



**INTERNET DE LAS COSAS: ANÁLISIS DE LA RED DE OBJETOS Y PLATAFORMA
TECNOLÓGICA DE COMUNICACIÓN.**

**GERMAN CRUZ NAVARRO
FRANCISCO JAVIER GARCIA RIVERA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
ESPECIALIZACIÓN EN TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2016**



**INTERNET DE LAS COSAS: ANÁLISIS DE LA RED DE OBJETOS Y PLATAFORMA
TECNOLÓGICA DE COMUNICACIÓN.**

GERMAN CRUZ NAVARRO

FRANCISCO JAVIER GARCIA RIVERA

**Trabajo de Grado para optar al título de:
ESPECIALISTA EN TELECOMUNICACIONES**

**DIRECTOR
PhD. HOMERO ORTEGA BOADA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
ESPECIALIZACIÓN EN TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2016

DEDICATORIA

A Dios por su perfección y compleja sencillez.

A nuestras familias, por su constante apoyo y por creer siempre en nosotros.

A los profesores por sus enseñanzas y dirección.

A nuestros compañeros de especialización por su colaboración y amistad.

Los Autores.

AGRADECIMIENTOS

Especial agradecimiento a nuestro director de monografía profesor Homero Ortega por invitarnos a abrir nuestras mentes a una nueva era en la cual podemos ser protagonistas de grandes cambios.

Al grupo Radiogis por permitirnos conocer la esencia de sus proyectos y por el apoyo brindado.

Los Autores.

CONTENIDO

| | Pág. |
|---|-------------|
| INTRODUCCIÓN | 18 |
| DEFINICIÓN DEL PROBLEMA | 19 |
| JUSTIFICACIÓN | 20 |
| OBJETIVO GENERAL | 21 |
| OBJETIVOS ESPECIFICOS | 21 |
| 1. INTERNET DE LAS COSAS (IoT) | 22 |
| 1.1. DEFINICIÓN | 22 |
| 1.2. HISTORIA Y VISIÓN | 24 |
| 1.3. ARQUITECTURA IoT | 25 |
| 1.4. PROTOCOLOS Y ESTÁNDARES USADOS PARA PROVEER CONECTIVIDAD | 26 |
| 1.5. VISIONES PARA LA SEGURIDAD EN LA IoT | 28 |
| 1.5.1. Modelo estático | 28 |
| 1.5.2. Modelo dinámico | 31 |
| 2. MODELO DE REFERENCIA IoT, TECNOLOGÍAS EN LAS CAPAS DE DISPOSITIVOS Y DE RED | 34 |
| 2.1. MODELO DE REFERENCIA IoT | 34 |
| 2.2. TECNOLOGÍAS EN LA CAPA DE DISPOSITIVO O FÍSICA EN REDES IoT. | 35 |
| 2.2.1. PanStamps | 36 |

| | |
|--|----|
| 2.2.2. TinyDuin2 | 36 |
| 2.2.3. Arduino Yún | 37 |
| 2.2.4. Pinoccio..... | 38 |
| 2.2.5. Raspberry Pi | 39 |
| 2.2.6. BeagleBone Black | 40 |
| 2.2.7. SanCloud BeagleBone Enhanced | 41 |
| 2.2.8. Cubieboard | 42 |
| 2.2.9. Nanode | 43 |
| 2.2.10. WeIO | 43 |
| 2.2.11. Rascal | 44 |
| 2.2.12. Udoos | 45 |
| 2.2.13. Libelium Wasmote | 46 |
| 2.2.14. Intel Galileo | 46 |
| | |
| 2.3. TECNOLOGÍAS DE LA CAPA DE RED O CONECTIVIDAD EN REDES IoT. | 47 |
| | |
| 2.3.1. Red de Área Personal Inalámbrica (WPAN) | 49 |
| 2.3.1.1. IEEE 802.15.4 | 49 |
| 2.3.1.2. Bluetooth | 51 |
| 2.3.1.3. Zigbee | 52 |
| 2.3.1.4. Z Wave | 52 |
| | |
| 2.3.2. Redes de Área Local (LAN y WLAN) | 53 |
| 2.3.2.1. Ethernet (IEEE 802.3) | 54 |
| 2.3.2.2. WiFi (IEEE 802.11) | 56 |
| | |
| 2.3.3. Redes de Área Metropolitana (MAN y WMAN) | 56 |
| 2.3.3.1. WiMax (IEEE 802.16) | 56 |
| | |
| 2.3.4. Redes de Área Extensa (WAN y WWAN) | 57 |
| 2.3.4.1. Segunda Generación (2G) | 57 |
| 2.3.4.2. Tercera Generación (3G) | 58 |
| 2.3.4.3. Cuarta Generación (4G) | 60 |
| 2.3.4.4. Quinta Generación (5G) | 61 |
| | |
| 2.3.5. Redes de Área Extensa de Baja Potencia (LPWAN) | 64 |
| 2.3.5.1. Sigfox | 64 |
| 2.3.5.2. Neul | 65 |
| 2.3.5.3. LoRaWAN | 67 |
| | |
| 2.4. ESTADO DEL ARTE SOBRE TECNOLOGÍAS EN EL DESARROLLO DE LAS IoT | 68 |
| | |
| 2.4.1. My Driving IoT System | 69 |

| | |
|--|----|
| 2.4.2. Protocolo de comunicación inalámbrico remoto orientado para la internet de vehículos de construcción | 72 |
| 2.4.3. Chevystar servicio de acompañamiento a vehículos Chevrolet | 74 |
| | |
| 2.5. ESTADO DEL ARTE Y ANÁLISIS DE LOS PROYECTOS QUE INVOLUCREN IoT DESARROLLADOS POR EL GRUPO DE INVESTIGACIÓN RADIOGIS | 77 |
| 2.5.1. Proyectos del grupo Radiogis UIS que involucran elementos de IoT | 77 |
| 2.5.1.1. Web Service para implementación del estándar SCP-ECG orientado al geoposicionamiento | 77 |
| 2.5.1.2. Sistema de Telecontrol y Telemetría para los equipos de monitoreo del Espectro Radioeléctrico | 81 |
| | |
| 2.5.2. Proyectos del grupo Radiogis UIS que pueden involucrar las IoT | 82 |
| 2.5.2.1. Desarrollo de un servicio de Telemetría para el registro georeferenciado de la Radiación No Ionizante | 82 |
| 2.5.2.2. Solución para un algoritmo de radiopropagación integrando mapas georeferenciados como un servicio web de simulación | 84 |
| | |
| 3. RECOMENDACIONES PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS QUE INVOLUCREN TECNOLOGÍAS IoT EN LAS CAPAS DE DISPOSITIVOS Y DE RED.. | 85 |
| 3.1. RECOMENDACIONES DE TECNOLOGÍAS IoT EN LA CAPA DE DISPOSITIVOS | 87 |
| 3.1.1. Intel Galileo 2 | 87 |
| 3.1.2. Cubieboard A20 | 89 |
| 3.1.3. BeagleBone | 89 |
| 3.1.4. Raspberry Pi 2 | 89 |
| 3.1.5. Intel Edison | 90 |
| | |
| 3.2. RECOMENDACIONES DE TECNOLOGÍAS IoT EN LA CAPA DE RED O DE CONECTIVIDAD | 90 |
| 3.2.1. WI-FI USB DONGLE IEEE 802.11n | 91 |
| 3.2.2. RN-XV Wi-Fly módulo con antena | 91 |
| 3.2.3. NodeMcuV2 | 91 |
| 3.2.4. Transceiver Xbee | 92 |
| 3.2.5. Transceiver Xbee Pro | 92 |

| | |
|-----------------------|----|
| 4. CONCLUSIONES | 94 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 96 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Tabla 1. Propiedades del IEEE 802.15.4 | 50 |
| Tabla 2. Propiedades del IEEE 802.3 | 55 |
| Tabla 3. Tecnología LTE, tasas de transmisión de datos | 61 |
| Tabla 4. Cuadro comparativo de tecnologías actuales de conectividad para la IoT..... | 63 |
| Tabla 5. Cuadro comparativo de tecnologías enfocadas para las comunicaciones de dispositivos IoT | 68 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|-------------|
| Figura 1 Arquitectura de IoT..... | 26 |
| Figura 2 Descripción de protocolo estándar IEEE1451 | 27 |
| Figura 3 Zonas de seguridad y fronteras..... | 29 |
| Figura 4 Arquitectura de SDN..... | 33 |
| Figura 5 Modelo de referencia IoT..... | 34 |
| Figura 6 Módulos de comunicación PanStamps para tarjetas Arduino..... | 36 |
| Figura 7 Modulo TinyDuino | 37 |
| Figura 8 Modulo Arduino Yún | 38 |
| Figura 9 Modulo Pinoccio | 39 |
| Figura 10 Modulo Rasperry Pi 2..... | 40 |
| Figura 11 Tarjeta Beagle Bone Black..... | 41 |
| Figura 12 Tarjeta SanCloud BeagleBone Enhanced..... | 42 |
| Figura 13 Módulo cubieboard. | 42 |
| Figura 14 Tarjeta Nanode | 43 |
| Figura 15 Módulo WEIO | 44 |
| Figura 16 Tarjeta Rascal | 45 |
| Figura 17 Tarjeta UDOO QUAD/DUAL..... | 45 |
| Figura 18 Tarjeta Libelium Wasmote | 46 |
| Figura 19 Tarjeta Intel Galileo..... | 47 |

| | |
|---|----|
| Figura 20 IoT red de redes..... | 48 |
| Figura 21 Clasificación de redes inalámbricas..... | 49 |
| Figura 22 Topología de red Star o Peer to Peer..... | 51 |
| Figura 23 Evolución de tecnologías de telefonía móvil 1G a 3.5G..... | 59 |
| Figura 24 Evolución de los estándares de 2G a 3G..... | 59 |
| Figura 25 Evolución de HSPA | 60 |
| Figura 26 Ventajas de NEUL Weightless sobre GPRS..... | 66 |
| Figura 27 Integración de dispositivos de hardware y software local necesaria para integrar una solución de IoT en la nube..... | 69 |
| Figura 28 Kit comercial de OBD (on board Diagnostic) | 70 |
| Figura 29 Arquitectura de IoT para sistema Mydriving..... | 71 |
| Figura 30 Ventanas de la aplicación Mydriving..... | 71 |
| Figura 31 Perfil de usuario Mydriving..... | 72 |
| Figura 32 Modelo de red de loCV basado en IRMS..... | 74 |
| Figura 33 Estructura del marco de CVDTP..... | 74 |
| Figura 34 Imagen de monitoreo de vehículo mychevistar..... | 75 |
| Figura 35 Imagen de monitoreo de vehículo mychevistar..... | 76 |
| Figura 36 Imagen de Apps de Chevystar | 76 |
| Figura 37 Imagen de Apps de Chevystar | 77 |
| Figura 38 Estructura de servicio . Tomada de tesis de grado Web Service para implementación del estándar SCP-ECG orientado al posicionamiento (UIS 2011)..... | 79 |
| Figura 39 Interfaz de usuario en Android..... | 79 |
| Figura 40 Portal de página Web Service para implementación del estándar SCP-ECG orientado al posicionamiento | 80 |

| | |
|---|----|
| Figura 41 Esquema general del Sistema de Telecontrol y Telemetría para los equipos de monitoreo del Espectro Radioeléctrico | 82 |
| Figura 42 Visión General del Servicio para el registro y consulta asociado a las mediciones de RNI..... | 83 |
| Figura 43 Estructura del conjunto de servicios RadioGIS..... | 84 |

RESUMEN

TITULO: INTERNET DE LAS COSAS: ANÁLISIS DE LA RED DE OBJETOS Y PLATAFORMA TECNOLÓGICA DE COMUNICACIÓN.

AUTORES: GERMAN CRUZ NAVARRO, FRANCISCO J. GARCÍA RIVERA

PALABRAS CLAVES: Internet de las cosas, IoT, RadioGis, telecomunicaciones

DESCRIPCIÓN:

El problema que se aborda en esta monografía ha sido planteado por el Grupo RadioGis, el cual le apuesta a la Internet de las Cosas desde los dispositivos que están cerca al usuario, lo cual complementa el trabajo en la nube que realizan otros grupos de investigación. De esta manera, se ha establecido la necesidad de realizar un estudio que permita conocer el estado de las tecnologías de dispositivos y las técnicas de acceso a internet que mejor se ajusten al desarrollo de servicios IoT. Este estudio deberá servir como material de apoyo a la hora de tomar decisiones sobre las cualidades de los dispositivos a adquirir, los métodos para sacarles información y llevarla a la Internet.

La IoT es el presente y el futuro de las telecomunicaciones, del manejo de la información y la computación. Por esto, se hace pertinente el conocimiento de la misma, desde su inicio, desarrollo tecnológico, arquitectura, globalización, visión e impacto social y económico.

En este documento se abordará el tema de los dispositivos las tecnologías usadas para la conectividad, la seguridad de la información que ellos suministran, y la ayuda que pueden dar para la implementación de cualquier proyecto IoT que se quiera desarrollar a nivel de instituciones educativas, pero también a nivel comercial.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: Homero Ortega, Ph.D of Engineering Sciences.

ABSTRAC

TITLE: INTERNET OF THINGS: ANALYSIS OF NETWORK OBJECT AND COMMUNICATION TECHNOLOGY PLATFORM.

AUTHORS: GERMAN CRUZ NAVARRO, FRANCISCO J. GARCÍA RIVERA

KEYWORDS: Internet of Things, IoT, RADIOGIS, telecommunications

DESCRIPTION:

The problem addressed in this monograph has been raised by the RADIOGIS Group, which is betting on the Internet of Things from devices that are close to the user, which complements the work in the cloud carried out by other research groups. Thus, it has established the need for a study to know the state of technology devices and internet access techniques that best suit the development of IoT services. This study should serve as support material when making decisions about the qualities of the devices to acquire, methods to extract information and bring it to the Internet.

The IoT is the present and the future of telecommunications, information management and computing. By this, it becomes relevant knowledge of it, since its inception, technological development, architecture, globalization, vision and social and economic impact.

This document describes the theme of the devices will address the technologies used for connectivity, security of the information they provide, and the help they can give to the implementation of any IoT project you want to develop a level of educational institutions, but also commercially.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: Homero Ortega, Ph.D of Engineering Sciences

INTRODUCCIÓN

“Se espera que la Internet de las Cosas (IoT) cree un mundo en el que objetos físicos están perfectamente integrados en las redes de información con el fin de proporcionar servicios avanzados e inteligentes para los seres humanos. El número de cosas o dispositivos interconectados ya ha superado el número actual de población humana en el mundo y se prevé que alcanzará los 24 millones en 2020” [1]:

El desarrollo de un ambiente tecnológico inteligente para el despliegue de la IoT involucra el contar con infraestructura de red robusta, sistemas de telecomunicaciones eficientes y compatibles, equipos computarizados que procesan la información en la nube en un tiempo de respuesta real, lo cual genera retos en diferentes campos tecnológicos.

Este documento recopila información necesaria sobre las tecnologías de usuario para impulsar el desarrollo de servicios en el ámbito de Internet de las Cosas (IoT) y así mismo muestra las tecnologías más convenientes para llevar la información a la internet.

Además de lo anterior es importante conocer algunas tecnologías de dispositivos de desarrollo para sensado que se manejan en el mercado sus características, técnicas y sus capacidades de interconexión con otros dispositivos, sus puertos y protocolos de comunicación, su facilidad para incorporar la información de ellos a la internet y aprovechar sus plataformas de diseño para hacer proyectos y productos en la IoT. En este aspecto se espera contar con un material para la toma de decisiones a la hora de adquirir tecnologías de sensado de información.

¹ Jun Liu, Zheng Yan, Laurence T. Yang, “Fusion – An aide to data mining in Internet of Things”

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La evolución de la Internet (denominado Internet de las personas) es la Internet de las Cosas (Internet of Things - IoT), la cual aborda grandes retos tecnológicos principalmente en las áreas de telecomunicaciones y computación.

Los siguientes son los campos de investigación y desarrollo que apoyan la IoT:

- Sistemas de comunicación entre dispositivos y servidores
- Capacidad de conectividad
- Convergencia tecnológica
- Seguridad y privacidad
- Arquitectura, compatibilidad, auto-administración y robustez de las redes.
- Centralización y descentralización de los sistemas.
- Administración de energía de las cosas u objetos
- Visión de desarrollo

Se considera importante el estado actual de los avances para el despliegue de la IoT en el ámbito Internacional y Nacional, y los esfuerzos que se están llevando a cabo por parte de las diferentes organizaciones y entidades.

El problema que se aborda en esta monografía ha sido planteado por el Grupo RadioGis, el cual le apuesta al Internet de las Cosas desde los dispositivos que están cerca al usuario, que en adelante llamaremos tecnologías de usuario, lo cual complementa el trabajo en la nube que realizan otros grupos de investigación. Es importante destacar que un usuario puede ser una o más personas, pero también puede ser una o más máquinas cliente de un servicio. De esta manera, se ha establecido la necesidad de realizar un estudio que permita conocer el estado de las tecnologías de sensores y las técnicas de acceso a internet que mejor se ajusten al desarrollo de servicios IoT. Este estudio deberá servir como material de apoyo a la hora de tomar decisiones sobre las cualidades de los sensores a adquirir, los métodos para sacarles información y llevarla a la Internet, donde es recibida por un Webservice que es aprovechado por otro equipo de investigadores y desarrolladores que forma parte de un proyecto mayor para el desarrollo de servicios IoT.

JUSTIFICACIÓN

La IoT es el presente y el futuro de las telecomunicaciones, del manejo de la información y la computación. Por esto, se hace pertinente el conocimiento de la misma, desde su inicio, desarrollo tecnológico, arquitectura, globalización, visión e impacto social y económico.

El desarrollo de un ambiente tecnológico inteligente para el despliegue de la IoT involucra el contar con infraestructura de red robusta, sistemas de telecomunicaciones eficientes y compatibles, equipos computarizados que procesen la información en la nube en un tiempo de respuesta real, lo cual genera retos en diferentes campos tecnológicos. Por esto, “una evolución radical de la Internet actual en una red de objetos interconectados que no sólo recolecta información del medio ambiente (detección), e interactúa con el mundo físico (accionamiento /comando / control), aunque utilice los estándares de Internet existentes para proporcionar servicios de transferencia de información, análisis, aplicaciones y comunicaciones. Impulsado por el predominio de dispositivos compatibles con tecnologías inalámbricas abiertas tales como Bluetooth, identificación por radiofrecuencia (RFID), Wi-Fi, y los servicios de datos telefónicos, así como nodos sensores y actuadores integrados.

La IoT ha salido de su infancia y está a punto de transformar la corriente estática de Internet en un futuro de Internet totalmente integrado. La revolución de Internet ha llevado a la interconexión entre personas en una escala y el ritmo sin precedentes. La próxima revolución será la interconexión entre objetos para crear un ambiente inteligente” [2]

Mientras a nivel mundial la IoT se encuentra en proceso de parto, en la sociedad colombiana está en gestación por lo que se requiere la socialización de estas nuevas tecnologías a las personas para que puedan comprender las ventajas y desventajas que conlleva su uso.

Es interesante y necesario observar los avances en el desarrollo de las IoT con el fin de hacer un uso adecuado e idealmente de utilizarlos de una manera óptima. Este trabajo tiende a clarificar una cantidad de factores que involucra el desarrollo y uso del Internet de las Cosas.

² Jayavardhana Gubbi, Rajkumar Buyya, Slaven Marusic, Marimuthu Palaniswami, “Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions”.

OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio que permita identificar las tecnologías de usuario para impulsar el desarrollo de servicios en el ámbito de Internet de las Cosas (IoT)

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Elaborar un documento que reúna información necesaria sobre las tecnologías de dispositivos de sensado y conectividad para impulsar el desarrollo de servicios en el ámbito de Internet de las Cosas (IoT).
2. Identificar los servicios de la plataforma de IoT afines con las tecnologías de dispositivos de sensado para proyectos del grupo Radiogis.
3. Recomendar las tecnologías de sensado apropiadas para el desarrollo de proyectos en servicios IoT.
4. Reconocer las tecnologías de comunicaciones convenientes en los proyectos para el acceso a los servicios IoT.

1. INTERNET DE LAS COSAS (IoT)

1.1 DEFINICIÓN

El concepto del internet de las cosas es tan amplio que para poder entender qué es primero debemos descartar lo que “NO” es según lo declara el Dr. Carlos Rebellon^[3]:

- No es una simple y única tecnología creada por algún fabricante en algún laboratorio con fines de comercialización.
- No es una tendencia dirigida por algún grupo de personas, organizaciones, corporaciones o gobiernos.
- No es un problema en sí mismo que necesite ser resuelto.
- No es un objetivo de política en sí mismo.
- Es un ecosistema formado por tecnologías diversas interconectadas que abarcan la electrónica, las comunicaciones, la informática, la medicina, la educación, la economía la industria etc y que convergen y producen una transformación de la economía, la sociedad y el gobierno. Su adopción puede incrementar la productividad, la competitividad y el bienestar de las personas en una sociedad.

No es una evolución de una tecnología; se considera más bien una revolución tecnológica para la cual su crecimiento obedece a tres leyes según Danielle Trincherio(IXEM Lab)^[4] estas son:

- a) Ley de Moore: Que define el aumento de capacidad de cómputo y almacenamiento de manera exponencial en función del tiempo.
- b) Ley de Metcalfe : Que define el aumento interconectividad y velocidad de las comunicaciones.
- c) Big Data Analytics : Que define el aumento de la capacidad de análisis y procesamiento de del software en la nube.

La IoT agrupa en su concepto a todas las cosas como instrumentos, las cosas interconectadas y cosas inteligentes (dispositivos inteligentes, autos inteligentes, casas inteligentes, edificios inteligentes, ciudades inteligentes, etc).

El internet de las cosas tiene como columna vertebral la interconectividad y para esto se requiere de tecnologías de comunicaciones.

³ Dr. Carlos Rebellon(Intel Corporation)[IV congreso internacional de Espectro .(Nov 2014)
(Public policies for the development of the IoT and essential technical affairs.)

⁴ Dr. Danielle Trincherio(Ixems labs politécnico di Torino) IV congreso internacional de Espectro .(Nov 2014)(Sensor networks and devices: usecases in e-health, transport, agriculture and smart cities)

Según Fabián Muñoz (Ericsson comunicaciones)[⁵] la evolución del internet de las cosas tendrá su mayor crecimiento con las tecnologías de comunicación móviles (IMT) a este respecto ya se está trabajando en su empresa y en otras empresas de comunicaciones para ofrecer en el 2020 la tecnología 5G que supera por mucho las actuales tecnologías 2G, 3G y 4G LTE juntas y está pensada para ser una plataforma de comunicación que soporta varios objetivos como son la comunicación de masas por voz, video y datos , comunicación masiva de máquinas (vehículos), mercado personalizado de masas (TV) , dispositivos atención salud, Comunicación de maquinaria crítica (telecontrol), telemedicina, comercio, lectura de información de consumos en servicios públicos etc.

Con respecto al mismo tema Dr Manuel Vexler[⁶] opina que las políticas del gobierno en comunicaciones de Colombia (Vive Digital) y México (Red compartida) facilitaran el crecimiento de IoT lo que permitirá tener en el futuro una mejor forma de vida; con carros , tiendas, hogares y ciudades inteligentes con un mayor acceso de la población (urbana y rural) al personal de salud (telemedicina) y a una mejor educación. Se visualizan ciudades inteligentes más seguras, con menor desperdicio de recursos, con tráfico controlado de manera eficiente adaptando las señalizaciones a las condiciones presentes. Industrias con maquinaria y procesos controlados por sistemas inteligentes.

El Dr. Fernan Izquierdo[⁷] considera que la comunicación WI Fi en el futuro será primordial para el ser humano. La considera indispensable para mantener el flujo de información que fluye de sus accesorios considerados como prendas de vestir que le sirven para mantenerse informado, tomar decisiones y hacer que otros dispositivos en el hogar, oficina, vehículos tomen decisiones de manera automática.

Según la International Telecommunication Union (ITU)[⁸] “Internet de las cosas es una infraestructura global para la información de la sociedad , habilitando servicios avanzados por interconexión (física y virtual) de las cosas basados en tecnologías de la comunicación existentes , envolventes e interoperables “

Ya en la realidad cuando se habla de internet de las cosas se habla de la capacidad de cómputo y de comunicación que se puede agregar a las cosas que nos rodean en las casas en las plantas industriales en edificios en las calles en general en todas partes hasta en nuestras prendas de vestir y accesorios y que solo antes tenían las computadoras. Esas cosas no siempre son cosas físicas y la comunicación no es

⁵ Dr. Fabian Muñoz (Ericsson comunicaciones) IV Congreso Internacional de Espectro(Nov 2014)(Solution Architect RLAN Mobile Broadband)

⁶ Dr Manuel Vexler (Huawei Technologías Co) IV Congreso Internacional de Espectro(Nov 2014)(Using national mobile broadband to enrich digital life. Enriching life through communications)

⁷ Dr. Fernan Izquierdo(Silver Spring Networks) IV Congreso Internacional de Espectro(Nov 2014)(Imaginemos un mundo donde personas y cosas están permanentemente conectadas: el nuevo paradigma del Internet de las cosas)

⁸ Telecommunication Standardization Sector of ITU. Series Y: Global information infrastructure, internet protocol aspects and next-generation networks. In Recommendation ITU-T Y, 2060–Overview of the Internet of Things; IUT: Geneva, Switzerland, 2012; pp. 1–6.

siempre internet por eso es mejor pensar el nombre de IoT como metáfora de que nuestros objetos se vuelven inteligentes aprenden del mundo que los rodea y se comunican con otros objetos y con nosotros a través de una red de comunicación que puede ser internet o cualquier otra.[⁹]

1.2 HISTORIA Y VISIÓN

Se le considera Kevin Ashton como el padre de la Internet de las cosas (IoT, Internet of Things), este término lo introdujo a mediados de los noventa cuando en su trabajo en la empresa multinacional Procter & Gamble (P&G), agregó un microchip a los lápices labiales para que éstos indicarán directamente desde las tiendas que se requiere su reposición, incrementando las ventas de una manera eficiente y con un excelente control de inventarios, dotando de inteligencia a los objetos y permitiendo que las máquinas toman decisiones por sí mismas. Ashton se convirtió en investigador del MIT desde el año 2000. [¹⁰]

Adicionalmente es importante recordar que antes de Ashton varias personalidades fueron visionarios y realizaron aportes muy valiosos para que se diera lo que hoy en día abordamos como la Internet de las cosas, entre ellos se destacan los siguientes:

Desde la década de los 50 el Dr. Douglas Engelbart aporta importantes ideas para el avance de la microelectrónica, materializadas por Gordon Moore (cofundador Intel). En 1968 Engelbart mostró algunos inventos que eran reales innovaciones tecnológicas que permitieron el avance de las ciencias de la computación tales como el hipertexto, las videoconferencias con computadoras en red, los procesadores de texto, la interfaz gráfica con ventanas y el mouse (a quien se le atribuye su invención), estas ideas fueron inspiración de personajes como Xerox PARC Labs, y más adelante, a Steve Jobs y Bill Gates en la creación de lo que ahora llamamos la computadora personal. Adicionalmente la computadora Engelbart Augment NLS (oN-Line System) se anunció como el primer nodo de la ARPANet, la red que se convirtió en la Internet.

En el año 1988 Mark Weiser, de laboratorios PARC originó el término “Computación Ubicua” imaginaba computadoras y sensores integrados a nuestro alrededor haciendo la vida cotidiana más fácil desde lámparas que ajustan su brillo de acuerdo a las necesidades hasta despertadores que preparan café antes de despertarlo. Y no sólo imaginaba, muchos de estos inventos que todavía nos resultan futuristas en 2016 tenía prototipos experimentales en su laboratorio a finales de los años 80s. Acerca de la visión de la tecnología que estaba tratando de construir, dijo lo siguiente en su artículo la computadora del siglo 21 : “Las tecnologías más importantes son las que desaparecen. Son las que se entrelazan con el tejido de nuestra vida cotidiana hasta

⁹ La red de todo internet de las cosas y el futuro de la economía conectada (Andrei Vazhnov)

¹⁰ A. Hernández - XL Semanal, 2015, consultado en: <http://www.finanzas.com/xl-semanal/magazine/20151004/kevin-ashton-padre-internet-8912.html>

que ya no son distinguibles de ella.” Para lograr esto se requiere integrar a esas tecnologías (electrónica, sensores, comunicación, internet) a todo lo que nos rodea hasta el punto que ya no podamos distinguir en nuestro uso diario donde empieza y termina una tecnología específica.

El término Internet de las cosas (IoT) resultó más llamativo porque da la imagen mental de las cosas conectándose a Internet sin la intervención humana y es el nombre más usado hoy en día, sin embargo se debe tener en cuenta lo que explica el profesor de estrategia de Harvard Michael Porter: el término Internet de las Cosas a veces nos da un modelo mental equivocado, “La diferencia fundamental que brindan los productos conectados e inteligentes no es internet sino el cambio en la naturaleza de las cosas. Son las nuevas habilidades de los objetos y los datos que ellos generan que son los factores principales de la nueva era.” Los objetos utilizan protocolos locales como Bluetooth, NFC y RFID conectados a una red local que en ocasiones no se interconecta con Internet.[¹¹].

1.3 ARQUITECTURA IoT

La IoT es un concepto emergente que se refiere a billones de conexiones entre dispositivos que generan información sin intervención humana también conocidos como dispositivos inteligentes que involucran sensores actuadores, pequeños microprocesadores, una interface de comunicación y una fuente de poder.

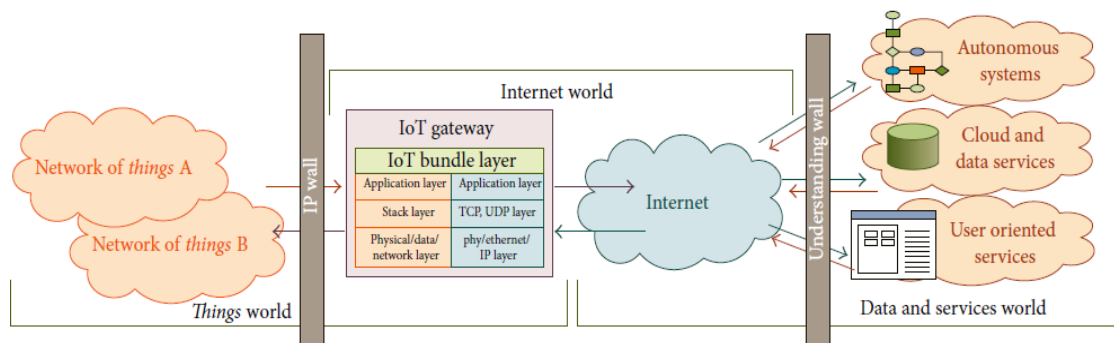
Desde el punto de la comunicación utilizar tecnologías y protocolos propietarios para aplicaciones muy específicas implica un obstáculo para su masificación por tal razón es conveniente adoptar tecnologías de comunicación estándar. Hay varias organizaciones internacionales como Internet Engineering Task Force (IETF) y la (IPSO) Alliance, que promueven el uso del protocolo IP para comunicar dispositivos IoT.

En la Figura 1 se muestra una descripción de la arquitectura de IoT en la imagen se notan tres secciones separadas por dos muros. El muro de la izquierda o muro IP separa al mundo de las cosas que están agrupadas en redes o quizá solas usando diversos protocolos y estándares de comunicación del mundo de internet; para poder comunicar las cosas al mundo de internet y luego acceder al mundo de los datos y servicios se requiere pasar por el muro de IP lo que significa que debe haber una transformación en los datos y protocolos de comunicación esa labor la hace el IoT gateway encargado de traducir y transformar el flujo de información del mundo de las cosas (sensores y actuadores , dispositivos inteligentes etc.) al mundo de internet y viceversa.

¹¹ Vazhnov Andrei, La red de todo, Internet de las cosas y el futuro de la economía conectada ()

Internet es simplemente un medio para comunicarse con un objetivo ubicado en cualquier parte del mundo, ese objetivo puede ser sistema autónomo, una granja de servidores de datos y servicios en la nube o una aplicación de usuario orientada a dar un servicio todos estos pertenecen al mundo de datos y servicios ubicados en la parte derecha de la imagen.[¹²]

Figura 1 Arquitectura de IoT



Tomado de Artículo Protocol and Architecture to Bring Things into Internet of Things

1.4 PROTOCOLOS Y ESTÁNDARES USADOS PARA PROVEER CONECTIVIDAD

La organización OneM2M estableció en el 2014 un borrador de especificaciones técnicas para dispositivos máquina a máquina (M2M) ellas definen algunas características principales y funcionalidades. Se define un modelo jerárquico de tres capas, Capa de red de comunicación en la base, capa de servicios comunes en el medio y capa de aplicaciones en la cima[¹³]

La organización IEEE con su protocolo IEEE1451 (Smart Transducer Protocol open standard) define un modelo para implementación de sensores inteligentes que deban ser conectados a redes para compartir su información a aplicaciones que corren en servidores remotos.[¹⁴]

Este protocolo es creado en 1999 y ha recibido varias adiciones a través de los años la versión IEEE1451.5 la parte creada en 2007 es la más usada y está basado en

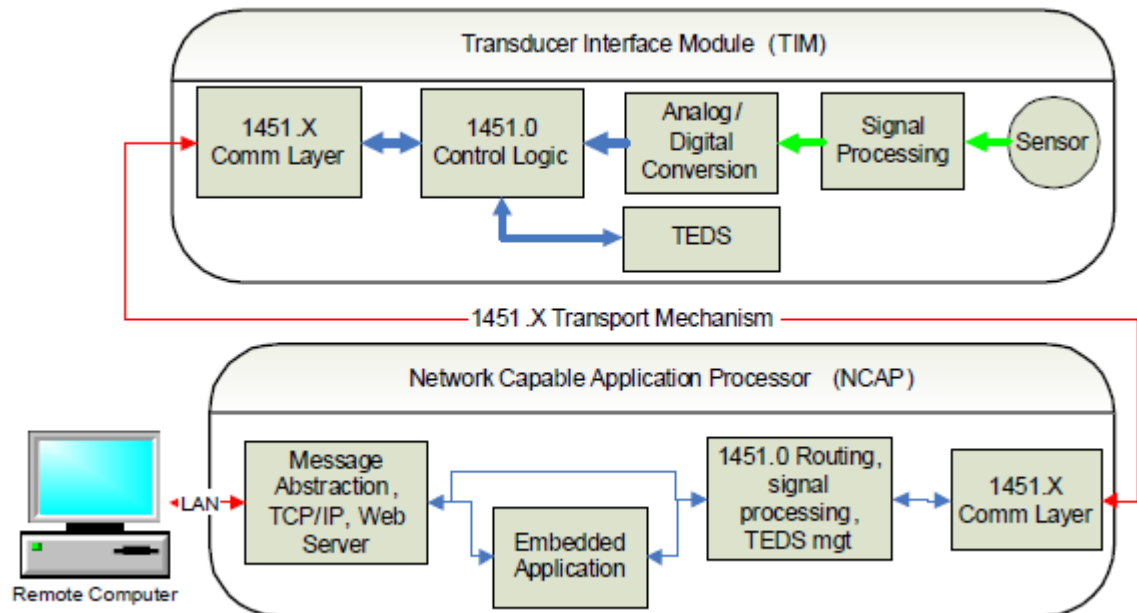
¹² Protocol and Architecture to Bring Things into Internet of Things (Ángel Asensio, Álvaro Marco, Rubén Blasco, and Roberto Casas Aragon Institute of Research, University Zaragoza, 50018 Zaragoza, Spain)(Hindawi Publishing Corporation International Journal of Distributed Sensor Networks Volume 2014, Article ID 158252) <http://www.hindawi.com/journals/ijdsn/2014/158252/>

¹³ Safe Data Transmission Architecture Based on Cloud for Internet of Things (Seokhoon Kim and Wonshik Na Springer Science+Business Media New York 2015

¹⁴ IEEE 1451-- A Universal Transducer Protocol Standard (Dr. Darold Wobschall President, Esensors Inc.) https://eesensors.com/media/wysiwyg/docs-pdfs/ESP16_Atest.pdf

protocolos existentes para redes inalámbricas compatible en su capa de comunicación con redes WiFi (IEEE 802.11), Bluetooth (IEEE 802.15.1), Zigbee (IEEE 802.15.4), 6LoWPAN (IEEE 802.15.4, IPv6) ver Figura 2

Figura 2 Descripción de protocolo estándar IEEE1451



Tomado de https://eesensors.com/media/wysiwyg/docs-pdfs/ESP16_Atest.pdf

Protocolo ZigBee son utilizados en dispositivos M2M están en el mercado y hacen parte del abanico de posibilidades en ser aplicados en dispositivos IoT. [15]

La ONF (Open Networking Foundation) trabaja para para promover la implementación del estándar SDN con protocolos tipo OpenFlow (es un protocolo estándar abierto que posibilita a los investigadores para correr protocolos experimentales en el campo de las redes de comunicación .Es añadido como una característica comercial en Ethernet switches, routers and wireless access points [16]) además el Network Functions Virtualization Industry Specification Group y la UIT(Unión Internacional de Telecomunicaciones) promueven la implantación de protocolos NFV(Network

¹⁵ Protocol and Architecture to Bring Things into Internet of Things (Ángel Asensio, Álvaro Marco, Rubén Blasco, and Roberto Casas Aragon Institute of Research, University Zaragoza, 50018 Zaragoza, Spain)(Hindawi Publishing Corporation International Journal of Distributed Sensor Networks Volume 2014, Article ID 158252)

<http://www.hindawi.com/journals/ijdsn/2014/158252/>

¹⁶ <http://archive.openflow.org/wp/learnmore/>

Functions Virtualization) y la SDN(Software-defined networking) como estándar para la cooperación entre naciones.[¹⁷]

1.5 VISIONES PARA LA SEGURIDAD EN LA IoT.

1.5.1 Modelo estático: Cuando se está diseñando sistemas que intercambian información es importante agregar las defensas adecuadas de acuerdo al diseño y arquitectura planteada. Muy importante tener en cuenta el tema de seguridad en la información desde el principio y no dejarla para agregarla después como un parche en el sistema después de descubrir las falencias en este aspecto.

La seguridad empieza teniendo en cuenta un modelo de riesgos cuyo objetivo es entender cómo un atacante podría ser capaz de comprometer un sistema y luego asegurarse de que las medidas de mitigación apropiadas están en su lugar.

El modelado de riesgos obliga al equipo de diseño a considerar medidas de mitigación antes que el sistema sea puesto en funcionamiento este hecho es muy importante, porque la adaptación de las defensas de seguridad a un gran número de dispositivos en el campo no es factible esta falta de tratamiento a las amenazas dejará a los clientes en situación de riesgo.

El modelado de riesgos puede ayudar a los equipos de desarrollo a entender lo que un atacante podría hacer y por qué. Es un proceso estructurado que crea una discusión acerca de las decisiones de seguridad de diseño en el sistema y que tiene en cuenta las características de seguridad y privacidad, los elementos pertinentes para evitar fallos seguridad, las características que definen un límite de confianza.

En el proceso de modelado de riesgos se modela la aplicación, se enumeran las amenazas, se mitigan las amenazas y se validan las mitigaciones[¹⁸]

Con el fin de optimizar la seguridad, se recomienda que una arquitectura típica de la IoT agregue sus componentes a varias zonas como parte del ejercicio de modelado de riesgos. Estas zonas comprenden: el dispositivo, el campo de puerta de enlace, Puerta de enlace en la nube y servicios[¹⁹]. Cada zona tiene sus propios datos y requisitos de autenticación y autorización están separadas por límites de confianza que se observa como la línea roja curva punteada en la Figura 3 y representa una transición de datos e información de una fuente a otra durante la cual la información puede ser objeto de suplantación de identidad, manipulación,

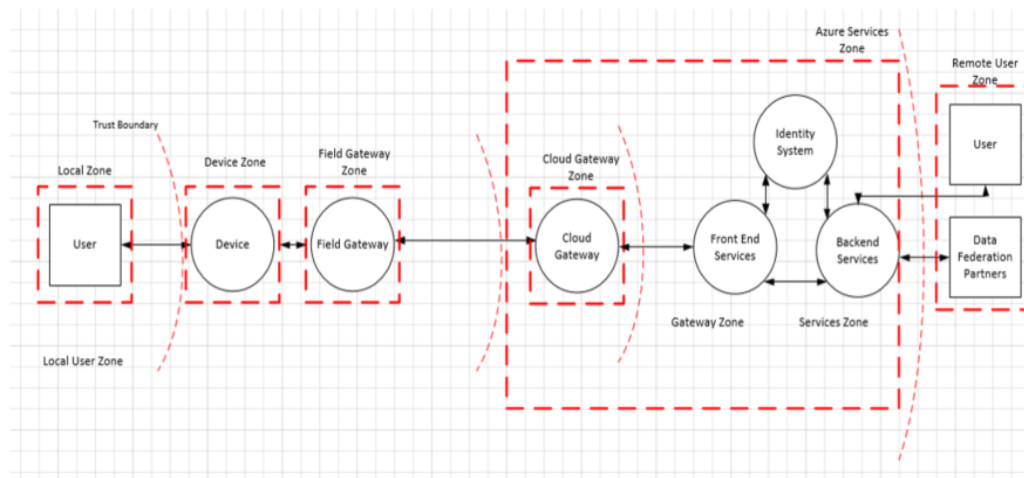
¹⁷ Seokhoon Kim Wonshik Na (Safe Data Transmission Architecture Based on Cloud for Internet of Things)

¹⁸ Yuri Diogenes <https://azure.microsoft.com/es-es/documentation/articles/iot-security-architecture/>

¹⁹ Yuri Diogenes <https://azure.microsoft.com/es-es/documentation/articles/iot-security-architecture/>

repudio, divulgación de información, denegación de servicio y la elevación de privilegios .

Figura 3 Zonas de seguridad y fronteras



Tomado de <https://azure.microsoft.com/es-es/documentation/articles/iot-security-architecture/>

Zona de dispositivo :

El entorno del dispositivo que tiene una comunicación local punto a punto con el usuario y que puede ser a través de un medio cableado o inalámbrico. También tiene la posibilidad de comunicación a través de una puerta de enlace a un medio público como internet y hacer intercambio de datos con un software de aplicación y servicios a través de una puerta de acceso en la nube permitiendo a un usuario remoto acceder, configurar, leer ,escribir , monitorear y analizar los datos por medio de un software de servicios.

Zona de puerta de enlace de campo:

Hace referencia a un dispositivo aparato o algún software de ordenador del servidor de propósito general que actúa como facilitador de la comunicación y potencialmente como un sistema de control del dispositivo ; son por lo general un destino en cuya ubicación podría estar sujeto a la intrusión física, y tendrán la redundancia operativa limitada y es diferente de un simple router de tráfico, ya que ha tenido un papel activo en la gestión del acceso y el flujo de información tiene dos superficies distintas. Por un lado tiene dispositivos que están conectados a la misma y representa el interior de la zona, y el otro se enfrenta a todas las partes externas y es el límite de la zona.

Zona de puerta de enlace en la nube:

La puerta de enlace de la nube es un sistema que permite la comunicación a distancia desde y hacia los dispositivos o puertas de enlace de campo de varios sitios diferentes a través del espacio de red pública, por lo general hacia un sistema de análisis de control y de datos basado en la nube o un grupo de tales sistemas. En algunos casos, una puerta de enlace nube puede facilitar inmediatamente el acceso a los dispositivos de propósito especial de los terminales, tales como tabletas o teléfonos. En el contexto discutido aquí, "nube" significa que se refiere a un sistema de procesamiento de datos dedicada que no está unido a él mismo sitio que los dispositivos conectados o puertas de enlace de campo puede potencialmente ser asignada a una superposición de virtualización de la red para aislar la puerta de entrada de nubes y todos sus dispositivos conectados o pasarelas de campo de cualquier otro tráfico de red. La propia puerta de enlace nube no es ni un sistema de control del dispositivo ni una instalación de procesamiento o almacenamiento de datos del dispositivo^[20]]

La zona de servicios

Un "servicio" se define en este contexto como cualquier componente de software o módulo que una operación de interfaz con los dispositivos de campo a través de una puerta de entrada o en la nube para la recolección y análisis de datos, así como para el mando y control. Los servicios son mediadores. Actúan bajo su identidad hacia las puertas de enlace y otros subsistemas para almacenar y analizar los datos de forma autónoma con comandos a los dispositivos basados en percepciones de datos o a los horarios y exponen las capacidades de información y control para los usuarios finales autorizados

Amenazas en procesos IoT

En cada una de las categorías esbozadas en la arquitectura de IoT se intenta mitigar varias amenazas diferentes en las distintas fases en que existe información o datos de proceso, comunicación y almacenamiento. A continuación se ofrece información general de las más comunes para la categoría de "proceso", seguida de cuál sería la mejor forma de mitigarlas:

Suplantación de identidad(S) : Un atacante captura material criptográfico de un dispositivo, en el nivel de hardware o en el de software, y posteriormente accede al sistema con otro dispositivo físico o virtual suplantando la identidad del dispositivo original .Un simple ejemplo son los mandos a distancia que pueden encender cualquier televisor y que son usados para hacer bromas.

²⁰ Yuri Diogenes <https://azure.microsoft.com/es-es/documentation/articles/iot-security-architecture/>

Denegación de servicio (D): un dispositivo se puede sacar de servicio al impedir que el pueda comunicarse interfiriendo con sus frecuencias de radio o cortar hilos. Por ejemplo, una cámara de vigilancia

Manipulación (T): Un atacante puede reemplazar parcial o totalmente el software que se ejecuta en un dispositivo, sacando provecho de la identidad genuina del dispositivo y así convertirlo en una herramienta con la cual obtiene de primera mano la información que origine, reciba o transmita permitiéndole alterar la información para lograr sus objetivos.

Divulgación de información (I): Si el dispositivo ejecuta software manipulado, dicho software puede proporcionar datos a partes no autorizadas. Por ejemplo, un atacante puede sacar provecho del material clave extraído para inyectarse a sí mismo en la ruta de acceso de comunicación entre el dispositivo y un controlador o la puerta de enlace del campo o la puerta de enlace en la nube para desviar información.

Elevación de privilegios (E): Puede el atacante forzar a un dispositivo a realizar tareas o acciones que no estaba autorizado para hacer . Por ejemplo, se puede obligar a una válvula programada para abrirse a la mitad a abrirse completamente.^[21]

1.5.2 Modelo dinámico: Hoy en día se desarrollan dos tendencias de manera paralela la computación en la nube y la internet de las cosas a futuro la fusión de estas tendencias es inevitable y son la clave para la convergencia de tecnologías en la informática y la comunicación.

Actualmente estas tendencias han evolucionado de manera independiente lo cual genera algunas limitaciones en apertura y estandarización dadas por el enfoque que dan sus arquitecturas de seguridad diferentes^[22]

²¹ Yuri Diogenes <https://azure.microsoft.com/es-es/documentation/articles/iot-security-architecture/>

²² Safe Data Transmission Architecture Based on Cloud for Internet of Things (Seokhoon Kim and Wonshik Na Springer Science+Business Media New York 2015)

Para solucionar estos problemas el Ph.D Seokhoon Kim^[23] y el Ph.D Wonshik Na^[24] han propuesto una arquitectura de transmisión de datos segura para los ecosistemas de IoT basados en un software en la nube el cual podrá proporcionar la seguridad en la transmisión de datos para sistemas que requieran una buena relación entre calidad del servicio y Calidad de experiencia (QoS /QoE.)

La calidad en el servicio para una red depende de varios parámetros como son el ancho de banda, latencia, pérdida y demora en la entrega de paquetes de datos mientras que la calidad de experiencia está dada como una evaluación dada por los usuarios para un servicio suministrado ^[25]

La arquitectura propuesta tiene tres estados instalar, iniciar y trabajar y cuatro fases la negociación la inicialización, la configuración y la ejecución además usa algunos conceptos de seguridad en la tecnología de Redes Definidas por Software (SDN)^[26] la cual es un conjunto de técnicas relacionadas con el área de redes computacionales, cuyo objetivo es facilitar la implementación e implantación de servicios de red de una manera determinista, dinámica y escalable, evitando al administrador de red gestionar dichos servicios a bajo nivel. Todo esto se consigue mediante la separación del plano de control (software) del plano de datos (hardware).^[27]

En el estado de inicialización se ajustan algunos parámetros como el tiempo de sincronización; en el estado de inicio se empieza la transmisión de datos y en el estado de trabajo se mantiene la transmisión de modo segura.

²³ Seokhoon Kim received the B.E. and Ph.D. degrees in computer engineering from Kyunghee University, Seoul, Republic of Korea, in 2000 and 2004, respectively. He currently works as an Assistant Professor at Changshin University, Changwon, Korea. His research interests include mobile IPTV, B4G, cross layer, QoS/QoE, Future Internet, and IoT.

²⁴ Wonshik Na is a Professor in Dept. of Computer Science at Namseoul University. He received the Ph.D. degree in Computer Engineering from Kyunghee University Korea, in 2005, His research interests are in the Network Security, Wireless LAN, Medical Information, Multimedia System.

²⁵ QoS and QoE in the Next Generation Networks and Wireless Networks (Pascal LORENZ)
lorenz@ieee.org

²⁶ Safe Data Transmission Architecture Based on Cloud for Internet of Things (Seokhoon Kim and Wonshik Na
Springer Science+Business Media New York 2015)

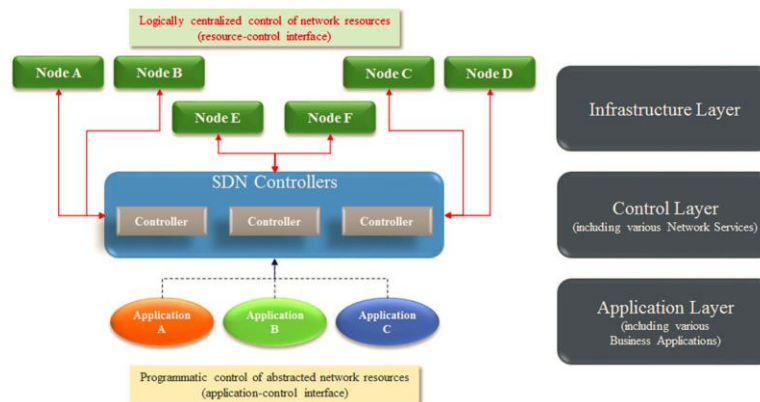
²⁷ https://es.wikipedia.org/wiki/Redes_definidas_por_software

En la tecnologías máquina a máquina (M2M) que han existido en el mercado y que generalmente tienen comunicaciones con protocolos que dependen del hardware del fabricante están evolucionando a una tecnología IoT con protocolos de comunicación estandarizados.

Debido a el hecho de que las tendencias tecnológicas (Computación en la nube, IoT , Big data Análisis, Video de alta definición) tienen atributos de tráfico muy diferentes cuando se compara con los atributos de tráfico legado de la era de las redes IP una nueva era de administración de redes aparece. Se necesita una solución con una arquitectura flexible que pueda ser controlada de forma dinámica. a eso se le conoce como Software Defined Environment (SDE). The SDE incluye al Software Defined Compute (SDC) al Software Defined Storage(SDS) y al Software defined Networking (SDN).

El SDN tiene una estructura de tres capas ver Figura 4 que son: La capa de aplicación, la capa de control y la capa de infraestructura [28]

Figura 4 Arquitectura de SDN



Tomado de artículo Safe Data Transmission Architecture Based on Cloud for Internet of Things)

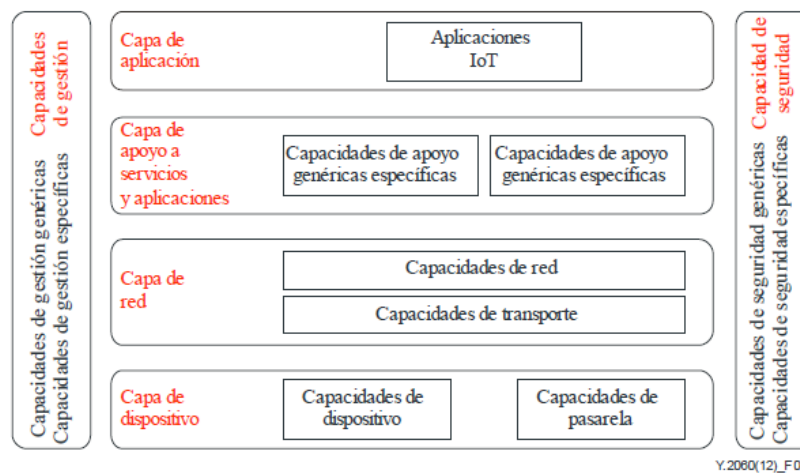
²⁸ Safe Data Transmission Architecture Based on Cloud for Internet of Things (Seokhoon Kim and Wonshik Na
Springer Science+Business Media New York 2015

2 MODELO DE REFERENCIA IoT , TECNOLOGÍAS EN LAS CAPAS DE DISPOSITIVOS Y DE RED

2.1 MODELO DE REFERENCIA IoT

Según las recomendaciones dadas por la UIT se propone un modelo de cuatro capas (ver Figura 5), cada una de ellas con capacidades de gestión y de seguridad.^[29]

Figura 5 Modelo de referencia IoT



Tomado de la Recomendación UIT-T Y.2060

En el presente documento nuestro interés se enfoca en las tecnologías desarrolladas para las capas de bajo nivel como son la capa de dispositivos y la capa de red.

Características fundamentales de IoT según UIT.

- **Interconectividad:** En el contexto de IoT, todo puede estar interconectado con la infraestructura mundial de la información y la comunicación.
- **Servicios relacionados con objetos:** IoT es capaz de suministrar servicios relacionados con los objetos dentro de las restricciones de objetos, como

²⁹ UIT-T, Recomendación UIT-T Y.2060

protección de la privacidad y coherencia semántica entre los objetos físicos y sus correspondientes objetos virtuales. Para ofrecer servicios relacionados con objetos dentro de las restricciones de objetos, las tecnologías en el mundo físico y en el de la información evolucionarán.

- **Heterogeneidad:** Los dispositivos en IoT son heterogéneos dado que se basan en diferentes plataformas hardware y redes. Pueden interactuar con otros dispositivos o plataformas de servicios a través de redes diferentes.
- **Cambios dinámicos:** El estado de los dispositivos varía dinámicamente, por ejemplo del modo reposo al activo, conectado y/o desconectado, así como el contexto del dispositivo, como la ubicación y velocidad. Además, el número de dispositivos también puede cambiar dinámicamente.
- **Escala enorme:** El número de dispositivos que ha de gestionarse y que se comunican entre sí puede ser incluso un orden de magnitud mayor que el número de dispositivos conectados actualmente a Internet. El porcentaje de comunicación que requerirán estos dispositivos será muchísimo mayor que el de la comunicación entre humanos. Será incluso más esencial la gestión de los datos generados y su interpretación para fines de aplicación, aspectos éstos que guardan relación con la semántica de datos y la manipulación eficiente de datos.”
[³⁰]

2.2 TECNOLOGÍAS EN LA CAPA DE DISPOSITIVO O FÍSICA EN REDES IoT.

Existen actualmente en el mercado una gran cantidad de módulos programables desarrollados por empresas que quieren hacerse a un pedazo del mercado de esta revolucionaria era que apenas empieza.

Cada una de estas empresas apuesta con sus productos en el mercado ofreciendo plataformas de desarrollo para principiantes, hobbistas y profesionales que requieren rápidamente dar una solución a sus ideas y proyectos a muy bajo precio y con poco uso de tiempo.

Entre toda esa gama se destacan los siguientes productos por tener como característica incorporada la posibilidad de comunicarse mediante uno o varios protocolos haciendo uso de tecnologías inalámbricas o posibilitando la inclusión de estos elementos a la IoT.

³⁰ UIT Recomendación UIT-T Y.2060 [Serie Y: Infraestructura mundial de la información ,aspectos del protocolo internet y redes de la próxima generación]

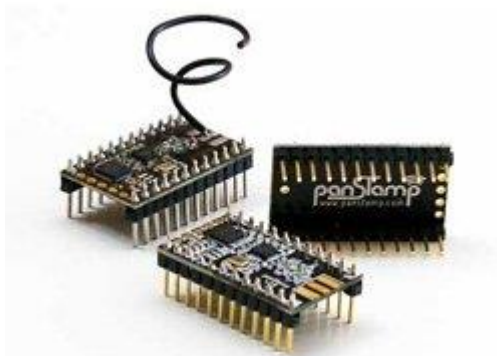
Adicionalmente están algunos bajo el concepto de Hardware y Software libre de dominio público con lo cual se puede acceder de forma fácil y gratuita a planos, software, librerías ejemplos de aplicación etc.

Se convierten en herramientas de muy bajo costo para desarrollo de proyectos de diversos requerimientos y características.

2.2.1 PanStamps. Son pequeños módulos programables inalámbricos para Arduino . Cada uno contiene un microcontrolador Atmega328p a 8MHz y una interface de comunicación RF de Texas Instruments CC1101 ,ofrecen la conectividad inalámbrica y potencia de cálculo adecuada para construir aplicaciones en hardware autónomas con bajo consumo de potencia.

Otras características como el voltaje de operación va de 2.5 VDC a 3.6 VDC un bajo consumo de corriente que llega a ser 1 uA en modo Sleep, tipo de conectividad Sub-1 GHz RF Transceiver 868/915 MHz concepto Open Source (sistema operativo GNU).[³¹]

Figura 6 Módulos de comunicación PanStamps para tarjetas Arduino.



Tomado de <http://www.panstamp.com/products/>

2.2.2 TinyDuin2. Es un circuito compatible con tarjetas Arduino en versión ultra compacta. Equivalente a una board arduino Uno. Tiene las siguientes características : Un procesador Atmega328P con 32KB de memoria Flash, 2KB RAM, 1KB EEPROM compatible con Arduino and LilyPad tiene un conector con 20 I/Os (14 Digital, 6 Analog / Digital I/O), opera entre 2.7 y 5.5 voltios ,consumo de 1.2 mAmp a 3 voltios 4 Mhz. puede tener conectividad Bluetooth , Wi Fi etc a través de un

³¹ <http://www.panstamp.com/products/>

módulo de comunicación como el TI CC3000 WiFi que soporta protocolo 802.11b/g, con diferentes modos de seguridad configurable (None, WEP, WPA and WPA2), dirección ip configurable fija o dinámica (DHCP). Además incluye una antena integrada en la tarjeta que dan un rango de 100 metros. Concepto Open Source para licencia de uso.

Diseñado para aplicaciones que requieran tamaños muy limitados en espacio. (tiene un tamaño de 20mm *20 mm altura de 3 mm sin receptor de batería o 7 mm con receptor batería)³²

Figura 7 Modulo TinyDuino



Tomado de <https://tinycircuits.com/collections/all>

2.2.3 Arduino Yún. Es una board basada en los microcontroladores ATMEGA32U4 y el Atheros AR9331. El procesador Atheros es compatible con una distribución Linux basada en OpenWRT llamado Linino. La board soporta Ethernet y WiFi, cuenta con un puerto USB, slot para tarjeta micro-SD y 20 pines digitales I/O (de los cuales 7 pueden ser usados como salidas PWM y 12 como entradas análogas), un cristal de 16 Mhz, conexión micro USB, conector ICSP y 3 botones de Reset.

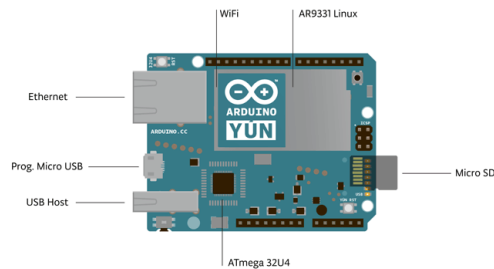
Yún se diferencia de las otras boards Arduino en que puede comunicarse con la distribución de linux instalada, ofreciendo una computadora poderosamente conectada, con las facilidades de Arduino. Adicionalmente a los comandos de Linux como cURL, puedes escribir tus propios scripts Python para interacciones más robustas.

Arduino Yún tiene en común con Arduino Leonardo el microcontrolador ATmega23u4, que tiene comunicación USB incorporada, eliminando la necesidad de un microcontrolador secundario. Esto le permite a la board Yún, aparecer como un mouse y teclado, en adición a un puerto virtual (CDC) serial/COM, cuando se conecta a un computador.

³² <https://tinycircuits.com/collections/all>

La librería Bridge facilita la comunicación entre los dos procesadores, dando a los sketch de Arduino la habilidad de correr scripts Shell, comunicarse con interfaces de red y recibir información del procesador AR9331. El host USB, interface de red y la tarjeta SD no están conectados a l 32u4 pero el AR9331 y la librería Bridge permiten a Arduino interactuar con estos periféricos.

Figura 8 Modulo Arduino Yún



Tomado de <https://blog.arduino.cc/2013/05/18/welcome-arduino-yun-the-first-member-of-a-series-of-wifi-products-combining-arduino-with-linux/>

Características:

La board Arduino Yún cuenta con dos procesadores, la información se muestra para cada uno por separado:

Microcontrolador AVR Arduino

Microcontrolador ATmega32u4, Voltage de operación 5V, Pines Digitales I/O 20 , Canales PWM 7, Entradas Análogas 12, Corriente DC por Pin I/O 40 mA, Memoria Flash 32 KB (4 KB usadas por el bootloader), SRAM 2.5 KB, EEPROM 1 KB, Velocidad del reloj 16 MHz.

Linux microprocessor:

Procesador

Atheros AR9331, Arquitectura MIPS @400MHz, Voltaje de operación 3.3V, Ethernet IEEE 802.3 10/100Mbit/s, WiFi IEEE 802.11b/g/n, USB Type-A, 2.0 Host/Device, Card Reader ,Micro-SD, RAM 64 MB DDR2, Memoria Flash 16 MB, PoE compatible 802.3af.

- 2.2.4 Pinoccio.** Es un módulo con microcontrolador listo para usar en la web conectividad Wi Fi, contiene una batería recargable Lipo. Contiene una API (Interface de programación de Aplicaciones) que le permite interactuar en la Web de manera muy fácil.

Características:

Procesador Atmel ATmega256RFR2 con radio incorporado, 17 pines digitales I/O , 8 pines entradas analógicas, 16MHz MCU, 32k SRAM, LiPo batería recargable, Sensor de temperatura incorporado, Conectividad : 802.15.4 & WiFi, Open Source^[33]

Figura 9 Modulo Pinoccio.



Tomado de <https://www.crowdsupply.com/pinoccio/mesh-sensor-network>

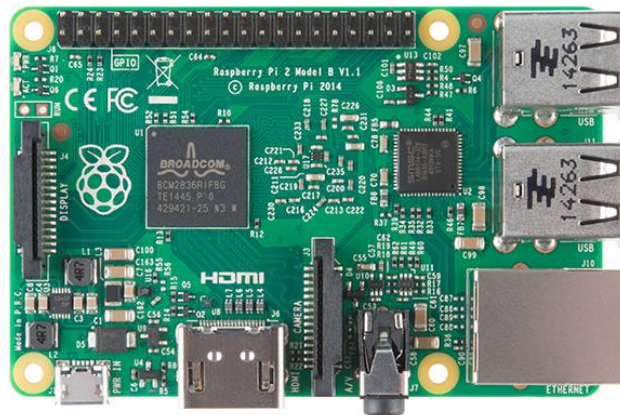
2.2.5 Raspberry Pi. Es un computador construido en una sola tarjeta de tamaño muy reducido según el modelo, la versión Pi 2 tiene las siguientes características que lo hacen versátil para proyectos IoT.

Características: 4 puertos USB, pines GPIO (40 pines) , Sistema de alimentación Micro USB 5V 2A , puerto para memoria microSD, Audio y Video combinado todo dentro del conector de 3.5mm jack, salida HDMI, 10/100 Ethernet (RJ45), Requisitos de alimentación: 5 V a 600 mA a través de microUSB o GPIO Header, funciona con cualquiera de los siguientes sistemas operativos Debian GNU / Linux, Fedora, Arch Linux, RISC OS y Más.^[34]

³³ <https://www.crowdsupply.com/pinoccio/mesh-sensor-network>

³⁴ <https://www.raspberrypi.org/>

Figura 10 Modulo Rasperry Pi 2



Tomado de
http://www.dynamoelectronics.com/index.php?page=shop.product_details&flypage=dynamo.tpl&product_id=1124&category_id=140&option=com_virtuemart&Itemid=58

2.2.6 BeagleBone Black. Es una plataforma de desarrollo en hardware diseñada para desarrolladores de proyectos prototipos, educación y amantes de la electrónica en general.

BeagleBone integra un procesador ARM Cortex-A8 y memoria con 256MB RAM DDR2 de bajo consumo de energía, permitiendo a los aficionados, los innovadores y los ingenieros ir más allá de su imaginación usando todas las capacidades que tiene esta board. La Beagle Bone Black puede funcionar como un sistema de expansión USB o Ethernet para otras tarjetas o puede funcionar de forma independiente.

Características:

- * 700Mhz Super-escalar ARM Cortex-A8, 256MB RAM DDR2, * 1 puerto USB 2.0 host
- 10/100 Ethernet, puerto microSD, USB a Serial/JTAG, HDMI .Open Source parcial.

Figura 11 Tarjeta Beagle Bone Black



Tomada de <http://beagleboard.org/bone/>

2.2.7 SanCloud BeagleBone Enhanced. SanCloud BEAGLE BONE Enhance es un esfuerzo conjunto de BeagleBoard.org y SanCloud. Se basa en el diseño del hardware de código abierto de BEAGLEBONE BLACK con velocidad mejorada, Ethernet (Gigabit), RAM (GB), un concentrador USB, sensores incorporados y una opción / Bluetooth WiFi.

Características:

Processor: AM335x 1GHz ARM® Cortex-A8, 1GB DDR3 RAM, 4GB 8-bit eMMC on-board flash storage, 3D graphics accelerator, NEON floating-point accelerator, 2x PRU 32-bit microcontrollers.

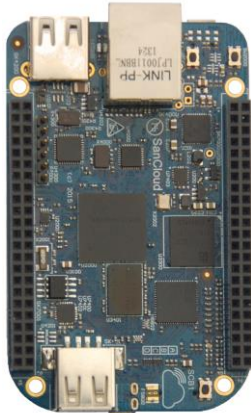
Compatibilidad con sistemas operativos:

Debian, Android, Ubuntu, Cloud9 IDE on Node.js w/ BoneScript library entre otros.

Conectividad: USB client for power & communications , 4x USB host, Gigabit Ethernet

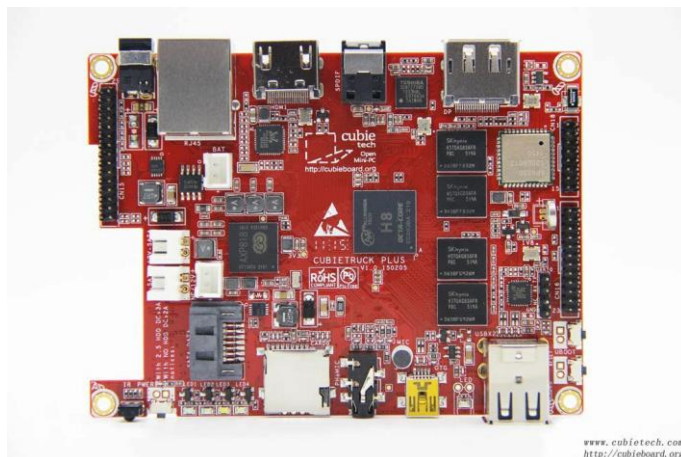
2x 46 conectores de pin.

Figura 12 Tarjeta SanCloud BeagleBone Enhanced



2.2.8 Cubieboard. Es un computador de tamaño reducido en una solo circuito impreso pero que contiene todo lo necesario para ser una buena plataforma de desarrollo móvil . Su procesador es el Allwinner A80 de ocho núcleos opera a una frecuencia de 2 Ghz. También posee el procesador gráfico PowerVR G6230 de 64 núcleos. Tiene las interfaces estándar de un computador de escritorio, tales como HDMI y VGA, 100M / 1000M RJ45, 4 puertos host USB 2.0, 1 puerto USB 3.0 OTG, salida de audio, entrada de micrófono, WiFi de banda dual y Bluetooth 4.0, micro SD tarjeta. Tiene además 2 GB DDR3 de memoria. Compatible con sistemas operativos como Android, Ubuntu Linaro desktop y Debian.[³⁵]

Figura 13 Módulo cubieboard



Tomada de <http://cubieboard.org/>

³⁵ <http://cubieboard.org/>

2.2.9 Nanode Es una plataforma de bajo costo para el desarrollo creativo de ideas conectadas a la Web. Es como un Arduino con un escudo de Ethernet incorporada. Fácilmente actualizable a la tecnología inalámbrica mediante la adición de un kit de radio 433Mhz. Contiene un microcontrolador ATmega328P , hasta 14 entradas y salidas digitales, 32KB ISP de memoria flash, puerto de expansión para memoria (SRAM, Flash or FRAM)
Connectividad : puertos Ethernet y opción de instalarle radios a 868MHz y 433MHz.[³⁶]

Figura 14 Tarjeta Nanode



Tomada de <http://postscapes.com/internet-of-things-hardware>

2.2.10 WeIO. Es una plataforma innovadora de hardware y software con código abierto para la creación rápida de prototipos y la creación de objetos interactivos conectados de forma inalámbrica utilizando sólo los lenguajes web populares como HTML5 o Python. Al usar WeIO se pueden conectar objetos de una manera muy simple solo se necesita usar una plataforma de software para crear páginas web en la cual se interconectan todos los objetos conectados al hardware de la tarjeta. Se visualiza directamente todo mediante un navegador web. La tarjeta contiene todo lo necesario para de manera inalámbrica mediante Wi Fi pueden conectarse todos los objetos sin necesidad de cables de control o comunicación.

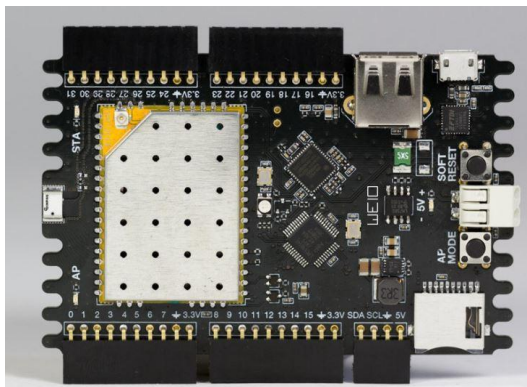
Sus características son estas:

³⁶ <http://postscapes.com/internet-of-things-hardware>

Está basado en un Python powered Tornado WebSocket server, 16 MB Flash and 64 MB DDR2 RAM, 32 x GPIO, 1 x UART, Conectividad WiFi IEEE 802.11, bgn 1x1 2.4 GHz integrated into AR9331 procesador, puerto GPIO con 32 entradas y salidas digitales, 8 conversores Analogo a digital 10 bits, 6 PWM de 16 bits, 1 puerto USB, 1 puerto mini USB, 1 puerto ethernet, puerto micro SD, sensor de temperatura LM75 incluido.

Sistemas operativos y software : Openwrt Linux, Kernel 3.7.9
Open Source: GPL Licence 3

Figura 15 Módulo WEIO



Tomada de <http://we-io.net/hardware/>

2.2.11 Rascal. Es un pequeño computador en tamaño pero grande en versatilidad con el cual se puede controlar lo que se imagine remotamente. maneja tráfico real de la web pero con herramientas poderosas que le facilitan a cualquier persona sin ser profesional en ingeniería electrónica desarrollar un proyecto.

Su programación se hace a través de un editor web propietario instalado en la tarjeta se programa en lenguaje Pytronics una librería de Python de funciones simples para la lectura y comunicación con sensores. Puede también usar Javascript, JQuery y JQplot para gráficos los cuales vienen ya preinstalados.

Adicionalmente permite conectarse a la mayoría de cientos de accesorios de Arduino aumentando su versatilidad en la construcción de prototipos^[37]

Características : Editor de eWeb server incluye a built-in editor, procesador Atmel AT91SAM9G20 400 MHz, 64 MB RAM, 2 chips para Programa en Python 32MByte SDRAM.

Conectividad: Ethernet

³⁷ <http://rascalmicro.com/index/>

Figura 16 Tarjeta Rascal



Tomado de <http://rascalmicro.com/index/>

2.2.12 Udo. Es una multiplataforma de desarrollo para sistema operativos Android, Linux, Arduino y Google ADK 2012. Esta tarjeta está diseñada para dar un ambiente de programación muy flexible a aquellos que se aventuran a desarrollar proyectos en el ámbito de IoT.^[38] Sus características :

Procesador Freescale i.MX 6 ARM Cortex-A9 CPU, Dual/Quad core 1GHz
Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3 CPU, RAM DDR3 1GB, 54 Digital I/O + entrada
Análoga, puertos HDMI y LVDS + Touch (I2C signals)
Connectividad: Ethernet, WiFi

Figura 17 Tarjeta UDOO QUAD/DUAL



Tomada de <http://www.udoo.org/>

³⁸ <http://www.udoo.org/>

2.2.13 Libelium Wasmote Es una plataforma de sensores inalámbricos especialmente contruidos para aplicaciones de bajo consumo de energía lo que los hace óptimos para trabajar con baterías ofreciendo un tiempo de vida entre 1 y 5 años dependiendo de su ciclo de trabajo en uso.

Características:

Procesador ATmega1281, disponibilidad para programar 60 sensors, sensor de temperatura en y acelerómetro en la tarjeta, en modo Hibernación consume 0.06 μ A. Connectividad : 8 interfaces inalámbricas incluyendo de amplio rango (3G / GPRS), rango medio (802.15.4, ZigBee, WiFi) y corto rango (Bluetooth, RFID, NFC)³⁹

Figura 18 Tarjeta Libelium Wasmote



Tomada de <https://www.cooking-hacks.com/documentation/tutorials/wasmote>.

2.2.14 Intel Galileo. Es una tarjeta de desarrollo basada en la arquitectura de Intel para específicamente diseñada para desarrolladores, estudiantes, educadores y entusiastas de la electrónica.

Características:

Procesador Intel® Quark™ SoC X1000 a 32-bit, un núcleo, con un set de instrucciones de arquitectura reducida (ISA) a frecuencia de operación de 400 MHz.

Soporta un amplio rango de puertos de entrada y salida tales como slot mini PCI ,puerto 100 Mb Ethernet, Micro SD, puerto USB host y USB cliente, 256 MB DDR3, 512 kb SRAM, 8 MB NOR Flash, and 8 kb EEPROM standard en la tarjeta, además soporta tarjetas microSD hasta 32 GB. compatibilidad en pines de hardware con una amplia variedad de accesorios Arduino R3, programación a través de sistemas de desarrollo de arduino que son soportados en Microsoft windows, Mac OS y

³⁹ <https://www.cooking-hacks.com/documentation/tutorials/wasmote>

Linux, Pulse-Width Modulation (PWM) de 12 bit para un control más preciso de servomotores, puerto de 12 voltios Power-over-Ethernet (PoE), Sistema regulador de potencia permite trabajar con fuentes de 7 a 15 voltios, El kit de desarrollador IoT Galileo Gen 2 puede ser programado en C, C++, Python, Node.js (javascript), Wyliodrin y ambientes de programación visual de navegadores remotamente conectados.[⁴⁰]

Figura 19 Tarjeta Intel Galileo



Tomada de <http://www.intel.la/content/www/xl/es/do-it-yourself/galileo-maker-quark-board.html>

2.3 TECNOLOGÍAS DE LA CAPA DE RED O CONECTIVIDAD EN REDES IoT.

La IoT es la primera evolución real que ha tenido la Internet, generando un gran progreso en diversos aspectos como se identifica en la Figura 20 [⁴¹]

La capa de red consta de las siguientes capacidades:

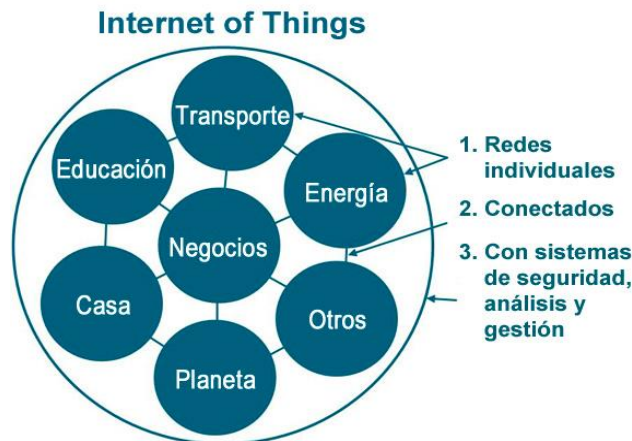
- Capacidades de red: ofrecen funciones de control de la conectividad en red, tales como funciones de control de acceso y de recursos de transporte, gestión de la movilidad y autenticación, autorización y contabilidad.

⁴⁰ <http://www.intel.la/content/www/xl/es/do-it-yourself/galileo-maker-quark-board.html>

⁴¹ Dave Evans, Cisco IBSG, Internet of Things, La próxima evolución de Internet lo está cambiando todo

- Capacidades de transporte: centradas en suministrar conectividad para el transporte de información y datos específicos de servicios y aplicaciones IoT, así como el transporte de información de control y gestión relacionada con IoT. [42]

Figura 20 IoT red de redes



Tomado de IBSG de Cisco, abril de 2011

Las redes se clasifican según su cobertura de la siguiente forma:

- Red de Area Personal (PAN), de manera inalámbrica se denomina WPAN.
- Red de Area Local (LAN), de manera inalámbrica se denomina WLAN.
- Red de Area Metropolitana (MAN), de manera inalámbrica se denomina WMAN.
- Red de Area Extensa (WAN), de manera inalámbrica se denomina WWAN.[43]

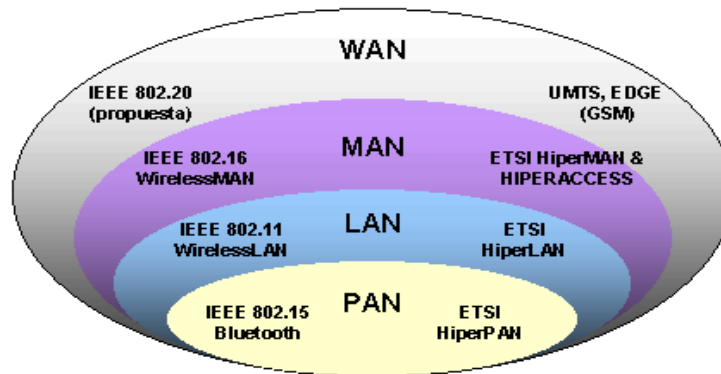
En la Figura 21 se observan la clasificación de redes inalámbricas según su cobertura y algunos estándares base de tecnologías desarrolladas en cada nivel de red.

⁴² UIT-T, Recomendación UIT-T Y.2060

⁴³ Wikipedia, Redes inalámbricas consultado en https://es.wikipedia.org/wiki/Red_inal%C3%A1mbrica

Figura 21 Clasificación de redes inalámbricas

Posicionamiento de Estándares Wireless



Tomado de https://es.wikipedia.org/wiki/Red_inalambrica

2.3.1 Red de Área Personal Inalámbrica (WPAN) Son redes de datos inalámbricas utilizadas principalmente para la conectividad de equipos portátiles personales con características de baja tasa de transmisión de datos y de bajo alcance, útil para la comunicación de dispositivos inalámbricos (PDA, periféricos, o para la automatización en el hogar. Desarrollado por la IEEE e identificado con el estándar IEEE 802.15. [44]

2.3.1.1 IEEE 802.15.4 Estándar desarrollado por la IEEE basado en redes WPAN las características más importantes en este estándar son su flexibilidad de red, bajos costos, bajo consumo de energía y una tasa baja en la transmisión de datos, en la tabla 1 se observan las propiedades más importantes del este estándar. [45]

⁴⁴ Consultado en http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/valle_i_lf/capitulo2.pdf

⁴⁵ Consultado en http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/archundia_p_fm/capitulo4.pdf

Tabla 1 Propiedades del IEEE 802.15.4

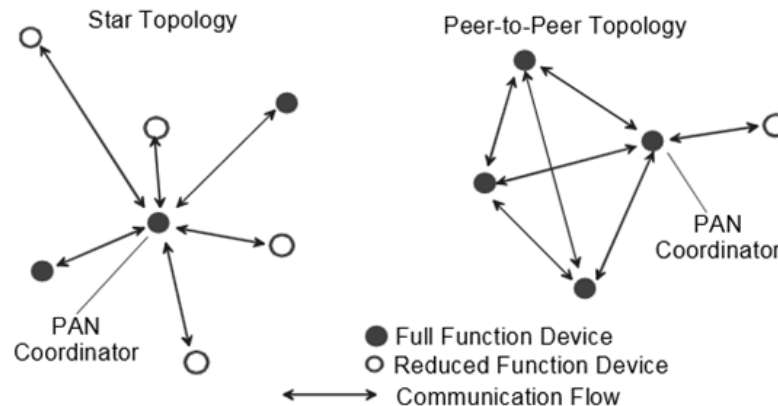
| Propiedad | Rango |
|-------------------------------|--|
| Rango de transmisión de datos | 868 MHz: 20kb/s; 915 MHz: 40kb/s; 2.4 GHz: 250 kb/s. |
| Alcance | 10 – 20 m. |
| Latency | Abajo de los 15 ms. |
| Canales | 868/915 MHz: 11 canales. 2.4 GHz: 16 canales. |
| Bandas de frecuencia | Dos PHY: 868/915 MHz y 2.4 GHz. |
| Direccionamiento | Cortos de 8 bits o 64 bits IEEE |
| Canal de acceso | CSMA-CA y rasurado CSMA-CA |
| Temperatura | El rango de temperatura industrial: -40° a +85° C |

Tomada de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/archundia_p_fm/capitulo4.pdf)

El estándar IEEE 802.15.4 soporta múltiples topologías para su conexión en red, entre ellas la topología tipo estrella (Star) y la topología de igual a igual (peer-to-peer) [46]

⁴⁶ IEEE Computer Society, 802.15.4TM IEEE Standard for Information technology Telecommunications and information exchange between systems

Figura 22 Topología de red Star o Peer to Peer



Tomada de <http://user.engineering.uiowa.edu/~mcover/lab4/802.15.4-2003.pdf>

2.3.1.2 Bluetooth. Basado en el estándar IEEE 802.15.1, inicialmente diseñado para funciones como:

- Facilitar las comunicaciones entre equipos móviles.
- Eliminar los cables y conectores entre éstos.
- Ofrecer la posibilidad de crear pequeñas redes inalámbricas y facilitar la sincronización de datos entre equipos personales.

La tecnología Bluetooth ha evolucionado desde su creación y en el caso de su aplicación para las IoT el SIG de Bluetooth ha completado la especificación del Núcleo de Bluetooth en su versión 4.0, que incluye al Bluetooth clásico, el Bluetooth de alta velocidad y los protocolos Bluetooth de bajo consumo. El bluetooth de alta velocidad se basa en Wi-Fi, y el Bluetooth clásico consta de protocolos Bluetooth preexistentes. Esta versión ha sido adoptada el 30 de junio de 2010. El bluetooth de baja energía (Bluetooth Low Energy o BLE) es un subconjunto de Bluetooth v4.0 con una pila de protocolo completamente nueva para desarrollar rápidamente enlaces sencillos. Como alternativa a los protocolos estándar de Bluetooth que se introdujeron en Bluetooth v1.0 a v4.0 está dirigido a aplicaciones de muy baja potencia alimentados con una pila botón. Diseños de chips permiten dos tipos de implementación: modo único (incluye BLE) y modo dual (incluye BLE y Bluetooth clásico) .

En implementaciones de modo único solo se incluye la pila de protocolo de baja energía. CSR,¹⁶ Nordic Semiconductor¹⁷ y Texas Instruments¹⁸ han dado a conocer solo las soluciones modo Bluetooth de baja energía.

Tiene una velocidad de emisión y transferencia de datos de 32Mb/s

Se integra la funcionalidad de existente en implementaciones de modo dual.

Desde marzo de 2011 los siguientes fabricantes de semiconductores han anunciado la disponibilidad de chips que cumplen esta norma: Atheros, CSR,

Broadcom y Texas Instruments. La arquitectura resultante comparte la radio y funcionalidades del Bluetooth clásico, resultando en un incremento de coste despreciable comparado con el Bluetooth clásico. [47]

2.3.1.3 Zigbee Es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radiodifusión digital de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (WPAN). Su objetivo son las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías.

Se definen tres tipos distintos de dispositivo ZigBee según su papel en la red:

- Coordinador ZigBee (ZigBee Coordinator, ZC). El tipo de dispositivo más completo. Debe existir al menos uno por red. Sus funciones son las de encargarse de controlar la red y los caminos que deben seguir los dispositivos para conectarse entre ellos.
- Router ZigBee (ZigBee Router, ZR). Interconecta dispositivos separados en la topología de la red, además de ofrecer un nivel de aplicación para la ejecución de código de usuario.
- Dispositivo final (ZigBee End Device, ZED). Posee la funcionalidad necesaria para comunicarse con su nodo padre (el coordinador o un router), pero no puede transmitir información destinada a otros dispositivos. De esta forma, este tipo de nodo puede estar dormido la mayor parte del tiempo, aumentando la vida media de sus baterías. Un ZED tiene requerimientos mínimos de memoria y es por tanto significativamente más barato.

Son diversas las características y ventajas que lo diferencian de otras tecnologías destacándose:

- ✓ Su bajo consumo, el cual se debe a que este sistema se queda la mayor parte del tiempo dormido, los dispositivos finales solo se activa al comunicarse con el router.
- ✓ Su topología de red en malla. Una red ZigBee puede constar de un máximo de 65535 nodos distribuidos en subredes de 255 nodos.
- ✓ Su fácil integración (se pueden fabricar nodos con muy poca electrónica).
- ✓ Su principal uso se da en la Domótica [48]

2.3.1.4 Z Wave. Esta tecnología se caracteriza por::

- Bajo costo, brindando asequibilidad a productos de nivel de consumidor con funciones de red.

⁴⁷ <https://es.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>

⁴⁸ Consultado en <https://es.wikipedia.org/wiki/ZigBee>

- Topología de red de malla, permitiendo extender las redes más allá de lo que es posible en el rango directo.
- Bajo consumo de energía, sin embargo por ser una tecnología inalámbrica sufre frecuentes caídas de tramas debido a los efectos de atenuación, de ruido espurio y reflexiones. ZWAVE ofrece retransmisiones de bajo nivel para recuperarse de este tipo de situaciones.
- El marco Z-Wave incorpora sus propias capas de red, transporte y aplicación, soportando el transporte IP, así como protocolos de enrutamiento IP.
- Los nodos reciben un NodeID único durante inclusión red. Una red puede contener hasta 232 nodos.
- A HomeID se utiliza para identificar un dominio específico.
- HomeID y NodeID son autoconfigurado sin intervención del usuario.
- La capa de red Z-Wave define el protocolo de enrutamiento Z-Wave que es un protocolo de enrutamiento de origen. El protocolo de enrutamiento Z-Wave permite un originador para llegar a un nodo de destino a través de uno o más repetidores. Un algoritmo de descubrimiento de reactivos permite a los originadores que determinen nuevas rutas de origen cuando sea necesario.
- Utiliza un formato de trama especial para mensajes de multidifusión. El encabezado de la trama de multidifusión lleva un completo mapa de bits de destino en el encabezado de la trama.
- Sus aplicaciones se dan en domótica o automatización del hogar: reguladores de intensidad de luz con control remoto, sensores de temperatura en red, cerraduras electrónicas y sistemas de vigilancia y control de acceso. [⁴⁹]
- Utilizado en dispositivos Raspberry Pi [⁵⁰]

2.3.2 Redes de Área Local (LAN y WLAN). Actualmente existen redes de área local LAN (conexión por medios alambrados u ópticos) y las redes de área local inalámbricas WLAN.

La topología de red define la estructura de una red. Una parte de la definición topológica es la topología física, que es la disposición real de los cables o medios. La otra parte es la topología lógica, que define la forma en que los hosts acceden a los medios para enviar datos.

Las topologías físicas más comúnmente usadas son las siguientes:

- Topología de Bus
- Topología de Anillo
- Topología en Estrella

⁴⁹ ITU-T, Recomendación ITU-T G.9959, <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.9959-201501-I/es>

⁵⁰ <https://en.wikipedia.org/wiki/Z-Wave>

- Topología en Estrella Extendida
- Topología Jerárquica
- Topología de Malla
- Topología de Árbol
- Topología de Doble Anillo
- Topología Mixta

Las topologías lógicas se cuentan con:

- Topología Broadcast
- Topología transmisión de Tokens

En este tipo de redes se siguen diversos estándares como los IEEE 802.3 (redes LAN cableadas u ópticas) y los IEEE 802.11 (redes LAN inalámbricas o WLAN), a continuación se describirán algunos detalles de cada una de ellas:

2.3.2.1 Ethernet (IEEE 802.3) Ethernet (también conocido como estándar IEEE 802.3) es un estándar de transmisión de datos para redes de área local que se basa en el siguiente principio: Todos los equipos en una red Ethernet están conectados a la misma línea de comunicación compuesta por cables cilíndricos. Se distinguen diferentes variantes de tecnología Ethernet según el tipo y el diámetro de los cables utilizados (ver Tabla 2).

Como su principio de transmisión todos los equipos de una red Ethernet están conectados a la misma línea de transmisión y la comunicación se lleva a cabo por medio de un protocolo denominado CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detect que significa que es un protocolo de acceso múltiple que monitorea la portadora: detección de portadora y detección de colisiones).

Con este protocolo cualquier equipo está autorizado a transmitir a través de la línea en cualquier momento y sin ninguna prioridad entre ellos. Esta comunicación se realiza de manera simple. Cada equipo verifica que no haya ninguna comunicación en la línea antes de transmitir. Si dos equipos transmiten simultáneamente, entonces se produce una colisión (o sea, varias tramas de datos se ubican en la línea al mismo tiempo). Los dos equipos interrumpen su comunicación y esperan un período de tiempo aleatorio, luego una vez que el primero ha excedido el período de tiempo, puede volver a transmitir.^[51]

⁵¹ Kioskea, Ethernet, consultado en <http://es.ccm.net/contents/672-ethernet>

Tabla 2 Propiedades del IEEE 802.3

| Abreviatura | Nombre | Cable | Conector | Velocidad | Puertos |
|-------------|----------------------------------|---|----------|-------------|---------|
| 10Base2 | Ethernet delgado (Thin Ethernet) | Cable coaxial (50 Ohms) de diámetro delgado | BNC | 10 Mb/s | 185 m |
| 10Base5 | Ethernet grueso (Thick Ethernet) | Cable coaxial de diámetro ancho (10,16 mm) | BNC | 10Mb/s | 500 m |
| 10Base-T | Ethernet estándar | Par trenzado (categoría 3) | RJ-45 | 10 Mb/s | 100 m |
| 100Base-TX | Ethernet veloz (Fast Ethernet) | Doble par trenzado (categoría 5) | RJ-45 | 100 Mb/s | 100 m |
| 100Base-FX | Ethernet veloz (Fast Ethernet) | Fibra óptica multimodo (tipo 62,5/125) | | 100 Mb/s | 2 km |
| 1000Base-T | Ethernet Gigabit | Doble par trenzado (categoría 5) | RJ-45 | 1000 Mb/s | 100 m |
| 1000Base-LX | Ethernet Gigabit | Fibra óptica monomodo o multimodo | | 1000 Mb/s | 550 m |
| 1000Base-SX | Ethernet Gigabit | Fibra óptica multimodo | | 1000 Mbit/s | 550 m |
| 10GBase-SR | Ethernet de 10 Gigabits | Fibra óptica multimodo | | 10 Gbit/s | 500 m |
| 10GBase-LX4 | Ethernet de 10 Gigabits | Fibra óptica multimodo | | 10 Gbit/s | 500 m |

Tomada de <http://es.ccm.net/contents/672-ethernet>

2.3.2.2 WiFi (IEEE 802.11). Es una tecnología de conexión de dispositivos electrónicos de forma inalámbrica, los cuales pueden conectarse a internet a través de un punto de acceso de red inalámbrica. Está basada en la norma IEEE 802.11 la cual fue diseñada para sustituir el equivalente a las capas físicas y MAC de la norma 802.3 (Ethernet). Esto quiere decir que en lo único que se diferencia una red wifi de una red Ethernet es en cómo se transmiten las tramas o paquetes de datos; el resto es idéntico. Por tanto, una red local inalámbrica 802.11 es completamente compatible con todos los servicios de las redes locales (LAN) de cable 802.3 (Ethernet).

Los estándares IEEE 802.11b, IEEE 802.11g y IEEE 802.11n disfrutaron de una aceptación internacional debido a que la banda de 2,4 GHz está disponible casi universalmente, con una velocidad de hasta 11 Mbit/s, 54 Mbit/s y 300 Mbit/s, respectivamente.

En la actualidad ya se maneja también el estándar IEEE 802.11ac, conocido como WIFI 5, que opera en la banda de 5 GHz y que disfruta de una operatividad con canales relativamente limpios. La banda de 5 GHz ha sido recientemente habilitada y, además, no existen otras tecnologías (Bluetooth, microondas, ZigBee, WUSB) que la estén utilizando, por lo tanto existen muy pocas interferencias. Su alcance es algo menor que el de los estándares que trabajan a 2,4 GHz (aproximadamente un 10 %), debido a que la frecuencia es mayor (a mayor frecuencia, menor alcance).^[52]

2.3.3 Redes de Área Metropolitana (MAN y WMAN). Una red de área metropolitana MAN (Metropolitan Area Network) es una red de alta velocidad (banda ancha) que da cobertura en un área geográfica extensa, proporcionando capacidad de integración de múltiples servicios mediante la transmisión de datos, voz y vídeo, sobre medios de transmisión tales como fibra óptica y par trenzado (MAN BUCLE), ofreciendo velocidades de 100 Mbit/s, 1 Gbit/s y 10 Gbit/s mediante fibra óptica y 10 Mbit/s ó 20 Mbit/s en redes MAN BUCLE, sobre pares de cobre. ^[53]

Para redes de área metropolitana inalámbrica WMAN se encuentran tecnologías basadas en WiMAX basado en la norma IEEE 802.16. WiMAX es un protocolo parecido a Wi-Fi, pero con más cobertura y ancho de banda. ^[54]

2.3.3.1 WiMax (IEEE 802.16). Sus siglas provienen de Worldwide Interoperability for Microwave Access (interoperabilidad mundial para acceso por microondas), es una norma de transmisión de datos que utiliza las ondas de radio en las frecuencias de 2,5 a 5,8 GHz y puede tener una cobertura de hasta 50 km.

⁵² Consultado en <https://es.wikipedia.org/wiki/Wifi>

⁵³ Consultado en https://es.wikipedia.org/wiki/Red_de_%C3%A1rea_metropolitana

⁵⁴ Consultado en https://es.wikipedia.org/wiki/Red_inal%C3%A1mbrica

Es una tecnología dentro de las conocidas como tecnologías de última milla, también conocidas como bucle local que permite la recepción de datos por microondas y retransmisión por ondas de radio. El estándar que define esta tecnología es el IEEE 802.16 MAN. Una de sus ventajas es dar servicios de banda ancha en zonas donde el despliegue de cable o fibra por la baja densidad de población presenta unos costos por usuario muy elevados (zonas rurales).

Actualmente el estándar IEEE 802.16 tiene dos variantes:

IEEE 802.16d de acceso fijo, en el que se establece un enlace radio entre la estación base y un equipo de usuario situado en el domicilio del usuario. Para el entorno fijo, las velocidades teóricas máximas que se pueden obtener son de 70 Mbit/s con una frecuencia de 20 MHz. Sin embargo, en entornos reales se han conseguido velocidades de 20 Mbit/s con radios de célula de hasta 6 km, ancho de banda que es compartido por todos los usuarios de la célula.

IEEE 802.16e de movilidad completa, que permite el desplazamiento del usuario de un modo similar al que se puede dar en GSM/UMTS, el móvil, aún no se encuentra desarrollado y actualmente compite con las tecnologías LTE. ^[55]

2.3.4 Redes de Área Extensa (WAN y WWAN). La red de área amplia o WAN (Wide Area Network)), es una red de computadoras que une varias redes locales, (LAN), aunque sus miembros no están todos en una misma ubicación física. Muchas WAN son construidas por organizaciones o empresas para su uso privado, otras son instaladas por los proveedores de internet (ISP) para proveer conexión a sus clientes. Hacen parte de las WAN las redes inalámbricas de área extensa denominadas WWAN, la cual usan tecnologías de red celular de comunicaciones móviles 2G, 3G, 4G y 5G (en desarrollo) para transferir los datos. ^[56]

También se puede clasificar una red WWAN la tecnología desarrollada por Sigfox

2.3.4.1 Segunda Generación (2G). La telefonía móvil 2G no es un estándar o un protocolo sino que es una forma de marcar el cambio de protocolos de telefonía móvil analógica a digital.

Sus características principales son:

- Tecnología digital, cuyos protocolos permiten más enlaces simultáneos en un mismo ancho de banda.
- Ampliación de cobertura denominada "Roaming."
- Conmutación de circuitos.

⁵⁵ Consultado en <https://es.wikipedia.org/wiki/WiMAX>

⁵⁶ Consultado en https://es.wikipedia.org/wiki/Red_inal%C3%A1mbrica

- Evita la clonación de llamadas.
- Encriptación de voz.
- Compatibilidad con PSTN/ISDN [⁵⁷]
- Permite integrar otros servicios, que anteriormente eran independientes, como es el caso del envío de mensajes de texto por medio de Short Message Service (SMS)
- Los siguientes protocolos hacen parte de la 2G:
 - GSM (Global System for Mobile Communications)
 - Cellular PCS/IS-136, conocido como TDMA (TIA/EIA136 o ANSI-136)
 - IS-95/cdmaONE, conocido como CDMA (Code Division Multiple Access)
 - D-AMPS (Digital Advanced Mobile Phone System)
 - PHS (Personal Handyphon System) usado en un principio en Japón.

Estos protocolos son incompatibles entre sí, lo que limitaba el área de uso de los teléfonos móviles a las regiones con compañías que les dieran soporte.
- Los estándares 2.5 G y 2.75 G poseen mejores características que 2G pero no alcanzan a clasificarse como 3G, entre ellos tenemos:
 - GPRS (General Packet Radio Service)
 - EDGE [⁵⁸]

2.3.4.2 Tercera Generación (3G). La 3G es la tercera generación de transmisión de voz y datos a través de telefonía móvil mediante UMTS (Universal Mobile Telecommunications System o servicio universal de telecomunicaciones móviles). Sus características principales son:

- Permite la transferencia de voz y datos.
- Requieren de una tarjeta SIM para su uso.
- Ofrece mayor grado de seguridad en comparación con sus predecesoras 2G, usando el cifrado por bloques KASUMI. [⁵⁹]
- Control eficiente de la potencia.
- Conmutación de paquetes.
- Soporta Streaming.
- Coexistencia con las tecnologías 2G, posibilidad de Handover con las redes 2G
- Gran flexibilidad de servicio, es decir, soporta múltiples portadoras y velocidades de bits variables en cada conexión. [⁶⁰]
- Las tecnologías de 3G son la respuesta a la especificación IMT-2000 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, (ver evolución en figura 23 y 24):

⁵⁷ Mg. David Ramirez de los Reyes, Curso Comunicaciones Móviles, Sistemas de 2da Generación - 2014,

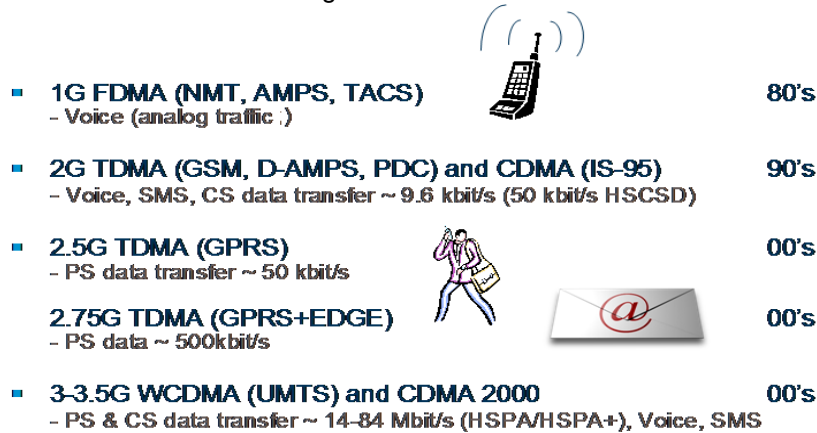
⁵⁸ Wikipedia, Telefonía móvil 2G consultado en https://es.wikipedia.org/wiki/Telefon%C3%ADa_m%C3%B3vil_2G

⁵⁹ Wikipedia, Telefonía móvil 3G consultado en https://es.wikipedia.org/wiki/Telefon%C3%ADa_m%C3%B3vil_3G#Est.C3.A1ndares_en_3G

⁶⁰ Mg. David Ramirez de los Reyes, Curso Comunicaciones Móviles, Sistemas de 3era Generación - 2014

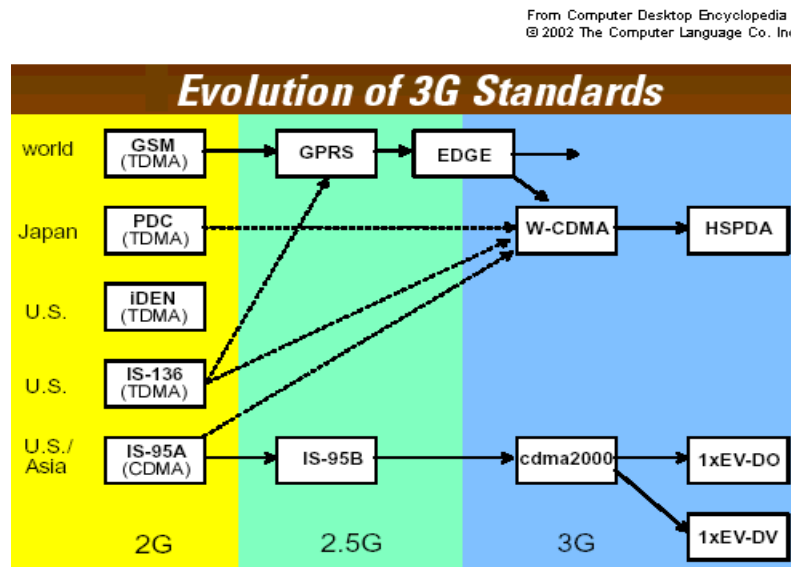
- UMTS (Universal Mobile Telecommunication System), basado en la tecnología W-CDMA, utilizado en Europa y Japón.
- CDMA2000
- EvDO basado en CDMA2000
- Se clasifican como 3.5G o 3G+:
 - HSDPA (High Speed Downlink Packet Access), en la figura 25 se observa los avances de esta tecnología.

Figura 23 Evolución de tecnologías de telefonía móvil 1G a 3.5G



Tomado del Curso de Comunicaciones Móviles, Mg. David Ramirez de los Reyes, 2014

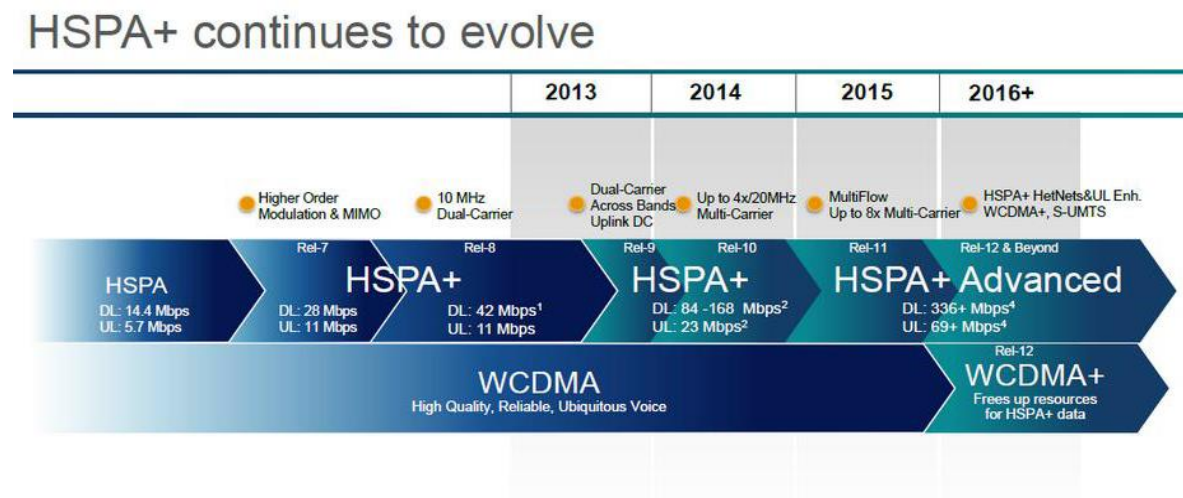
Figura 24 Evolución de los estándares de 2G a 3G



Tomado de Computer Desktop Encyclopedia

- Como desventaja las redes 3G presentan el efecto conocido como «respiración celular», según el cual, a medida que aumenta la carga de tráfico en un sector (o celda), el sistema va disminuyendo la potencia de emisión, reduciendo el alcance de cobertura de la celda, pudiéndose llegar a generar zonas de "sombra" (sin cobertura), entre celdas adyacentes.^[61]

Figura 25 Evolución de HSPA



Tomado del Curso de Comunicaciones Móviles, Mg. David Ramirez de los Reyes, 2014

2.3.4.3 Cuarta Generación (4G). Al igual que en otras generaciones, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) creó un comité para definir las especificaciones. Este comité es el IMT-Advanced y en él se definen los requisitos necesarios para que un estándar sea considerado de la generación 4G.

Algunas características son:

Velocidades máximas de transmisión de datos deben estar entre 100 Mbit/s para una movilidad alta y 1 Gbit/s para movilidad baja.

⁶¹ Wikipedia, Telefonía móvil 4G consultado en https://es.wikipedia.org/wiki/Telefon%C3%ADa_m%C3%B3vil_3G#Est.C3.A1ndares_en_3G

- Basada completamente en el protocolo IP, siendo un sistema y una red, que se alcanza gracias a la convergencia entre las redes de cable e inalámbricas.
- Esta tecnología podrá ser usada por módems inalámbricos, móviles inteligentes y otros dispositivos móviles.
- Mantiene una alta calidad de servicio (QoS).
- Bajo costo.
- Alto nivel de seguridad.^[62]
- El estándar LTE a venido mejorando sus características para cumplir los requisitos del 4G, entre ellas las tasas de transmisión de datos de bajada y subida, como se observa en la tabla 3

Tabla 3 Tecnología LTE, tasas de transmisión de datos

| | Downlink | | Uplink | |
|---|--------------------|-------------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| | Peak Network Speed | Peak and/or Typical User Rate | Peak Network Speed | Peak and/or Typical User Rate |
| 10+10 MHz) | | Mbps ⁶² | | Mbps |
| LTE (4X4 MIMO, 20+20 MHz) | 300 Mbps | | 71 Mbps ⁷⁰ | |
| LTE Advanced (8X8 MIMO, 20+20 MHz, DL 64 QAM, UL 64 QAM) | 1.2 Gbps | | 568 Mbps | |

Tomada del Curso de Comunicaciones Móviles, Mg. David Ramirez de los Reyes, 2014

2.3.4.4 Quinta Generación (5G) Actualmente se encuentra sin estandarizar y las empresas de telecomunicación están desarrollando sus prototipos. Está previsto que su uso común sea en 2020.^[63] A continuación se relacionan algunos avances obtenidos o las visiones de algunas empresas fabricantes de equipos móviles y operadores del servicio para el desarrollo de la 5G:

Samsung

- La red 5G transmite los datos en la banda de ondas milimétricas a una frecuencia de 28 GHz, a una velocidad de hasta 1.056 Gbps y a una distancia de hasta 2 km.^[64]

⁶² Wikipedia, Telefonía móvil 4G, consultado en https://es.wikipedia.org/wiki/Telefon%C3%ADa_m%C3%B3vil_4G

⁶³ Wikipedia, Telefonía móvil 5G, consultado en: https://es.wikipedia.org/wiki/Telefon%C3%ADa_m%C3%B3vil_5G

⁶⁴ Samsung,, 5G consultado en: <http://www.20minutos.es/noticia/1812442/0/samsung/tecnologia-5g/1-gbps/#xtor=AD-15&xt>

Ericsson

- Realiza una demostración de la tecnología pre-estándar 5G de Ericsson alcanzando un rendimiento de 5 Gbps sobre un espectro de 15 GHz, empleando una innovadora interfaz de radio y avanzada tecnología MIMO.
- Este rendimiento de 5G “permitirá nuevas aplicaciones de máquina-a-máquina que benefician tanto a los consumidores como a las empresas.”^[65]

Telefónica

Con equipos de Ericsson la empresa Telefónica presenta la tecnología LTE-Advanced Carrier Aggregation en el Mobile World Congress de Barcelona, destacándose las siguientes características:

- Agregación de portadoras de 3 bandas sobre una red real, en este caso Telefónica utiliza todo su espectro disponible para combinar 3 portadoras (20MHz en 2600 + 20 MHz en 1800 + 10 MHz en 800).
- Demuestra velocidades hasta de 375 Mbps de bajada y 50 Mbps en enlace ascendente. ^[66]
- La tecnología Carrier Aggregation (CA) es clave para la evolución del LTE, ya que mejora la capacidad de la red, simplifica la gestión del tráfico y amplía la cobertura, de esta manera, al tener más velocidad en los viajes de datos se aumenta las tasas por usuarios disminuyendo la latencia. ^[67]

A continuación se hace un resumen de las tecnologías mencionadas anteriormente y que están disponibles o se encuentran en desarrollo para la conexión de dispositivos a redes IoT:

⁶⁵ Ericsson, 5G consultado en: http://www.ericsson.com/res/region_RLAM/press-release/2014/2014-07-01-5g-es.pdf

⁶⁶ Movistar, El viaje de Telefónica hacia el 5G consultado en: <http://comunidad.movistar.es/t5/Movisfera/El-viaje-de-Telef%C3%B3nica-hacia-el-5G-navegar-a-velocidades-de-375/ba-p/2391781>

⁶⁷ Reporte Digital, Mobile World Congress: el gran salto al 5G y al Internet de las cosas, 2015, consultado: <http://reportedigital.com/iot/mobile-world-congress-gran-salto-5g-internet-cosas-te-interesa-conocer/>

Tabla 4 Cuadro comparativo de tecnologías actuales de conectividad para la IoT

| Red | Tecnología | Estándar | Frecuencia | Alcance | Velocidad |
|------|----------------------|---|-----------------------------|-----------------------------|--|
| WPAN | Bluetooth | Bluetooth V 4.0 del núcleo | 2.4 GHz (ISM) | 50-150m (Smart / BLE) | 1 Mbps (Smart / BLE) |
| WPAN | Zigbee | ZigBee 3.0 basada en IEEE 802.15.4 | 2.4 GHz | 10-100m | 250kbps |
| WPAN | Z-Wave | Z-Wave Alliance ZAD12837 / UIT-T G.9959 | 900 MHz (ISM) | 30m | 9.6 / 40/100 kbps |
| LAN | Ethernet | Basado en IEEE 802.3 | No es RF, según estándar | según estándar 100-500m-2km | 10-100-1000 Mbps |
| WLAN | WiFi | WiFi Alliance Basado en el IEEE 802.11 | 2,4 GHz y 5 GHz | 50m | 11-54-300Mbps max: 600 Mbps |
| WMAN | WiMax | Basado en el IEEE 802.16 | 2,5 a 5,8 GHz | Hasta 20 Km | Hasta 70 Mbps |
| WWAN | Móvil Inalámbrica 2G | GSM / GPRS / EDGE | 850/ 1800 MHz (en Colombia) | Max. 35 km para GSM | 35-170kps (GPRS), 120-384kbps (EDGE), |
| WWAN | Móvil Inalámbrica 3G | UMTS / HSPA | 850/ 1800 MHz (en Colombia) | 200 km para HSPA | 384Kbps-2 Mbps (UMTS), 600Kbps-10 Mbps (HSPA), |

| | | | | | |
|------|----------------------|--|---|----------------------------------|---|
| WWAN | Móvil Inalámbrica 4G | LTE | 1700/ 2100/ 2600 MHz (en Colombia) | Tamaño óptimo de las celdas 5 km | Máx 100 Mbps (LTE) con alta movilidad |
| WWAN | Móvil Inalámbrica 5G | LTE Advance CA (versión 5G en prueba, los fabricantes se encuentran en desarrollo) | 800/ 1800/ 2600 MHz (en prueba en España) | En prueba. | Actualmente en versión de prueba 375Mbps (LTE Advance CA) |

Como se observa en la tabla 4 existen múltiples tecnologías que actualmente pueden soportar la red de comunicaciones de dispositivos IoT y pueden ser aprovechadas para la conectividad de los objetos a la IoT, algunas de forma local y otras que directamente se interconectan a redes de mayor nivel, destacándose las tecnologías móviles, sin embargo se encuentran en desarrollo tecnologías con características específicas para el desarrollo de comunicaciones IoT, como se describen en la siguiente sección.

2.3.5 Redes de Área Extensa de Baja Potencia LPWAN

2.3.5.1 Sigfox Más que una tecnología es una empresa enfocada en el desarrollo de la IoT y ha desarrollado soluciones que permiten que una gran cantidad de objetos se interconecten entre sí en una infraestructura de red independiente que difiere a la de los proveedores de servicios de internet (ISP), se identifica como “la primera y única compañía que proporciona conectividad celular global para la Internet de las cosas”. [68]

Sus características son las siguientes:

⁶⁸ Jin-young, Cho. "Sigfox Agonizes Over Decision between KT or SKT", Business Korea, 2015, consultado en: <http://businesskorea.co.kr/english/news/ict/10296-courting-innovation-sigfox-agonizes-over-decision-between-kt-or-skt>

- Tecnología de banda ultra-estrecha (UNB) que consiste en señales de amplio alcance que pasan libremente a través de objetos sólidos utilizando las secciones libres del espectro radioeléctrico , en particular la banda ISM, permitiendo la conexión de dispositivos remotos.
- Comunicación entre dispositivos a una distancia de 1.000 kilómetros (620 millas).
- Cada estación base puede manejar hasta un millón de objetos
- Consumo de 1 / 1.000 de la energía como un estándar de sistema celular, los dispositivos Sigfox pueden trabajar hasta 20 años con dos pilas AA , debido al hecho de que "despierta cada vez que se envía un mensaje, y luego se vuelve a dormir"
- No pueden llevar grandes cantidades de datos, siendo capaz de manejar aproximadamente 12 bytes por mensaje, y al mismo tiempo no más de 140 mensajes al dispositivo por día.
- Países que contarán con una cobertura Sigfox como plataforma de red de comunicación IoT: Reino Unido, Estados Unidos, Alemania, Italia, Polonia, Irlanda, Dinamarca, Chile y Colombia.

2.3.5.2 Neul

Neul Weightless: estándar abierto, promovido por el Grupo de Interés Especial de Weightless (SIG) con miembros de promotor incluyendo Neul, ARM, y RSE (Cambridge Silicon Radio), junto con más de 1400 miembros o asociados hasta ahora.

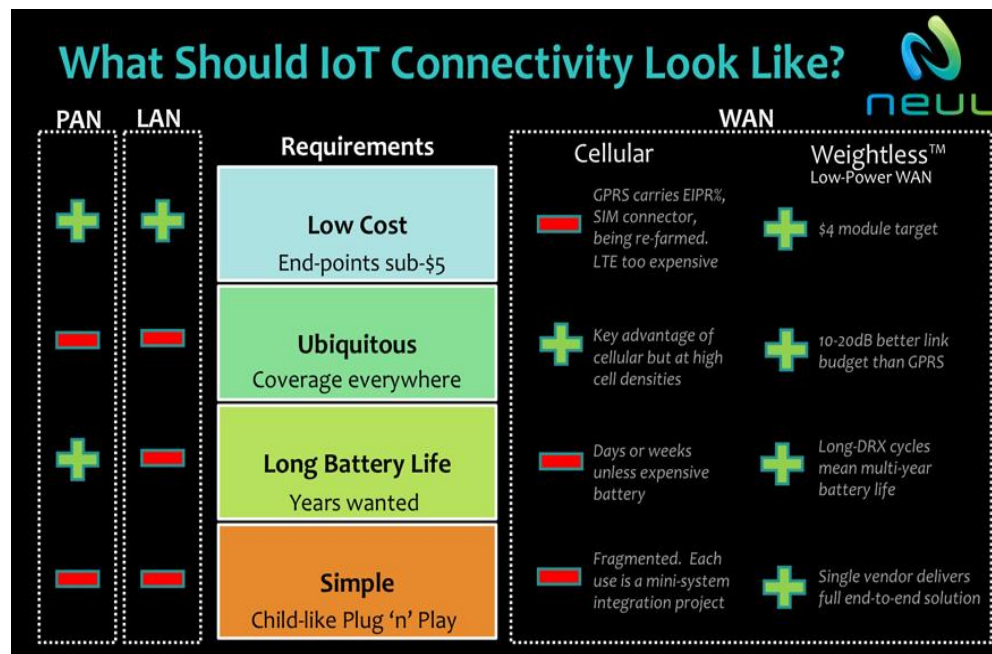
Consiste en una nueva tecnología de red inalámbrica de área amplia diseñada específicamente para el Internet de las cosas, , con el objetivo de lograr una gran cobertura, mayor duración de la batería, bajo costo del módulo y alta eficiencia tan lejos de alcanzar por soluciones móviles como GPRS, 3G, CDMA y LTE WAN ofrecidas hoy en día. Sus características son las siguientes:

- Propiedades de propagación de profundidad: El uso de ensanchamiento de secuencia directa con la difusión de los factores de hasta 64 en el enlace ascendente y hasta 1023 en el enlace descendente
- Robusta para trayectos múltiples y otros canales dispersivos: Combinando técnicas de ecualización y el receptor de barrido en el procesamiento de principio y fin.
- Ultra-baja potencia de canal adyacente: Selección de tecnologías de modulación y filtros apropiados para lograr mejor que -55dBc ACP.
- Baja consumo de energía en el campo: 20-30uA de 2 pilas AA que significan 10-15 años en el campo (dependiente de caso de uso).
- Ultra baja Potencia Activa: Funcionamiento de Potencia Activa (PA) en el modo comprimido para la comunicación de enlace ascendente desde dispositivos remotos.

- Velocidades de datos ágiles: Apoyo a la modulación, unión de canales variable y la difusión de entregar cualquier cosa de unos pocos bits por segundo hasta 100 kbps en el mismo enlace único.
- Bajo costo por dispositivo: células grandes con tráfico regular para maximizar la capacidad del sitio celular, combinadas con el ultra bajo costos de los componentes de RF y dispositivo chipset.
- Seguridad sin SIM: Opción para la autenticación fuerte sin UICC. Carga útil cifrado de capa de enlace a los estándares celulares.
- Frecuencia de operación: puede ser desplegado en la mayoría espectro de sub-GHz, ya sea en bandas con licencia (con soporte para una mayor potencia de Tx) o el espectro sin licencia (por lo general el apoyo a niveles de potencia más bajos).

Algunas ventajas de Neul Weightless frente a GPRS se observan en la figura 26.

Figura 26 Ventajas de NEUL Weightless sobre GPRS



lce ni: es la implementación de la norma Weightless en un solo chip diseñado para los puntos finales de bajo costo, la integración de las funciones de banda base y el transceptor en un único bloque monolítico de Neul.

Espectro: La tecnología Neul se puede implementar en pequeñas rebanadas de espectro (tan pequeñas como 180kHz), que podrían estar situados en cualquiera de las bandas exentas de licencia o con licencia.

El número de terminales M2M dentro de una célula puede ser mucho más grande que en una red de banda ancha típica; 10000 o más dispositivos en una célula es posible

Debido al gran número de terminales M2M que pueden estar presentes en una célula, la velocidad de datos media por terminal es típicamente muy baja.

2.3.5.3 LoRaWAN. El estándar de red LoRaWAN apunta a requerimientos característicos de Internet de las Cosas, tales como:

- Conexiones bidireccionales seguras
- Bajo consumo de energía
- Largo alcance de comunicación
- Bajas velocidades de datos
- Baja frecuencia de transmisión
- Movilidad y servicios de localización.
- Interconexión entre objetos inteligentes sin la necesidad de instalaciones locales complejas,
- La arquitectura de red típica, es una red de Redes en Estrella, Uno o más dispositivos finales se conectan a una o más puertas de enlace, mediante una conexión inalámbrica de un solo salto, usando tecnología RF LoRa o FSK.
- Una o más puertas de enlace se conectan al servidor de red central por medio de conexiones IP estándar.
- Las comunicaciones entre los dispositivos y el servidor de red, son unidireccionales, bidireccionales y multidifusión (para actualizaciones de software).
- La comunicación entre dispositivos finales y las puertas de enlace se hacen en diferentes canales de frecuencias y a distintas velocidades de datos, no interfiriendo otras comunicaciones a distinta velocidad, creando así un juego virtual de canales que incrementan la capacidad de la puerta de enlace.
- La selección de la velocidad de datos se da por los siguientes factores: la distancia de alcance, la duración y consumo de energía del mensaje.
- Las velocidades de datos se encuentran en el rango de 0.3 kbps a 50 kbps.
- El servidor central LoRaWAN maneja la velocidad de datos para cada dispositivo en forma individual, por medio de un esquema adaptativo de velocidad de datos (ADR, adaptive data rate), maximizando la duración de la batería y la capacidad de red. [69]

⁶⁹ LoRa Technology, 2016, consultado en <https://www.lora-alliance.org/What-Is-LoRa/Technology>

En la tabla 5 se observa un resumen de las tecnologías LPWAN, las cuales se encuentran en pleno desarrollo con características que le permitirán soportar las IoT de una manera más apropiada.

Tabla 5 Cuadro comparativo de tecnologías enfocadas para las comunicaciones de dispositivos IoT

| Red | Tecnología | Frecuencia | Alcance | Velocidad |
|-------|------------|---|---|----------------|
| LPWAN | Sigfox | 900 MHz | 30-50km (entornos rurales), 3-10km (entornos urbanos) | 10-1000bps |
| LPWAN | Neul | 900 MHz (ISM), 458MHz (Reino Unido), 470-790MHz (espacio en blanco) | 10 km | hasta 100 kbps |
| LPWAN | LoRaWAN | Varias | 2-5km (medio urbano), a 15 km (entorno suburbano) | 0,3-50 kbps. |

2.4 ESTADO DEL ARTE SOBRE TECNOLOGÍAS EN EL DESARROLLO DE LAS IoT

Existen muchos ejemplos de aplicaciones completas hechas bajo el concepto de IoT. De esas inclusive ya vienen algunas instaladas en dispositivos SmartPhone como es el caso de Maps para citar un ejemplo.

En su arquitectura de IoT se requiere que el desarrollo contenga lo siguiente:

- Uno o muchos objetos reales o virtuales que emita una información de interés para otros.
- Un medio de comunicación para conectarse a internet
- Una aplicación funcionando en la nube que interactúe con esos objetos y como resultado produzca una respuesta para el mismo objeto u otros objetos y /o un dato de interés para uno o varios usuarios.

Teniendo esto en mente se escogieron estos ejemplos para mostrar:

2.4.1 My Driving IoT system Es un ejemplo de IoT mediante la integración de software en la nube con un dispositivo de hardware OBD (On-board diagnostics) del mercado que se conecta a un puerto especial disponible en los autos superiores al modelo 1996 y una aplicación que corre en cualquier dispositivo móvil que use Android, iOS, or Windows 10 con esto se puede monitorear su modo de conducir mediante los resúmenes con datos como distancia recorrida, tiempo gastado, máxima velocidad, consumo de combustible, frenadas bruscas, aceleraciones bruscas etc. le permite además compararse con otros usuarios y tener una calificación con respecto a ellos. En la Figura 27 se muestra la arquitectura básica en dispositivos de hardware que funciona comercialmente de manera local y que está compuesta por un kit de electrónica Figura 28 y un dispositivo móvil con puerto Bluetooth o Wi-Fi.^[70]

Figura 27 Integración de dispositivos de hardware y software local necesaria para integrar una solución de IoT en la nube.



Tomado de la guía de referencia de Mydriving

⁷⁰ Alan Cameron Wills (<https://azure.microsoft.com/es-es/documentation/articles/iot-solution-get-started/>)

Figura 28 Kit comercial de OBD (on board Diagnostic)



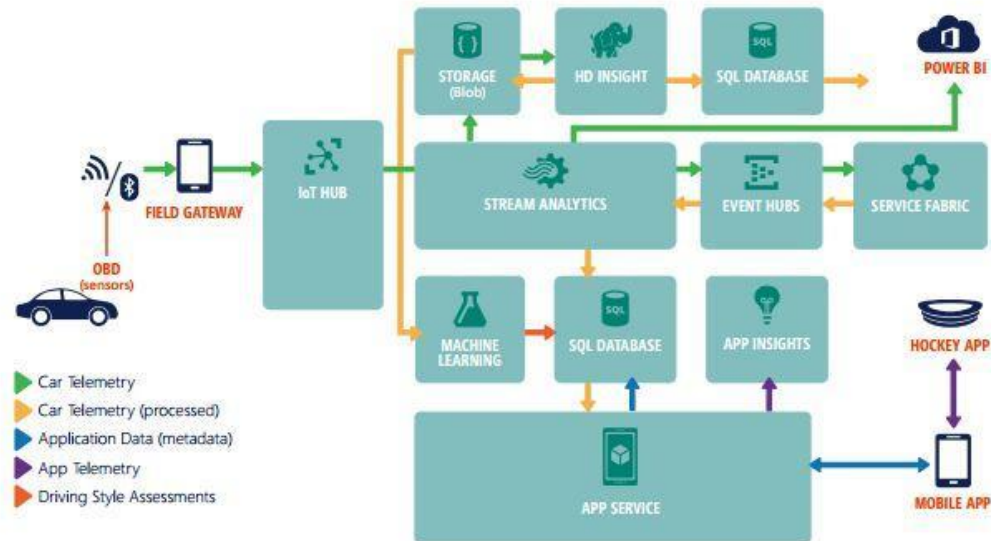
Tomado de <http://www.amazon.com/gp/product/B005NLQAHS>

Para coleccionar los datos se requiere instalar una App pero el software que hace el análisis y la estadística de esos datos corre en la nube. Mydriving Es un ejemplo de uso de la plataforma de desarrollo en la nube Azure de la compañía Microsoft para un dispositivo de hardware de otras empresas que fue diseñado para obtener datos del carro de manera local y convertirlo en un producto IoT cuya arquitectura es como se muestra en la Figura 29

El resultado de las pruebas realizadas al vehículo se pueden ver en el mismo teléfono que sirve como gateway o en otro dispositivo o PC que tenga acceso a internet. En la Figura 30 y Figura 31 se observan las ventanas del software que corre en la nube .[71]

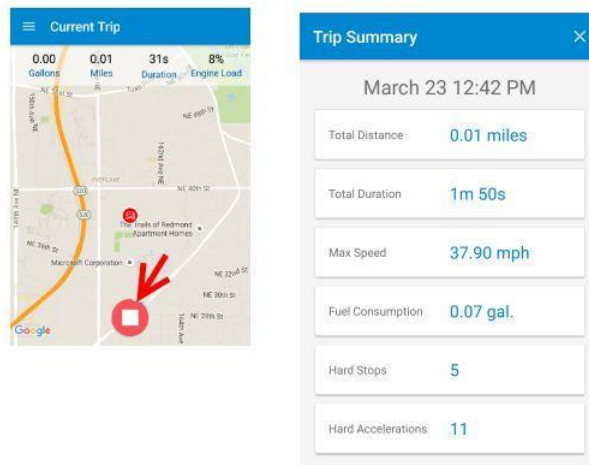
⁷¹ Alan Cameron Wills [<https://azure.microsoft.com/es-es/documentation/articles/iot-solution-get-started/#use-the-app>]

Figura 29 Arquitectura de IoT para sistema Mydriving



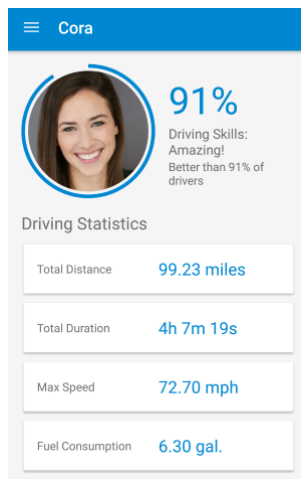
Tomado de la guía Mydriving

Figura 30 Ventanas de la aplicación Mydriving.



Tomada <https://azure.microsoft.com/es-es/documentation/articles/iot-solution-get-started/>

Figura 31 Perfil de usuario Mydriving



Tomada de <https://azure.microsoft.com/es-es/documentation/articles/iot-solution-get-started/>)

2.4.2 Protocolo de comunicación inalámbrico remoto orientado para la internet de vehículos de construcción

En el entorno industrial han tenido un gran impacto los avances tecnológicos de las comunicaciones y de la computación, que han permitido la optimización de los sistemas de monitorización remota (RMS) los cuales adoptan las tecnologías de adquisición de datos, la comunicación de red remoto, sistema de posicionamiento global (GPS), diagnóstico de fallos y control por computador para realizar el seguimiento del estado de trabajo, la predicción y diagnóstico de fallas, y el control remoto y el mantenimiento de los objetos a distancia, con el fin de lograr un estado "casi cero fallas" de trabajo de objetos a distancia y ofrecen un servicio de "distancia cero y la latencia cero". Se han implementado dos tipos de RMSS: el RMS basadas en la Web y las RMS basadas en la Internet de los objetos (IoT), mientras la primera de ellas solo permite el monitoreo, la última permite suplir las necesidades de un sistema RMS inteligente (IRMSS) por medio de redes de sensores inalámbricos, Zigbee, redes de comunicación por satélite, junto con las puertas de enlace, ya sea uno o varios objetos de supervisión remota distribuidos en diferentes ubicaciones que envían su información a un centro de control (MC), éste procesa la información y entonces se desarrolla el control y el mantenimiento del objeto remoto.

El protocolo de transmisión transparente remoto inalámbrico (**CVDTP**), fue diseñado e implementado para sistemas de monitoreo remoto inteligente (IRMS) de objetos móviles como los Vehículos para la Construcción (CV), tales como excavadoras, camiones bomba de hormigón, grúas, entre otros, lo cual ha permitido optimización de gastos por mantenimiento y ha evitado retrasos de obras por reparaciones de sus vehículos. Esta red de objetos particularmente se ha denominado modelo de red de los loCV.

CVDTP fue creado en base al UDP, permite la transmisión de datos industriales QoS en la red inalámbrica a distancia caracterizadas por un bajo ancho de banda y frecuentes desconexiones, las pruebas realizadas en este tipo de escenario ha arrojado resultados que demuestra que CVDTP es más eficiente y fiable que UDP, REUDP, y TCP, adicionalmente este protocolo no necesita el apoyo de enrutamiento de los nodos en las redes inalámbricas remotas, facilitando su implementación. [72]

El concepto para el diseño de CVDTP incluye dos etapas:

- 1) Clasificación de datos de monitoreo:
Teniendo en cuenta el tamaño de los datos, estos se clasifican en datos discretos (tales como la velocidad del motor y la temperatura del aceite) y en datos continuos (como los datos de forma de ondas grabadas). De acuerdo con la situación de emergencia y la importancia, los datos discretos se clasifican en datos de caso emergente (EE), datos de petición de usuario (UR), y datos ordinarios de estado de trabajo (OW).
- 2) Desarrollo y optimización dinámica de los modos de transmisión de datos :
En el caso de los CV y a su distribución geográfica el enlace de transmisión inalámbrica remota utilizada es el servicio de radio por paquetes de red GPRS (ver Figura 32) , el cual tiene amplia disponibilidad y bajo costo frente a la comunicación de otras redes inalámbricas remotas como redes 3G, 4G y satelital. [73]

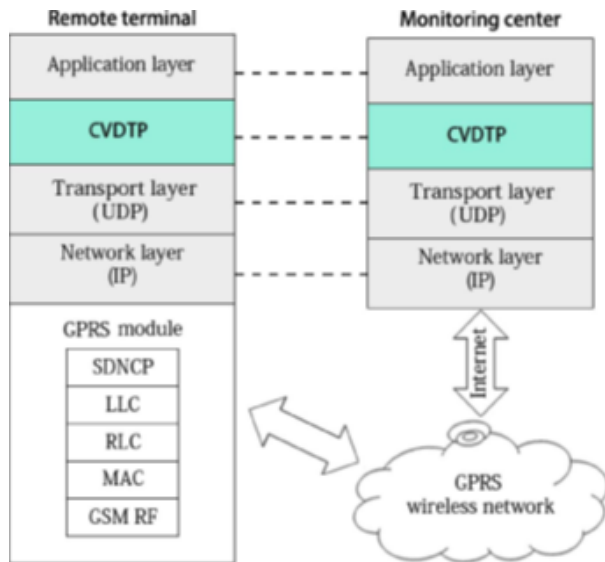
El marco CVDTP consta de dos partes: el encabezado del CVDTP contiene 14 B y los datos CVDTP tiene entre 0-240 B (ver Figura 33)

CVDTP también es referencia para el desarrollo de las IRMS basados en la IoT en muchas otras industrias como el transporte marítimo, la aviación civil, la logística, la exploración de recursos, y la asistencia médica.

⁷² Min Jin, Member, IEEE, Xiang Zhou, Enze Luo, and Xiongzhi Qing, Industrial-QoS-Oriented Remote Wireless Communication Protocol for the Internet of Construction Vehicles

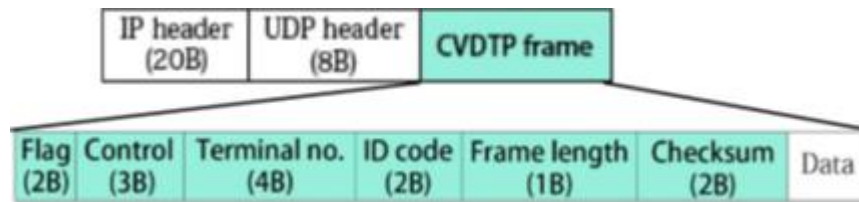
⁷³ Min Jin, Member, IEEE, Xiang Zhou, Enze Luo, and Xiongzhi Qing, Industrial-QoS-Oriented Remote Wireless Communication Protocol for the Internet of Construction Vehicles

Figura 32 Modelo de red de IoCV basado en IRMS.



Tomado de Industrial-QoS-Oriented Remote Wireless Communication Protocol for the Internet of Construction Vehicles

Figura 33 Estructura del marco de CVDTP



Tomado de Industrial-QoS-Oriented Remote Wireless Communication Protocol for the Internet of Construction Vehicles

2.4.3 Cheystar servicio de acompañamiento a vehículos Chevrolet . Chevrolet sacó para sus vehículos de modelo de alta gama en Colombia hace 10 años un sistema de acompañamiento al viajero llamado ChevyStar una solución de IoT desarrollada por Chevrolet como valor agregado a sus productos satisfaciendo las necesidades de sus clientes al brindarles un acompañamiento en viajes, un servicio para casos de emergencia como cuando se quedan las llaves dentro del carro se pueden abrir las puertas a través de una aplicación en el Smartphone, se pueden activar o desactivar las luces y el pito para encontrarlo más fácilmente en los grandes parqueaderos, además tiene un sistema de seguridad antirobos que avisa cuando el vehículo le han retirado la batería o la alarma se ha disparado por varias ocasiones consecutivas, o el vehículo

está en movimiento sin tener encendido el motor (caso en el que lo lleven en una grúa), todos estos eventos disparan una alarma en el software de monitoreo del equipo supervisor el cual asigna a un asesor para que llame al propietario y verifique su estado.

Otros servicios adicionales como calificación del modo de conducir, violación de límites de velocidad programados, historial de rutas, historial de parqueo, alerta de movimiento, mensaje al GPS, ruta al GPS, seguimiento de ruta con información de posición cada dos minutos etc.

El sistema consta de varios módulos integrados como son interface de comunicación al puerto del controlador del vehículo, módulo GPS que entrega las coordenadas de la ubicación actual, módulo de comunicación GSM encargado de enviar y recibir los datos y acceder a internet. Como resultado cada automotor se enlaza con un software de aplicación en la nube la cual transmite los datos a la central de monitoreo cuando ocurre algún evento que requiera la intervención de un asesor para que investigue la situación con el propietario.

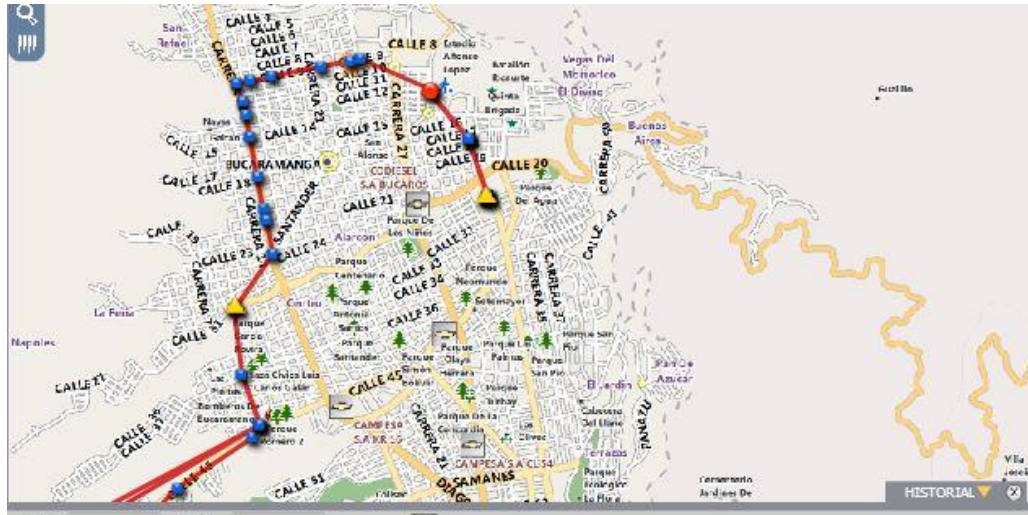
Además el propietario tiene acceso a través de una página WEB Figuras 34 y 35 o una App en su celular Figuras 36 y 37 para administrar y controlar algunas alertas y eventos de su interés.

Figura 34 Imagen de monitoreo de vehículo mychevistar



Tomado de <http://map.michevistar.com/GMSite2/WebSiteEmulador/FlexContainer.aspx>

Figura 35 Imagen de monitoreo de vehículo mychevistar



Tomado de <http://map.michevystar.com/GMSite2/WebSiteEmulador/FlexContainer.aspx>

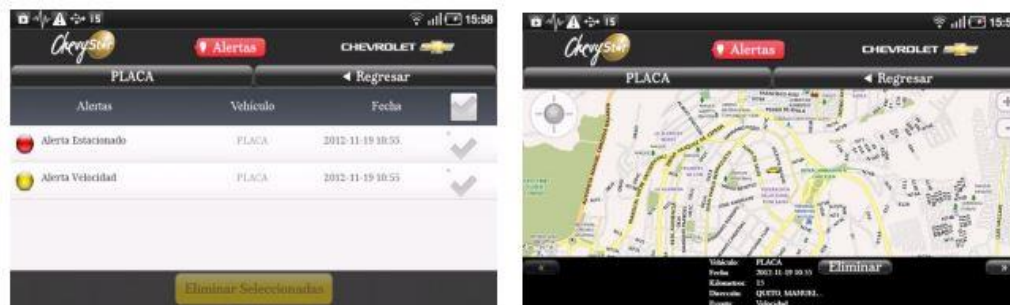
Chevrolet en la actualidad ha integrado este sistema a todos los modelos que produce.

Figura 36 Imagen de Apps de Chevystar



Tomada de manual de usuario Chevystar

Figura 37 Imagen de Apps de Chevystar



Tomada de manual de usuario Chevystar

2.5 ESTADO DEL ARTE Y ANÁLISIS DE LOS PROYECTOS QUE INVOLUCREN IoT DESARROLLADOS POR EL GRUPO DE INVESTIGACIÓN RADIOGIS

El grupo de investigación y desarrollo Radiogis liderado por el PhD. Homero Ortega Boada ha liderado proyectos de investigación que son soluciones IoT o que potencialmente pueden llegar a serlos, de los cuales relacionamos algunos a continuación:

2.5.1 Proyectos del grupo RADIOGIS UIS QUE INVOLUCRAN ELEMENTOS IoT

2.5.1.1 Web Service para implementación del estándar SCP-ECG orientado al geoposicionamiento.

Autores: Nelson Iván Fernández Suarez, Gabriel Enrique Suárez Colmenares

Año: 2011

Resumen

Su objetivo fue desarrollar un servicio basado en localización de telemedicina en la web que implementa el estándar SCP-ECG con geoposicionamiento para recibir y mostrar los signos vitales enviados por un electrocardiógrafo. Para lo cual desarrollaron un prototipo de software en un dispositivo móvil que envía e interpreta y muestra las señales de un electrocardiógrafo usando el estándar SCP-ECG. además fue necesario crear un módulo software de geoposicionamiento, que pueda ubicar la señal que se

recibe del dispositivo y mostrarla en la aplicación. como última etapa construyeron un sitio web que muestra la información de la señal recibida de un electrocardiograma remoto relacionándola con su posición actual mediante el uso de una base de datos(PostgreSQL) diseñada específicamente para las necesidades del software que almacenará los datos enviados por el dispositivo ECG empaquetados, de acuerdo con el estándar SCP-ECG.

RadioGis, en apoyo al programa Vive Digital, busca aprovechar la plataforma desarrollada de LBS (Location-Based Service) para ofrecer a los pacientes un servicio que pueda no solo monitorear arritmias sino enviar alertas a una entidad encargada de su vigilancia para que tome medidas.[⁷⁴]

Con el servicio se buscó abarcar cierta funcionalidad básica y esencial que permita a un médico estar en permanente monitoreo del estado cardíaco del paciente que hace uso del servicio.

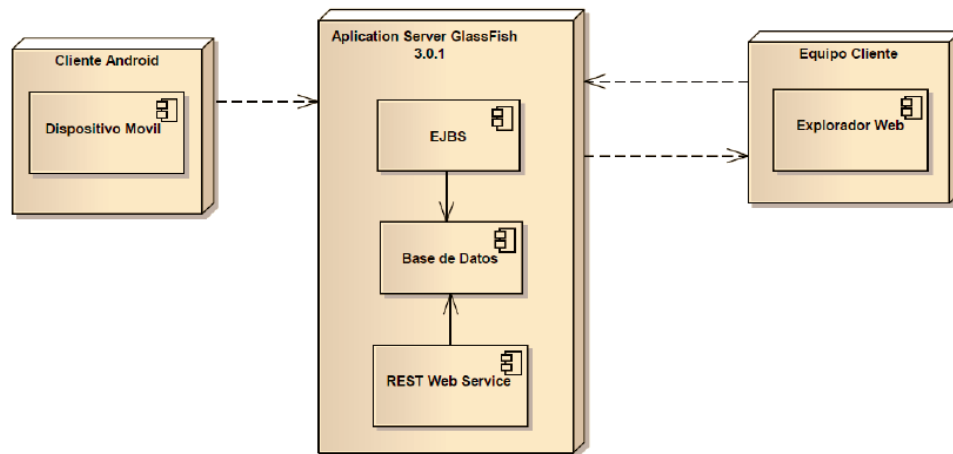
Como tecnología de comunicación los autores de este proyecto usaron GPRS presente en tecnologías móviles GSM 2G y 3G con tasas de transferencia entre 56 y 114 Kb/seg. Para la geolocalización se usó la tecnología GPS y una API de google Maps , como plataforma de desarrollo de software se usaron Java Standard Edition 6, para la base de datos emplearon SQL – Structured Query Language, PostgreSQL 9.0, como herramienta de software Netbeans IDE 6.9.1, para la programación del dispositivo se usó el SDK (Software Development Kit) de Android que provee las herramientas y APIs necesarias para empezar a desarrollar aplicaciones en la plataforma Android, usando el lenguaje de programación Java, por esta razón es perfectamente compatible con cualquier sistema operativo.

Eclipse IDE se usó para el desarrollo del cliente en Android y GlassFish Server 3.0.1 como servidor de aplicaciones de software libre.[⁷⁵] En la Figura 38 se ilustra la integración de estos servicios y tecnologías para lograr el objetivo del proyecto.

⁷⁴ Nelson Iván Fernández Suarez,Gabriel Enrique Suárez Colmenares Web Service para implementación del estándar SCP-ECG orientado al geoposicionamiento (UIS 2011)

⁷⁵ Nelson Iván Fernández Suarez,Gabriel Enrique Suárez Colmenares Web Service para implementación del estándar SCP-ECG orientado al geoposicionamiento (UIS 2011)

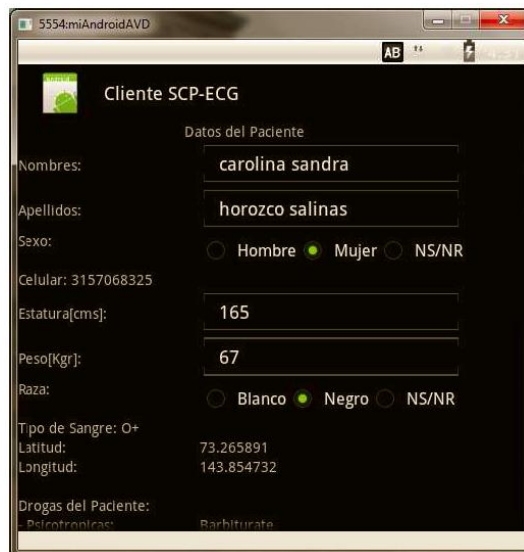
Figura 38 Estructura de servicio



Tomada de tesis de grado Web Service para implementación del estándar SCP-ECG orientado al posicionamiento (UIS 2011)

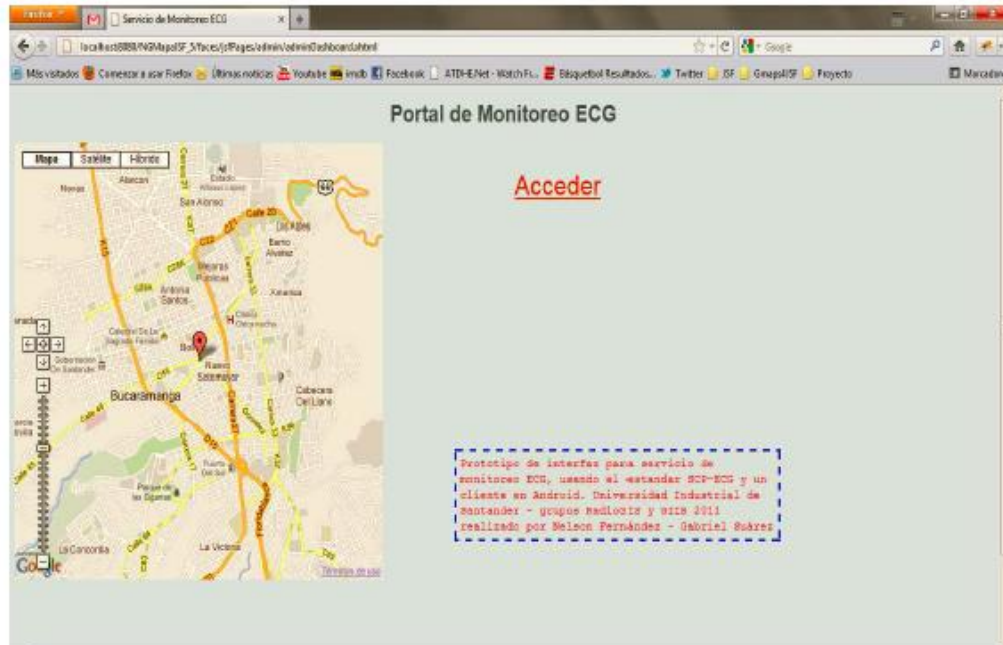
Como resultado de este trabajo se obtuvieron el software de aplicación para Android en el dispositivo del usuario Figura 39 y la página web Figura 40

Figura 39 Interfaz de usuario en Android



Tomada de tesis de grado Web Service para implementación del estándar SCP-ECG orientado al posicionamiento (UIS 2011)

Figura 40 Portal de página Web Service para implementación del estándar SCP-ECG orientado al posicionamiento



Tomada de tesis de grado UIS 2011

Análisis del estado del proyecto en relación con IoT

Veamos si este proyecto hace parte de la IoT y cumple las características esenciales para ser clasificado como tal.

Según la IUT un dispositivo en el contexto de Internet de los objetos se trata de una pieza de equipo con las capacidades obligatorias de comunicación y las capacidades opcionales de detección, de accionamiento y de adquisición, almacenamiento y procesamiento de datos.

- a. Desde el punto de dispositivo tenemos un Electrocardiografo generador de la información útil y necesaria y de gran interés (señal de ECG) junto con otro objeto dispositivo móvil celular usando el sensor GPS para obtener las coordenadas de posición. Al integrarlos mediante una App y un lazo de comunicación local se convierten en un dispositivo con capacidad de comunicarse a internet con otros.
- b. La comunicación a través de internet (Lo hace a través de una plataforma de comunicación móvil GSM servicio GPRS. integrada en el dispositivo móvil la cual usa una APP para recopilar y enviar los datos de interés. (datos ECG y posición)

- c. Un software de aplicación que usa una herramientas de base de datos , y API de google para integrar la información y presentarla a un médico tratante o interesado y a otros usuarios paciente y familiar a través de un portal Web. Por qué usaron tecnologías de comunicación GSM (GPRS)?. La razón está en que es un servicio que está orientado a llegar a todas partes en la ciudad y zonas rurales. Desde ese punto de vista la tecnología que cumple ese requisito es la GPRS la cual está disponible en cualquier sitio que se tenga señal de un operador de tecnología móvil. Su tasa de transferencia es baja pero suficiente para muchas aplicaciones como esta.

2.5.1.2 Sistema de Telecontrol y Telemetría para los equipos de monitoreo del Espectro Radioeléctrico

Autores: Johanna Patricia Ardila Lerma, Juan Antonio Ramirez Buitrago

Año: 2013

Resumen

Este proyecto desarrolla una herramienta de apoyo a la gestión del espectro radioeléctrico, por medio de un sistema desarrollado en Labview que captura a distancia la medición hecha por los equipos: analizador de redes vectoriales ZVL6 en modo analizador de espectro y medidor de intensidad de campo electromagnético NBM550, utilizando la internet para la comunicación entre el usuario, el sitio en la se realizan las medidas geo-referenciadas y el servidor que centraliza las mediciones y el almacenamiento de datos, mediante servicios web, con el fin de realizar telecontrol de los equipos, telemetría de la potencia en un ancho de banda de interés y la intensidad de campo electromagnético, en base a las recomendaciones de la UIT en cuanto a gestión de espectro. Este servicio permite mediante un navegador web, que un usuario previamente registrado bajo la condición de controlar remotamente, visualizar los resultados obtenidos luego de haber especificado y ajustando algunos parámetros para el desarrollo de las medidas.

Análisis del estado del proyecto en relación a la IoT

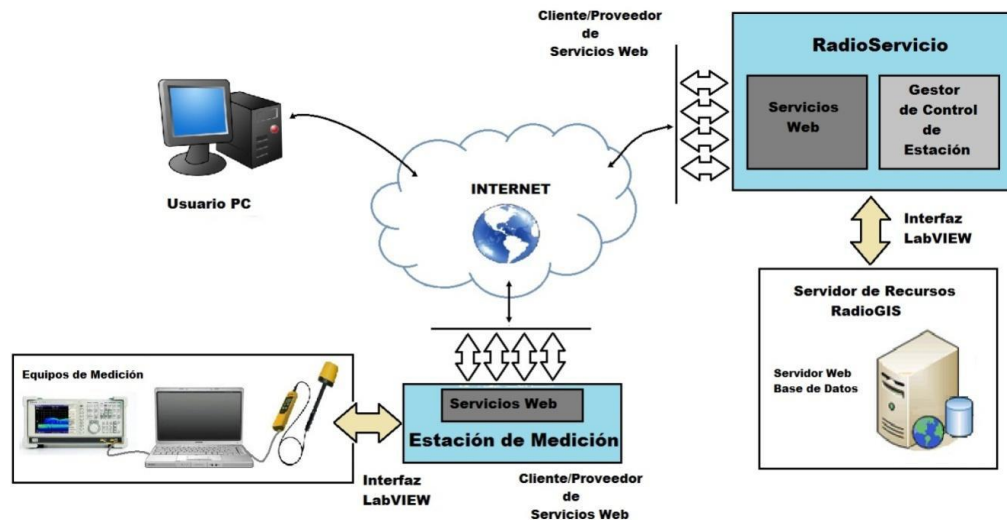
Se observa que los elementos involucrados crean un sistema que cumple con modelo de referencia IoT recomendado por la UIT^[76], tales como:

- Capa de dispositivo: Medidor de RNI NBM550 y Analizador de redes vectoriales ZVL6, PC con software en Labview conectado a los equipos de medida mencionados.
- Capa de red: conexión a Internet por medio de Ethernet (IEEE 802.3)
- Capa de apoyo a servicios y aplicaciones: Web services.
- Capa de aplicación: Interfaz Labview para el desarrollo de Telecontrol y Telemida.
- Seguridad: Autenticación de ingreso usuarios a los servicios web. No se indica otro tipo de seguridad adicional.

⁷⁶UIT, Recomendación UIT-T Y.2060

- Gestión: los equipos se pueden controlar y gestionar remotamente.

Figura 41 Esquema general del Sistema de Telecontrol y Telemetría para los equipos de monitoreo del Espectro Radioeléctrico



Tomada de tesis de grado 2013

Se podrían mejorar los siguientes aspectos:

- Capa de dispositivo: Determinar si existen dispositivos que le permitan realizar el proceso desarrollado por el PC y el software utilizado como interface de las mediciones.
- Capa de red: determinar si por medio de tecnologías inalámbricas que no afecten las mediciones realizadas se puede realizar la conectividad de dispositivos de tal forma que pueda desarrollar mediciones en movimiento y el envío de la información en línea.
- Capa de apoyo a servicios y aplicaciones: utilizar servidores alojados en la nube para obtener alta disponibilidad, confiabilidad e integridad de la información.
- Capa de aplicación: Desarrollo de aplicaciones para el acceso como usuarios en diversos dispositivos móviles.
- Definir técnicas y políticas de seguridad de la información en cada una de sus capas.

2.5.2 Proyectos del grupo Radiogis UIS que pueden involucrar las IoT.

2.5.2.1 Desarrollo de un servicio de Telemetría para el registro georeferenciado de la Radiación No Ionizante

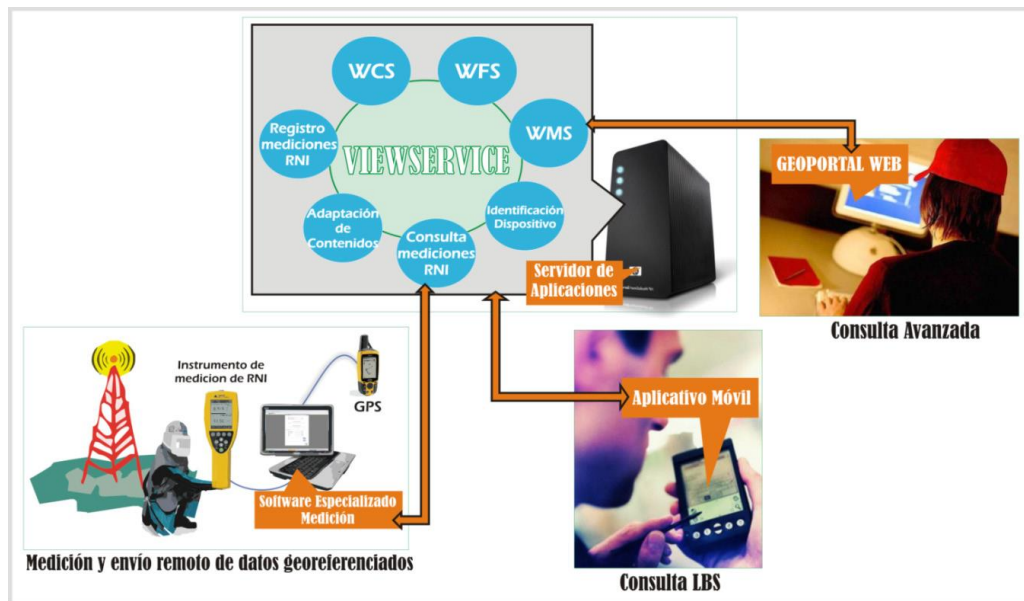
Autores: Juan Carlos Luna Barajas

Año: 2010

Resumen

Desarrollo de un servicio basado en localización para apoyar la gestión del espectro radioeléctrico mediante la adaptación de equipos especializados en la medición de radiocomunicaciones a la Plataforma de Servicios NGN de RadioGIS. Proyecto basado en SYMOT 2.0 Software de Medición de RNI el cual consta de módulos que interactúan con equipos de medición de RNI y georeferenciación como los GPS, desarrollando su procesamiento en los Web Service, manteniendo en línea los datos tomados en campo, adicionalmente permite el uso de equipos móviles Pocket para consultar en línea a la Web Service resultados georeferenciados.

Figura 42 Visión General del Servicio para el registro y consulta asociado a las mediciones de RNI.



Tomada de tesis de grado: Desarrollo de un servicio de Telemetría para el registro georeferenciado de la Radiación No Ionizante (2010)

Análisis del estado del proyecto en relación a la IoT

Este proyecto cumple con las capas del modelo de referencia IoT, sin embargo no representa la comunicación entre dispositivos, base fundamental de las IoT ya que se debe realizar manipulación humana en la toma de datos.

A continuación se relacionan las capas y capacidades del modelo de referencia IoT recomendado por la UIT^[77]:

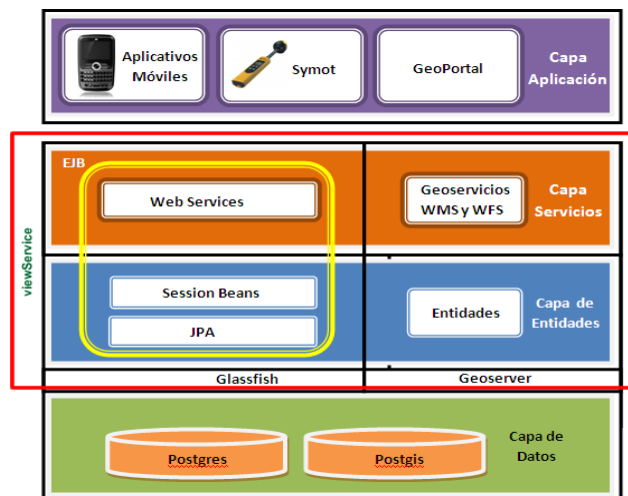
- Capa de dispositivo: medidores de RNI, Pocket PC.
- Capa de red: conexión vía módem inalámbrico (2G y 3G).
- Capa de apoyo a servicios y aplicaciones: Web services.
- Capa de aplicación: Software Symot 2.0
- Seguridad: no definen técnicas, ni políticas de seguridad a utilizar.
- Gestión: no se presenta gestión remota.

Este proyecto se podría potencializar al utilizar: sensores (medidores de RNI) que se encuentren en campo todo el tiempo y que desarrollen su comunicación sin intervención humana lo cual crea una herramienta de vanguardia que daría datos técnicos en tiempo real y que permite adoptar medidas de prevención y control. Adicionalmente con las tecnologías actuales se podría usar equipos móviles de comunicación como los celulares para la migración de la pocket.

2.5.2.2 Solución para un algoritmo de radiopropagación integrando mapas georreferenciados como un servicio web de simulación

Autores: Julio Andelfo Flórez Vargas, Néstor Iván Pico Álvarez Año: 2011

Figura 43 Estructura del conjunto de servicios RadioGIS



Tomada de tesis de grado: Solución para un algoritmo de radiopropagación integrando mapas georreferenciados como un servicio web de simulación (2011).

⁷⁷UIT, Recomendación UIT-T Y.2060

Resumen

Adaptación de un Sistema de Información Geográfica (SIG) como una arquitectura distribuida de un modelo de radiopropagación simulada para la optimización de cobertura en redes inalámbricas utilizando servicios Web.

Análisis del estado del proyecto en relación a la IoT

Este proyecto se puede catalogar como TIC, pero no cumple todos los requisitos para estar incluido como IoT, ya que la propuesta se basa en aplicaciones de simulación e interacción con bases de datos administradas en la Web, herramientas de la capa de aplicación y capa de apoyo a servicios y aplicaciones.

Para el desarrollo de una solución IoT requiere la implementación de las capas de dispositivo y de red, capacidades de gestión y seguridad, en las cuales existan objetos que se conectan e intercambian información con los Web Services, de tal forma que le permita evidenciar casi en tiempo real los cambios que se presenten.

3. RECOMENDACIONES PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS QUE INVOLUCREN TECNOLOGÍAS IoT EN LAS CAPAS DE DISPOSITIVOS Y RED.

Antes de tratar de escoger una de las cientos de tecnologías en hardware disponibles en el mercado que podrían servir para el proyecto a desarrollar es conveniente tener en cuenta lo siguiente:

- **Grado de complejidad.** (Inventario de recursos en hardware requeridos para interactuar con el proyecto tales como cantidad de señales de entrada y salida, tipo de señal digital, analógica, PWM, contadores, reloj de tiempo real etc. Además es importante también conocer el origen de las señales que se desean incorporar al proyecto tales como temperatura, humedad, presión, aceleración, iluminación, fuerza, vibración, radiación, nivel, distancia, sonido, imagen, videos etc. cada una de ellas exige un periodo de muestreo que tiene que ver con la naturaleza de la señal además de necesitar un ancho de banda para poder transmitir esa información. Además de lo anterior importante a tener en cuenta necesidades en los tiempos de respuesta con respecto a cualquier evento producido y que requiera una capacidad de cómputo local o comunicación a otros nodos que la posean para dar respuesta.
- **Capacidad de cómputo:** En la mayoría de proyectos de IoT se requiere poca capacidad de cómputo para hacer la tarea encomendada. Por ejemplo monitorear la temperatura de un lugar (habitación, bodega, fábrica, temperatura ambiente de un lugar en una ciudad, o incluso la temperatura de una máquina requiere

muy pocos recursos de cómputo para hacerlo. Bastaría simplemente con tomar un sensor de temperatura con salida serial e integrarlo a un módulo convertidor serial a Ethernet como el DS203 de Tibbo conectarlo a un router con acceso a internet y ya estamos en capacidad de monitorear la temperatura desde cualquier lugar del mundo. La capacidad de cómputo empieza a requerirse cuando necesitamos procesar las señales para filtrarlas, calcular otras variables en función de las recibidas directamente (sensores virtuales ejemplo a de un acelerómetro calcular velocidad y posición de un vehículo a partir de la aceleración instantánea en cada uno de los ejes X Y Z y el tiempo) y almacenar y leer información de un receptáculo de memoria.

- **Capacidad de almacenamiento** : Básicamente se refiere a la capacidad de archivar información dentro del sistema desarrollado o fuera del sistema como en un disco duro o una memoria MicroSD o USB. Además se tiene que tener en cuenta la cantidad de memoria disponible para guardar en el programa creado así como la memoria RAM que vamos a necesitar para el uso del programa y los sistemas operativos si se requieren. En algunos casos para no perder la continuidad en el tratamiento de la información en caso de perderse el acceso a internet los objetos almacenan la información y la tienen disponible para transmitirla cuando recuperen la comunicación con su software de aplicación en la nube.
- **Expectativas de repetibilidad del producto desarrollado:** Se debe tener en cuenta las expectativas de reproducción del producto objeto del proyecto. Para el caso que se tengan fines comerciales el costo es muy importante y pequeños ahorros pueden marcar la diferencia entre el éxito o fracaso en ventas. Por esta razón para desarrollar prototipos con fines comerciales podemos utilizar sistemas de desarrollo comerciales a la medida de la necesidad del proyecto y después de probarlos y estar a gusto con su funcionamiento decidir si es bueno entrar a reproducirlos a mayor escala con un desarrollo propio o simplemente optar por usar desarrollos comerciales e integrar en ellos nuestro sello personal como producto. Importante para este caso tener en cuenta el tipo de licencia comercial que manejan estos productos en el mercado ya que cada fabricante se acoge a algún tipo de licencia para la reproducción. (Open source). Muy importante si queremos comercializar escoger una versión que sea reciente porque cada cierto tiempo salen del mercado algunos sistemas por obsoletos. Para el caso de proyectos de investigación o con fines educativos el objetivo es cumplir la meta propuesta y para esto no importaría tener recursos suficientes en hardware como buena capacidad de cómputo y almacenamiento con diversos puertos de comunicación y una buena cantidad de entradas y salidas disponibles de todo tipo además de compatibilidad con varios sistemas operativos etc.

- **Ubicación:** Es importante tener en cuenta donde va a estar operando el objeto IoT a desarrollar. Esto nos dice las limitaciones en recursos energéticos, protección, seguridad física, disponibilidad de comunicación y acceso a internet. No es lo mismo desarrollar un proyecto IoT para que funcionen sus objetos en una ciudad dentro de laboratorios, viviendas, fábricas universidades etc. que hacerlo para funcionar en campo abierto lejos de recursos como electricidad y comunicación limitada.
- **Acceso a Internet:** Teniendo en cuenta la ubicación del objeto IoT del proyecto nos da la limitación de este recurso, para el caso de estar dentro de una vivienda, fabrica o centro educativo disponemos de una gran gama de posibilidades pero muy diferente es cuando el producto se instala en lugares alejados donde la única posibilidad que existe es tener acceso a una tecnología de comunicación móvil GSM o solo GPRS para algunos casos.

3.1 RECOMENDACIONES DE TECNOLOGÍAS IoT EN LA CAPA DE DISPOSITIVOS

En Colombia se consigue un buen número de tarjetas de desarrollo que pueden ser utilizadas como prototipos para desarrollo de proyectos IoT a continuación se listan algunas que pueden ser útiles para estos proyectos y que se consiguen a buen precio, están disponibles en el mercado local de manera inmediata.

Para aplicaciones en proyectos donde el costo del producto no tiene mucha importancia pues su expectativa de reproducción es baja y lo que nos interesa es no limitarnos en recursos a la mitad del camino lo mejor sería usar la Intel Galileo_2.

3.1.1 Intel Galileo 2. Es una tarjeta de gran capacidad de cómputo y almacenamiento basada en un procesador SoC Quark Soc X1000 de 32-bit Intel Pentium, la cual está basada en arquitectura Intel con compatibilidad en hardware y software con Arduino Uno R3 y sus módulos. Esta plataforma provee un fácil desarrollo de arquitectura Intel, la cual soporta sistema operativo Microsoft Windows, Mac OS, y Linux. Además integra la simplicidad de Arduino y de su software Arduino IDE (Integrated Development Environment).

Características

Dimensiones: 12.38 cm (Largo) × 7.20 cm (Ancho)

Compatibilidad con Arduino:

- 20 digital I/O (12 fully native speed)
- 6 analog inputs
- 6 PWMs with 12-bit resolution
- 1 SPI master

- 2 UARTs (1 shared with console UART)
- 1 I2C master

Conectores:

6-pin console UART (compatible with FTDI USB converters)

6-pin ICSP

10-pin JTAG for debugging

RJ45 Ethernet, Power over Ethernet capable

USB 2.0 Host (standard Type A)

USB 2.0 Client (micro-USB Type B)

Mini-PCI Express* 1x slot

Alimentación:

Conector DC Voltaje Optimo de (7-15 V)

Soporta Power-over-Ethernet (requiere instalacion del modulo PoE)

Header for RTC power

Botones:

Botón de Reset para sketch y las shields como para la conexión de Ethernet

Botón de Reboot para Reseteo el procesador Intel® Quark™ SoC X1000

Comunicación:

Puertos:

USB 2.0 Host port (standard Type A)

USB 2.0 Client port (micro-USB Type B)

TTL UART 6-pin header (compatible with FTDI converters)

Mini-PCI Express* (mPCIe*) slot with USB 2.0 Host support

Características del Procesador:

Modelo: Intel® Quark™ SoC X1000

Velocidad (Speed): 400 MHz

Numero de Nucleos: 1/1

Arquitectura: (ISA)32-bit Intel® Pentium® processor-compatible ISA

L1 CACHE: 16 KB

SRAM: 512 KB on-die, embedded

También Soporta:

Integrated real-time clock (RTC)

Optional 3 V coin cell battery for operation between turn-on cycles

Características de Memoria:

FIRMWARE/BOOTLOADER: 8 MB NOR Flash

DRAM: 256 MB DDR3; 800 MT/s

SD CARD (OPTIONAL): Up to 32 GB

USB: Compatible with any USB 2.0 storage device (USB drive/stick).

EEPROM: 8 KB (programmed via the EEPROM library)

Precio aproximado \$270.000 pesos colombianos

Para aplicaciones que requieran gran capacidad de almacenamiento de datos la Cibieboard A20 podría ser la recomendada debido a su disponibilidad para

agregar un disco duro con puerto SATA. además cuenta con una buena capacidad de cómputo.

- 3.1.2 Cubieboard A20.** Es un computador en una sola tarjeta como lo son la raspberry y la beagle, sin embargo esta board tiene una gran capacidad de procesamiento y memoria lo cual hace que se puedan hacer proyectos de aplicaciones a otro nivel, Permite conectar un disco duro mediante puerto SATA y además puede funcionar con cualquiera de los siguientes sistemas operativos: Ubuntu, Android, Fedora, Debian, Cubian, Builtoroot.

Características

Procesador AllWinner A20 SoC (dual-core ARM Cortex-A7 @ 1 GHz CPU, with Mali-400MP2 GPU).
 1 GB DDR3 @ 480 MHz
 3.4GB internal NAND flash, up to 64GB on SD slot, up to 2T on 2.5 SATA disk
 5VDC input 2A or USB otg input
 1x 10/100 ethernet, support usb wifi
 2x USB 2.0 HOST, 1x mini USB 2.0 OTG, 1x micro sd
 1x HDMI 1080P display output
 96 extend pin interface, including I2C, SPI, RGB/LVDS, CSI/TS, FM-IN, ADC, CVBS, VGA, SPDIF-OUT, R-TP.
 Su precio está alrededor de \$250.000 pesos colombianos.

- 3.1.3 BeagleBone.** Es una board de bajo costo y alta expansibilidad desarrollada con un procesador ARM Cortex A8 de 700Mhz y memoria con 256MB RAM DDR2 de bajo consumo de energía, permitiendo a los aficionados, los innovadores y los ingenieros ir más allá de su imaginación usando todas las capacidades que tiene esta board.

Características:

- * 700Mhz Super-escalar ARM Cortex-A8
- * 256MB RAM DDR2
- * 1 puerto USB 2.0 host
- * 10/100 Ethernet
- * microSD slot
- * USB a Serial/JTAG

su precio aproximado \$225.000 pesos colombianos

- 3.1.4 Raspberry Pi 2.** El gran cambio con respecto a la anterior versión es el nuevo procesador 900MHz ARM Cortex-A7 de Cuatro Núcleos junto con el incremento de la memoria ram 512MB a 1GB, Es 6 veces más rápida que la anterior versión.

Características:

4 puertos USB, pines GPIO (40 pines) , Sistema de alimentación Micro USB 5V 2A , 4 agujeros de sujeción , puerto para memoria microSD, Audio y Video

combinado todo dentro del conector de 3.5mm jack, salida HDMI.
Precio aproximado : \$185.000 pesos Colombianos.

3.1.5 Intel Edison. Ofrece un entorno de desarrollo de hardware y software de código totalmente abierto para los proyectos de creación.
Características:

Hardware
Procesador Intel® Atom™ de doble núcleo a 500 MHz, 1 GB de DDR3 RAM, 4 GB de eMMC Flash. Bluetooth* 4.0, Wi-Fi, Viene con una interface GPIO de 40 pines con múltiples opciones de placas de expansión para facilitar el diseño del proyecto total y aportar flexibilidad.

Software
Yocto Project, Brillo Compatible con Arduino, C/C++, Python, Node.js*, HTML5, JavaScript.

La placa Intel® Edison funciona bien con estos servicios de nube:Microsoft Azure, IoT Suite, Amazon Web Services (AWS), IBM Bluemix Entorno de apoyo.

Comunidad administrada en línea para intercambiar ideas de proyectos e interactuar con otros usuarios del producto.

Asistencia de expertos en el producto de Intel y herramientas de software de la comunidad de código abierto.

Acceso a un marco de conectividad de dispositivo a dispositivo y de dispositivo a nube para habilitar la comunicación entre varios dispositivos y un servicio de análisis cronológico multi-empresa en la nube.

3.2 RECOMENDACIONES DE TECNOLOGÍAS IoT EN LA CAPA DE RED O DE CONECTIVIDAD

Desde el punto de vista de la comunicación debemos tener en cuenta varios aspectos como la ubicación, el acceso a internet, el número de objetos en red, la disponibilidad de energía eléctrica, la distancia entre nodos de comunicación para tomar una decisión sobre cómo vamos a comunicar el objeto proyecto.

Para el caso de aplicaciones sin limitaciones de recursos en energía, acceso a internet y cortas distancias entre nodos lo más sencillo es usar Wi Fi .

Para casos de objetos aislados más allá de los 80 mts lo recomendable es usar una tecnología de conectividad Zigbee 802.15.4 de bajo consumo de potencia para trabajar en red y la capacidad de usar protocolos Mesh para enrutamiento

automático por otros nodos al perder eficiencia en la comunicación. Ejemplo dispositivos para comunicación local hasta un rango de 15 mts línea de vista

3.2.1 WI-FI USB DONGLE IEEE 802.11n. Mini Adaptador Inalámbrico USB 802.11N EP-N8508GS de 150Mbps, compatible con Raspberry Pi.

Útil para incorporar a un proyecto con Raspberry Pi la opción de comunicarse a una estación punto de acceso Wi Fi para ser parte de una red local o tener acceso internet para comunicarse con un software de aplicación en la nube.

Precio aproximado :\$50.000 pesos colombianos

3.2.2 RN-XV Wi-Fly módulo con antena. El módulo RN-XV desarrollado por Roving Networks es un sistema de comunicación Wi-Fi certificado, diseñado para migrar de arquitectura 802.15.4 a a estándar TCP/IP sin tener que hacer cambios de hardware, si tu proyecto usa un XBee y quieres migrar a estándar WiFi, esta es la solución. El módulo RN-XV integra un RN-171 Wi-Fi, un radio 802.11 b/g, un procesador de 32 bits, un stack TCP/IP, un reloj de tiempo real, un crypto accelerator, una unidad de manejo de potencia y una interfase análoga. El módulo tiene pre-grabado un firmware que simplifica la integración y minimiza el tiempo de desarrollo teniendo una simple configuración de hardware donde solo se tienen cuatro conexiones PWR, TX, RX y GND.

Características

Tamaño: tiene el tamaño y forma de un XBee 802.15.4

Estándar: TCP/IP stack incluidos DHCP, UDP, DNS, ARP, ICMP, HTTP client, FTP client y TCP

Potencia: 0dBm a 12dBm

Hardware interfaces:TTL UART

Host data rate: hasta 464Kbps (UART)

Puertos: 8 GPIO y 3 análogos

Voltaje: 3.3VDC

Antena: tipo cable

Costo aproximado : \$120.000 pesos colombianos

3.2.3 NodeMcuV2. Es una board open-source firmware desarrollada para implementar aplicaciones de internet "IOT", es compatible con arduino y la puedes programar con el IDE de arduino, tiene integrado el módulo WiFi ESP8266, en un tamaño muy reducido que puedes conectar a un protoboard para hacer un prototipado rápido.

Especificaciones

USB-TTL plug&play

10 GPIO, cada GPIO puede generar señales de PWM, I2C, 1-wire, 1 ADC

WIFI integrado
Compatible con IDE arduino
PCB antena

Precio aproximado :\$65.000 pesos colombianos

Ejemplo de dispositivos para comunicación local hasta un rango de 100 mts línea de vista

- 3.2.4 Transceiver Xbee.** Con antena tipo cable, el cual trabaja con tecnología Zigbee 802.15.4, es muy fácil de usar, alcance con línea de vista 100m Posibilita la creación de una red local de aplicaciones en hardware que mediante un Gateway pueden tener acceso a internet para comunicarse con aplicaciones de software que corren de manera remota.

Características

Voltaje 3.3V @ 50mA

Data Rate 250kbps

Potencia salida 1mW (+0dBm)

Rango 300ft (100m)

Antena Integrada tipo cable

Certificación FCC

Puertos de entrada 6 10-bit ADC

Puertos de propósito general 8 digitales

Encriptación 128-bit

Posibilidad de configuración con AT or API command set

Precio aproximado \$110.000 pesos Colombianos

Ejemplo de dispositivos para comunicación hasta un rango de 1500 mts línea de vista

- 3.2.5 Transceiver Xbee Pro.** Es un pequeño módulo electrónico que integra comunicación inalámbrica el cual trabaja con tecnología Zigbee 802.15.4, es muy fácil de usar debido a que trabaja con una comunicación serial para ingreso de datos y configuración, con dos módulos Xbee se puede establecer una comunicación bidireccional por puerto serie entre un PC y cualquier dispositivo como un microcontrolador, otro PC, etc., o entre microcontroladores, o diferentes dispositivos que manejen comunicación serial, además estos módulos permiten hacer comunicaciones punto a punto o punto multipunto soportando redes tipo mesh. Sirve como medio de enlace de una aplicación o grupo de aplicaciones en hardware para tener acceso a gateway disponibles a distancias menores a 1500 metros.

Características:

Voltaje 3.3V @ 50mA

Data Rate 250kbps

Potencia salida 60mW (+18dBm) , Rango 1 milla (1500m)

Antena Integrada tipo cable

Puertos de entrada 6 10-bit ADC , Puertos de propósito general 8 digitales

Encriptación 128-bit

Posibilidad de configuración con AT or API command set. Precio aproximado

\$170.000 pesos colombianos

4. CONCLUSIONES

1. Las tecnologías utilizadas en las capas de dispositivos y de red deben tender a ser autónomas y transparentes para las personas, con la más mínima intervención para su operatividad, teniendo como usuarios principales los objetos interconectados cumpliendo la función para la cual fueron diseñados y con la capacidad de mejorar continuamente.
2. La conectividad en redes IoT debe caracterizarse por los siguientes aspectos:
 - a. Disponibilidad, ubicuidad en la red por medio tecnologías de conectividad inalámbricas fijas y móviles.
 - b. Versatilidad para operar en diversos ambientes desde los más inhóspitos en donde se caracteriza por trabajar con tasas de transmisión de datos baja y frecuentes desconexiones.
 - c. Compatibilidad con los protocolos existentes en redes inalámbricas y adoptar algunos propios.
 - d. Segura, de tal forma que información mantenga confidencialidad y privacidad de los datos por medio conexiones cifradas o encriptadas, según la tecnología escogida para conectarse a la red.
 - e. Adaptabilidad al uso de tecnologías alternas que le permitan mejorar su desempeño en la red, tales como la administración eficientemente en el consumo de energía y la fuente de generación de la misma.
 - f. Asequible, los costos de instalación y de mantenimiento deben estar al alcance del usuario.
3. Existen en el mercado cientos de productos con facilidades en hardware como múltiples puertos de comunicación, Wi Fi, Bluetooth, Ethernet, USB, HDMI etc y otros puertos de conexión de sistemas de almacenamiento expandibles como tarjetas microSD; también incorporan uno o varios slot de varias entradas y salidas configurables como digitales, análogas o PWM que mediante herramientas de programación sencillas de aprender y manejar están posibilitando y promoviendo el desarrollo de proyectos IoT a muy bajo costo. Existen de diversos tamaños y capacidades de cómputo y almacenamiento con precios desde 6.95 USD los más sencillos para aplicaciones de poco poder de cómputo, almacenamiento y limitados en puertos de comunicación hasta los 399 USD con suficiente potencia de cálculo y almacenamiento y diversos puertos de comunicación que lo dejan apto para cualquier proyecto IoT que tengamos en mente.

4. Con las tecnologías de conectividad a la red existentes es posible la interconexión de dispositivos en el ambiente de las IoT, sin embargo con el avance tecnológico de la tecnología 5G que está previsto y el uso masivo del IPV6, el desarrollo de las aplicaciones y objetos IoT tendrán un crecimiento acelerado.

5. Para aplicaciones móviles de IoT en las que el consumo de energía es un factor importante para el desarrollo de soluciones aisladas físicamente y con muy pocas posibilidades de intervención de parte de personal encargado, la utilización de tecnologías de conectividad **LPWAN** (Redes de Área Extensa de baja Potencia) es la solución y podría en un futuro competir en el mercado de la conectividad de millones de sensores en ciudades , carreteras, y zonas rurales con las tecnologías móviles GSM inclusive la 5G.

BIBLIOGRAFIA

ASENSIO Ángel, MARCO Álvaro, BLASCO Rubén, CASAS Roberto. Protocol and Architecture to Bring Things into Internet of Things. Aragon Institute of Research, University Zaragoza, Spain. Hindawi Publishing Corporation International Journal of Distributed Sensor Networks Volume 2014, Article ID 158252. Disponible en línea: <http://www.hindawi.com/journals/ijdsn/2014/158252/>

BEAGLEBOARD ORGANIZATION . [sitio web] [consulta julio 6 2015] Disponible en línea: <http://beagleboard.org/bone/>

CAMERON, Alan. Sistema IoT de MyDriving. 2016. [consulta 17 febrero 2016] Disponible en línea: <https://azure.microsoft.com/es-es/documentation/articles/iot-solution-get-started/>

DIOGENES Yuri, Arquitectura de seguridad de Internet de las cosas. 2016.[consulta 21 febrero 2016] Disponible en línea: <https://azure.microsoft.com/es-es/documentation/articles/iot-security-architecture/>

EVANS Dave. La próxima evolución de Internet lo está cambiando todo. Cisco IBSG. 2011. [consulta 2 noviembre 2015] Disponible en línea: http://www.cisco.com/c/dam/global/es_mx/solutions/executive/assets/pdf/internet-of-things-iot-ibsg.pdf

IEEE COMPUTER SOCIETY. 802.15.4. 2003. [consulta 27 septiembre 2015] Disponible en línea: <http://user.engineering.uiowa.edu/~mcover/lab4/802.15.4-2003.pdf>

INTEL CORPORATION [sitio web] INTEL GALILEO [consulta febrero 20 2016] . Disponible en línea: <http://www.intel.la/content/www/xl/es/do-it-yourself/galileo-maker-quark-board.html>

IZQUIERDO, Fernan. Imaginemos un mundo donde personas y cosas están permanentemente conectadas: el nuevo paradigma del Internet de las cosas. IV Congreso Internacional del Espectro. Memorias. Bogotá D.C. Silver Spring Networks. Nov 2014.

JAYAVARDHANA Gubbi, Rajkumar Buyya, Slaven Marusic, Marimuthu Palaniswami, "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions", Elsevier-Future Generation Computer Systems vol: 29, p.p.1645–1660, Febrero 2013.

JIN-YOUNG, Cho. "Sigfox Agonizes Over Decision between KT or SKT", Business Korea, 2015,[consulta mayo 2015] Disponible en línea:

<http://businesskorea.co.kr/english/news/ict/10296-courting-innovation-sigfox-agonizes-over-decision-between-kt-or-skt>

JUN Liu, Zheng Yan, Laurence T. Yang, "Fusion – An aide to data mining in Internet of Things", Elsevier-Information Fusion, vol: 23, p.p. 1–2, Agosto 2014.

LIBELIUM COMPANY [sitio web] [consulta febrero 27 2016]. Disponible en línea:

<http://www.libelium.com/>

LORA ALLIANCE WIDE AREA NETWORK FOR IoT LORAWAN. LoRa Technology, 2016, [sitio web] [consulta 29 marzo 2016] disponible en <https://www.lora-alliance.org/What-Is-LoRa/Technology>

MIN Jin, XIANG Zhou, ENZE Luo, XIONGZHI Qing. Industrial-QoS-Oriented Remote Wireless Communication Protocol for the Internet of Construction Vehicles. IEEE Transactions on Industrial Electronics, VOL. 62, NO. 11, 2015

MUÑOZ, Fabian. Solution Architect RLAM Mobile Broadband. IV Congreso Internacional del Espectro. Memorias. Bogotá D.C. Ericsson comunicaciones. Nov 2014.

NEUL TECHNOLOGY.[sitio web] [consulta enero 19 2016] Disponible en línea:

http://www.neul.com/neul/?page_id=3614

OPEN NETWORKING FOUNDATION [sitio web] OPENFLOW . [consulta 18 noviembre 2015] Disponible en línea:

<http://archive.openflow.org/wp/learnmore/http://archive.openflow.org/wp/learnmore/>

PANSTAMP.[sitio web] [consulta 11 enero 2016] Disponible en línea:

<http://www.panstamp.com/products/>

PINOCCIO [sitio web] [consulta febrero 25 2016] disponible en línea
<https://www.crowdsupply.com/pinoccio/mesh-sensor-network>

RASCAL Micro [sitio web] [consulta 6 marzo 2016] . Disponible en línea:

<http://rascalmicro.com/index/http://rascalmicro.com/index/>

RASPBERRYPI ORGANIZATION .[sitio web] [consulta marzo 2 2016] Disponible en línea: <https://www.raspberrypi.org/>

REBELLON, Carlos. Public policies for the development of the IoT and essential technical affairs. IV Congreso Internacional del Espectro. Memorias. Bogotá D.C. Intel Corporation. Nov 2014.

Redes definidas por software WIKIPEDIA: la enciclopedia libre [consulta 9 enero 2016] . Disponible en línea: https://es.wikipedia.org/wiki/Redes_definidas_por_software

SEOKHOON Kim, WONSHIK Na. Safe Data Transmission Architecture Based on Cloud for Internet of Things. Springer Science+Business Media New York. 2015

SIGFOX. [sitio web] [consulta 18 agosto 2015] Disponible en línea: <https://www.sigfox.com/es>

TINYCIRCUITS.[sitio Web] [consulta 13 febrero 2016] Disponible en línea: <https://tinycircuits.com/collections/all>

TRINCHERO, Danielle. Sensor networks and devices: usecases in e-health, transport, agriculture and smart cities. IV Congreso Internacional del Espectro. Memorias. Bogotá D.C. Ixems labs politécnico di Torino. Nov 2014.

UDOO ORGANIZATION.[sitio web] [consulta enero 15 2016] Disponible en línea: <http://www.udoo.org/>

UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES UIT. Recomendación UIT-T Y.2060: Serie Y: infraestructura mundial de la información, aspectos del protocolo internet y redes de la próxima generación, redes de la próxima generación – Marcos y modelo arquitecturales funcionales. Geneva, Switzerland, 2012; pp. 1–6.

VAZHNOV, Andrei. La Red de Todo, Internet de las cosas y el futuro de la economía conectada. 2015. [consulta 15 agosto 2015] Disponible en línea: <http://castellano.andreivazhnov.net/la-red-de-todo-libro-iot-indice/> .

VEXLER, Manuel. Using national mobile broadband to enrich digital life. Enriching life through communications. IV Congreso Internacional del Espectro. Memorias. Bogotá D.C. Huawei Tecnologías Co. Nov 2014.

WOBSCHALL Darold. IEEE 1451-- A Universal Transducer Protocol Standard. President, Esensors Inc. Disponible en línea: https://eesensors.com/media/wysiwyg/docs-pdfs/ESP16_Atest.pdf