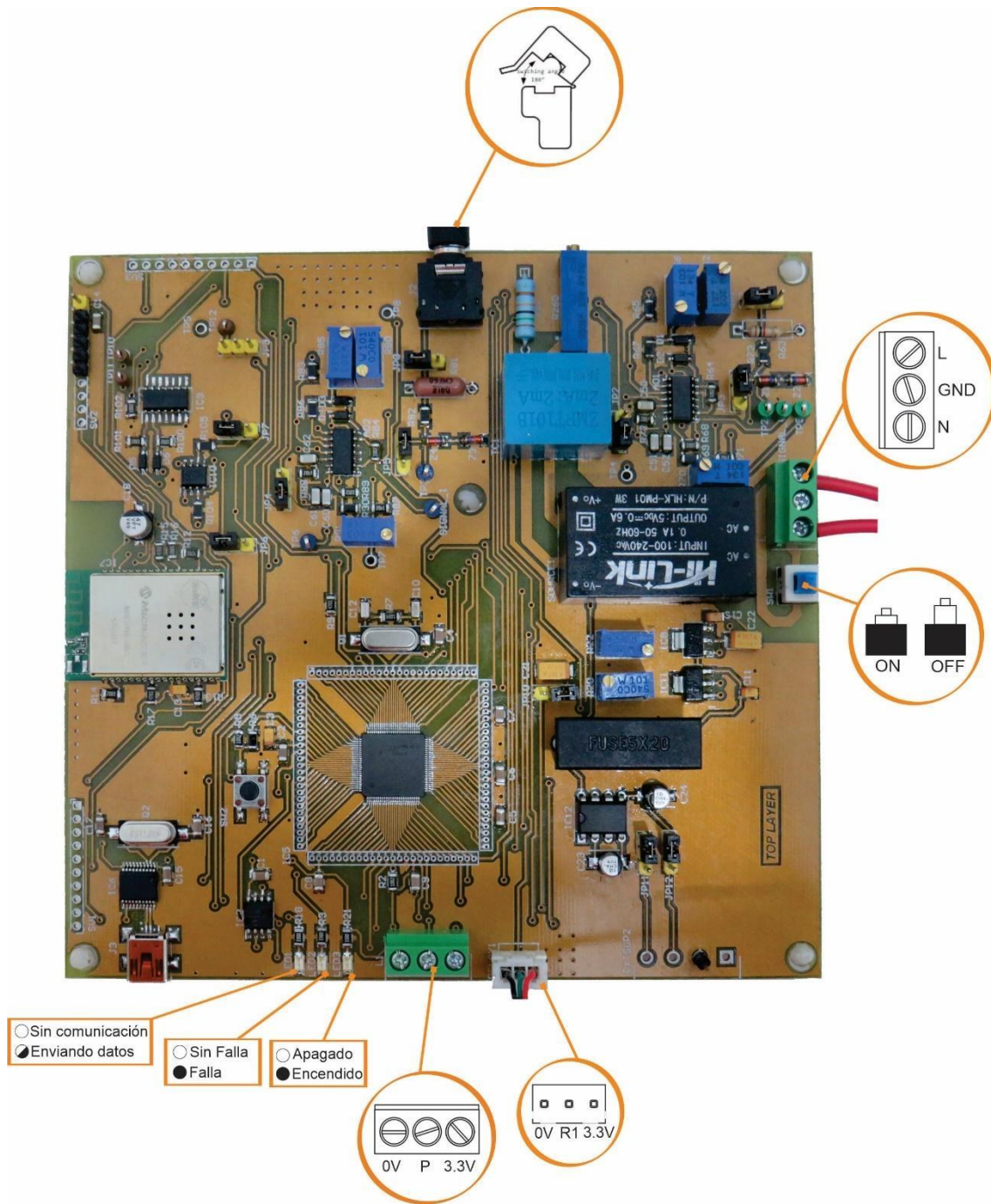


Fig. 58 Imagen real de PCB y detalle de componentes de conexión e indicación.

Montaje del prototipo

Para el montaje del PCB terminado se recurrió a un gabinete fabricado a medida por medio de una impresora 3D. El gabinete es de 2 cuerpos por un lado la base donde ira fijado el PCB a través de sus agujeros y por otro la tapa que servirá de protección al circuito y para prevenir toques accidentales.

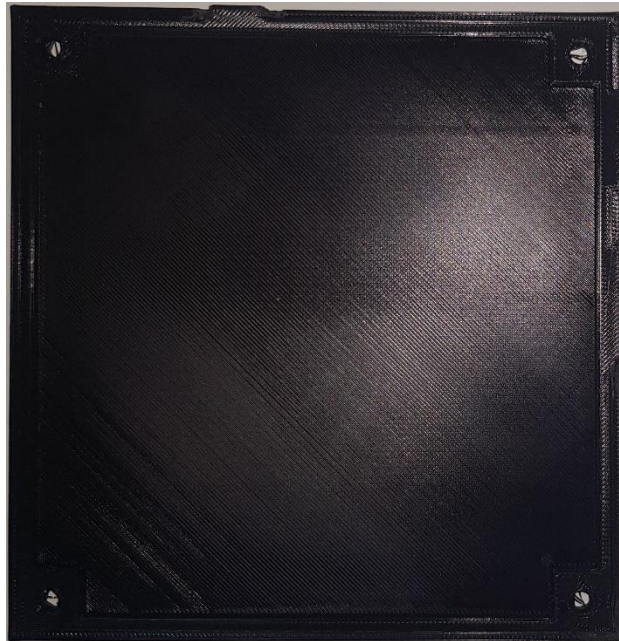


Fig. 59 - Base de gabinete en vista superior

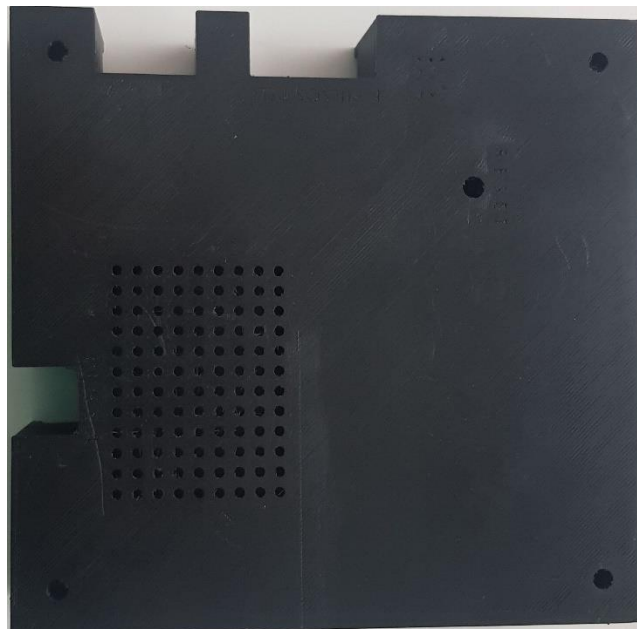


Fig. 60 Tapa de gabinete en vista superior

Primera conexión al dispositivo

Luego de encender por primera vez el dispositivo, éste debe conectarse a una red WiFi. Para llevar a cabo el proceso de conexión, se desarrolló un web server embebido para guiar al usuario en el proceso y facilitarle la tarea.

Para poder acceder a la página web embebida, se desarrolló un modo Ad Hoc, esto quiere decir que luego de encender por primera vez el dispositivo, se inicia en modo configuración y crea una red WiFi de tipo Ad Hoc. De esta forma, el usuario puede conectarse desde su PC o dispositivo móvil a dicha red y una vez conectado, puede ingresar a la página de configuración.

El sitio web consta de una página principal o "general" (Fig. 61) donde se da una explicación breve de cómo debe realizarse el proceso de conexión. En el margen superior derecho se puede observar un indicador luminoso que parpadeará en consonancia con el led de estado situado en la placa y, además se puede encender y apagar manualmente un led de comprobación, también situado en la placa.

Configuración del dispositivo

Para realizar la configuración inicial, el dispositivo viene configurado por defecto como Ad hoc. Para poder conectarla a su red Wi-Fi, la placa posee un servidor web embebido que le permitirá utilizar un navegador web para poder ingresar los parámetros de su red doméstica.

Necesitará los siguientes datos para poder conectarla:

- Nombre de la red (SSID)
- Tipo de encriptación (WEP, WPA, WPA2)
- Clave de seguridad

Para iniciar el proceso de conexión, debe abrir la pestaña "Configurar red" y luego presionar el botón "Buscar redes inalámbricas". A continuación se iniciará la búsqueda de todas las redes que se encuentren dentro del radio de alcance del dispositivo. Se mostrará cada red encontrada con un indicador de su intensidad y si posee clave o es abierta. Una vez descubiertas todas las redes deberá seleccionar una e ingresar la clave para conectar

En caso que su red tenga el SSID oculto y no haya sido encontrado, deberá ingresar a la opción "Otra red..." y a continuación seleccionar el tipo de red (Infraestructure o Ad hoc), el nombre de la red, el tipo de seguridad y presionar "Conectarse".

Una vez finalizado el proceso, la placa estará conectada a su red, y lista para ser usada. Inmediatamente comenzará el envío de datos al servidor remoto.

LED de estado:



LED de comprobación:

(presione para encender/apagar)



Fig. 61 Pagina de configuración inicial del dispositivo

Dentro de la pestaña "Configurar red" el usuario tiene la posibilidad de escanear las redes inalámbricas dentro del radio de alcance del módulo WiFi (Fig. 62).

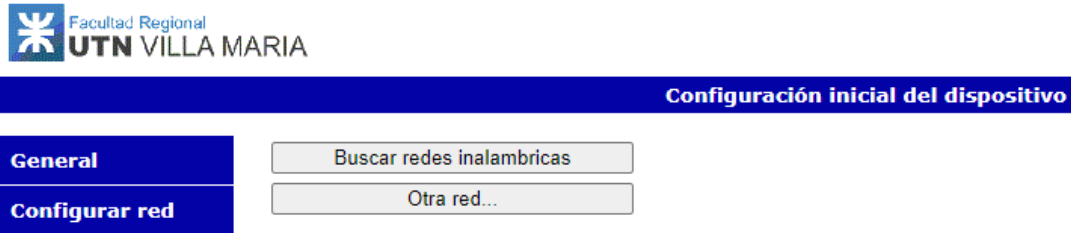


Fig. 62 Pagina de conexión a red Wifi

Al iniciar la búsqueda de redes se listan todas las redes disponibles y visibles (Fig. 63). Si la red deseada no fue encontrada es posible que ésta tenga el SSID oculto. Para esto se agregó la opción "Otra red..." con la que se puede buscar una red oculta con solamente ingresar el tipo de red, el SSID y la clave.

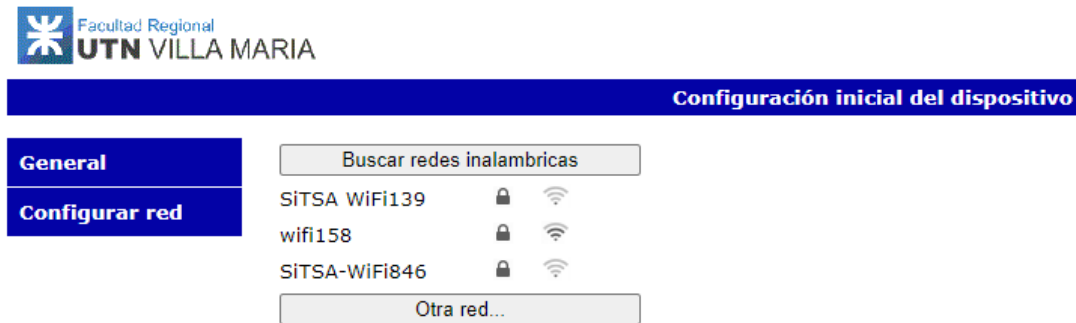


Fig. 63 Redes encontradas

Una vez seleccionada la red deseada y luego de haber ingresado la clave correcta, inicia la conexión a dicha red (Fig. 64). Una vez finalizado el proceso de conexión, el dispositivo pasa de modo configuración a modo normal y está listo para ser utilizado.



General

Configurar red

Reconexión en Progreso

El proceso de conexión a otra red ha comenzado! Tendrá que conectar esta PC/laptop/dispositivo móvil a la nueva red ("wifi158") para poder acceder nuevamente a esta página de configuración.

Red a la que estaba conectado:

- **SSID:** "Tesis"
- **Tipo de WLAN:** adhoc (IBSS)

Red a la que se conectará:

- **SSID:** "wifi158"
- **Tipo de WLAN:** infrastructure (BSS)

Fig. 64 Conexión en progreso



Conclusión

En el presente trabajo se ha logrado el diseño y la implementación de un dispositivo de medición de consumo de agua y de energía eléctrica basado en el concepto de “internet de las cosas”, quedando demostrada la viabilidad del desarrollo de objetos IoT para el hogar y para distintos ámbitos.

Se pudieron alcanzar todos los objetivos y cumplir con las especificaciones planteadas al inicio del desarrollo. Se pudo lograr un dispositivo totalmente funcional, pensado y diseñado para poder ser adaptado fácilmente a distintas necesidades y aplicaciones.

Las tecnologías elegidas en un comienzo, fueron las que consideramos más adecuadas desde el punto de vista de la aplicabilidad, robustez, facilidad de manejo, costos y durabilidad. Sin embargo, durante el desarrollo del proyecto fueron surgiendo distintos problemas y desafíos que hicieron que debiéramos modificar, adaptar y cambiar diversas cosas para poder llegar al prototipo final.

Habiendo finalizado, podemos decir que existen muchas posibilidades de mejora, a fin de lograr un mejor dispositivo.

Uno de los puntos a tener en cuenta, como mejora a futuro, es el desarrollo y la utilización de un servidor web dedicado y diseñado exclusivamente para esta aplicación. Si bien Ubidots se adapta a las necesidades de este proyecto, creemos que, con un desarrollo propio y pensado, desde su inicio, exclusivamente para cumplir con todos los requisitos de esta aplicación en particular, se lograría una mayor performance, usabilidad y un mejor producto final.

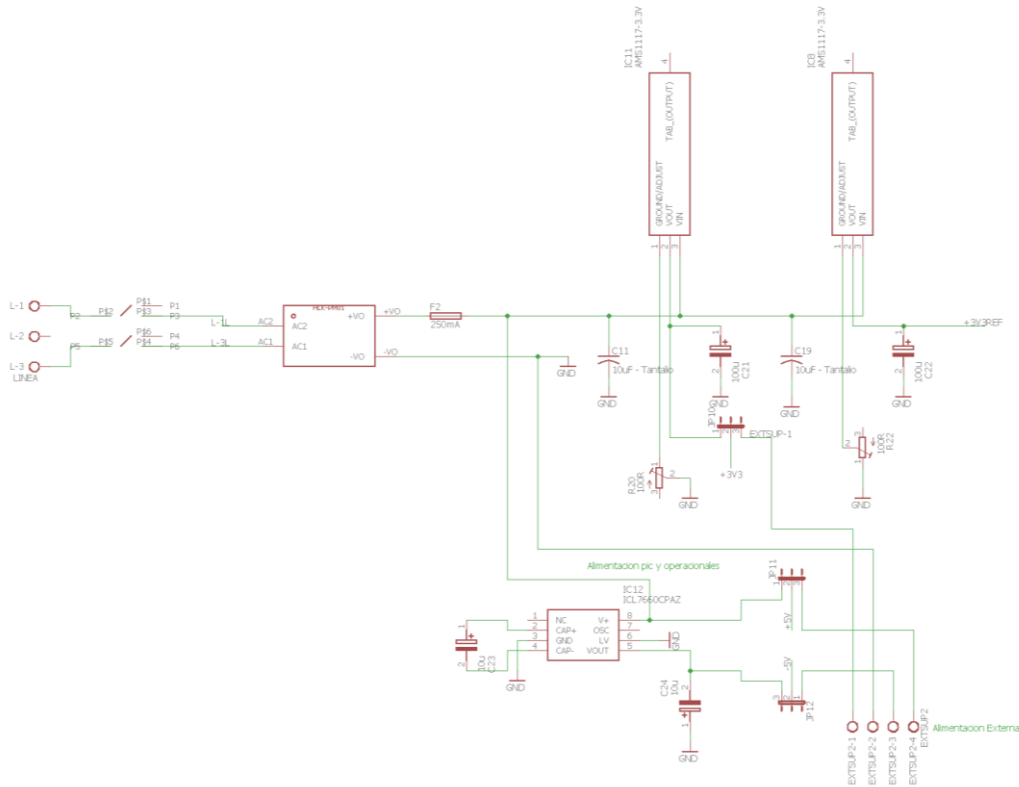
Otro de los puntos a tener en cuenta, quizás en versiones futuras del dispositivo, es la utilización de un microcontrolador que permita contar con un conversor analógico-digital (ADC) más capaz que el que se utilizó en este trabajo. El elegido (PIC 32MX360F512) cuenta con un ADC de 10 bits de resolución, pudiendo ser reemplazado por otro microcontrolador de la familia que cuente con ADC de 12 bits, permitiendo así lograr una mayor precisión en las mediciones de señales analógicas, como lo son la tensión y la corriente.



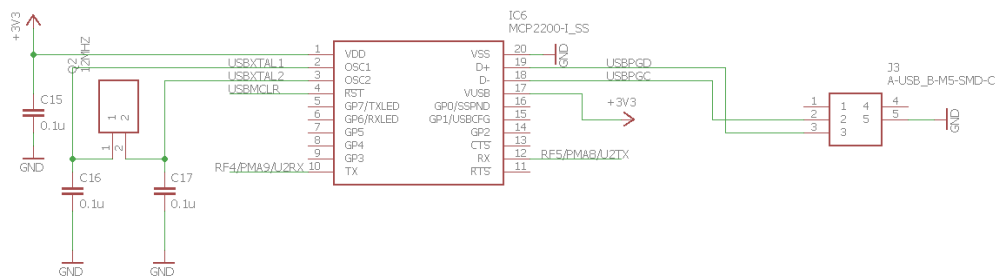
Bibliografía

- [1] **Mc Electronics**. “Comunicación Wireless con PIC”.
- [2] **Lucio Di Jasio**. “Programming 32-bit Microcontrollers in C, Exploring the PIC32”- Ed. Newness.
- [3] **Hugo Omar Grazzini**. “Mediciones Electrónicas”-Ed. Universitas.
- [5] **Allan R. Hambley**. *Electrónica*. 2ª Edición. 2001.
- [6] **Microchip**. “PIC32MX Family Reference Manual”. 2008.
- [7] **Mc Electronics**. “Telemetría y control remoto a través de wi-fi utilizando el stack tcp/ip de microchip”.
- [8] **Gerardo Guacaneme Valbuena, Didier Alexis Pardo Agudelo**. “Diseño e implementación de un sistema de medición de consumo de energía eléctrica y agua potable remoto con interacción al usuario basado en el concepto internet de las cosas”.
- [9] <https://www.ingenierosindustriales.com/como-calcular-el-caudal-simultaneo-de-agua-en-un-edificio-de-viviendas>. [Fecha de consulta: 15/03/2018].
- [10] https://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro_de_documentos/clientes_y_usuarios/personas/aguas/vinculacion/Criterios%20para%20definir%20el%20diametro%20de%20acometida%20y%20medidor.pdf. [Fecha de consulta: 21/06/2016].
- [11] <https://www.elespectador.com/noticias/economia/empresa-colombiana-le-apuesta-al-internet-de-cosas-vend-articulo-565379>. [Fecha de consulta: 28/09/2018].
- [12] <https://bbvaopen4u.com/es/actualidad/api-rest-que-es-y-cuales-son-sus-ventajas-en-el-desarrollo-de-proyectos>. [Fecha de consulta: 28/09/2018].
- [13] UNIT UT71A/B/C/D/E Operating Manual Digital Multimeters.
- [14] <https://toolboom.com/es/digital-clamp-meter-uni-t-ut201/>. [Fecha de consulta: 15/06/2019].

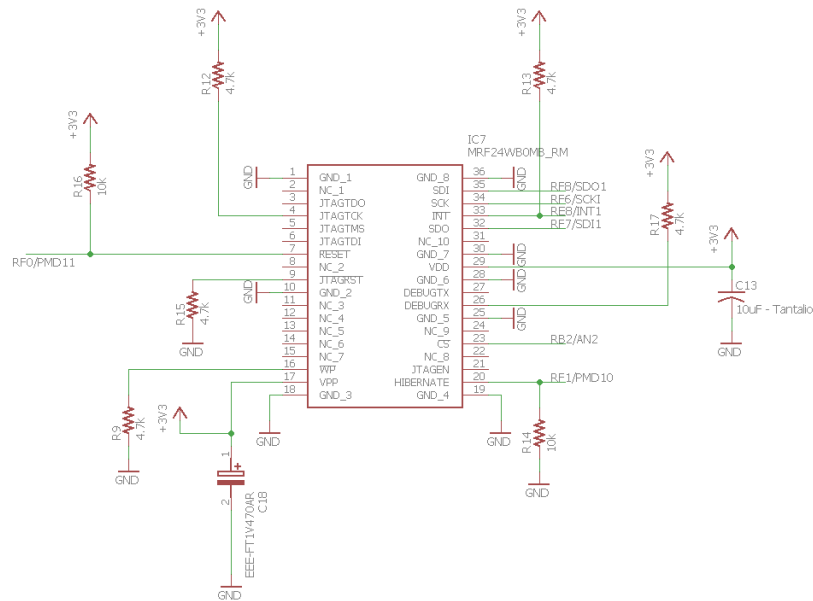
- Fuente de alimentación



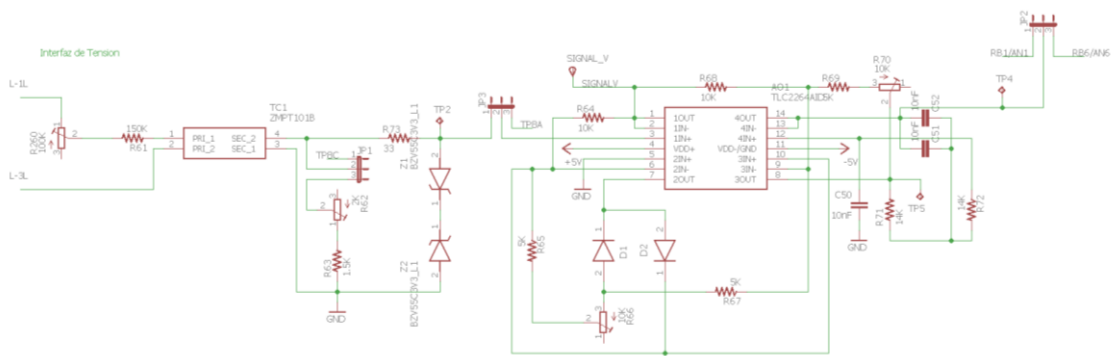
- Controlador USB



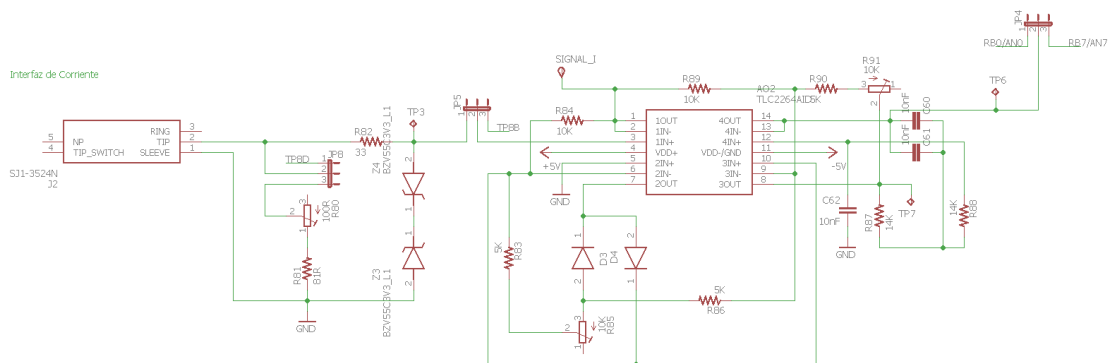
- Módulo WiFi



- Circuito interfaz de medición de tensión

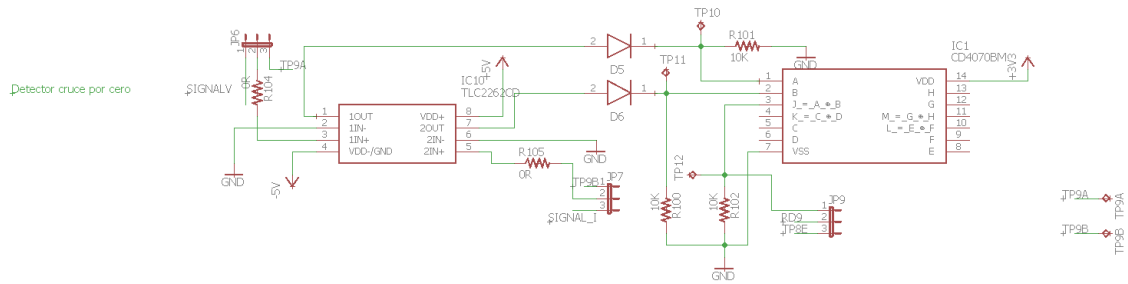


- Circuito interfaz de medición de corriente

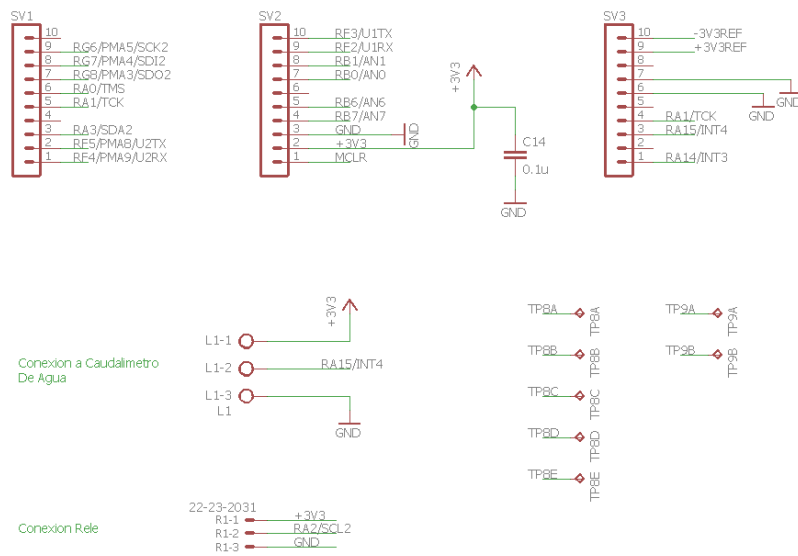




- Circuito interfaz de detección de cruce por cero

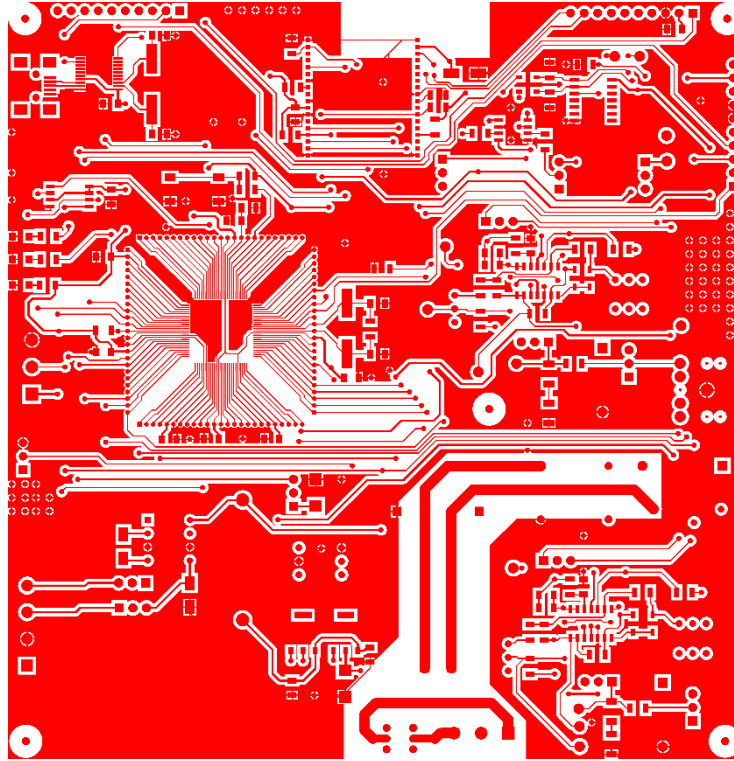


- Conectores de entrada/salida

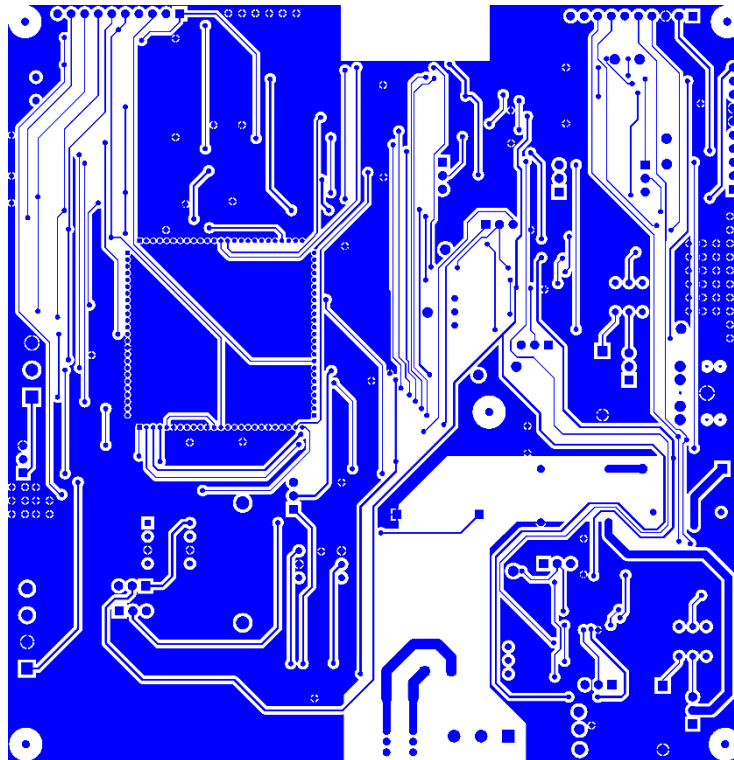


ANEXO B: Archivos gerber para fabricación de PCB

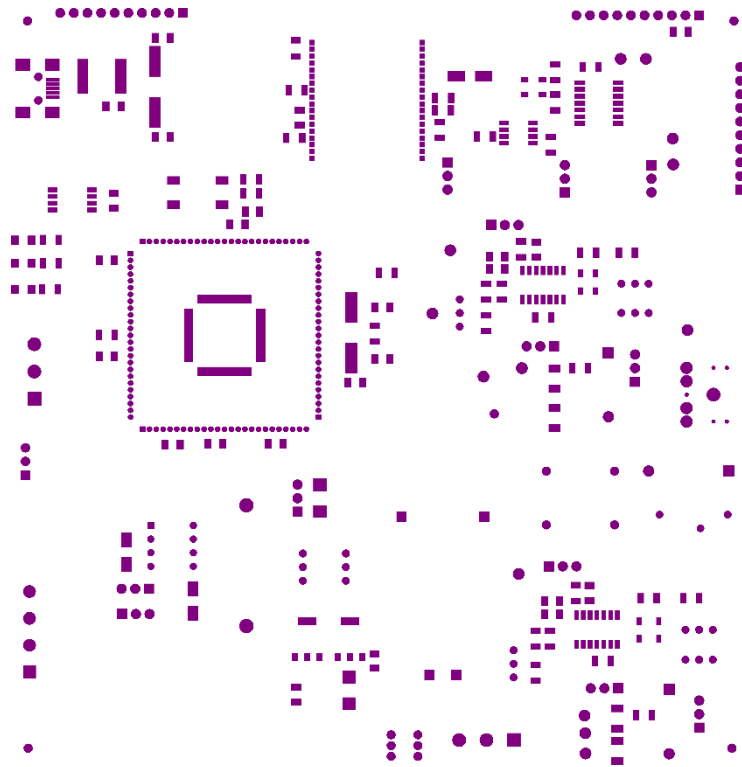
- Capa superior



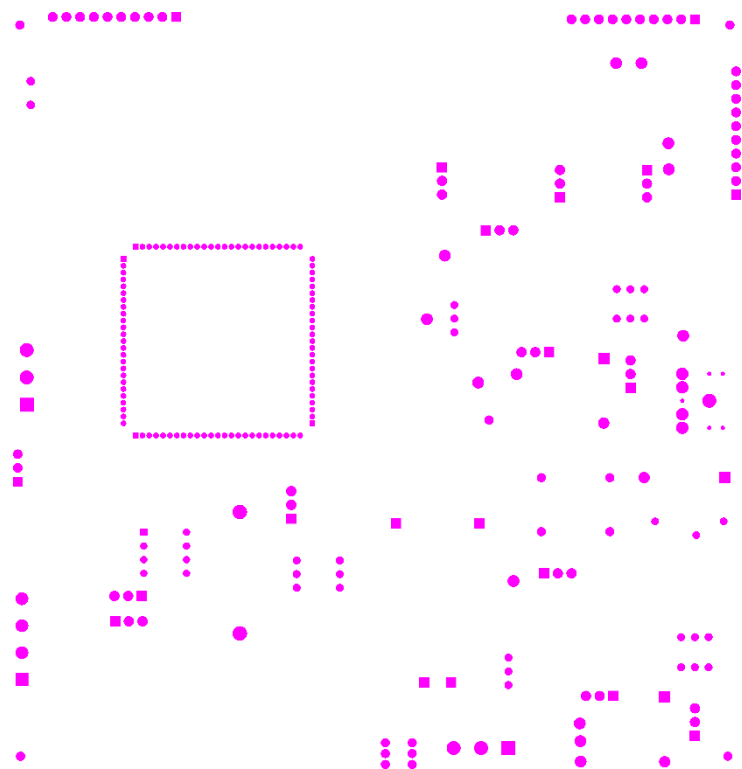
- Capa inferior



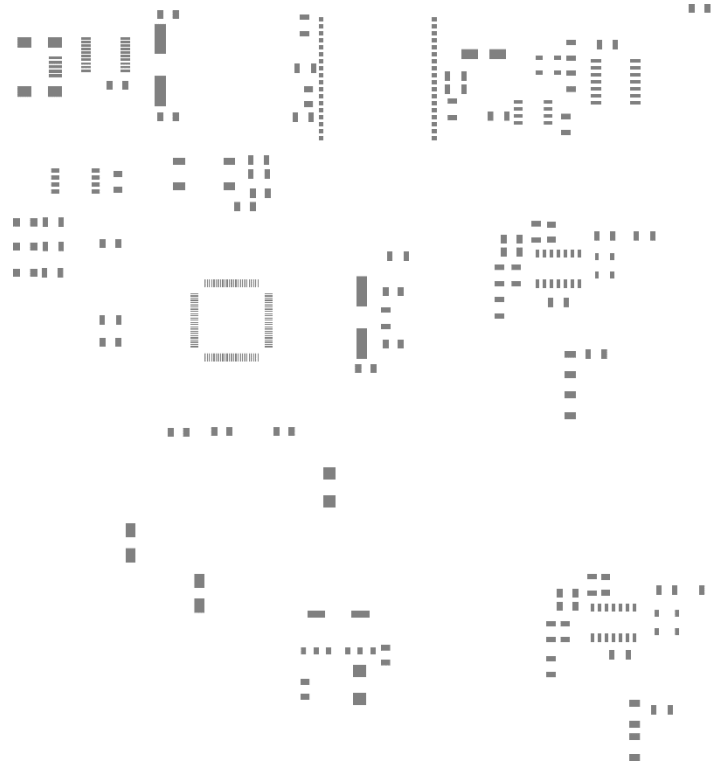
- Máscara superior de soldadura



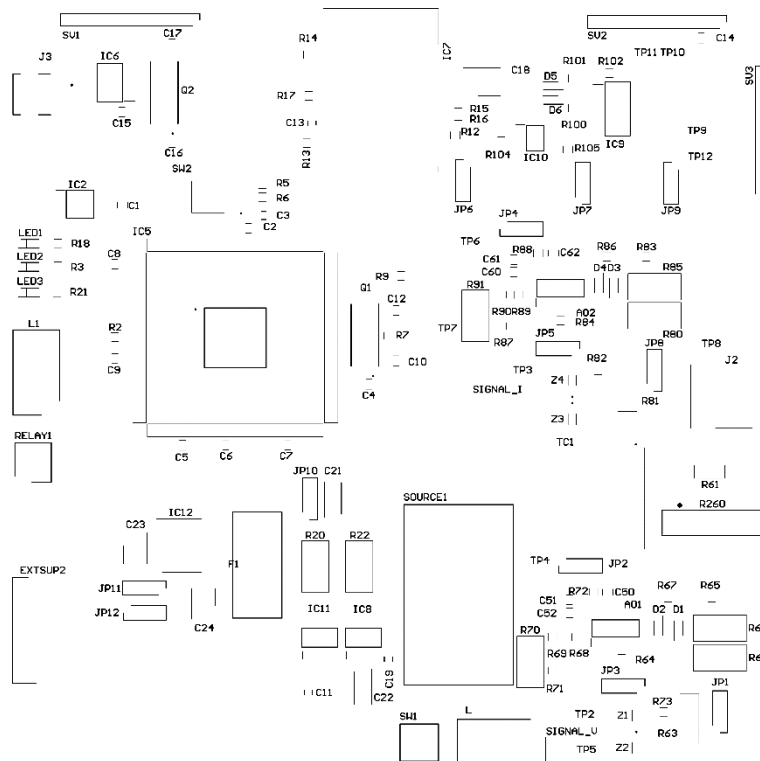
- Máscara inferior de soldadura



- Máscara superior de pasta

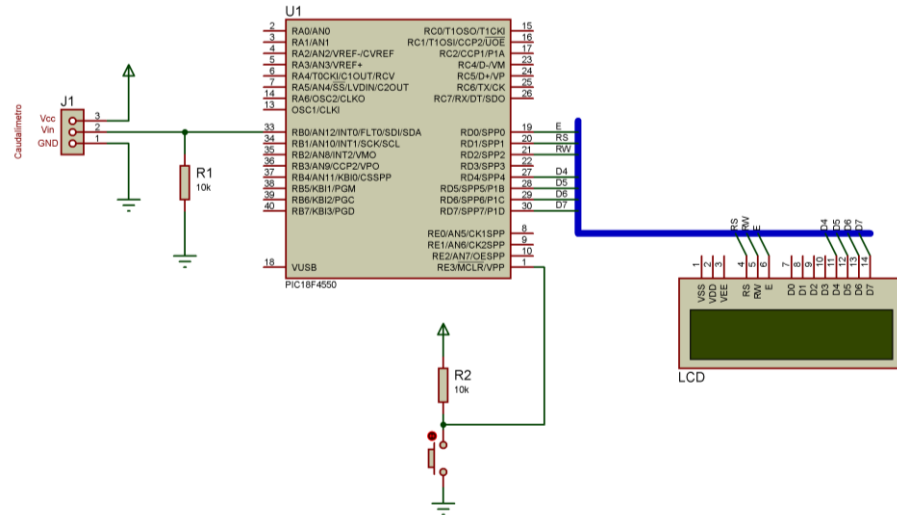


- Máscara de componentes



ANEXO C: Circuito y programa utilizado para la calibración del caudalímetro

- Esquemático



- Programa

```
#include <18f4550.h>
#FUSES NOWDT, XT, PUT, NOPROTECT, NODEBUG, NOBROWNOUT, NOLVP, NOCPD, NOWRT
#use delay(clock=8000000)
#use standard_io(D)
#define use_portD_LCD TRUE
#include <lcd.c>

int32 contador = 0;

#int_ext
void interrupcion()
{
    contador++;
}

void main()
{
    delay_ms(30);
    lcd_init();
    ENABLE_INTERRUPTS(GLOBAL); // Habilitar interrupción RB0/INT.
    ENABLE_INTERRUPTS(INT_EXT);

    while (true)
    {
        lcd_gotoxy(1,1);
        printf(lcd_putc, "CALIBRACION");
        lcd_gotoxy(1,2);
        printf(lcd_putc, "Pulsos: %ld", contador);
    }
}
```