

# **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. Fundamentos de medición consumo de energía eléctrica . . . . .	7
2.2.1. Definición . . . . .	7
2.2.2. Clasificación de los medidores . . . . .	8
2.2.3. Infraestructuras de medición de energía . . . . .	10

2.2.4. Normativa aplicada a las redes de medición . . . . .	14
2.3. Fundamentos de las redes WiFi malladas . . . . .	18
2.3.1. Definición . . . . .	18
2.3.2. Características . . . . .	18
2.4. Sistema operativo en tiempo real . . . . .	18
2.5. Microcontrolador ESP32 . . . . .	19
2.5.1. Descripción . . . . .	19
2.5.2. Características . . . . .	19
<b>MARCO METODOLÓGICO</b>	<b>21</b>
<b>DEFINICIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE</b>	<b>22</b>
<b>DEFINICIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE</b>	<b>23</b>
<b>PRUEBAS Y RESULTADOS</b>	<b>24</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>25</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>26</b>
<b>TÍTULO DEL ANEXO</b>	<b>27</b>
<b>TÍTULO DEL ANEXO</b>	<b>28</b>
<b>TÍTULO DEL ANEXO</b>	<b>29</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>30</b>



## LISTA DE FIGURAS

2.1.	Infraestructura general de un sistema de medición avanzado . . .	11
2.2.	Arquitectura de red en comunicaciones para medición inteligente. J. Ekanayake and K. Liyanage, SMART GRID TECHNOLOGY AND APPLICATIONS, First edit. New Delhi, 2013. . . . .	13
2.3.	E. Hossain, Z. Han, and V. Poor, Smart Grid Communications and Networking. New York: CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 2012.	17

## LISTA DE TABLAS

2.1. Otra tabla . . . . .	20
2.2. Ejemplo . . . . .	20

## 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

**HAN:** Home Area Network, Red de área doméstica

**NAN:** Neighbourhood Area Network, Red de área de vecindario

**WAN:** Wide Area Network, Red de área amplia

**ISO:** International Organization for Standardization, Organización Internacional de Normalización

**OSI:** Open System Interconnection, Interconexión de Sistemas Abiertos

# 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

En este capítulo se documentarán los fundamentos sobre sistemas SCADA, Medidores de energía, Redes WiFi Malladas y el protocolo Modbus.

#### **2.1. Sistema SCADA**

##### **2.1.1. Definición**

#### **2.2. Fundamentos de medición consumo de energía eléctrica**

##### **2.2.1. 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” [1]. 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 por un periodo de tiempo en caso de picos muy altos de demanda.

### **2.2.2. Clasificación de los medidores**

Tomando como referencia lo que [2] 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.

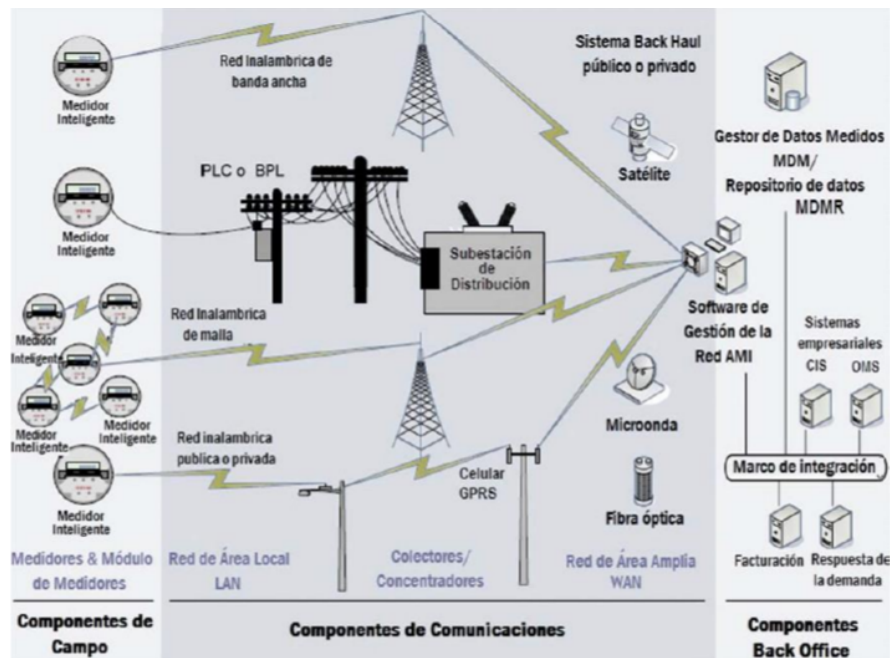
### **2.2.3. Infraestructuras de medición de energía**

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." [3].

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  
**Fuente:** Adaptado de [4]

La infraestructura necesaria para la medición inteligente se divide en tres zonas de acuerdo al tipo de comunicación [4], dichas zonas son las siguientes:

- Red de área local (HAN).

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

### **Red de área local (Home Area Network)**

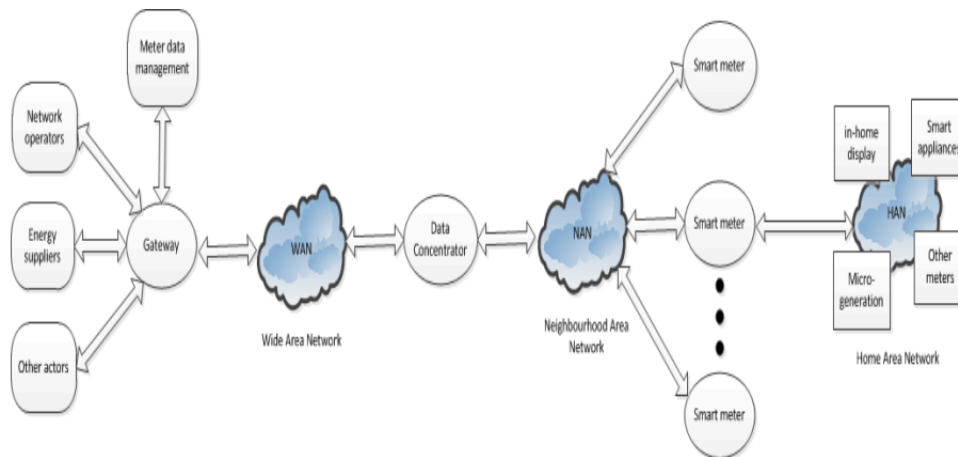
Es un sistema integrado dentro de los hogares que permite la comunicación entre diferentes dispositivos inteligentes, el dispositivo límite de esta red es el medidor de energía eléctrica. Este tipo de redes puede utilizar comunicaciones cableadas como BPL (Broadband over Power Lines) o PLC (Power Line 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.



**Figura 2.2.** Arquitectura de red en comunicaciones para medición inteligente. J. Ekanayake and K. Liyanage, SMART GRID TECHNOLOGY AND APPLICATIONS, First edit. New Delhi, 2013.



#### **2.2.4. Normativa aplicada a las redes de medición**

Los problemas en redes de medición suelen ocurrir cuando falla la interoperabilidad entre los distintos sistemas que las componen, esto es causado por la transmisión de datos que se efectúa a través de diversas redes y sistemas de comunicación. Es por ello que la interoperabilidad se convierte en algo fundamental, permitiendo a la infraestructura y la información fluir correctamente en un sistema interoperable permitiendo el intercambio de datos sin necesidad de la intervención manual. El punto más relevante de la interoperabilidad es proporcionar un sistema con la capacidad de integrar componentes plug-and-play, esto se refiere a la capacidad de configurar los componentes y el sistema principal automáticamente comienza a operar con solo conectarlo. Aunque es un concepto sencillo en muchas situaciones puede llegar a ser complejo y poco práctico mostrar una interfaz estándar entre dos sistemas diferentes. Estas consideraciones en la interoperabilidad no solo reducen los costos de instalación y de integración sino que también definen los requisitos que un componente nuevo debe tener para conectarse al sistema existente, lo que se refleja en la sustitución sencilla de componentes y en una alta escalabilidad del sistema en caso de una mayor demanda o implementación de tecnologías más eficientes.

#### **Modelo OSI**

Existen diferentes modelos y arquitecturas referenciales para el diseño de un sistema, el primer modelo creado por la ISO en 1980 es llamado OSI (Open System Interconnection) es un estándar que tiene por objetivo conseguir interconectar sistemas de procedencia distinta para que estos pudieran intercambiar información sin ningún tipo de impedimentos debido a los protocolos con los que estos operaban

de forma propia según su fabricante. El modelo OSI está conformado por 7 capas o niveles de abstracción:

1. De aplicación
2. De presentación
3. De sesión
4. De transporte
5. De red
6. De enlace de datos
7. Capa física

Cada uno de estos niveles ejerce sus propias funciones para que en conjunto el sistema sea capaz de alcanzar su objetivo final. Es por esta abstracción que el modelo hace posible la intercomunicación en diferentes sistemas al delimitar las funciones que debe realizar cada capa de operación. Es importante aclarar que el modelo OSI no es la definición de una topología ni un modelo de red en sí mismo. Tampoco especifica ni define los protocolos que se utilizan en la comunicación, ya que estos están implementados de forma independiente a este modelo. Lo que realmente hace OSI es definir la funcionalidad de ellos para conseguir un estándar.

- **Capa de aplicación:** Ofrece la posibilidad de acceder a los servicios de las demás capas. Define los protocolos que utilizan las aplicaciones para intercambiar datos. Normalmente el usuario no interactúa con esta capa sino con programas que sirven de interfaz para ocultar el nivel de complejidad subyacente.

- **Capa de presentación:** Se encarga de representar la información funcionando como un traductor entre equipos. En esta capa se trabajan más los datos en sí que cómo se establece el enlace para que estos lleguen. Se tratan aspectos como la semántica (qué significan) y la sintaxis (formato de los datos) para garantizar la compatibilidad con los equipos del sistema. También es la encargada de cifrar los datos y comprimirlos de ser necesario.
- **Capa de sesión:** Esta capa es la que se encarga de mantener y controlar el enlace establecido entre dos computadores que están transmitiendo datos de cualquier índole. Por lo tanto, el servicio provisto por esta capa es la capacidad de asegurar que, dada una sesión establecida entre dos máquinas, la misma se pueda efectuar para las operaciones definidas de principio a fin, reanudándolas en caso de interrupción.<sup>11</sup> En muchos casos, los servicios de la capa de sesión son parcial o totalmente prescindibles.

## GWAC

La integración de la automatización asociada con los recursos eléctricos es importante para respaldar una mayor eficiencia e incorporar recursos renovables, variables y vehículos eléctricos en el sistema eléctrico. Los problemas de integración que enfrenta esta comunidad son análogos a los que enfrenta la industria de la salud, los servicios de emergencia y otras comunidades complejas con muchas partes interesadas. Para resaltar este problema y fomentar la comunicación y el desarrollo de una comunidad de interoperabilidad de redes inteligentes, el GridWise Architecture Council (GWAC) creó un Marco de establecimiento de contexto de interoperabilidad. Este "modelo conceptual" ha sido útil para explicar la importancia de la alineación organizativa, además de las especificaciones de interfaz técnica e informativa para dispositivos y sistemas de redes inteligentes". Como siguiente paso para construir una comunidad sensible a la interoperabilidad,

el GWAC ha estado desarrollando un Modelo de madurez de interoperabilidad de redes inteligentes (SG IMM) tomando prestado del trabajo realizado por otros para abordar circunstancias similares. El modelo proporciona un medio para medir el estado y el progreso, analizar las brechas y priorizar los esfuerzos para mejorar la situación. El objetivo es crear una herramienta, o un conjunto de herramientas, que fomente una cultura de interoperabilidad en la comunidad de redes inteligentes. En la siguiente ilustración se hace referencia a una comparación de OSI y GWAC con sus respectivos niveles o capas cada uno:

OSI	GWAC	Función de las capas
7. Aplicación	3. Sintaxis de interoperabilidad Comprensión de los datos Estructura mensajes Intercambio entre sistemas	- Traducción de los caracteres de datos de un formato a otro. - Estructura del contenido del mensaje - Patrones de intercambio de mensajes
6. Presentación		
5. Sesión		
4. Transporte	2. Interoperabilidad de las redes Intercambio de mensajes entre el sistema a través de una variedad de redes	- Traducción de direcciones lógicas y nombres a direcciones físicas. - Transferencia transparente y fiable de datos entre sistemas. - La transferencia de datos entre el origen y el destino a través de intermediarios de la red. - Gestión de la orden de entrega de mensajes
3. Red		
2. Enlace de datos	1. Conectividad básica Mecanismo para establecer conexiones físicas y lógicas del sistema	- Acceso a los medios de hardware y conectividad eléctrica - Transferencia de datos entre nodos de red - Codificación de caracteres, transmisión, recepción, decodificación y corrección de errores
1. Física		

**Figura 2.3.** E. Hossain, Z. Han, and V. Poor, Smart Grid Communications and Networking. New York: CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 2012.

## **2.3. Redes WiFi malladas**

### **2.3.1. Definición**

Una red WiFi mallada se puede definir como una red que permite la comunicación entre nodos a través de múltiples saltos en una topología mallada [? ]. Un nodo es la unidad mínima de la red, estas unidades son las encargadas de generar los enlaces entre los dispositivos usuarios que construyen la red mallada.

Por lo general estas redes poseen clientes, enrutadores y puertas de enlace. Los clientes son dispositivos electrónicos, sistemas embebidos o sensores que pueden comunicarse con otros en la red. El enrutador es un dispositivo electrónico que sirve como un intermediario entre dos o más redes para transportar los datos de una red a otra. Y las compuertas de enlace son dispositivos electrónicos que conectan la red con Internet. [5]

Cuando un nodo no puede operar, el resto de los nodos en la red WiFi mallada aún pueden comunicarse con los otros, bien sea, directa o indirectamente a través de uno o más nodos intermediarios [6]

### **2.3.2. Características**

Internet es el ejemplo más conocido de una red mallada, puesto que internet es una red con una gigantesca cantidad de nodos en los que el mensaje sale de un nodo y llega a otro e entre las ventajas más relevantes de esta topología

Lorem ipsumdsafnasodaodasodoñNOoñdsadnfnñnañoffmdklsfjdsgs

## **2.4. Sistema operativo en tiempo real**

Lorem ipsumdsafnasodaodasodoñN Ooñdsadnfñnañoffmdklsfjdsgs

## **2.5. Microcontrolador ESP32**

Lorem ipsumdsafnasodaodasodoñN Ooñdsadnfñnañoffmdklsfjdsgs

### **2.5.1. Descripción**

Lorem ipsumdsafnasodaodasodoñN Ooñdsadnfñnañoffmdklsfjdsgs

### **2.5.2. 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

- [1] IEC. (2007) 313-01-35. Disponible en <http://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/display?openform&ievref=313-01-35> , consultado en agosto 2020. [Online]. Available: <http://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/display?openform&ievref=313-01-35>
- [2] D. Londono, “Desarrollo de una guía enfocada a medidores de energía y conexiones de medidores,” 2013, obtenido desde <https://core.ac.uk/download/pdf/71397220.pdf> , en agosto 2020.
- [3] M. Ruiz, “Interoperabilidad entre medidores inteligentes de energía eléctrica residencial,” 2015, obtenido desde <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8435/6/UPS-KT01062.pdf> , en agosto 2020.
- [4] M. Alvarado, “Servicios de medición avanzada (AMI) para redes inteligentes y su adaptabilidad en el marco de la legislación ecuatoriana,” 2011.
- [5] A. Vazquez, “Diseño e implementación de una red wifi mallada que soporte protocolo modbus para equipos de control industrial.” 2020, consultado en Octubre, 2020.
- [6] M. B. Rifki Muhendra, Aditya Rinaldi, “Development of WiFi mesh infrastructure for internet of things applications,” *Engineering Physics International Conference, EPIC 2016*, p. 331, 2016.