

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y TRANSMISIÓN DE DATOS ORIENTADO A MEDIDORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA, UTILIZANDO UNA RED MALLADA WIFI CON MICROCONTROLADORES ESP32

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Marco Alejandro Rodríguez Ferrer
para optar al título de
Ingeniero Electricista.

Caracas, julio de 2020

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y TRANSMISIÓN DE DATOS ORIENTADO A MEDIDORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA, UTILIZANDO UNA RED MALLADA WIFI CON MICROCONTROLADORES ESP32

TUTOR ACADÉMICO: Ing. José Alonso

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Marco Alejandro Rodríguez Ferrer
para optar al título de
Ingeniero Electricista.

Caracas, julio de 2020

A quien desees dedicar este trabajo

RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS

Autor del Trabajo de Grado

Título del Trabajo de Grado

Tutor Académico: nombre del profesor. Tesis. Caracas, Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Mención Electrónica. Año 2020, xvii, 144 pp.

Palabras Claves: Palabras clave.

Resumen.- Escribe acá tu resumen

ÍNDICE GENERAL

RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS	III
ÍNDICE GENERAL	VIII
LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE TABLAS	XI
LISTA DE ACRÓNIMOS	XII
INTRODUCCIÓN	1
CONCEPTUALIZACIÓN DEL PROYECTO	3
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.2. JUSTIFICACIÓN	4
1.3. OBJETIVO GENERAL	5
1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
MARCO REFERENCIAL	7
2.1. Sistema SCADA	7
2.1.1. Definición	7
2.2. Sistemas de medición de energía eléctrica	7
2.2.1. Definición	7
2.3. Medidores de energía	7
2.3.1. Definición	7

2.3.2. Clasificación de los medidores	8
2.3.3. Infraestructuras de medición de energía	10
2.3.4. Protocolos	13
2.4. Redes malladas	13
2.4.1. Definición	13
2.4.2. Características	13
2.5. Sistema operativo en tiempo real	14
2.6. Microcontrolador ESP32	14
2.6.1. Descripción	14
2.6.2. Características	14
MARCO METODOLÓGICO	16
DEFINICIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE	17
DEFINICIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE	18
PRUEBAS Y RESULTADOS	19
CONCLUSIONES	20
RECOMENDACIONES	21
TÍTULO DEL ANEXO	22
TÍTULO DEL ANEXO	23
TÍTULO DEL ANEXO	24
REFERENCIAS	25

LISTA DE FIGURAS

2.1. Infraestructura general de un sistema de medición avanzado. Tomado de “Servicios de Medición Avanzada (AMI) para Redes Inteligentes y su Adaptabilidad en el Marco de la Legislación Ecuatoriana” Alvarado (2011)	11
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

LISTA DE TABLAS

2.1. Otra tabla	15
2.2. Ejemplo	15

LISTA DE ACRÓNIMOS

IEC: International Electrotechnical Comission Comisión Electrotécnica Internacional

RTOS: Real Time Operative Sysyem, Sistema operativo en tiempo real

AMR: Automatic Meter Reading, Lectura de medición automática

INTRODUCCIÓN

Los primeros indicios del uso de la energía eléctrica sucedieron en el cuarto final del siglo XIX. La sustitución del gas y aceite por la electricidad además de ser un proceso técnico fue un verdadero cambio social que implicó modificaciones extraordinarias en la vida cotidiana de las personas, cambios que comenzaron por la sustitución del alumbrado público y posteriormente por varias clases de procesos industriales como motores, metalurgia, refrigeración y de último llegaron a las comunicaciones con la radio y la telefonía.

El siguiente cambio de paradigma en el que se vio involucrado la electricidad tuvo lugar a lo largo del siglo XX y surge desde la necesidad de facilitar las tareas realizadas a diario en casa. En ello los investigadores de la época vieron una solución adaptando equipos con energía eléctrica para su uso en el hogar. Las industrias replicaron el crecimiento tecnológico que tuvieron en sus productos, lo que trajo como consecuencia el desarrollo los electrodomésticos. La primera producción de aparatos en masa como refrigeradores, lavadoras, televisores y radios sucedieron en esta época y tuvieron una alta receptividad por parte de los compradores. La invención del transistor solo aceleró el reemplazo de aparatos dada su capacidad de minimizar los equipos.

La integración de la electrónica a la industria fomentó la creación de sistemas automatizados de adquisición de datos, supervisión y control también llamados sistemas *SCADA* por sus siglas en inglés. Estos sistemas manejan áreas críticas de las industrias y son parte de los procesos fundamentales de muchas de ellas por lo

que necesitan ser diseñados con robustez, fiabilidad y seguridad. La aparición del Internet y las comunicaciones modernas en estos sistemas permite a los usuarios, de manera inalámbrica incluso, monitorear y actuar sobre el sistema a distancia, sin presencia física en la planta.

Además de poder monitorear y realizar acciones sobre los sistemas, los instrumentos de medida de última tecnología se fabrican de modo que puedan ser compatibles con medios de comunicación inalámbricas lo que posibilita la transmisión de datos adquiridos sin necesidad de cable a la central del sistema *SCADA*. El presente trabajo de grado pretende realizar el diseño de un sistema de adquisición y transmisión de datos integrando microcontroladores ESP32 a medidores de energía eléctrica para formar una red mallada inalámbrica capaz de transmitir los datos recolectados a un punto central.

En este archivo debe escribir su introducción.

De acuerdo a Brea la transformada de Laplace debe estudiarse como una función definida en el campo de los números complejos ?.

Otro modo de referencial es (?)

El resto del reporte consta de: en el Capítulo ?? se describe...

En el trabajo se emplea el enfoque de ?

De acuerdo a la ecuación

CAPÍTULO I

CONCEPTUALIZACIÓN DEL PROYECTO

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La energía eléctrica es diferente de otras manifestaciones de la energía, debido a que no se puede almacenar por sí sola como electricidad. Esto obliga a que la energía eléctrica consumida por un equipo u aparato tenga que generarse al momento en el cual se vaya a consumir. Los procesos para la generación de energía tienen costos altos de desarrollo e implementación a gran escala (países o estados) por lo que surtir de energía a las industrias y electrodomésticos tiene un costo que la empresa que genera la energía necesita recuperar. Como consecuencia se suele medir el consumo de cada uno de los usuarios por razones enteramente económicas.

En Venezuela se utiliza el mismo método de adquisición de datos desde que se instaló el sistema eléctrico. Este consiste en un operador que se acerca hasta el lugar donde se encuentra un medidor de energía y registra la lectura que marca el medidor, esto se hace de manera repetitiva para todos los sitios donde se quiera registrar el consumo. En ocasiones los medidores tienen una salida codificada donde comunica el valor del consumo por infrarrojo lo que permite al operador registrar el valor de ese consumo mediante un aparato compatible con este protocolo. Debido a esta problemática surge la necesidad de sustituir este sistema de adquisición de datos manual por uno que no requiera el traslado del

operador hasta el sitio, que sea económico, confiable y eficiente.

Los principales equipos de medición de energía poseen en su diseño una salida por pulsos y soportan distintos protocolos de comunicación, lo que representa una ventaja al trabajar con microcontroladores, pues estos son adaptables a la mayoría de los protocolos mediante programación lo que facilita la adquisición de los datos a partir del medidor. Por otra parte trabajar con microcontroladores ofrece la posibilidad de realizar comunicaciones inalámbricas si se adapta un módulo WiFi como periférico. Interconectar estos módulos WiFi para formar una red mallada permitiría la transmisión de los datos captados a una mayor distancia que la lograda por un único módulo y permitiría su salida hacia alguna red externa deseada sin utilizar cables entre los medidores y la central de adquisición de datos, y sin intervención presencial del operador. Ilustradas las debilidades expuestas anteriormente y las ventajas que representaría un sistema de este tipo se evidencia la necesidad de realizar el diseño.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Una red mallada WiFi utilizando microcontroladores permite adaptar a la red equipos que soportan distintos métodos de extracción de datos; otorga la posibilidad de interconectar dispositivos mediante comunicaciones inalámbricas, que no poseen dicha capacidad originalmente; además su desarrollo permitiría extender las variables a medir y los métodos de adquisición de datos del sistema; y por último, posee bajos costos de instalación al no requerir de cableado entre los elementos de la red.

Establecer la red mallada se requiere de nodos que posean la capacidad de

enlazarse entre sí formando redes de comunicación, además los nodos deben ser capaces de enrutar los mensajes donde viaja la información. Para un sistema de adquisición de datos es ideal que cada nodo de la red este conformado por un microcontrolador con un módulo WiFi integrado, esto permitiría que cada uno de los nodos extrajera los datos según el método que se requiera en cada fuente de datos y al formar parte de la red mallada se facilitaría la adquisición de datos para un sistema central. El ESP32 es una opción viable para esta aplicación debido a su módulo WiFi integrado y las librerías desarrolladas en comunicación vía WiFi, utilizar dicha tarjeta representa una ventaja económica y reduce los tiempos de desarrollo respecto a otros microcontroladores.

1.3. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de adquisición y transmisión de datos orientado a medidores de energía eléctrica, utilizando una red mallada WiFi con microcontroladores ESP32.

1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Documentar los principales métodos de extracción de datos soportados por un medidor de energía, en particular, el protocolo Modbus por RS485 y la salida por pulsos.
- Diseñar el módulo de programa para los nodos que componen la red mallada, conformados por microcontroladores ESP32
- Adaptar un nodo para ser compatible con la salida por pulsos de un medidor de energía y almacenar el valor de la medida para su adquisición mediante la red.
- Adaptar un nodo para adquirir datos desde un medidor de energía que

soporte protocolo Modbus RTU vía RS485.

- Validar el funcionamiento del sistema.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1. Sistema SCADA

2.1.1. Definición

2.2. Sistemas de medición de energía eléctrica

2.2.1. Definición

2.3. Medidores de energía

2.3.1. Definición

Los medidores de consumo de energía eléctrica, también llamados contadores de energía debido a la tarea que desempeñan, son "Un instrumento destinado a medir la energía eléctrica integrando la potencia con respecto al tiempo" IEC (2007). Las compañías de electricidad utilizan medidores de energía instalados en cada cliente con el propósito de monitorear y facturar el consumo. Debido a ello estos equipos suelen estar calibrados en unidades de facturación de energía, comúnmente se utiliza el kilovatio hora [kWh] y se lee el valor registrado en cada medidor una vez ha llegado el período de cobranza.

Cuando se desea ahorrar energía durante ciertos periodos de tiempo, algunos medidores pueden registrar la demanda de energía, es decir el máximo uso de potencia en un intervalo de tiempo. Aplicar esta metodología de registro de demanda brinda la capacidad de variar las tarifas de electricidad durante el día, permitiendo registrar el consumo de cada usuario durante periodos de tarifas altas (picos de demanda) o en casos de tarifas bajas donde la demanda de energía en el sistema es baja y la energía menos costosa. Incluso en algunas áreas los medidores de energía poseen relés para desprendimiento de cargas durante periodos donde se registren picos muy altos de demanda.

Palabras a aclarar en la definición

2.3.2. Clasificación de los medidores

Tomando como referencia lo que Londono (2013) refleja en su trabajo, los medidores de consumo de energía pueden agruparse mediante las siguientes clasificaciones.

Según el principio de funcionamiento

Medidores electromecánicos: El tipo más común de medidor eléctrico, el registro de la energía se realiza mediante el conteo de las revoluciones de un disco metálico que es conductor eléctrico pero no conductor magnético. Este disco se hace rotar mediante la inducción electromagnética generada por la alimentación, a una velocidad proporcional a la potencia que pasa a través del medidor. El número de vueltas es entonces proporcional a el consumo de energía.

Medidores electrónicos: De forma general este medidor está compuesto por la alimentación, un circuito de medición, un circuito de procesamiento

(usualmente microcontroladores) y comunicación además de otros módulos agregados como un RTC, una pantalla de cristal líquido, un módulo de comunicación mediante infrarrojo, entre otros.

El circuito de medición está compuesto por muestreadores y cuantificadores conectados a las entradas de corriente y tensión, así como a la referencia de tensión. Esto viene seguido por una sección de conversión analógica-digital para encontrar el equivalente digitalizado del valor de las entradas. Dichas entradas en formato digital son tratadas utilizando un procesador digital de señal para calcular los distintos parámetros de medición.

Este tipo de medidor muestra la energía consumida en una pantalla LCD o LED, además de medir la energía consumida pueden también registrar otros parámetros de la carga y del suministro, como la tasa de demanda instantánea y máxima.

Según su construcción:

Medidor monofásico bifilar (una fase y neutro):

Está compuesto por una bobina de tensión y una de corriente. Su capacidad usualmente está entre 15 A y 60 A.

Medidor bifásico bifilar (dos fases):

Está compuesto por dos bobinas de tensión y dos bobinas de corriente. Usualmente utilizado para medir la energía eléctrica consumida por aparatos que funcionan con la tensión fase-fase residencial.

Medidor bifásico trifilar (dos fases y neutro):

Está compuesto por dos bobinas de tensión y dos bobinas de corriente. Se usa para medir la energía consumida por aparatos que requieran para su

funcionamiento dos fases, con este medidor se puede medir la energía consumida por otros aparatos conectados a la misma instalación que funcionen con una sola fase.

Medidor trifásico tetrafilar (tres fases y neutro):

Está compuesto por tres bobinas de tensión y tres bobinas de corriente. Se utiliza para medir la energía consumida por aparatos que requieran funcionar con tres fases.

2.3.3. Infraestructuras de medición de energía

La infraestructura de cada sistema de medición es la característica que delimita sus particularidades, "El cambio de visión de la medición de energía eléctrica se realiza desde el año de 1970 con la incorporación del envío de datos, la comunicación en los años 70 era unidireccional, en una sola vía, desde el usuario hasta la empresa distribuidora. La primera etapa fue la medición AMR (Automatic Meter Reading) y duró alrededor de 30 años dando paso a la evolución, llamada medición inteligente o smart Metering. Smart metering requiere un alto grado de telecomunicaciones en ambas vías: usuario-empresa distribuidora." Ruiz (2015).

La meta en cuanto a estos sistemas es llegar a una medición inteligente avanzada, es decir incorporar a toda la red eléctrica dispositivos con la capacidad de operar por medio de telecomunicaciones, permitiendo equilibrar la generación de energía eléctrica al consumo real, por medio de los datos enviados por todos los medidores inteligentes.

Existen ciertos requerimientos para realizar una medición inteligente: alta confiabilidad, vida útil, interoperabilidad, rentabilidad, seguridad, consumo mínimo

de energía, bajos costos de instalación y mantenimiento. La tecnología desarrollada debe cumplir con estos requerimientos para ser realmente funcional en el campo de la medición automática de consumo.

Para realizar medición inteligente se pueden emplear diferentes tipos de tecnologías de telecomunicaciones de acuerdo al área de aplicación y al canal de transmisión. La figura 2.1 muestra los tipos de arquitecturas de comunicación que son empleadas en la medición inteligente. Los medios guiados para realizar telecomunicaciones incluyen la red telefónica pública conmutada (PSTN), PLC portadora en la línea de alimentación, Ethernet y cable módems. Los medios no guiados para realizar telecomunicaciones incluyen WiFi, ZigBee, infrarrojos, RFID y GSM / GPRS / CDMA celular.

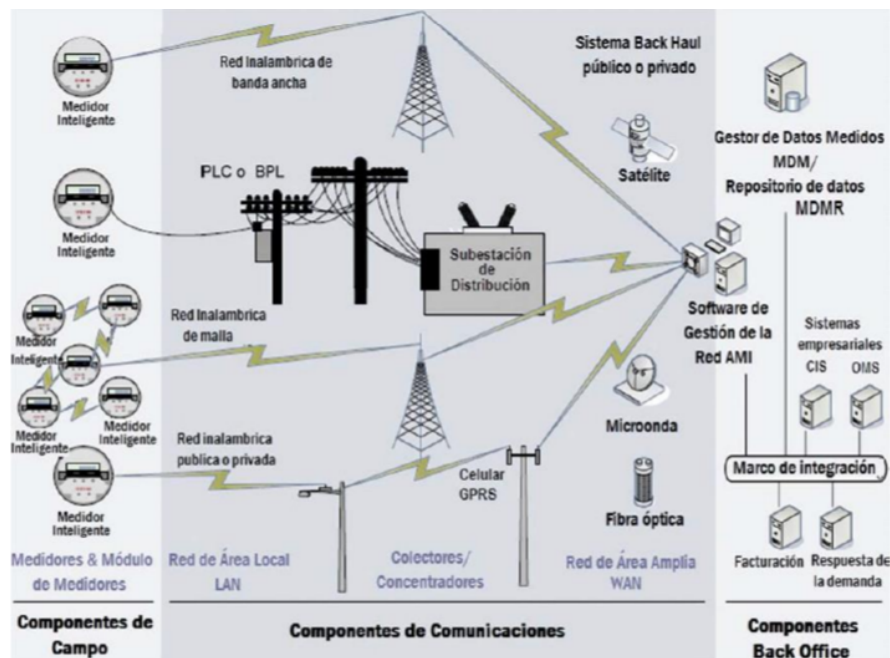


Figura 2.1. Infraestructura general de un sistema de medición avanzado. Tomado de "Servicios de Medición Avanzada (AMI) para Redes Inteligentes y su Adaptabilidad en el Marco de la Legislación Ecuatoriana" Alvarado (2011)

La infraestructura necesaria para la medición inteligente se divide en tres zonas de acuerdo al tipo de comunicación:

- Red de área local (HAN).
- Red de área de vecindad (NAN).
- Red de área amplia (WAN).

Red de área local (Home Area Network)

Es un sistema integrado dentro de los hogares que permite la comunicación entre diferentes dispositivos inteligentes, el dispositivo límite de esta red es el medidor de energía eléctrica. Este tipo de redes puede utilizar comunicaciones cableadas como BPL (Broadband over Power Lines) o PLC (Power Line Carrier) pero también comunicaciones inalámbricas como redes privadas, una red de banda ancha o redes malladas para comunicarse con la red NAN.

Red de vecindad (Neighbourhood Area Network)

Este tipo de red permite la conexión entre múltiples HANs, es un sistema de interconexión entre redes de medidores inteligentes. El principal elemento que lo constituye es el concentrador. El concentrador es el dispositivo que actúa como un puente entre los contadores inteligentes y la puerta de enlace. El concentrador de datos detecta y gestiona los medidores inteligentes de forma automática, realiza lecturas de los consumos y transfiere la información a los centros de control, también facilitan los mensajes de diagnóstico, actualizaciones de firmware y supervisión de las condiciones de los medidores.

Red de área amplia (Wide Area Network)

Es la red encargada de conectar múltiples sistemas de distribución y actúa como un puente entre redes de menor tamaño y la red del cliente. Debe ofrecer una red de retorno para conectar los servicios de recolección de datos con las instalaciones del cliente. Dicha red de retorno puede adoptar una variedad de tecnologías (Ethernet, red celular, banda ancha) para transferir la información extraída de las redes NAN a las oficinas locales de servicios públicos. Una puerta de enlace perteneciente a la red WAN puede utilizar la conexión de banda ancha o una red basada en IP para proporcionar un acceso para que el cliente puede acceder a los datos requeridos. La privacidad, fiabilidad y seguridad de la información son los principales aspectos que se evalúan en este tipo de redes.

2.3.4. Protocolos

asfgdfdgfsdaffdffgfgdgdfnfsdfdfdfnwksdnas.gealfesa

2.4. Redes malladas

Lorem ipsumdsafnasodaodasodoñNOoñsaodnfññañooffmdklsfjdsgs

2.4.1. Definición

Lorem ipsumdsafnasodaodasodoñNOoñsaodnfññañooffmdklsfjdsgs

2.4.2. Características

Lorem ipsumdsafnasodaodasodoñNOoñsaodnfññañooffmdklsfjdsgs

Palabras a aclarar en la definicion

Lorem ipsumdsafnasodaodasodoñN Ooñdsadnfñnañoffmdklsfjdsgs

2.5. Sistema operativo en tiempo real

Lorem ipsumdsafnasodaodasodoñN Ooñdsadnfñnañoffmdklsfjdsgs

2.6. Microcontrolador ESP32

Lorem ipsumdsafnasodaodasodoñN Ooñdsadnfñnañoffmdklsfjdsgs

2.6.1. Descripción

Lorem ipsumdsafnasodaodasodoñN Ooñdsadnfñnañoffmdklsfjdsgs

2.6.2. Características

Lorem ipsumdsafnasodaodasodoñN Ooñdsadnfñnañoffmdklsfjdsgs

Gnat	per gram	13.65
	each	0.01
Gnu	stuffed	92.50
Emu	stuffed	33.33
Armadillo	frozen	8.99

Tabla 2.1. Otra tabla

Tabla 2.2. Ejemplo		
Item		
Animal	Description	Price (\$)
Gnat	per gram	13.65
	each	0.01
Gnu	stuffed	92.50
Emu	stuffed	33.33
Armadillo	frozen	8.99

Un ejemplo de tabla es

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

CAPÍTULO IV

DEFINICIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE

CAPÍTULO V

DEFINICIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE

CAPÍTULO VI

PRUEBAS Y RESULTADOS

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES

CAPÍTULO VIII

RECOMENDACIONES

Apéndice I

TÍTULO DEL ANEXO

Apéndice II

TÍTULO DEL ANEXO

Apéndice III

TÍTULO DEL ANEXO

REFERENCIAS

- Alvarado, M. (2011). Servicios de Medición Avanzada (AMI) para Redes Inteligentes y su Adaptabilidad en el Marco de la Legislación Ecuatoriana.
- IEC (2007). 313-01-35. Disponible en <http://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/display?openform&ievref=313-01-35> , consultado en agosto 2020.
- Londono, D. (2013). Desarrollo de una guía enfocada a medidores de energía y conexiones de medidores. Obtenido desde <https://core.ac.uk/download/pdf/71397220.pdf> , en agosto 2020.
- Ruiz, M. (2015). Interoperabilidad entre medidores inteligentes de energía eléctrica residencial. Obtenido desde <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8435/6/UPS-KT01062.pdf> , en agosto 2020.