



**INFOTEC CENTRO DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN
EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y
COMUNICACIÓN**

DIRECCIÓN ADJUNTA DE INNOVACIÓN Y CONOCIMIENTO
GERENCIA DE CAPITAL HUMANO
POSGRADOS

**“SISTEMA DOMÓTICO DE
DESAGREGACIÓN ENERGÉTICA NO
INTRUSIVO”**

IMPLEMENTACIÓN DE UN PROYECTO LABORAL
Que para obtener el grado de MAESTRO EN SISTEMAS EMBEBIDOS

Presenta:

Ing. Pedro Vinicio Esparza Martínez

Asesor:

Jesús Antonio Sosa Herrera

Aguascalientes, Ags. Agosto de 2018.



Autorización de Impresión



C4

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Ciudad de México, 17 de julio de 2018

La Gerencia de Capital Humano/ Gerencia de Investigación hacen constar que el proyecto terminal titulado:

"Sistema domótico de desagregación energética no intrusivo"

Desarrollada por el alumno

Nombre: **Pedro Vinicio**

Apellido paterno: **Esparza**

Apellido materno: **Martínez**

Desarrollado bajo la asesoría del:

Dr. Jesús Antonio Sosa Herrera

Ha sido revisado y aprobado por miembro del Núcleo Académico Básico (NAB).

Por lo cual, se expide la presente autorización para impresión del proyecto terminal al que se ha hecho mención.

Vo. Bo.

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Patricia Ávila Muñoz", is written over a horizontal line.

Mtra. Patricia Ávila Muñoz
Gerencia de Capital Humano

*Anexar a la presente autorización al inicio de la versión impresa del proyecto integrado que ampara la misma.

Agradecimientos

Quiero dedicar esta tesis con todo mi amor y cariño a mi esposa Isis Esquivel por su constante apoyo, por creer en mi capacidad y siempre brindarme su comprensión cariño y amor.

A mis queridos hijos Mariana, Avril, Máximo y Bruno por ser fuente de motivación e inspiración para superarme cada día más.

A mí amada madre y hermanas quienes con sus palabras de aliento no me dejaban decaer para que siguiera adelante y cumpliera con mis ideales.

A mis compañeros, maestros y asesores, quienes sin esperar nada a cambio compartieron su conocimiento y a todas aquellas personas que estuvieron a mi lado apoyándome y lograron que esta meta en mi vida se hiciera realidad.

Gracias.

Tabla de contenido

Resumen	1
Introducción.....	2
Antecedentes	2
Planteamiento del problema	2
Procedimiento.....	3
Hipótesis.....	4
Objetivo	4
Objetivos particulares	4
Capítulo 1: MARCO TEORICO	7
1.1 Breve descripción de la desagregación de la energía	7
1.2 Implementaciones existentes.....	8
1.3 Patentes relacionadas al proyecto de desagregación de energía	9
Capítulo 2: METODOLOGÍA.....	12
2.1 Sistema domótico de monitoreo energético no intrusivo	12
2.2 Hardware	12
2.3 Conceptos básicos sobre energía, corriente, voltaje y potencia.....	18
2.4 Esquemático del Sistema domótico de monitoreo energético no intrusivo	23
2.5 Mantenimiento de la placa electrónica	24
2.6 Software	24
2.6.1 Arquitectura de software	24
2.6.2 Comunicación	25
2.6.3 Publicación de datos.....	26
2.6.4 Visualización Web de históricos	27
2.6.5 Administración de la Configuración	27
2.6.6 Procesamiento	27
2.7 Estimaciones	30
Capítulo 3: RESULTADOS	32
CONCLUSIONES	36
REFERENCIAS.....	38
ANEXOS	40
ANEXO I.....	40

Índice de figuras

Figura 1. Evolución del PIB y el consumo Nacional de energía eléctrica 2004-2014.....	2
Figura 2. Composición de clientes CFE por sector.....	3
Figura 3. Arquitectura del Sistema domótico de monitoreo energético no intrusivo.....	13
Figura 4. Sensor de corriente no invasivo SCT-013-030.....	13
Figura 5. Convertidor análogo digital ADS1115.....	14
Figura 6. Pines de conexión de un ADC ADS1115.....	15
Figura 7. Módulo lector de memoria microSD.....	16
Figura 8. Configuración de pines del ESP-12E, Fuente ESP8266 ESPRESIF	17
Figura 9. Forma de onda de corriente alterna.....	18
Figura 10. Forma de onda de corriente y voltaje alterno.....	19
Figura 11. Forma de onda de corriente y voltaje alterno en fase con potencia.....	19
Figura 12. Forma de onda de corriente y voltaje alterno en desfase con potencia.....	20
Figura 13. Triangulo de potencias.....	21
Figura 14. Diseño en esquemático del hardware del Sistema domótico de monitoreo energético no intrusivo.....	23
Figura 15. Imagen del hardware terminado, del Sistema domótico de monitoreo energético no intrusivo.....	23
Figura 16. Módulos de software del Sistema domótico de monitoreo energético no intrusivo.....	24
Figura 17. Elementos de comunicación WiFi.....	25
Figura 18. Arquitectura Sistema de control y monitoreo eléctrico.....	26
Figura 19. Ejemplo de tipo de gráficas para el sistema de monitoreo y control eléctrico.....	26

Figura 20. Diagrama a bloques del proceso de desagregación de Sistema domótico de monitoreo energético no intrusivo.....	28
Figura 21. Ejemplos de una máquina de estados para detección de variaciones en la corriente Irms.....	29
Figura 22. Gráfica de comportamiento de las observaciones de corriente eléctrica para 3 dispositivos.....	33
Figura 23. Gráfica del resultado de las desagregaciones estimadas obtenidas por el Sistema domótico de monitoreo energético no intrusivo	34

Índice de cuadros

Cuadro 1. Implementaciones de desagregadores de consumo eléctrico	8
Cuadro 2. Especificaciones técnicas del ESP8266.....	16
Cuadro 3. Ejemplo de especificación de los estados de la corriente eléctrica de entrada.....	29
Cuadro 4. Datos de entrada en amperes para 3 dispositivos eléctricos	32
Cuadro 5. Resultados de la estimación de la desagregación de los datos de entrada en ampers.....	33

Siglas y abreviaturas

ADC Conversión analógica-digital consiste en la transcripción de señales analógicas en señal digital, con el propósito de facilitar su procesamiento (codificación, compresión, etcétera) y hacer la señal resultante (digital) más inmune al ruido y otras interferencias a las que son más sensibles las señales analógicas.

FAT16, FAT32 Tabla de asignación de archivos, comúnmente conocido como FAT (del inglés file allocation table), es un sistema de archivos desarrollado para MS-DOS, así como el sistema de archivos principal de las ediciones no empresariales de Microsoft Windows hasta Windows Me.

GPIO General Purpose Input Output (GPIO) es un sistema de entrada y salida de propósito general, es decir, consta de una serie de pines o conexiones que se pueden usar como entradas o salidas para múltiples usos

IoT (Internet of Things, abreviado IoT) es un concepto que se refiere a la interconexión digital de objetos cotidianos con Internet

I2C (Inter-Integrated Circuit) es un bus serie de datos desarrollado en 1982 por Philips Semiconductors (hoy NXP Semiconductors, parte de Qualcomm). Se utiliza principalmente internamente para la comunicación entre diferentes partes de un circuito, por ejemplo, entre un controlador y circuitos periféricos integrados.

MQTT (Message Queue Telemetry Transport), un protocolo usado para la comunicación machine-to-machine (M2M) en el "Internet of Things".

M2M (machine to machine, 'máquina a máquina') es un concepto genérico que se refiere al intercambio de información o comunicación en formato de datos entre dos máquinas remotas.

NILM (Monitoreo de carga no intrusiva (NILM) o monitoreo de carga no intrusiva (NIALM), [13] es un proceso para analizar los cambios en el voltaje y la corriente de una casa y deducir qué electrodomésticos se usan en la casa así como su consumo de energía individual.

PGA (programmable gain amplifier) Un amplificador de ganancia programable de bajo nivel de ruido proporciona ganancias que van de 1 a 128 para amplificar señales de bajo nivel para aplicaciones resistivas de puente o termopar.

PCB (Printed Circuit Board, PCB), es la superficie constituida por caminos, pistas o buses de material conductor laminadas sobre una base no conductora.

SD (Secure Digital) es un dispositivo en formato de tarjeta de memoria para dispositivos portátiles, por ejemplo: cámaras digitales (fotográficas o videograbadoras), teléfonos móviles, computadoras portátiles y videoconsolas (de sobremesa y portátiles), Tabletas y entre muchos otros

SDHC (Secure Digital High Capacity) es un formato de tarjeta de memoria flash desarrollado por Matsushita. Es la versión 2.0 de las memorias SD.

SCT sensor de corriente no invasivo (también conocido como "núcleo de transformador" por su forma) puede ser colocado alrededor de una línea de alimentación para que proporcione la cantidad de corriente que pasa a través de ella, ya que responde al campo magnético que se induce en la línea eléctrica por la corriente

SoC (system on a chip o system on chip), describe la tendencia cada vez más frecuente de usar tecnologías de fabricación que integran todos o gran parte de los módulos que componen un computador o cualquier otro sistema informático o electrónico en un único circuito integrado o chip.

RTC (real-time clock) es un reloj de un ordenador, incluido en un circuito integrado, que mantiene la hora actual.

RMS (root mean square) Valor efectivo de corriente o tensión alterna. El verdadero valor eficaz RMS compara la corriente o tensión alterna con la corriente o tensión continua que proporciona la misma transmisión de potencia.

SPI (Serial Peripheral Interface) es un estándar de comunicaciones, usado principalmente para la transferencia de información entre circuitos integrados en equipos electrónicos.

UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter), en español: Transmisor-Receptor Asíncrono Universal, es el dispositivo que controla los puertos y dispositivos serie.

WLAN Red de área local inalámbrica, también conocida como WLAN (del inglés wireless local area network), es un sistema de comunicación inalámbrico para minimizar las conexiones cableadas

Resumen

Comprender cómo los aparatos eléctricos y dispositivos en una casa habitación consumen energía es un factor importante que puede permitir a los ocupantes tomar decisiones inteligentes e informadas sobre la conservación de la energía. Esto comúnmente no es una tarea fácil.

Estas cargas eléctricas pueden activarse y desactivarse tanto por las acciones de los ocupantes como por la detección y el accionamiento automáticos (por ejemplo, refrigerador). Incluso si pudiéramos hacer un seguimiento de cuándo las cargas se encienden y se apagan, es difícil entender cuánto consume una carga en un estado operativo debido a la falta de mediciones apropiados.

Esta tesis presenta un algoritmo de desagregación de carga y su implementación en Sistema domótico de monitoreo energético no intrusivo. Este desagregador utiliza un modelo dinámico basado en máquinas de estado finitas (FSM por sus siglas en ingles), el modelo es entrenado a partir de la transición de estados que permite detectar variaciones en corriente eléctrica censada en una toma casera, que pudiera corresponder al encendido o apagado de un dispositivo eléctrico o variaciones en los estados del mismo dispositivo, centrándose para esta tesis solo en la detección de 6 dispositivos cada uno con dos estados posibles. El entrenamiento del modelo cuenta con un ajuste iterativo, aproximado a partir lecturas proporcionadas u observaciones de las variaciones de corriente, en donde los estados asociados construyen nuevos modelos.

La implementación del desagregador se ejecuta en tiempo real en un procesador embebido de bajo costo utilizando bajas tasas de muestreo (por ejemplo, por segundo). Otras contribuciones a mencionar es la liberación de un conjunto de datos disponibles para consulta del usuario.

Palabras Clave. Monitoreo de consumo, inteligencia artificial, corriente eléctrica, medidores inteligentes, estados, dispositivos, energía, conjunto de datos.

Introducción

Antecedentes

La aplicación y utilización de la tecnología en cualquier aspecto, ya sea para brindar bienes y servicios, implica un consumo energético para su funcionamiento, siendo la producción, generación y administración de la energía un hecho netamente relevante y de vital importancia, de tal manera que se ha llegado a establecer una relación directa entre el nivel de vida y el consumo energético, afirmando así que, el incremento en el desarrollo de una nación está asociado a un mayor consumo, uso y capacidad de transformación de energía de forma eficiente [10].

Este consumo energético está justificado por las necesidades que permiten al hombre una supervivencia cómoda, con el funcionamiento de sistemas como: el transporte, el sector doméstico, el sector industrial, el sector comercial, el sector institucional y el sector agrícola entre otros.

Planteamiento del problema

En México entre el período 2004-2014, se incrementó el consumo nacional de energía eléctrica a una tasa promedio de 3.0% anual, para ubicarse en 244,673.1 GWh en 2014. Por otra parte, el PIB presentó una tasa media de crecimiento anual (Tmca) de 2.6%, en el mismo período [10], como se muestra en la Figura 1, a continuación.

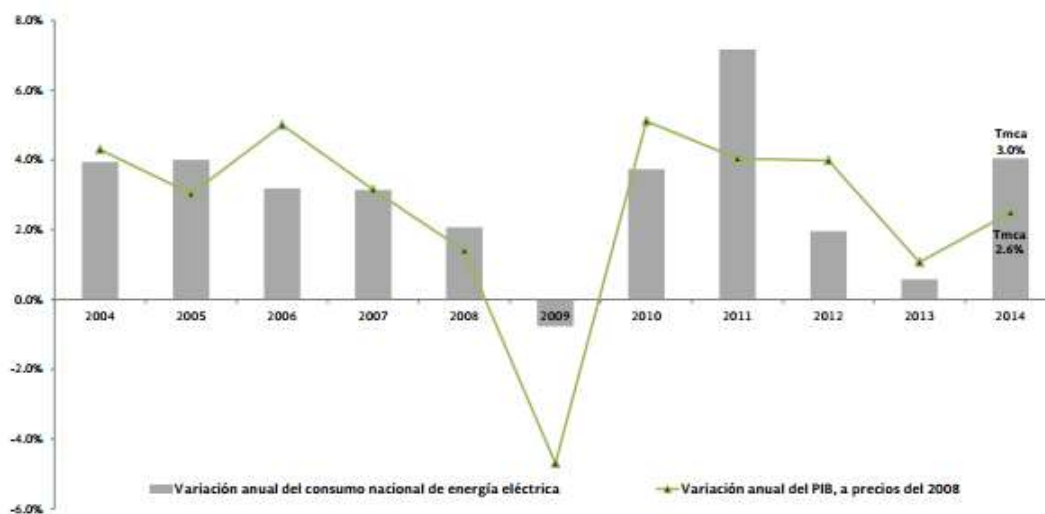


Figura 1. Evolución del PIB y el consumo Nacional de energía eléctrica 2004-2014
Fuente: SENER con información de CFE

En el mismo periodo el número de usuarios tuvo una tasa de crecimiento medio anual de 5.8%, con lo que, en 2014, la CFE abasteció de energía eléctrica a aproximadamente 39 millones de usuarios [10], siendo el sector doméstico o residencial, el de mayor participación dentro de dicho total, Figura 2.

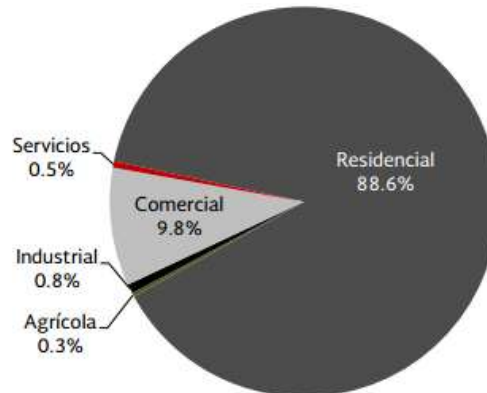


Figura 2. Composición de clientes CFE por sector
Fuente: SENER con información de CFE

El uso irracional de la energía conlleva al uso ineficiente de recursos naturales lo cual no garantiza en el futuro satisfacer la necesidades de una creciente población, si se toma en cuenta que el mayor consumo en el país está asociado en hogares se entiende que serían los más afectados por un desabasto o en contraparte dado el incremento en los gasto de generación mayor pago de facturación para los usuarios finales.

Procedimiento

El uso eficiente de la energía significa hacer más con menos. Esto se logra a través de la implementación de estrategias inteligentes de administración, medición y mejor aprovechamiento de los insumos energéticos.

El contar con un sistema de medición permanente lleva a los usuarios a lograr mejoras en el sistema eléctrico y a la obtención de ahorros de energía sustentados en una base real de comparación así como en una verdadera administración del flujo energético.

Se plantea el desarrollo de un sistema de monitoreo del consumo energético en una vivienda, a partir de medidores inteligentes no intrusivo, siendo esencialmente sensores que ofrecen la oportunidad de usar el cálculo para inferir

qué cargas están funcionando y cuánto está consumiendo cada carga (desagregación de cargas)

Un sistema de monitoreo y control de energía es aquel capaz de registrar todas aquellas variables eléctricas de interés que en determinado momento proporcionen información para establecer el comportamiento de un sistema de potencia [9].

Hipótesis

¿Es posible desarrollar un dispositivo electrónico que proporcione información útil sobre el consumo de energía de una casa habitación por medio de IoT, con restricciones sobre su costo, consumo energético y bajo poder de procesamiento?

Objetivo

Desarrollar de un sistema de monitoreo del consumo energético en una vivienda, a partir de un medidor inteligente no intrusivo, siendo esencialmente sensores que a partir de la digitalización de las señales obtenidas sean procesadas para inferir qué cargas están activas y cuánto está consumiendo, que faciliten su consulta por medio de páginas Web en una red WiFi que el mismo dispositivo proveerá.

Objetivos particulares

Reunir la información: monitoreo

- Los datos agregados de la demanda de energía agregada total en forma de corriente eléctrica de la casa se recogerán por medio de un sensor invasivo a través de la toma principal de la red eléctrica de la casa.
- El dispositivo propuesto contará con un proceso que permita realizar medición en tiempo real.
- Las mediciones realizadas se digitalizarán por medio de un convertidor análogo digital (ADC) y se filtrarán para la eliminación de ruido

Procesar la información: análisis

- Las señales digitalizadas de datos se enviarán a un sistema central para su procesamiento por medio de un sistema embebido dentro de un microcontrolador.
- El sistema embebido contará con un módulo de desagregación de cargas para identificación de consumo por dispositivo.

- El sistema de desagregación se entrenará de forma no supervisada a través de muestras iniciales para permitir que el sistema de desagregación generalice comportamientos de los aparatos aprendidos.
- El resultado del entrenamiento se almacenara en modelos que reflejen la frecuencia de comportamiento y se guardara en memoria no volátil por medio de un módulo de lectura/escritura SD (Secure Digital), para su posterior consulta.
- Se generará una bitácora resultado de la inferencia de la desagregación de carga etiquetada con la fecha y hora realizada por medio de un reloj de tiempo real (real-time clock, RTC).

Consultar la información:

- Por medio del dispositivo se permitirá crear o conectarse a una red de área local Wifi (WLAN) por medio de esta, se le dará acceso a usuarios para consulta de la información generada por medio de páginas Web.
- Los usuarios pueden consultar la demanda total en gráficas de variables como potencia real y corriente eléctrica.
- Permitirá consultar además la desagregación de corriente eléctrica por dispositivo conectado y sus históricos de consumo.
- Se posibilitara la opción de transferir la información generada de consumo, a servicios expuestos en Internet para su consulta en línea aprovechando la tecnología de Internet de las cosas (Internet Of Thing, IoT).



CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO



CAPÍTULO 1: MARCO TEORICO

1.1 Breve descripción de la desagregación de la energía

La monitorización no intrusiva de la carga (*Non-intrusive load monitoring* - NILM), o desagregación de la energía, tiene por objeto desglosar el consumo agregado de electricidad de un hogar recogido por un contador inteligente en aparatos individuales [6]. Los estudios han demostrado que proporcionar a los ocupantes del hogar un desglose personalizado del consumo de energía del electrodoméstico les permite tomar medidas para reducir su consumo total de energía [4].

NILM puede ser formulado como un problema de aprendizaje de máquina. Las contribuciones recientes a este problema se dividen en tres categorías.

Los primeros usan métodos supervisados que asumen que se cuenta los datos de entrenamiento de aparatos medidos están disponibles en el hogar en el que se va a realizar la desagregación. Un método para recolectar estos datos es instalar medidores de electrodomésticos individuales. Sin embargo, esta suposición disminuye dramáticamente la escalabilidad de tales sistemas debido a los costes inherentes y el tiempo de instalación de los medidores individuales

La segunda categoría de enfoques existente utiliza métodos de desagregación sin supervisión en los que no se asume ningún conocimiento previo de los aparatos. Estos enfoques han demostrado cómo los parámetros de los aparatos medidos pueden ser aprendidos después de recopilar datos agregados durante un período conveniente, que van desde horas, días o incluso meses. Sin embargo, dado que estos métodos sólo aprenden parámetros para un conjunto de clases (correspondientes a diferentes dispositivos), no pueden asignar etiquetas (nombres de dispositivo) de forma consistente dada la variedad de dispositivos que conforma cada clase.

Una tercera categoría a mencionar, considera la recopilación de una base de datos exhaustiva de firmas de múltiples dispositivos que definen su comportamiento según su consumo eléctrico [12]. Sin embargo, el gran número de instancias por tipo de dispositivo hace este enfoque prohibitivamente caro y lento. Además, es

poco probable que un clasificador sea capaz de distinguir entre diferentes instancias de dispositivo en espacios físicos ocupados por bastante gente.

1.2 Implementaciones existentes

En la siguiente Cuadro se muestran empresas que han implementado aplicaciones y dispositivos que permiten desagregar el consumo eléctrico y sus características.

Empresa	Locación	Fecha	Entrada	Descripción
Grid4C	Texas, EU	2015	Medidores inteligentes	Provee desagregadores de carga a partir de un analizador centralizado
Smapee	Kortrijl, Belgica	2014	CT, Khz	Desagregador en tiempo real, IOTT. Control de dispositivos
ENERBITS	Argentina	2015	CT, Khz	Desagregador en tiempo real, consulta históricos y alarmas. Control de dispositivos
Neurio	Vancouver, Canada	2013	2 CT, mide V, I y potencia activa a 1 Hz	Detección de dispositivos >400 W. Notificaciones en tiempo real.
Wattseeker	Nice, Francia		Medidores propios CT	Desagregación de hasta 12 dispositivos precisión 98%, para empresas
Enetics SPEED	Nueva York, EU	1996	2 CT, para alta frecuencia V I	Detección de dispositivos, bajo altas frecuencias
Informetics	Japón y UK	2013	Alta frecuencia	Desagregadores cerca de tiempo real.

*Tabla 1. Implementaciones de desagregadores de consumo eléctrico
Fuente: Elaboración propia, a partir de búsquedas en Internet*

Todas las soluciones mencionadas anteriormente desagregan a través de reconocimiento de patrones en datos muestra agregados relativamente rápida. La idea general es utilizar el conocimiento previo del consumo de energía promedio detallado de hogares similares; Y encontrar correlaciones entre el uso de energía y

el tiempo así como características de cada casa.

Desventajas

- Importación de tecnología
- Falta de representación oficial en el país o a través de importadores
- Clasificadores adaptados a consumo en países extranjeros
- Costos elevados para su adquisición e implementación

1.3 Patentes relacionadas al proyecto de desagregación de energía

Sistema y método de monitorización de la carga no intrusiva

Número de patente: US20110213739A1

Inventores: Diego Benitez, Rui Huang

Esta patente se refiere en general al monitoreo del consumo de energía de dispositivos en edificios.

Consiste en un dispositivo de detección conectado operativamente a una fuente de energía común para detectar dispositivos eléctricos, y un módulo estimador conectado a un dispositivo de salida, el estimador está configurado para obtener datos asociados a los estados detectado de la fuente de energía que permita determinar al menos un modelo que represente cada uno de los dispositivos eléctricos conectados, esto se logra gracias a la resolución de un problema de programación de números enteros mixtos asociados a modelos en un horizonte de tiempo fijo asociado a etapas operativas y sus datos históricos para obtener inferencias.

Utilidad de monitorización no intrusiva

Número de patente: GB2471536A

Inventores: James Donaldson, Sarah Surrall, Alex Matthews, Semen Trygubenko, Malcolm Mcculloch

Esta patente provee un método que comprende: recibir valores de utilidad representativos del uso total de al menos un conjunto de aparatos eléctricos;

analizar los valores recibidos usando varios módulos de análisis, donde cada módulo de análisis corresponde a un tipo predeterminado de aparato eléctrico, cada módulo realiza un análisis de lógica difusa de los valores de confianza calculados para identificar el funcionamiento de un aparato.



CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA



CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA

2.1 Sistema domótico de monitoreo energético no intrusivo

En esta sección abordaremos primero los elementos de hardware a nivel arquitectura y luego se describen cada uno de sus componentes, así como algunos conceptos básicos. Finalmente, la implementación en software es presentada.

2.2 Hardware

Para llevar a cabo la realización del sistema de Monitoreo y Control Energético mencionado, se propone conformarlo por los siguientes elementos de hardware:

- Fuente AC/DC de 3.3v
- Reloj de tiempo real Rtc Ds3231
- Microcontrolador y módulo de comunicación WiFi
- Modulo lector de memoria microSD
- Sensor de corriente SCT-013-030 (Lineal 0.5%)
- Convertidor de señal análogo digital ADC ADS1115

A continuación se muestra la arquitectura del sistema desarrollado en la 3, con los componentes de hardware mencionados.

Fuente

Este bloque representa al circuito electrónico encargado de realizar la conversión de los 120 voltios alternos (provenientes de la toma casera) a 5 voltios continuos, los cuales son necesarios para alimentar a cada uno de los dispositivos electrónicos del sistema de control.

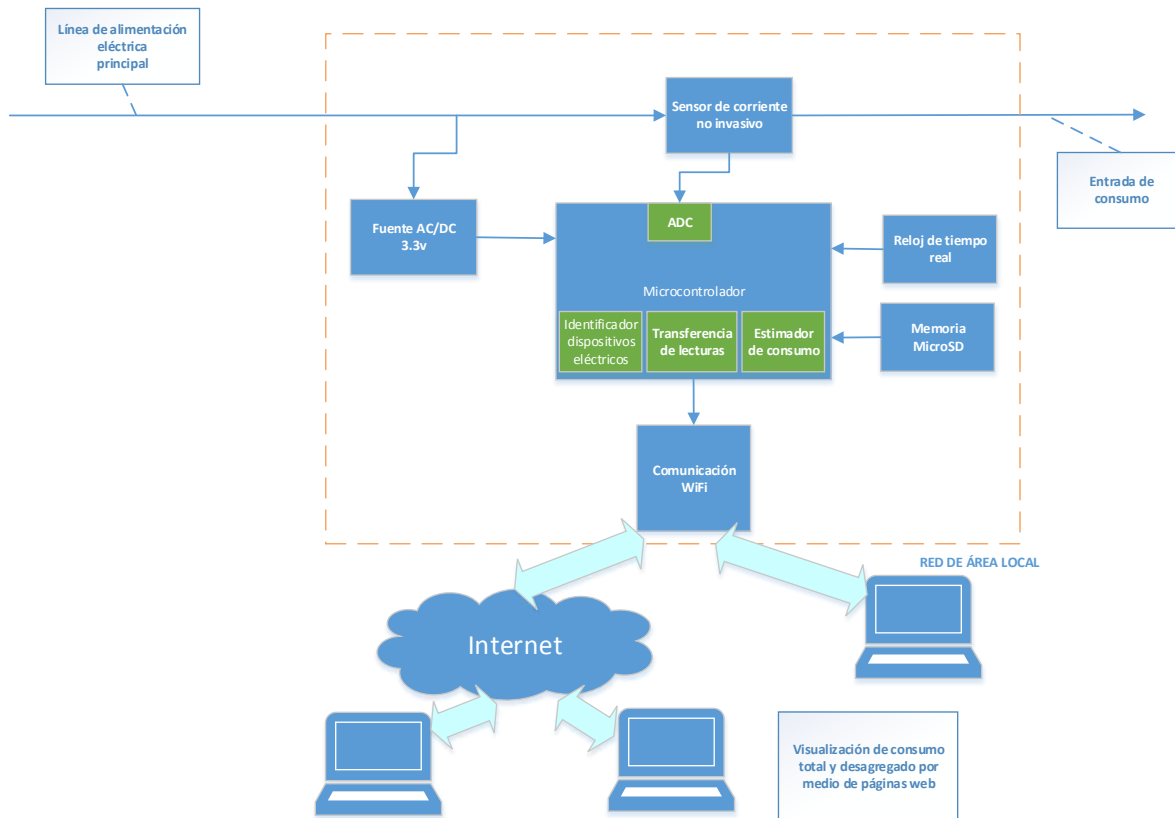


Figura 3. Arquitectura del Sistema domótico de monitoreo energético no intrusivo.
Fuente: Elaboración propia, a partir de las características definidas

Sensor de corriente SCT-013-030

El sensor de corriente es un dispositivo capaz de detectar la presencia de corriente eléctrica (una línea de alimentación). Una vez detectada dicha corriente, el sensor transforma la medida de corriente en una tensión; la cual es proporcional y representativa de la primera. Luego, este sensor envía esta señal representativa a su salida, la cual se empleará para enviar la señal a la unidad de procesamiento, para su respectivo análisis (Figura 4).

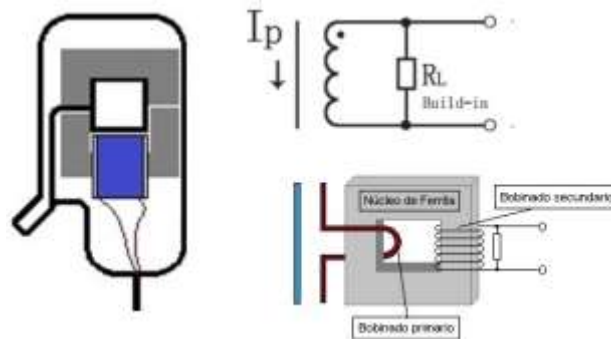
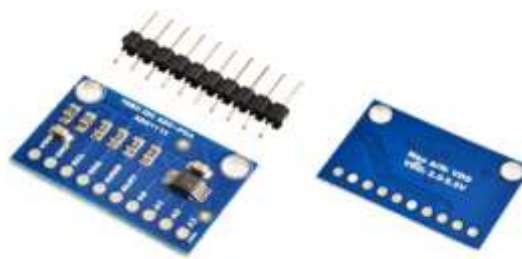


Figura 4. Sensor de corriente no invasivo SCT-013-030.
Fuente datasheet YHDC

Los sensores de la serie SCT-013 son sensores que trabajan como transformadores [13], la corriente que circula por el cable que deseamos medir actúa como el devanado primario (1 espira) e internamente tiene un devanado secundario que dependiendo del modelo pueden tener hasta más de 2000 espiras. A este tipo de sensores se los conoce como Sensores CT (*Current transformers*). El sensor de corriente SCT-013-030 nos permite realizar medidas en un rango de 30A. Este modelo tiene una resistencia de carga interna, entregándonos una salida de voltaje. La relación es de 30A/1V

Convertidor de señal análogo digital ADC ADS1115

El ADS1115 es un conversor analógico digital (ADC) externo que podemos conectar a un procesador para medir señales analógicas.



*Figura 5. Convertidor análogo digital ADS1115
Fuente AliExpress*

El ADS1115 proporciona 4 ADC de 16 bits [12], 15 bits para la medición y un último para el signo. El ADS1115 se conecta por I2C, por lo que es sencillo realizar su lectura. Dispone de 4 pines de direcciones, por medio de los cuales se eligen mediante la conexión del pin ADDRESS.

El interés de emplear un ADC como el ADS1115 es obtener una mayor precisión en la obtención de señales análogas, así como de liberar de esta carga al procesador principal. Además, en ciertas configuraciones, es posible medir tensiones análogas negativas.

El ADS1115 tiene dos modos de medición, finalización única (*single ended*) y diferencial. En el modo finalización única se dispone de cuatro canales de 15 bits. En el modo diferencial usamos dos ADC para cada medición, por lo que el número

de canales se reduce a 2, pero se tiene la ventaja de poder medir tensiones negativas y mayor inmunidad al ruido.

El ADS1115 incorpora además un PGA (*Programmable gain amplifier*) que permite ajustar la ganancia desde 6.144V a 0.256V. Esto permite obtener precisiones superiores cuando se midan tensiones inferiores a 5V. El valor por defecto es +/-6.144 volts

Para este montaje disponemos del ADS1115 de modo diferencial por lo que se conecta la carga entre A0 y A1, el PGA se configura con +/-2.048volts que soporte la salida del SCT-013 que va de +/- 1volt con que nos daría una resolución de $2.048/2^{16} = 0.0625\text{mV}$ por bit.

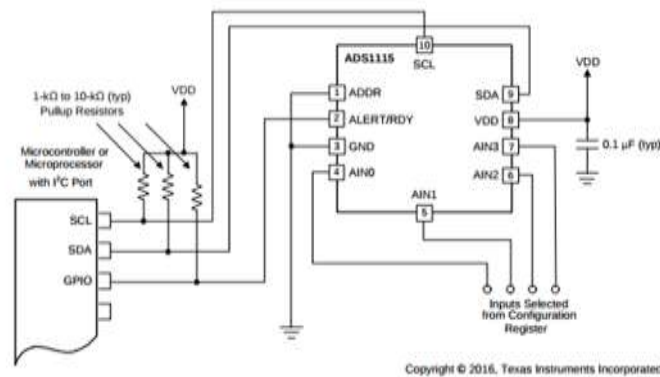


Figura 6. Pines de conexión de un ADC ADS1115.
Fuente Texas Instruments ADS111x reference

Módulo lector de memoria microSD

Un lector SD es un dispositivo que permite emplear como almacenamiento una tarjeta SD, la lectura puede realizarse a través de bus SPI (*Serial Peripheral Interface*). Aunque pueden disponer de otros interfaces, como bus I2C (*Inter-Integrated Circuit*) o UART (*Asynchronous Receiver-Transmitter*). La tensión de alimentación es de 3.3V podemos emplear tarjetas SD o SDSC (*Standard Capacity*) o SDHC (*High Capacity*), formateada en sistema de archivos de localización FAT16 o FAT32 (*File Allocation Table*).

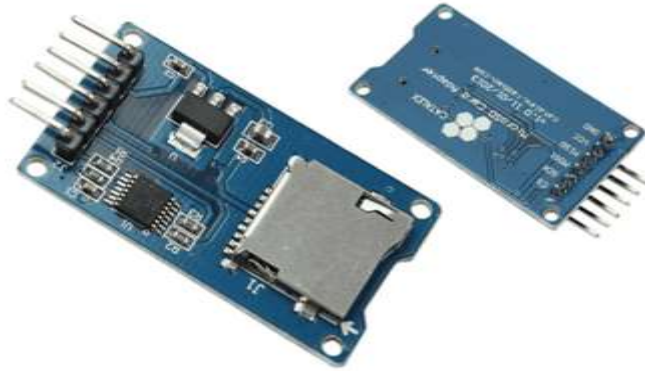


Figura 7. Módulo lector de memoria microSD,
Fuente Banggood

Para este proyecto se utilizará como medio de almacenamiento que incluye:

- Páginas Web que servirán de interfaz para el usuario final.
- Bitácoras de mediciones y desagregaciones realizadas de corriente y potencia.
- Datos de los modelos de entrenamiento utilizados para la desagregación.

Microcontrolador y módulo de comunicación WiFi

El ESP8266 es un chip altamente integrado SoC (*system on a chip*) de bajo costo. Ofrece una solución completa y autónoma de redes WiFi, lo que le permite alojar la aplicación o servir como puente entre Internet y un microcontrolador. El módulo ESP8266 incluye un procesador interno que podríamos programar para funcionar de modo autónomo. Un dispositivo ESP8266 puede desempeñar el papel de un punto de acceso, una estación o ambos al mismo tiempo [7].

Wifi
802.11 b/g/ n
WIFI @ 2.4 GHz, soporta WPA / WPA2
Modulo ultra-pequeño. Tamaño 11.5mm * 11.5mm
ADC integrado de 10 bit de precisión
Protocolo stack TCP/IP integrado
Switch TR integrado, balun, LNA, amplificador de potencia y red de adaptación
PLL integrado, regulador de tensión y componentes de administración de energía
Microcontrolador
CPU de 32 bits de baja potencia: funcionar como procesador de aplicaciones.

SDIO 2.0, SPI, UART
STBC, 1x1 MIMO, 2x1 MIMO
A-MPDU & agregación A-MSDU & 0.4ms de intervalo de guarda
Encendido y transferencia de paquetes < 2ms.
El consumo de energía en espera es de menos de 1.0mW (DTIM3)
Rango de temperatura de operación: -40 ~ 125 °C
Voltaje de alimentación: 3.3 V.

Cuadro 2. Especificaciones técnicas del ESP8266
Fuente ESP8266 ESPRESIF

El ESP8266 tiene potentes capacidades de procesamiento y almacenamiento que le permiten integrarse con sensores y dispositivos específicos de aplicación a través de sus entradas/salidas de propósito general ó GPIOs (*General Purpose input/output*) con un desarrollo mínimo y carga reducida durante el tiempo de ejecución. Su alto grado de integración en el chip permite una circuitería externa mínima, y la totalidad de la solución, incluyendo el módulo está diseñado para ocupar el área mínima en un PCB (*Printer Circuit Board*).

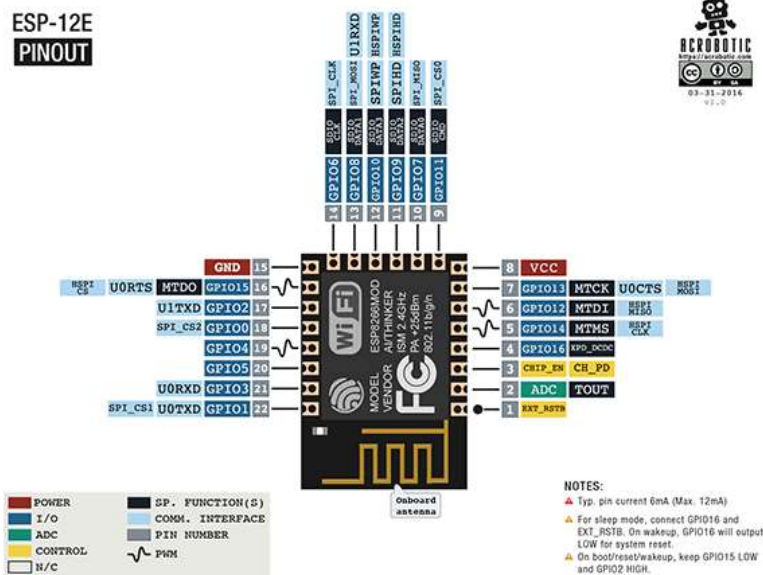


Figura 8. Configuración de pines del ESP-12E,
Fuente ESP8266 ESPRESIF

Para este proyecto seleccionó el modelo ESP12-E (Figura 8), pues además de las capacidades de procesamiento y comunicación mencionados cuenta con las

siguientes características adicionales requeridas [5]: 9 GPIOs, 1 ADC y protección de señales electromagnéticas.

El ESP8266 permite escribir aplicaciones que se pueden ejecutar de forma nativa en el dispositivo en lenguaje C [1], cuenta con ESP8266 SDK API, que es un conjunto de librerías que facilitan su acceso.

2.3 Conceptos básicos sobre energía, corriente, voltaje y potencia

La presente sección pretende aclarar conceptos elementales de medición de energía que sirvan de base para aclarar el funcionamiento. Sistema domótico de monitoreo energético no intrusivo.

La corriente alterna se llama de esta manera porque precisamente va alternando su valor entre valores positivos y negativos. Esto lo hace en forma de onda sinusoidal (la más común) es decir, aplicando la función trigonométrica del seno [14]. La frecuencia con la que cambia es rápida, entre 50 o 60 veces por segundo a esto se le conoce como frecuencia y se mide en Hercios (Hz).

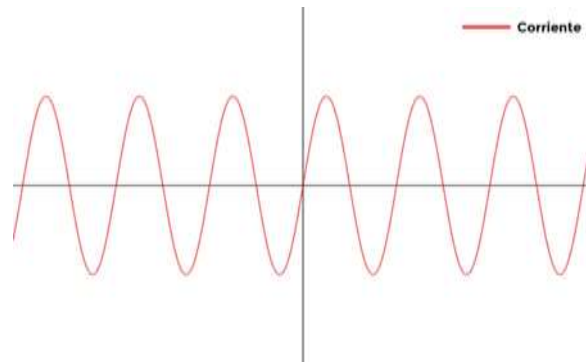


Figura 9. Forma de onda de corriente alterna

Fuente: Curso Básico de Ingeniería Eléctrica: teoría y problemas

La amplitud nos indica el máximo y el mínimo del eje Y. En el caso de la corriente nos indica el valor máximo en amperios. El voltaje también varía de la misma forma. Si se representa las dos magnitudes juntas, se tiene algo como se muestra en la siguiente Figura 10.

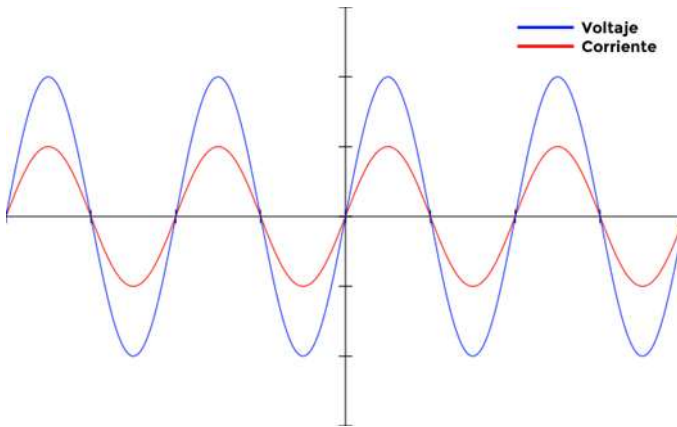


Figura 10. Forma de onda de corriente y voltaje alterno
Fuente: Curso Básico de Ingeniería Eléctrica: teoría y problemas

Si multiplicamos las ondas de voltaje y corriente alternas que hemos visto antes, puesto que la potencia P es proporcional a la corriente y a la tensión, el resultado es el que se muestra en la Figura 11.

Esto es lo que sucedería en un caso ideal donde la corriente y el voltaje están en fase es decir, no existe un desplazamiento en el tiempo. En la realidad esto solo sucede cuando el aparato que está consumiendo la energía es puramente resistivo.

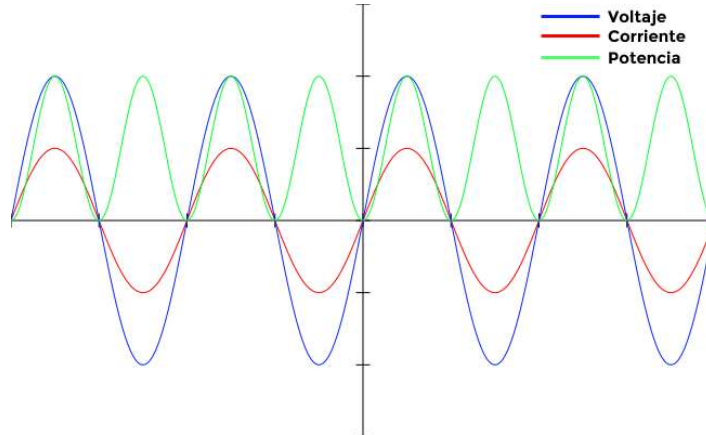


Figura 11. Forma de onda de corriente y voltaje alterno en fase con potencia
Fuente: Curso Básico de Ingeniería Eléctrica: teoría y problemas

Cargas resistivas

Son aquellos aparatos eléctricos puramente resistivos, usan toda la energía que se les suministra. Por ejemplo, los focos incandescentes, un calentador de agua, un secador de pelo o una plancha. Todo aquello que sea capaz de iluminar y calentar.

En estos casos la potencia se puede aproximar a la imagen que hemos visto antes, donde el voltaje y la corriente están en fase y en todo momento esta potencia es positiva.

Cargas reactivas

En algunos aparatos eléctricos ocurre que se libera cierta cantidad de energía en sentido opuesto es decir, desde el propio dispositivo a la fuente de alimentación. Aparatos como refrigeradores, lavadoras, taladros o soldadores.

Estos electrodomésticos tienen componentes inductivos o capacitivos como son motores, transformadores de corriente, reguladores de voltaje, supresores de picos, entre otros. Esto complica bastante al momento de medir el consumo. Aquí es donde se produce el desfase que no es más que un desplazamiento en el tiempo [14]. Por ejemplo, si para 0° de la onda sinusoidal teníamos que estar en los 0 segundos, la corriente se desplaza y esos cero grados están 1 segundo, 2 segundos o el tiempo que sea más adelante. Se muestra en la Figura 12.

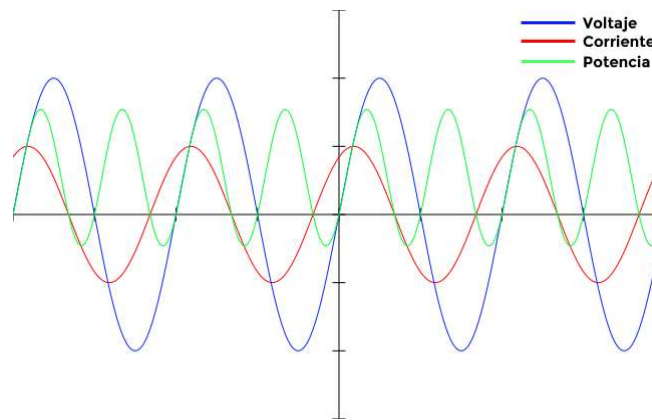


Figura 12. Forma de onda de corriente y voltaje alterno en desfase con potencia
Fuente: Curso Básico de Ingeniería Eléctrica: teoría y problemas

Que se produce un desfase en la corriente (factor de potencia) de 90° cuando se comporta como un condensador y de -90° cuando se comporta como una bobina. Esto implica que la potencia ahora tiene ciclos negativos y eso precisamente es lo que va en sentido contrario. Por lo tanto, ya no se consume toda la energía generada, parte se libera del dispositivo a la fuente de alimentación.

Factor de potencia y potencia aparente

En la Figura 13, se muestra la relación del triángulo de potencias, donde la potencia real (P, medida en vatios o W), a veces conocida como potencia activa o potencia promedio, es la transferencia neta de energía en una dirección [14]. Esto es diferente a la potencia aparente o S porque en esta hay una cantidad adicional de transferencia necesaria para superar la transferencia de energía opuesta de los componentes reactivos (por ejemplo, motores inductivos) en un circuito.

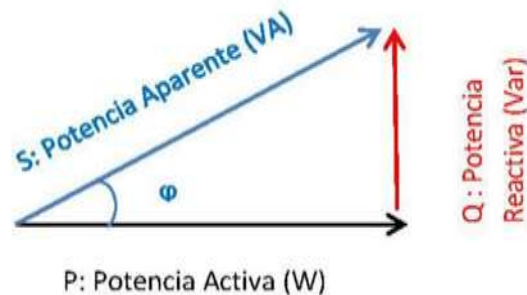


Figura 13. Triangulo de potencias

Fuente: Curso Básico de Ingeniería Eléctrica: teoría y problemas

El factor de potencia (PF) o $\cos(\varphi)$ es la relación entre la potencia real y la potencia aparente $\frac{P}{S}$ y φ es el ángulo entre la tensión y la corriente. El factor de potencia es la unidad (1) cuando el voltaje y la corriente están en fase, y cero cuando la corriente se atrasa al voltaje en 90. La potencia reactiva (Q, medida en voltios amperios reactivos o VAR) es la velocidad a la que la energía se almacena y libera por componentes como condensadores e inductores. Si bien la potencia es una medida instantánea, la energía es la cantidad de energía consumida a lo largo del tiempo y es la medida que aparece en una factura de energía como kilovatios-hora o kWh.

Valor de pico

Es simplemente la amplitud de la onda es decir, cual es el valor máximo positivo que tiene la onda.

Valor eficaz

También conocido como RMS (*root mean square*). Es el valor cuadrático medio de una magnitud eléctrica. Se trata de un valor estadístico de una magnitud variable. Se puede decir que calcula la media de dicho valor.

Conociendo la corriente por medio de lecturas de un sensor de corriente en cada instante podemos calcular la corriente eficaz o I_{rms} y con esto también calcular

la Potencia. La corriente RMS es el valor que nos entregan los instrumentos de medición, como por ejemplo una pinza amperimétrica. Para calcular la corriente RMS se utiliza la siguiente fórmula:

$$i = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt}$$

Y en tiempo discreto la ecuación sería:

$$i = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^N i_n^2}$$

Donde N es la cantidad de muestras en un periodo o múltiplo de este. Con esta fórmula podemos obtener el valor RMS, y conociendo el voltaje (120~126 AC) podemos calcular la potencia real. En el apéndice A, se encuentra el código ejemplo del cálculo del Irms y la potencia real.

2.4 Esquemático del Sistema domótico de monitoreo energético no intrusivo

Se muestra a continuación el diseño del circuito propuesto en esquemático, con los componentes anteriormente mencionados

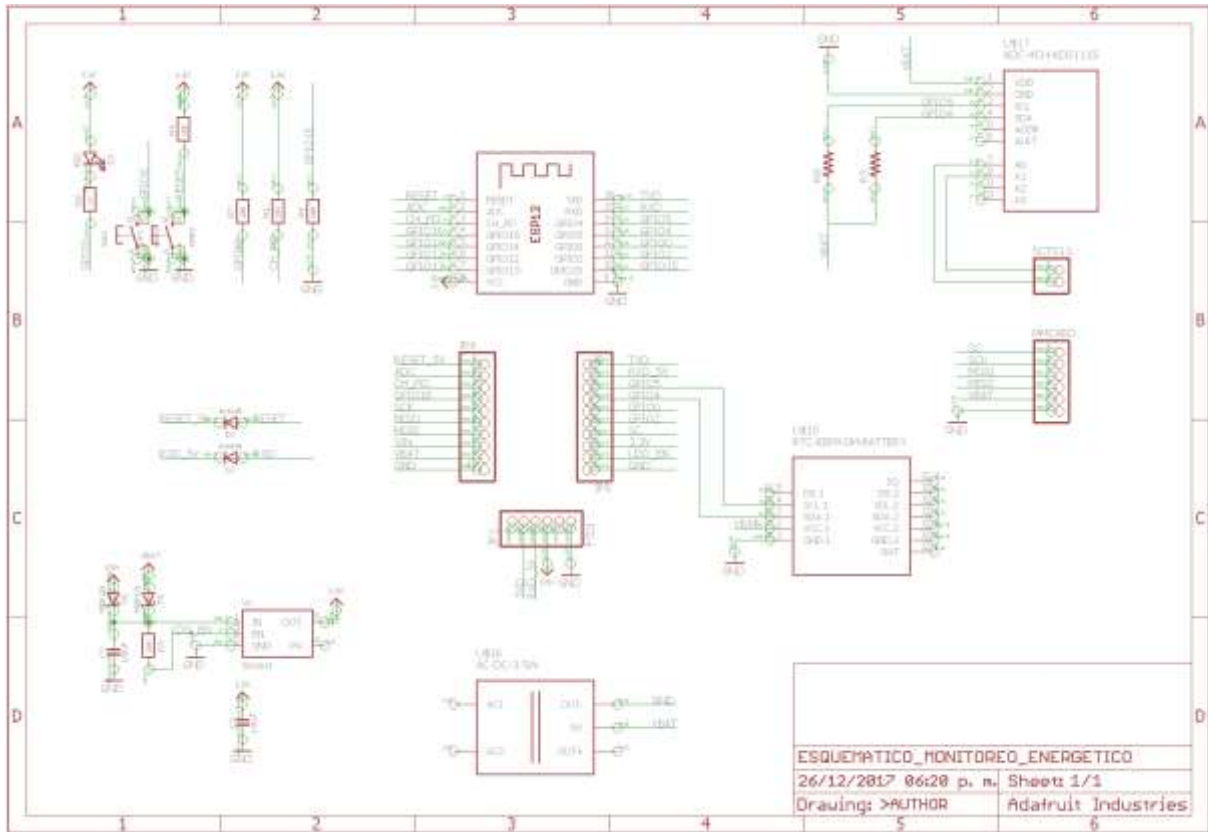


Figura 14. Diseño en esquemático del hardware del Sistema domótico de monitoreo energético no intrusivo
Fuente: Fuente propia a partir del diseño propuesto



Figura 15. Imagen del hardware terminado, del Sistema domótico de monitoreo energético no intrusivo
Fuente: Fuente propia a partir del diseño propuesto

2.5 Mantenimiento de la placa electrónica

Para trabajar sobre placas de circuito impreso y proporcionarles mantenimiento el operador deberá tener puesto un método de contacto con tierra física, como puede ser una pulsera antiestática [2]. Las placas deberán ser manipuladas por los extremos y con guantes antiestáticos siempre, tratando de no tocar las superficies conductoras, al igual que los componentes evitando tocar las patas de los circuitos integrados y preferiblemente manipularlos con pinzas por sus partes no conductoras.

Se debe evitar el uso de cremas y lociones en las manos que contengan silicona ya que pueden ser causa de problemas en el pegado de la resina epoxy y las soldaduras [2]. Existen lociones para las manos fabricadas especialmente para usar por los operadores que trabajan con placas electrónicas.

2.6 Software

2.6.1 Arquitectura de software

El software embebido del microcontrolador está compuesto de los siguientes módulos que serán accesibles por el sitio HTML y la pantalla gráfica TFT a modo de interfaz hombre-máquina (Figura6).

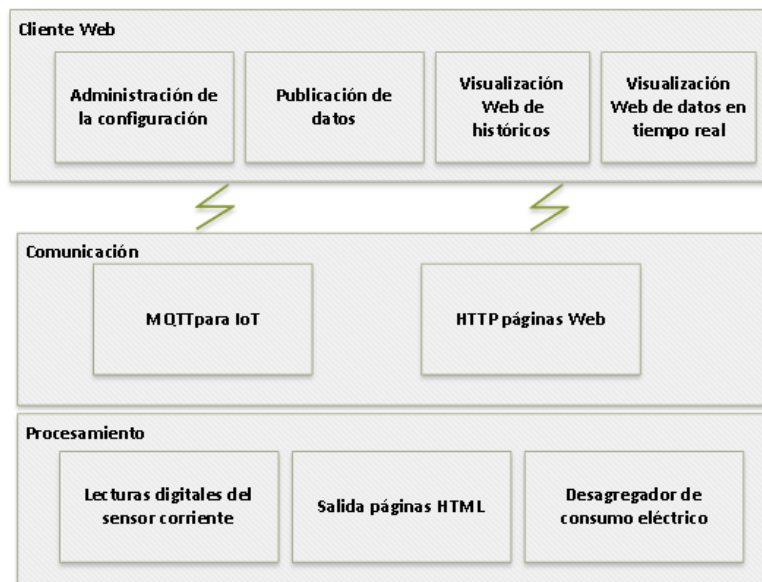


Figura 16. Módulos de software del Sistema doméstico de monitoreo energético no intrusivo
Fuente: Fuente propia a partir del diseño propuesto

2.6.2 Comunicación

Dadas las características del microcontrolador ESP8266 seleccionado, el cual cuenta con funciones de comunicación WiFi integradas. Una de estas funciones es la posibilidad de configurar el dispositivo para habilitar un punto de acceso, el cual establece una red local accesible por un SID y contraseña.

Una vez permitido el acceso el dispositivo asigna una IP local, para funcionar a modo de estaciones, el microcontrolador es accesible a su vez por una IP típicamente: 192.168.4.1.

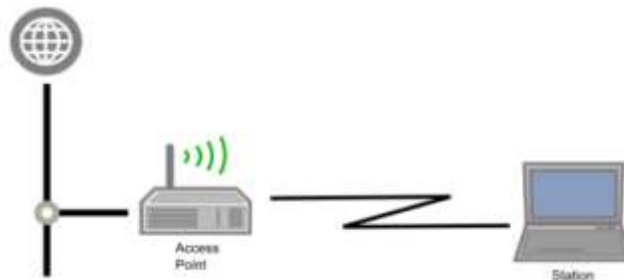


Figura 17. Elementos de comunicación WiFi

Fuente: Fuente propia a partir del diseño de un accesspoint genérico

La respuesta a esta IP son páginas HTML la cuales son programable desde el microcontrolador con el API SDK, con la posibilidad de desarrollar un sitio que exponga la funcionalidad del sistema. A su vez el mismo dispositivo puede ser configurado como estación y tener acceso a otros puntos de acceso que pudieran tener acceso a Internet.

MQTT para IoT

Los datos obtenidos por medio del sensor se corriente serán recopilados por el microcontrolador y enviados vía Wifi a un servidor para su procesamiento, aprovechando el entorno de Internet de las cosas se utilizará MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*) es un protocolo de conectividad M2M (abierto *Machine-to-Machine*) que permite enviar datos estilo telemetría como mensajes a través de redes de alta latencia o con restricciones [11]. MQTT utiliza el patrón publicador/subscriptor y cuenta con un *broker* es el encargado de gestionar la red y de transmitir los mensajes, para mantener activo el canal como se muestra en la Figura 18.

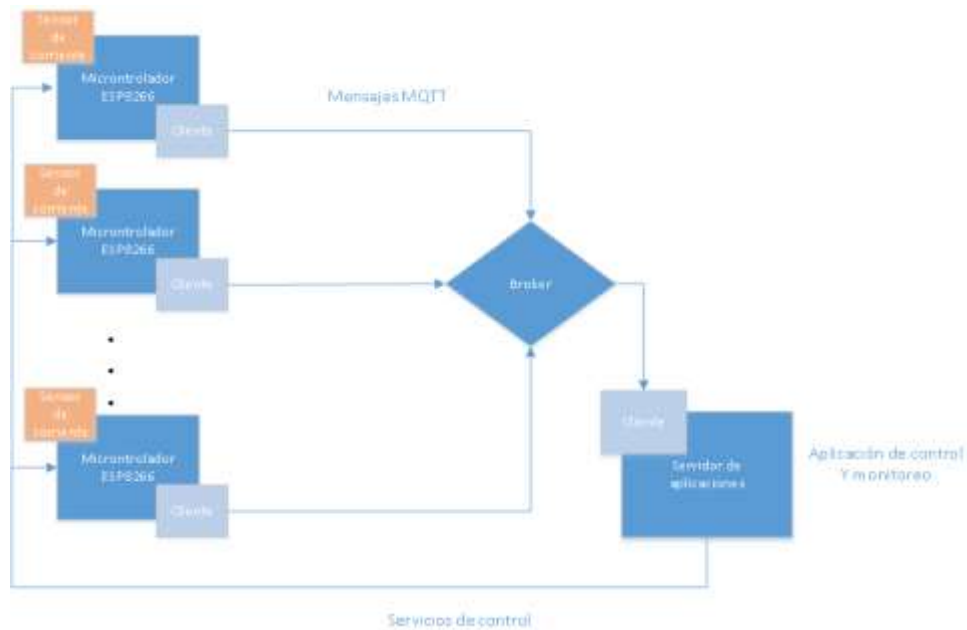


Figura 18. Arquitectura Sistema de control y monitoreo eléctrico
Fuente: Fuente propia a partir de la arquitectura MQTT

Este protocolo está orientado a la comunicación de sensores, debido a que consume muy poco ancho de banda y puede ser utilizado en la mayoría de los dispositivos empotrados con pocos recursos (CPU, RAM, etc.).

Gracias a este protocolo no sólo conseguiremos la comunicación en sí, ampliando nuestro número de herramientas disponibles para enviar/recibir información relacionada con el Internet de las Cosas, además resulta ser una solución que destaca por ser escalable en el uso de recursos.

2.6.3 Publicación de datos

Con este módulo se permite realizar gráficas de consumo de los dispositivos eléctricos conectados al sistema en tiempo real de variable de medición como Potencia, Tensión y Corriente 19.



Figura 19. Ejemplo de tipo de gráficas para el sistema de monitoreo y control eléctrico
Fuente: Fuente propia a partir del diseño propuesto pantallas de interfaz

2.6.4 Visualización Web de históricos

Todos los datos obtenidos en tiempo real son almacenados en la memoria SD del sistema lo que permite al usuario consultar los históricos de consumo de los dispositivos eléctricos conectados para con esto establecer patrones de consumo por contacto o de forma global.

2.6.5 Administración de la Configuración

Por medio de este módulo se permite adaptar la funcionalidad de sistema a las necesidades del usuario así permitir darle mantenimiento al mismo.

Red WiFi

Como se mencionó anteriormente por medio del circuito ESP8266 se puede crear un punto de acceso para permitir acceso a la funcionalidad del sistema, siendo esta la funcionalidad por defecto del sistema, sin embargo el acceso es limitado por la intensidad de la señal de la antena. Por medio de esta opción se permite configurar el sistema para que tenga acceso a otras redes WiFi accesibles por seguridad WEP, WAP o abiertas, ampliando así la cobertura para acceso remoto del sistema.

Datos

Permite configurar la vigencia de los datos históricos almacenados en la tarjeta SD del sistema de tal forma que se pueda establecer una caducidad: diaria, semanal o mensual.

2.6.6 Procesamiento

Lecturas digitales del sensor de corriente

Como se explicó en la arquitectura de hardware se utiliza un sensor de corriente no invasivo como entrada para el Sistema domótico de desagregación de energía, el uso de los datos de corriente eléctrica nos da una mejor capacidad para determinar los estados de carga de la información histórica, así mejora la precisión en la clasificación de estados para el desagregador [11], esto debido a que a diferencia de la potencia real no depende del voltaje.

La corriente obtenida a partir del sensor se digitaliza por medio del ADC (ADS1115) aprovechando tanto la parte negativa como positiva de la señal análoga configurado para que de una resolución de 0.0625mV por bit, con 860 muestreos por segundo,

a partir de estos datos se obtiene la corriente I_{rms} , y la potencia aparente S , tomando en cuenta para este caso que se tiene un voltaje V_{rms} fijo de 120v.

Desagregador de consumo eléctrico

Las motivaciones para la desagregación de consumo eléctrico son:

- Informar a los ocupantes de la casa de la cantidad de energía que consume cada electrodoméstico les permite tomar medidas para reducir su consumo de energía (Darby 2006).
- Determinar el tiempo de uso de cada aparato, un sistema que permite recomendar, podría informar a los ocupantes del hogar de los ahorros potenciales a través de diferir el uso del electrodoméstico a una hora del día cuando la electricidad es más barata.

La siguiente figura muestra un diagrama a bloques del proceso de desagregación, en el cual se indica la necesidad de contar con la construcción de un modelo a partir de un conjunto de datos de entrenamiento necesario para la inferencia de dispositivos.

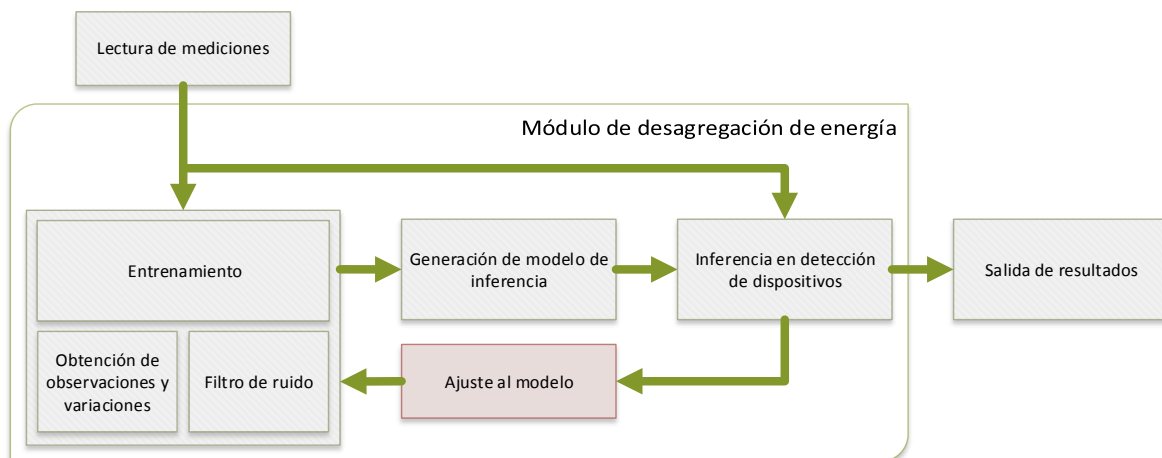


Figura 20. Diagrama a bloques del proceso de desagregación de Sistema domótico de monitoreo energético no intrusivo Fuente: Fuente propia a partir de la estructura de proceso del desagregador

Entrenamiento

El entrenamiento se encuentra basado en observaciones sucesivas en un tiempo t igual a un segundo de la carga total de corriente I_{rms} , donde cada transición o variación genera un nuevo estado S que da por resultado la observación de un posible dispositivo que aumenta o disminuye carga al total del I_{rms} observado, como se muestra en la siguiente figura 21.



Figura 21. Ejemplos de una máquina de estados para detección de variaciones en la corriente I_{rms} .
Fuente: Fuente propia a partir de una máquina de estados genérica

De la anterior figura se puede observar 2 estados adicionales a estado inicial S_0 ó $I_{rms} = 0, 1$ y 2.5 amp , sucesivamente dado por salida 2 cargas detectadas para $S_1 = 1$ y para $S_2 = 1.5$.

El ejemplo anterior es una máquina de estados ideal, sin embargo puede haber diferentes factores que afecten la señal observada originando estados adicionales como puede ser ruido en la señal de entrada o estados transitorios que lleven a un estado final, razón por la cual se implementa un módulo que filtra todos aquellos estados transitorios que no tienen permanencia $t+i$ y una frecuencia de observación que pudiera considerar el estado estable.

Generación del modelo de inferencia

A partir de los estados detectados en el módulo anterior se genera, una matriz de estados a partir de la combinación de los mismos, donde la observación con valor 0 no se incluye.

Observación	S1	S2
1	1	0
2.5	1	1.5
1.5	0	1.5

Cuadro 3. Ejemplo de especificación de los estados de la corriente eléctrica de entrada
Fuente: Fuente propia a partir de una máquina de estados genérica

Inferencia en detección de dispositivos

El modelo de estados y observaciones representado por la matriz anterior sirve de insumo para inferir las cargas que se observan en las lecturas de corriente I_{rms} total, con un margen de tolerancia de ± 5 centésimas de aproximación en la búsqueda de la tabla de observaciones mencionada. Si la lectura de corriente no se encuentra en la tabla de observaciones y estados se habilita al módulo de

entrenamiento para generar un nuevo modelo que pudiera generar estados adicionales.

2.7 Estimaciones

Tratar de desagregar las cargas desde un solo punto de monitoreo es un problema difícil cuando se trata de precisión. La medida de exactitud más básica utilizada por la mayoría de los investigadores de desagregación de carga se define como (M.-S. Tsai):

$$\mathbf{Precisión} = \frac{\mathbf{Coincidencias\ correctas}}{\mathbf{Coincidencias\ posibles\ totales}}$$

En donde la Precisión es un factor que está determinado entre los dispositivos correctamente detectados y el número total de dispositivos conectados.



CAPÍTULO 3

RESULTADOS



CAPÍTULO 3: RESULTADOS

Se realizó un experimento con datos según se muestra en el siguiente cuadro con frecuencia de observación por minuto, para 3 aparatos eléctricos Lámpara (LZS), Televisión (TVE) y refrigerador (REF):

Tiempo	Total consumo (Amp)	LZS	TVE	REF
18:1	0.5	0.0	0.5	0.0
18:2	0.5	0.0	0.5	0.0
18:3	0.5	0.0	0.5	0.0
18:4	0.5	0.0	0.5	0.0
18:5	0.5	0.0	0.5	0.0
18:6	0.5	0.0	0.5	0.0
18:7	0.5	0.0	0.5	0.0
18:8	0.5	0.0	0.5	0.0
18:9	0.5	0.0	0.5	0.0
18:10	0.5	0.0	0.5	0.0
18:11	0.5	0.0	0.5	0.0
18:12	0.5	0.0	0.5	0.0
18:13	0.5	0.0	0.5	0.0
18:14	0.5	0.0	0.5	0.0
18:15	0.5	0.0	0.5	0.0
18:16	0.5	0.0	0.5	0.0
18:17	0.5	0.0	0.5	0.0
18:18	0.5	0.0	0.5	0.0
18:19	0.5	0.0	0.5	0.0
18:20	1.6	0.0	0.5	1.1
18:21	1.6	0.0	0.5	1.1
18:22	1.6	0.0	0.5	1.1
18:23	1.6	0.0	0.5	1.1
18:24	1.7	0.1	0.5	1.1
18:25	1.7	0.1	0.5	1.1
18:26	1.7	0.1	0.5	1.1
18:27	1.7	0.1	0.5	1.1
18:28	1.6	0.1	0.5	1.0
18:29	0.7	0.1	0.5	0.1

*Cuadro 4. Datos de entrada en amperes para 3 dispositivos eléctricos
Fuente: Fuente propia a partir de los resultados medidos en una casa habitación*

De la anterior tabla se desprende la siguiente gráfica en la figura 22, en donde se observa su comportamiento en conjunto a través del tiempo:

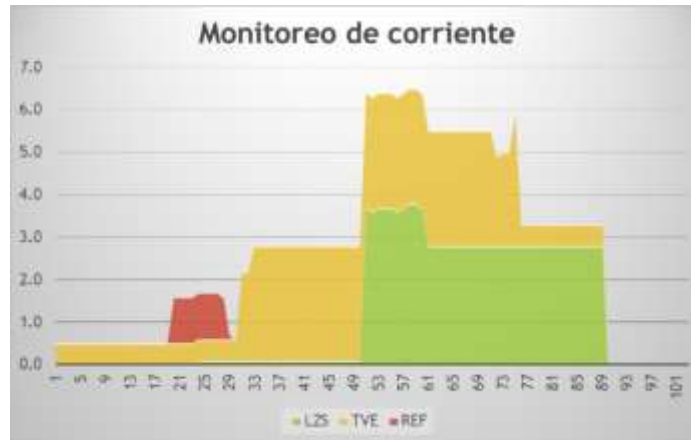


Figura 22. Gráfica de comportamiento de las observaciones de corriente eléctrica para 3 dispositivos
Fuente: Fuente propia a partir de los resultados medidos en una casa habitación

Al aplicar el algoritmo de reconocimiento de variaciones y posterior entrenamiento para construcción del modelo de reconocimiento de estados, se le aplicó la desagregación el algoritmo de desagregación obteniendo el siguiente resultado mostrado en la Cuadro 5.

TOTAL_EST	R1	R2	R3	R4	R5
0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
1.6	0.5	1.1	0.0	0.0	0.0
1.6	0.5	1.1	0.0	0.0	0.0
1.6	0.5	1.1	0.0	0.0	0.0
1.6	0.5	1.1	0.0	0.0	0.0
1.7	0.5	1.1	0.1	0.0	0.0
1.7	0.5	1.1	0.1	0.0	0.0
1.7	0.5	1.1	0.1	0.0	0.0
1.7	0.5	1.1	0.1	0.0	0.0
1.7	0.5	1.1	0.1	0.0	0.0

Cuadro 5. Resultados de la estimación de la desagregación de los datos de entrada en amperios
Fuente: Fuente propia a partir de los resultados de las estimaciones.

Nótese que se reconocieron 2 dispositivos adicionales esto debido a que de los 3 dispositivos de entrada 2 de ellos contaban con 3 estados y puesto que el algoritmo y el modelo solo reconocen 2 estados por dispositivo de cada estado adicional lo reconoce como otro dispositivo. En la figura 23, se muestra la gráfica correspondiente a los resultados obtenidos de la tabla anterior.

Por otro lado se observó que el comportamiento con cargas no resistivas (por ejemplo inductivas), da origen a estados adicionales originado por el Factor de Potencia mencionado anteriormente.

Dado que el número de muestra del experimento fue de 89 y el número de estimaciones correctas fue de 68, se aplica el criterio para calcular la precisión del algoritmo del apartado anterior:

$$Precisión = \frac{68}{89}$$

Dando como resultado una Precisión de 76%.



Figura 23. Gráfica del resultado de las desagregaciones estimadas obtenidas por el Sistema domótico de monitoreo energético no intrusivo

Fuente: Fuente propia a partir de los resultados de las estimaciones.

Del anterior experimento se desprenden las siguientes observaciones:

- Censado de datos en un solo punto de medición, con un costo relativamente bajo, facilidad de instalación y una solución generalizada
- Mediciones de corriente al facilitar la lectura de los estados de carga de los dispositivos y no a partir de la potencia

- Generación de un modelo para desagregación de corriente eléctrica con máquinas de estado finitas cuenta con las siguientes características:
 - Es preciso en la clasificación del estado de carga y estimación del consumo de carga, con un límite máximo de cargas
 - Pueden desagregar aparatos con firmas de 2 estados
 - Pueden realizar una inferencia exacta computacionalmente eficiente, mientras que otros métodos sólo utilizan métodos aproximados que son computacionalmente más complicados.

CONCLUSIONES

En el presente proyecto fue posible desarrollar un dispositivo económico, configurable y con las características necesarias para el control y monitoreo en tiempo real del consumo energético, dirigido a hogares que integran soluciones de hardware y software con nuevas tecnologías, enfocadas a contribuir al uso racional de la energía eléctrica a un menor costo.

Comprender cómo los aparatos eléctricos y dispositivos en una casa consumen energía es un factor importante que puede permitir a los ocupantes tomar decisiones inteligentes e informadas sobre la conservación de la energía. Esto comúnmente no es una tarea fácil, debido a que los aparatos eléctricos pueden activarse y desactivarse tanto por las acciones de los ocupantes como por la detección y el accionamiento automáticos (por ejemplo, termostato). Incluso si pudiéramos hacer un seguimiento de cuándo las cargas se encienden y se apagan, es difícil entender cuánto consume una carga en un estado operativo dado debido a la falta de reporte de medición apropiados.

Este documento presenta un algoritmo de desagregación de carga y su implementación en un sistema domótico de monitoreo energético no intrusivo, el desagregador implementado se ejecuta en tiempo real en un procesador embebido de bajo costo utilizando bajas tasas de muestreo (por ejemplo, por segundo), con contribuciones adicionales como la liberación de un conjunto de datos disponibles al usuario por medio de Internet de las cosas (*IoT*) y presentación de informes de consumo de corriente y potencia en páginas Web, como parte del experimento realizado con 3 dispositivos y una limitante del algoritmo a 2 estados, los cuales pueden activarse y desactivarse en cualquier momento según la prueba se encontró una precisión de 76%, para 2 estados para 3 dispositivos, tomando como consideración adicional que si un dispositivo presentaba más de 2 estados (como un refrigerador) se toma en cuenta como un dispositivo adicional.

Como resultado adicional, se puede considerar que el resultado final del experimento fue ajustado de forma automática por ajustes iterativos, dado que lecturas de entrada de corriente fueron retroalimentadas para mejora de las

inferencias. Las diferentes señales fueron variaciones de corriente, en donde los estados asociados con los modelos construyeron nuevos modelos hasta que se encontró la función objetivo cercano a los datos leídos.

Con los resultados obtenidos del experimento se puede llegar a la conclusión que se puede construir un dispositivo de bajo costo en su implementación, bajo consumo energético y bajo poder de procesamiento y con una precisión dentro de un rango aceptable con la limitante de no incluir en la detección más de 3 dispositivos conectados.

REFERENCIAS

1. Brian W. Kernighan, Dennis M. Ritchie, "El lenguaje de programación C", Pearson Educación, 1991 - 294 pages
2. Circuit Technology Center, Inc., 1998 , "PC Board Rework and Repair A Comprehensive Guide". Maryland, USA
3. Correa, D. P. (2013). Monitoreo y control de demanda máxima de energía eléctrica en tiempo real para edificios inteligentes. Santiago de Querétaro.
4. Darby, S., 2006. The Effectiveness of Feedback on Energy Consumption, A review for DEFRA of the literature on metering, billing and direct displays. Tech. rep., University of Oxford, UK.
5. Expressif Systems lot Team. (19 agosto 2017). ESP-12E Wifi Module Version 1.0. Ai-Thinker Team.
6. Hart, G. W., 1992. Nonintrusive appliance load monitoring. Proceedings of the IEEE 80 (12), 1870–1891
7. Kolban, N. (2016). Kolban's Book on ESP8266. Texas, USA.
8. Lai, P.-h., Trayer, M., Ramakrishna, S., Li, Y., 2012. Database Establishment for Machine Learning in NILM. In: 1st International Workshop on Non-Intrusive Load Monitoring. Pittsburgh, PA, USA.
9. Secretaría de energía, Comisión nacional para el uso eficiente de energía (19 de agosto 2014). Manual para la implementación de uns sistema de gestión de energia. Ed. Conuee / GIZ, México D.F.
10. Secretaria De Energía. (2015). Prospectiva Del Sector Eléctrico 2015-2029. México.
11. Stephen Makonin, Fred Popowich, Ivan V. Bajic, Bob Gill, Lyn Bartram. 2015. Exploiting HMM Sparsity to Perform Online Real-Time Nonintrusive Load Monitoring (NILM), Published In: IEEE Transactions On Smart Grid.
12. Shepherd, J. Morton, A.H Spence,(1968) "Curso Básico de Ingeniería Eléctrica: teoría y problemas". Editor: Barcelona José Montesó
13. Texas Instruments. 2018. ADS111x Ultra-Small, Low-Power, I2C-Compatible, 860-SPS, 16-Bit ADCs With Internal Reference, Oscillator, and Programmable Comparator. Dallas, Texas
14. YHDC. (2015). Current transformer SCT013-030 product specification. <http://statics3.seeedstudio.com/assets/file/bazaar/product/101990028-SCT-013-030-Datasheet.pdf>. China



ANEXOS



ANEXOS

ANEXO I

Código ejemplo del cálculo del Irms y la potencia:

```

FLOAT GET_CORRIENTE() {
  FLOAT VOLTAJESENSOR;
  FLOAT CORRIENTE=0;
  FLOAT SUMATORIA=0;
  LONG TIEMPO=MILLIS();
  INT N=0;
  WHILE(MILLIS()-TIEMPO<500)//DURACIÓN 0.5 SEGUNDOS(APROX. 30 CICLOS DE
60HZ)
  {
    VOLTAJESENSOR = ANALOGREAD(A0) * (1.1 / 1023.0);///VOLTAJE DEL SENSOR
    CORRIENTE=VOLTAJESENSOR*30.0; //CORRIENTE=VOLTAJESENSOR*(30A/1V)
    SUMATORIA=SUMATORIA+SQ(CORRIENTE);//SUMATORIA DE CUADRADOS
    N=N+1;
    DELAY(1);
  }
  SUMATORIA=SUMATORIA*2;//PARA COMPENSAR LOS CUADRADOS DE LOS
SEMICICLOS NEGATIVOS.
  CORRIENTE=SQRT((SUMATORIA)/N); //ECUACIÓN DEL RMS
  RETURN(CORRIENTE);
}
VOID LOOP() {
  FLOAT IRMS=GET_CORRIENTE(); //CORRIENTE EFICAZ (A)
  FLOAT POTENCIA=IRMS*220.0; // P=IV (WATTS)
}

```