

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE MEDIDORES DE
ENERGÍA PARA ARTEFACTOS DOMÉSTICOS**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico, que presenta el bachiller:

Nelson Eduardo Huiman Tocto

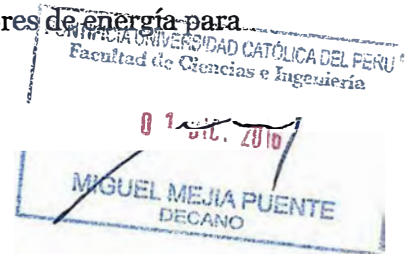
ASESOR: Angel Kamt Marconi

Lima, noviembre del 2017



TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : Diseño e implementación de una red de medidores de energía para artefactos domésticos.
Área : Telecomunicaciones. #1337
Asesor : Angel Kamt Marconi.
Alumno : Nelson Eduardo Huiman Tocto.
Código : 20105352
Fecha : 17 de Noviembre del 2016



Descripción y Objetivos

La cultura de ahorro de energía no es común en la población peruana; sin embargo, ahora son cada vez más las familias, las cuales intentan encontrar medios para poder lograr un ahorro en el consumo de energía eléctrica en sus hogares. Actualmente se utilizan distintos dispositivos para la medición y telemedición de energía eléctrica a nivel industrial, pero son pocos los productos que estén dirigidos para un uso doméstico y de fácil control y manejo para el común de los usuarios dentro de sus hogares.

Esta tesis propone adaptar las tecnologías ya existentes dentro de las áreas de medición y telemedición de energía eléctrica para el desarrollo de una red de medidores de energía eléctrica activa para cargas domésticas, con la capacidad de enviar la información de cada dispositivo conectado a la red a un servidor centralizado.

El objetivo general de la tesis es el desarrollo de la red de los medidores de energía eléctrica para uso doméstico y que permita obtener los datos del consumo de cada dispositivo que se encuentre conectado a la red.

La presente tesis consiste específicamente en el desarrollo del equipo de medición de energía eléctrica con la capacidad de comunicación inalámbrica. Cada equipo tendrá a versatilidad para conectarse a cualquier tomacorriente de la casa y permitirá medir el consumo de energía eléctrica de cualquier otro dispositivo que se conecte a la red.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
M. Sc. Ing. MIGUEL ANGEL CATANO SÁNCHEZ
Coordinador de la Especialidad de Ingeniería Electrónica



TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : Diseño e implementación de una red de medidores de energía para artefactos domésticos.

Índice

Introducción

1. Situación actual de la medición y telemedición de energía eléctrica en el Perú.
2. Estado del arte de las tecnologías de medición y telemedición de energía eléctrica.
3. Diseño de la red de medidores de energía.
4. Pruebas y resultados.

Conclusiones

Recomendaciones

Bibliografía

Anexos

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
M. Sc. Ing. MIGUEL ÁNGEL CATANO SÁNCHEZ
Coordinador de la Especialidad de Ingeniería Electrónica

Resumen

La energía eléctrica es uno de los principales recursos de gran interés que garantiza el desarrollo; y pese a ello, las personas utilizan desmesuradamente sus artefactos eléctricos sin reconocer el gran valor de este recurso.

Los consumidores pueden utilizar adecuadamente sus artefactos eléctricos mediante el uso de herramientas que le faciliten este fin y adoptando pautas para el desarrollo de una conducta que permita contribuir a la reducción gradual del consumo energético y a un ahorro significativo en la economía de sus hogares.

Es así, como la presente tesis tiene como objetivo desarrollar una herramienta que le brinde al usuario información detallada del consumo de energía eléctrica de un conjunto de artefactos domésticos en su hogar. Esto se realizará mediante la implementación de una red de medidores de energía eléctrica y como resultado, el usuario será capaz de tomar una decisión conciente e informada en la adaptación de posibles medidas para el ahorro de energía eléctrica dentro de su hogar.

Dado que los productos ofrecidos en el mercado son pocos y no versátiles para el usuario, se busca desarrollar un sistema que cubra todos los requerimientos; y por consiguiente, el usuario pueda tener acceso a la información de una manera rápida y sencilla.

Finalmente, desarrollado el sistema de medición de energía eléctrica se realizarán las pruebas tomando en consideración los artefactos eléctricos comunes en el hogar. Estas primeras pruebas buscan determinar la correcta obtención de datos de los medidores. Posteriormente se realizarán las pruebas de envío de información mediante el uso de una red inalámbrica que permitirá el correcto manejo de la información obtenida en el paso previo. Como resultado final, el usuario logrará visualizar el consumo de energía de todos sus artefactos eléctricos en cada periodo de tiempo.

Índice General

Índice de Imágenes	III
Índice de Tablas	IV
Introducción	1
1. Situación actual de la medición y telemedición de energía eléctrica en el Perú	2
1.1. Medición de la energía eléctrica y su distribución según el sector .	2
1.2. Alternativas actuales de visualización del consumo de energía eléctrica en los artefacto dentro del hogar	6
1.2.1. Cálculo de la energía eléctrica utilizando las especificaciones de placa de los artefactos eléctricos	6
1.2.2. Eficiencia energética y su etiquetado en los artefactos . . .	7
1.3. Problemática actual del mercado de telemedición de energía eléctrica	7
2. Estado del arte de las tecnologías de medición y telemedición de energía eléctrica.	9
2.1. Alcance de la comunicación inalámbrica y la telemedición de la Energía	9
2.1.1. Tecnologías de comunicaciones inalámbricas	9
2.1.2. Evolución de la medición/telemedición de energía eléctrica	10
2.2. Productos actuales existentes en el mercado	12
3. Diseño de la red de medidores de energía eléctrica	13
3.1. Objetivos y procedimientos	13
3.2. Criterios de diseño electrónico	14
3.2.1. Introducción	14
3.2.2. Esquema general	14
3.2.3. Etapa de la medición de energía eléctrica	16
3.2.4. Procesamiento y envío de la información	22
3.2.5. Dispositivos de almacenamiento de información	28
3.2.6. Alimentación del dispositivo	33
3.2.7. Acceso a la información vía Web	34
3.3. Elaboración de los programas	35
3.3.1. Introducción	35
3.3.2. Programa del Servidor	37
3.3.3. Programa del Cliente	38
4. Pruebas y Resultados	40
4.1. Pruebas	40
4.2. Resultados	42
4.2.1. Visualización del consumo de energía eléctrica	42
4.2.2. Circuito impreso	42

4.2.3. Estructura en 3D	44
4.2.4. Costos	45
Conclusiones	48
Recomendaciones	49
Bibliografía	50

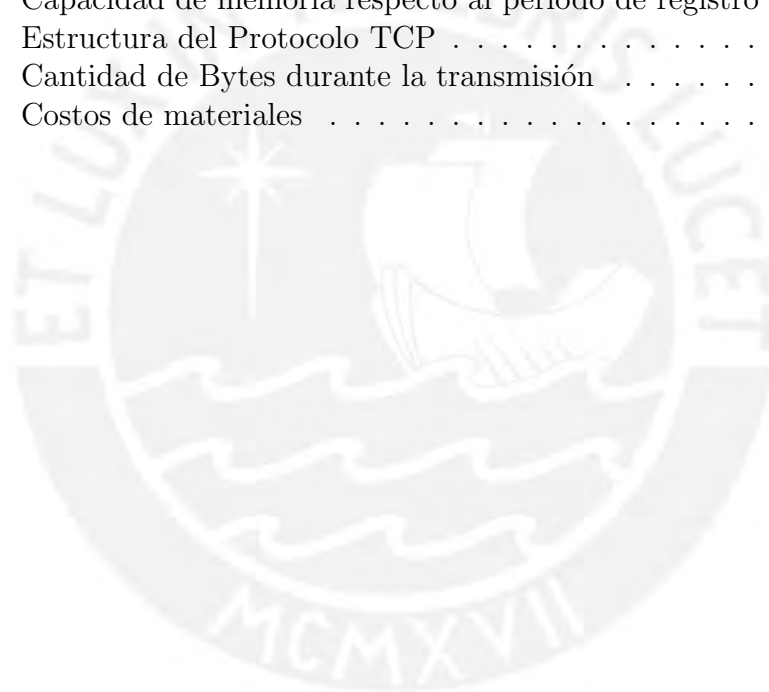


Índice de Imágenes

1.1. Precio de la energía eléctrica por usuario residencial e industrial[1]	2
1.2. Energía eléctrica total	3
1.3. Energía eléctrica consumida en cada dispositivo	4
1.4. Porcentaje de distribución por sector	5
1.5. Consumo de energía por habitante en el Perú[2]	5
1.6. Datos de placa de un artefacto doméstico	6
1.7. Etiqueta de eficiencia energética[3]	7
2.1. Evolución de las técnicas de telemedición de energía eléctrica . . .	11
2.2. Satechi IQ Plug[4] y Ziboo Plug Energy[5]	12
3.1. Diagrama de bloques del proceso de desarrollo del sistema	13
3.2. Diagrama de bloques del equipo de medición de energía eléctrica .	15
3.3. Arquitectura del sistema de comunicación	15
3.4. Chip AD71056	17
3.5. Esquemático de la Etapa de Medición de Energía	18
3.6. Conexión del canal V2	18
3.7. Conexión del canal V1	19
3.8. Optocoplador PS2501	22
3.9. Esquemático de la Etapa de Acondicionamiento de la señal	22
3.10. Comunicación UART[6]	23
3.11. Comunicación SPI[6]	23
3.12. Comunicación I ² C[6]	24
3.13. NodeMCU[7]	25
3.14. ESP-12E	25
3.15. DS1338-3	28
3.16. DS1338 - Conexión[8]	28
3.17. Memoria FRAM FM24CL32	32
3.18. Esquemático de la Etapa de Control	32
3.19. Módulo conversor a $5V_{DC}$	33
3.20. Esquemático de la Etapa de Alimentación	33
3.21. Arquitectura final cliente-servidor	35
3.22. Diagrama de Flujo del Servidor	38
3.23. Diagrama de flujo del Cliente - Usuario externo	38
3.24. Diagrama de flujo del Cliente - Medidor	39
4.1. Conexión interna Regleta - Medidor	40
4.2. Conexión Regleta - Medidor	40
4.3. Conexión inalámbrica del medidor con el Wi-Fi del domicilio . . .	41
4.4. Conexión del Servidor	41
4.5. Conexión inalámbrica Medidor - Servidor	42
4.6. Impresión del consumo eléctrico del usuario	42
4.7. Capa de cobre superior del medidor de energía	43
4.8. Capa de componentes superior del medidor de energía	43
4.9. Capa de cobre inferior del medidor de energía	43
4.10. Capa de componentes inferior del medidor de energía	44
4.11. Dispositivo de medición final	44
4.12. Modelo 3D de la pieza final con su estructura cerrada	44
4.13. Modelo 3D de la pieza final con su estructura abierta	45

Índice de Tablas

1.1. Venta de energía eléctrica por sector de consumo	4
1.2. Cálculo mensual del consumo de potencia eléctrica por cada artefacto eléctrico	6
1.3. Tabla comparativa entre sectores	8
2.1. Tecnologías de conexión inalámbrica[9]	9
2.2. Porcentaje de hogares con acceso al servicio de Internet[10]	10
2.3. Comparación entre productos ofrecidos en el mercado	12
3.1. Tabla comparativa de chips	17
3.2. Tabla de selectores de frecuencia	20
3.3. Módulos ESP8266EX[7]	25
3.4. Número de pulsos respecto al periodo de registro	31
3.5. Cantidad de Bytes a usar respecto al número máximo de pulsos	31
3.6. Número de bytes a usar respecto al periodo de registro	31
3.7. Capacidad de memoria respecto al periodo de registro	31
3.8. Estructura del Protocolo TCP	36
3.9. Cantidad de Bytes durante la transmisión	37
4.1. Costos de materiales	46



INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica es un recurso cada vez más importante para el ser humano y para la cual se debe establecer una cultura de ahorro orientado al sector domiciliario. Sin embargo, el usuario al no tener una herramienta que le muestre la información total o detallada sobre su consumo de energía eléctrica seguirá utilizando este recurso desmesuradamente.

El presente trabajo propone el desarrollo de una red de medidores de energía, la cual será parte complementaria del sistema eléctrico del hogar, con el fin de obtener la información del consumo de energía eléctrica. La información obtenida de los medidores de energía será procesada y almacenada en un servidor con su respectivo registro en el tiempo y finalmente, el usuario pueda visualizar la fecha y el monto de energía eléctrica consumida, ya sea en soles o en kWh.

En el primer capítulo de este documento se analiza la situación actual de medición de energía eléctrica en el Perú y los distintos métodos que el usuario doméstico tiene para visualizar su consumo de energía eléctrica.

En el segundo capítulo se presenta el estado del arte de las diversas tecnologías de medición de energía eléctrica y de comunicación en el mercado actual.

El tercer capítulo se enfoca en el alcance final del proyecto, el proceso del diseño e implementación de la red de medidores de energía eléctrica y los respectivos criterios a utilizar para su desarrollo.

En el cuarto capítulo se muestra los resultados de las etapas de implementación y prueba del producto; además, incluye el análisis de costo de los materiales adquiridos.

Finalmente, se mencionan las conclusiones obtenidas como resultado de la investigación realizada y las múltiples recomendaciones que surgieron a partir del diseño de la solución.

1. Situación actual de la medición y telemedición de energía eléctrica en el Perú

De acuerdo a la Organización Latinoamericana de la Energía (OLADE), el Perú es visto como uno de los países con menor eficiencia energética y esto se debe a que la región de América Latina en la actualidad aún no ha incorporado tecnologías eficientes que permitan desplazar el conjunto de electrodomésticos, vehículos y equipos que invaden el mercado, obteniendo de esta manera un "parque devorador de energía", y por ende ineficiente. Destacan significativamente en este rubro solo tres países: México, Brasil y Ecuador[11].

A este mal uso de la energía eléctrica se le añade el precio que se debe pagar por ella. En la **figura 1.1** se toma en consideración los sectores residencial e industrial y se visualiza que en el Perú en la actualidad es uno de los países cuyo costo por potencia eléctrica consumida es elevado, superando en ambos sectores a Argentina a nivel de Sudamérica. En la misma **figura 1.1** también se puede visualizar el incremento del precio de este recurso con el transcurrir de los años; tanto para el sector residencial, como para el sector industrial.



Fig. 1.1: Precio de la energía eléctrica por usuario residencial e industrial[1]

1.1. Medición de la energía eléctrica y su distribución según el sector

La medición de la **potencia instantánea** se obtiene del valor de voltaje y corriente consumidos por cada carga de manera independiente y realizando una multiplicación entre ambos valores de la siguiente manera:

$$Pot_{eléctrica}(t) = V_{carga}(t) * I_{carga}(t)$$

En AC (corriente alterna) el voltaje y la corriente varían respecto al tiempo.

$$V(t) = V_m * \text{Cos}(w * t + \theta_v)$$

$$I(t) = I_m * \text{Cos}(w * t + \theta_i)$$

Se sustituye las ecuaciones de voltaje y corriente en la ecuación general de la potencia instantánea.

$$P(t) = \frac{1}{2} * V_m * I_m * \text{Cos}(\theta_v - \theta_i) + \frac{1}{2} * V_m * I_m * \text{Cos}(2 * w * t + \theta_v + \theta_i)$$

Debido a que la potencia instantánea es difícil de medir físicamente con un instrumento se utiliza la potencia promedio. Esta es el promedio de la potencia instantánea a lo largo de un periodo de tiempo y se define de la siguiente manera:

$$P = \frac{1}{T} * \int_0^T * p(t) * dt$$

Es presentado en su forma desarrollada como se muestra:

$$P = \frac{1}{2} * V_m * I_m * \text{Cos}(\theta_v - \theta_i)$$

Para el caso que se presente un desfase entre el voltaje y la corriente de la carga se considera el factor de potencia equivalente a:

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

Se obtiene el valor de la **potencia promedio en watts**.

$$P = \frac{1}{2} * V_m * I_m * fp$$

El valor de la energía eléctrica se halla matemáticamente, tal como se muestra en la **figura 1.2**.

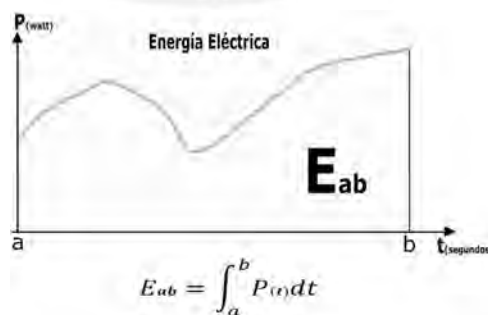


Fig. 1.2: Energía eléctrica total
Elaboración propia

Sin embargo, para hallar la energía eléctrica consumida en cada dispositivo de medición se realiza la sumatoria del producto de cada **potencia eléctrica promedio** por su respectivo intervalo de tiempo. Como resultado final se obtiene el valor de la **energía eléctrica** consumida por el usuario en cada una de las cargas de manera periódica, tal como se muestra en la **figura 1.3**.

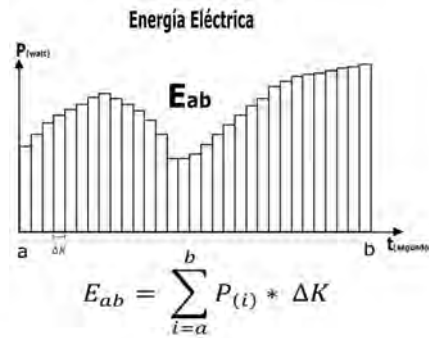


Fig. 1.3: Energía eléctrica consumida en cada dispositivo
Elaboración propia

La comercialización de la energía eléctrica se distribuye tal como se visualiza en la **tabla 1.1**[12], resaltando como interés el **sector residencial (doméstico)**

Tabla 1.1: Venta de energía eléctrica por sector de consumo
Elaboración propia

Año	Industrial (Gigawatt hora)	Comercial (Gigawatt hora)	Residencial (Gigawatt hora)	Alumbrado Público (Gigawatt hora)
2007	13824.0	4374.6	5863.8	659.3
2008	15437.3	4494.9	6357.3	674.9
2009	14943.0	4815.1	6644.6	684.4
2010	16434.7	5205.8	7086.2	709.4
2011	17729.8	5615.6	7645.6	827.0
2012	18655.0	5908.7	8044.6	870.1

De acuerdo a la **tabla 1.1** se puede deducir el porcentaje de distribución para cada uno de los sectores considerados en el año 2012, tal como se muestra en la **figura 1.4**.

- Sector industrial (55.72 %).
- Sector residencial (24.03 %).
- Sector comercial (17.7 %).
- Sector alumbrado público (2.55 %).

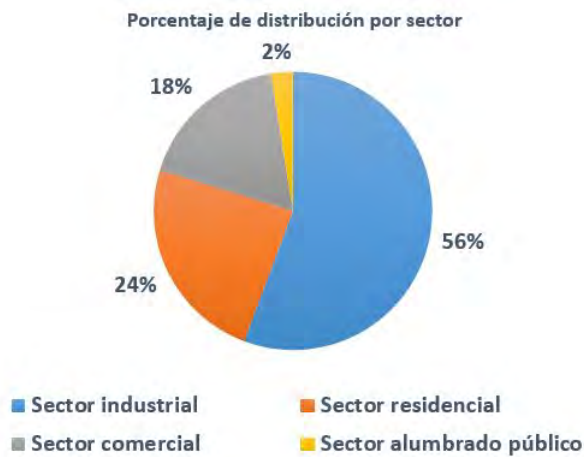


Fig. 1.4: Porcentaje de distribución por sector
Elaboración propia

En la **figura 1.4** se observa que la distribución en el sector residencial está en segundo lugar con un gran porcentaje, el cual incluye al **sector doméstico** y presenta un actual aumento progresivo del consumo de energía eléctrica respecto al número de habitantes en la sociedad peruana, tal como se observa en la **figura 1.5**. Por lo que se tiene una gran demanda dentro de un gran sector y cuyo costo del recurso es uno de los más costosos.



Fig. 1.5: Consumo de energía por habitante en el Perú[2]
Elaboración propia

1.2. Alternativas actuales de visualización del consumo de energía eléctrica en los artefacto dentro del hogar

1.2.1. Cálculo de la energía eléctrica utilizando las especificaciones de placa de los artefactos eléctricos

Cada artefacto eléctrico tiene incluido una placa de datos, la cual contiene información como la características físicas del producto e información de la procedencia del producto, etc. Además, muestra la potencia eléctrica nominal que es consumida por el artefacto durante su uso, tal como se muestra en la **figura 1.6**.



Fig. 1.6: Datos de placa de un artefacto doméstico
Fuente propia

A continuación, en la **tabla 1.2** se realiza un ejemplo de cálculo de la energía eléctrica consumida por un artefacto eléctrico y su respectivo costo en relación a las tarifas asignadas por OSINERGMIN (ctm. S./kWh 36.49)[13].

Tabla 1.2: Cálculo mensual del consumo de potencia eléctrica por cada artefacto eléctrico

Elaboración propia

Artefacto Eléctrico	Potencia Promedio (kW)	Tiempo promedio de uso diario por horas	Potencia Eléctrica total diaria (kWh)	Costo mensual (S/.)
Artefacto 1	0.3	2	0.6	6.60
Artefacto 2	0.2	3	0.6	6.60
Artefacto 3	1.0	1	1	11.00
Artefacto 4	0.7	1	0.7	7.70

1.2.2. Eficiencia energética y su etiquetado en los artefactos

Una primera alternativa a considerar como referencia del consumo de cada artefacto es la eficiencia energética. Este es el factor que permite al usuario identificar rápidamente qué producto consume mayor o menor energía eléctrica dentro de un domicilio[14].

Las etiquetas están clasificadas de acuerdo a la eficiencia del producto como clase A, B, C, D, E, F y G, tal como se muestra en la **figura 1.7**. Un producto de clase A es considerado como un producto con menor consumo de energía y mayor eficiencia; por otro lado, un producto de clase G es tomado como un producto de mayor consumo de energía y de baja eficiencia[3].

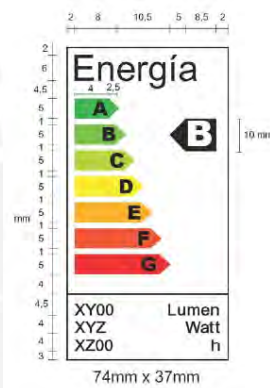


Fig. 1.7: Etiqueta de eficiencia energética[3]

1.3. Problemática actual del mercado de telemedición de energía eléctrica

El incremento del consumo masivo de la energía eléctrica aumenta cada año a nivel nacional, tal como se visualiza en la **figura 1.5**. En consecuencia, ningún sector es ajeno a este fenómeno y el **sector doméstico** al abarcar una gran concentración de usuario y no tener un pronto retorno de inversión ante la implementación de un posible sistema de solución a este incremento de consumo de energía eléctrica, se debe plantear alternativas que sean de bajo costo, fácil manejo, flexible ante la concentración que presenta y con capacidad de comunicación que le permita al usuario obtener la información eléctrica de sus artefactos eléctricos, para así lograr una disminución gradual de este servicio y un ahorro progresivo en cada uno de los hogares como resultado de su uso cotidiano.

Hoy en día existen sistemas de telemedición de energía eléctrica, pero son utilizados con mayor frecuencia en los sectores industriales y comerciales; sin embargo, su incursión en el **sector doméstico** es limitado y el usuario al no tener acceso a esta información hace un uso desmesurado de la energía eléctrica.

El **sector industrial** representan un gran porcentaje del consumo de energía eléctrica dentro del sector económico de **56 %** y un **0.9 %** como cantidad de clientes finales de este servicio[15]. Esto indica que el sector presenta una baja

concentración frente a una gran consumo de este recurso, lo cual implica una gran inversión en la implementación de un sistema de telemedición con una gran cantidad de datos a ser transportados (cantidad de armónicos, caídas de tensión, etc.); y por lo consiguiente, se requiere de una gran inversión con un pronto retorno del mismo debido a las ganancias de la industria.

Caso contrario, el **sector residencial (doméstico)** ocupa un segundo lugar respecto al consumo de energía eléctrica con un **23%** y un **91.5%** como cantidad de clientes finales de este servicio[15]. Esto refleja un **menor consumo de energía eléctrica** y una **mayor concentración**, por la cantidad de usuarios domésticos, en comparación al sector industrial. Por lo tanto, se requiere de una red de mediano alcance para el sistema de telemedición.

Tal como se observa en la **tabla 1.3**, el **sector industrial** presenta un alto retorno de inversión ante la implementación de un nuevo sistema en sus respectivos sectores; sin embargo, el **sector doméstico** no tiene ese punto a favor. Si bien este sector presenta un bajo consumo de energía eléctrica reflejado en su pequeña extensión, tiene una gran concentración debido al gran número de artefactos eléctricos usados en una área pequeña (la casa).

Lo mencionado previamente se resume en la **tabla 1.3**, la cual muestra las características principales a considerar para la implementación de una red de telemedición frente a la problemática mencionada previamente.

Tabla 1.3: Tabla comparativa entre sectores
Elaboración propia

	Industrial (Cliente grande)	Residencial - Doméstico (Cliente pequeño)
Distribución Geográfica	Dispersa	Concentrada
Densidad de puntos	Baja	Alta
Costos de inversión	Altos y con retorno de inversión	Sin retorno de inversión
Cantidad de datos	Alta	Baja

2. Estado del arte de las tecnologías de medición y telemedición de energía eléctrica.

2.1. Alcance de la comunicación inalámbrica y la telemedición de la Energía

2.1.1. Tecnologías de comunicaciones inalámbricas

La disponibilidad de las distintas tecnologías de comunicación inalámbricas será de gran importancia debido a que no se necesitará de un medio físico para poder establecer la comunicación, entre todos los medidores de energía, y evitará así un mayor gasto en la conexión, entre los equipos y uso de más espacio. El diseño de un sistema eficaz para la gestión de la energía requiere del uso de una tecnología de comunicación adecuada[9]. A continuación se presentan las siguientes tecnologías de comunicación de mayor uso a nivel residencial y un resumen de estas en la **tabla 2.1.**

- **Wi-Fi**
Es la tecnología inalámbrica más popular utilizada en una red local de cliente (CPN), la cual brinda fiabilidad, seguridad y alta velocidad de comunicación. Está basada en el estándar IEEE 802.11 y opera en las bandas de frecuencia de 2.4 GHz, 3.5GHz y 5 GHz[9].
- **Zigbee**
Es una red de área personal (WPAN) basada en el estándar IEEE 802.15.4 y es utilizado en redes que requieran de una baja tasa de datos (250Kbps) y una larga vida de la batería (alrededor de 10 años). Zigbee tiene un alcance de 100 metros y puede ser extendida hasta 1000 metros con el Zigbee-Pro[9].
- **Bluetooth**
Es una red inalámbrica de área local basada en el estándar IEEE 802.15.1. Es utilizado típicamente en dispositivos personales móviles. No tiene ninguna capa de seguridad que impida evitar el acceso a la información en comparación con los otros estándares de comunicación inalámbrica[9].
- **RFID**
Es un sistema de identificación de radiofrecuencia bidireccional que puede implementarse en los dispositivos móviles o computadores personales[9].

Tabla 2.1: Tecnologías de conexión inalámbrica[9]

Tecnología	Estándar/Protocolo	Velocidad de Datos Máxima	Rango de Cobertura Máxima	Disponibilidad en el Mercado
Wi-Fi	IEEE 802.11	54 Mbps	250 m	Muy alta
Zigbee	IEEE 802.15.4	250 Mbps	100 m	Alta
Bluetooth	IEEE 802.15	21 kbps	100 m	Alta
RFID	RFID	4 Mbps	200 m	Media

De la **tabla 2.1** se observa que la tecnología **Wi-Fi** tiene una alta velocidad de comunicación, mayor cobertura y es de uso común en el mercado. Se observa en la **tabla 2.2** que en la actualidad el incremento de personas con acceso al servicio de Internet dentro de su hogar va en aumento, lo cual permite hacer factible el uso de la tecnología de Wi-Fi dentro del sector residencial.

Tabla 2.2: Porcentaje de hogares con acceso al servicio de Internet[10]

Ámbito geográfico	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Total	6.6	8.6	11.0	13.0	16.4	20.2	22.1	23.5
Lima Metropolitana	14.9	18.6	23.4	25.7	32.7	38.7	41.4	44.5
Resto del país	3.1	4.2	5.4	7.3	9.2	12.0	13.2	14.0
Área de residencia								
Urbana	9.1	11.7	14.9	17.4	21.8	26.6	28.9	30.7
Rural	0.0	0.1	0.1	0.3	0.4	0.8	0.9	1.2

2.1.2. Evolución de la medición/telemedición de energía eléctrica

No solo es necesario obtener la medición de la energía, sino también poder establecer la red de comunicación entre todos los medidores de energía para tener acceso y control de cada medidor, y obtener así un sistema confiable para el caso que se presente alguna falla en el sistema. Se presenta los siguientes esquemas de medición/telemedición de energía eléctrica.

- **Lectura manual-visual**

La lectura manual-visual es realizada con mayor frecuencia en el sector residencial y el registro de información de cada medidor es realizada por un operador. Estos medidores pueden ser electromecánicos o electrónicos.

- **Lectura manual-remota**

Es muy similar a la lectura computarizada, pero la diferencia está en que el registro de la información se realiza de manera remota utilizando un medio de comunicación, tales como: Ethernet y RS-485 (cableadas), celular (GPRS) y Wi-Fi (inalámbrica).

- **Lectura de Medición Automática (AMR)**

También llamada en inglés Automatic Meter Reading (AMR). AMR es la tecnología cuyo objetivo es recolectar la medición de los medidores de manera automática y el envío de comandos a los medidores. Un elemento clave en un sistema AMR es la comunicación entre medidores y servidores, a través de una interfaz RS-232, y su medio inalámbrico, ya sea vía infrarrojo o frecuencia de radio, para rangos de distancia corta[16].

- **Infraestructura de Medición Avanzada (AMI)**

También llamada en inglés como Advanced Metering Infrastructure (AMI). AMI es la tecnología que permite monitorear periódicamente el consumo de energía y controlar las operaciones de los medidores. La información obtenida es enviada para su procesamiento a un controlador de red, el cual recibe las instrucciones de control para el manejo de las cargas y la información dinámica de los precios para que la información final sea enviada al dispositivo de medición y sea visualizada por el consumidor, con el objetivo de que el usuario mejore su conciencia de ahorro de energía y reduzca su consumo[17],[18].

- **Red Inteligente**

También conocida como Smart Grid y es considerada como una infraestructura de red de energía eléctrica moderna por su gran eficiencia y confiabilidad de su control automatizado, convertidores de alta potencia, infraestructura de comunicación moderna, tecnologías de medición y sensado, y las técnicas modernas de gestión de la energía basada en la optimización de la demanda y la disponibilidad de la red[19],[20].

Se puede visualizar en la **figura 2.1** la evolución de las técnicas de telemedición de energía eléctrica.



Fig. 2.1: Evolución de las técnicas de telemedición de energía eléctrica
Elaboración propia

2.2. Productos actuales existentes en el mercado

Dentro la gama de productos que se encuentran en el mercado actual se presentan los más importantes en la **tabla 2.3** y en la **figura 2.2**. Se considera precios, el tipo de sistema operativo, su costo, modo de comunicación del producto y entre otras características que se muestran a continuación.

Tabla 2.3: Comparación entre productos ofrecidos en el mercado
Elaboración propia

Producto	Precio Unitario (Dolar)	Sistema Operativo	Costo por aplicación	Máximo de Dispositivos	Voltaje entrada V_{AC}	Modo de Comunicación Inalámbrica
Satechi® IQ Plug[4]	35	iOS	Gratis	10	100-120	Bluetooth
ZIBOO Plug Energy[5]	20	-	-	1 (dispositivo individual)	100-120	Sin comunicación
Eve Energy[21]	44.95	iOS	Gratis	No especifica el fabricante	100-240	Bluetooth
I3C Wi-Fi Smart Plug[22]	59.99	iOS	Gratis	No especifica el fabricante	100-240	Wi-Fi



Fig. 2.2: Satechi IQ Plug[4] y Ziboo Plug Energy[5]

3. Diseño de la red de medidores de energía eléctrica

3.1. Objetivos y procedimientos

El objetivo de la presente tesis es el diseño de los dispositivos de medición de energía y el desarrollo e implementación de la red que conectará cada uno de los dispositivos de medición.

El desarrollo de la tesis será dividida en 5 tareas principales las cuales serán realizadas de manera secuencial, tal y como se muestra en la **figura 3.1**.



Fig. 3.1: Diagrama de bloques del proceso de desarrollo del sistema
Elaboración propia

1. La primera etapa es el diseño del dispositivo de medición de energía eléctrica, el cual permitirá obtener la energía consumida por el artefacto electrodoméstico conectado a este.
2. En la segunda etapa se consideran las especificaciones técnicas del procesador a elegir de acuerdo a los requerimientos necesarios para el sistema y la lectura de la información obtenida de cada uno de los medidores de energía para su posterior procesamiento.
Además, se requiere de la implementación de un sistema de comunicación que permita que cada uno de los datos obtenidos de los medidores sean transmitidos correctamente al procesador del sistema.
3. La información obtenida de cada medidor será sincronizada con su respectivo instante de tiempo para su posterior registro y muestra al usuario.
4. El almacenamiento de la información, tanto de los medidores como de la hora de su medición respectiva, con el fin de evitar la pérdida de información en caso se presente algún problema en el sistema de alimentación y/o la comunicación establecida con el procesador.
5. La información no solo debe ser procesada y almacenada, sino también será mostrada al usuario para su posterior análisis.

3.2. Criterios de diseño electrónico

3.2.1. Introducción

El circuito electrónico propone un diseño modular, lo cual permitirá una mejora continua del proyecto y una optimización en todo el proceso de desarrollo.

El medidor de energía resultante será instalado dentro de una pieza modelada, la cual será la extensión a una regleta de tomacorrientes de dimensiones estándar con el fin de obtener la medición del consumo de uno o más artefactos eléctricos conectados a la regleta.

3.2.2. Esquema general

En el diagrama de bloques mostrado en la **figura 3.2** se visualiza la estructura a seguir para la elaboración de cada uno de los medidores de energía eléctrica. En este diagrama se visualiza que la única entrada al sistema será la potencia eléctrica consumida por el artefacto eléctrico, medida previamente por la **etapa medidor de energía (Bloque A)**, para luego pasar por una **etapa de acondicionamiento (Bloque B)** para que la señal de entrada pueda ser leída por el **procesador**. En el **Bloque C** está el **procesador** que enviará la información de medición y su respectiva hora de registro, obtenida mediante un **RTC**, a una memoria externa para su almacenamiento.

Finalmente, la información completa será enviada a un **servidor** accediendo a la **Internet** mediante una conexión **Wi-Fi**. La alimentación del sistema utiliza la señal de $220V_{AC}$ de la red eléctrica del hogar.

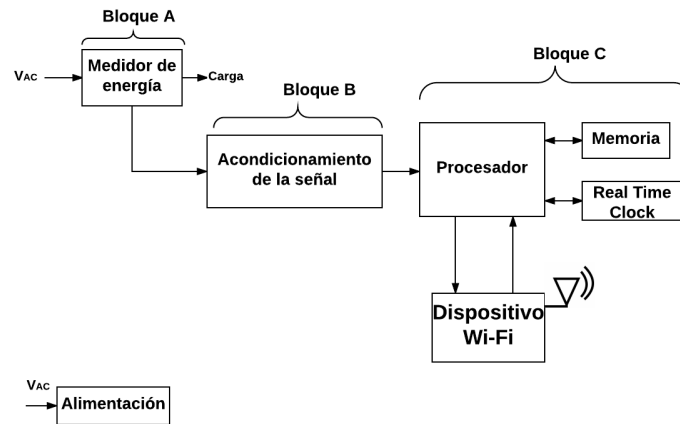


Fig. 3.2: Diagrama de bloques del equipo de medición de energía eléctrica
Elaboración propia

En la **figura 3.3** se visualiza la arquitectura de la comunicación a establecer por cada uno de los medidores de energía eléctrica instalados en el hogar, los cuales tomarán el nombre de **clientes**, y el **servidor**. Cada uno de estos clientes le enviará información al servidor periódicamente, el **servidor** recibe la información y la almacena en una base de datos a donde el **usuario Web externo** consultará. Finalmente el **usuario** visualizará la información resultante del consumo de cada uno de sus artefactos conectados a la red. Se observa en la **figura 3.3** cada uno de los tres bloques importantes, de los cuales el **Bloque A** será diseñado e implementado en su totalidad y con el uso del dispositivo mencionado en el **Bloque B** se realizará la comunicación del cliente con el servidor mediante la simulación del **Bloque C**.

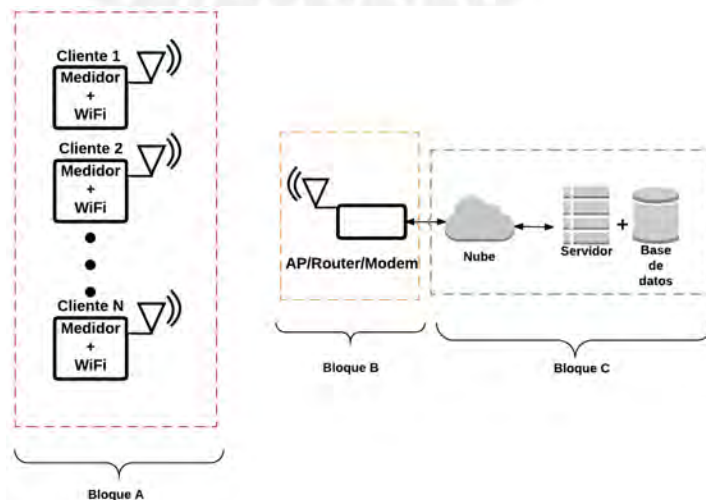


Fig. 3.3: Arquitectura del sistema de comunicación
Elaboración propia

3.2.3. Etapa de la medición de energía eléctrica

Cabe resaltar que **cada medidor de energía** será diseñado para **una única regleta de tomacorrientes**. En esta sección se toma en consideración las especificaciones técnicas, estándares de energía a cumplir y criterios de diseño del dispositivo.

- Especificaciones técnicas.
 - **Voltaje de entrada de 220V**
El voltaje de entrada será de $220V_{AC}$, el mismo que el de la red eléctrica ya que el dispositivo de medición será conectado a ella.
 - **Corriente eléctrica máxima de 20A**
Se toma este valor como máximo al tener de referencia una regleta de tomacorrientes la cual soporta un promedio máximo de corriente de 15A para el total de 10 dispositivos conectados. Debido a que nuestro dispositivo será diseñado para artefactos eléctricos del hogar este límite de 15A no será superado; sin embargo se considerará un rango de seguridad adicional de 5 A en caso de que el producto sea exigido funcionalmente; y por consiguiente, **la corriente eléctrica máxima** a considerar para el dispositivo será de **20A**.
 - **La potencia eléctrica** que circulará por cada medidor de energía será la siguiente:

$$Pot_{eléctrica} = V_{carga} * I_{carga}$$

$$Pot_{eléct.máx} = 220V * 20A$$

$$Pot_{eléct.máx} = 4,4kW$$

- Estándar de medición de energía eléctrica.
El diseño de los medidores de energía debe seguir un conjunto de normas y estándares internacionales para su correcto funcionamiento y uso para el usuario. El estándar básico a considerar para el diseño de este dispositivo de medición es el **IEC 62053-21** establecido para medidores de energía activa en **50 y 60 Hz** de **clase 1** que indica el porcentaje de error máximo en la medición[23].

Para la selección del chip medidor de energía se considera uno de **medición monofásica** debido a que en los hogares se mantiene este sistema eléctrico y el cumplimiento del **estándar IEC 62053-21**. Otras características a considerar serán mostradas en la **tabla 3.1**.

Tabla 3.1: Tabla comparativa de chips
Elaboración propia

	AD71056[24]	ADE7769[25]	STPM10[26]
Disponibilidad en el mercado	Sí	No	Sí
Tipo de empaque	16-SOIC	16-SOIC	20-TSSOP
Precio con importación (\$)	3.04	2.64.	2.68
Error de medición (%)	0.1	0.1	0.1
Impedancia de entrada (kOhm)	320	320	100

Se elige el chip medidor **AD71056**, el cual se muestra en la **figura 3.4** debido a que presenta un menor tamaño (1 cm x 0.62 cm), bajo precio y su actual disponibilidad en el mercado.



Fig. 3.4: Chip AD71056
<https://goo.gl/W3tgCq>

En la **figura 3.5** se muestra la etapa de medición de energía mediante el esquema de conexiones para el chip medidor **AD71056** y de acuerdo a las especificaciones técnicas a utilizar de [24] se hallan los parámetros de valores de voltaje , resistencias, potencia y frecuencia de salida del chip.

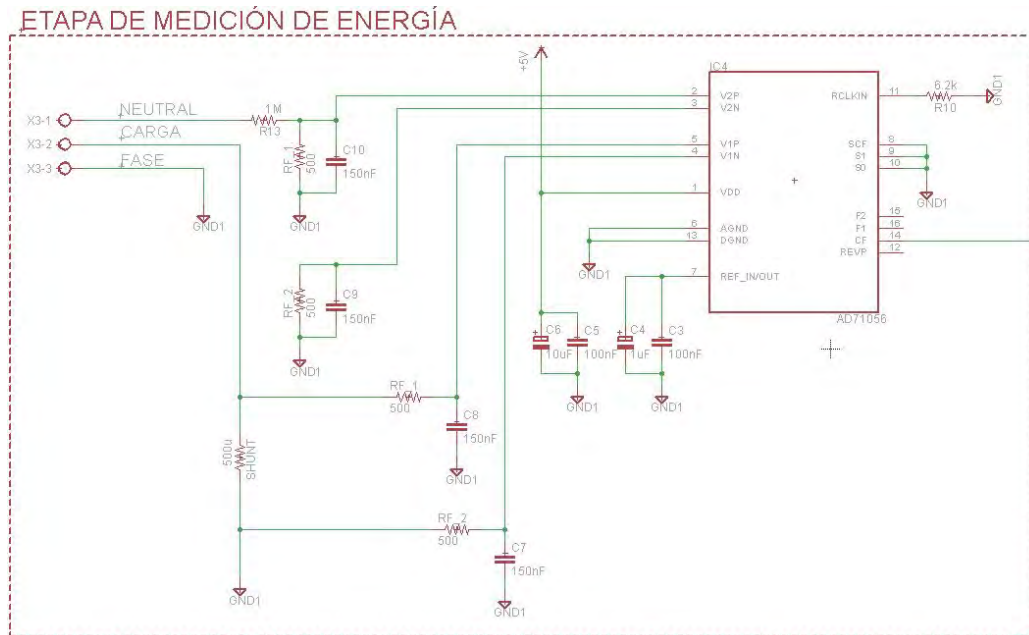


Fig. 3.5: Esquemático de la Etapa de Medición de Energía
Elaboración propia

- **V2**
Es el diferencial de voltaje en el **canal V2** (canal de voltaje) con un máximo de $V2_{pico} = 165mV$ y $V2_{rms} = 116mV$. Siguiendo el diagrama de conexiones en la **figura 3.6** se hallan los valores deseados.

$$V2 = V2P - V2N$$

Se considera los valores de las resistencias **FR1** y **FR2** de 500Ω y por divisor de voltaje se halla el valor de $V2P$.

$$V2P = V_{NLrms} * \frac{RF1}{RF1 + R_A}$$

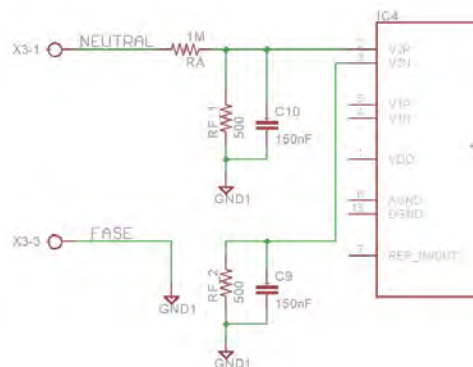


Fig. 3.6: Conexión del canal V2
Elaboración propia

Según hoja de datos se considera que el valor de impedancia de entrada para los pines V1P, V1N, V2P y V2N es $320\text{ k}\Omega$, lo cual es un valor adecuado para que esta no haga efecto de carga en las conexiones externas a su respectivo pin. Por consiguiente, los valores de las resistencias son:

- $RF1 = 500\Omega$
- $R_A = 1M\Omega$
- Cumple la condición $R_A \gg RF1$

El voltaje entre las líneas Neutro y Fase $V_{NL} = 220V_{AC}$. Por lo tanto, el valor de V2P será:

$$V2P = 220 * \frac{500\Omega}{500\Omega + 1M\Omega}$$

$$V2P = 110mV$$

$$V2 = V2P - V2N$$

$$V2 = 110mV$$

Valor adecuado de V2 que no excede a su valor máximo.

- V1

Es el diferencial de voltaje en el **canal V1** (canal de corriente) con un máximo de $V1_{pico} = 30mV$ y $V1_{rms} = 21mV$, y un máximo de **corriente eléctrica de 20A**, establecido previamente. El valor de la **resistencia shunt** debe ser muy pequeña para tener un V1 que no sobrepase su nivel máximo y para este caso su valor será de $500\mu\Omega$. Siguiendo el diagrama de conexiones en la **figura 3.7** se hallan los valores deseados.

$$V1 = I * R_{shunt}$$

$$V1 = 20A * 500\mu\Omega$$

$$V1 = 10mV$$

Valor adecuado de V1 que no excede a su valor máximo.

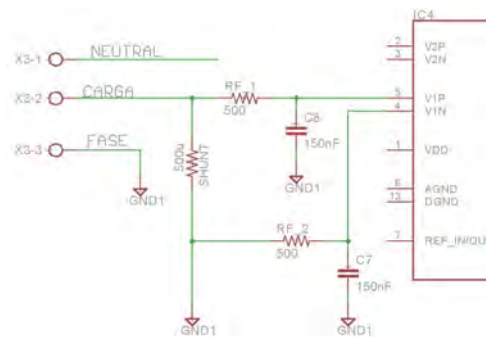


Fig. 3.7: Conexión del canal V1
Elaboración propia

- Potencia eléctrica consumida en las resistencias de entrada
 - RF1 y RF2

Se utilizará las resistencias de **empaquete 0603** (montaje superficial) debido a que se requiere un tamaño pequeño en el medidor y su valor máximo de potencia a soportar es de **62.5 mW**

$$Pot_{RF1} = \frac{(V2)^2}{RF1}$$

$$Pot_{RF1} = \frac{(110mV)^2}{500}$$

$$Pot_{RF1} = 0,024mW$$

$$Pot_{RF2} = 0,024mW$$

- R_{shunt}

Se utilizará una resistencia de **empaquete 2512** (montaje superficial) debido a que se requiere un tamaño pequeño en el medidor y su valor máximo de potencia a soportar es de **1W**.

$$Pot_{R_{shunt}} = (I)^2 * R_{shunt}$$

$$Pot_{R_{shunt}} = (20A)^2 * 500u\Omega$$

$$Pot_{R_{shunt}} = 0,2W$$

- Selectores para la salida de frecuencia en el pin CF

Los pines selectores son:

- S1
- S0
- SCF

En la **tabla 3.2** se muestra la información de los valores del factor multiplicativo para la **salida de frecuencia** de acuerdo al valor de cada uno de los selectores, extraída de [24].

Tabla 3.2: Tabla de selectores de frecuencia
Elaboración propia

SCF	S1	S0	Factor multiplicativo (f)
0	0	0	55.04
0	0	1	55.04
0	1	0	54.88
0	1	1	14049.28
1	0	0	110.08
1	0	1	110.08
1	1	0	109.76
1	1	1	109.76

De [24] se extrae la siguiente fórmula:

$$Freq = \frac{494,75 * V1_{rms} * V2_{rms} * f}{(V_{ref})^2}$$

Donde:

- Freq es la salida de frecuencia en CF.
- V1 es el voltaje del canal V1.
- V2 es el voltaje del canal V2.
- f es el factor multiplicativo resultante de la tabla 3.2.
- $V_{ref} = 2,45V$.

Para este caso, se requiere de una frecuencia pequeña y los valores para cada selector serán:

- SCF=0.
- S1=0.
- S0=0.

$$Freq = \frac{494,75 * 10mV * 110mV * 55,04}{(2,45V)^2}$$

$$Freq = 5,081Hz$$

$$Freq = 5,081 \frac{pulsos}{s} * 3600 \frac{s}{h}$$

$$Freq = 18291 \frac{pulsos}{h}$$

- Relación cantidad de pulsos que representan 1 kWh consumido en base a la $Pot_{el\acute{e}ct.m\acute{a}x}$ establecida previamente.

$$Proporci\acute{o}n = \frac{F}{Pot_{el\acute{e}ct.m\acute{a}x}}$$

$$Proporci\acute{o}n = \frac{18291 \frac{pulsos}{h}}{4,4kW}$$

$$Proporci\acute{o}n = 4157 \frac{pulsos}{kWh}$$

Con el objetivo de separar las etapas de medición de energía y la de control, se utilizará un optocoplador a la salida del **pin 14 (CF)** del chip **AD71056**, y así enviar la información de la cantidad de pulsos al procesador, los cuales representan la potencia eléctrica consumida bajo el siguiente factor de equivalencia: **4157pulsos = 1 kWh**

Para este fin se utilizará el optocoplador con código **PS2501** el cual se visualiza en la **figura 3.8**



Fig. 3.8: Optocoplador PS2501
<https://goo.gl/Z4ZfCL>

En la **figura 3.9** se muestra la conexión a seguir en la etapa de acondicionamiento de la señal

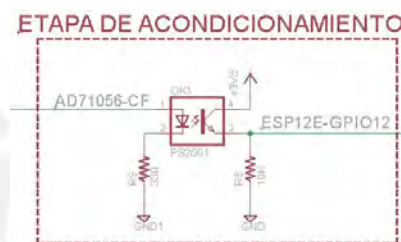


Fig. 3.9: Esquemático de la Etapa de Acondicionamiento de la señal
 Elaboración propia

3.2.4. Procesamiento y envío de la información

A) Procesador

La información a procesar por el controlador no será la potencia eléctrica, sino la **cantidad de pulsos** que representan el consumo en kWh de los artefacto eléctricos conectado al respectivo medidor de energía.

Se halla el periodo mínimo de cada pulso en relación a la potencia consumida y se considera las equivalencias establecidas en la **sección 3.2.3**.

- 4157 (pulsos/kWh).
- $Pot_{el\acute{e}ct.m\acute{a}x} = 4.4 \text{ kW}$.

$$F_{max} = 4157 \frac{\text{pulsos}}{\text{kWh}} * 4,4 \text{ kW}$$

$$F_{max} = 18291 \frac{\text{pulsos}}{h}$$

$$F_{max} = 18291 \frac{\text{pulsos}}{h} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}$$

$$F_{max} = 5,081 \frac{\text{pulsos}}{s}$$

$$T_{min} = 197 \frac{ms}{\text{pulsos}}$$

Estos pulsos son señales digitales que serán procesadas en datos entendibles para el usuario y el procesador deberá ser capaz de hacer la transmisión y recepción de la información entre este, el dispositivo de almacenamiento y el reloj de tiempo real mediante el uso de una interfaz de comunicación.

Las interfaces de comunicación a considerar como solución son las siguientes:

- **UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter)**

Es una de los métodos de comunicación más usados y comunes entre un sistema embebido y un dispositivo interno. Provee de una comunicación asíncrona full-duplex[6]. Es mayormente utilizado en estándares de comunicación, tales como: RS-232, RS-422 o RS-485[27].

Tal como se visualiza en la **figura 3.10** la comunicación empieza con un bit de inicio (S), seguido de la información a partir del bit menos significativo, un bit de paridad (Pr) y finalmente el bit de parada (P).



Fig. 3.10: Comunicación UART[6]

- **SPI (Serial Peripheral Interface)**

Es una interfaz de comunicación síncrona full-duplex usada frecuentemente para conectar varios dispositivos en modo esclavo a un maestro[6]. En la **figura 3.11** se observa que el bus SPI utiliza cuatro (4) líneas para todos los dispositivos, los cuales son la señal SCLK que proporciona la sincronización con el reloj, MOSI (master output - slave input), MISO (master input - slave output) y el CS que es el selector del chip.

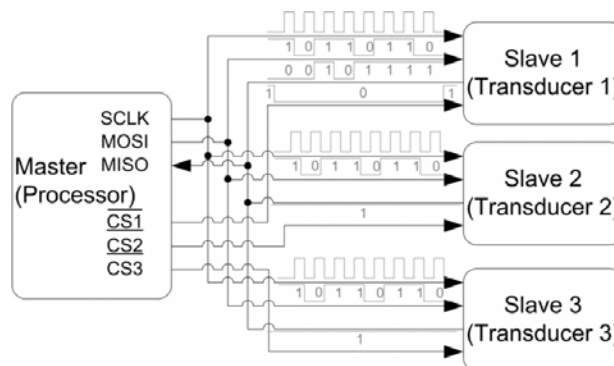


Fig. 3.11: Comunicación SPI[6]

- **I²C (Inter Integrated Circuit)**

Es un bus serial de múltiples maestros y esclavos que es usado por dispositivos conectados a sistemas embebidos que no requieren de una alta velocidad. Algunas aplicaciones para esta interfaz son la comunicación con DACs y memorias externas como las EEPROM y SDRAM[27].

En la **figura 3.12** se observa que la interfaz utiliza 2 líneas comunes que son SCLK que es la señal de reloj y SDA que son los datos. La comunicación la inicializa el maestro con un bit de inicio (S) seguido de 7 bits que incluyen la dirección del esclavo y un bit de lectura/escritura, después un bit de acknowledgement (A) y el último bit de parada (P).

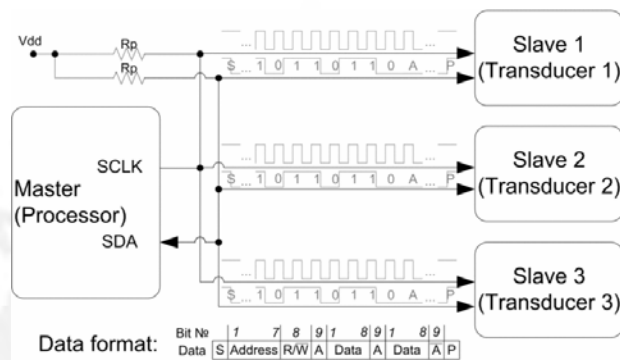


Fig. 3.12: Comunicación I²C[6]

Se implementará una interfaz de comunicación I²C debido a que el tiempo con el que serán mostrados los datos obtenidos de los dispositivos al usuario, no requiere de una gran velocidad de comunicación y mientras menos líneas a usar para la comunicación es mejor. Adicionalmente se deber añadir las resistencias pull-up para las líneas SDA y SCLK para poder conectar las numerosas entradas y salidas de todos los dispositivos .

El procesador, además, de tener la interfaz de comunicación I²C debe ser capaz de establecer una comunicación inalámbrica a Internet mediante un dispositivo Wi-Fi, ya sea interno o externo, para que el usuario pueda acceder a la información desde cualquier lugar, ya sea dentro o fuera del hogar mediante un entorno Web.

Para este objetivo se considera el uso del módulo **ESP8266EX** que es un dispositivo que puede ser integrado a cualquier diseño de microcontrolador como un adaptador Wi-Fi ya que tienen comunicación I²C, UART y SPI/SDIO y es de tamaño compacto lo que permite reducir al mínimo el tamaño de PCB[28]. Además, de las funcionalidades Wi-Fi el ESP8266EX también integra un microcontrolador Tensilica L106 Diamond de 32 bits, un RISC (Reduced Instruction Set Computing) de 16bits de muy bajo consumo que le permite al microcontrolador ejecutar instrucciones en menos ciclos de reloj, un reloj de hasta 52MHz, memoria ROM SRAM permitiéndole el uso de pines de entrada y salida (GPIO)[28].

Tiene aplicaciones en la automatización dentro del hogar, cámaras IP, red de sensores, dispositivos de seguridad con conexión a Wi-Fi, control inalámbrico industrial, IoT (Internet of Things) y más[28].

Una alternativa de solución es el uso del módulo NodeMCU que se visualiza en la **figura 3.13** y utiliza el ESP8266 y es más sencillo su uso durante la etapa programación del procesador. Sin embargo, el tamaño del dispositivo final es prescindible y el módulo NodeMCU es de un mayor tamaño (5.08 cm. x 2.54 cm.) en comparación al módulo ESP12E.



Fig. 3.13: NodeMCU[7]

El módulo **ESP 8266EX** tiene diversos modelos cuyas características se presentan en la **tabla 3.3** y se considera las alternativas con muescas para su soldadura superficial sobre el PCB.

Tabla 3.3: Módulos ESP8266EX[7]

Modelo	ESP07	ESP08	ESP12E
Número de pines	16	14	22
Antena	Cerámica	No	Incluido en el PCB
Socket de antena	Sí	No	No
Dimensiones (mm)	20.0 x 16.0	17.0 x 16.0	24.0 x 16.0

Se decide utilizar el **ESP12E** mostrado en la **figura 3.14** el cual posee una antena interna, lo que permite una mejor sujeción y un ahorro significativo de espacio en el PCB.



Fig. 3.14: ESP-12E
Fuente propia

B) Red de comunicación

Para realizar la comunicación entre los dispositivos de medición y el usuario será necesario implementar una arquitectura de red que permita la interacción mutua, intercambiando información y compartiendo recursos en tiempo real. Las arquitecturas de redes más comunes son las siguientes:

- **LAN**

Las redes de área local (generalmente conocidas como LAN) son redes que conectan dispositivos que se encuentran cerca unos de otros y su tiempo de transmisión es limitado. Las LAN están conectadas físicamente utilizando cables, enlaces infrarrojos o medios inalámbricos sin necesidad de estar conectados a un entorno público (como Internet) utilizando líneas telefónicas o de datos[29, p. 346].

- **WLAN**

Las LAN inalámbricas (conocida como WLAN) son muy comunes en la actualidad y están basadas en una tecnología conocida como Wi-Fi. En una WLAN un punto de acceso inalámbrico actúa como un concentrador o interruptor inalámbrico. Las implementaciones más comunes de las WLAN incluyen el uso de un punto de acceso inalámbrico para enlazar las computadoras inalámbricamente a una LAN cableada de manera que puedan utilizar los recursos en la LAN o conectarse a través de un direccionador a Internet[29, p. 390].

- **WAN**

La red de área amplia (WAN) está formada por dos o más redes LAN conectadas generalmente dentro de una área geográfica amplia.[29, p. 379].

En una red WAN cada sitio de la red es conocido como un nodo y los datos son transmitidos a larga distancia entre redes en una colección de caminos comunes conocidos como backbone. Las WAN más grandes se realizan mediante el uso de las líneas telefónicas, torres de transmisión de microondas y satélites[30].

Los tipos de arquitectura de red a implementar serán una **red WLAN** debido a que permitiría una conexión inalámbrica entre todos los medidores de manera local dentro del hogar y una **red WAN** con acceso a Internet con el objetivo de poder acceder a la información de cada dispositivo, ya sea que el usuario se encuentre dentro o fuera del domicilio.

El acceso a Internet de cada dispositivo de medición será bajo el estándar IEEE 802.11. (conocido como Wi-Fi) siguiendo el modelo TCP/IP para la transmisión y recepción de datos.

El modelo TCP/IP es utilizado para comunicaciones entre equipos dentro de una red estableciendo una conectividad de extremo a extremo y dando el orden de cómo los datos deberán ser formateados, direccionados, transmitidos, enrutados y recibidos por el destinatario, a través de un modelo en capas; y por lo tanto, resulta más sencillo agrupar funciones relacionadas e implementar el software modular de comunicaciones[31, p. 2,168 - 169].

C) Tiempo de registro de la información

Una parte complementaria del proceso de la información es manejar los datos en tiempo real para que de esta manera el usuario pueda visualizar la información del consumo de cada artefacto eléctrico con su respectiva referencia temporal y para este fin se hará uso de un módulo RTC (Real Time Clock).

Los relojes de tiempo real (RTC) son circuitos integrados que le permiten a un sistema sincronizarse a una referencia de tiempo que pueda ser fácil de entender para un usuario, inclusive cuando la fuente de alimentación del equipo se encuentra apagado porque durante este tiempo el RTC hace uso de su fuente de poder auxiliar o de un supercapacitor, dependiendo del modelo[32].

Las consideraciones a tener presente para la elección del RTC son su interfaz de comunicación, su bajo consumo y la capacidad de la memoria que posee. Dentro de las opciones consideradas están las siguientes:

- **DS1337**

Es un RTC de bajo consumo de energía que usa un cristal de cuarzo de 32768 Hz y el cual realiza el manejo de los segundos, minutos, horas, días, fechas, meses y años, con una compensación para el caso de años bisiestos. Tiene una salida de onda cuadrada programable y los datos son transferidos por una interfaz serial I^2C [33].

- **DS1338-3**

Es un RTC de bajo consumo de energía que usa un cristal de cuarzo de 32768 Hz y brinda la información de segundos, minutos, horas, días (formato de 24 horas o de 12 horas con indicador AM/PM), fechas y años. Además, incluye el ajuste para el caso de meses con menos de 31 días y para años bisiestos. Sus principales características son su SRAM interna de 56 bytes (memoria no volátil), el manejo de la información se hace mediante el bus I^2C y su $V_{CC} = 3V$ [8].

Se utilizará el RTC de código **DS1338** mostrado en la **figura 3.15** por la interfaz de comunicación I^2C que usa, su memoria interna y gran disponibilidad en el mercado local. La **figura 3.16** muestra el modo en que debe ser conectado el RTC.



Fig. 3.15: DS1338-3
<https://goo.gl/CLJ7sf>

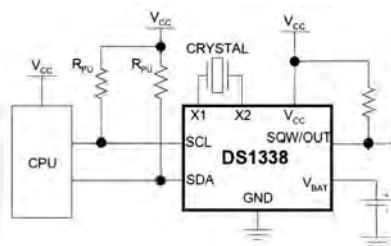


Fig. 3.16: DS1338 - Conexión[8]

3.2.5. Dispositivos de almacenamiento de información

Los datos obtenidos por cada medidor de energía serán mostrados al usuario; sin embargo, ante la posible presencia de algún factor externo que interrumpa la conexión con el servidor se decide implementar una etapa de almacenamiento con el objetivo de no perder datos en el proceso y para este fin se hará uso de una memoria externa. Dentro de las memorias externas se consideran las siguientes:

- **EEPROM (ROM programable y borrable eléctricamente)**
 Es una memoria que está dentro de la categoría de memoria no volátil, lo cual significa que pueden retener la información incluso cuando no están energizadas[34].
 Dentro de sus características principales es su tiempo de escritura que está en el orden de los milisegundos y las EEPROM tienen un mayor consumo de potencia en su proceso de escritura. Como todo componente físico se encuentra limitado en el número máximo de escrituras que puede realizar, teniendo de 10,000 a 100,000 ciclos de escritura[35],[36].

- **FRAM (RAM ferroeléctrica)**

Es una memoria no volátil que proporciona un tiempo de escritura rápido de aproximadamente de 100ns, utilizan bajo voltaje y muy poca corriente para la escritura y lectura de datos lo cual restringe la habilidad de que individuos no deseados puedan acceder a los datos almacenados[36],[37].

Una de las principales características de esta clase de memorias es su gran capacidad de ciclos de escritura de 10^{10} a 10^{11} , lo cual indica una gran capacidad de poder escribir datos de manera casi infinita[34],[36].

De acuerdo a los tipos de memoria mencionadas previamente se elige la **memoria FRAM** por su gran capacidad de ciclos de escritura, lo cual será primordial debido al constante almacenamiento de la información de cada medidor de energía bajo cierto periodo de tiempo a elegir en los pasos posteriores. Así como, su bajo consumo de potencia eléctrica y su gran velocidad de escritura en comparación a una memoria EEPROM.

Además, de elegir un tipo de memoria de rápido acceso se debe considerar la capacidad de almacenamiento de datos para el peor de los casos que será cuando su conexión entre los medidores de energía e Internet se encuentre limitada o fallando y el cliente esté fuera de su domicilio por un día como máximo. Adicionalmente, la memoria debe cumplir como requisito ser de fácil acceso a la lectura y la escritura de datos, y con un gran número de escrituras, dado que la información será escrita periódicamente, en tanto los dispositivos de medición se encuentren conectados y funcionando satisfactoriamente.

Se establece que el periodo de almacenamiento de la información será el mismo tiempo en que los datos serán mostrados al usuario. Para hallar capacidad de la memoria de acuerdo al tiempo adecuado de muestreo a establecer, se considera los datos hallados previamente en la **sección 3.2.3** de la **página 16** y la representación numérica de los bytes en relación al número de pulsos de la señal obtenida de la medición.

1. Número máximo de horas = **24horas**, equivalente a un día en horas.
2. Potencia eléctrica $Pot_{el\acute{e}ct.m\acute{a}x} = 4,4kW$.

$$Pot_{el\acute{e}ctrica} = V_{carga} * I_{carga}$$

$$Pot_{el\acute{e}ct.m\acute{a}x} = 220V * 20A$$

$$Pot_{el\acute{e}ct.m\acute{a}x} = 4,4kW$$

3. Frecuencia máxima $F_{max} = 18291 \frac{pulsos}{h}$.

$$F_{max} = 4157 \frac{pulsos}{kWh} * 4,4kW$$

$$F_{max} = 18291 \frac{pulsos}{h}$$

4. Los datos a ser almacenados son:
- La información obtenida de cada uno de los medidores de energía.
 - La hora con la que será registrada cada una de las mediciones obtenidas de cada dispositivo de medición.
5. 1 *dato* = 1*Bytes* = 8*bits*; Rango de valores: 0 hasta 255 ($2^8 - 1$).
6. 2 *datos* = 2*Bytes* = 16*bits*; Rango de valores: 0 hasta 65535 ($2^{16} - 1$).
- Almacenamiento de **un dato** con periodo de **15 minutos**.

$$F_{max} = 18291 \frac{pulsos}{h} * \frac{1}{60} \frac{h}{min} * 15min$$

$$F_{max} = 4572,75 \frac{pulsos}{min}$$

$$N^{\circ}_{pulsos} = 4573pulsos$$

Este valor de pulsos será representado por **2 Bytes** y la capacidad de la memoria se obtiene de la siguiente manera:

$$Capacidad_{min} = 24horas * \frac{60}{1} \frac{min}{hora} * \frac{N_{Bytes}}{T}$$

$$Capacidad_{min} = 24horas * \frac{60}{1} \frac{min}{hora} * \frac{2Bytes}{15min}$$

$$Capacidad_{min} = 192bytes$$

$$Capacidad = 256bytes$$

$$Capacidad_{mem} = 1024bytes = 1kB$$

- Almacenamiento de **un dato** con periodo de **5 minutos**.

$$F_{max} = 18291 \frac{pulsos}{h} * \frac{1}{60} \frac{h}{min} * 5min$$

$$F_{max} = 1524,25 \frac{pulsos}{min}$$

$$N^{\circ}_{pulsos} = 1524pulsos$$

Este valor de pulsos será representado por **2 Bytes** y la capacidad de la memoria se obtiene de la siguiente manera:

$$Capacidad_{min} = 24horas * \frac{60}{1} \frac{min}{hora} * \frac{N_{Bytes}}{T}$$

$$Capacidad_{min} = 24horas * \frac{60}{1} \frac{min}{hora} * \frac{2Bytes}{5min}$$

$$Capacidad_{min} = 576bytes$$

$$Capacidad_{mem} = 1024bytes = 1kB$$

- Almacenamiento de **un dato** con periodo de **1 minuto**.

$$F_{max} = 18291 \frac{pulsos}{h} * \frac{1}{60} \frac{h}{min} * 1min$$

$$F_{max} = 304,85 \frac{pulsos}{min}$$

$$N^{\circ}_{pulsos} = 305pulsos$$

Este valor de pulsos será representado por **2 Byte** y la capacidad de la memoria se obtiene de la siguiente manera:

$$Capacidad_{min} = 24horas * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} * \frac{N_{Bytes}}{T}$$

$$Capacidad_{min} = 24horas * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} * \frac{2Byte}{1min}$$

$$Capacidad_{min} = 2880bytes$$

$$Capacidad_{mem} = 4056bytes = 4kB$$

Como resumen de los cálculos realizados previamente se presentan las **tablas 3.4, 3.5, 3.6 y 3.7**).

Tabla 3.4: Número de pulsos respecto al periodo de registro
Elaboración propia

	1 min	5 min	15 min
Número máximo de pulsos	305	1524	4573

Tabla 3.5: Cantidad de Bytes a usar respecto al número máximo de pulsos

Elaboración propia

	1 Byte	2 Bytes
305	OK	OK
1524	X	OK
4573	X	OK

Tabla 3.6: Número de bytes a usar respecto al periodo de registro

Elaboración propia

Periodo (minutos)	1 BYTE	2BYTES
1	OK	X
5	X	OK
15	X	OK

Tabla 3.7: Capacidad de memoria respecto al periodo de registro

Elaboración propia

	1 minuto	5 minutos	15 minutos
Capacidad de memoria	4 kB	1 kB	256 Bytes

3.2.6. Alimentación del dispositivo

Cada medidor de energía estará alimentado principalmente por la red de energía eléctrica del hogar. Sin embargo, cada módulo o chip electrónico que integran el medidor de energía utilizan voltajes de alimentación de $3,3V_{DC}$ y $5V_{DC}$, de acuerdo a lo indicado en sus hojas de datos respectivos, por lo que se utilizará módulos conversores de AC/DC externos.

Para la elección del módulo convertor se considera uno de **precio bajo** y **tamaño pequeño**.

- **Etapa de $5V_{DC}$**

Se utiliza un módulo convertor de voltaje ya existente en el mercado local que incluye la etapa de transformación de $220V_{AC}$ a $5V_{DC}$ y se muestra en la **figura 3.19**.



Fig. 3.19: Módulo convertor a $5V_{DC}$
Fuente propia

- **Etapa de $3,3V_{DC}$**

Se utiliza el mismo regulador de la etapa $5V_{DC}$, pero se le añade un **regulador lineal LDO** para obtener como resultado el voltaje deseado de $3,3V_{DC}$.

En la **figura 3.20** se muestra la conexión a realizar para la etapa de alimentación de los módulos y chips a utilizar dentro del equipo medidor de energía.

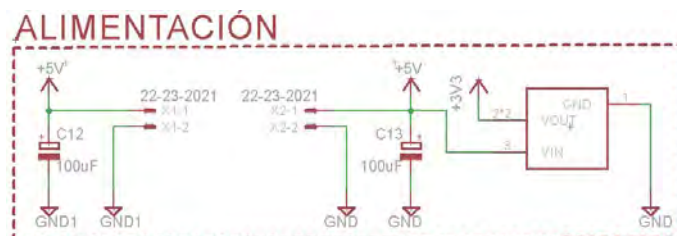


Fig. 3.20: Esquemático de la Etapa de Alimentación
Elaboración propia

3.2.7. Acceso a la información vía Web

El procesamiento y envío de la información sobre el consumo de energía de cada dispositivo de medición no es suficiente, la información obtenida debe ser mostrada al usuario de una manera sencilla de entender y de fácil acceso, desde cualquier lugar en donde se encuentre y en cualquier instante de tiempo. Una clara solución es hacer uso un sistema Web el cual operará sobre la Internet, a través de varios clientes Web y un servidor Web centralizado.

La manera de reconocer al servidor y a los distintos clientes dentro de la red es mediante sus direcciones MAC y el uso de sus direcciones IP, las cuales serán asignadas de manera dinámica utilizando un protocolo llamado DHCP.

Las direcciones IP son direcciones únicas de 32 bits de longitud asignadas a cada dispositivo conectado a la red de Internet y la cual codifica el número de red y la ubicación de direccionamiento del dispositivo[39, p. 336-437].

El DHCP (Protocolo de Configuración de Host Dinámico) es un protocolo de configuración que permite la asignación de dirección IP manual y automática[39, p. 453].

A) Cliente Web

Un cliente Web es todo aquel dispositivo que se conectará a un servidor con el objetivo de hacerle una petición y esperar a una una respuesta, siendo cada uno de los clientes identificados mediante el uso de su única dirección IP[30].

La manera en cómo se realizará la transferencia de datos entre el servidor y el cliente será utilizando el protocolo HTTP (Protocolo de Transferencia de Hipertexto), el cual es un protocolo de transferencia que tanto cliente como servidor deben obedecer y que a su vez especifica cuáles son los mensajes que pueden enviar los clientes al servidor y la respuesta que obtienen[39, p. 651].

Para el desarrollo de la red de medidores se propone dos tipos de clientes.

- Medidores de energía en modo cliente
Cada medidor de energía cumplirá la función de cliente enviando los datos medidos al servidor Web y este a su vez almacenándolos para su posterior visualización.
- Usuario Web en modo cliente
Los usuarios cumplirán la función de cliente Web con la finalidad de acceder a la información de los medidores, la cual se encuentra almacenada en un servidor Web previamente configurado, a través de un navegador de Internet.

B) Servidor Web

El servidor Web es el programa encargado de almacenar datos y distribuir este contenido a los clientes que la solicitan en la red realizando conexiones bidireccionales y/o unidireccionales, síncronas o asíncronas con el cliente y generando o cediendo una respuesta en cualquier lenguaje o aplicación del lado del cliente[31, p. 328],[30, p. 324].

De acuerdo a los tipos de clientes establecidos previamente habrán clientes que cumplirán la función de enviar la información al servidor y otros clientes que solo tendrán la función de leer la información que se encuentra en el servidor Web.

Bajo este esquema se utilizará el modelo cliente-servidor tal como se muestra en la **figura 3.21**, el cual es utilizado ampliamente y forma la base en gran medida del uso de redes. Este modelo es aplicado cuando el cliente se encuentra, ya sea en el mismo edificio que el servidor o cuando el cliente se encuentra a una distancia lejana del servidor[39, p. 4].

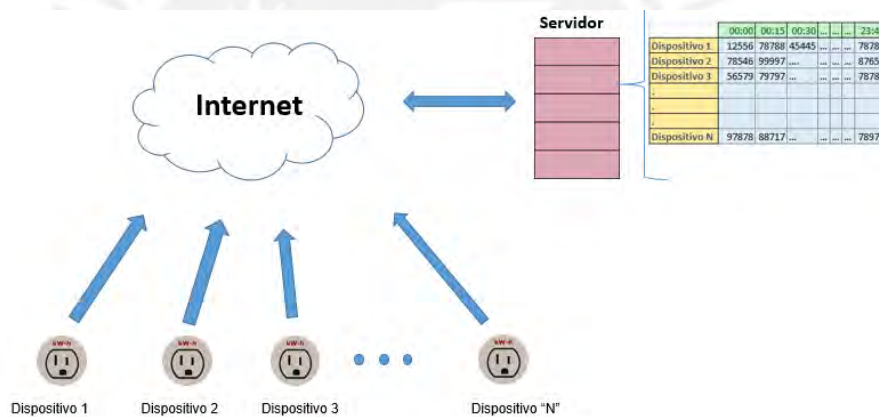


Fig. 3.21: Arquitectura final cliente-servidor
Elaboración propia

3.3. Elaboración de los programas

3.3.1. Introducción

El sistema de telemedición de energía tendrá 2 bloques principales a nivel de programación, los cuales son el bloque de servidor y el de cliente.

La información será enviada en formato **JSON** para que cada medidor de energía envíe toda la información al servidor de una manera ordenada y fácil de identificar, y así el usuario pueda visualizar la información en un entorno Web.

A continuación se muestra un ejemplo de cómo se ordena y envía la información siguiendo el formato **JSON**.

```
var objetoJSON = "Datos":["medidor":"20kWh","hora":"13:15",
, "medidor":"10kWh","hora":"15:10"];
```

Esta información en formato JSON es enviada dentro del protocolo **HTTP** (protocolo de nivel de aplicación), el cual sigue el siguiente formato[40].

- Paquete de solicitud.

Método	Solicitud URI	Versión HTTP
--------	---------------	--------------

- Método a realizar.
- Solicitud URI sobre la cual se aplica la solicitud.
- Versión HTTP que es utilizada.

- Paquete de respuesta.

Versión HTTP	Código de estado	Frase
--------------	------------------	-------

- Versión HTTP que es utilizada.
- Código de estado resultante para entender y satisfacer la solicitud.
- Frase es una descripción del código de estado.

Si bien los datos con formato JSON son enviados dentro del protocolo HTTP, estos a su vez estarán dentro de la capa de transporte para su posterior envío por la Internet y para esto se sigue el modelo TCP/IP.

En la **tabla 3.8** se visualiza la estructura del protocolo TCP[41].

Tabla 3.8: Estructura del Protocolo TCP

Elaboración propia

Bit de inicio	16bits	32bits
0	Puerto Origen	Puerto Destino
32	Número de Secuencia	
64	Número de Acuse de Recibo (ACK)	
96	Cabecera TCP	Reservado
128	Suma de Verificación (Checksum)	Banderas
160	Puntero Urgente	
160	Opciones y/o Relleno	
224	Datos	

De la **tabla 3.8** se visualiza que el paquete de datos será enviado luego del Byte 28 (224 bits); por lo tanto el ancho total será de : **28 Bytes + Bytes (datos)**

- De la **sección 3.2.5** se sabe que cada dato obtenido de la medición es de **2Bytes**. A estos datos se le debe sumar los 4 Bytes que corresponden al formato del registro de la hora de medición.
- El total de Bytes a utilizar durante el envío de la información al servidor es de **34 Bytes** por cada medidor

En la **tabla 3.9** se muestra la cantidad de bytes a usar durante la transmisión en relación a la cantidad de medidores a conectar a la red.

Tabla 3.9: Cantidad de Bytes durante la transmisión
Elaboración propia

Cantidad de medidores	1	10	100
Total de Bytes a usar	34	340	3400

En la transmisión de datos hacia el servidor se debe considerar la cantidad de bytes a utilizar porque también es relevante la velocidad del servicio de Internet del Hogar para que la información sea transmitida correctamente. El peor de los casos es cuando se transmite el mayor número de datos y de acuerdo a la **tabla 3.5** este escenario será cuando se utilice un máximo de 100 dispositivos de medición con un total de **3400 Bytes** o **27200 bits**. Por lo tanto, la velocidad de Internet mínima debe ser de **27.2 kbps** y según las velocidades de Internet que brindan las empresas de telefonía en el Perú, la mínima es de **2Mbps**; por consiguiente, la transmisión de información se realizará satisfactoriamente.

3.3.2. Programa del Servidor

El programa del servidor se desarrolla según el diagrama mostrado en la **figura 3.22** y cumple las siguientes funciones:

- Desarrollar la recepción de información de cada cliente configurado para enviar datos. Esta función será realizada por cada uno de los dispositivos de medición conectados a la red.
- Almacenar la información enviada de las mediciones y su tiempo de registro.
- Transmisión de la información hacia el cliente que realice la petición de querer acceder a esta. El usuario será quien tome este rol como cliente.
- Mostrar la información mediante el uso de un entorno Web.

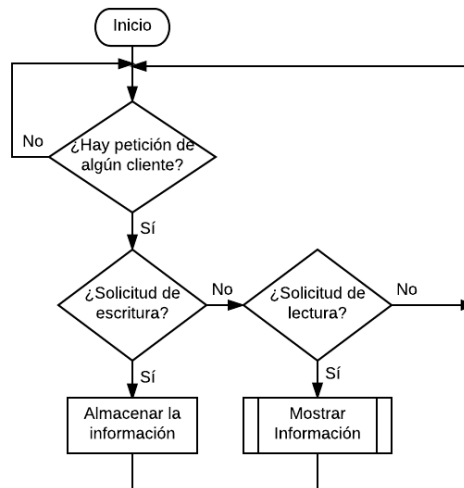


Fig. 3.22: Diagrama de Flujo del Servidor
Elaboración propia

3.3.3. Programa del Cliente

El usuario realizará como primer paso registrar el nombre y la contraseña de la red de Internet dentro del hogar para cada uno de los medidores que estarán por defecto en modo AP .

En este programa se identifican dos tipos de cliente.

- Cliente - Usuario

El usuario cumplirá el rol de cliente al acceder al servidor para visualizar la información deseada siguiendo el diagrama mostrado en la **figura 3.23**. El modo en cómo se accederá al servidor será mediante el uso de un entorno Web (Google Chrome, Mozilla, Opera, etc.).



Fig. 3.23: Diagrama de flujo del Cliente - Usuario externo
Elaboración propia

- Cliente - Medidor de energía

Cada dispositivo medidor será etiquetado como un cliente único, el cual transmitirá la información sobre el consumo de energía de su respectiva carga y el registro de tiempo de la medición mediante Wi-Fi siguiendo el diagrama mostrado en la **figura 3.24**.

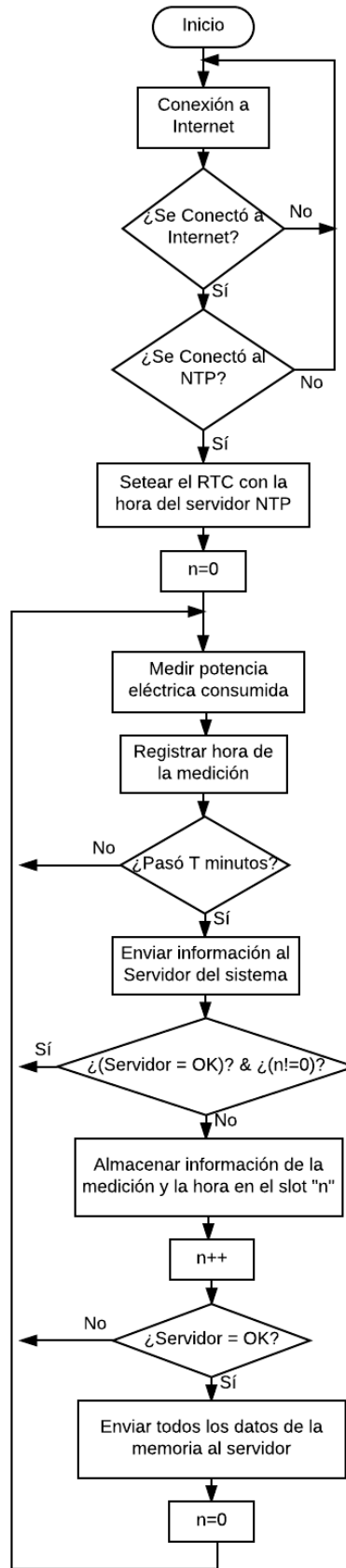


Fig. 3.24: Diagrama de flujo del Cliente - Medidor
Elaboración propia

4. Pruebas y Resultados

4.1. Pruebas

La etapa de pruebas del dispositivo de medición se debe realizar con todas las medidas de prevención y seguridad debido a que se manipulará conexiones de $220V_{AC}$.

La instalación del medidor se realizará modificando una regleta de tomacorrientes para poder añadir la pieza modelada dentro de la cual estará el dispositivo de medición como se muestra en la **figura 4.1**.



Fig. 4.1: Conexión interna Regleta - Medidor
Fuente propia

Inicialmente se utilizó un generador de ondas para poder simular la cantidad de pulsos digitales que representan el consumo de potencia eléctrica de una carga para el procesador. Finalmente comprobado su correcto funcionamiento, se procede a conectar el dispositivo de medición a la red eléctrica como se muestra en la **figura 4.2**.



Fig. 4.2: Conexión Regleta - Medidor
Fuente propia

Los objetivos de la prueba son los siguientes:

- Verificar que la cantidad de pulsos a obtener correspondan a su valor en kWh comparando la medición de la carga obtenida con un medidor de energía monofásico, lo cual comprueba equivalencia calculada en **sección 3.2.3**.
- Establecer la conexión entre el medidor de energía y la regleta de tomacorrientes, y verificar su medición.
- Configurar los medidores de energía para que cumplan su función de clientes al enviar la información hacia el servidor, utilizando un modem con conexión Wi-Fi como se muestra en la **figura 4.3**.



Fig. 4.3: Conexión inalámbrica del medidor con el Wi-Fi del domicilio
Fuente propia

- Configurar del módulo servidor hacia donde será enviada la información mostrado en la **figura 4.4**.



Fig. 4.4: Conexión del Servidor
Fuente propia

- Verificar que la información enviada al servidor llegue correctamente, la cual incluye la potencia eléctrica y su respectiva hora de registro.
- Acceder a la información de los medidores mediante el servidor previa configuración total del sistema tanto del medidor como el servidor como se muestra en la **figura 4.5**.



Fig. 4.5: Conexión inalámbrica Medidor - Servidor
Fuente propia

4.2. Resultados

4.2.1. Visualización del consumo de energía eléctrica

El usuario obtiene físicamente los medidores de energía eléctrica, los cuales serán instalados como parte complementaria de la red de energía eléctrica, para finalmente el usuario acceda a la dirección del servidor y visualice su consumo de energía tal y como se visualiza en la **figura 4.6**

```

El día 18/11/16 a las 15:17 horas, el usuario ha consumido 0.22 kWh equivalente a 0.08 nuevos soles.
.....
El día 18/11/16 a las 15:18 horas, el usuario ha consumido 0.25 kWh equivalente a 0.09 nuevos soles.
.....
El día 18/11/16 a las 15:19 horas, el usuario ha consumido 0.29 kWh equivalente a 0.11 nuevos soles.
.....
El día 18/11/16 a las 15:20 horas, el usuario ha consumido 0.31 kWh equivalente a 0.11 nuevos soles.
.....
El día 18/11/16 a las 15:21 horas, el usuario ha consumido 0.36 kWh equivalente a 0.13 nuevos soles.
.....
El día 18/11/16 a las 15:22 horas, el usuario ha consumido 0.38 kWh equivalente a 0.14 nuevos soles.
.....
El día 18/11/16 a las 15:23 horas, el usuario ha consumido 0.41 kWh equivalente a 0.15 nuevos soles.
.....
El día 18/11/16 a las 15:24 horas, el usuario ha consumido 0.45 kWh equivalente a 0.16 nuevos soles.
.....
El día 18/11/16 a las 15:25 horas, el usuario ha consumido 0.51 kWh equivalente a 0.19 nuevos soles.
.....

```

Fig. 4.6: Impresión del consumo eléctrico del usuario
Fuente propia

4.2.2. Circuito impreso

En las siguientes figuras del circuito impreso diseñado (Printed Circuit Boards - PCB) se muestran la capa superior en las **figuras 4.7 y 4.8**, la capa inferior en las **figuras 4.9 y 4.10**, y el dispositivo de medición final en la **figura 4.11**.

Las consideraciones a seguir fueron las siguientes:

- Se utiliza componentes superficiales con el fin de reducir el espacio y tamaño de la tarjeta.

- Se establecen 2 sistemas de tierra distintos e independientes para la etapa de control y la de potencia.
- La dimensión del PCB final deberá ser menor al de las dimensiones de la pieza modelada en donde será instalado, para lo cual se considera las dimensiones de una regleta de tomacorrientes de tamaño estándar de **4.90 cm. (ancho) * 31 cm. (largo) * 3.50 cm (altura)**.
- Se utiliza los respectivos condensadores de desacoplo y de bypass.

Las dimensiones del PCB resultante son de **4.00 cm (ancho) * 8.07 cm (largo)**, y así respetar el tamaño de la pieza modelada a diseñar el la **sección 4.2.3.**

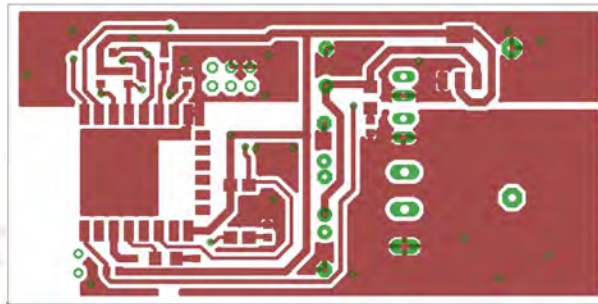


Fig. 4.7: Capa de cobre superior del medidor de energía
Elaboración propia

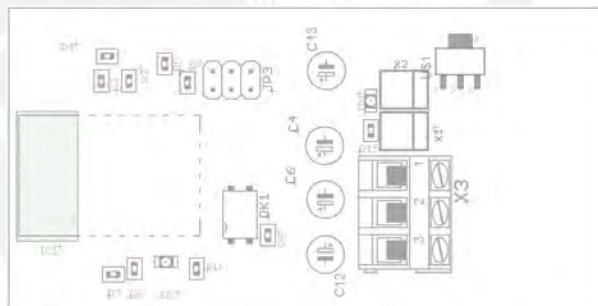


Fig. 4.8: Capa de componentes superior del medidor de energía
Elaboración propia

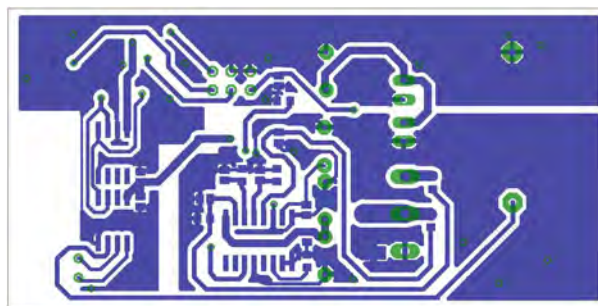


Fig. 4.9: Capa de cobre inferior del medidor de energía
Elaboración propia

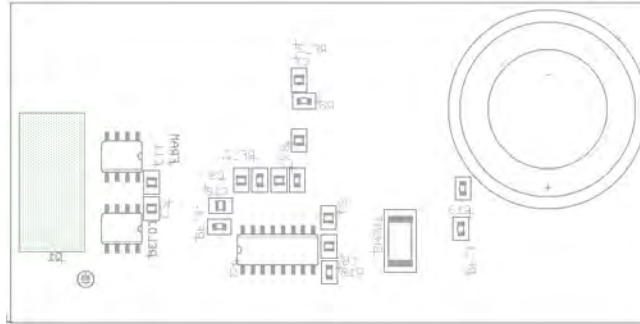


Fig. 4.10: Capa de componentes inferior del medidor de energía
Elaboración propia



Fig. 4.11: Dispositivo de medición final
Fuente propia

4.2.3. Estructura en 3D

El medidor de energía resultante debe ser instalado dentro de una pieza modelada la cual es la extensión a una regleta de tomacorrientes de dimensiones estándar 4.90 cm (ancho) * 31 cm (largo) * 3.50 cm (altura). La pieza mencionada se muestra en las **figuras 4.12 y 4.13**.

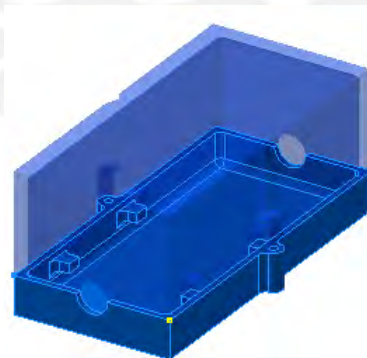


Fig. 4.12: Modelo 3D de la pieza final con su estructura cerrada
Elaboración propia

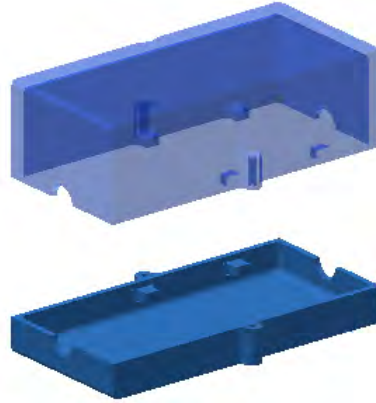


Fig. 4.13: Modelo 3D de la pieza final con su estructura abierta
Elaboración propia

4.2.4. Costos

Para el desarrollo del sistema se consideró el menor costo posible debido a que la cantidad de medidores de energía a desarrollar para implementar la red doméstica serán más de uno. La elección de los componentes no solo se basó en el cumplimiento de sus características técnicas, sino también en lo siguiente:

- Costos unitarios.
- Costos por producción en masa.
- Disponibilidad en el mercado local.
- Costos de importación de dispositivos, en caso no se encuentren disponibles en el mercado local.

No se realizará gastos en el pago por uso del servidor, dado que este será simulado con ayuda de un módulo shield Ethernet de Arduino.

Se toma en cuenta que la producción en masa del sistema reducirá los costos generados en la adquisición de los distintos materiales a utilizar. Sea el caso de importar algún dispositivo por cantidades mayores o el de comprar en el mercado local.

En la **tabla 4.1** se detalla los gastos realizados durante el proceso de compra de componentes a utilizar para un solo medidor de energía, lo cual se replicará para su producción en masa. Algunos de estos componentes han sido comprados dentro del mercado local y otros han sido importados debido a su falta de stock en el país.

Para los dispositivos a ser importados se considera el costo por importación del producto como el doble del precio del mismo.

Para el precio de los productos en dólares se considera el tipo de cambio de dólares a soles de 3.42[42].

Adicionalmente, se considera el precio de la mano de obra, los costos por el diseño, fabricación y ensamblaje de cada tarjeta electrónica. Cabe resaltar que cada medidor de energía implica el desarrollo de una tarjeta electrónica y esto se replica para todos los medidores de energía a conectar a la red dentro del hogar.

Cada medidor de energía será ubicado dentro de una pieza que será acoplada a una regleta de tomacorrientes. El diseño de cada uno de las pieza será realizado en una impresora 3D, lo cual implica un gasto de mano de obra y compra del material para realizar la armazón de cada dispositivo de medición.

Dentro de las funciones de la mano de obra no solo se considera el diseño del dispositivo, sino también se incluye la elaboración de las piezas modeladas para cada medidor de energía, la etapa de búsqueda de componentes, diseño, la fabricación y ensamble de las tarjetas, dichas funciones requieren un tiempo de al menos 5 días útiles (40 horas efectivas de trabajo). El costo de mano de obra considera el tiempo de horas de trabajo y el precio estimado por horas de trabajo de un ingeniero egresado de S/. 20.00 (Nuevos Soles), lo cual resulta S/. 800.00 (Nuevos Soles) por concepto de mano de obra. Adicionalmente, se suma el monto de S/. 600.00 (Nuevos Soles) por concepto de derecho a la propiedad intelectual y todo el trabajo de desarrollo.

Tabla 4.1: Costos de materiales
Elaboración propia

Componente y/o Material	Cantidad	Precio unitario en mercado local (S/.)	Precio unitario por importación (\$)	Total (S/.)
Bornera de 3 entradas	1	3.00	-	3.00
Conector mollex de 2 entradas	2	0.30	-	0.60
Chip medidor AD71056	1	-	3.02	20.70
Memoria FM24CL32	1	-	0.10	0.70
RTC DS1338	1	-	3.38	23.10
Módulo ESP12E	1	22.00	-	22.00
Optocoplador PS2501	1	-	0.55	3.70
Regulador de voltaje LDO	1	-	0.44	3.00
Módulo conversor de $220V_{AC}$ a $5V_{DC}$	2	5.00	-	10.00
Tira de espadines macho	1	0.80	-	0.80
Pila tipo CR2032	1	1.00	-	1.00

Componente y/o Material	Cantidad	Precio unitario en mercado local (S/.)	Precio unitario por importación (\$)	Total (S/.)
Socket para pila tipo CR2032	1	0.50	-	0.50
Cristal de 32kHz	1	1.50	-	1.50
LED color azul (Empaque superficial 1206)	1	0.20	-	0.20
LED color rojo (Empaque superficial 1206)	1	0.30	-	0.30
Condensador - 100 uF	2	0.20	-	0.40
Condensador - 10 uF	1	0.20	-	0.20
Condensador - 1 uF	1	0.10	-	0.10
Condensador - 150nF (Empaque superficial 0504)	4	-	0.24	6.60
Condensador - 100nF (Empaque superficial 0504)	5	-	0.24	8.20
Resistencia - $1M\Omega$ (Empaque superficial 0603)	1	-	0.10	0.70
Resistencia - $500\mu\Omega$ (Empaque superficial 2512)	1	-	0.28	1.90
Resistencia - 500Ω (Empaque superficial 0603)	4	-	0.10	2.70
Resistencia - 330Ω (Empaque superficial 0603)	2	-	0.10	1.40
Resistencia - $6,2k\Omega$ (Empaque superficial 0603)	1	-	0.10	0.70
Resistencia - $10k\Omega$ (Empaque superficial 0603)	8	-	0.10	5.50
Insumo plástico para modelado 3D	30 g	20.00	-	20.00
PCB del medidor	1	20.00	-	20.00
Cable multifilar rojo	1 m	0.70	-	0.70
Cable multifilar negro	1 m	0.70	-	0.70
Total				160.90

CONCLUSIONES

- El dispositivo de medición incluye funcionalidades como procesamiento, almacenamiento, registro en el tiempo de la información y acceso al Internet del hogar. Todo ello permite obtener información fiable y fácil de entender para el usuario, del consumo de energía periódicamente, ya sea en soles o en kWh.
- El tiempo de visualización de cada medición, se relaciona directamente con la capacidad de la memoria externa del dispositivo, dado que a menor tiempo de muestreo mayor es la cantidad de información a almacenar; y en consecuencia, se necesita de una mayor capacidad de almacenamiento. Caso contrario, se utiliza una memoria de menor capacidad.
- Los medidores de energía deben acceder a distintos servidores con el objetivo de intercambiar datos y finalmente, el usuario pueda visualizar la información deseada. Sin embargo, la velocidad del servicio de Internet del hogar no es prescindible, debido a la pequeña cantidad de información transmitida periódicamente.
- Cada dispositivo de medición está sujeto a una pieza modelada en 3D adaptable a las dimensiones de una regleta de corriente, por lo cual los dispositivos de medición son de dimensiones pequeñas y de fácil implementación, para que finalmente sean conectados a la red de Internet del domicilio.
- El usuario accede al servidor para visualizar la información del consumo de energía de sus artefactos eléctricos del hogar tiene como referencia datos reales y fiables; y de esta manera, puede decidir si continúa con su habitual consumo de energía eléctrica o si lo reduce progresivamente.
- El costo de cada medidor de energía está basado en cotizaciones y compras realizadas por cantidades pequeñas, ya sea en el mercado nacional o internacional, genera un incremento en los costos de producción y desarrollo; así como, una demora en la disponibilidad de algunos materiales, para el caso que sean importados.
- De acuerdo a los objetivos planteados se logra desarrollar e implementar una red de dispositivos de medición domiciliaria, mediante la cual el usuario podrá acceder en cualquier momento del día a la información de su consumo de energía eléctrica.

RECOMENDACIONES

1. El código de programación de los medidores de energía puede ser comprobado utilizando una señal digital de frecuencia $F_{m\acute{a}xima} = 5Hz$ para simular una carga con un consumo máximo de 20A. La disminución de frecuencia de la señal digital inicial simulará una variación del número de cargas conectadas al dispositivo de medición.
2. La comunicación entre el procesador, reloj de tiempo real y memoria se realizó a través del protocolo de comunicación I^2C . Para la verificación de la transmisión y recepción de datos se recomienda utilizar un osciloscopio; para así, visualizar cada trama de datos a enviar o recibir mediante el bus de comunicación.
3. El uso del protocolo de comunicación HTTP y el modelo TCP/IP permiten el envío de la información entre el servidor y cliente. Tal comunicación, también puede ser desarrollada por el protocolo MQTT el cual presenta una topología que le permite al servidor tener la capacidad de comunicarse con numerosos clientes; además, de estar enfocado en el envío de datos en aplicaciones en las cuales se requiere muy poco ancho de banda y precisa de pocos recursos para su funcionamiento.
4. El módulo ESP12E requiere del uso de un lenguaje de programación para cumplir con las funciones requeridas. Es recomendable el uso del lenguaje propio de Arduino ya que resulta muy útil debido a su fácil uso y amplia disponibilidad de librerías, lo cual reduce el tiempo y simplifica el trabajo durante el proceso de programación y pruebas.
5. De la misma manera en cómo este dispositivo es diseñado para ser adaptado al modelo de una regleta de tomacorrientes, también puede ser desarrollado a modelo de enchufe eléctrico; para así, poder medir el consumo ya no de un conjunto de artefactos eléctricos, sino el consumo de cada artefacto de manera individual dentro del hogar.
6. La información es mostrada al usuario de una manera sencilla. Sin embargo, esta información puede ser adaptada a gráficos o imágenes con la finalidad que el usuario se adapte y familiarice rápidamente con los datos de su consumo energético.
7. Una siguiente etapa de desarrollo es la implementación de una plataforma con un entorno visual mucho más amigable y ordenado donde el usuario final pueda ver su consumo detallado diario y le permita una interacción remota con el apagado de sus artefactos eléctricos, en caso de emergencia.
8. La producción de cada medidor en cantidades mayores reduce significativamente los costos de materiales; y por lo tanto, genera que el uso de este sistema sea más frecuente y accesible para cualquier persona.
9. Esta investigación puede servir como base para el desarrollo de sistemas de medición más avanzados para beneficio del usuario del sector doméstico.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. G. de Eficiencia Energética, “Anuario ejecutivo de electricidad 2014,” tech. rep., Ministerio de Energía y Minas, 2014.
- [2] D. G. de Eficiencia Energética, “Balance nacional de energía 2014,” tech. rep., Ministerio de Energía y Minas, 2014.
- [3] D. G. de Eficiencia Energética, “Guía de orientación del uso eficiente de la energía y de diagnóstico energético,” tech. rep., Ministerio de Energía y Minas, Julio 2014.
- [4] S. L. Company, “Satechi iq plug, disponible en <http://www.satechi.net>,” Noviembre 2016.
- [5] U.-T. T. Limited, “Ziboo plug energy, disponible en <http://www.unitrend.com>,” Noviembre 2016.
- [6] K. Mikhaylov and J. Tervonen, “Evaluation of power efficiency for digital serial interfaces of microcontrollers,” in *2012 5th International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS)*, pp. 1–5, Mayo 2012.
- [7] E. C. Wiki, “Esp8266 chip, disponible en <http://www.esp8266.com/wiki/doku.php>,” Noviembre 2016.
- [8] M. Integrated, “Ds1338, i2c rtc with 56-byte nv ram,” hoja de datos, Maxim Integrated Inc., Setiembre 2015.
- [9] M. Kuzlu, M. Pipattanasomporn, and S. Rahman, “Review of communication technologies for smart homes/building applications,” in *Smart Grid Technologies - Asia (ISGT ASIA), 2015 IEEE Innovative*, pp. 1–6, Noviembre 2015.
- [10] I. N. de Estadística e Informática, “Hogares que acceden al servicio de internet, según ámbito geográfico, 2007 - 2014,” tech. rep., Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2016.
- [11] E. Comercio, “El Perú aún no es un buen ejemplo en el buen uso de la energía, disponible en <http://elcomercio.pe/economia/mundo/peru-buen-ejemplo-buen-energia-380477>,” Setiembre 2016.
- [12] D. G. de Electricidad, “Venta de energía eléctrica, por sector de consumo, 2003 - 2012,” tech. rep., Ministerio de Energía y Minas, 2016.
- [13] OSINERGMIN, “Pliego tarifario máximo del servicio público de electricidad, disponible en <http://www.osinerg.gob.pe/tarifas/electricidad/pliegostarifariosusuariofinal.aspx?id=150000>,” 2016.
- [14] D. G. de Electricidad, “Elaboración de proyectos de guías de orientación del uso eficiente de la energía y de diagnóstico energético,” tech. rep., Ministerio de Energía y Minas, Mayo 2008.
- [15] M. de Energía y Minas, “Estadística eléctrica por regiones,” tech. rep., Ministerio de Energía y Minas, Noviembre 2015.

- [16] T. Khalifa, K. Naik, and A. Nayak, "A survey of communication protocols for automatic meter reading applications," *IEEE Communications Surveys Tutorials*, vol. 13, pp. 168–182, Septiembre 2011.
- [17] S. Roy, B. Bedanta, and S. Dawnee, "Advanced metering infrastructure for real time load management in a smart grid," in *Power and Advanced Control Engineering (ICPACE), 2015 International Conference on*, pp. 104–108, Agosto 2015.
- [18] D. G. Hart, "Using ami to realize the smart grid," in *Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008 IEEE*, pp. 1–2, Julio 2008.
- [19] V. C. Gungor, D. Sahin, T. Kocak, S. Ergut, C. Buccella, C. Cecati, and G. P. Hancke, "Smart grid technologies: Communication technologies and standards," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 7, pp. 529–539, Noviembre 2011.
- [20] H. Farhangi, "The path of the smart grid," *IEEE Power and Energy Magazine*, vol. 8, pp. 18–28, Enero 2010.
- [21] Elgato, "Eve energy switch & smart meter, disponible en <https://www.elgato.com/en/eve/eve-energy>," Noviembre 2016.
- [22] R. Electronis, "I3c wi-fi smart plug, disponible en <http://raynic.com>," Noviembre 2016.
- [23] I. E. Commission, "International standard iec 62053-21," tech. rep., International Electrotechnical Commission, Ginebra, Suiza, Noviembre 2003.
- [24] A. Devices, "Energy metering ic with integrated oscillator and reverse polarity indication ad71056," tech. rep., Analog Devices, Inc., Noviembre 2006.
- [25] A. Devices, "Energy metering ic with integrated oscillator and no-load indication ade7769," tech. rep., Analog Devices, Inc., 2005.
- [26] STMicroelectronics, "Programmable single-phase energy metering ic with tamper detection stpm10," tech. rep., STMicroelectronics, Noviembre 2013.
- [27] A. Kommu and R. R. Kanchi, "Designing a learning platform for the implementation of serial standards using arm microcontroller lpc2148," in *Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE), 2014*, pp. 1–6, Mayo 2014.
- [28] Espressif, "Esp8266ex datasheet," Hoja de Datos 4.9, Espressif Inc., Octubre 2016.
- [29] P. Norton, *Introducción a la Computación*. México, McGraw-Hill Interamericana, 6a. ed., 2014.
- [30] G. Beekman, *Introducción a la informática*. Alhambra, 2004.
- [31] D. E. Comer, *Redes globales de información con Internet y TCP/IP: Principios básicos, protocolos y arquitectura*. Prentice-Hall Hispanoamericana,, 1996.

- [32] M. Integrated, “Real-time clocks (rtc) ics, disponible en <http://www.maximintegrated.com/en/products/digital/real-time-clocks.html>,” Noviembre 2016.
- [33] M. Integrated, “Ds1337 i2c serial real-time clock,” hoja de datos, Maxim Integrated Inc., Octubre 2015.
- [34] G. MacGillivray, “Faster memories: Are they secure?,” *Card Technology*, vol. 10, no. 1, pp. 14–15, 2005.
- [35] D. Sweeney, “Emerging ram technologies,” *Embedded Systems Programming*, vol. 14, no. 3, pp. 63–70, 2001.
- [36] E. M. Philofsky, “Fram-the ultimate memory,” in *Nonvolatile Memory Technology Conference, 1996., Sixth Biennial IEEE International*, pp. 99–104, Junio 1996.
- [37] A. E. S. Harsha Medu, “Energy comparison of cypress f-ram and eeprom,” tech. rep., Cypress Semiconductor Corporation, Octubre 2014.
- [38] C. Semiconductor, “Fm24cl32,” tech. rep., Cypress Semiconductor Corp., Noviembre 2015.
- [39] A. S. Tanenbaum, *Redes de computadoras*. Prentice Hall, 4a. ed., 2003.
- [40] Benchmark, “El protocolo http, disponible en <http://es.ccm.net/contents/264-el-protocolo-httpq=http&cur=1&url=Noviembre> 2016.
- [41] C. Benchmark, “Protocolo tcp, disponible en <http://es.ccm.net/contents/281-protocolo-tcp>,” Noviembre 2016.
- [42] B. C. de Reserva del Perú, “Encuesta de expectativas macroeconómicas de tipo de cambio, disponible en <http://www.bcrp.gob.pe/docs/estadisticas/encuestas/expectativas-tipo-de-cambio.xls>,” 2016.