

**EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS EN REDES DE ÁREA
DOMÉSTICA PARA OBTENER LA CURVA CARACTERÍSTICA DE CARGA
EN EDIFICIOS INTELIGENTES**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:
EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS EN REDES DE ÁREA
DOMÉSTICA PARA OBTENER LA CURVA CARACTERÍSTICA DE CARGA
EN EDIFICIOS INTELIGENTES.**

**AUTOR:
CÉSAR RENÉ VALENCIA TUQUERES**

**TUTOR:
MSc. ING. LUIS FERNANDO TIPÁN VERGARA**

Quito, Julio 2019

César René Valencia Tuqueres

EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS EN REDES DE ÁREA DOMÉSTICA PARA OBTENER LA CURVA CARACTERÍSTICA DE CARGA EN EDIFICIOS INTELIGENTES

Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador 2019

Ingeniería Eléctrica

Reseña de autores e información de contacto:



César René Valencia Tuqueres (Y'1981, J'24) nació en Cayambe, Ecuador, el 24 de junio de 1981. Se graduó de bachiller con especialización Físico Matemático en el Colegio Nelson Isauro Torres Cayambe, Ecuador 1999. Egresado de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo consiste en realizar una evaluación de tecnologías inalámbricas en redes de área domestica para obtener la curva característica de carga en edificios inteligentes.
cvalenciat@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Luis Fernando Tipán Vergara (Y'1982, J'21) nació en Quito, Ecuador el 21 de junio de 1982. Se graduó de la Facultad de Ingeniería Eléctrica como Ingeniero en Electrónica en Control en la Escuela Politécnica Nacional, sus estudios de postgrado los hizo en la Escuela Politécnica Nacional Facultad de Ingeniería Mecánica, obteniendo el grado de Magister en Eficiencia Energética. Su experiencia la ha desarrollado en el área de mantenimiento industrial en el sector privado y en el diseño especializado de ingeniería básica y de detalle para el desarrollo, expansión y/o mejoramiento de las facilidades de superficie

y producción petrolera, actualmente es catedrático universitario impartiendo las cátedras relacionadas a Electrónica y Energía en la Universidad Politécnica Salesiana. Sus intereses de investigación incluyen los métodos de GD con Energías alternativas y Electrónica de Potencia, el IoT basándose en controladores de bajo consumo, entre otros.
ltipan@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados:

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con la autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos o investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

©2019 Universidad Politécnica Salesiana

QUITO - ECUADOR

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo, Luis Fernando Tipán Vergara declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación denominado “*Evaluación de Tecnologías Inalámbricas en Redes de Área Domestica para Obtener la Curva Característica de Carga en Edificios Inteligentes*” realizado por César René Valencia Tuqueres, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, Julio 2019



.....
Luis Fernando Tipán Vergara

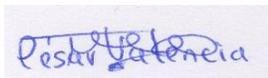
Cédula de identidad: 171732900-5

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, César René Valencia Tuqueres, con documento de identificación N° 171691120-9, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor/es del trabajo de grado/titulación intitulado: “*Evaluación de Tecnologías Inalámbricas en Redes de Área Domestica para Obtener la Curva Característica de Carga en Edificios Inteligentes*”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERO ELÉCTRICO, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Firma



Nombre: César René Valencia Tuqueres

Cédula: 171691120-9

Fecha: Julio del 2019

1. ÍNDICE GENERAL

1.	Introducción.	2
2.	Edificios Inteligentes.....	4
2.1.	Aspectos Generales.	4
2.2.	Beneficios y desafíos.....	5
2.3.	Sistemas aplicables.....	6
2.4.	Adhesión General.....	7
2.5.	Arquitectura.....	9
3.	Tecnologías en comunicaciones inalámbricas.	9
3.1.	Estándar 802.15.....	10
3.2.	Redes inalámbricas.....	10
3.3.	Tipo de redes inalámbricas.....	10
3.4.	Ventajas y desventajas de las redes inalámbricas.	12
4.	Redes de Área Personal Inalámbrica (WPAN)	13
4.1.	Generalidades.....	13
4.2.	IEEE – Grupos de Trabajo.	13
4.3.	Aplicación de las redes WPAN.....	14
5.	Análisis comparativo entre tecnologías ZIGBEE, ZWAVE Y WIFI	14
5.1.	Características y Ventajas relevantes de Z- Wave, ZIGBEE y WiFi.....	15
5.2.	Tabla comparativa.	18
5.3.	Análisis entre pares de tecnologías inalámbricas en estudio.....	18
6.	Determinación de Curva de Demanda o Carga.....	22
7.	Conclusiones.	28
8.	Trabajos futuros	29
9.	Referencias.....	29
10.	Estado del Arte.....	33
9.1.	Matriz de estado del arte	33
9.2.	Resumen e Indicadores del estado del arte	38

2. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tecnologías Inalámbricas	3
Figura 2. Esquema del Edificio Inteligente.....	6
Figura 3. Arquitectura centralizada.....	9
Figura 4. Arquitectura Distribuida	9
Figura 5. Arquitectura Mixta	9
Figura 6. Redes inalámbricas[22]	10
Figura 7. Clasificación de redes inalámbricas[22][23]	10
Figura 8. Redes de Área Personal Inalámbrica[22]	10
Figura 9. Redes de Área Local Inalámbrica[22][23]	11
Figura 10. Redes de Área Metropolitana Inalámbrica (WMAN) [22][14]	12
Figura 11. Redes de Área Extendida Inalámbrica (WMAN) [24],[16],[30].....	12
Figura 12. Redes inalámbrica y tecnologías	12
Figura 13. Criterio de selección cuantitativo de tecnologías	20
Figura 14. Curva de carga o demanda horaria	23
Figura 15. Curva de demanda diaria	25
Figura 16. Curva de demanda diaria y estimación.....	26
Figura 17. Despliegue de curva de demanda y energía – Demanda punta	27
Figura 18. Energía diaria demandada	27
Figura 19. Despliegue de curva de demanda y energía 48 horas	28
Figura 20. Visualización de variables eléctricas.....	28

3. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparativa de redes inalámbricas	12
Tabla 2. Comparativa de las tecnologías inalámbricas	18
Tabla 3. Datos de curva de carga horaria.....	24
Tabla 4. Energía diaria demandada.....	26

EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS EN REDES DE ÁREA DOMÉSTICA PARA OBTENER LA CURVA CARACTERÍSTICA DE CARGA EN EDIFICIOS INTELIGENTES

Resumen

Los sistemas inteligentes introducen aplicaciones innovadoras con características múltiples e interdisciplinarias que abordan aspectos como la integración segura de energías renovables, la distribución de energía a la red, sistemas eléctricos eficientes y el control y monitoreo de los sistemas de distribución a través de la respuesta de la demanda. Bajo este contexto, la implementación de edificios inteligentes de alta eficiencia permitirá, a través de la integración de la medición inteligente, la incorporación de sistemas de generación renovable y la adecuada gestión de la energía. Por lo expuesto y a fin de observar las ventajas que brinda la integración de la medición inteligente en la gestión de la demanda y determinación de la curva característica de carga, el presente trabajo se centrará en realizar una evaluación de las tecnologías inalámbricas: ZIGBEE, ZWAVE Y WIFI que permiten obtener mediciones reales de la carga en edificios inteligentes tomando en consideración sus características, seguridad, ventajas, desventajas, usos y aplicaciones.

Palabras Clave: Curva de carga, Edificios inteligentes, Gestión de la demanda, Medición inteligente, Sistemas de comunicación inalámbricos.

Abstract

Intelligent systems introduce innovative applications with multiple and interdisciplinary characteristics that address aspects such as: the safe integration of renewable energies, the distribution of energy to the grid, efficient electrical systems; and, the control and monitoring of distribution systems through demand response. In this context, the implementation of smart buildings with high efficiency will allow, through the integration of smart metering, the incorporation of renewable generation systems and the adequate management of energy. In order to observe the advantages offered by the integration of intelligent measurement in the management of demand and determination of the load characteristic, the present paper will focus on an evaluation of wireless technologies ZIGBEE, ZWAVE and WIFI that allow to obtain real measurements of the load in intelligent buildings taking into consideration their characteristics, safety, advantages, disadvantages, uses and applications.

Keywords: Load curve, Intelligent buildings, Demand management, Intelligent measurement, Wireless communication systems.

1. Introducción.

La tecnología ha evolucionado con el pasar del tiempo y gracias a ello, la ingeniería civil, eléctrica y electrónica, han generado sinergias, permitiendo así su interrelación y combinación para la implementación de estructuras conocidas como “edificios inteligentes”. Dichas estructuras se destacan de las demás debido a ciertas ventajas como su fácil adaptación y flexibilidad a los requerimientos del usuario, alto nivel de seguridad, máximo bienestar que se ve reflejado en la comodidad que puede otorgar la edificación, y beneficios económicos-ecológicos gracias a su implementación. La planificación de este tipo de estructuras considera todas las necesidades del usuario, con el fin de brindar el mayor confort posible, tomando en cuenta aspectos tecnológicos, de comunicación y las actividades cotidianas.

En un futuro próximo, las ciudades poseerán edificios versátiles e inteligentes, convirtiéndose en edificios automatizados, cuyo accionar “*inteligente*” beneficiará a sus ocupantes. La mayoría de edificaciones construidas en el Ecuador consideran únicamente una fachada atractiva y acabados de gran calidad; pocas o ninguna se planifican para permitir una gestión eficiente de la energía eléctrica, un control de la seguridad basado en sistemas robustos, funcionalidades de redes inalámbricas, y el control de dispositivos o mecanismos eléctricos-electrónicos [1].

Con la aplicación de tecnologías a las edificaciones se logra obtener algunas ventajas y posibilidades de control, con una integración más efectiva, un mayor grado de operación y el incremento en su confiabilidad. Las redes de comunicación planificadas en un edificio inteligente ya sean de sistemas de seguridad, de internet inalámbricas-cableadas, o de control de accesos; se distribuyen en un solo espacio físico,

permitiendo que se integren en un solo sistema, con el fin de comunicarse entre sí; en tal sentido, es necesario la aplicación de normas establecidas por el IEEE [2].

Por otra parte, la arquitectura de la red eléctrica también está evolucionando rápidamente de una estructura centrada a una red inteligente más distribuida que integra en gran medida los Recursos de Energía Distribuida (RED) y la gestión del lado de la carga. El amplio y creciente despliegue e implementación de mecanismos relacionados con la respuesta a la demanda y edificios inteligentes, es una realidad en el mediano plazo, la cual involucrará tanto al sistema eléctrico como al consumidor de electricidad [3].

Por lo antes expuesto, el análisis de la demanda para cada tipo de usuario final es determinante para definir las acciones que permitan el abastecimiento de la demanda y la planificación de los sistemas eléctricos. En tal sentido, el efectuar una evaluación de tecnologías inalámbricas en redes de área doméstica para obtener la curva característica de carga en edificios inteligentes se torna relevante, ya que los resultados permitirán tanto al usuario como al sistema eléctrico beneficiarse en diferentes ámbitos.

Sin embargo, y previo al análisis de las tecnologías inalámbricas, es necesario conocer el propósito principal de implementar un edificio con la característica de “inteligente”, aspecto que yace en las necesidades tanto del usuario así como de las prestaciones de la edificación, por lo tanto las necesidades pueden variar según el tipo de edificio (comercial, oficinas, industrial, residencial, escuelas, atención médica, etc.), pero en general, el propósito se enfoca en permitir un mejor control y monitoreo del edificio en sí y su utilización [4].

Con el internet de las cosas (IoT), diremos las tecnologías que se usa dentro

del hogar específicamente con su red de trabajo INDOOR no son más que dispositivos aptos para el control eléctrico y medición de parámetros a baja escala. No sucede así con las tecnologías, “OUTDOOR” que nos permite enviar gran cantidad de datos y almacenarlos.

El concepto antes descrito es aplicable a la medición precisa del consumo de electricidad, dado que puede ser requerente implementar medidores no solo a nivel de edificio, sino también a nivel de áreas, ambientes, etc., los cuales, a través del manejo acertado de su información, tomarán decisiones que se estimen para el beneficio de la edificación y de sus habitantes [5].

Dado que los diferentes elementos son capaces de tomar los datos que se requieren para el control adecuado del edificio inteligente, surge la necesidad de encontrar la forma de cómo obtener los datos y comunicarse con los sensores, actuadores y equipos de automatización y control. En tal sentido y de la experiencia mundial existen dos posibilidades, la primera mediante la conexión con cable físico; y, la segunda, a través de tecnologías inalámbricas [6],[7].

El implementar un sistema cableado a través de todo el edificio implicaría un costo extremadamente alto, especialmente cuando se adapta un edificio existente. Por lo tanto, a nivel mundial, las tecnologías inalámbricas brindan una gran ventaja, dado que por su versatilidad, permiten reducir sustancialmente costos en relación a los sistemas cableados, adicionalmente, este tipo de tecnología se enfoca en que dispositivos inalámbricos autoabastecidos eléctricamente mediante baterías de larga duración [8].

En la siguiente figura se ilustra de manera general las diferentes tecnologías inalámbricas según su rango de operación y la velocidad de datos que pueden transmitir y que de alguna

manera han sido implementadas en edificios inteligentes [2]. Es importante mencionar que las redes de comunicación son el punto fundamental para conseguir una edificación inteligente, ya que estas permiten la comunicación e integración de los dispositivos y mecanismos implementados; así como el respectivo acceso a internet para disponer de un control remoto de la instalación.



Figura 1. Tecnologías Inalámbricas

De acuerdo con la Figura 1, se desprende que las tecnologías inalámbricas son usadas a nivel mundial a fin de implementar los denominados “edificios inteligentes”. En este contexto y de la experiencia a nivel mundial, las tecnologías inalámbricas más implementadas han sido ZIGBEE, ZWAVE Y WIFI, siendo esta última tecnología la más reciente y usada por su alta tasa de transferencia de datos [9],[8]. De manera complementaria a lo descrito, actualmente se está implementando cierta tecnología denominada “Smart Things Hubs”, la cual actúa como enlace entre WiFi y Z-Wave, permitiendo comunicación de manera inalámbrica y de esta manera permitiendo el control y monitoreo de los dispositivos enlazados [10]. Bajo este contexto y dado que existen diversas empresas en Ecuador que han iniciado en el proceso de implementar la infraestructura para la construcción de edificios inteligentes, los cuales también en el mediano plazo también influirán en la gestión de la demanda, la presente investigación pretende analizar la evolución de las redes domésticas para determinar las

tecnologías inalámbricas utilizadas que facilitarán la determinación de las curvas de carga, centrándose principalmente en el análisis de las tecnologías ZIGBEE, ZWAVE Y WIFI, mostrándose sus principales características, aspectos de seguridad, ventajas, desventajas, usos y aplicaciones.

Con el objeto de llevar a cabo el estudio antes descrito, el documento en primera instancia explicará desde un punto de vista general el concepto de edificio inteligente, así como sus ventajas y dificultades de aplicación; posteriormente el concepto de las tecnologías de comunicación aplicadas en edificios inteligentes; consecutivamente se efectuará un análisis comparativo de las tecnologías inalámbricas más usadas en edificios inteligentes y la aplicación de las mismas en la determinación de la curva de carga, aspecto que servirá para establecer las conclusiones correspondientes.

2. Edificios Inteligentes.

El edificio inteligente nos provee un ambiente de trabajo productivo y eficiente a través de la optimización de sus cuatro elementos básicos: estructura, sistemas, servicios y administración, con las interrelaciones entre ellos. Los edificios inteligentes ayudan a los propietarios, operadores y ocupantes, a realizar sus propósitos en términos de costo, confort, seguridad, flexibilidad y comercialización [11],[5].

A continuación, se muestra varios elementos que permitirán señalar la influencia e importancia que conlleva la implementación de construcciones inteligentes.

2.2. Aspectos Generales.

Con el pasar de los días, el avance tecnológico es cada vez más importante, esto supone un incremento constante de la demanda de energía, teniendo en cuenta también que los recursos energéticos son finitos, se han

desarrollado diversas estrategias que permiten realizar una gestión óptima de la energía eléctrica, en todos los campos de la construcción, ya sea residencial, comercial o industrial; estas estrategias implementadas para el fin de tener un mejor manejo de la energía, que suponga la reducción de afectaciones al medio ambiente se conocen como: Sistemas de Administración de Energía en Edificios por sus siglas en inglés (BEMS), los cuales son capaces de controlar el consumo energético en las edificaciones; dichos sistemas gobiernan cada uno de los dispositivos eléctricos y electrónicos de las edificaciones, entre los cuales se pueden mencionar: la calefacción, climatización, iluminación, control de accesos, sistemas de seguridad, entre otros [12].

En la planificación de un edificio inteligente, por lo general se debe considerar al menos la composición de cuatro sistemas fundamentales [13]:

El Sistema de Automatización del Edificio por sus siglas en inglés (BAS) que básicamente se encarga de controlar los dispositivos integrados, los Sistema de Telecomunicaciones (TS) para establecer una comunicación entre cada uno de los dispositivos y la central de control, la Oficina del Sistema de Automatización (OAS), y una Computadora Asistente para la Fácil Administración del Sistema por sus siglas en inglés (CAFMS). Anteriormente los sistemas BEMS estaban compuestos por algunas estaciones distribuidas en todo el edificio, estas eran de gran tamaño y se encargaban de capturar datos de los parámetros de control, para luego enviarlos a una estación central, capaz de procesar la información y entregar respuestas. Con el avance de la tecnología y la creación de las computadoras personales, teléfonos inteligentes, y demás dispositivos electrónicos; hacen posible que el manejo de los edificios inteligentes sea

más intuitivo, práctico, veloz y al alcance de todos [14].

En la actualidad un BEMS está conformado por un equipo central, y varios equipos pequeños distribuidos en todo el edificio, los cuales están encargados de procesar la información proveniente de sensores de algún parámetro físico que se pueda medir, para posteriormente procesarlas y obtener respuestas de actuación que gobiernen otros dispositivos. Estos equipos se comunican con estación central, la cual se encarga de guardar toda la información procesada y datos recolectados [15].

El mayor inconveniente que se presenta al momento de integrar los sistemas mencionados anteriormente en las edificaciones, es encontrar una solución integral, debido a que hasta el momento son limitados los protocolos de comunicación que permiten la conexión entre dispositivos de distintos fabricantes; a pesar del esfuerzo de los fabricantes que se dedican a la creación de hardware y software de control para edificios inteligentes, aún no se dispone de un protocolo que contemple totalmente dicha “solución integral”; los más destacados y que ofrecen mayor integración son: Profibus, Batibus, EIBus, Echelon, BACnet [16],[2],[14].

La implementación de sistemas de automatización en las edificaciones permite una gestión óptima de la energía eléctrica, lo que conlleva a un ahorro energético y por ende reducción de la contaminación. Algunas estrategias que permiten esto son el uso de electrodomésticos eficientes, el control automático de luces y distintos dispositivos eléctricos, el acceso remoto para gestionar los dispositivos fuera de casa. También son utilizadas diversas estrategias que en conjunto con las mencionadas anteriormente permiten una optimización en el consumo de energía eléctrica; entre ellas se pueden mencionar: calefacción pasiva,

incremento de aislamiento térmico, aprovechamiento de la luz del día [13],[16].

2.3. Beneficios y desafíos.

Con la planificación de un edificio inteligente se obtienen ciertas utilidades de control, las cuales brindan seguridad y un manejo eficiente de los sistemas integrados, además dan la posibilidad de compartir información con otras edificaciones de características similares. Estas utilidades de control, permiten por medio de sus redes de comunicación almacenar la información proporcionada por los sensores, y actuar según se considere conveniente, para garantizar el manejo eficiente de la edificación. A partir de la integración de sistemas, para la formación de un edificio inteligente, se obtienen diversos beneficios, entre los cuales se pueden mencionar los siguientes [17],[2],[17],[18]:

Normalización en los sistemas de cableado eléctrico.

Manejo eficiente de la energía eléctrica, lo que implica en reducción del consumo; esto se logra a través de una programación del uso de electricidad, según los días y horas en que se pueda obtener un costo de energía bajo.

Permite dar reportes de los parámetros medidos, como por ejemplo el consumo energético en un intervalo de tiempo, esta información útil para el usuario, le permite modificar sus patrones de consumo.

Los beneficios conllevan a la minimización de costos y el incremento del confort, seguridad, flexibilidad y confiabilidad del usuario, sin embargo, se debe realizar un análisis previo de la inversión, para asegurar que se obtendrá un beneficio a corto, mediano o largo plazo; debido a que los costos de inversión suelen ser relativamente altos, y a además de todos los beneficios que trae consigo su implementación, se

obtenga también un rédito económico [13],[15].

En general, la ventaja más relevante de la implementación de edificios inteligentes es que se obtiene una solución integral, la cual permite la comunicación entre los distintos dispositivos que conforman el sistema, logrando operar la edificación incluso mediante dispositivos portátiles, como computadoras personales, teléfonos inteligentes, entre otros [14],[6]; para la planificación de edificios inteligentes, se debe considerar diseños con una integración de ingenierías, es decir el diseño civil y arquitectónico debe estar completamente ligado con el diseño de los sistemas eléctricos y electrónicos, para facilitar su implementación [19],[2].

2.4. Sistemas aplicables.

Como se ha apreciado, la construcción de edificios inteligentes conlleva la implementación de diversos sistemas. A continuación, se presentarán de forma general los sistemas más relevantes a ser considerados en la implementación de un edificio inteligente.



Figura 2. Esquema del Edificio Inteligente

2.4.1. Sistemas de comunicación.

Para garantizar una operación eficiente de una edificación inteligente, que asegure interconexión entre todos los sistemas, se debe disponer de redes de telecomunicaciones confiables, seguras y robustas; las cuales permitan el intercambio de datos sin que se pierda información en el camino, ya que, de ser

de esta manera, no se operaría de una manera correcta. Los servicios básicos de comunicaciones que deberían ser implementados, vitales para el buen funcionamiento de las edificaciones inteligentes son los siguientes [18]:

Internet, voz ip, telefonía, intercomunicadores; servicios básicos para establecer una comunicación entre los usuarios del edificio y el mundo exterior.

Cámaras de vigilancia, que incluyen un Circuito Cerrado de Televisión (CCTV), para garantizar la seguridad e integridad de las personas y bienes de la edificación.

Control de accesos, con parámetros biométricos, para facilitar la circulación de las personas por el edificio.

Redes inalámbricas y cableadas que permitan el control de dispositivos o mecanismos eléctricos.

2.4.2. Sistemas de Climatización (HVAC).

Estos sistemas son robustos, y están conformados, en edificaciones grandes, por un gran número de componentes, como torres de enfriamiento, chillers, unidades manejadoras de aire, splits, entre otros. Tener un control de estos componentes logra crear un ambiente agradable para las personas, lo que maximiza su confort. Entre los aspectos más importantes que se derivan de la aplicación de este tipo de sistemas se pueden citar los siguientes [19],[9]:

Ajuste de temperatura por cada usuario bajo límites permitidos.

Mediante la implementación de dampers que son dispositivos eléctricos que reciben señales de control y ajustan su apertura o cierre según las necesidades requeridas, se puede manejar el volumen de aire en cada habitación o espacio; lo que logra mantener una temperatura y humedad adecuada.

Las unidades manejadoras de aire permiten controlar la temperatura,

velocidad del flujo de aire que se proporciona en cada espacio.

2.4.3. Sistemas de Iluminación.

Este tipo de sistemas permite al usuario crear escenas de iluminación, para cada una de las ocasiones que se requiera o para cada espacio según sea su condición; por ejemplo, se pueden crear ambientes acogedores, ambientes de trabajo, ambientes para reuniones, entre otros. El control de la iluminación en estos sistemas resulta de fácil manejo, con una interfaz flexible e intuitiva. El uso de estos sistemas supone un ahorro en el consumo de energía, al permitir al usuario controlar la iluminación desde cualquier dispositivo portátil, en incluso de manera remota; así como también se hace posible programar encendidos y apagados automáticos de cada una de las luminarias integradas, controlar el nivel de iluminación, etc [17].

El ahorro en el consumo de energía eléctrica se obtiene de la funcionalidad de las áreas y de señales de detección de los sensores, permitiendo así el control de la iluminación bajo estándares económicos, pero garantizando el confort del usuario.

2.4.4. Sistemas Administradores de Energía.

La gestión óptima de energía eléctrica, tiene como fin principal asegurar la eficiente operación de la edificación al menor costo posible. En ese sentido, a nivel carga, el Internet of things (IoT) ha tomado gran relevancia permitiendo la implementación de artefactos inteligentes que mediante su interacción con redes WiFi facilitará el control y monitoreo de los mismos, permitiendo así el uso eficiente de la energía [19]. A su vez la integración de sistemas de control y tecnologías en las edificaciones permiten beneficiarse de las variaciones de precio en los recursos que se requieren para su funcionamiento, como el costo de generación de energía,

combustible, entre otros; aprovechando así la mejor oportunidad de costo [11],[3].

2.5. Adhesión General.

La búsqueda de una solución integral en los sistemas de comunicaciones genera amplios beneficios en las edificaciones inteligentes, por ello las redes de comunicaciones deben ser confiables y robustas, y ser diseñadas para permitir el uso de diversos sistemas, que integren en aplicativos de voz y datos, cámaras de seguridad, automatización del sistema de climatización, automatización de sistema de iluminación, acceso a internet, almacenamiento de datos, entre otros [6],[18].

A pesar de que las comunicaciones cableadas son más confiables; generalmente en los edificios inteligentes se emplea equipos con tecnología inalámbrica que hacen uso del protocolo IEEE 802.11; esto se debe a que las comunicaciones inalámbricas suponen una implementación más fácil y flexible, sobre todo para edificaciones que son remodeladas o adaptadas para aplicaciones modernas. Lo ideal sería hacer uso de las tecnologías inalámbricas, pero teniendo una infraestructura cableada robusta que le de confiabilidad a toda la red [20].

2.5.1. Generalidades de la transferencia de datos en las comunicaciones.

El protocolo comúnmente utilizado para la transferencia de datos en una red es el TCP/IP (Transmission Control Protocol) por sus siglas en inglés; este protocolo permite a través de una única infraestructura, es decir por medio de un solo cable, transmitir cualquier clase de datos o voz a varios destinos [17]. Al transmitir distintas aplicaciones por una única infraestructura, se debe tener en cuenta el ancho de banda que ocupa cada aplicativo, debido a que este para cada aplicación es distinto, con esto se logra

que la red no entre en conflictos afectando así su calidad.

Resulta importante también que el diseño de la red sea planificado para que el sistema de transferencia tenga redundancia. En el diseño de la red debe considerarse también realizar una asignación estática de las direcciones IP, es decir otorgar una IP fija a cada dispositivo a controlar, para asegurar su correcto funcionamiento y no crear inconvenientes en la red [18].

2.5.2. Configuración de Comunicaciones.

En el diseño de las redes de comunicación deben considerarse infraestructuras robustas, que permitan la integración de todas las aplicaciones del edificio inteligente en una sola red, es decir que se empleen protocolos compatibles que puedan ocupar la misma red de una manera segura [16].

Al día de hoy hay un compromiso de los distintos fabricantes para normalizar los protocolos de comunicación que utilizan las aplicaciones de los edificios inteligentes; estas regulaciones hacen que los beneficios obtenidos por la implementación se incrementen, ya que se permiten más opciones de interoperabilidad entre los distintos dispositivos, lo que ayuda al crecimiento del mercado de los componentes que se requieren para el diseño de una edificación inteligente.

2.5.3. Conexión.

Es importante tener en cuenta que en los edificios inteligentes, la conexión de cables o comúnmente llamado cableado estructurado a ser implementado integre cada una de las tecnologías mencionadas; se suele considerar el uso de cables individuales para cada aplicación, pero en la actualidad existen cables que permiten la integración de todos los servicios [21].

Para seleccionar el cable que se utilizará para las redes de comunicación

en un edificio inteligente, hay que tener en cuenta las aplicaciones y tecnologías que serán implementadas; por lo general esto va acorde de los requerimientos del usuario. Entre los distintos tipos de cable, los más usados para este tipo de aplicación son: cable de cobre, fibra óptica, cable coaxial, fibra óptica; siendo esta última la más recomendada, por su posibilidad de integración y velocidad de transmisión; cabe mencionar que suele ocuparse un sistema híbrido, el cual ocupa conexiones cableadas de distintas tecnologías, y opciones inalámbricas, lo que ayuda a tener una red que proporcione mayor confiabilidad [9].

2.5.4. Aplicaciones.

La planificación de redes de comunicaciones que actualmente es realizada, provee un medio para que las aplicaciones puedan integrarse en un solo entorno, existen muchas aplicaciones que pueden manejar distintos dispositivos desde un controlador; las aplicaciones se implementan a partir de los requerimientos del usuario y son de distintos tipos: aplicaciones para control de sistema de climatización, aplicación para la automatización de luminarias y creación de escenas lumínicas, aplicación para el monitoreo del consumo de energía eléctrica, entre otros [13],[2],[11].

La utilización de dispositivos móviles y computadores portátiles, hacen que el almacenamiento y procesamiento de datos de las condiciones cambiantes del edificio inteligente, estén a la orden de uso para gestionar los sistemas integrados, para el caso que nos compete, permitirá la determinación de curvas de demanda por cada tipo de carga que contiene el edificio inteligente, las cuales permitirán gestionar las medidas para mejorar el desempeño del edificio y a su vez podrá ayudar a la distribuidora en sus procesos de planificación.

2.6. Arquitectura.

Se refiere a la arquitectura de una red de comunicación, a la disposición de los elementos que conforman la red, es decir la forma en que estos se integran en la red; estas arquitecturas pueden ser de diferentes tipos, entre las más importantes tenemos [4],[14]:

2.6.1. Arquitectura Centralizada.

El punto central o base de esta arquitectura lo conforma un controlador centralizado, el cual se encarga de tomar la información proporcionada de cada uno de los dispositivos encargados medir parámetros, como son los sensores (entradas), procesar estos datos y tomar decisiones, que se transforman en órdenes para las salidas (actuadores) [22],[14].

En la figura 3, se ilustra el mencionado esquema.

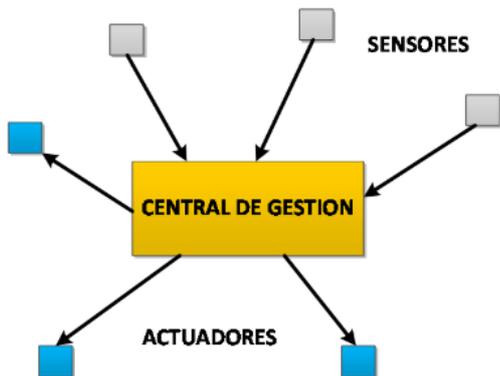


Figura 3. Arquitectura centralizada

2.6.2. Arquitectura Distribuida.

Este tipo de arquitectura propone o se fundamenta en la actuación independiente de cada uno de sus componentes, es decir no se dispone de un controlador central, si no que cada uno de los elementos toma información, la procesa y toma decisiones; estos procesos realizados son comunicados por la red para que cada elemento que la conforme se actualice y conozca el estado total del sistema [4],[22].

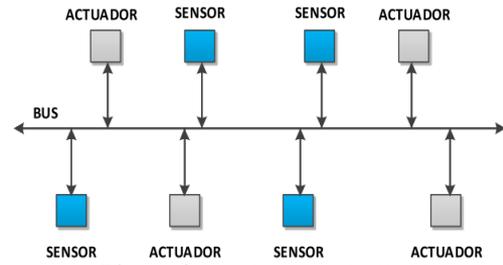


Figura 4. Arquitectura Distribuida

2.6.3. Arquitectura Mixta o Híbrida.

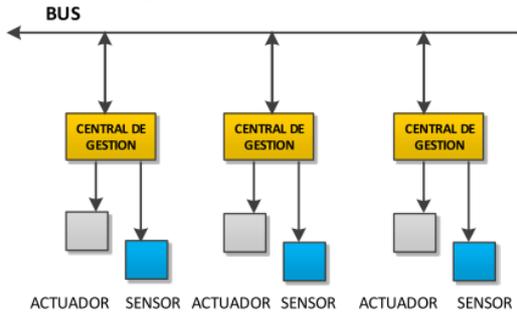


Figura 5. Arquitectura Mixta

En la figura 5 se muestra un sistema híbrido, el cual está conformado a partir de una mezcla de las dos arquitecturas mencionadas anteriormente, el control de la instalación se lo realiza mediante la creación de zonas haciendo uso de una arquitectura distribuida; en cada una de estas zonas se tiene una arquitectura centralizada. En este tipo de arquitecturas también resulta importante la comunicación entre los diferentes elementos del sistema, para que las acciones se realicen de manera coordinada [4],[22].

3. Tecnologías en comunicaciones inalámbricas

En la planificación de un edificio inteligente, es importante disponer de distintas infraestructuras de redes de comunicaciones, para garantizar que el sistema sea más fiable. Por lo general las infraestructuras más utilizadas en estas edificaciones son: cableado estructurado, redes LAN, redes WLAN, y diversas tecnologías de comunicación como Bluetooth, entre otras.

Para el caso que nos compete, se analizarán las redes inalámbricas, desde

sus generalidades hasta sus ventajas, aspectos relevantes que permitirán cumplir con el alcance del presente documento.

3.1. Estándar 802.15

Este se caracteriza en la creación de redes inalámbricas útiles para dispositivos portátiles, como computadoras personales, teléfonos inteligentes, y diversos dispositivos electrónicos; incluyen las redes WPAN que por sus siglas en inglés se refiere a Redes de Área Personal Inalámbrica [22].

3.2. Redes inalámbricas.

La característica principal de las redes inalámbricas es que utilizan el aire como medio de transmisión. Estas redes presentan ciertas ventajas tanto técnicas como económicas comparadas con las redes cableadas, pero su gran desventaja es que se disminuye la calidad y velocidad de transmisión de la red, como también supone ciertos perjuicios en la seguridad.

Como se puede apreciar en la Figura 6, las redes inalámbricas se fundamentan en distintos medios de transmisión, como lo son: microondas, ondas satelitales, ondas de radio, infrarrojo; el empleo de uno u otro medio de transmisión depende estrictamente de la aplicación requerida.



Figura 6. Redes inalámbricas[22]

Una de las principales ventajas que se deriva de la aplicación de redes inalámbricas, comparadas con redes cableadas, es que le permite al usuario un rango de movilidad; es decir los usuarios

mantienen su conexión a la red por todo lo largo de una zona determinada.

Las ondas propagadas en las redes inalámbricas son de baja potencia y están caracterizadas por ser de una banda determinada, que no se encuentra regulada y es de uso libre, es decir cualquier dispositivo puede transmitir en dicho rango; esta libertad referida ha incentivado la creación de diversos dispositivos de distintos fabricantes que hacen uso de esta tecnología.

3.3. Tipo de redes inalámbricas.

A continuación, se muestra de forma esquemática los tipos de redes inalámbricas, mismas que se describirán en las siguientes secciones.

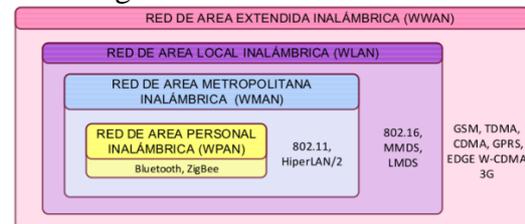


Figura 7. Clasificación de redes inalámbricas[22][23]

3.3.1. Redes WPAN.

Se define por sus siglas en inglés como Wireless Personal Area Network; este tipo de redes permiten la interconexión entre dispositivos de carácter portátil dentro de una zona determinada por el radio de cobertura; entre los dispositivos que comúnmente ocupan este tipo de redes tenemos: teléfonos inteligentes, laptops, tablets, impresoras, cámaras de fotos, etc [24].



Figura 8. Redes de Área Personal Inalámbrica[22]

En la Figura 8 se ilustra esquemáticamente la estructura de una

Red de Área Personal Inalámbrica; estas redes permiten un radio de cobertura de hasta 10 m, además poseen limitaciones en la velocidad de transmisión ya que alcanzan tan solo velocidades de 1 Mbps.

Las tecnologías más ocupadas para estas redes son: Z-Wave, Enocean, Bluetooth, ZigBee.

3.3.2. Redes WLAN.

Por sus siglas en inglés se define como Red de Área Local Inalámbrica (WLAN); este tipo de redes permite la interconexión de diversos dispositivos como estaciones de trabajo, PCs, impresoras, servidores, entre otros; estos dispositivos son capaces de comunicarse entre sí, por medio de una dirección IP asignada a cada uno de ellos, ya sea fija o dinámica. Al ser inalámbricas no requieren ningún tipo de cableado [25].

Este tipo de redes son muy utilizadas; ya que ofrecen ciertas ventajas de movilidad al usuario, es decir, permiten al usuario moverse dentro de un radio de cobertura establecido, sin perder conexión en la red; una de las limitaciones que se puede mencionar en comparación con las redes cableadas, es que estas son menos confiables.

La flexibilidad que aportan estos sistemas, y su caracterización de trabajar en bandas de frecuencia libres de operación, hacen que se produzcan una gran cantidad de soluciones de este tipo, y sea una de las más usadas para proveer de conexión a los dispositivos móviles como computadores personales y teléfonos inteligentes. El campo de aplicación de estas redes se encuentra por lo general en: hoteles, aeropuertos, hospitales, hogar [26],[27].

El radio de cobertura de este tipo de redes se encuentra entre los 30 y 300 m, dependiendo del tipo de dispositivo que se utilice; así mismo estos son capaces de alcanzar velocidades de hasta 54 Mbps, sien algunos hábiles de traspasar paredes. De las tecnologías más

utilizadas, se pueden mencionar las siguientes:

Wi-Fi (Wireless Fidelity): Es la tecnología mayormente utilizada para conexión en redes inalámbricas, resuelve de manera eficiente el problema de incompatibilidad.

HomeRF (Home Radio Frequency): Esta tecnología permite una movilidad en un radio de cobertura de hasta 50 m, y se transmite a una frecuencia de 2.4 GHz.

HiperLAN2 (High Performance Radio LAN 2.0): Posee un radio de cobertura de hasta 100 m y es capaz de transmitir a velocidades de hasta 54 Mbps.

En la Figura 9, se muestra esquemáticamente la estructura de una red WLAN.

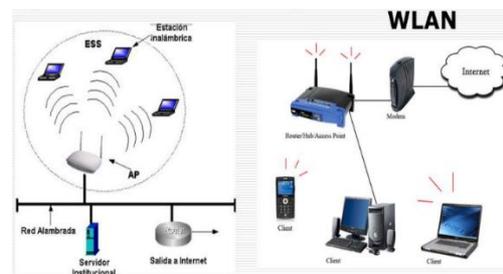


Figura 9. Redes de Área Local Inalámbrica[22][23]

3.3.3. Redes WMAN.

Este tipo de redes se basa en el estándar IEEE 802.16, y su principal característica es que permiten dar cobertura a un área extensa; mediante el uso de esta tecnología, se puede por ejemplo realizar una interconexión entre redes que se encuentren lejanas; la principal ventaja es que su costo es reducido, ya que al ser inalámbrica no se necesita ningún cableado [28],[20].

En este tipo de redes comúnmente se utilizan las tecnologías LMDS y WiMAX, siendo la segunda la más importante [29]. A continuación se describen el funcionamiento de estas 2 tecnologías.

LMDS: Se define como Local Multipoint Distribution Service por sus siglas en inglés; en este tipo de tecnología la comunicación se la realiza

punto-multipunto, ya que existe una estación central la cual puede comunicarse con los usuarios de manera bidireccional. Cuando un usuario se comunica con la estación central se crean enlaces punto-punto.

WiMAX: Se define como World wide Interoperability for Microwave Access por sus siglas en inglés; alcanza velocidades de transmisión de hasta 75 Mbps y trabaja en frecuencia en el rango de 2-66 GHz.

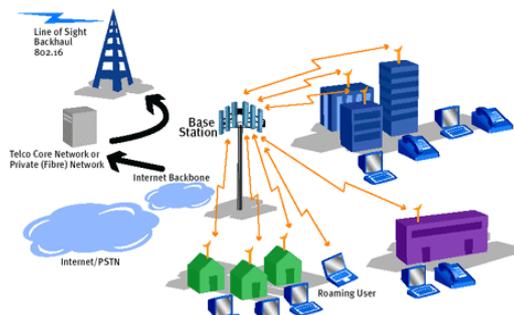


Figura 10. Redes de Área Metropolitana Inalámbrica (WMAN) [22],[14]

3.3.4. Redes WIDE AREA.

Se definen como redes inalámbricas de área extendida por sus siglas en inglés (WWAN), estas son utilizadas para comunicación en un área geográfica extensa; la comunicación se establece mediante la utilización de antenas satelitales o antenas de microondas, permiten acceder a la red desde lugares remotos, por lo general muy lejanos. Su radio de cobertura es de miles de kilómetros, y sus velocidades de transmisión están en el rango de 56-170 kbps [30].



Figura 11. Redes de Área Extendida Inalámbrica (WWAN) [24],[16],[30]

Estas redes emplean mayormente la tecnología Universal Mobile Telecommunications System, por sus siglas en inglés (UMTS), que es empleada en dispositivos móviles como celulares para redes 2G y 3G [31],[32].

A modo de resumen, se presenta la figura 12 que muestra de forma general los tipos de redes inalámbricas y sus tecnologías más usadas [22].

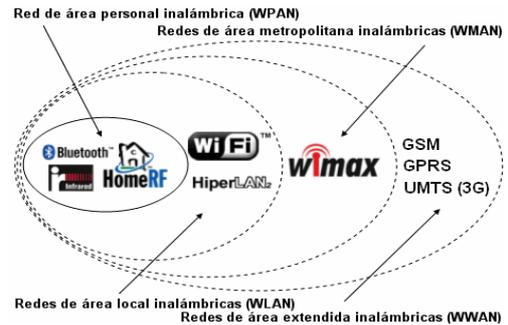


Figura 12. Redes inalámbricas y tecnologías

En la Tabla 1 se presenta una comparativa de los tipos de redes inalámbricas descritas anteriormente [20],[22]:

Tabla 1. Comparativa de redes inalámbricas

Tipo	Cobertura	Performance	Estándar	Aplicaciones
Wireless PAN	Alrededor de una Persona	Moderado	IEEE 802.15	Periféricos inalámbricos
Wireless LAN	Entre edificios o en Campus	Alto	IEEE 802.11	Campus inalámbricos
Wireless MAN	Dentro de la ciudad	Alto	IEEE 802.16	Enlaces entre oficinas
Wireless WAN	Alrededor del mundo	Alto	IEEE 802.20	Lugares con grandes distancias

3.4. Ventajas y desventajas de las redes inalámbricas.

Entre las diversas ventajas que aportan el uso de redes inalámbricas se pueden mencionar las siguientes:

Rango de cobertura: las redes inalámbricas brindan a los usuarios la posibilidad de movilidad en un rango de cobertura determinada, sin perder la conexión a la red.

Facilidad de implementación: basta con configurar el equipo que proporciona la red, para que los usuarios tenga acceso a la misma. **Instalación**

flexible: como no es necesario de ningún tipo de cableado, la instalación es más sencilla, y se puede implementar prácticamente en cualquier lugar.

Reducción de costo: a pesar de que su costo de inversión sea relativamente alto, el bajo costo de mantenimiento y el uso nulo de cualquier tipo de cableado, hacen que el costo total de implementación de esta red sea bajo en comparación con una red cableada.

Las redes inalámbricas son fácilmente escalables, es decir pueden crecer en longitud a lo largo del tiempo y aceptan cambios en su topología, según el requerimiento o necesidades de los usuarios.

Así mismo las Redes Inalámbricas presentan los siguientes inconvenientes:

Pérdidas: Suelen presentar pérdida de señal o interferencia, debido campos electromagnéticos, o elementos que trabajen en el mismo rango de frecuencia.

Velocidad de transmisión: estas redes tienen una velocidad máxima de transmisión de 54 Mbps, si se compara con una red cableada se considera una desventaja.

Vulnerabilidad: Este tipo de redes son más vulnerables a situaciones de robo de información, o intrusos; a pesar de las protecciones de seguridad que poseen, la seguridad que ofrece una red cableada es mayor.

4. Redes de Área Personal Inalámbrica (WPAN)

A fin de cumplir con el alcance en el presente documento se procederá a realizar un análisis de las redes WPAN, mismas que son aplicables a los edificios inteligentes y las cuales permitirán la determinación de la curva de carga característica.

4.1. Generalidades.

En 1999 se desarrolló el grupo IEEE 802.15, en el cual las investigaciones se enfocan en el desarrollo y mejoramiento

de las Redes de Área Personal Inalámbrica [22],[20]. Este grupo se encargó de la creación de estándares de comunicación útiles entre otras aplicaciones, para la comunicación en edificios inteligentes.

Este tipo de redes ofrece a los usuarios la posibilidad de conexión en una determinada zona de cobertura, dicha zona por lo general es de 10 m. Se posibilita el uso de dispositivos portátiles teniendo la ventaja de moverse dentro del espacio sin la necesidad de ningún tipo de cableado [20].

Una característica fundamental de este tipo de redes, es que hace uso de protocolos de comunicación optimizados y de uso más simple, lo que implica un menor consumo de energía eléctrica. Con la implementación de esta red en edificios inteligentes se obtienen aplicaciones para el uso de dispositivos eléctricos y electrónicos como: teléfonos inteligentes, computadores personales, impresoras, actuadores eléctricos. La zona determinada de cobertura se denomina espacio de operación personal [2],[23].

En el aspecto económico, la implementación de este tipo de tecnología supone un ahorro por la reducción del consumo energético, además la inversión para la instalación es baja.

4.2. IEEE – Grupos de Trabajo.

En relación a esta temática se ha constituido grupos de trabajo que desarrollan las redes de área personal inalámbrica haciendo uso de diversas tecnologías; estos grupos de trabajo serán descritos a continuación explicando la tecnología empleada [25],[20],[6],[22].

4.2.1. IEEE – GT1 802.15.1

El grupo de trabajo 802.15.1 publicó un estándar en junio del año 2002, que permite la comunicación entre dispositivos portátiles en un área

personal mediante el uso de la tecnología Bluetooth [20].

4.2.2. IEEE – GT2 802.15

El grupo de trabajo 802.15.2 desarrolla su investigación en relacionar las redes de área local inalámbricas y las redes de área personal inalámbricas; trata de exponer tecnologías que justifiquen la existencia de estas dos redes en una sola área [20].

4.2.3. IEEE – GT3 802.15.3

El grupo de trabajo 802.15.3 enfoca su investigación en el desarrollo de estándares de comunicación de velocidades por arriba de los 20 Mbps. También centra su trabajo en la eficiencia del consumo energético [20].

4.2.4. IEEE – GT4 802.15.4

El grupo de trabajo 802.15.4 centra su estudio en la creación de elementos de bajo consumo energético y el desarrollo de aplicaciones intuitivas que sean de fácil uso e implementación [20].

4.3. Aplicación de las redes WPAN.

Entre las aplicaciones más importantes de este tipo de redes se puede citar:

Conexión de equipos personales portátiles, comunicación entre ellos y sincronización automática a la red.

Conexión de periféricos inalámbricos.

Respaldo, almacenamiento de datos, así como transferencia de archivos entre los dispositivos conectados a la red.

Permite realizar automatización de luminarias, y en general automatización de edificios, con la comunicación de dispositivos portátiles con actuadores, lo que facilita su implementación en edificios inteligentes [6].

Por otra parte, los fabricantes y desarrolladores de redes de área personal inalámbrica, se centran en investigaciones para la implementación de equipos y dispositivos con menor consumo energético, fabricación de

equipos ligeros para que tome sentido la portabilidad, cuyos usos se enfocan en edificaciones como hogares, oficinas y edificios. También se enfocan en la reducción de costo de los equipos a fin de competir con otras tecnologías.

5. Análisis comparativo entre tecnologías ZIGBEE, ZWAVE Y WIFI

Del detalle mostrado en las secciones anteriores, se concluye que existe una variedad de tecnologías de comunicación que pueden implementarse y que permitirán la comunicación y adquisición de los valores de las variables eléctricas, los cuales servirán para la determinación de la curva de carga.

Con base a lo indicado y del análisis realizado en el mercado, la comparación a la que se refiere en esta sección se realizará con tres tecnologías de red muy populares y aceptadas a nivel mundial las cuales son ZIGBEE, ZWAVE Y y WiFi [33].

Por lo expuesto esta sección se divide en tres temáticas importantes que se muestran a continuación:

Temática 1: La cual pretende mostrar las características y ventajas más representativas de las tres tecnologías.

Temática 2: Con base a lo citado en la Temática 1 y tomando en consideración la investigación contenida en el documento, se procederá a establecer una tabla comparativa de las tres tecnologías con los aspectos más relevantes.

Temática 3: Considerando los aspectos concluyentes de las dos temáticas antes señaladas se procederá a realizar un análisis entre pares de tecnologías, aspecto que permitirá posteriormente establecer las conclusiones correspondientes.

5.1. Características y Ventajas relevantes de Z- Wave, ZIGBEE y WiFi

5.1.1. Z-WAVE

Mediante este protocolo implementado en los sistemas de comunicación de los edificios inteligentes se dispone la posibilidad de comunicar e interconectar los dispositivos electrónicos propios de estas edificaciones, es un sistema de última generación el cual se encuentra en constantes actualizaciones para mejorar su facilidad de uso y funcionamiento.

Dicho protocolo de comunicación da la facilidad de utilizar diversas aplicaciones para el control de los dispositivos eléctricos y electrónicos, entre los elementos que se pueden controlar tenemos: control de temperatura y luminarias, medición de consumo de energía eléctrica; además permite la conexión remota, es decir se puede acceder al control desde cualquier otra parte del mundo en donde se tenga una conexión a internet. En este aspecto es necesario señalar que últimamente se han implementado “Smart Things Hubs” los cuales han permitido interactuar las redes WiFi con Z-Wave, permitiendo así una comunicación y control más amplio y permite desplegar los datos recabados en la nube.

5.1.1.1. Características.

Z- Wave tiene algunas características, entre las más relevantes, se citan las siguientes:

Z-Wave propone una solución integral, ya que es compatible con la mayoría de fabricantes de dispositivos de automatización, lo que permite la interoperabilidad y un manejo eficiente del sistema en general.

Este protocolo de comunicación está estructurado a partir de una topología de malla, se transmite mediante ondas de baja señal de radiofrecuencia.

Su banda de operación se encuentra en los 900 MHz, esto supone un inconveniente debido a que es la banda

de frecuencia a la que operan algunos teléfonos inteligentes, por lo que se pueden producir interferencias, por ello es importante considerar este aspecto en los diseños de la red.

La velocidad de transmisión es baja, su máximo valor es de 40 kB/s; por ello este protocolo se lo utiliza para enviar o recibir señales de control, entonces resulta inapropiado para intercambio de grandes paquetes de datos o información.

Utiliza una estructura modular, donde cada uno de estos módulos representa el punto central de comunicación, y permiten la conexión con hasta 4 dispositivos.

Estos equipos hacen un manejo eficiente de la energía eléctrica, lo que representa la reducción del consumo. Instalación flexible y con características de escalabilidad.

Alcance máximo de 400 pies y de enrutamiento se gestionan de forma automática.

5.1.1.2. Ventajas.

A continuación, se detallan las principales ventajas de Z- Wave:

Una de las ventajas principales es que, al usar tecnología inalámbrica, no se requiere montar una infraestructura de cableado, lo que significa menores costos de instalación.

Funciona en bandas distintas a las que son utilizadas por las redes WIFI; esto hace posible y facilita la coexistencia entre las redes Z-Wave y las redes de área local inalámbricas.

La implementación además de no necesitar cableado, resulta económica debido a que la mayoría de dispositivos necesarios son relativamente baratos; aspecto que es subjetivo y depende de los aranceles impuestos en cada país.

El número máximo de equipos a conectar en malla asciende a 232.

El rango de transmisión es de máximo 30 metros.

Compatibilidad con marcas de distintos fabricantes, lo que facilita la interoperabilidad.

5.1.2. ZIGBEE

Esta tecnología de comunicación se fundamenta en la utilización del estándar IEEE 802.15.4, y surge con la idea de ser un protocolo normalizado para el funcionamiento adecuado de redes de área personal inalámbrica.

Esta tecnología se centra en la interconexión de mecanismos electrónicos de pequeña señal o bajo consumo, por ello es mayormente utilizada en la comunicación de sensores en procesos industriales, en el campo de la medicina y domótica.

5.1.2.1. Características.

Como se ha descrito, ZigBee se basa en el estándar de comunicaciones IEEE 802.15.4, cuyas principales características se muestran a continuación:

La comunicación se transmite a través de dos distintas bandas de frecuencia libres de operación, y según la región; en el caso de Europa 868 MHz, y para el caso de Estados Unidos 915 MHz.

Permite la interoperabilidad entre dispositivos de distintos fabricantes, mediante el uso de un protocolo asíncrono estandarizado, lo que posibilita coordinar las acciones de todo el sistema.

Su velocidad de transmisión de información depende de la banda de frecuencia a la cual se transmita, para el caso de frecuencia de 915 MHz es de 40 kbps, y la velocidad de transmisión es de 20 kbps para el caso de operar en una banda de frecuencia de 868 MHz.

El estándar ZigBee posee bajas tasas de transferencia de datos, es decir su comunicación no es constante y más bien se produce por intervalos de tiempo, lo que posibilita la coexistencia de las mismas con redes WIFI o Bluetooth, a pesar de trabajar en bandas de frecuencia

similares, sin producir problemas de interferencia.

Hacen posible la movilidad de los usuarios en un radio de cobertura que va desde los 10 hasta los 100 m, según las características del equipo implementado.

Este protocolo brinda fiabilidad en la comunicación, es decir se puede tener la seguridad de que no se perderán datos o información en el camino, es capaz de operar en una estructura de muchos nodos, lo que permite una red más robusta con caminos de comunicación alternas.

La tecnología ZigBee brinda la capacidad de operar redes de gran densidad, logrando tener un mayor número de nodos dentro de la red y a su vez un mayor número de rutas alternas.

En estas redes se consideran redes seguras, debido a que tiene la posibilidad de encriptación de datos, que solo puedan ser descifrados en el destino.

Su estructura está conformada básicamente por subredes, de las cuales cada una es capaz de manejar hasta 65536 dispositivos.

Zigbee es perfecto para la transmisión de datos de baja velocidad, por lo que su implementación en aplicaciones de domótica, o el manejo de sensores y actuadores en procesos industriales lo hace ideal. Además, los dispositivos que utilizan esta tecnología presentan un menor consumo energético.

5.1.2.2. Ventajas.

Las principales ventajas que brinda esta tecnología son:

Permiten interoperabilidad entre dispositivos de distintos fabricantes.

La transmisión de datos se produce a través de bandas de frecuencia de libre operación.

Puede ser configurada en diversas tipologías, como estrella, árbol, malla, lo que produce flexibilidad de adaptación según las necesidades de cada red.

Soporta un gran número de dispositivos en la red, lo que lo hace

altamente atractivo para aplicaciones de procesos industriales.

Dispone de métodos de encriptación, lo que da seguridad a la red.

Por lo general se utilizan equipos de baja potencia, por lo que el consumo energético total de la red es relativamente bajo.

Ideal para conexiones punto a punto y punto a multipunto.

Dadas las características de las tecnologías descritas en el numeral 5.1.1 y 5.1.2, éstas son aprovechadas en redes inalámbricas de área personal (Wireless Personal Area Network - WPAN). Su aplicación principal, es para automatización de edificios, hogares, laboratorios y oficinas. No se recomienda usar en aplicaciones que requieran velocidades de transmisión superiores a 1Mbps.

5.1.3. WiFi.

La tecnología WIFI es la más aplicada en redes de área local inalámbricas, debido a que presentan ciertos beneficios de flexibilidad y adaptabilidad con respecto a las redes cableadas; comúnmente se utilizan en conjunto con redes cableadas para obtener una estructura más robusta, proveen al usuario movilidad dentro de un radio de cobertura determinado por la capacidad del equipo instalado.

Esta tecnología opera en bandas de frecuencia de libre operación, y son usadas principalmente para otorgar conexión a los dispositivos móviles de los usuarios en: oficinas, hoteles, hospitales, aeropuertos, universidades, hogar.

En el mercado existen distintas tecnologías para WLAN, siendo la más predominante la tecnología designada Wireless Fidelity o WiFi. Esta tecnología brinda acceso a la red a dispositivos que disponen de esta solución como componente, entre los dispositivos más destacados que hacen uso de estas redes tenemos: computadores personales, teléfonos

inteligentes, impresoras, Smart tvs, consolas de videojuegos, cámaras de seguridad, dispositivos de control de acceso con parámetros biométricos, entre otros. Con el acceso a la red se posibilita la interconexión entre todos los dispositivos mencionados.

5.1.3.1. Características.

WiFi entre sus principales características se puede citar:

Utiliza dispositivos de bajo consumo energético, e incluso según la característica del equipo, algunos admiten la dotación de energía eléctrica a través del cable Ethernet; esta tecnología es conocida como Power Over Ethernet según sus siglas en inglés (POE).

Disponen de una topología estructurada, donde intervienen dispositivos llamados puntos de acceso, los cuales permiten la conexión de cualquier tipo de dispositivos a redes existentes, o también permite la conexión entre redes; esto facilita a que se tengan radios de cobertura extensos, generalmente aplicados para instalaciones de gran tamaño, donde se requiere tener la misma red en todos los espacios, por facilidades de comunicación, almacenamiento y procesamiento de información.

En este tipo de redes también intervienen los conocidos enrutadores, que son utilizado en áreas de menor tamaño, al igual que los puntos de acceso, su principal función es realizar una interconexión entre redes, y conectar con los distintos tipos de dispositivos móviles que admiten esta tecnología; su principal función es conectar la red local con la red de internet para que todos tengan una salida a internet.

WiFi no es compatible con ninguna otra tecnología inalámbrica.

Otro elemento importante en este tipo de redes son los repetidores inalámbricos, los cuales tienen la función de ampliar la señal, es decir

toman una señal débil del enrutador o de otro repetidor, y la amplifican para permitir un mayor radio de cobertura.

Las señales propagadas por este tipo de tecnología pierden potencia o disminuyen su señal y calidad de conexión cuando atraviesan elementos del entorno como paredes, montañas, árboles, entre otros.

5.1.3.2. Ventajas.

Las redes WiFi poseen una serie de ventajas, entre las cuales se puede destacar:

Al ser redes inalámbricas, la comodidad que ofrecen es muy superior a las redes cableadas porque cualquiera que tenga acceso a la red puede conectarse desde distintos puntos dentro de un espacio lo bastante amplio.

Una vez configuradas, las redes WiFi permiten el acceso de múltiples dispositivos sin ningún problema ni gasto en infraestructura, ni gran cantidad de cables.

La Alianza WiFi asegura que la compatibilidad entre dispositivos con la marca WiFi es total, con lo que en cualquier parte del mundo se podrá usar la tecnología WiFi con una compatibilidad absoluta.

5.2. Tabla comparativa.

Tomando en consideración los aspectos contenidos en los numerales anteriores y en base a la investigación realizada, se presenta la Tabla 2, la cual muestra una comparación de los aspectos más relevantes de las tecnologías inalámbricas en análisis, los cuales servirán posteriormente para realizar un análisis por pares de tecnologías.

5.3. Análisis entre pares de tecnologías inalámbricas en estudio.

Con el objeto de efectuar una comparación entre las tecnologías inalámbricas descritas, tomando en cuenta sus características, ventajas y

desventajas, en los siguientes numerales se realizará un análisis por pares de tecnologías.

5.3.1. ZigBee Vs Z-Wave.

ZigBee y Z-Wave son dos de los principales protocolos inalámbricos utilizados en los productos de los edificios inteligentes mediante WPAN. En tal sentido es necesario analizar ambas tecnologías para determinar los aspectos necesarios que guíen la elección de una u otra tecnología.

Una de las fortalezas y debilidades de ZigBee es su protocolo abierto, aspecto beneficioso ya que el código puede ser verificado, sin embargo y en contraposición, al tener un protocolo abierto existe la posibilidad de modificar el código para que se ajuste a necesidades particulares.

A diferencia de ZigBee, Z-Wave es un estándar cerrado, propiedad de Silicon Labs, al ser un sistema cerrado, generalmente el protocolo no es susceptible de cambios. Z-Wave agrega seguridad adicional al requerir que cada dispositivo use una ID única para comunicarse con su hub, lo que permite una fácil identificación.

Por lo expuesto, se puede concluir que en el caso de que el usuario requiera seguridad, los sistemas cerrados serían la opción recomendada, aspecto por el cual Z-Wave estaría sobre ZigBee.

Por otra parte, tanto Z-Wave como ZigBee crean una red de malla entre los diferentes dispositivos que tiene en los edificios inteligentes. Sin embargo, una ventaja distintiva para Z-Wave es lo lejos que pueden estar estos dispositivos. Z-Wave puede conectar dispositivos a una distancia de 160 metros, mientras que ZigBee alcanza el máximo a unos 20 metros. Por lo citado, en base a la longitud del edificio inteligente, Z-Wave es una buena opción para la comunicación en lugares muy amplios sin realizar un gasto excesivo.

Tabla 2. Comparativa de las tecnologías inalámbricas

TECNOLOGIA	ZIGBEE	Z-WAVE	WiFi	BLUETOOTH	ENOCAN	GSM	3G	WiMAX
Medio	Inalámbrico	Inalámbrico	Inalámbrico	Inalámbrico	Inalámbrico	Inalámbrico (Radio frecuencia)	Inalámbrico (Radio frecuencia)	Inalámbrico (Radio frecuencia)
Topología Física	Bus	Bus	Bus / AC Hoc	Bus / AC Hoc	Bus	Bus	Bus	Bus
Topología Lógica	Malla	Malla	Malla	Malla	Malla	Malla	Malla	Malla
Estándar	802.15.4	ITU-T G.9959	802.11	802.15.1	ISO-ICE 14543-3-10	---	---	802.16
Rango de Radio Frecuencia	900 MHz en EEUU, 868 MHz en Europa y 2.4 GHz resto del mundo.	900 MHz	2,4 GHz y 5GHz	2,4 GHz y 5GHz	868MHz en Europa, 315 MHz América y Asia	900 , 1800 MHz	1.92 – 1.98 GHz , 2.11 – 2.17 GHz	2.5 GHz , 3.5 GHz , 5.8 GHz
Ancho de Banda	20-250 Kbps (bajo)	9,6-40 Kbps (muy bajo)	20 - 450Mbps (Ext. Alto)	720Kbps	125Kbps (bajo)	Hasta 14.4 Kbps	384Kbps – 2 Mbps	Hasta 75 Mbps
Rango de transmisión	10-100 m	30 m	30 -50 m	10 m	300 m	1 – 10 Km	1 – 10 Km	10-50 Km 1-5 Km
Riesgo de Colisión de datos	Baja	Media	Baja en base a la cantidad de usuarios	Muy baja	Muy baja	Baja	Baja	Media
Consumo de Energía	30mA transmitiendo, 3mA en reposo	Muy baja	Baja y Media	40mA transmitiendo, 0,2mA en reposo	Extremadamente baja	Baja y media	Baja y media	Baja y media
Uso de baterías	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si
Aplicación	Domótica, control remoto, redes inteligentes	Domótica, Seguridad	Acceso a gran volumen de información	Redes de computadoras (impresoras y PDAs)	Monitoreo y control	AMI, HAN, RD	AMI, HAN, RD	AMI, HAN, RD
Mercado Aplicación	Doméstico e industrial	Luces y Residencial	Doméstico, industrial, comercial	Doméstico y oficina	Edificios	Edificios, industrial, comercial	Edificios, industrial, comercial	Edificios, industrial, comercial
Seguridad comunicación	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si
Interferencia WLAN	Si	No	No	Si	No	No	No	No
N.º máx. dispositivos	256	232	250	8	---	250	250	250
Tamaño de la red	65536	232	250	8	2^32	250	250	250
Nivel de penetración y Competitividad	Sistema maduro a nivel de mercado	Lleva varios años en el mercado	Desarrollado y aplicado a nivel mundial	Lleva varios años en el mercado	Ensayado, probado y fiable	Desarrollado y aplicado a nivel mundial	Desarrollado y aplicado a nivel mundial	Desarrollado y aplicado a nivel mundial
Implementación	Elevadas prestaciones de control	Elevadas prestaciones de control	Muy elevadas prestaciones de control	---	Elevadas prestaciones de control	Elevadas prestaciones de control	Elevadas prestaciones de control	Elevadas prestaciones de control
Costos por ciclo de vida	Precio reducido, medio	Precio reducido, medio	Precio medio ligeramente alto	Precio reducido, medio	Precio reducido, bajo	Precio reducido, medio	Precio reducido, medio	Precio reducido, medio

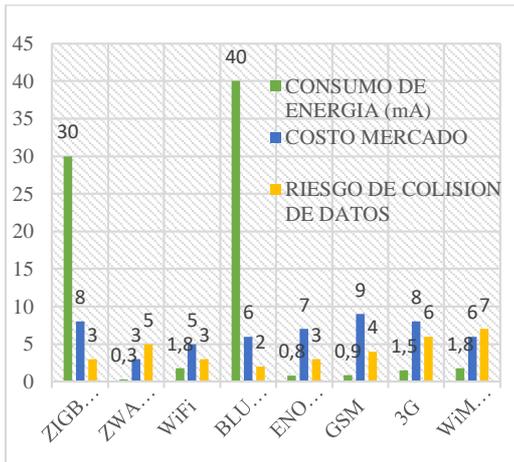


Figura 13. Criterio de selección cuantitativo de tecnologías

Así mismo, los dispositivos ZigBee requieren menos energía y duran más entre los cambios de batería. Sin embargo, esta brecha se está cerrando, ya que los dispositivos Z-Wave Plus requieren menos energía para funcionar que los dispositivos anteriores. Sin embargo, ZigBee aún está por delante en este aspecto. Por lo tanto, el uso de muchos sensores, cerraduras y otros dispositivos que requieren energía de la batería, conlleva a usar ZigBee como la opción más viable.

Dado que ambos estándares tienen sus ventajas y desventajas, se puede señalar que los factores más relevantes en la decisión de cual escoger son: i) Cantidad de dispositivos; y, ii) Disposición y espacio a ocupar por los dispositivos. ZigBee sería la opción más relevante si la distancia entre los dispositivos es corta o si planea implementar muchos dispositivos, así mismo, cuanto menos dispositivos y más separados estén, la mejor alternativa será Z-Wave.

5.3.2. Z-Wave Vs WiFi.

Al igual que el WiFi, el Z-Wave se basa en tecnología inalámbrica para enviar información, tanto dentro como alrededor del edificio inteligente, se basa en técnicas de seguridad avanzada y cifrado para tratar de garantizar que la transmisión de la información no sea interceptada por intrusos ni

ciberdelincuentes. Z-Wave al igual que el WiFi también permite enlazar una red más amplia de dispositivos, de modo que cada uno pueda comunicarse con el otro y entre todos dado el caso.

Aunque la red WiFi permite enviar y recibir grandes volúmenes de datos, como enormes adjuntos de correo electrónico, streaming de audio y video, y grandes cantidades de datos bidireccionales enviados y recibidos, el Z-Wave no tiene que llevar una carga tan pesada. La información enviada de un lado para otro sobre una red Z-Wave consiste principalmente en comandos diminutos, como “encender la luz” o “ajustar el termostato”, junto a pequeñas actualizaciones de estado, como “este dimmer está iluminando al 45%” o “esta puerta está cerrada”.

Como tal, Z-Wave puede operar a frecuencias mucho más bajas, y con mucha menos potencia de emisión. Además, mientras que cada vez que añade un nuevo dispositivo a su red WiFi ésta se hace más débil y menos sensible, la capacidad de red mallada de Z-Wave significa que cada nuevo dispositivo añadido realmente hace que su red Z-Wave sea más robusta y más fiable a pesar que esta red alcanza un máximo de 232 nodos.

Así mismo, Z-Wave también requiere menos energía y ofrecen un menor ancho de banda y es capaz de soportar más de doscientos dispositivos en el mismo controlador. WiFi está centralizado, dependiendo de la presencia de un enrutador para proporcionar una red.

Como sistema de malla, Z-Wave es una opción más resistente, por lo que es un lugar común en los sistemas de seguridad. Así mismo, conectarse mediante WiFi puede ocasionar un consumo de energía considerable, por su parte Z-Wave requiere poca potencia, en parte porque el protocolo solo admite velocidades de transmisión de datos de hasta 100 Kbps.

WiFi es vulnerable a una amplia gama de ataques y ataques de seguridad. Z-Wave como sistema cerrado y patentado por Sigma Designs puede proporcionar capas de protección. Cada red Z-Wave y sus productos tienen identificaciones únicas para comunicarse con su hub, además del cifrado AES-128.

Muchos dispositivos que pueden conectarse a Z-Wave también se conectan a WiFi. Así es como se conectan a Internet para que pueda controlarlos de forma remota con un teléfono. WiFi y Z-Wave se pueden usar para resolver el mismo problema. El principal competidor de Z-Wave no es necesariamente WiFi, es Zigbee. Al igual que Z-Wave, Zigbee es un sistema de malla, pero es un estándar abierto, lo que significa que puede usar Zigbee sin temor a que desaparezca del mercado.

WiFi, aunque es relativamente fácil de implementar en cualquier producto de consumo, simplemente no es tan confiable en un escenario de automatización de los edificios u hogares inteligentes. WiFi, también conocido como TCP / IP inalámbrico, es un excelente protocolo para entregar mensajes y datos, pero nunca fue pensado para "controlar" dispositivos, especialmente a través de redes inalámbricas, aspecto que repercute aún más cuando la comunicación también tiene que lidiar con la congestión inalámbrica (los cortes en sus medios de transmisión).

Zigbee ha sido a menudo considerado como una versión mini de WiFi, estas dos tecnologías se utilizan a menudo en aplicaciones similares en términos de comunicación inalámbrica doméstica. Estas tecnologías inalámbricas de corto alcance incluso comparten una banda ISM común de 2.4GHz, utilizan la misma técnica de espectro expandido. Curiosamente, ambos se han desarrollado y propuesto en una mentalidad diferente y, por lo tanto,

existen algunas diferencias significativas entre estos dos.

WiFi se ha estandarizado según el estándar IEEE 802.11.x. Existen varias versiones del protocolo donde x se reemplaza por a, b, g, n, etc., que son versiones diferentes de WiFi. Zigbee está bajo el estándar IEEE 802.15.4.

WiFi es administrado y su proceso de certificación es tomado por WiFi Alliance, un grupo independiente constituido por varias compañías de electrónica y comunicación. Por motivos similares, Zigbee también tiene una alianza separada que se basa en los procesos de certificación y desarrollo de productos basados en Zigbee.

La idea de WiFi surgió como una alternativa para facilitar el trabajo de cajeros automáticos en el año 1985. Se estableció una comunidad para estandarizar el protocolo en el año 1990, estandarizándose en el año 1997. Por otro lado, Zigbee, concebido en el año 1999, resultado de que para algunas aplicaciones de larga ejecución, WiFi y Bluetooth no estaban preparados. Fue lanzado en el año 2004.

WiFi comúnmente funciona a 2.4GHz, 5GHz, aunque ha habido desarrollos recientes en los que WiFi funciona a una frecuencia de 60GHz. Zigbee, trabaja a 900-928 MHz y 2.4GHz. Además, el protocolo Zigbee tiene una frecuencia específica de 868 MHz para los países europeos, así mismo las comunicaciones basadas en el protocolo Zigbee tienen un ancho de banda de canal de 1 MHz, mientras que los canales de WiFi tienen un ancho de banda de 0,3, 0,6 o 2 MHz.

Zigbee está restringido a redes de área personal inalámbricas (WPAN), que alcanzan los 10-30 metros en las aplicaciones habituales. Recientemente, ha habido algunas aplicaciones que tienden a alcanzar los 100 m en términos de alcance. WiFi sirve para redes de área PAN y WLAN con un rango promedio de 30 a 100 metros.

Los dispositivos basados en WiFi necesitan una buena batería de respaldo si uno quiere usarlos durante más de 10 horas aproximadamente. Por otro lado, el protocolo Zigbee ha sido diseñado para "ensamblar y olvidar". Estos son extremadamente mínimos en términos de consumo de energía y, por lo tanto, pueden durar semanas y meses. En general, las redes basadas en Zigbee consumen 1/4 de la energía consumida por las redes WiFi.

Una sola red basada en WiFi puede tener un tamaño de red de hasta 2007 nodos, mientras que las redes basadas en Zigbee pueden tener más de 65,000 nodos en una de esas redes.

WiFi es una opción preferible para la red basada en conexión a Internet y ahora también se recomienda la interfaz de varios dispositivos de entretenimiento / medios de forma inalámbrica. Uno puede encontrar WiFi en el intercambio de datos entre una computadora y un módem, transmitir música y videos en un televisor a través de una computadora o dispositivo multimedia habilitado para WiFi.

El protocolo Zigbee ha sido diseñado precisamente para intercambiar datos y es más frecuente en las redes basadas en sensores inalámbricos, como las de los sistemas de automatización del hogar, de edificios o de coordinación de maquinaria industrial.

5.3.3. Smart Things Hubs y Tecnologías Inalámbricas analizadas.

Con el desarrollo de nuevas tecnologías y el avance en la investigación de redes de comunicación, el Internet de las Cosas (IoT) se presenta como una de las soluciones tecnológicas más importantes de cara al futuro de los Smart Home o Smart Building en diversos países del mundo, y aunque esta tecnología lleva algunos años desarrollándose, actualmente ya se cuenta con aplicaciones innovadoras.

En el contexto de lo antes descrito, se han diseñado los llamados "Smart Things Hubs" o "Smart Hub", los cuales actúan como el medio a través del cual se ha implementado el llamado Internet de las Cosas IoT, los cuales han permitido la interacción de diversos dispositivos que actualmente funcionan con tecnologías inalámbricas tales como Z-Wave, adicionalmente, el Smart Hub permite que la información almacenada de los diferentes elementos inteligentes de las edificaciones sean colocadas en la nube y pueda ser revisada, controlada y supervisada en tiempo real. Esta nueva funcionalidad brindada por el IoT permite un nivel de control y la supervisión que está enfocada al uso eficiente de la energía.

6. Determinación de Curva de Demanda o Carga

La carga o demanda eléctrica de una instalación corresponde a la potencia activa, relativa a un intervalo de tiempo específico, que absorbe su carga para funcionar. Ese lapso se denomina intervalo de demanda y sus valores son típicamente de 15, 30 o 60 minutos, la indicación de este intervalo es obligatoria a efecto de interpretar un determinado valor de demanda [34].

El intervalo de demanda, permite construir la denominada "Curva de demanda o Curva de Carga", que por lo general tiene una temporalidad diaria, dichas curvas sirven para el análisis de consumo de energía, determinar el rendimiento de dispositivos, y también para elaborar un completo plan de expansión del sistema en análisis [35].

Por lo expuesto, la Curva de demanda o Curva de Carga se define como la representación gráfica de cómo varía la demanda o carga eléctrica en el transcurso del tiempo, considerando que la carga no es constante. La forma de la curva de carga, depende fundamentalmente del tipo de carga (residencial, comercial, industrial), del

día de la semana, de la estación (invierno, verano) y de los factores climáticos, a fin de mostrar este aspecto; la figura 13 representa de forma esquemática lo antes descrito[36].

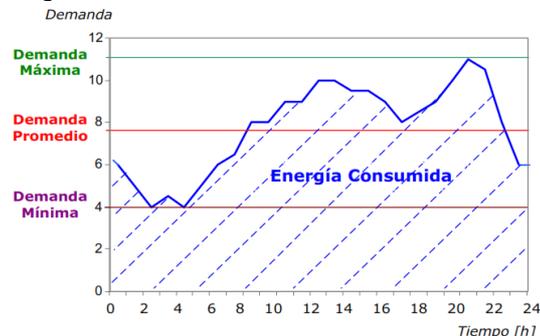


Figura 14. Curva de carga o demanda horaria

Existen ciertos parámetros o índices que pueden definir características relacionadas con la demanda durante el período de tiempo considerado. Entre estos indicadores se señalan los siguientes [37],[34]:

La energía demandada EDa [kWh]: Corresponde a la consumida por la carga durante un periodo de tiempo que comúnmente es de un año, y corresponde al área debajo de la curva de carga horaria.

La potencia demandada promedio anual: Es la potencia obtenida de la relación de la energía demandada y el periodo de análisis.

La demanda máxima PDmáx [MW]: Correspondiente al pico de la demanda que se alcanza en el período de tiempo analizado.

La demanda mínima PDmín [MW]: Correspondiente al valor de demanda base que se alcanza en el período de tiempo analizado.

Factor de Carga fcar: Es la relación entre la energía demandada EDa y la energía que demandaría la carga en el período considerado T, si estuviese conectada siempre a su potencia máxima PDmáx.

Estos indicadores resultan del análisis de la curva de carga y sirven para determinar acciones de ámbito técnico para el uso de la carga, por tanto y de conformidad con el alcance del presente

trabajo, dichos indicadores no serán calculados ya que el trabajo no realiza un análisis específico de la carga y determinar las acciones subsecuentes, sin embargo, esta temática podría tratarse en un nuevo tema investigativo.

Por lo expuesto, el presente trabajo tiene como finalidad observar las ventajas de la información obtenida a través de las tecnologías inalámbricas en relación a la determinación de la curva de demanda, aspecto por el cual se procederá a usar la información recabada del Medidor AEON con tecnología Z-Wave implementado a nivel doméstico como se puede apreciar en [38].

Bajo este contexto, se señala que el medidor almacena los datos de las mediciones de energía y potencia con una periodicidad cuarto horaria, así mismo tiene la propiedad de realizar un almacenamiento mensual. En tal sentido y a fin de determinar la curva de demanda o potencia horaria, se ha procedido a realizar una gráfica comparativa tomando en consideración el 20 de junio de 2017 y el 20 de junio de 2018, datos que han sido obtenidos del medidor [38] y que se muestran en la tabla 3 y figura 14.

La Figura 14 muestra de forma gráfica la curva de demanda, sin embargo y con el objeto de estimar dicha curva con los datos obtenidos del Medidor AEON, se ha procedido a usar la técnica de Mínimos Cuadrados, la cual es una técnica de análisis numérico enmarcada dentro de la optimización matemática, en la que, dados un conjunto de pares y una familia de funciones, se pretende encontrar la función continua, dentro de dicha familia, que mejor se aproxime a los datos "Mejor ajuste", de acuerdo con el criterio de mínimo error cuadrático. En la forma más simple, esta técnica intenta minimizar la suma de cuadrados de las diferencias en las ordenadas, llamadas residuos, entre los puntos generados por la función elegida y los

correspondientes valores en los datos [39].

Tabla 3. Datos de curva de carga horaria

Muestras Medició n	Hora	Potencia (W)	
		20/06/201 7	20/06/201 8
1	0:00:00	124	40
2	0:15:00	47	40
3	0:30:00	48	110
4	0:45:00	47	40
5	1:00:00	117	40
6	1:15:00	54	47
7	1:30:00	47	108
8	1:45:00	47	40
9	2:00:00	110	40
10	2:15:00	55	40
.....
92	22:45:0 0	54	51
93	23:00:0 0	118	44
94	23:15:0 0	48	39
95	23:30:0 0	48	107
96	23:45:0 0	48	45

La modelación matemática [40] radica en $\{(x_k, y_k)\}_{k=1}^n$ como un conjunto de n puntos en el plano real, y sea $\{(f_j(x))\}_{j=1}^m$ una base de m funciones linealmente independientes en un espacio de funciones. Bajo este contexto, la técnica pretende encontrar una función $f(x)$ que sea combinación lineal de las funciones base, de modo que $f(x_k) = y_k$, lo que corresponde a:

$$f(x) = \sum_{j=1}^m c_j \cdot f_j(x) \quad (1)$$

Por tanto, la técnica pretende hallar los m coeficientes c_j que hagan que la función de $f(x)$ dé la mejor aproximación para los puntos dados (x_k, y_k) . El criterio de "mejor

aproximación" en general se basa en aquél que minimice una "acumulación" del error individual (en cada punto) sobre el conjunto total. El error de la función $f(x)$ en un solo punto (x_k, y_k) se define como:

$$e_k = y_k - f(x_k) \quad (2)$$

A nivel matemático, existen diversas formas de definir el error de un conjunto de puntos. Una de las metodologías es la determinación del error cuadrático medio, el cual se muestra a continuación.

$$E_{cm}(f) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (e_k)^2}{n}} \quad (3)$$

El error cuadrático, base del cálculo de la aproximación de mínimos cuadrados, se define como:

$$E_c(f) = \frac{\sum_{k=1}^n (e_k)^2}{n} \quad (4)$$

Se plantea que, para el propósito del cálculo a partir de la aproximación de mínimos cuadrados, la función f debería estar conformado por la combinación lineal de otras funciones; por lo tanto, se propone encontrar coeficientes que hagan posible la combinación de funciones. En este contexto, el E_{cm} estará determinado de la siguiente forma:

$$E_{cm} = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{k=1}^n (y_k - \sum_{j=1}^m c_j \cdot f_j(x_k))^2} \quad (5)$$

Minimizar el error cuadrático medio es equivalente a minimizar el error cuadrático, definido como el radicando del error cuadrático medio, esto es:

$$E_c = \sum_{k=1}^n (y_k - \sum_{j=1}^m c_j \cdot f_j(x_k))^2 \quad (6)$$

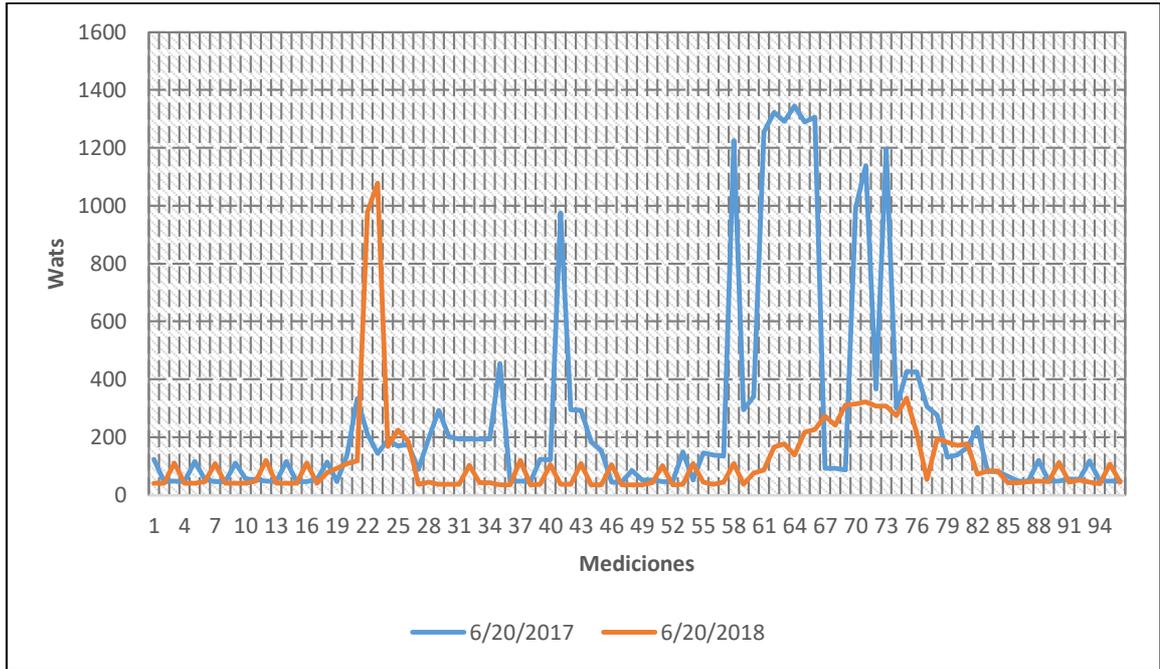


Figura 15. Curva de demanda diaria

En tal sentido, los c_j que minimizan E_{cm} también minimizan E_c y podrán ser calculados derivando e igualando a cero (6) como se muestra.

$$\frac{dE_c}{dc_i} = \sum_{k=1}^n 2 \cdot (y_k - \sum_{j=1}^m c_j \cdot f_j(x_k)) \quad (7)$$

$$* (-f_i(x_k)) = 0$$

Siendo $i=1,2, \dots, m$, se obtiene un sistema de m ecuaciones con m incógnitas, que recibe el nombre de "Ecuaciones Normales de Gauss", las cuales al resolverse darán los coeficientes c_j y por tanto se encontrará la función de ajuste a una serie de pares ordenados de puntos.

Las ecuaciones normales de Gauss se pueden describir de la siguiente forma.

$$\sum_{k=1}^n (\sum_{j=1}^m c_j \cdot f_j(x_k)) \cdot f_i(x_k) \quad (8)$$

$$= \sum_{k=1}^n y_k \cdot f_i(x_k); i = 1..m$$

$$\sum_{j=1}^m (\sum_{k=1}^n f_i(x_k) \cdot f_j(x_k)) \cdot c_j \quad (8)$$

$$= \sum_{k=1}^n y_k \cdot f_i(x_k); i = 1..m$$

Para el caso que nos compete los pares ordenados corresponderán a la magnitud de potencia en un tiempo intervalo de demanda de 15 min durante las 24 horas de un día dando un total de 96 pares ordenados, los cuales a través de la técnica de mínimos cuadrados se determinará la función aproximada de la curva de demanda.

En concordancia con lo expuesto en el párrafo inmediato anterior y con el afán de usar las ventajas tecnológicas, la técnica de mínimos cuadrados ha sido aplicada a los datos de demanda obtenidos para el 20 de junio de 2017, para el efecto se ha usado el motor de ajuste de curvas que contiene Microsoft Excel, obteniéndose la figura siguiente.

Así mismo y considerando las potencialidades de las mediciones obtenidas, a continuación, y usando el concepto de energía demandada, se ha realizado el cálculo de la misma cuyos

valores se muestran en la siguiente con resolución horaria para el 20 de junio de 2017 y el 20 de junio de 2018.

Finalmente, y con el afán de mostrar las ventajas de los Smart Hub, las siguientes figuras muestran el despliegue de la información en la nube la misma que puede ser graficada por las aplicaciones específicas en los móviles o computadores personales.

Tabla 4. Energía diaria demandada

Hora	Energía (Wh)	
	20/06/2017	20/06/2018
1	66.5	57.5
2	66.25	58.75
3	67	61.75
4	64	58.5
5	88.5	79.5
6	219.5	585.25
7	156.75	123
8	220	54
9	222.75	39.5
10	84.75	74.75
11	436.5	54.5
12	82	53.5
13	49	54.25
14	121.25	56.75
15	498.25	66.25
16	1303.25	142
17	694.75	239.5
18	645.5	314
19	587	282
20	212.75	150.75
21	140	104
22	70.25	45
23	51.75	64
24	65.5	58.75

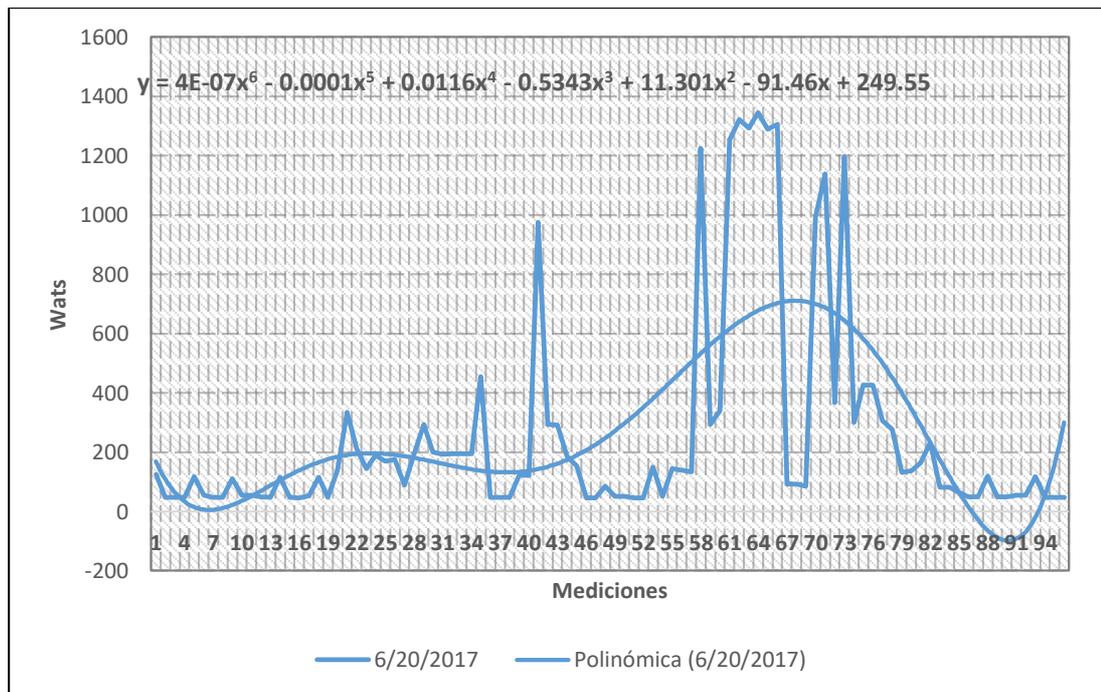


Figura 16. Curva de demanda diaria y estimación



Figura 17. Despliegue de curva de demanda y energía – Demanda punta

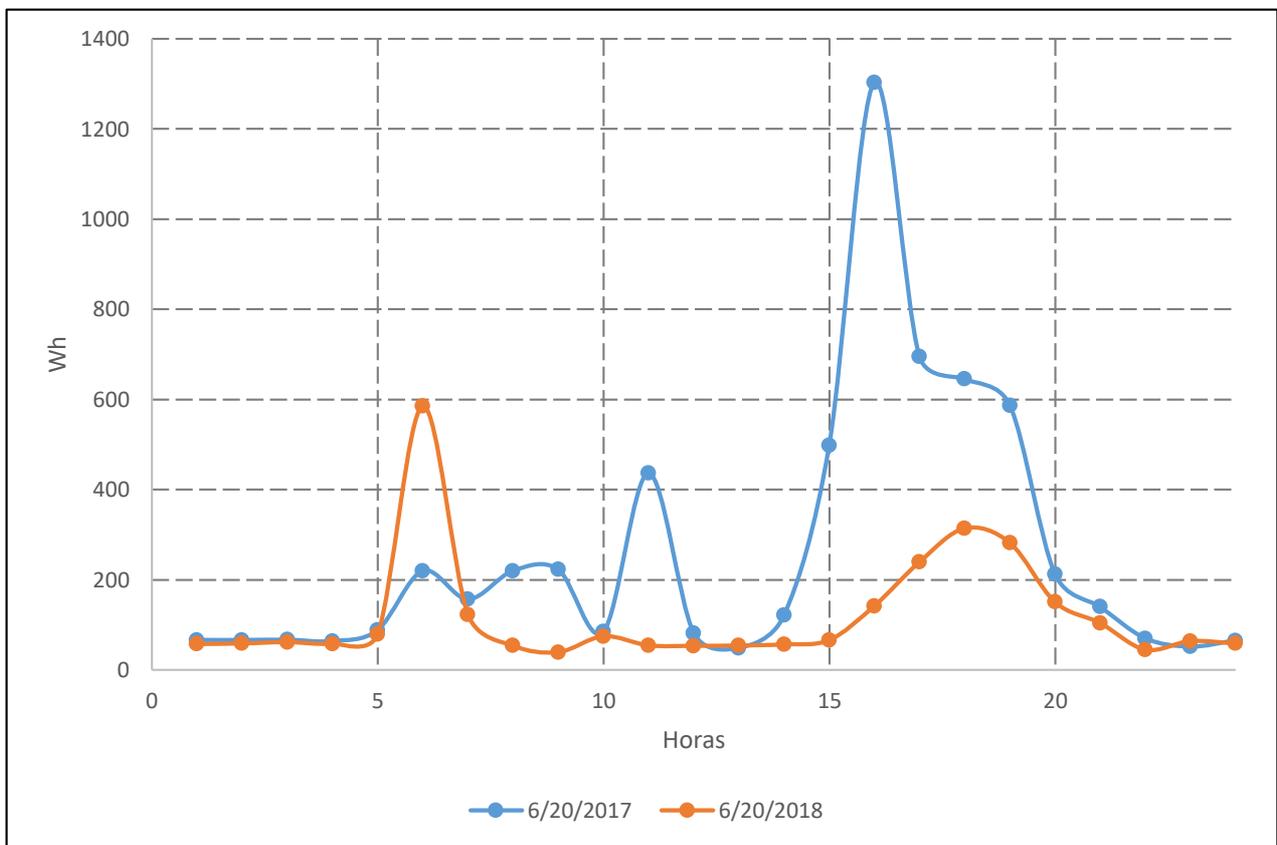


Figura 18. Energía diaria demandada

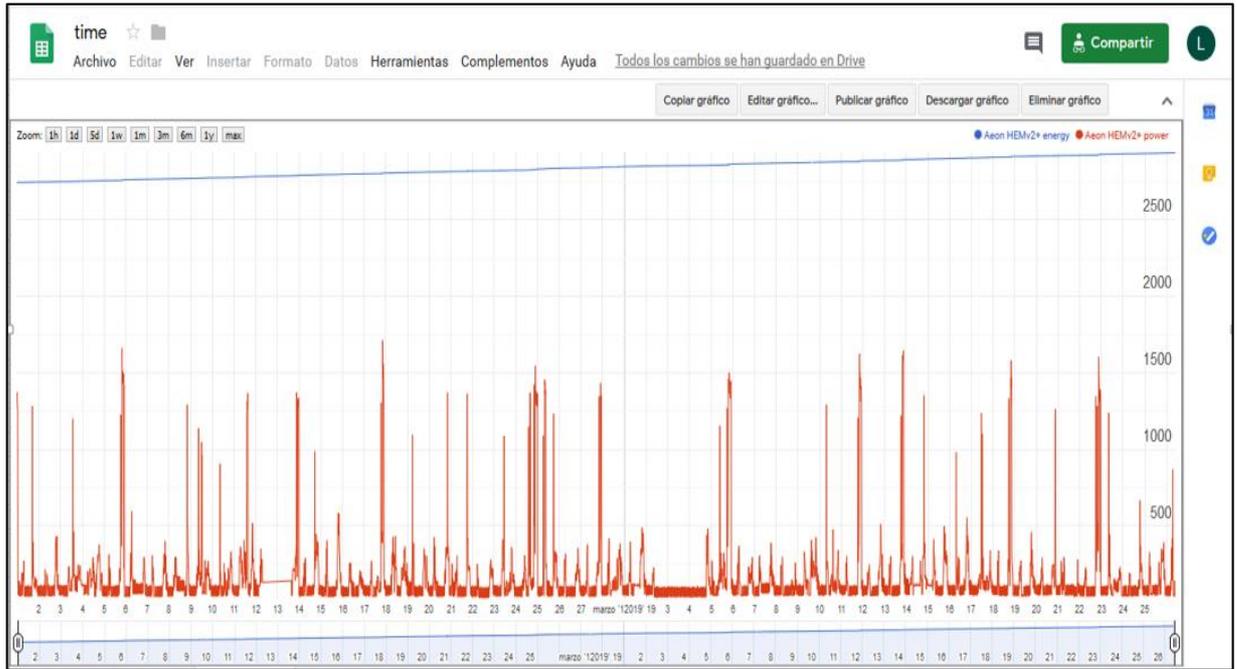


Figura 19. Despliegue de curva de demanda y energía 48 horas



Figura 20. Visualización de variables eléctricas

7. Conclusiones.

Con el desarrollo de nuevas soluciones tecnológicas de las redes de comunicación inalámbrica usadas para la transmisión de información, se puede suponer que a futuro no solo se usarán en la implementación de casas o edificios inteligentes, sino tendrá relevancia en las otras actividades que requieran su uso como son: procesos industriales, redes en entornos de educación y de salud, debido a las ventajas que ofrecen su versatilidad.

Como se ha mencionado la versatilidad de los dispositivos que se comunican a través de redes inalámbricas como ZIGBEE, Z-WAVE o WiFi, tienen la ventaja por su flexibilidad y adaptabilidad para su integración en infraestructuras planificadas desde cero, y sobre todo para integrarse en infraestructuras terminadas o en remodelación; ya que, al no requerir cableado, no se necesita la intervención de obra civil o arquitectónica.

De lo representado en la figura 13 podremos determinar y seleccionar a la tecnología inalámbrica ZWAVE, como la mejor opción de selección, para una medición en una red doméstica.

Considerando su bajo consumo eléctrico, bajo costo de adquisición de equipos y su media posibilidad de colisión de datos. De los análisis efectuados, se concluye que la tecnología ZWAVE presenta grandes ventajas en comparación a tecnologías del mismo tipo, debido a su bajo consumo energético, fácil implementación, posibilidad de interoperabilidad entre marcas de distintos fabricantes, transmisión en una banda de frecuencia de libre operación y reducción en costos de implementación y mantenimiento. Estas ventajas hacen ideal a esta tecnología para ser aplicada en edificios inteligentes.

Finalmente, y como resultado de los análisis, WiFi surgió como una alternativa para facilitar un trabajo totalmente diferente al de lo que se pretende en los edificios inteligentes, aspecto por el cual esta tecnología si bien en el corto plazo no estaría preparada para sumir este reto, se estima que en el mediano y largo plazo lo hará de forma sustancial.

Hay que considerar que esta tecnología inalámbrica WiFi, es una ruta de salida de la información del resto de tecnologías descritas, ya que estas no son capaces aun de subir datos directamente a la nube sin ayuda de los Smart Hub.

8. Trabajos futuros

Con el avance tecnológico y la factibilidad de manejar la información disponible en el internet, se logrará instalar medidores inteligentes en los hogares para lograr un control de consumo energético razonable. Por tal motivo se debería gestionar políticas gubernamentales para la implementación de esta medición inteligente.

Las empresas distribuidoras de energía eléctrica son las encargadas de motivar o proponer planes piloto de medición inteligente.

9. Referencias

- [1] A. B. Soler and J. Paradells, “Estudio y desarrollo de un sistema basado en una librería abierta para el uso del protocolo inalámbrico de domótica Z-Wave,” p. 139, 2014.
- [2] F. Wurtz and B. Delinchant, “‘Smart buildings’ integrated in ‘smart grids’: A key challenge for the energy transition by using physical models and optimization with a ‘human-in-the-loop’ approach,” *Comptes Rendus Phys.*, vol. 18, no. 7–8, pp. 428–444, Sep. 2017.
- [3] 068,938 LM Fujita - US Patent 8 and undefined 2011, “Method and system for managing a load demand on an electrical grid,” *Google Patents*.
- [4] G. Hayduk, P. Kwasnowski, and Z. M. Ć, “Building Management System architecture for large building automation systems,” pp. 232–235, 2016.
- [5] V. Sutedy *et al.*, “Intelligent Eco-Building Management System,” *2015 IEEE Int. Conf. Cyber Technol. Autom. Control. Intell. Syst.*, pp. 229–233, 2015.
- [6] P. Magpantay *et al.*, “Energy Monitoring in Smart Buildings Using Wireless Sensor Networks,” no. c, pp. 78–81, 2014.
- [7] M. Flores, M. Gabriel, C. Medina, and J. Monard, “Implementación de Sistema Inmótico : Estudio de Protocolos de Comunicación Implementation of an Inmotic System : A Communication Protocol Study,” no. 8, pp. 71–84.
- [8] T. Schild, J. Fütterer, R. Sangi, R. Streblow, and D. Müller, “System of Systems theory as a new perspective on building

- control,” pp. 783–788, 2015.
- [9] M. Erol-Kantarci, H. M.-I. T. on S. Grid, and undefined 2011, “Wireless sensor networks for cost-efficient residential energy management in the smart grid,” *ieeexplore.ieee.org*.
- [10] “SmartThings Wifi – Z-Wave.” [Online]. Available: <https://support.smarthings.com/hc/en-us/articles/360001247063-How-to-set-up-SmartThings-Wifi>. [Accessed: 27-Mar-2019].
- [11] J. Qi, Y. Kim, C. Chen, X. Lu, and J. Wang, “Demand Response and Smart Buildings,” *ACM Trans. Cyber-Physical Syst.*, vol. 1, no. 4, pp. 1–25, 2017.
- [12] A. Tascikaraoglu, A. Boynuegri, M. U.-E. and Buildings, and undefined 2014, “A demand side management strategy based on forecasting of residential renewable sources: A smart home system in Turkey,” *Elsevier*.
- [13] L. Jiaquan and Z. Renqiang, “Research and application of Intelligent Building Energy Management System,” in *The 26th Chinese Control and Decision Conference (2014 CCDC)*, 2014, pp. 2789–2793.
- [14] Y. Wu, “Scientific Management - The First Step of Building Energy Efficiency,” in *2009 International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering*, 2009, pp. 619–622.
- [15] J. Mastelic, L. Emery, D. Previdoli, L. Papilloud, F. Cimmino, and S. Genoud, “Energy management in a public building: A case study co-designing the building energy management system,” in *2017 International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)*, 2017, pp. 1517–1523.
- [16] H. Yang, B. Kim, J. Lee, Y. Ahn, and C. Lee, “Advanced wireless sensor networks for sustainable buildings using building ducts,” *Sustain.*, vol. 10, no. 8, pp. 1–13, 2018.
- [17] V. T. Nguyen, T. Luan Vu, N. T. Le, and Y. Min Jang, “An Overview of Internet of Energy (IoE) Based Building Energy Management System,” in *2018 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*, 2018, pp. 852–855.
- [18] M. A. Hannan *et al.*, “A Review of Internet of Energy Based Building Energy Management Systems: Issues and Recommendations,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 38997–39014, 2018.
- [19] “Electrodomésticos inteligentes.” [Online]. Available: <https://www.samsung.com/es/a-fondo/smart-home/electrodomesticos-inteligentes-para-tu-smart-home/>.
- [20] E. R. D. Found, “Wireless communication for Smart Buildings Smart Buildings,” *Interreg 2 Seas Mers Zeeën*, 2017.
- [21] H. Ghayvat, S. Mukhopadhyay, X. Gui, and N. Suryadevara, “WSN- and IOT-based smart homes and their extension to smart buildings,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 15, no. 5, pp. 10350–10379, 2015.
- [22] M. Loyola and P. Becerra, “Manual para la aplicación de la Tecnología Zigbee para

- edificios Inteligentes,” pp. 5–7, 2015.
- [23] I. of E. and E. Engineers., *IEEE P802.15.4-REVc/D00, April 2015 (Revision of IEEE Std 802.15.4-2011)*. IEEE, 2015.
- [24] Institute of Electrical and Electronics Engineers., *IEEE recommended practice for information technology : telecommunications and information exchange between systems-- local and metropolitan area networks-- specific requirements. Part 15.5, Mesh topology capability in wireless personal area networks (WPANs)*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2009.
- [25] Institution of Electrical Engineers. and IEE Communication Networks and Services Professional Network., *The 2nd IEE Secure Mobile Communications Forum : exploring the technical challenges in secure GSM and WLAN : Thursday, 23 September 2004, the IEE Savoy Place, London*. Institute of Electrical Engineers, 2004.
- [26] Y. Zheng, T. Shi, X. Xu, H. Yuan, and T. Yao, “Research on WLAN planning problem based on optimization models and multi-agent algorithm,” in *2017 IEEE International Conference on Cybernetics and Intelligent Systems (CIS) and IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics (RAM)*, 2017, pp. 249–254.
- [27] J. Liberti and T. Rappaport, “Smart antennas for wireless communications: IS-95 and third generation CDMA applications,” 1999.
- [28] K. Chun *et al.*, “A WLAN/WMAN Dual Mode Transceiver System for Indoor/Outdoor Application,” in *2007 2nd International Symposium on Wireless Pervasive Computing*, 2007.
- [29] Shun-Fang Yang and Jung-Shyr Wu, “A IEEE 802.21 Handover design with QOS provision across WLAN and WMAN,” in *2008 International Conference on Communications, Circuits and Systems*, 2008, pp. 548–552.
- [30] S.-C. Chen, Y.-C. Tsou, and C.-C. Huang, “LTE/WWAN monopole antenna integration with hinge slot region in the laptop computer,” in *2016 IEEE 5th Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation (APCAP)*, 2016, pp. 113–114.
- [31] Institution of Engineers Australia., Institute of Electrical and Electronics Engineers., and IEEE Microwave Theory and Techniques Society., *The Asia-Pacific Microwave Conference : 5-8 December 2011, Melbourne Convention Exhibition Centre, Melbourne, Victoria, Australia : conference proceedings*. Engineers Australia, 2011.
- [32] J.-H. Lu, J.-L. Guo, and Y.-Y. Zhang, “Planar multi-band LTE/WWAN antenna for internal mobile phone,” in *2016 IEEE 5th Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation (APCAP)*, 2016, pp. 381–382.
- [33] L. C. Paucar, “Construcción de una red ZigBee prototipo para la adquisición de datos desde transmisores de corriente de dos hilos,” Escuela Politécnica Nacional, 2016.
- [34] S. Gansemer and U. Grossmann, “Analysis on variable electricity pricing models and the influence on load curves of household customers,” *Proc. 6th IEEE Int.*

- Conf. Intell. Data Acquis. Adv. Comput. Syst. Technol. Appl. IDAACS'2011*, vol. 2, no. September, pp. 532–535, 2011.
- [35] X. Wang, L. Chen, W. Tao, and A. B. Principle, “Research on Load Classification Based on User’s Typical Daily Load Curve,” no. 2, pp. 1–4.
- [36] J. Surai and V. Surapatana, “Load factor improvement in industrial sector using load duration curves,” *2014 Int. Electr. Eng. Congr. iEECON 2014*, pp. 1–4, 2014.
- [37] Jingfei Yang and J. Stenzel, “Historical load curve correction for short-term load forecasting,” no. 1, pp. 1–40, 2008.
- [38] JUAN CARLOS TACO FLORES, “Universidad Politécnica Salesiana,” *Tesis de Grado*, vol. Tesis, no. MODELO DE GESTIÓN ENERGÉTICA PARA LA DETERMINACIÓN DE INDICADORES DE EFICIENCIA ELÉCTRICA EN EL SECTOR RESIDENCIAL, p. 45, 2018.
- [39] S. C. Chapra and R. P. Canale, *Métodos numéricos para ingenieros*. McGraw-Hill, 2015.
- [40] R. L. Burden, J. D. Faires, A. M. Burden, M. P. Suárez Moreno, and W. A. Díaz Ossa, *Análisis numérico. .*

10. Estado del Arte

10.1. Matriz de estado del arte

EVALUACION DE TECNOLOGIAS INALAMBRICAS EN REDES DE AREA DOMESTICA PARA OBTENER LA CURVA CARACTERISTICA DE LA CARGA EN EDIFICIOS INTELIGENTES																								
ITEM	AÑO	DATOS EVALUACION DE TECNOLOGIAS INALAMBRICAS EN REDES DE AREA DOMESTICA PARA OBTENER LA CURVA CARACTERISTICA DE CARGA EN EDIFICIOS INTELIGENTES	TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA					
			TECNOLOGIAS INALAMBRICAS	ZIGBEE	ZWAVE	WIFI	COMPARACION Y APLICACIÓN	RANGO DE COBERTURA DE SEÑAL	TIPOS DE TOPOLOGIA DE RED	INTERFERENCIA DE RED	ACUMULACION Y REGISTRO DE DATOS	LIMITE DE COBERTURA DE RED	TOPOLOGIA MAS COMPLEJA	EXCESO DE INTERFERENCIA CON EQUIPOS MISMA BANDA	FALTA DE ACUMULACION DE DATOS	TECNOLOGIA CON MAYOR CAPACIDAD DE COBERTURA	SELECCIÓN DE MEJOR TOPOLOGIA DE RED	TECNOLOGIA SIN INTERFERENCIA EN SU TRANSMISION	EQUIPO CON MAYOR ACUMULACION DE DATOS O ALMACENAMIENTO EN LA	TECNOLOGIA CON MENOR COSTO DE INSTALACION	DETERMINAR LA MAYOR CAPACIDAD DE COBERTURA POR TECNOLOGIA EVALUADA	COMPARAR VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE TECNOLOGIAS EVALUADAS	ELEGIR LA MEJOR TOPOLOGIA ACEPTADA Y PROBADA	RECOMENDAR LA TECNOLOGIA CON MAYOR ALMACENAMIENTO DE DATOS
1	2012	Estudio y desarrollo de un sistema basado en una librería abierta para el uso del protocolo inalámbrico de doméstica Z-Wave	☒	☒		☒	☒		☒	☒			☒	☒	☒		☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	
2	2017	Smart buildings, integrated in smart grids; A key challenge for the energy transition by using physical models and optimization with a human in the loop approach	☒	☒	☒	☒	☒	☒						☒		☒	☒	☒	☒	☒	☒		☒	
3	2011	Method and system for managing a load demand on an electrical grid	☒	☒		☒	☒	☒	☒				☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒		☒	
4	2016	Building Management System architecture for large building automation systems	☒	☒	☒	☒	☒	☒						☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒		☒	
5	2015	Intelligent Eco-Building Management System	☒	☒		☒	☒	☒	☒				☒	☒	☒		☒	☒	☒	☒			☒	
6	2014	Energy Monitoring in Smart Buildings Using Wireless Sensor Networks	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒					☒	☒	☒			☒		☒	☒	☒	☒
7	2016	Implementación de Sistema Inmótico : Estudio de Protocolos de Comunicación Implementation of an Inmotic System	☒		☒		☒	☒					☒		☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒			☒

EVALUACION DE TECNOLOGIAS INALAMBRICAS EN REDES DE AREA DOMESTICA PARA OBTENER LA CURVA CARACTERISTICA DE LA CARGA EN EDIFICIOS INTELIGENTES

ITEM	AÑO	DATOS	TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA				
			TECNOLOGIAS INALAMBRICAS	ZIGBEE	ZWAVE	WIFI	COMPARACION Y APLICACIÓN	RANGO DE COBERTURA DE SEÑAL	TIPOS DE TOPOLOGIA DE RED	INTERFERENCIA DE RED	ACUMULACION Y REGISTRO DE DATOS	LIMITE DE COBERTURA DE RED	TOPOLOGIA MAS COMPLEJA	EXCESO DE INTERFERENCIA CON EQUIPOS MISMA BANDA	FALTA DE ACUMULACION DE DATOS	TECNOLOGIA CON MAYOR CAPACIDAD DE COBERTURA	SELECCIÓN DE MEJOR TOPOLOGIA DE RED	TECNOLOGIA SIN INTERFERENCIA EN SU TRANSMISION	EQUIPO CON MAYOR ACUMULACION DE DATOS O ALMACENAMIENTO EN LA	TECNOLOGIA CON MENOR COSTO DE INSTALACION	DETERMINAR LA MAYOR CAPACIDAD DE COBERTURA POR TECNOLOGIA EVALUADA	COMPARAR VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE TECNOLOGIAS EVALUADAS	ELEGIR LA MEJOR TOPOLOGIA ACEPTADA Y PROBADA
8	2015	System of Systems theory as a new perspective on building control : A Communication Protocol Study	☒				☒		☒	☒		☒		☒		☒	☒	☒	☒	☒		☒	☒
9	2011	Wireless sensor networks for cost-efficient residential energy management in the smart grid	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒			☒	☒	☒	☒	
10	2019	SmartThings Wifi – Z-Wave.	☒		☒		☒	☒		☒	☒		☒	☒	☒	☒			☒	☒	☒	☒	
11	2017	Demand Response and Smart Buildings	☒			☒		☒		☒		☒		☒		☒			☒	☒			
12	2014	A demand side management strategy based on forecasting of residential renewable sources: A smart home system in Turkey	☒	☒			☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒		☒	☒	☒	☒
13	2014	Research and application of Intelligent Building Energy Management System	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒			☒	☒	☒	☒	
14	2009	Scientific Management - The First Step of Building Energy Efficiency	☒				☒		☒		☒		☒	☒	☒				☒	☒			
15	2017	Energy management in a public building: A case study co-designing the building energy management system	☒		☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒		☒	☒
16	2018	Advanced wireless sensor networks for sustainable buildings using building ducts	☒	☒			☒		☒	☒	☒		☒	☒	☒		☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒

EVALUACION DE TECNOLOGIAS INALAMBRICAS EN REDES DE AREA DOMESTICA PARA OBTENER LA CURVA CARACTERISTICA DE LA CARGA EN EDIFICIOS INTELIGENTES

ITEM	AÑO	DATOS	TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA				
			TECNOLOGIAS INALAMBRICAS	ZIGBEE	ZWAVE	WIFI	COMPARACION Y APLICACIÓN	RANGO DE COBERTURA DE SEÑAL	TIPOS DE TOPOLOGIA DE RED	INTERFERENCIA DE RED	ACUMULACION Y REGISTRO DE DATOS	LIMITE DE COBERTURA DE RED	TOPOLOGIA MAS COMPLEJA	EXCESO DE INTERFERENCIA CON EQUIPOS MISMA BANDA	FALTA DE ACUMULACION DE DATOS	TECNOLOGIA CON MAYOR CAPACIDAD DE COBERTURA	SELECCIÓN DE MEJOR TOPOLOGIA DE RED	TECNOLOGIA SIN INTERFERENCIA EN SU TRANSMISION	EQUIPO CON MAYOR ACUMULACION DE DATOS O ALMACENAMIENTO EN LA	TECNOLOGIA CON MENOR COSTO DE INSTALACION	DETERMINAR LA MAYOR CAPACIDAD DE COBERTURA POR TECNOLOGIA EVALUADA	COMPARAR VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE TECNOLOGIAS EVALUADAS	ELEGIR LA MEJOR TOPOLOGIA ACEPTADA Y PROBADA
17	2018	An Overview of Internet of Energy (IoE) Based Building Energy Management System	☒	☒			☒	☒	☒		☒	☒	☒		☒	☒	☒		☒	☒	☒		
18	2018	A Review of Internet of Energy Based Building Energy Management Systems: Issues and Recommendations				☒				☒			☒						☒			☒	☒
19	2018	Electrodomésticos inteligentes	☒			☒	☒		☒	☒		☒	☒			☒	☒		☒	☒			☒
20	2017	Wireless communication for Smart Buildings Smart Buildings			☒	☒				☒					☒		☒						☒
21	2015	WSN- and IOT-based smart homes and their extension to smart buildings	☒		☒	☒		☒	☒			☒	☒			☒	☒						☒
22	2015	Manual para la aplicación de la Tecnología Zigbee para edificios Inteligentes	☒	☒			☒	☒	☒	☒		☒	☒	☒		☒	☒	☒	☒	☒	☒		☒
23	2015	Revision of IEEE Std 802.15.4-2011. IEEE, 2015	☒	☒			☒	☒		☒		☒	☒	☒		☒	☒		☒	☒		☒	
24	2009	IEEE recommended practice for information technology : telecommunications and information exchange between systems-- local and metropolitan area networks-- specific requirements.	☒				☒	☒	☒	☒		☒	☒	☒		☒	☒		☒	☒			
25	2004	The 2nd IEE Secure Mobile Communications Forum : exploring the technical challenges in secure GSM and WLAN	☒				☒	☒	☒			☒	☒				☒	☒		☒			☒

EVALUACION DE TECNOLOGIAS INALAMBRICAS EN REDES DE AREA DOMESTICA PARA OBTENER LA CURVA CARACTERISTICA DE LA CARGA EN EDIFICIOS INTELIGENTES

ITEM	AÑO	DATOS EVALUACION DE TECNOLOGIAS INALAMBRICAS EN REDES DE AREA DOMESTICA PARA OBTENER LA CURVA CARACTERISTICA DE CARGA EN EDIFICIOS INTELIGENTES	TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA				
			TECNOLOGIAS INALAMBRICAS	ZIGBEE	ZWAVE	WIFI	COMPARACION Y APLICACIÓN	RANGO DE COBERTURA DE SEÑAL	TIPOS DE TOPOLOGIA DE RED	INTERFERENCIA DE RED	ACUMULACION Y REGISTRO DE DATOS	LIMITE DE COBERTURA DE RED	TOPOLOGIA MAS COMPLEJA	EXCESO DE INTERFERENCIA CON EQUIPOS MISMA BANDA	FALTA DE ACUMULACION DE DATOS	TECNOLOGIA CON MAYOR CAPACIDAD DE COBERTURA	SELECCIÓN DE MEJOR TOPOLOGIA DE RED	TECNOLOGIA SIN INTERFERENCIA EN SU TRANSMISION	EQUIPO CON MAYOR ACUMULACION DE DATOS O ALMACENAMIENTO EN LA	TECNOLOGIA CON MENOR COSTO DE INSTALACION	DETERMINAR LA MAYOR CAPACIDAD DE COBERTURA POR TECNOLOGIA EVALUADA	COMPARAR VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE TECNOLOGIAS EVALUADAS	ELEGIR LA MEJOR TOPOLOGIA ACEPTADA Y PROBADA
26	2017	Research on WLAN planning problem based on optimization models and multi-agent algorithm	☒		☒	☒	☒				☒			☒				☒	☒		☒	☒	☒
27	1999	Smart antennas for wireless communications: IS-95 and third generation CDMA applications	☒		☒		☒							☒		☒		☒		☒	☒	☒	
28	2007	A WLAN/WMAN Dual Mode Transceiver System for Indoor/Outdoor Application		☒			☒		☒	☒					☒		☒						☒
29	2008	A IEEE 802.21 Handover design with QoS provision across WLAN and WMA	☒				☒	☒			☒							☒			☒		
30	2016	LTE/WWAN monopole antenna integration with hinge slot region in the laptop computer	☒			☒	☒	☒	☒	☒				☒		☒	☒	☒	☒	☒	☒		☒
31	2011	IEEE Microwave Theory and Techniques Society., The Asia-Pacific Microwave Conference	☒			☒	☒	☒	☒	☒				☒		☒	☒	☒	☒	☒	☒		☒
32	2016	Planar multi-band LTE/WWAN antenna for internal mobile phone	☒			☒	☒	☒	☒	☒				☒		☒	☒	☒	☒	☒	☒		
33	1996	Wireless communications: principles and practice	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒
34	2016	Construcción de una red ZigBee prototipo para la adquisición de datos desde transmisores de corriente de dos hilos	☒	☒			☒	☒	☒		☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	
35	2011	Analysis on variable electricity pricing models and the influence on load curves of household customers			☒				☒					☒				☒			☒		

EVALUACION DE TECNOLOGIAS INALAMBRICAS EN REDES DE AREA DOMESTICA PARA OBTENER LA CURVA CARACTERISTICA DE LA CARGA EN EDIFICIOS INTELIGENTES

ITEM	AÑO	DATOS	TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA					
			TECNOLOGIAS INALAMBRICAS	ZIGBEE	ZWAVE	WIFI	COMPARACION Y APLICACIÓN	RANGO DE COBERTURA DE SEÑAL	TIPOS DE TOPOLOGIA DE RED	INTERFERENCIA DE RED	ACUMULACION Y REGISTRO DE DATOS	LIMITE DE COBERTURA DE RED	TOPOLOGIA MAS COMPLEJA	EXCESO DE INTERFERENCIA CON EQUIPOS MISMA BANDA	FALTA DE ACUMULACION DE DATOS	TECNOLOGIA CON MAYOR CAPACIDAD DE COBERTURA	SELECCIÓN DE MEJOR TOPOLOGIA DE RED	TECNOLOGIA SIN INTERFERENCIA EN SU TRANSMISION	EQUIPO CON MAYOR ACUMULACION DE DATOS O ALMACENAMIENTO EN LA	TECNOLOGIA CON MENOR COSTO DE INSTALACION	DETERMINAR LA MAYOR CAPACIDAD DE COBERTURA POR TECNOLOGIA EVALUADA	COMPARAR VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE TECNOLOGIAS EVALUADAS	ELEGIR LA MEJOR TOPOLOGIA ACEPTADA Y PROBADA	RECOMENDAR LA TECNOLOGIA CON MAYOR ALMACENAMIENTO DE DATOS
36	2017	Research on Load Classification Based on User's Typical Daily Load Curve			☒				☒				☒					☒		☒				
37	2014	Load factor improvement in industrial sector using load duration curves			☒				☒				☒					☒		☒				
38	2008	Historical load curve correction for short-term load forecasting			☒				☒				☒					☒		☒				
39	2018	MODELO DE GESTIÓN ENERGÉTICA PARA LA DETERMINACIÓN DE INDICADORES DE EFICIENCIA ELÉCTRICA EN EL SECTOR RESIDENCIAL	☒	☒	☒	☒	☒		☒		☒	☒			☒			☒	☒					
40	2015	Métodos numéricos para ingenieros. McGraw-Hill	☒		☒		☒		☒			☒				☒				☒				
41	2015	Burden, M. P. Suárez Moreno, and W. A. Díaz Ossa, Análisis numérico	☒		☒		☒		☒			☒				☒				☒				
			34	17	20	19	31	30	16	28	25	29	16	27	21	24	17	28	22	33	26	29	16	21

10.2. Resumen e Indicadores del estado del arte

