NOMBRE DEL TRABAJO
tesis Claudia_martinez

AUTOR
claudia martinez

RECUENTO DE PALABRAS
11171 Words

RECUENTO DE CARACTERES
59315 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS
38 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO
2.0MB

FECHA DE ENTREGA
Oct 2, 2023 2:30 PM PDT

FECHA DEL INFORME
Oct 2, 2023 2:31 PM PDT

20% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base d

- 19% Base de datos de Internet
- 15% Base de datos de trabajos entregados
- Base de datos de contenido publicado de Crossr

Excluir del Reporte de Similitud

- Base de datos de publicaciones
- Material bibliográfico
- Material citado
- Fuentes excluidas manualmente
- Base de datos de Crossref
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 30 palabras)

INSTITUTO TECNOLOGICO DE MEXICALI

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

DEPARTAMENTO DE SISTEMAS COMPUTACIONALES

TESIS

EVALUACION DE PROTOCOLOS DE REDES DE COM´PUITADORA PARA APLICACIONES DE LA INDUSRIA 4.0

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
MAESTRO(A)

MAESTRIA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES

PRESENTA:
CLAUDIA MARTINEZ CASTILLO

ASESOR:
ARNOLDO DIAZ RAMIREZ

CO-ASESOR:
VERONICA QUINTERO ROSAS

MEXICALI, BAJA CALIFONIA, MEXICO JUNIO 2021

Agradecimientos

Mi agradecimiento comienza con Dios por permitirme realizar los estudios de maestría, a mi familia por el esfuerzo y apoyo incondicional en estos años, su paciencia y sus porras en momentos difíciles.

Con especial aprecio a mis asesores Arnoldo y Verónica, por su paciencia, dedicación y guía tan valiosa que me ayudo seguir adelante; por su gran aporte y apoyo para concluir esta meta.

A mi institución Tecnológico de Mexicali por brindarme la oportunidad de realizar estos estudios y continuar mejorándome como profesional, gracias a cada maestro que fue parte de este proyecto.

Abstract

***Keywords*: IoT, I40**

Actually the Industry 4.0 (I40) seeks through technologies such as cyber physical systems (CPS - cyber physical systems) and the Internet of Things (IoT - Internet of Things), create intelligent, autonomous production with systems working in real time, to provide the customer with the most personalized service possible.

This is why the importance of defining the most efficient communication standards becomes fundamental when want to build a system with these characteristics. Recently, protocols have been proposed with strict real-time. However, there are not many comparative studies of its performance nor has it been experimented how superior they are with respect to general purpose networking protocols. The development of this work seeks to present the result of a comparative and demonstrative study of the most important network protocols today that can be used for the development of IoT applications in the context of the I40.

Índice

Agradecimientos

Resumen I

Abstract I

Capítulo 1

1.1. Introducción 3

1.2. Objetivo general 4

1.3. Objetivos específicos 5

1.4. Metodología 5

1.5. Organización del documento 5

Capítulo 2

2.1. industria 4.0 (I40) 6

2.2. Definición de Internet de las Cosas (IoT) 7

2.3. Tecnologías habilitadoras 9

2.3.1. Sistemas embebidos 10

2.3.2 Tecnologías de comunicación inalámbricas 11

2.3.2.1. WiFi 12

2.3.2.2. Bluetooth 13

2.3.2.3. ZigBee 14

2.3.2.4. LoRa 14

2.3.2.5. WirelessHart 15

2.3.2.6. ISA 100 16

2.3.3. Computación en la nube 16

2.3.4. Computación en el borde 18

2.3.5. Computación en la niebla 18

Capítulo 3

3.1. Protocolos ejemplo 20

3.1.1 Bluetooh 20
3.1.1.1 Controlador Bluetooth 21
3.1.1.2. Anfitrión Bluetooth 21
3.1.1.3. Arquitectura de Software 22
3.1.1.4. Experimentos con bluetooth 23
3.1.2. UDP (User Datagram protocol) 24
3.1.2.1. Estructura de la cabecera UDP 24
3.1.2.2. Experimentos con UDP 25
3.1.3. ZigBee 25
3.1.3.1. Tipos de dispositivos 26
3.1.3.2. Arquitectura 26
3.1.3.3. Modulo XBee 27
3.1.3.4. Experimentos con ZigBee 27

Capítulo 4

4.1 Conclusiones 29
4.2 Trabajo futuro 29

Evaluación de protocolos de redes de computadoras para aplicaciones de la Industria 4.0

Capítulo 1

1.1. Introducción

La Industria 4.0 (I40) ha sido definida teniendo como objetivo la implementación de fábricas inteligentes (smart factories) a través del uso de las tecnologías de la información y comunicación (TIC). El concepto de I40 fue utilizado por primera vez en Alemania en el año 2014 por Bunse et al. [11]. En su artículo, los autores definieron que "la industria inteligente o la Industria 4.0 se refiere a la evolución de los sistemas embebidos a los sistemas cíber-físicos...". Además, establecieron que esta evolución se dará en el contexto de la Internet de las Cosas, en donde los sistemas embebidos estarán conectados por una red de comunicación entre si y a Internet [30]. Por lo anterior, puede establecerse que las dos tecnologías mas importantes que sirven como habilitadoras de la I40 son los sistemas cíber-físcos y el Internet de las Cosas. En ambas tecnologías, el uso de sistemas embebidos es fundamental. Un sistema embebido (SE), también conocido como sistema inmerso o incrustado, es un sistema de procesamiento de información (i.e., una computadora) que está incrustado en un dispositivo mas grande [23]. Ejemplos de aplicaciones de sistemas embebidos son los automóviles, aviones, trenes, así como equipos de comunicaciones o de manufactura. Los avances en microelectrónica han propiciado el desarrollo de sistemas embebidos con mayores capacidades de cómputo, así como el de una gran cantidad de sensores que pueden ser conectados a ellos. Esto ha motivado el surgimiento de lo que se conoce como el paradigma del Internet de las Cosas (IoT), en el que los SE, equipados con sensores y capacidades de comunicación inalámbrica, son capaces de monitorizar sistemas físicos y enviar la información recolectada a un servidor [34]. Ejemplos de uso de sistemas embebidos para IoT pueden encontrarse en aplicaciones para la salud, agroindustria, sector automotriz y aeroespacial, por mencionar algunos [2]. Un sistema ciber-físico (CPS) es un sistema físico cuyas operaciones son monitorizadas, coordinadas y controladas por un núcleo computacional y un núcleo de comunicaciones [27]. Puede decirse que los tres componentes esenciales de un CPS son: un núcleo computacional (cibernético), una red de comunicaciones y un sistema (físico) a controlar.

Una característica fundamental de los CPS es que la ejecución de sus tareas de cómputo tiene restricciones temporales estrictas, que de no cumplirse puede

tener consecuencias catastróficas. Por ejemplo, considérese un sistema de navegación autónoma de un vehículo. Si el sistema no detiene el vehículo a tiempo, después de detectar una posible colisión, los resultados pueden ser mortales. La evolución de los sistemas embebidos a los sistemas ciber-físicos se lleva a cabo en el contexto del IoT, en donde los SE controlan al sistema físico con base en la información recolectada por los sensores o de otro sistema físico. La integración de estas dos áreas del conocimiento, junto con otras tecnologías, como la realidad aumentada o el aprendizaje automático (machine learning), ha dado como resultado lo que se conoce como la I40. El núcleo computacional de un CPS es comúnmente un sistema embebido. Un SE puede visualizarse como una pequeña computadora con recursos limitados, que ejecuta un sistema operativo y un proceso de cómputo. El proceso puede ejecutar una o mas tareas (hilos) de manera concurrente. Con estos sistemas es posible controlar una gran cantidad de operaciones de uno o mas sistemas físicos. Una de las grandes ventajas del predominio del software en el SE es que pueden tenerse sistemas altamente reconfigurables, sin necesidad de modificar la plataforma de hardware. El núcleo computacional de un CPS es un sistema de tiempo-real estricto. La teoría de planificación de tareas de tiempo-real estricto, particularmente para sistemas con un procesador, es un campo del conocimiento maduro con una extensa cantidad de resultados, lo que permite la implementación de sistemas con comportamiento predecible [32]. La red de comunicaciones del CPS debe también ofrecer prestaciones de tiempo-real estricto. Los protocolos de redes de computadoras generalmente no son diseñados con esta características. Tecnologías de red tales como Ethernet, WiFi, Bluetooth o ZigBee, por mencionar algunas, utilizan protocolos con la política del mejor esfuerzo (best effort) ya que si bien orecen un muy buen rendimiento, no hay garantía del tiempo de entrega de los mensajes. Por otra parte, recientemente se han propuesto protocolos con prestaciones de tiempo-real estricto, tales como Real-Time Ethernet, WirelessHART o ISA 100, que en teoría son mas adecuados para ser utilizados en los CPS y en aplicaciones de la I40. Sin embargo, no existen estudios comparativos de su desempeño ni se ha experimentado que tan superiores son con respecto a los protocolos de redes de propósito general. Por otra parte, es importante conocer qué soporte existe para su uso en SE, su facilidad de instalación, el soporte de bibliotecas (libraries) para el desarrollo de aplicaciones, así como su rendimiento a ser utilizados en escenarios experimentales.

El desarrollo de este trabajo busca identificar cual es el protocolo de redes de computadoras mas conveniente para el desarrollo de aplicaciones de la industria 4.0, así como presentar resultado de un estudio comparativo de los protocolos de red mas importantes, para poder determinar el mas conveniente en el contexto de alguna aplicación específica.

1.2. Objetivo general

Evaluar protocolos de redes de computadoras para determinar los mas convenientes para ser utilizados en aplicaciones de la Industria 4.0.

1.3. Objetivos especificos

1. Definir las características que deben tener los protocolos de redes de computadoras que pueden utilizarse en aplicaciones para la Industria 4.0
2. Determinar los protocolos de redes de computadoras, tanto para redes cableadas como inalámbricas, que pueden utilizarse en aplicaciones para la Industria 4.0
3. Establecer los parámetros a evaluar de los protocolos de redes de computadoras que pueden utilizarse en aplicaciones para la Industria 4.0
4. Evaluar los protocolos de redes de computadoras que pueden utilizarse en aplicaciones para la Industria 4.0

1.4. Metodologia

En el presente trabajo de tesis se siguio la siguiente metodología de trabajo:

1. Estudio acerca de la industria 4.0 (I40) y fundamentos de Internet de las cosas (IoT), como es que funciona, aplicaciones y sus características.
2. Analisis de protocolos de redes de computadoras utilizadas en aplicaciones de la industria 4.0 (I40)
3. Realizacion de pruebas de trabajo aplicadas con varios protocolos.
4. Se realizo el análisis de los resultados obtenidos.

1.5. Organizacion del documento

El presente trabajo de tesis esta organizado de la siguiente manera, en el capitulo dos, se define lo que es Industria 4.0 e Internet de las Cosas, asi como las tecnologias habilitadoras, sistemas embebidos, tecnologias de comunicacion y protocolos utilizados en la I40.

En el capitulo tres, se describen tres de los algortimos utilizados en IoT por la I40, su funcionamiento, pruebas y analisis de resultados obtenidos en los experimentos llevados a cabo con estos protocolos de comunicacion ejecutados a diferentes medidas de distancia, sin y con interferencia en la via de comunicacion.

Finalmente en el capitulo cuatro se presenta las tendencias de los protocolos mas populares en IoT, asi como las conclusiones y se da ha conocer el trabajo futuro ha realizar.

Capítulo 2

Preámbulo Teorico

2.1. Industria 4.0 (I40)

Durante la historia de la humanidad, en la que ha transitado de ser cazadores-recolectores hasta la época moderna, se han experimentado tres revoluciones industriales y se comienza una transición hacia la cuarta revolución [35]. La primera revolución industrial, que es considerada como la mayor transformación tecnológica, económica y social de la historia de la humanidad, inició en el año 1760 con la invención de la máquina de vapor y se extendió hasta 1880. Su impacto ha sido relevante ya que marcó la transición de una sociedad eminentemente rural a una sociedad industrializada cuyos efectos se viven actualmente. La primera revolución se gestó en Inglaterra, particularmente en la ciudad de Manchester y fue impulsada principalmente por los avances científicos y tecnológicos que comenzaron a surgir en esos tiempos. Si bien la industria textil fue la primera en aprovechar las ventajas de la revolución industrial, muy pronto se extendió a otras industrias, motivando también el desarrollo de mas ágiles medios de comunicación, como el ferrocarril y el barco de vapor. La segunda revolución industrial abarcó el periodo comprendido entre 1880 hasta 1950 y se caracterizó por el uso de novedosas fuentes de energía, entre las que destacan la electricidad y el petróleo, así como el de nuevos sistema de comunicación y transporte., como el automóvil y el avión. Nuevos metales fueron desarrollados, incluyendo el acero, el aluminio y el cobre. Esto hizo mas eficiente el proceso de producción de bienes y servicios, y motivó una incipiente pero notoria globalización. Además de Inglaterra, nuevos países comenzaron a desarrollarse en el contexto de la segunda revolución industrial, como Rusia y Japón al inicio, y Estados Unidos posteriormente. La tercera revolución industrial inició en 1950 y tuvo un repunte definitivo en 1982, con la aparición de la computadora personal (PC). La tercera revolución se ha extendido hasta años recientes y actualmente nos encontramos en la transacción hacia una nueva revolución industrial. La tercera revolución industrial se enmarca en el uso principalmente de las tecnologías digitales, teniendo la computación, la robótica y las telecomunicaciones

como pilares en su desarrollo para conseguir un alto grado de automatización en la producción de bienes y servicios. Estas tecnologías han motivado la aparición de la computación móvil, las redes inalámbricas, el Internet de las Cosas, el uso de energías alternas y de la inteligencia artificial, por mencionar algunas. La cuarta revolución industrial, cuya concepción se gesta en el año 2014, tiene como objetivo la creación de fábricas inteligentes, que con base en el uso de tecnologías de la información y telecomunicaciones principalmente, permitan una producción de bienes y servicios con un alto grado de personalización y de manera totalmente automatizada.

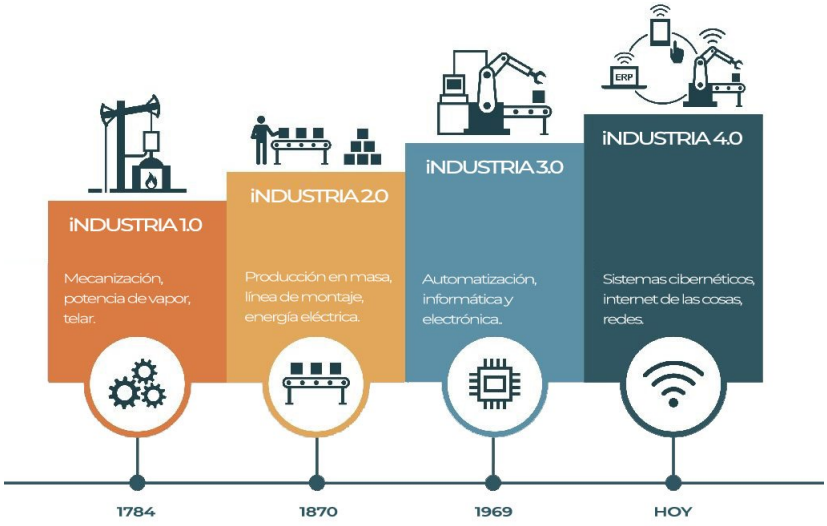

Figura 2.1: Antecedentes I40

??

2.2. Definicion de Internet de las Cosas (IoT)

Kevin Ashton usó el término Internet de las cosas (IoT) en 1999 por primera vez en la historia [4]. IoT es un paradigma en el que objetos o cosas cotidianas, equipados con sensores, están conectados de forma inalámbrica a Internet [19]. Varias tecnologías existentes y paradigmas computacionales permitieron la aparición de IoT, como las redes inalámbricas de sensores [1] y la computación ubicua [38]. El IoT proporciona una presencia generalizada de objetos y permite el monitoreo de eventos de interés sin interacción humana. Las aplicaciones de IoT utilizan diferentes tecnologías, como sensores, actuadores, sistemas integrados, sistemas operativos, protocolos inalámbricos, servicios en la nube, inteligencia artificial, entre otros. Es una tecnología en rápido crecimiento con una amplia gama de aplicaciones en muchos campos como hogares inteligentes,

ciudades inteligentes, redes inteligentes, atención médica, agricultura, monitoreo ambiental, etc.

La comunicación en la red IoT se puede clasificar como personas a personas, máquina a personas y máquina a máquina [3].

1. People to people (P2P): los datos se transfieren entre personas y se llaman conexiones de colaboración; la transferencia de datos se realiza mediante una llamada telefónica, una videollamada o cualquier otra comunicación social.

2. Los datos de máquina a personas (M2P) se transfieren de la máquina a los usuarios; la información de los nodos sensores y los dispositivos informáticos se envían al usuario para su análisis.

3. Los datos de máquina a máquina (M2M) se transfieren de un dispositivo a otro sin intervención humana. En el futuro habrá miles de millones de conexiones y redes a través de las cuales cualquiera puede conectarse a cualquier lugar a través de dispositivos como teléfonos inteligentes, asistencia digital personal (PDA), computadoras y computadoras portátiles. Esto es posible mediante el uso de IPV6, que tiene un espacio de direcciones más grande y proporciona una dirección IP a todos y cada uno de los objetos.

Según Gartner, habrá más de 25 mil millones de dispositivos conectados a Internet para 2020. Aunque IoT es la tendencia reciente en la tecnología de próxima generación, pero todavía está en la etapa inicial de desarrollo [3]. Internet de las cosas está uniendo el mundo físico y el mundo de la información. El concepto básico de IoT es el intercambio de datos autónomo y seguro entre dispositivos y aplicaciones del mundo real [5]. En la figura 2.2 se muestra una arquitectura típica de una aplicación de IoT. La capa de percepción incluye los objetos físicos (cosas), los sensores y los dispositivos electrónicos utilizados para recopilar y procesar previamente la información adquirida de los sensores. La capa de red incluye los protocolos utilizados para enviar la información recopilada a un nodo con más recursos computacionales. La capa de aplicación, donde se procesa la información y donde se toman las decisiones, generalmente está conformada por una o varias aplicaciones, que se ejecutan en servidores o en la nube. IoT se utiliza en muchas áreas de aplicación, como atención médica, monitoreo ambiental, agroindustria, hogares inteligentes, ciudades inteligentes y deportes, solo por mencionar algunos [25]. Recientemente, un creciente interés en el uso de IoT en la automatización industrial ha llevado a explorar el uso de sistemas ciberfísicos (CPS) junto con técnicas de IoT [39].

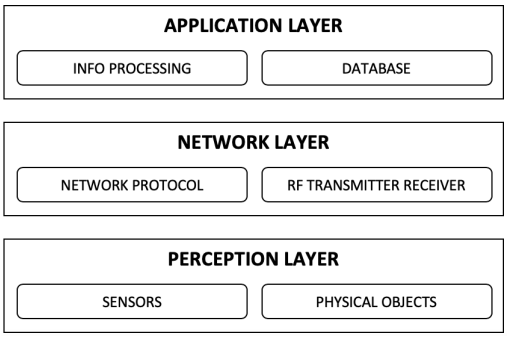

Figura 2.2: Arquitectura de una aplicacion IoT

2.3. Tecnogías habilitadoras

Las tecnologias habilitadoras mas relevantes en la industria 4.0 (I04) son Internet de las Cosas (IoT) y Sistemas Ciberfisico (CPS), que incluyen a los sistemas embebidos, los sistema de tiempo-real, las redes de computadoras, las redes inalámbricas de sensores, la computación en la nube y la computación móvil, su integración y capacidades es lo que las potencializa para transformar a la industria con procesos productivos automatizados y optimizados resultando una eficiencia operativa y desempeño organizacional. Pero otras tecnologías de gran importancia son también utilizadas como el manejo de grandes volúmenes de datos (big data), el aprendizaje máquina (machine learning), la realidad virtual y la realidad aumentada. A pesar de que la I40 se refiere estrictamente a una revolución de la cadena productiva, su impacto comienza a afectar a la sociedad, con importantes repercusiones económicas, culturales, sociales y políticas [7], generando cambios trascendentales no solo en la industria manufacturera sino también en el comportamiento del consumidor y la manera de hacer negocios. Un componente fundamental de la arquitectura de aplicaciones para la I40 es la red de comunicaciones, ya que debe ofrecer garantías de tiempo-real estricto para que el sistema cibernético sea capaz de controlar de manera eficiente al sistema físico. Para ilustrar esta importancia, considérese el uso de un robot en una línea de producción totalmente automatizada. Si el sistema tiene como restricción una operación articular del robot al fabricar un producto, como consecuencia de un requerimiento específico de un cliente, será necesario que el robot reciba la instrucción en tiempo y forma, a través de la red de computadoras. Desafortunadamente no existen suficientes estudios comparativos ni las universidades incluyen en sus planes de estudio este tipo de temas. Sinhg et al. enfatizan la necesidad de incluir el estudio de tecnologías de redes orientados a la I40 en [33]. En su articulo Varghese y Tandur et al. [37], discuten las necesidades particulares de los protocolos de redes de computadoras para la industria 4.0, haciendo énfasis en la evaluación del desempeño de WiFi para este tipo de aplicaciones. Por otra parte, Bonavolontà et al. discuten también

las características de los protocolos de redes inalámbricas para la I40, pero no llevan a cabo algún estudio comparativo [8]. De igual manera, en [20] se hace una revisión de las redes inalámbricas para la I40 pero tampoco se lleva a cabo un estudio experimental comparativo. Finalmente, en [40] también se presenta una discusión de las redes de computadoras industriales para la I40, y tampoco se presentan resultados de evaluación de su desempeño en el contexto de la I40.

La revisión del estado del arte de este tema deja patente la necesidad de un estudio comparativo de estos protocolos, en escenarios similares a los de las aplicaciones de la I40, que permita obtener conclusiones relevantes que coadyuven en la construcción de aplicaciones eficientes.

La I40 es caracterizada por la automatización, digitalización de los procesos y el uso de las tecnologías de la electrónica y de la información en la manufactura [28]. Igualmente por la personalización de la producción, la prestación de servicios y la creación de negocios de valor agregado. Y, por las capacidades de interaccion y el intercambio de informacion entre el usuario y las maquinas [28, 18].

Como se ha mencionado, las tecnologías de comunicación juegan un rol fundamental en las aplicaciones IoT, CPS y en consecuencia de la I40. Una opción natural para uso en este tipo de aplicaciones son las tecnologías de redes de área personal (WPAN) y redes de área local (WLAN), que incluyen, entre otros, Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, LoRa, o tecnologías celulares tales como 2G, 3G, 4G y en el futuro cercano, 5G. Estos protocolos han mostrado un muy buen desempeño en sus respectivas áreas de aplicación. Una característica común entre ellos es que utilizan protocolos de acceso al medio del tipo no-deterministas, por lo que no ofrecen garantías en parámetros tales como la latencia o el retardo. Debido a que las características particulares de las aplicaciones de la I40 pueden no tolerar el uso de protocolos no -deterministas, se ha motivado el surgimiento de nuevos protocolos de redes de computadoras, tales como Real-Time Ethernet, Wireless HART e ISA 100. Estos protocolos ofrecen determinismo en los protocolos de acceso al medio, lo que en teoría los hacen idóneos para aplicaciones I40. En esta sección se describen brevemente algunos de ellos.

2.3.1. Sistemas embebidos

Los sistemas embebidos (SE) son una parte esencial de las aplicaciones IoT, ya que permiten automatizar los procesos de monitorización y toma de decisiones, eliminando o disminuyendo la intervención humana. Un SE, también conocido como sistema inmerso o incrustado, es un sistema de procesamiento de información (i.e., una computadora) que está incrustado en un dispositivomas grande [23]. Ejemplos de aplicaciones de sistemas embebidos son los automóviles, aviones, trenes, así como equipos de comunicaciones o de manufactura.

Los avances en microelectrónica han propiciado el desarrollo de sistemas embebidos con mayores capacidades de cómputo, así como el de una gran cantidad de sensores que pueden ser conectados a ellos. Esto ha motivado el surgimiento de lo que se conoce como el paradigma del Internet de las Cosas (IoT), en el que los SE, equipados con sensores y capacidades de comunicación inalámbrica,

son capaces de monitorizar sistemas físicos y enviar la información recolectada a un servidor [34]. Ejemplos de uso de sistemas embebidos para IoT pueden encontrarse en aplicaciones para la salud, agroindustria, sector automotriz y aeroespacial, por mencionar algunos [2]. Los SE generalmente se diseñan o implementan para llevar a cabo funciones específicas, en contraste con las computadoras (ordenadores) de propósito general, que son utilizadas para aplicaciones con un amplio rango de características [24]. Un SE puede visualizarse como una pequeña computadora con recursos limitados, que ejecuta un sistema operativo y un proceso de cómputo. El proceso puede ejecutar una o mas tareas (hilos) de manera concurrente. Con estos sistemas es posible controlar una gran cantidad de operaciones de uno o mas sistemas físicos. Una de las grandes ventajas del predominio del software en el SE es que pueden tenerse sistemas altamente reconfigurables, sin necesidad de modificar la plataforma de hardware. En el contexto particular del IoT, los SE permiten dotar de gran flexibilidad y escalabilidad a los sistemas. Y en la medida en la que las aplicaciones IoT evolucionen a la Industria 4.0, los sistemas embebidos tendrán una mayor relevancia [26].

Existen diversos enfoques de integración de SE en aplicaciones IoT. Uno de ellos consiste en el uso de las denominadas plataformas completas, que son fáciles de usar y configurar, como Arduino o Raspberry-pi. Otro enfoque es el de utilizar microcontroladores que ejecutan una tarea (proceso) de manera repetitiva. Estos microcontroladores son económicos y de tamaño reducido; cuentan generalmente con un entorno propio de desarrollo de aplicaciones y consumen poca energía, sin embargo, es necesario tener nociones básicas de electrónica para poder conectar el MCU a dispositivos externos. Además, la ejecución de su actividad de cómputo se hace de manera secuencial, por lo que no es posible ejecuta tareas de manera concurrente. Una tercera opción, que es intermedia con respecto a las dos anteriores, consiste en el uso de una tarjeta que cuente con un microcontrolador MCU, algunos recursos computacionales y un sistema operativo. A diferencia de las plataformas completas, es mas eficiente desde el punto de vista energético. Y con respecto a la segunda opción, facilita su interconexión con otros dispositivos y el desarrollo de aplicaciones. Adicionalmente, permite el uso de estándares de programación, lo que garantiza la portabilidad de las aplicaciones, que es muy importante si por ejemplo se cambia de plataforma de hardware.

2.3.2. Tecnologías de comunicación inalámbrica

El Internet de las Cosas es una tecnología que muestran un crecimiento importante y que están siendo aplicado en diversas áreas. Algunas aplicaciones interesantes y mercados en los que se aplica el IoT son las casas inteligentes, los vehículos interconectados, los sistemas inteligentes de distribución de energía y el cuidado inteligente de la salud [21]. Como se ha mencionado, las tecnologías de comunicación juegan un rol fundamental en las aplicaciones IoT. Una opción natural para uso en este tipo de aplicaciones son las tecnologías de redes de área personal (WPAN) y redes de área local (WLAN), que incluyen, entre otros, WiFi, Bluetooth, ZigBee, LoRa, wirelessHart, ISA100, o tecnologías celulares

tales como 2G, 3G, 4G y en el futuro cercano, 5G. Estos protocolos han mostrado un muy buen desempeño en sus respectivas áreas de aplicación. En esta sección se describen brevemente algunos de ellos.

2.3.2.1. WiFi

WiFi es la tecnología de comunicación inalámbrica mas utilizada en el contexto de las redes inalámbricas de área local [17], a través de la cual los dispositivos, como computadoras (portátiles y de escritorio), dispositivos móviles (teléfonos inteligentes y accesorios) y otros equipos (impresoras, videocámaras),pueden interactuar con Internet. Este estándar fue publicado en 1997 como el estándar IEEE 802.11 y desde entonces ha experimentado una constante evolución, en donde las versiones del estándar mas utilizadas han sido 802.11 a/b/g/n/ac.

La evolución de ésta tecnología considera su uso en aplicaciones IoT e I40. La primera versión del estándar, 802.11 b, ofreció tasas de transmisión de hasta 11 Mbps, mientras que las versiones a y g en teoría soportaban 54 Mbps. La versión n representó un incremento sustancial en la tasa de transmisión, con un límite teórico de 600 Mbps, mientras que la versión ac lo tiene de 1,331 Mbps.

Nuevas versiones del estándar han sido desarrolladas para ser utilizado en escenarios particulares. La versión 802.11 ah o HaLow ha sido diseñada para aplicaciones IoT e I40, que en muchas ocasiones requieren de tecnologías con bajo consumo energético y con un alcance de hasta 1 Km. Debido a estas restricciones las tasas de transmisión varían de entre 100 Kbps hasta 40 Mbps, que para el tipo de aplicaciones meta suelen ser mas que suficientes. Otra versión del estándar orientado a la IoT e I40 es la 802.11 af, que ofrece también bajo consumo de energía y limitadas tasas de transmisión, pero en cambio ofrece un rango de transmisión de varios kilómetros con la ventaja añadida de que la transmisión es prácticamente libre de colisiones. La versión 802.11 ad o WiGig ha sido diseñada para obtener elevadas tasas de transmisión (hasta 7 Gbps), lo que la hace ideal para aplicaciones IoT multimedia. La versión 802.11 ax tiene como finalidad mejorar la eficiencia espectral de la transmisión, de tal manera que se generen señales robustas que no sean afectadas por interferencias en entornos densos.

Finalmente, la versión 802.11 p está enfocada a aplicaciones de redes vehiculares. A continuacion se muestra un resumen del protocolo Wifi IEEE 802.11

Protocolo	Frecuencia	Ancho de banda	MIMO	Velocidad máxima de datos (teórica)
802.11ax	2,4 o 5 GHz	20, 40, 80, 160 MHz	Multiusuario (MU-MIMO)	2,4 Gbps [1]
802.11ac wave2	5 GHz	20, 40, 80, 160 MHz	Multiusuario (MU-MIMO)	1,73 Gbps [2]
802.11ac wave1	5 GHz	20, 40, 80 MHz	Usuario único (SU-MIMO)	866,7 Mbps [2]
802.11n	2,4 o 5 GHz	20, 40 MHz	Usuario único (SU-MIMO)	450 Mbps [3]
802.11g	2,4 GHz	20 MHz	N / A	54 Mbps
802.11a	5 GHz	20 MHz	N / A	54 Mbps
802.11b	2,4 GHz	20 MHz	N / A	11 Mbps
802.11 heredado	2,4 GHz	20 MHz	N / A	2 Mbps

Figura 2.3: Protocolo WiFi IEEE 802.11

Toda red inalámbrica compleja está compuesta por la combinación de una o más tipos de conexiones:

- Punto a punto
- Punto a multipunto
- Multipunto a multipunto

Las redes inalámbricas WiFi contempla tres topologías o configuraciones distintas:

- Modo infraestructura o BSS: "Contrario al modo ad hoc donde no hay un elemento central, en el modo de infraestructura hay un elemento de "coordinación": un punto de acceso o estación base" [10].
- Modo ad hoc o IBSS: "También conocido como punto a punto, es un método para que los clientes inalámbricos puedan establecer una comunicación directa entre sí."
- Modo ESS: "Se trata de un conjunto de BSS conectados mediante un sistema de distribución. Los puntos de acceso se comunican entre sí para permitir que las estaciones puedan pasar de un BSS a otro sin perder la comunicación, servicio denominado roaming." (Recalde & Rodríguez, s. f.)

2.3.2.2. Bluetooth

Bluetooth es una especificacion industral para redes inalambricas de area personal que posibilita la transmision de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un elance por radiofrecuencia.

Probablemente la tecnología mas utilizada actualmente en aplicaciones IoT es Bluetooth, en gran medida debido a que la inmensa mayoría de los dispositivos móviles y teléfonos inteligentes cuentan con esa tecnología [13]. A pesar de que sus primeras versiones fueron criticadas por su alto consumo de energía y poca

eficiencia, a partir de la versión 5 el estándar es ampliamente utilizado gracias a su bajo consumo de energía, eficiente desempeño y disponibilidad. Actualmente, la versión 5 del estándar se clasifica en dos tipos de productos: Bluetooth Smart y Bluetooth Smart Ready. Los dispositivos del segundo grupo permiten compartir fácilmente las comunicaciones Bluetooth de dispositivos tales como teléfonos o tabletas. Los dispositivos Bluetooth Smart son mas sencillos y económicos, además de ofrecer un muy bajo consumo de energía. La tasa de transmisión Bluetooth es de hasta 1 Mbps, que es suficiente para aplicaciones de redes de área personal (audífonos, bocinas, etc) e IoT. Bluetooth esta regulado por Bluetooh Special interest Group(SIG).

2.3.2.3. ZigBee

ZigBee fue lanzado al mercado en el año 2002 y desde entonces ha sido desarrollado por la ZigBee Alliance [12]. Su objetivo ha sido el de ofrecer un protocolo confiable, económico, de bajo consumo de energía y que pueda aplicarse en entornos IoT. ZigBee es un protocolo de capa de red que utiliza la pila de protocolos 802.15.4 en las capas inferiores. Su rango de transmisión es de 10 a 100 mts, con tasas de transmisión de 20 a 250 Kbps. En el año 2016 se vendieron aproximadamente 800 millones de dispositivos ZigBee, principalmente en aplicaciones para implementar casas inteligentes con base en el IoT. En la industria ZigBee se está utilizando para la próxima generación de fabricación automatizada, con pequeños transmisores en cada dispositivo, lo que permite la comunicación entre dispositivos a un ordenador central.

El estándar ZigBee fue diseñado con las siguientes especificaciones:

- Ultra bajo consumo que permita usar equipos a batería
- Bajo costo de dispositivos y de instalación y mantenimiento de ellos
- Alcance corto (típico menor a 50 metros)
- Optimizado para ciclo efectivo de transmisión menor a 0.1 %
- Velocidad de transmisión menor que 250 kbps. Típica: menor que 20 kbps

2.3.2.4. LoRa

LoRa es otra tecnología inalámbrica diseñada para dispositivos de bajo costo, bajo consumo de energía y gran alcance de transmisión, siendo esto ultimo su mayor ventaja [31]. Su tasa de transmisión es de 27 Kbps, pudiendo extenderse hasta 50 Kbps. LoRa es una tecnología de capa física que establece cómo distintos dispositivos de baja potencia se comunican entre sí de forma inalámbrica empleando una modulación propietaria de banda estrecha denominada CSS (Chirp Spread Spectrum).

Existen tres tipos de dispositivos LoRa: clase A, clase B y clase C. Los dispositivos clase A son los que ofrecen el mas bajo consumo de energía y son utilizados principalmente para la transmisión de datos de manera esporádica,

aunque son capaces de enviar y recibir información. Los dispositivos clase B son capaces de además recibir información en instantes previamente planificados. Finalmente, los dispositivos clase C pueden recibir información en cualquier instante de tiempo, con la desventaja que son los que tienen mayor consumo de energía.

LoRa posee una alta tolerancia a las interferencias, alta sensibilidad para recibir datos (-168dB), es basada modulación "chirp" y su bajo consumo energético rinde hasta 10 años con una sola batería.

- Alcance de 10 a 20 Km
- Baja transferencia de datos (hasta 255 bytes)
- Conexión punto a punto
- Frecuencias e trabajo: 868 Mhz en Europa, 915 Mhz en América, y 433 Mhz en Asia

LoRa es una tecnología ideal para conexiones a grandes distancias y para redes de IoT en las que se necesitan sensores que no dispongan de corriente eléctrica de red, teniendo grandes aplicaciones:

- Para Smart Cities (ciudades inteligentes)
- Lugares con poca cobertura (cómo explotaciones agrícolas o ganaderas en el campo)
- Para construir redes privadas de sensores y/o actuadores.

2.3.2.5. WirelessHart

WirelessHART es una tecnología de transmisión inalámbrica que opera con base en el protocolo Highway Addressable Remote Transducer (HART). A diferencia de los protocolos anteriores, utiliza transmisión por división de tiempo, lo que brinda determinismo en los tiempos de acceso al medio [14].

WirelessHART es un estándar (62591) global aprobado por la IEC que especifica una tecnología de malla interoperable auto-organizada en el cual los dispositivos de la red inalámbrica mitigan obstáculos en el ambiente del proceso, posee excelentes habilidades para el control y monitoreo, con una gran confiabilidad [22].

El desarrollo de WirelessHART inició en el año 2004 y fue hasta el año 2010 que fue aprobado por los integrantes de la HART Communications Foundation. A pesar de ser un protocolo de reciente creación existen mas de 25 millones de dispositivos WirelessHART instalados, principalmente en aplicaciones de automatización industrial. Este protocolo ha sido diseñado para aplicaciones de la I40 e IoT. WirelessHART es un protocolo basado en la especificación IEEE 802.15.4 en las capas bajas del modelo OSI, al igual que Zigbee o ISA 100, cubriendo la especificación de las capas superiores. La característica principal de

este protocolo es su bajo consumo, lo que le permite ser usado en dispositivos alimentados por baterías sin agotarse en un corto periodo de tiempo.

WirelessHART utiliza una red mallada plana en la que todas las estaciones de radio (dispositivos de campo) forman una red. Todas las estaciones actúan simultáneamente como fuente de señal y repetidor. El transmisor original envía un mensaje a su vecino más próximo, que a su vez transmite el mensaje hasta que llega a la estación base y al receptor. Además, se configuran rutas alternativas en la fase de inicialización. Si el mensaje no se puede transmitir en una ruta concreta por causa de un obstáculo o un receptor defectuoso, el mensaje se transmite automáticamente a una ruta alternativa. Además de ampliar el rango de la red, la red mallada plana proporciona rutas de comunicación redundantes que aumentan la fiabilidad de la transmisión.

2.3.2.6. ISA 100

ISA 100.11a es una tecnología de comunicación inalámbrica desarrollada por la International Society for Automatioj (ISA) [41]. Su diseño comenzó en el año 2005 con la finalidad de desarrollar una tecnología de comunicación inalámbrica con prestaciones de tiempo-real estricto, para ser utilizado en entornos industriales de automatización y control. De hecho, la descripción oficial de ISA 100 es la de "Sistema Inalámbrico para la Automatización Industrial: Control de Procesos y Aplicaciones Relacionadas".

- Analiza las necesidades de desempeño para la supervisión periódica y control de procesos donde se hallan tiempos de respuestas de 100ms
- Genera interoperabilidad de los dispositivos ISA 100.a.b entre otros

De manera similar a WirelessHART, en el año 2010 se aprobó su versión actual, ademas de esta tecnología hay poca información disponible aún.

Como puede observarse, existen una buena cantidad de alternativas de tecnologías de comunicación inalámbrica y cableada para ser utilizadas en aplicaciones I40.

2.3.3. Computacion en la nube

La computacion en la nube es una tecnologia informatica inteligente que cada vez se utliza mas, puesto que brinda la solucion a problemas de infractructura tecnologica para analizar y almacenar una gran cantidad de datos de una manera efectiva. Es una tecnología informática inteligente en la que el número de servidores convergen en una plataforma para permitir el intercambio de recursos entre sí, a los que se puede acceder en cualquier momento y en cualquier lugar. La computación en la nube es la parte más importante de IoT, donde no solo convergen los servidores, sino que también procesa con una mayor potencia y analiza la información obtenida de los sensores e incluso proporciona una buena capacidad de almacenamiento [15].

No existe una definición aceptada universalmente; sin embargo, existen organismos internacionales cuyos objetivos son la estandarización de Tecnologías

de la Información y, en particular, de Cloud Computing. Uno de los organismos más reconocidos es el National Institute of Standards and Technology (NIST) y su Information Technology Laboratory, que define la computacion en la nube (Cloud Computing) como:

"Un modelo que permite el acceso bajo demanda a través de la Red a un conjunto compartido de recursos de computación configurables (redes, servidores, almacenamiento, aplicaciones y servicios) que se pueden aprovisionar rápidamente con el mínimo esfuerzo de gestión o interacción del proveedor del servicio"[15]. Las caracteristicas de esta tecnologia son:

- Disponibilidad de recursos masivos que se emplean bajo demanda, el modelo es de pago por uso, sin compromiso a largo plazo ni obligación de realizar predicciones acerca del uso de la infraestructura.

- Capacidad de que clientes heterogéneos realicen accesos remotos, ubicuos y dinámicos a través de la red. Los mecanismos de acceso a la infraestructura virtualizada deben ser estándares y transparentes al usuario.

- Agrupación de recursos y utilización en modo multitenant. Es decir, los recursos del proveedor estarán agrupados para servir a múltiples consumidores (o tenants), utilizando un modelo que le permita una separación segura una vez asignados. Esto para facilitar su gestión y tiene que estar preparado para que los diferentes usuarios hagan uso de los mismos recursos en un momento dado, sin que esto sea en perjuicio del rendimiento que observen y de manera que sea transparente para ellos.

- Elasticidad y dinamismo, los recursos deben poder reservarse y liberarse según las necesidades de los clientes en cada momento. De hecho, para el cliente debe ser como si pudiera escalar hasta cantidades de recursos prácticamente ilimitadas y prácticamente en tiempo real.

- Servicios proporcionados como suministros y, por lo tanto, monitorizados, controlados y cuantificados de manera rigurosa, manteniendo políticas de información y de privacidad adecuadas.

Existen varios modelos de cumpatacion en la nube, tales como nube privada (recursos exclusivos de una misma empresa), nube publica (infracestrctura de hardware, software y soporte es propiedad del proveedor de servicios que la administra y la proporciona exclusivamente por Internet, accediendo a ella mediante un navegador web), nube hibrida (combinacion de las dos anteriores). Las grandes empresas (como Amazon, Google, Facebook, etc.) adoptaron ampliamente este paradigma para la prestación de servicios a través de Internet, obteniendo beneficios tanto económicos como técnicos. Cloud Computing es una tecnología disruptiva con profundas implicaciones para la prestación de servicios de Internet, así como para el sector de TI en su conjunto [9].

2.3.4. Computacion en el borde

La computacion en el borde (Edge Computing) es una infraestructura de computacion distribuida que hace que las aplicaciones empresariales se acerquen a los origenes de datos, como dispositivos de IoT o servidores locales de borde.

La computación en el borde surgió con el aumento de las redes de distribución de contenidos (CDN) que tienen como objetivo acelerar el rendimiento web al almacenar en caché el contenido web en los nodos en el borde cerca del usuario final [29]. La computación en el borde puede mostrar más funciones que el concepto CDN al ejecutar una secuencia de código igual que la computación en la nube. La computación en el borde puede aprovechar aplicaciones que son sensibles a las limitaciones de latencia. A pesar de que los servidores de Edge Computing tienen menos poder de cómputo que los servidores en la nube, aún proporcionan una mejor calidad de servicio (QoS) y menor latencia a los usuarios finales [42]. A veces, el uso del borde frente a la nube es una decisión de diseño. La escalabilidad es un factor determinante: la nube tiene ventajas en cuanto a infra- estructura, instalaciones de plataformas o suministro de software como servicio (SaaS) [16].

2.3.5. Computacion en la niebla

Algunas tareas pueden realizarse tanto en la nube como en el borde. En estos casos, la portabilidad completa del software entre la nube y el borde es un requisito previo. Esta dualidad requiere que la infraestructura en el sitio sea una nube en el borde, esta disposición a veces recibe el nombre de computación en la niebla [16]. La computación en la niebla se basa principalmente en redes distribuidas con computación ubicua. Comprende centros de datos a pequeña escala o un grupo de computadoras conocidas como cloudlets que brindan servicios a dispositivos ubicados en las proximidades [36]. El costo de instalación inicial, la latencia y el consumo de energía es mucho menor en comparación con el de la nube, pero el costo operativo varía. La arquitectura de la computación en la niebla puede aprovechar los cálculos de servidores en el borde dedicados o de infraestructura ad hoc. En la computación en la niebla, el procesamiento de datos en un solo servidor (nube de niebla) ayuda a lograr una comunicación confiable y en tiempo real. Devuelve la seguridad de los datos personales. Cuando se trata de velocidad, la computación en la niebla permite el procesamiento en tiempo real y admite procesar datos tan rápido como nuestro sistema local. La niebla se puede gestionar de forma segura desde lugares remotos. Se puede escalar y actualizar dinámicamente. Ofrece más seguridad, mejor rendimiento y menores costos. La niebla incorpora atributos positivos de la nube y proporciona beneficios pueden admitir futuras aplicaciones IoT [6]. La arquitectura básica para la computación en la niebla se muestra en la figura 2.4, representa la nube de niebla que sirve como una capa intermedia entre el servidor de la nube y los dispositivos finales inteligentes.

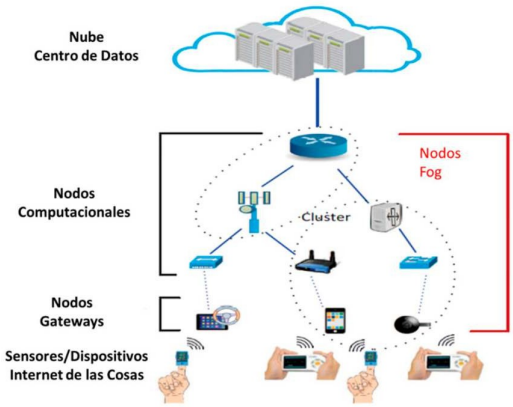

Figura 2.4: Computación en la niebla

Capítulo 3

Protocolos ejemplo, puebas y analisis de resultados

3.1. Protocolos ejemplo

Para realizar experimentos de prueba se seleccionaron tres protocolos de comunicacion de redes inalambricos que se utilizan conmumente para IoT en I40, estos con bluetooth, UDP packages y zigbee. Las pruebas se realizaron para medir la calidad de distintos protocolos de comunicación de redes inalámbricas, con base en Jitter (Segundos) y Tasa de paquetes perdidos (Porcentaje) calculados en función del tamaño del buffer (2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 y 16 bytes) por una aplicación programada en lenguaje c. Las pruebas se realizaron con y sin interferencia, a distintas distancias entre los dispositivos: 2.5m, 5m, 10m, 15m, 20m, 25m y 30m

3.1.1. Bluetooth

La comunicacion inalambrica del protocolo bluetooth se da punto a punto y trabaja en la banda de espectro libre, la cual es resevada para usarse por multiples de servicios simulaneamente, en la industria, la ciencia y la medicina, esta catalogado dentro de las redes WPAN (Wireless Personal Área Network, Red Inalámbrica De Área Personal) perteneciente al estrandar IEEE 802.15.1, posibilitando la transmision e voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia en la banda ISM (Industrial, Científica, Médica) de los 2,45 GHz en distancias cortas.

Bluetooth está integrado en un pequeño transmisor de radiofrecuencia que permite conectar entre sí todo tipo de dispositivos electrónicos (teléfonos, ordenadores, impresoras, faxes, etc.) situados dentro de un radio limitado de 10 metros (ampliable a 100, aunque con mayor distorsión). El transmisor está integrado en un pequeño microchip de 9x9 milímetros y opera en una frecuencia de banda global (2,4 GHz, utilizada en muchos países para usos médicos y

científicos) que asegura la compatibilidad universal. Los dispositivos que incorporan Bluetooth se reconocen y se hablan de la misma forma que lo hace una computadora con su impresora. El canal permanece abierto y no requiere la intervención directa y constante del usuario cada vez que se quiere enviar algo. El transmisor permite enviar voz y datos a una velocidad máxima de 700 Kbps. y consume un 97 % menos que un teléfono móvil. Además, es inteligente: cuando el tráfico de datos disminuye el transmisor adopta el modo bajo de consumo de energía.

El sistema Bluetooth permite conexiones punto a punto y punto a multipunto. La velocidad de datos en full-dúplex dentro de una estructura como la descrita a continuación, con 10 piconets con carga máxima es de 6 Mb/s. Siendo un piconet la colección de dispositivos (de 2 a 8) conectados por medio de la tecnología Bluetooth. Todos los dispositivos tienen la misma implementación. Sin embargo, al crearse la red una unidad actuará como maestra y el resto como esclavas mientras dure la conexión.

3.1.1.1. Controlador Bluetooth

Los niveles inferiores de la pila de protocolos Bluetooth constituyen el controlador Bluetooth, que contiene los bloques fundamentales de la tecnología, sobre los cuales se apoyan los niveles superiores y los protocolos de aplicación. Este componente está estandarizado y puede interactuar con otros sistemas Bluetooth de más alto nivel, aunque la separación entre ambas entidades no es obligatoria. El nivel de radiofrecuencia (RF) está formado por el transceptor físico y sus componentes asociados. Utiliza la banda de uso no regulado a 2,4 GHz, lo que facilita la consecución de calidad en la señal y la compatibilidad entre transceptores. Por encima suyo se encuentra el nivel de banda base (base band, BB), que controla las operaciones sobre bits y paquetes, realiza detección y corrección de errores, broadcast automático y cifrado como sus labores principales. También emite confirmaciones y peticiones de repetición de las transmisiones recibidas. El tercer y último nivel de base es el nivel de gestión de enlace (link manager, LM), responsable del establecimiento y finalización de las conexiones, así como de su autenticación en caso necesario. También realiza el control del tráfico y la planificación, junto con la gestión de consumo y supervisión del enlace.

3.1.1.2. Anfrition Bluetooth

El resto de niveles de base y los protocolos de aplicación residen en el anfitrión Bluetooth (también denominado host), que se comunica con el controlador utilizando una interfaz estándar. Ambas entidades pueden integrarse para su uso conjunto en sistemas empotrado, o se pueden utilizar de forma intercambiable. En cualquier caso, se asume que la capacidad de los buffers del controlador es modesta comparada con la del anfitrión, lo que puede tener consecuencias en la gestión de la calidad de servicio (quality of service, QoS) y la disponibilidad de canales, entre otros aspectos. El nivel más importante del anfitrión es el protocolo de control y adaptación de enlace lógico (logical link control & adaptation

protocol, L2CAP), encargado de controlar la comunicación proveniente de niveles superiores y la asocia a los sistemas de transporte de datos multiplexando los canales L2CAP en enlaces lógicos y segmentando las tramas adecuadamente. Puede añadir opcionalmente detección de errores y retransmisión de paquetes a BB, así como control de flujo basado en protocolos de ventana deslizante, asignación de buffers y QoS.

3.1.1.3. Arquitectura de software

Buscando ampliar la compatibilidad de los dispositivos Bluetooth, los dispositivos que se apegan al estándar utilizan como interfaz entre el dispositivo anfitrión (laptop, teléfono celular, etc) y el dispositivo Bluetooth como tal (chip Bluetooth) una interfaz denominada HCI (Host Controller Interface).

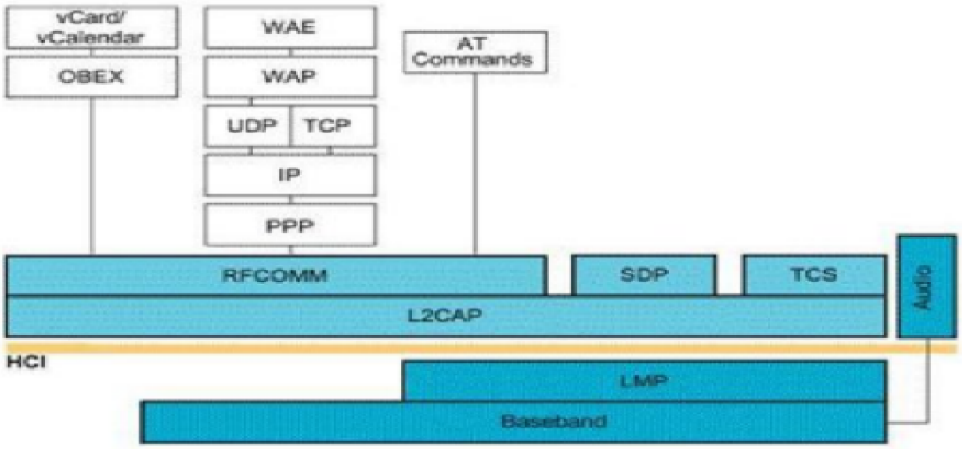

Figura 3.1: Interfaz de host del controlador

Los protocolos de alto nivel como el SDP (Protocolo utilizado para encontrar otros dispositivos Bluetooth dentro del rango de comunicación, encargado, también, de detectar la función de los dispositivos en rango), RFCOMM (Protocolo utilizado para emular conexiones de puerto serial) y TCS (Protocolo de control de telefonía) interactúan con el controlador de banda base a través del Protocolo L2CAP (Logical Link Control and Adaptation Protocol). El protocolo L2CAP

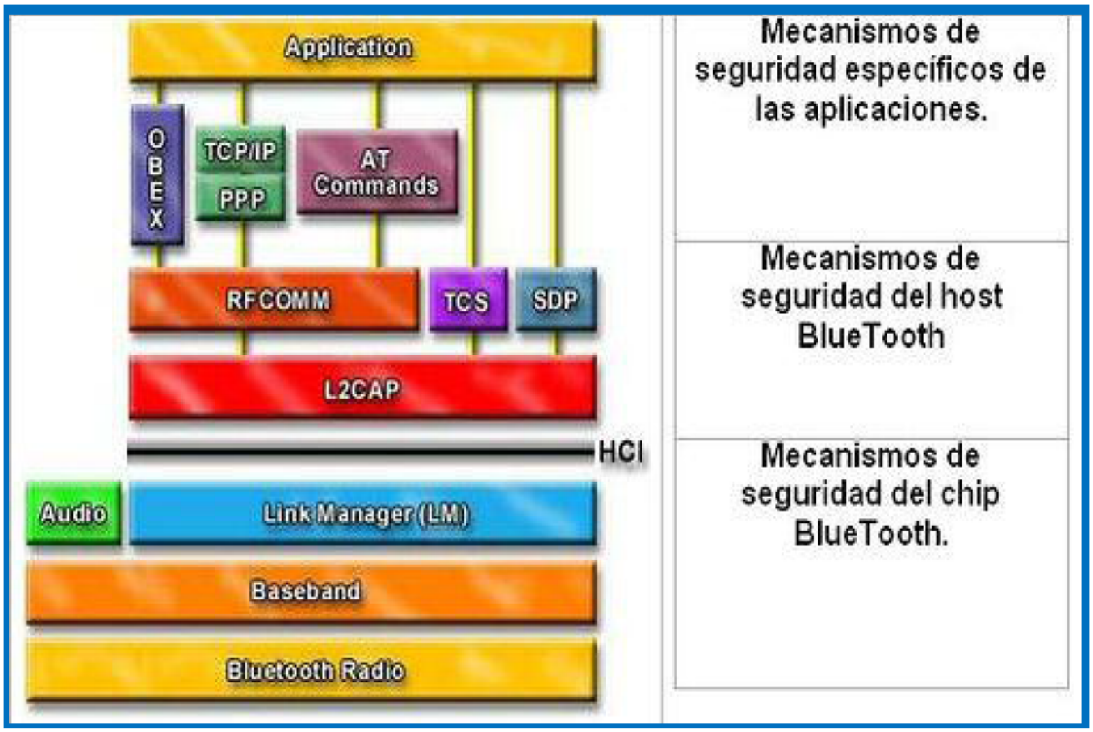

Figura 3.2: pila de protocolos bluetooth

se encarga de la segmentación y re ensamblaje de los paquetes para poder enviar paquetes de mayor tamaño a través de la conexión Bluetooth. Los Link Managers de diferentes dispositivos Bluetooth se comunicarán mediante el protocolo LMP (Link Manager Protocol o Protocolo de Administrador de Enlace). Además habrá otros módulos de software, que constituirán la pila de protocolos, y garantizarán la interoperabilidad entre aplicaciones alojadas en diferentes dispositivos Bluetooth. La siguiente figura muestra la pila de los diferentes protocolos utilizados por Bluetooth.

3.1.1.4. Experimentos con bluetooth

Se llevaron a cabo pruebas con varias distancias para medir la calidad de comunicacion con base en Jitter y tasa de paquetes perdidos, en casi todos los casos con y sin interfencia el jittler mantuvo poca variacion y la tasa de paquetes perdidos en una mayor parte se mantuvo en 0 % durante todas la pruebas con una pequeña excepcion donde se mostro una perdidad de 100 % y 90 % como se muestra a continuacion en la distancia de 30mts.

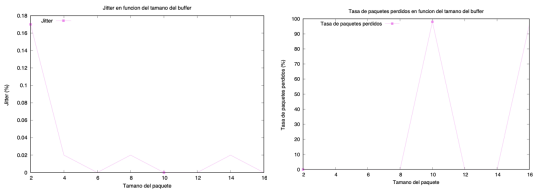

Figura 3.3: Comportamiento grafico de experimento con bluetooth a 30 mts

3.1.2. UDP (User Datagram protocol)

El protocolo de datagramas permite la transmision sin conexion de datagramas en redes basadas en IP (internet protocol), para obtener los servicios en los hosts de destino, se basa en los puertos que estan listados como uno de los campos principales en la cabecera UDP.

UDP se clasifica en el nivel de transporte en una capa intermedia entre la capa de red y la capa de aplicacion. UDP funciona como una alternativa sencilla y sin retardos del protocolo TCP, usado generalmente para consultas DNS (domain name system), conexiones VPN (virtual private network) y para el streaming de audio y video. La característica más importante del protocolo de datagramas de usuario es que permite enviar datagramas sin que se haya establecido previamente una conexión. Esto se traduce en la ventaja de poder transmitir con gran velocidad, aunque conlleva que la información transmitida sea fácilmente alterada, la pérdida de paquetes no sea corregida y la clasificación de los paquetes sea parcialmente arbitraria. Por esta razón, las aplicaciones UDP deben estar capacitadas para trabajar correctamente con datagramas perdidos o no clasificados y aplicar sus propios mecanismos de corrección y seguridad.

3.1.2.1. Estructura de la cabecera UDP

Los paquetes UDP consisten en una cabecera (header) y los datos reales del usuario. La cabecera UDP contiene toda la información necesaria para la transmisión de datos utilizando el protocolo de transporte y hace que un paquete UDP se pueda identificar como tal. La cabecera UDP consta de 4 campos y está dividida en 2 bloques de 32 bits con la siguiente estructura:

	Bits 0-15	Bits 16-31
cero	puerto de origen	puerto destino
32	longitud del mensaje	suma de verificacion

Los primeros 16 bits de la cabecera identifican el puerto de origen desde el que se ha enviado un datagrama concreto. El receptor necesita esta información para poder responder al paquete. Ya que UDP funciona sin conexión y básicamente no requiere ninguna comunicación entre el emisor y el receptor, el campo de puerto de origen es opcional. En caso de no ser utilizado, el puerto de origen debe ser puesto a cero.

En el siguiente campo se especifica el puerto de destino, es decir, se indica el servicio solicitado. Esta información es obligatoria, al contrario que el puerto

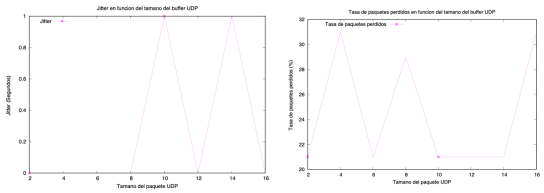

Figura 3.4: Comportamiento grafico de experimento con UDP a 20 m

de origen, porque si no, no sería posible asignar correctamente el datagrama.

El campo longitud define la longitud del datagrama. Se compone de la longitud de la cabecera (8 bytes) y el tamaño de los datos de usuario (máximo teórico: 65.535 bytes). Cuando se utiliza Ipv4, el límite real para los datos de usuario es de 65 507 bytes, tras deducir las cabeceras IP y UDP. En Ipv6 se aceptan paquetes (llamados jumbogramas) que superan ese límite. Según la RFC 2675 , el valor del campo de longitud se pone a cero en esos casos.

La cabecera UDP se completa con la checksum o suma de comprobación, que se utiliza para detectar errores durante la transmisión. De esta manera, se puede detectar si los datos han sufrido alguna alteración en el camino. No obstante, los paquetes detectados se descartan y no se cursa una nueva solicitud. Para generar la suma, se utilizan partes

de la cabecera UDP, de los datos del usuario y de la conocida como pseudocabecera (que contiene información sobre la cabecera IP).

3.1.2.2. Experimentos con UDP

Se llevaron a cabo pruebas con varias distancias para medir la calidad de comunicacion con base en Jitter y tasa de paquetes perdidos, en casi todos los casos con y sin interfencia el jittler mantuvo en 0, solo en el experimento de 20m el jitter arrojo una tardanza de 1 segundo en un par de ocasiones, en cuanto a la tasa de paquetes perdidos se mantuvo entre el 20 % y el 30 %.

3.1.3. ZigBee

Zigbee es un estándar que define un conjunto de protocolos para el armado de redes inalámbricas de corta distancia y baja velocidad de datos, trabaja sobre IEEE 502.15.4, que le permite unentorno con baja relacion señal-ruido,el objetivo de esta tecnología no es obtener velocidades muy altas, ya que solo puede alcanzar una tasa de 20 a 250Kbps en un rango de 10 a 75 metros, si no que es obtener sensores cuyos transceptores tengan un muy bajo consumo energético. Zigbee se caracteriza por la capacidad de operar redes de gran densidad, situación que ayuda a aumentar la confiabilidad de la comunicación, ya que entre más nodos existan dentro una red, mayor número de rutas alternas existen para garantizar que un paquete llegue a su destino. Una de las características de mayor valor de Zigbee es su topología de malla (MESH), que permite a la red auto

recuperarse de problemas en la comunicación aumentando su confiabilidad.

3.1.3.1. Tipos de dispositivos

El estándar 802.15.4 define 2 tipos de dispositivos con el objeto de minimizar el costo del sistema:

• Coordinador: es el dispositivo que inicia una red, y forma la raíz de ésta. Es capaz de almacenar información de su red, y puede actuar como "centro de confianza" al almacenar y administrar las llaves de seguridad. Solamente puede haber un coordinador por red. FFD (Full Function Device)

• Ruteador: además de ejecutar alguna función aplicativa, un ruteador puede funcionar como intermediario, sirviendo como puente de datos hacia otros dispositivos. RFD (Reduced Function Device)

• Dispositivo final: contiene solamente la funcionalidad necesaria para hablar con su nodo padre; no puede pasar datos a otros dispositivos. Por lo general este tipo de dispositivo mantiene desactivado el radio transmisor la mayor parte del tiempo, con la finalidad de consumir la menor cantidad de energía posible y así obtener una larga vida de las baterías, lo cual es uno de los principales beneficios de Zigbee.

3.1.3.2. Arquitectura

Su arquitectura es una pila de protocolos constituido por diferentes capas independientes una de otra con funciones especificas.

• La capa de más bajo nivel es la capa física, que en conjunto con la capa de acceso al medio, brindan los servicios de transmisión de datos por el aire, punto a punto. Estas dos capas están descritas por el estándar IEEE 802.15.4.

• La capa de red, brinda los métodos necesarios para: iniciar la red, unirse a la red, enrutar paquetes dirigidos a otros nodos en la red (el algoritmo de enrutamiento de malla está basado en el protocolo Ad Hoc On-Demand Vector Routing – AODV), proporcionar los medios para garantizar la entrega de paquete al destinatario final, filtrar paquetes recibidos, cifrarlos y autentificarlos.

• La capa de soporte a la aplicación que es la responsable de mantener el rol que el nodo juega en la red, filtrar paquetes a nivel de aplicación, mantener la relación de grupos y dispositivos con los que la aplicación interactúa y simplificar el envío de datos a los diferentes nodos de la red. En el nivel conceptual más alto, se encuentra la capa de aplicación que no es otra cosa que la aplicación misma.

Cada capa se comunica con sus capas subyacentes a través de una interfase de datos y otra de control, las capas superiores solicitan servicios a las capas inferiores y las inferiores reportan resultados a las superiores. Además de las capas mencionadas, a la arquitectura se integran otro par de módulos que realizan tareas especificas: el módulo de seguridad que es quien provee los servicios para cifrar y autentificar los paquetes, y el módulo de administración del dispositivo Zigbee, que es quien se encarga de administrar los recursos de red del dispositivo local, además de proporcionar a la aplicación funciones de administración

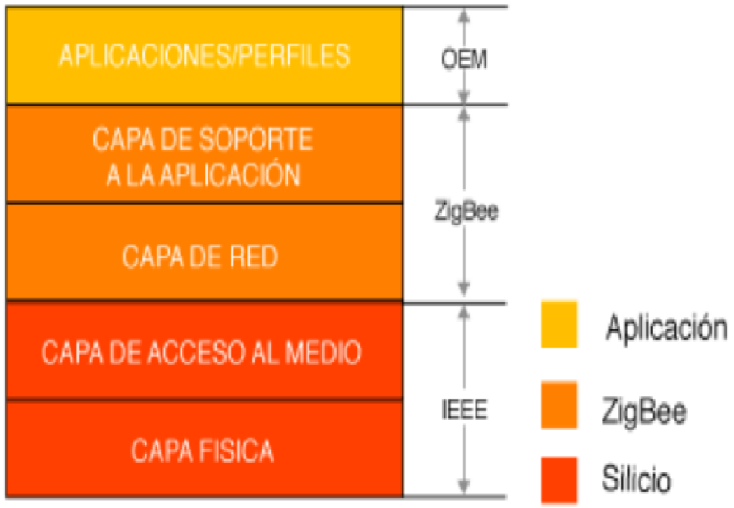

Figura 3.5: Arquitectura protocolo Zigbee

remota de la red.

3.1.3.3. Modulos XBee

Los modulos XBee que se utilizaron para agregar conectividad inalambrica fueron estos modulos que proveen 2 formas de comunicacion: transmision serial transparente (modo AT) y el modo API. Estos modulos se configuran desde la computadora por medio de una aplicacion (X-CTU) y pueden comunicarse en arquitecturas punto a punto, punto a multipunto o en un red mesh.

3.1.3.4. Experimentos con ZigBee

En los experimentos realizados el jitter se mantuvo en un pequeña variacion entre 011 y 012 segundos y en todas las distancias con y sin transferencia la perdidad de paquetes fue de cero a excepcion de una pequeña perdida en la distancia de 2.5 mts sin interferencia.

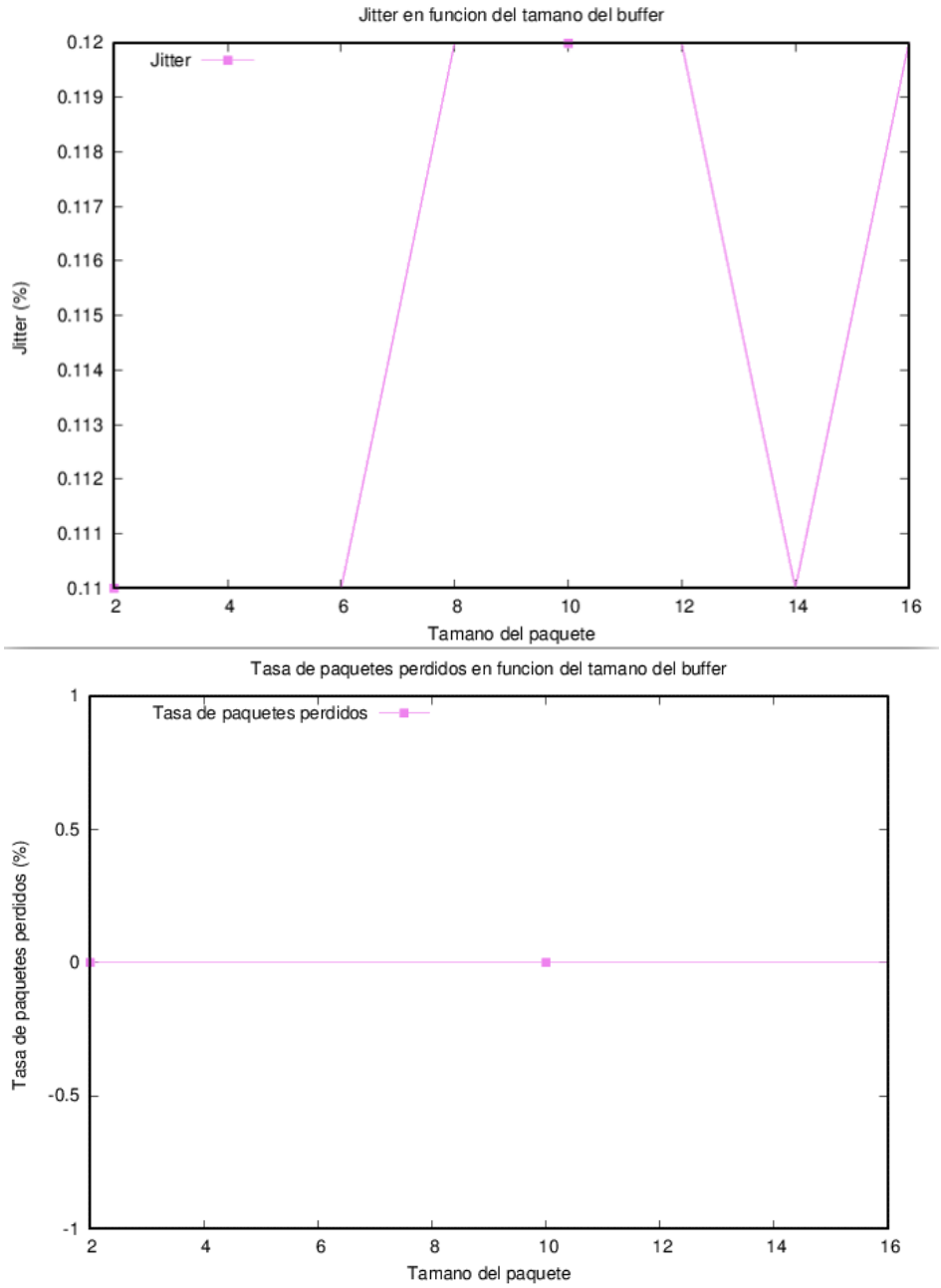

Figura 3.6: Experimento con protocolo Zigbee

Capítulo 4

Conclusiones y trabajo futuro

4.1. Conclusiones

Nos podemos dar cuenta que hoy en dia la tendencia en el uso de protocolos de comunicacion de redes son aquellos que nos brindan bajo costo, seguridad de transmision, flexibilida, escabilidad y confiabilidad. Los protocolos expuestos son usados actualmente en la mayoria de los dispositivos de IoT, la utilización de un determinado protocolo depende de innumerables factores, como el caso de uso, distancia de la conexión, duración de la batería, .etc. Si el Internet of Things supone una concurrencia de dispositivos, redes de sensores y sistemas de gestión, los protocolos de comunicación IoT son los que posibilitan que la comunicación entre todos ellos tenga lugar y sea efectiva.

Con los experimentos realizados visualizamos como protocolos utilizados tienen puntos fuertes y debiles, la seguridad de transmision que tienen, por lo que los hace preferibles en la aplicaciones de IoT. Lo importante es elegir el que mejor se adapte a lo que necesitamos, ya sea monitorear y controlar diferentes dispositivos.

El desafio que presentan sera la recopilacion de grandes cantidades de datos y su almacenamiento, asi como su control, y aunque ya estan disponibles servicios en la nube que nos brindan esta caracteristica, el procesamiento de estos y su interpretacion nos exigiran mejores velocidades y mayor seguridad.

4.2. Trabajo Futuro

Como trabajo futuro se realizará una investigación mas extenuante para evaluar las tecnologías vistas y las nuevas que se den para minimizar errores y brindar un resultados que lleven junto con la selección del protocolo de comunicación, la configuración de la misma para que al usarla en aplicaciones de IoT se tome como base su desempeño priorizando la potencia de transmisión y recepción de datos.

Así también se deberá considerar las distancias que se de entre el emisor y el receptor, los obstaculos físicos que se puedan dar, el ruido ambiental y la parte de regulación de la tecnología.

Bibliografía

[1] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, , and E. Cayirci. Wireless sensor networks: a survey. *Computer Networks*, 2002. 2.2

[2] Ala Al-Fuqaha, Mohsen Guizani, Mehdi Mohammadi, Mohammed Aledhari, and Moussa Ayyash. Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE communications surveys & tutorials*, 2015. 1.1, 2.3.1

[3] M Anand. A survey on internet of things. *International Journal of Scientific Research & Engineering Trends*, 2018. 2.2, 2.2

[4] Kevin Ashton. That internet of things thing. *RFID Journal*, 2009. 2.2

[5] VK Bairagi, SL Joshi, and SH Barshikar. A survey on internet of things. *International Journal of Computer Sciences and Engineering*, 2018. 2.2

[6] Rabeea Basir, Saad Qaisar, Mudassar Ali, Monther Aldwairi, Muham mad Ikram Ashraf, Aamir Mahmood, and Mikael Gidlund. Fog computing enabling industrial internet of things: State-of-the-art and research challenges. *Sensors*, 2019. 2.3.5

[7] Elena G. PopkovaYulia V. RagulinaAleksei V. Bogoviz. *Fundamental Differences of Transition to Industry 4.0 from Previous Industrial Revolutions,» de Industry 4.0: Industrial Revolution of the 21st Century. Studies in Systems, Decision and Control.* Springer, 2018. 2.3

[8] Bonavolontà, Francesco, Tedesco, Annarita, Moriello, Rosario Schiano Lo, Tufano, and Antonio. Enabling wireless technologies for industry 4.0: State of the art. In *2017 IEEE International Workshop on Measurement and Networking (M N)*, 2017. 2.3

[9] Alessio Botta, Walter De Donato, Valerio Persico, and Antonio Pescapé. Integration of cloud computing and internet of things: a survey. *Future generation computer systems*, 2016. 2.3.3

[10] Buettrich and Escudero. Topología e infraestructura básica de redes inalámbricas. Technical report, UNAC, 2017. 2.3.2.1

[11] B. Bunse, H. Kagermann, and H. Kagermann y W. Walhster. Industrie 4.0 smart manufacturing for the future. *Centre for Science, Technology and Innovation*, 2014. 1.1

[12] Qian Zhang Chonggang Wang, Tao Jiang. *ZigBee® Network Protocols and Applications*. Auerbach Publications, 2019. 2.3.2.3

[13] Gordon Colbach. *Bluetooth Tutorial: Design, Protocol and Specifications for BLE - Bluetooth Low Energy 4.0 and Bluetooth 5*. Independently published, 2019. 2.3.2.2

[14] M. Nixon y A. Mok D. Chen. Wirelesshart™: Real-time mesh network for industrial automation. *Springer*, 2010. 2.3.2.5

[15] Muhamed Umar Farooq, Muhammad Waseem, Sadia Mazhar, Anjum Khairi, and Talha Kamal. A review on internet of things (iot). *International Journal of Computer Applications,*, 2015. 2.3.3

[16] Christopher Ganz. Computación en la nube, en el borde y en la niebla. *ABB*, 2019. 2.3.4, 2.3.5

[17] Matthew S. Gast. *802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide*. O'Reilly, 2005. 2.3.2.1

[18] Cooper J. and James A. Challenges for database management in the internet of things. iete technical review. *IETE Technical Review, volume 26*, 2009. 2.3

[19] Shancang Li, Li Da Xu, , and Shanshan Zhao. The internet of things: a survey. information systems frontiers. *Information Systems Frontiers*, 2015. 2.2

[20] Xiaomin Li, Di Li, and Jiafu Wan & Shiyong Wang. A review of industrial wireless networks in the context of industry 4.0. *Springer*, 2017. 2.3

[21] Jie Lin, Wei Yu, Nan Zhang, Xinyu Yang, Hanlin Zhang, and Wei Zhao. A survey on internet of things: Architecture, enabling technologies, security and privacy, and applications. *IEEE Internet of Things Journal*, 2017. 2.3.2

[22] Leonardo Perez Martinez. Consideraciones de diseño e implementación de un sistema de monitoreo inalámbrico en campo con tecnología wireleshart. Technical report, Instituto Politécnico Nacional, 2016. 2.3.2.5

[23] P. Marwedel. Embedded systems design, embedded systems foundations of cyber-physical systems. *Springer*, 2006. 1.1, 2.3.1

[24] Luciana De Micco, Fabian Luis Vargas, and Pablo Ignacio Fierens. A literature review on embedded systems. *IEEE Latin America Transactions,*, 2019. 2.3.1

[25] Daniele Miorandi, Sabrina Sicari, Francesco De Pellegrini, and Imrich Chlamtac. Internet of things: Vision, applications and research challenges. *Ad Hoc Networks*, 2012. 2.2

[26] Humberto Díaz Pando, Sergio Cuenca Asensi, Roberto Sepúlveda Lima, Jenny Fajardo Calderín, and Alejandro Rosete Suárez. An application of fuzzy logic for hardware/software partitioning in embedded systems. *Computación y Sistemas*, 2013. 2.3.1

[27] R. Rajkumar, I. Lee, and L. Sha y J. Stankovic. Cyber-physical systems: The next computing revolution. In *In proceedings of the Design Automation Conference*, 2018. 1.1

[28] V. Roblek, Meško, and M. y Krapež. Complex view of industry 4.0. *SAGE*, 2016. 2.3

[29] Satyanarayanan and Mahadev. The emergence of edge computing. *Computer*, 2017. 2.3.4

[30] A.-W. Scheer. Whitepaper - industry 4.0: From vision to implementation. *Saarbrücken: AWSi*, 2015. 1.1

[31] Pradeeka Seneviratne. *Beginning LoRa Radio Networks with Arduino: Build Long Range, Low Power Wireless IoT Networks.* Apress, 2019. 2.3.2.4

[32] L. Sha, Abdelzaher, årzén, Anton Cervin, Theodore Baker, Alan Burns, Giorgio Buttazzo, Marco Caccamo, and John Lehoczky & Aloysius K. Mok. Real time scheduling theory: A historical perspective. *Springer*, 2004. 1.1

[33] I. Singh and N. Al-Mutawaly y T. Wanyama. Teaching network technologies that support industry 4.0. In *Proceedings of the Canadian Engineering Education Association (CEEA) Conference*, 2015. 2.3

[34] John A Stankovic. Research directions for the internet of things. *IEEE Internet of Things Journal*, 2014. 1.1, 2.3.1

[35] Peter N. Stearns. *The Industrial Revolution in the World History, fourth edition, New York.* Routledge, 2013. 2.1

[36] Cisco Systems. Fog computing and the internet of things: Extend the cloud to where the things are. *Cisco Systems. White papaer*, 2016. 2.3.5

[37] A. Varghese and D. Tandur. Wireless requirements and challenges in industry 4.0. In *International Conference on Contemporary Computing and Informatics*, 2014. 2.3

[38] Mark Weiser. The computer for the 21 st century. *Scientific American*, 1991. 2.2

[39] M. Wollschlaeger, T. Sauter, and J. Jasperneite. The future of industrial communication: Automation networks in the era of the internet of things and industry 4.0. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 2017. 2.2

[40] M. Wollschlaeger, T. Sauter, and J. Jasperneite. The future of industrial communication: Automation networks in the era of the internet of things and industry 4.0. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 2017. 2.3

[41] B. Mehta y Y. J. Reddy. *Industrial Process Automation Systems: Design and Implementation*. Butterworth-Heinemann, 2014. 2.3.2.6

[42] Wei Yu, Fan Liang, Xiaofei He, William Grant Hatcher, Chao Lu, Jie Lin, and Xinyu Yang. A survey on the edge computing for the internet of things. *IEEE access*, 2017. 2.3.4

20% de similitud general

Principales fuentes encontradas en las siguientes bases de datos:

- 19% Base de datos de Internet
- 15% Base de datos de trabajos entregados
- Base de datos de contenido publicado de Crossr

FUENTES PRINCIPALES

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	es.wikipedia.org Internet	3%
2	issuu.com Internet	2%
3	Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC on 2023-0... Submitted works	2%
4	biblus.us.es Internet	2%
5	sg.com.mx Internet	2%
6	docplayer.es Internet	2%
7	miunespace.une.edu.ve Internet	1%
8	pepperl-fuchs.com Internet	1%
9	Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC on 2021-1... Submitted works	1%

10	clubensayos.com Internet	<1%
11	catsensors.com Internet	<1%
12	Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC on 2022-0... Submitted works	<1%
13	dspace.uazuay.edu.ec Internet	<1%
14	coursehero.com Internet	<1%
15	barbaraiot.com Internet	<1%
16	new.abb.com Internet	<1%
17	alfaiot.com Internet	<1%
18	Universidad de Málaga - Tii on 2023-06-10 Submitted works	<1%
19	slideshare.net Internet	<1%

Excluir del Reporte de Similitud

- Base de datos de publicaciones
- Material bibliográfico
- Material citado
- Fuentes excluidas manualmente
- Base de datos de Crossref
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 30 palabras)

FUENTES EXCLUIDAS

caii.itmexicali.edu.mx Internet	22%
ptolomeo.unam.mx:8080 Internet	10%
tesis.ipn.mx Internet	10%
documents.mx Internet	9%
ionos.es Internet	4%
ionos.mx Internet	4%
scribd.com Internet	4%
vdocumento.com Internet	4%
iydt.files.wordpress.com Internet	4%