

INTERCONEXIÓN DE UNA RED IOT INTELIGENTE POR MEDIO DEL PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN XMPP, IMPLEMENTADA SOBRE RASPBERRY PI 3B+

Alberto Martínez Contreras
Departamento de Ingeniería, Ingeniería
en Telecomunicaciones Sistemas y
Electrónica (ITSE)
Universidad Nacional Autónoma de
México, FESC
Estado de México, México
phama_contra26@hotmail.com

Resumen— En este proyecto se emplea el protocolo XMPP (Protocolo extensible de mensajería y comunicación de presencia) para comunicar en tiempo real nodos IoT (Internet de las Cosas) que comparten entre sí datos y comandos. La versatilidad y popularidad del protocolo permiten implementarlo eficientemente en diferentes dispositivos. Se ha diseñado una red con cuatro nodos y se ha descrito su algoritmo de funcionamiento utilizando un servidor XMPP gratuito. La red diseñada tiene actuadores y monitorea en tiempo real variables físicas. Sus elementos son dos Raspberry Pi, una PC con Windows y un smartphone con Android. Después de someter a distintas pruebas la red, se observó que la comunicación es muy eficiente, el retardo para la entrega de mensajes es mínimo e implementar la comunicación con este protocolo es sencillo debido a la multitud de librerías que existen para todo tipo de sistemas operativos y lenguajes de programación. Analizando los resultados se ha concluido que la comunicación con este protocolo es muy fácil de implementar y es prácticamente en tiempo real haciéndolo apropiado para proyectos IoT sencillos y complejos.

Palabras clave— XMPP, IoT, Red inteligente, Raspberry Pi.

I. INTRODUCCIÓN

Comunicar las “cosas” mediante internet requiere “hacerlas inteligentes”, esto se refiere a que tengan un sistema de control que colecte los datos necesarios y efectúe las acciones apropiadas, en la mayoría de casos se utiliza un sistema miniaturizado basado en microprocesador que pueda efectuar funciones de control y comunicación, pero que no demande un gran consumo energético ni de espacio, las computadoras de placa única o SBC (Single Board Computer), como la Raspberry Pi son ampliamente utilizadas.

Actualmente grandes empresas están desarrollando protocolos especializados para funcionar en redes IoT, que se enfocan en los requerimientos específicos de este tipo de redes y son una opción adecuada para la comunicación entre los diferentes dispositivos. Estos protocolos tienen algunas desventajas importantes como su complejidad, compatibilidad con diferentes dispositivos y el tipo de licencia que autoriza su implementación, muchos no son libres, y se requiere invertir en licencias y/o servidores para utilizarlos. Esto no representa problema para las grandes empresas, pero sí para los proyectos a pequeña escala.

Este proyecto demuestra que el protocolo de mensajería instantánea XMPP que es un protocolo libre y ofrece

servidores gratuitos se puede implementar en redes IoT para lograr una comunicación entre los dispositivos que la conforman, independientemente del sistema operativo o lenguaje de programación de cada dispositivo.

En el presente trabajo se propone un procedimiento para comunicar nodos dentro de una red IoT empleando el protocolo XMPP. Los nodos pueden estar ubicados en cualquier parte del mundo en donde se tenga conexión a internet. Sin tomar en cuenta el costo de los dispositivos utilizados, la implementación y mantenimiento de la red no requiere ninguna inversión monetaria.

II. ESTADO DEL ARTE

El internet de las cosas no fue nombrado oficialmente hasta 1999, a pesar de que en años anteriores se desarrollaran sistemas con este concepto, en 1980 la compañía de Coca Cola, en la universidad de Carnegie Mellon, colocó una máquina dispensadora de refrescos a la que los técnicos de la universidad se podían conectar mediante internet, para revisar si había refrescos fríos en la máquina antes de ir por él.

Para el año 2013 el internet de las cosas ya era una tecnología que utilizaba muchas otras para funcionar como los radios y comunicaciones inalámbricas, la electrónica de microprocesadores, MEMS (Microelectromechanical Systems) y sistemas embebidos, tecnología GPS, sensores de diferentes tipos y sistemas de control, entre muchos otros.

Actualmente IoT, consiste en cualquier dispositivo conectado a internet que implemente funciones utilizando la red, esto incluye toda clase de aparatos imaginables desde celulares, aviones, autos, electrodomésticos, sistemas de monitoreo en fábricas, aparatos médicos, chips de rastreo, entre muchos otros.

IoT es una tecnología que avanza constantemente, y de la cual se podrán obtener grandes beneficios (seguridad, monitoreo de información médica, compras automáticas, entre otros) y podrá aplicarse para solucionar una gran cantidad de fenómenos y problemáticas.

Pero hablar de internet de las cosas hoy en día es hablar de objetos cotidianos que tienen la capacidad de compartir información a través de internet, estos objetos podrían ser vehículos, electrodomésticos, dispositivos mecánicos, o simplemente objetos tales como calzado, muebles, maletas, dispositivos de medición, biosensores, o cualquier otro objeto existente.

Muchos proyectos nuevos sobre internet de las cosas se desarrollan cada año, a continuación, se mencionarán algunos que están relacionados con la línea de investigación de este proyecto.

Desde hace varios años se tenía la visión de interactuar con los objetos de forma parecida a como interactuamos con las personas en las redes sociales como se presenta en el artículo “Uniting online social networks with places and things” [1] que a pesar de tener varios años de ser publicado tiene argumentos válidos hasta hoy en día.

Varios autores han realizado análisis de como los objetos inteligentes interactuarán con las personas, a pesar que los expertos han hecho predicciones sobre su inclusión en la vida de las personas siempre pueden surgir comportamientos inesperados como se presenta en el artículo “Opportunistic IoT: Exploring the harmonious interaction between human and the internet of things” [2].

En el artículo “A Survey on Application Layer Protocols for the Internet of Things” [3] se hace mención de las diferentes capas de protocolos que componen IoT, así como su análisis y como deben cuidarse los diferentes aspectos del desarrollo de IoT.

En el artículo “Chatty things - Making the Internet of Things readily usable for the masses with XMPP” [4] se propone el protocolo XMPP para comunicaciones IoT, aunque en ese año (2012) aun no existían las placas computadoras ni microcontroladores tan sofisticados como hoy en día para hacer la implementación.

Un artículo más que analiza la posibilidad de integrar XMPP en IoT es “A Service Infrastructure for the Internet of Things based on XMPP” [5] en el que se justifica el potencial que tiene XMPP para esta tecnología.

En el artículo “The VIRTUS Middleware: An XMPP Based Architecture for Secure IoT Communications” [6] los autores analizan las comunicaciones con el protocolo XMPP para utilizarlo en IoT enfatizando en las características de seguridad que proporciona para hacer frente a las diferentes amenazas que enfrentan este tipo de sistemas.

En el IEEE International Symposium on Consumer Electronics (ISCE 2010) se presentó el artículo “From instant messaging to cloud computing, an XMPP review” [7] en el que se describe como se puede dar un uso masivo al protocolo XMPP para escalarlo a un nivel de miles de comunicaciones entre computadoras a la vez.

En el año 2016, el Doctor José Ángel Noguera Arnaldos presento como tesis doctoral el proyecto “Sistema de diálogo basado en mensajería instantánea para el control de dispositivos en el internet de las cosas” [8] en el que utiliza el protocolo XMPP para establecer un sistema de dialogo entre usuarios y nodos IoT, este trabajo se enfoca en el algoritmo para analizar y generar el dialogo y utiliza el protocolo XMPP solo como el sistema de comunicación entre nodo y usuario.

Por otro lado en el trabajo titulado “Fuzzification of facial movements to generate humanmachine interfaces in order to control robots by XMPP internet protocol” [9], se generó el control de un vehículo robotizado, utilizando XMPP como protocolo de comunicación.

Recientemente se han propuestos modelos de comunicación con los objetos IoT como se presenta en el artículo “Method And System For Controlling Internet Of

Things (Iot) Device” [10] publicado en el año (2017) cuyos formatos de comunicación se basan en la tecnología de mensajería instantánea o chats en línea.

Como se puede ver, la idea de “chatear con los objetos” viene desde varios años antes, sin embargo, la tecnología para conseguirlo tiene pocos años de desarrollo y aún sigue en fase de pruebas, los microcontroladores actuales permitirán hacer “inteligentes a los objetos” y el desarrollo de diferentes protocolos como XMPP harán posible que estos se comuniquen a una escala masiva.

III. CONCEPTOS BÁSICOS

A. Internet de las Cosas (IoT)

El objetivo que pretende alcanzar esta tecnología es hacer más cómoda la vida de los seres humanos en diversos ámbitos, proporcionando mayor seguridad y conectividad entre otras funciones.

La “inteligencia” o capacidades que se pretenden agregar a los objetos se clasifican en grupos. Comunicación y cooperación. Tendrán la capacidad de conectarse a los servicios de internet, para comunicarse y compartir información con otros objetos, con los servidores y con los usuarios. Direccionamiento. Tendrán una dirección única para poder localizarlos a nivel mundial, este identificador será una dirección IPv6. Identidad. Además de una dirección, también serán dotados de un identificador único e irreplicable, similar a las huellas digitales, esto para evitar la suplantación de identidad. Localización. Tendrán información sobre su ubicación por medio de la tecnología GPS o similares. Acción. Tendrán la capacidad de modificar su entorno, por ejemplo, un calentador podrá aumentar la temperatura ambiental.

B. Protocolo XMPP

El protocolo XMPP (Extensible Messaging and Presence Protocol) es un protocolo de código abierto basado en XML (Extensible Markup Language) que se utiliza principalmente en servicios de mensajería instantánea, fue desarrollado en 1999 con el nombre de Jabber, en el 2002 fue aceptado por la IETF (Internet Engineering Task Force) con el nombre de XMPP.

Este protocolo tiene muchas ventajas contra sus similares y es por esto que ha ganado gran popularidad en los últimos años, algunas de estas ventajas son las siguientes.

- XMPP está probado. Más de 10 años de desarrollo han dado como resultado un protocolo estable que ha sido probado a gran escala por muchas empresas importantes, cuenta con millones de usuarios activos en la actualidad.
- XMPP es seguro. Provee las medidas necesarias para resistir a la mayoría de ataques, y su infraestructura descentralizada no tiene un punto de fallo único.
- XMPP es descentralizado. Implementa una infraestructura descentralizada con múltiples servidores a lo largo de internet, cada empresa o individuo puede tener su propio servidor de mensajería.
- XMPP es extensible. Gracias a su rápida entrega de mensajes XML, tiene muchas aplicaciones a lo largo de la web y se adapta a las nuevas tecnologías.
- XMPP es escalable. El modelo de transferencia implementado por XMPP resuelve la mayoría de los

problemas de escalabilidad haciendo posible implementar servicios a una escala nunca antes vista.

- XMPP es comunitario. Gracias a que es un estándar de código abierto tiene una gran comunidad de desarrolladores que brindan apoyo en nuevos proyectos.

Por estas y otras razones cada día más desarrolladores y proveedores utilizan XMPP en la creación de nuevas aplicaciones y en escalar las ya existentes.

C. Computadoras de placa única (SBC)

Una computadora de placa única o SBC (Single-Board Computer), es una computadora completa en una sola placa, tiene una arquitectura con microprocesador o microcontrolador, memoria RAM (Random Access Memory), memoria ROM (Read-only memory) y entradas/salidas todo en la misma placa, en la (Fig. 2.18) se muestra un ejemplo de SBC, la JaguarBoard.

Este tipo de computadoras se utiliza sobretodo como controladores en sistemas embebidos que no demanden una gran potencia de procesamiento. Debido a la reducción de los componentes para colocarlos en la misma placa, la velocidad del procesador, tamaño de memoria RAM, espacio de almacenamiento, suelen ser también reducidos, no es común utilizarlas como computadoras personales ni como servidores, pues no tienen el rendimiento necesario.

Las SBC ofrecen excelentes prestaciones en sistemas de control o automatización y tienen muchas ventajas contra las computadoras de escritorio.

- Tamaño reducido. La mayoría no rebasa los pocos centímetros y son ideales para integrarlas en sistemas con espacio limitado.
- Alta eficiencia. Gastan muy poca energía y producen muy poco calor.
- Fácil aislamiento. Gracias a su reducido tamaño es muy sencillo proteger la placa de la computadora en condiciones ambientales adversas.
- Bajo costo. Muchas de estas placas tienen un costo accesible y ofrecen buenas prestaciones.

IV. IMPLEMENTACIÓN DE LA RED

A. Diseño del modelo

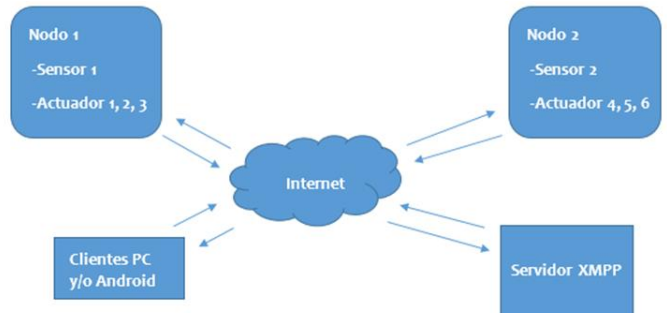
Para las pruebas de la red propuesta se diseñó una topología que consiste en dos nodos IoT, dos clientes (Un PC con Windows y un Smartphone con Android), como servidor para las comunicaciones se utilizará un servidor XMPP público.

En la (Fig. 3.1) se muestra la topología lógica del sistema, como se puede apreciar los elementos pueden estar en cualquier ubicación, siempre y cuando tengan

- *Nodo 1.* Será una SBC Raspberry Pi 3b+. Tendrá directamente conectado un sensor de temperatura (Sensor 1) y tres actuadores (Actuador 1, 2, 3).
- *Nodo 2.* Será una SBC Raspberry Pi 3b+. Tendrá directamente conectado un sensor de temperatura (Sensor 2) y tres actuadores (Actuador 4, 5, 6).
- *Cliente.* Los dispositivos clientes serán una PC con Windows y un Smartphone con Android, cualquier

versión de los sistemas operativos que soporte las aplicaciones a utilizar es adecuada. Puede estar activo cualquiera de los dos clientes o los dos al mismo tiempo.

- *Servidor XMPP.* El servidor utilizado será uno público y gratuito, existen muchos servidores de este tipo en la web, para este proyecto se utilizará jabber.at



El funcionamiento de este sistema es el siguiente.

- 1) Los nodos mixtos recolectarán información en tiempo real con sus sensores y también tendrán varios actuadores conectados.
- 2) Cada nodo identificará con un número a cada sensor y actuador que tiene conectado, además tendrá información de los que tiene su nodo vecino. Todos los dispositivos tendrán almacenado su JID de XMPP y el de sus vecinos.
- 3) Al activarse el sistema, todos los dispositivos se autenticarán en el servidor XMPP para poder iniciar sesión y permanecerán en el estatus de disponible mientras estén activos.
- 4) El cliente tendrá el ID de XMPP o JID de ambos nodos, pero no tendrá información de los sensores y actuadores que están conectados a cada nodo.
- 5) El cliente podrá mandar peticiones en cualquier momento a cualquiera de los dos nodos solicitando información de los sensores o la activación de un actuador.
- 6) Si el nodo al que se mandó la petición tiene directamente conectado el sensor o actuador solicitado responderá a la petición.
- 7) En caso de que el nodo al que se manda la petición no tenga conectado el sensor o actuador solicitado, este buscará si el otro nodo del sistema lo tiene y le enviará la petición.
- 8) El cliente recibirá la información que solicito, pero no la información de que nodo tenía el elemento solicitado.

B. Configuraciones iniciales

La Raspberry Pi 3B+ es una minicomputadora y por lo tanto se le debe instalar un sistema operativo antes de poder utilizarla, para este proyecto se utilizará el sistema operativo Raspbian, que está basado en Debian y por lo tanto en Linux.

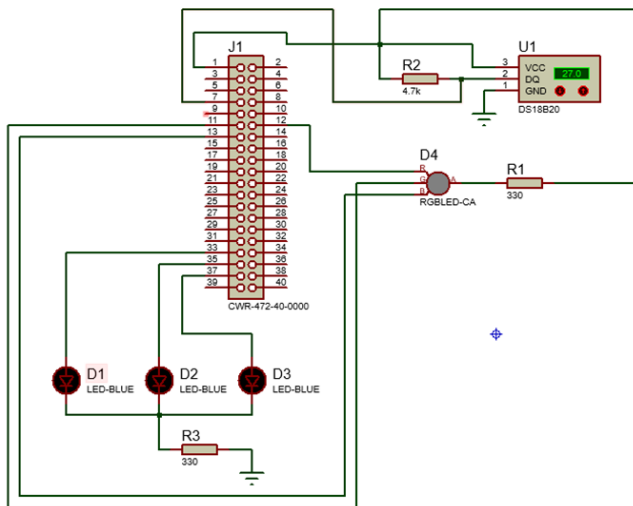
Para utilizar el protocolo XMPP, se debe seguir el siguiente proceso.

- 1) Instalación de bibliotecas Para trabajar con XMPP se deben descargar las bibliotecas que lo contienen. Estas bibliotecas no son creadas por la fundación XMPP sino por empresas y desarrolladores independientes. En este proyecto se utilizará la biblioteca “SleekXMPP” que está programada en Python, para poder utilizarla, los pasos a seguir son los siguientes.
- 2) Instalación en Windows Después de instalar correctamente la versión apropiada de Python en la PC, se escribe el siguiente comando en el símbolo del sistema. >pip install sleekxmpp
- 3) Instalación en Raspberry Para instalar esta biblioteca en la Raspberry Pi, se utiliza el siguiente comando. #sudo pip install sleekxmpp

Se utilizará el cliente “Gajim”, desde su página oficial se puede descargar el programa. <https://gajim.org/> Una vez descargado, se ejecuta el archivo y se siguen las instrucciones del instalador. Registro de cuentas en el servidor

Para poder establecer comunicaciones se requiere de un servidor, en este proyecto se utilizará un servidor gratuito para registrar las cuentas, el servidor jabber.at cuya página oficial es la siguiente. <https://jabber.at/>

Para habilitar los nodos, se tiene que realizar las conexiones siguientes.



C. Inicio del Sistema

Una vez que se tiene el circuito conectado y las Raspberry Pi programados se puede proceder a iniciar el sistema, el proceso de inicio es el siguiente.

- 1 Inicio del cliente
- 2 Inicio Nodo 1
- 3 Inicio Nodo 2

Si los datos de la cuenta son correctos, se inicia sesión en el servidor remoto, si es la primera vez que se inicia sesión en la cuenta no aparecerán contactos así que el siguiente paso es agregar como contactos las otras dos cuentas creadas

Una vez que se tiene el código del programa en la Raspberry Pi, se selecciona la opción de “Run Module” o se oprime la tecla F5. Enseguida comenzara el proceso de inicio

de sesión con el servidor. Este proceso se debe realizar en ambos nodos.

Si los procesos de inicio de sesión anteriores fueron exitosos, en el cliente aparecerán ambas Raspberry Pi como disponibles.

D. Pruebas del Sistema

Ahora el sistema está activo y se pueden comenzar las pruebas. El orden de inicio de sesión de los dispositivos no afecta el sistema, siempre y cuando al finalizar estén activos ambos nodos Raspberry Pi y al menos un cliente, ya sea PC o Android.

Se puede notar que los paquetes de comunicación son “TLSv1.2” que es una derivación del protocolo SSL, se puede comprobar que los paquetes intercambiados por el protocolo XMPP están cifrados de extremo a extremo.

Se realizan pruebas de conexión entre los elementos de la red, verificando que las instrucciones sean efectuadas de forma correcta, también se toma nota de los tiempos que tardan los mensajes en intercambiarse entre los diferentes dispositivos y según el tipo de mensaje.

CONCLUSIONES

Analizando las rutas de comunicación, se comprobó que es un protocolo con arquitectura cliente-servidor en tiempo real, pues todos los mensajes de la comunicación tienen que pasar por el servidor antes de ser entregados al destinatario, la ventaja de esta arquitectura es que se evita el problema de firewalls y se puede crear una comunicación entre dispositivos conectados a internet sin importar su ubicación física o a que proveedor de servicios estén conectados. En este trabajo se utilizaron dos proveedores diferentes “Izzi” y “Telcel” simultáneamente para realizar las pruebas.

Una ventaja más del protocolo es que la comunicación está cifrada de extremo a extremo como se comprobó al analizar con Wireshark los paquetes XMPP intercambiados en la comunicación, este cifrado agrega seguridad al sistema y dificulta que personas no autorizadas visualicen el contenido de los mensajes intercambiados.

En la implementación del protocolo, se cuenta con gran cantidad de información de ayuda disponible, además, existen servidores que ofrecen registro gratuito de cuentas, como los mostrados en la página oficial de XMPP (Fig. 5.1). Las cuentas se pueden crear en pocos minutos y ofrecen todos los beneficios del protocolo.

También se pudo comprobar la compatibilidad del protocolo con pequeños dispositivos usados en IoT, como es la Raspberry Pi, pues el protocolo no demanda una gran cantidad de recursos computacionales y existen bibliotecas con funciones XMPP para la mayoría de lenguajes de programación lo que permite compatibilidad con la mayoría de sistemas.

Finalmente, se debe mencionar que la mayor ventaja que proporciona el protocolo XMPP es que es libre, se puede hacer uso del mismo sin necesidad de pagar por una licencia.

REFERENCIAS

[1] [1] R. L. A. F. Michael Blackstock, Uniting online social networks with places and things, San Francisco,

- California, USA: WoT '11 Proceedings of the Second International Workshop on Web of Things, Article No. 5 , 2011.
- [2] [2] Z. Y. X. Z. D. Z. Bin Guo, Opportunistic IoT: Exploring the Social Side of the Internet of Things, 16th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design, 2012.
- [3] [3] P. C. F. V.-G. J. A.-Z. Vasileios Karagiannis, A Survey on Application Layer Proto-cols for the Internet of Things, Transaction on IoT and Cloud Computing 2015, 2015.
- [4] [4] R. Klauck y M. Kirsche, Chatty things - Making the Internet of Things readily usable for the masses with XMPP, Pittsburgh, PA, USA: 8th International Conference on Collaborative Computing: Networking, Applications and Worksharing (CollaborateCom), 2012.
- [5] [5] T. S. D. S. A. S. R. A. M. A. Sven Bendel, A Service Infrastructure for the Internet of Things based on XMPP, San Diego: Work in Progress session at PerCom 2013, 2013.
- [6] [6] D. T. B. P. B. A. L. R. T. a. M. A. S. Conzon, The VIRTUS Middleware: An XMPP Based Architecture for Secure IoT Communications, Munich, Germany: 2012 21st International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN), 2012.
- [7] [7] R. W. Adrian Hornsby, From instant messaging to cloud computing, an XMPP review, Braunschweig, Germany: IEEE International Symposium on Consumer Electronics (ISCE 2010), 2010.
- [8] [8] D. J. Á. N. Arnaldos, Sistema de Diálogo Basado en Mensajería Instantánea para el Control de Dispositivos en el Internet de las cosas, Universidad de Murcia: Tesis Doctoral, De-partamento de Informatica y Sistemas, 2016.
- [9] [9] Ramírez, Jesús A. Romualdo, Enrique Mendéz Franco, and David Tinoco Varela. "Fuzzification of facial movements to generate human-machine interfaces in order to control robots by XMPP internet protocol." MATEC Web of Conferences. Vol. 125. EDP Sciences, 2017.
- [10] [10] D. (. Jun Kyun Choi y D. (. Kyu Yeong Jeon, Method and System for Controlling internet of Things (IoT) Device, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Daejeon (KR) , 2017.
- [11] [11] «Documentacion de Python,» Python.org, [En línea]. Available: <https://www.python.org/doc/>. [Último acceso: 21 Enero 2019].
- [12] [12] xmpp.org, «xmpp About,» [En línea]. Available: <https://xmpp.org/>. [Último acceso: 2018 Agosto 15].
- [13] [13] K. S. a. R. T. Peter Saint-Andre, XMPP: The Definitive Guide, Building Real-Time Applications with Jabber, United States of America, Gravenstein Highway North, Sebastopol: O'REILLY, 2009.
- [14] [14] SleekXMPP.org, «SleekXMPP Documentation,» [En línea]. Available: <http://sleekxmpp.com/index.html>. [Último acceso: 12 Agosto 2018].
- [15] [15] J. PASTOR, «Raspberry Pi 3 Model B+, análisis: más potencia y mejor WiFi para un miniPC que sigue asombrando,» xataka, 16 Abril 2018. [En línea]. Available: <https://www.xataka.com/ordenadores/raspberry-pi-3-model-b-analisis-mas-potencia-y-mejor-wifi-para-un-minipc-que-sigue-asombrando>. [Último acceso: 23 Diciembre 2018].
- [16] [16] M. Santos, «Raspberry Pi 3 Model B+: ¿cómo rinde respecto a un procesador de In-tel?,» Hardzone, 2 Abril 2018. [En línea]. Available: <https://hardzone.es/2018/04/02/raspberry-pi-3-model-b-plus-benchmarks/>. [Último acceso: 17 Diciembre 2018].
- [17] [17] G. Halfacree, «Benchmarking the Raspberry Pi 3 B+,» Medium Technology, 13 Marzo 2018. [En línea]. Available: <https://medium.com/@ghalfacree/benchmarking-the-raspberry-pi-3-b-plus-44122cf3d806>. [Último acceso: 8 Octubre 2018].
- [18] [18] C. d. s. i. i. e. p. d. s. d. d. e. f. e. i. I. D. Luis Delgado, «Curso de privacidad y protec-ción de comunicaciones digitales,» Criptored, 21 Marzo 2013. [En línea]. Available: <http://www.criptored.upm.es/crypt4you/temas/privacidad-proteccion/leccion3/leccion3.html>. [Último acceso: 2018 Noviembre 3].
- [19] [19] E. M. N. D. P. O. D. S. Z.-Y. S. a. C. W. Raymond B. Jennings III, A Study of Inter-net Instant Messaging and Chat Protocols, Watson Research Center: IBM T.J, 2016.
- [20] [20] B. I. A. B. a. F. M. Tom, INSTANT MESSAGING: STANDARDS, PROTOCOLS, APPLICATIONS, AND RESEARCH DIRECTIONS, University of Khartoum - Sudan: Math-ematical Sciences and Information Technology Research Unit (MITRU), Faculty of Mathematical Sciences, 2009.
- [21] [21] M. W. M. W. S. M. M.U. Farooq, A Critical Analysis on the Security Concerns of Internet of Things (IoT), International Journal of Computer Applications , 2015.
- [22] [22] J. B. W. a. M. P. Teng Xu, Security of IoT Systems: Design Challenges and Opportu-nities, Los Angeles: University of California.
- [23] [23] RaspberryPi.org, «Raspberry Pi Documentation,» [En línea]. Available: <https://www.raspberrypi.org/>. [Último acceso: 13 Agosto 2018].
- [24] [24] CISCO, «CISCO - Internet of Things (IoT),» [En línea]. Available: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/internet-of-things/overview.html#~stickynav=4>. [Último acceso: 2018 Diciembre 23].
- [25] [25] D. Evans, Internet de las cosas Cómo la próxima evolución de Internet lo cambia todo, Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG), 2011.
- [26] [26] R. K. a. D. C. Neil Gershenfeld, The Internet of Things, SCIENTIFIC AMERICAN.