

**REVISIÓN LITERARIA DE LA TECNOLOGÍA LPWAN  
LORA.**

**WILMAN FERNÁNDEZ GUTIÉRREZ**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER ESCUELA  
DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE  
TELECOMUNICACIONES  
ESPECIALIZACIÓN EN TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA**

**2017**

**REVISIÓN LITERARIA DE LA TECNOLOGÍA LPWAN  
LORA.**

**WILMAN FERNÁNDEZ GUTIÉRREZ**

**MONOGRAFÍA PRESENTADA COMO REQUISITO PARA  
OPTAR AL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN  
TELECOMUNICACIONES**

**DIRECTOR:**

**MG. EN INFORMATICA. PEDRO JAVIER TRUJILLO TARAZONA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER ESCUELA  
DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE  
TELECOMUNICACIONES  
ESPECIALIZACIÓN EN TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA**

**2017**

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	13
1. JUSTIFICACIÓN.....	13
2. ANTECEDENTES.....	15
3. OBJETIVOS.....	17
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	17
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	17
4. MARCO TEORICO.....	18
4.1 LPWAN (low-power wide area network).....	18
4.1.1 Tipos de LPWAN.....	18
4.1.2 Aplicaciones LPWAN.....	22
4.1.3 Seguridad LPWAN.....	23
4.1.4 Protocolos de Internet de las cosas (IoT).....	23
4.1.4.1 Bluetooth.....	23
4.1.4.2 Zigbee.....	25
4.1.4.3 Z-Wave.....	25
4.1.4.4 6LowPAN.....	26
4.1.4.5 Hilo.....	27
4.1.4.6 Wifi.....	28
4.1.4.7 Celular.....	28
4.1.4.8 NFC.....	29
4.1.4.9 Sigfox.....	29
4.1.4.10 Neul.....	31

4.2	Descripción De Las Tecnologías Utilizadas Para Las Redes LPWAN.....	31
4.2.1	LoRaWAN.....	31
4.2.2	Seguridad En LoraWan.....	33
4.2.3	Hardware LoraWan.....	34
4.2.4	Especificaciones Por Regiones.....	34
4.2.4.1	LoRaWAN Europa.....	34
4.2.4.2	LoRaWAN Estados Unidos.....	36
4.2.5	Estándares Regionales.....	37
4.2.6	El Consumo De Energía.....	38
4.2.6.1	LoRaWAN EU.....	38
4.2.6.2	LoRaWAN US.....	39
4.2.7	Consumo de tiempo.....	39
4.2.8	Clases de LoRaWAN.....	40
4.2.8.1	Clase A.....	40
4.2.8.2	Clase B.....	41
4.2.8.3	Clase C.....	42
4.2.9	Activación de un nodo.....	42
4.2.9.1	Activación por personalización (ABP).....	42
4.2.9.2	Activación en el aire (OTAA).....	43
4.2.10	Batería.....	44
4.2.11	Microcontrolador.....	46
4.3	LoRa.....	47
4.3.1	¿Cómo funciona la red LoRa?.....	48
4.3.2	Modulación LoRa.....	48
4.3.3	Clasificaciones nodo final de LoRa.....	51
4.3.4	Seguridad LoRa.....	52
4.4	Catálogos de productos disponibles y en desarrollo.....	54

4.4.1	AIFON TECHNOLOGY CO.....	54
4.4.2	Semtech Corporation.....	58
4.4.3	ARDUINO.....	59
4.5	CERTIFICACIÓN LORA ALLIANCE.....	62
4.6	LORA RESPECTO A OTRAS TECNOLOGÍAS LPWAN.....	63
4.7	ANÁLISIS DE TECNOLOGÍA EN UN CASO DOCUMENTADO.....	66
4.7.1	Cobertura de LoRa/LoRaWAN.....	66
4.7.2	Conclusión De La Prueba.....	70
4.8	ACERCA DE LORA ALLIANCE.....	70
4.9	ESCENARIOS DONDE SE PUEDA EMPLEAR LA TECNOLOGÍA LORA...71	
4.9.1	¿Por qué utilizar LoRa?.....	80
5.	CONCLUSIONES.....	81
	BIBLIOGRAFIA.....	83

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b> Comparativo De Tecnologías Lpwan.....	21
<b>FIGURA 2.</b> Modo De Funcionamiento De LoraWan .....	32
<b>FIGURA 3.</b> Encriptación En LoraWan .....	33
<b>FIGURA 4.</b> LoRaWAN EU module .....	35
<b>FIGURA 5.</b> LoRaWAN EU module with antenna.....	35
<b>FIGURA 6.</b> LoRaWANUS module .....	36
<b>FIGURA 7.</b> LoRaWANUS module with antenna .....	36
<b>FIGURA 8.</b> Características De LoraWan Por Región .....	38
<b>FIGURA 9.</b> Acceso Al Medio En Clase A De LoRaWAN.....	40
<b>FIGURA 10.</b> Acceso al medio en clase B LoraWAN.....	41
<b>FIGURA 11.</b> Acceso Al Medio En Clase C LoraWan .....	42
<b>FIGURA 12.</b> Como Funciona Una Red Lora .....	48
<b>FIGURA 13.</b> Un Sistema De Espectro Ensanchado Multiplica Los Datos De Entrada En Una Secuencia De Código Mucho Más Rápida Que Propaga La Señal De Ancho De Banda.....	49
<b>FIGURA 14.</b> Un CSS "Upchirp" Puede Derivarse De Una Expresión Polinómica Para Frecuencia Vs. Tiempo, O Exhibir Una Relación Lineal Como Se Muestra Aquí.....	50
<b>FIGURA 15.</b> El Flujo De Datos Desde Un Dispositivo Final Lora A La Aplicación Incluye Cifrado Y Descifrado Al Principio Y Al Final De La Cadena, De Modo Que Sólo El Nodo Final Del Sensor Y La Aplicación Tengan Acceso A Los Datos De Texto Sin Formato.....	52
<b>FIGURA 16.</b> Características Clave De La Tecnología Inalámbrica LoRa .....	54
<b>FIGURA17.</b> Módulos LoRa UM801LP .....	55
<b>FIGURA 18.</b> Módulo LoRa LoRaWAN UM401LP.....	56
<b>FIGURA 19.</b> GW8000 LoRa Gateway.....	57
<b>FIGURA 20.</b> Lora Gateway De Comunicación Inteligente.....	57
<b>FIGURA 21.</b> Arduino Yún.....	60

<b>FIGURA 22.</b> MKR GSM 1400.....	60
<b>FIGURA 23.</b> Arduino Wireless Sd Shield.....	61
<b>FIGURA 24.</b> Proceso Para Certificar LoRa.....	62
<b>FIGURA 25.</b> Mapa de cobertura en la ciudad de Castelldefels.....	64
<b>FIGURA 26.</b> Segundo mapa de cobertura.....	69
<b>FIGURA 27:</b> Dispositivo Vinduino Monitoreando Viñedo.....	73
<b>FIGURA 28:</b> Red De Alumbrado Inteligente.....	77

## LISTA DE TABLAS

<b>TABLA 1.</b> Estándares Regionales LoraWAN.....	37
<b>TABLA 2.</b> Consumo De Energía En Europa.....	38
<b>TABLA 3.</b> Consumo De Energía En Estados Unidos.....	39
<b>TABLA 4.</b> Consumo De Tiempo.....	39
<b>TABLA 5.</b> Tipos De Batería.....	45
<b>TABLA 6.</b> Características De Las Baterías.....	46
<b>TABLA 7.</b> LoRa Vs LoRaWan.....	63
<b>TABLA 8.</b> LoRa Vs Zigbee.....	65
<b>TABLA 9.</b> LoRa Vs Sigfox.....	66
<b>TABLA 10.</b> Resultados De Las Pruebas De Cobertura.....	68
<b>TABLA 11.</b> Resultados Segunda Prueba De Cobertura.....	70

## RESUMEN GENERAL DE LA MONOGRAFÍA

**TITULO:** Realizar una revisión literaria de la tecnología de redes WAN de baja potencia LPWAN LoRa.\*

**AUTOR:** WILMAN FERNÁNDEZ GUTIÉRREZ.\*\*

**PALABRAS CLAVES:** LPWAN, LoRa, LoRaWan, IoT, Redes, sensores, wifi, microgrids.

### RESUMEN

El objetivo principal de esta monografía es revisar detalladamente todas las tecnologías asociadas al desarrollo de las redes WAN de baja potencia (LPWAN) la cual se perfila como la solución a la conectividad de las aplicaciones M2M y del Internet de las Cosas (IoT) desarrollando todo su potencial. Para resolver las necesidades comunicativas del IoT, las tecnologías de baja potencia de área amplia (LPWA) se presentan como la solución más novedosa y viable, enfocadas en optimizar la transferencia de datos, ofrecer cobertura global, contar con hardware de bajo coste, y lo más destacable, reducir consumo energético de los equipos. LoRaWAN, Sigfox y NB-IOT (Narrowband – Internet of Things), son algunas de las apuestas de los principales operadores y fabricantes en tecnología LPWAN, que luchan por no quedarse atrás en el mercado del IoT, estableciendo alianzas para promover una u otra alternativa, Optimizadas para redes con millones de dispositivos, y despliegues sencillos, las distancias alcanzables por estas redes van desde los 2km en entornos muy congestionados. Terminado este proyecto se puede dar por cumplido el objetivo principal de la monografía el cual era hacer una revisión de las tecnologías asociadas al desarrollo de las rede LPWAN, teniendo como principales tecnologías a LoRa y LoRaWan.

---

\* Monografía

\*\* Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Especialización en Telecomunicaciones. Director: Pedro Javier Trujillo Tarazona.

## GENERAL SUMMARY

**TITLE:** Review of LPWAN communication technologies.\*

**AUTHOR:** WILMAN FERNÁNDEZ GUTIÉRREZ.\*\*

**KEYWORDS:** LPWAN, LoRa, LoRaWan, IoT, Redes, sensores, wifi, microgrids.

### ABSTRACT

The main objective of this monograph is to review in detail all the technologies associated with the development of low power WAN networks (LPWAN) which is emerging as the solution to the connectivity of M2M applications and the Internet of Things (IoT) developing everything its potential To solve the communication needs of the IoT, low-power broad area technologies (LPWA) are presented as the most novel and viable solution, focused on optimizing data transfer, offering global coverage, having low cost hardware, and most remarkable, reduce energy consumption of equipment. LoRaWAN, Sigfox and NB-IOT (Narrowband - Internet of Things), are some of the bets of the main operators and manufacturers in LPWAN technology, which fight not to be left behind in the IoT market, establishing alliances to promote one or another alternative, Optimized for networks with millions of devices, and simple deployments, the distances reachable by these networks range from 2km in highly congested environments. Once this project is finished, the main objective of the monograph could be considered, which was to review the technologies associated with the development of the LPWAN networks, with LoRa and LoRaWan as main technologies.

---

\* Monograph

\*\* School of Electrical Engineering, Electronic and Telecommunication. Specialization in Telecommunications. Director: Pedro Javier Trujillo Tarazona.

## **INTRODUCCIÓN.**

### **1. JUSTIFICACIÓN**

Cuando se habla de redes de datos con frecuencia es necesario estar atento a los avances tecnológicos, porque es normal que a diario salgan a luz nuevos inventos y por ende los ya existentes de cierta forma se vean un poco obsoletos. Cuando esto surge, se presentan varios problemas. Los responsables de que una compañía o entidad tenga el mejor rendimiento deben buscar soluciones o mejoras en sus redes y procesos.

Estos avances han ido generando conceptos como ciudades inteligentes (Smart Cities), redes eléctricas inteligentes (Smart Grids) e Internet de las Cosas (IoT: Internet of Things). Algunas aplicaciones ejemplo son: los sensores inteligentes en áreas urbanas, rurales e industriales, los sistemas de monitoreo de zonas protegidas, la recolección inteligente de residuos urbanos, la telegestión o los sistemas de detección de lugares de parqueo en tiempo real, automatización de alumbrados públicos en vías de acuerdo al tráfico y micro redes eléctricas autónomas.

Para resolver las necesidades comunicativas del IoT, las tecnologías de baja potencia de área amplia (LPWA) se presentan como la solución más novedosa, eficiente y viable, enfocadas en optimizar la transferencia de datos, ofrecer cobertura global, contar con hardware de bajo coste, y lo más destacable, reducir consumo energético de los equipos. LoRaWAN, Sigfox y NB-IOT (Narrowband – Internet of Things), son algunas de las apuestas de los principales operadores y fabricantes en tecnología LPWA, que luchan por no quedarse atrás en el mercado del IoT, estableciendo alianzas para promover una u otra alternativa.

Optimizadas para redes con millones de dispositivos, y despliegues sencillos, las distancias alcanzables por estas redes van desde los 2km en entornos muy congestionados, hasta las decenas de km en entornos rurales. Esto dependiendo del medio de trasmisión.

Mientras que NB-IoT es una solución licenciada coexistente con tecnologías heredadas GSM, GPRS y LTE, y que aprovecha las infraestructuras de los operadores actuales, las tecnologías LoRaWAN y Sigfox son tecnologías no licenciadas que requieren de una infraestructura de comunicaciones propia. Tanto LoRaWAN como Sigfox proponen redes de baja tasa de transferencia de datos y escasos requisitos en cuanto a la latencia en la transmisión de datos; sin embargo, la principal diferencia entre ambos radica en que LoRaWAN es una tecnología abierta a la que cualquier empresa podrá adherirse para desplegar su propia red. Sigfox, por el contrario, es en sí una empresa que posee la patente de su sistema de conectividad.

Es precisamente este carácter abierto y autónomo de LoRaWAN lo que la convierte en una tecnología por la que están apostando infinidad de empresas que pretenden construir su propia infraestructura IoT. Razón por la cual se ha elegido enfocar el trabajo de monografía en la revisión de la tecnología LoRa.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Equipo de marketing. LoRaWAN: versatilidad y autonomía para las conexiones sensóricas. [Base de datos en línea]. Jul de 2017. Wellness Telecom S.L, Disponible en <http://www.wtelecom.es/2017/05/lorawan-versatilidad-autonomia-las-conexiones-sensoricas/>

## 2. ANTECEDENTES

A través de la historia siempre han existido redes de comunicación enfocadas a diferentes servicios, el rápido desarrollo y avance tecnológico unido a la alta demanda del servicio de comunicaciones, obligo a que las redes cada vez sean más sofisticadas, logrando al mismo tiempo integrar un gran número de servicios, llegando a lo que hoy en día se llama estandarización de los sistemas y redes.

Las redes constan de dos o más computadoras conectadas entre sí y permiten compartir recursos e información. La información por compartir suele consistir en archivos y datos. Los recursos son los dispositivos o las áreas de almacenamiento de datos de una computadora, compartida por otra computadora mediante la red. La más simple de las redes conecta dos computadoras, permitiéndoles compartir archivos e impresos. Las redes en general, consisten en "compartir recursos", y uno de sus objetivos es hacer que todos los programas, datos y equipo estén disponibles para cualquiera de la red que así lo solicite, sin importar la localización física del recurso y del usuario.

Una red mucho más compleja conecta todas las computadoras de una empresa o compañía en el mundo. Para compartir impresoras basta con un conmutador, pero si se desea compartir eficientemente archivos y ejecutar aplicaciones de red, hace falta tarjetas de interfaz de red (NIC, NetWare Interfaces Cards) y cables para conectar los sistemas. Aunque se puede utilizar diversos sistemas de interconexión vía los puertos series y paralelos, estos sistemas baratos no ofrecen la velocidad e integridad que necesita un sistema operativo de red seguro y con altas prestaciones que permita manejar muchos usuarios y recursos.

Al comienzo las redes tenían un diseño independiente para cada tipo de servicio, dentro de los más conocidos e importantes están: de telefonía (voz y datos), sólo de datos (datos y entre ordenadores) y redes de distribución (transmisión de

imágenes de televisión) las redes sirvieron para compartir la información en un servidor (mainframe) con terminales consideradas máquinas tontas. Entonces, cada fabricante tenía su propio sistema de conexión y no era compatible con el de otros, por la diferencia en protocolos, cableado y dispositivos que codificaran decodificaran la información.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Florencia Tomassi. REDES DE DATOS. [Base de datos en línea]. Mar de 2012. calameo, Disponible en <http://es.calameo.com/read/001378455c21a60f60553>

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Realizar una revisión literaria de la tecnología de redes WAN de baja potencia LPWAN LoRa.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Realizar un revisión literaria de la tecnología de redes WAN de baja potencia (LPWAN) LoRa para identificar su arquitectura, características de sus protocolos en las diferentes capas de la arquitectura.
- Recopilar información sobre las principales aplicaciones, productos e implantaciones o despliegues de la tecnología LPWAN LoRa.
- Compilar detalles de las aplicaciones y otros aspectos relativos a la utilización en redes eléctricas inteligentes (Smart Grids), especialmente en micro redes eléctricas (microgrids), de la tecnología LPWAN LoRa.
- Realizar comparaciones de la tecnología LPWAN LoRa respecto a otras tecnologías LPWAN.
- Emitir una valoración o juicio de la aplicabilidad de la tecnología LoRa en las redes eléctricas inteligentes (Smart Grids) y primordialmente en las micro redes eléctricas (microgrids).

## 4. MARCO TEORICO

### 4.1 LPWAN (low-power wide area network)

Low-power WAN (LPWAN) es una tecnología de red inalámbrica de área amplia que interconecta dispositivos alimentados por batería de bajo ancho de banda con bajas velocidades de bits en grandes distancias.

Creadas para redes de máquina a máquina (M2M) e Internet de las cosas (IoT), las LPWAN operan a un costo menor con una mayor eficiencia de energía que las redes móviles tradicionales. También son capaces de admitir una mayor cantidad de dispositivos conectados en un área más grande.

LPWAN puede acomodar tamaños de paquetes de 10 a 1,000 bytes a velocidades de enlace ascendente de hasta 200 Kbps. El largo alcance de LPWAN varía de 2 km a 1,000 km, dependiendo de la tecnología.

La mayoría de los LPWAN tienen una topología en estrella en la que, de forma similar al Wi-Fi, cada punto extremo se conecta directamente a puntos de acceso central comunes.<sup>3</sup>

**4.1.1 Tipos de LPWAN:** LPWAN no es una tecnología única, sino un grupo de varias tecnologías de red de área amplia de baja potencia que adoptan muchas formas y formas. Los LPWAN pueden usar frecuencias con licencia o sin licencia e incluir opciones estándar patentadas o abiertas.

El sigfox patentado y sin licencia es uno de los LPWAN más ampliamente implementados en la actualidad. Al funcionar sobre una red pública en las bandas de 868 MHz o 902 MHz, la tecnología de banda ultrabaja solo permite un solo

---

<sup>3</sup> Margaret, Rouse. LPWAN (low-power wide area network). [Base de datos en línea]. Sep de 2017. IoT Agenda, Disponible en <http://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/LPWAN-low-power-wide-area-network>

operador por país. Si bien puede enviar mensajes a distancias de 30-50 km en áreas rurales, 3-10 km en entornos urbanos y hasta 1.000 km en aplicaciones de línea de sitio, su tamaño de paquete está limitado a 150 mensajes de 12 bytes por día. Los paquetes de enlace descendente son más pequeños, se limitan a cuatro mensajes de 8 bytes por día. Enviar datos a los puntos finales también puede ser propenso a la interferencia.

El acceso múltiple en fase aleatoria, o RPMA, es un LPWAN patentado de Ingenu Inc. Aunque tiene un alcance más corto (hasta 50 km de línea de visión y 5-10 km fuera de línea de visión), ofrece una mejor comunicación bidireccional que Sigfox. Sin embargo, debido a que se ejecuta en el espectro de 2,4 GHz, es propenso a la interferencia de Wi-Fi, Bluetooth y las estructuras físicas. También suele tener un mayor consumo de energía que otras opciones de LPWAN.

El LoRa sin licencia, especificado y respaldado por LoRa Alliance, transmite en varias frecuencias de subgigahercios, lo que lo hace menos propenso a la interferencia. Derivado de la modulación chirp spread spectrum (CSS), LoRa permite a los usuarios definir el tamaño del paquete. Mientras que es de código abierto, el chip transceptor subyacente utilizado para implementar LoRa solo está disponible en Semtech Corporation, la compañía detrás de la tecnología. LoRaWAN es el protocolo de capa de control de acceso a los medios (MAC) que gestiona la comunicación entre los dispositivos LPWAN y las puertas de enlace.

Weightless SIG ha desarrollado tres estándares LPWAN: el Unidireccional Weightless-N, Weightless-P bidireccional y Weightless-W, que también es bidireccional y se escapa del espectro de TV no utilizado. Weightless-N y Weightless-P son a menudo opciones más populares debido a la menor duración de la batería de Weightless-W. Weightless-N y Weightless-P se ejecutan en el espectro sin licencia sub-1 GHz, pero también son compatibles con la operación de espectro con licencia que utiliza la tecnología de banda estrecha de 12,5 kHz.

-IO de banda estrecha (NB-IO) y LTE-M son ambos 3 rd normas Generation Partnership Project (3GPP) que operan en el espectro con licencia. Si bien tienen un rendimiento similar al de otros estándares, operan en la infraestructura celular existente, lo que permite a los proveedores de servicios agregar rápidamente la conectividad IoT celular a sus carteras de servicios.

NB-IoT, también conocido como CAT-NB1, opera en las infraestructuras LTE y Global System for Mobile (GSM) existentes. Ofrece tasas de enlace ascendente y de enlace descendente de alrededor de 200 Kbps, utilizando solo 200 kHz de ancho de banda disponible.

LTE-M, también conocido como CAT-M1, ofrece un ancho de banda mayor que NB-IoT, y el mayor ancho de banda de cualquier tecnología LPWAN.

Algunos proveedores, incluidos Orange y SK Telecom, están implementando tecnologías licenciadas y sin licencia para capturar ambos mercados.

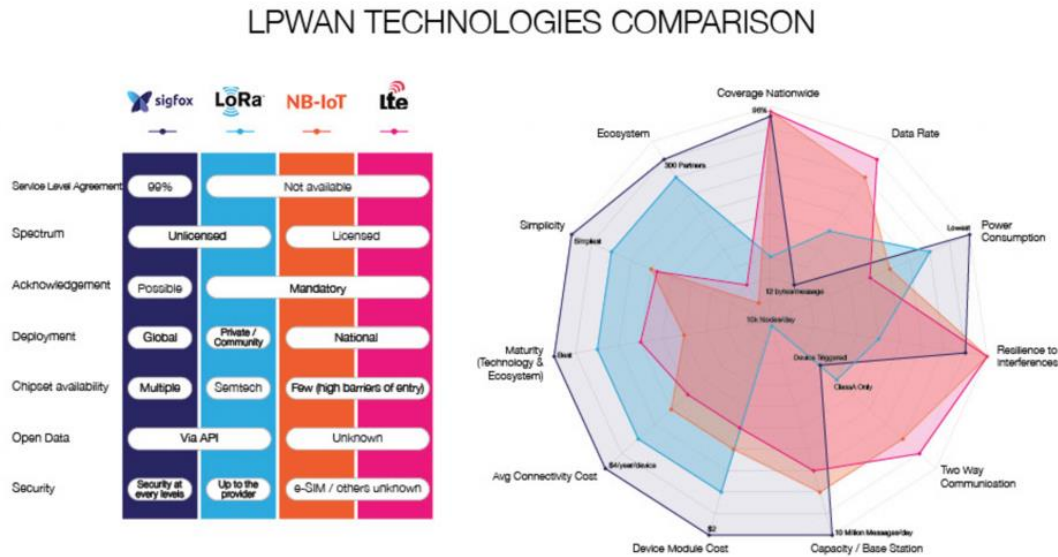
Otras tecnologías LPWAN incluyen:

- GreenOFDM de GreenWaves Technologies
- DASH7 de Haystack Technologies Inc.
- Symphony Link de Link Labs Inc.
- ThingPark Wireless de Actility
- Ultra Narrow Band de varias compañías, incluyendo Telensa, Nwave y Sigfox
- WAVIoT.

Si bien Bluetooth, Zigbee y Wi-Fi son adecuados para la conectividad IoT al nivel del consumidor, muchas aplicaciones IoT, particularmente en despliegues industriales, cívicos y comerciales, se benefician de un LPWAN donde un gran

número de dispositivos de baja potencia en un amplio rango es compatible de manera rentable.<sup>4</sup>

**FIGURA 1: Comparativo De Tecnologías Lpwan.**



Fuente: Tomado de [4]

A diferencia de las tecnologías inalámbricas anteriores, LPWAN ofrece conectividad ubicua de área amplia y eficiente en cuanto a la batería, lo que permite más aplicaciones M2M e IoT que anteriormente eran prohibitivas debido al costo. Sin embargo, una compensación importante es la cantidad de datos que pueden transmitirse. Sin embargo, según James Brehm & Associates, el 86% de todos los dispositivos IoT usan menos de 3 MB de datos por mes, y 3GPP estima que el 99.9% de los dispositivos LPWAN usarán menos de 150 KB de datos por mes.

Las redes celulares a menudo sufren de poca duración de la batería y pueden tener brechas en la cobertura. Las tecnologías celulares también son frecuentemente

<sup>4</sup> «IoTNet Mexico [en línea] < <http://www.iotnet.mx/index.php/2017/07/29/las-ventajas-de-sigfox-entre-las-tecnologias-complementarias-de-la-conectividad-lpwan-weneedsigfox/> > [citado 04/11/2017]».

puestas de sol. Como muchos dispositivos de IoT se implementan durante 10 años o más, la cobertura móvil de puesta a punto no es una opción factible.

Las tecnologías de radiofrecuencia (RF), como Bluetooth y las comunicaciones de campo cercano (NFC), no tienen el alcance que requieren muchas aplicaciones de IoT.

Las tecnologías de malla, como Zigbee, son más adecuadas para aplicaciones de IoT de media distancia, como casas inteligentes o edificios inteligentes. Tienen altas velocidades de datos y son mucho menos eficientes en cuanto a batería que LPWAN.<sup>5</sup>

**4.1.2 Aplicaciones LPWAN:** Con menores requisitos de energía, rangos más largos y costos más bajos que las redes móviles tradicionales, las LPWAN permiten una cantidad de aplicaciones M2M e IoT, muchas de las cuales anteriormente estaban limitadas por problemas de presupuesto y energía.

La elección de un LPWAN depende de la aplicación específica, es decir, la velocidad deseada, los montos de los datos y el área cubierta. Los LPWAN son más adecuados para aplicaciones que requieren la entrega de mensajes de enlace ascendente infrecuentes de mensajes más pequeños. La mayoría de las tecnologías LPWAN también tienen capacidades de enlace descendente.

Los LPWAN se usan comúnmente en aplicaciones que incluyen medición inteligente, iluminación inteligente, monitoreo y seguimiento de activos, ciudades

---

<sup>5</sup> Margaret, Rouse. LPWAN (low-power wide area network). [Base de datos en línea]. Sep de 2017. IoT Agenda, Disponible en <http://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/LPWAN-low-power-wide-area-network>

inteligentes, agricultura de precisión, monitoreo de ganado, administración de energía, fabricación e implementaciones de IoT industriales.<sup>6</sup>

**4.1.3 Seguridad LPWAN:** Las diferentes tecnologías LPWAN ofrecen diferentes niveles de seguridad. La mayoría incluye autenticación de dispositivos o suscriptores, autenticación de red, protección de identidad, encriptación estándar avanzada (AES), confidencialidad de mensajes y aprovisionamiento de claves.

**4.1.4 Protocolos de Internet de las cosas (IoT):** Existe una opción casi desconcertante de opciones de conectividad para ingenieros de electrónica y desarrolladores de aplicaciones que trabajan en productos y sistemas para el Internet de las cosas (IoT).

Muchas tecnologías de comunicación son bien conocidas, como WiFi, Bluetooth, ZigBee y celular 2G / 3G / 4G, pero también hay varias nuevas opciones de red emergentes como Thread como alternativa para aplicaciones de automatización doméstica, y tecnologías de Whitespace TV implementadas en las principales ciudades para casos de uso basados en IoT de área más amplia. Dependiendo de la aplicación, factores como el rango, los requisitos de datos, las demandas de seguridad y alimentación y la duración de la batería determinarán la elección de una o alguna forma de combinación de tecnologías. Estas son algunas de las principales tecnologías de comunicación que se ofrecen a los desarrolladores.

**4.1.4.1 Bluetooth:** Es una importante tecnología de comunicaciones de corto alcance es, por supuesto, Bluetooth, que se ha vuelto muy importante en la informática y en muchos mercados de productos de consumo. Se espera que sea la clave para los productos portátiles en particular, de nuevo conectándose al IoT

---

<sup>6</sup> Alejandro, Alonso. Dispositivos conectados: LPWAN y su importancia para la Internet de las Cosas [Base de datos en línea]. May de 2017. IT Sitio Distribución, Disponible en <http://distribucion.itsitio.com/ar/dispositivos-conectados-lpwan-importancia-la-internet-las-cosas/>

aunque probablemente a través de un teléfono inteligente en muchos casos. El nuevo Bluetooth Low-Energy (BLE) - o Bluetooth Smart, como ahora se comercializa - es un protocolo significativo para aplicaciones IoT. Es importante destacar que, aunque ofrece un rango similar a Bluetooth, se ha diseñado para ofrecer un consumo de energía significativamente reducido.

Sin embargo, Smart / BLE no está diseñado para la transferencia de archivos y es más adecuado para pequeños fragmentos de datos. Tiene una gran ventaja, sin duda, en un contexto de dispositivo más personal que muchas tecnologías de la competencia dada su amplia integración en teléfonos inteligentes y muchos otros dispositivos móviles. Según Bluetooth SIG, se espera que más del 90 por ciento de los teléfonos inteligentes habilitados para Bluetooth, incluidos los modelos basados en iOS, Android y Windows, estén listos para el año 2018.

Los dispositivos que emplean funciones Bluetooth Smart incorporan la especificación Bluetooth Core versión 4.0 (o superior, la última es la versión 4.2 anunciada a finales de 2014) con una configuración combinada de base de datos básica y baja energía para un transceptor de RF, banda base y pila de protocolo. Es importante destacar que la versión 4.2 a través de su perfil de soporte de protocolo de Internet permitirá que los sensores inteligentes Bluetooth accedan a Internet directamente a través de la conectividad 6LoWPAN (más sobre esto a continuación). Esta conectividad IP hace posible el uso de la infraestructura IP existente para administrar los dispositivos inteligentes Bluetooth 'edge'. Más información sobre Bluetooth 4.2 está disponible [aquí](#) y una amplia gama de módulos Bluetooth están disponibles desde RS.

- Estándar: especificación del núcleo Bluetooth 4.2
- Frecuencia: 2.4GHz (ISM)
- Rango: 50-150 m (inteligente / BLE)
- Velocidad de datos: 1Mbps (Smart / BLE)

**4.1.4.2 Zigbee:** ZigBee, como Bluetooth, tiene una gran base de operación instalada, aunque tal vez tradicionalmente más en entornos industriales. ZigBee PRO y ZigBee Remote Control (RF4CE), entre otros perfiles ZigBee disponibles, se basan en el protocolo IEEE802.15.4, que es una tecnología de red inalámbrica estándar de la industria que opera en aplicaciones de orientación de 2.4GHz que requieren intercambios de datos relativamente infrecuentes con poca información. Tasas sobre un área restringida y dentro de un rango de 100 m como en una casa o edificio.

ZigBee / RF4CE tiene algunas ventajas significativas en sistemas complejos que ofrecen operación de bajo consumo, alta seguridad, robustez y alta escalabilidad con altos recuentos de nodos y está bien posicionado para aprovechar el control inalámbrico y las redes de sensores en aplicaciones M2M e IoT. La última versión de ZigBeees el 3.0 lanzado recientemente, que es esencialmente la unificación de los diversos estándares inalámbricos ZigBee en un solo estándar. Un producto y kit de ejemplo para el desarrollo de ZigBee son el CC2538SF53RTQT ZigBee System-On-Chip IC de TI y el Kit de desarrollo CC2538 ZigBee.

- Estándar: ZigBee 3.0 basado en IEEE802.15.4
- Frecuencia: 2.4GHz
- Rango: 10-100m
- Velocidad de datos: 250 kbps

**4.1.4.3 Z-Wave:** Z-Wave es una tecnología de comunicaciones de RF de baja potencia que está diseñada principalmente para la automatización del hogar para productos como controladores de lámparas y sensores, entre muchos otros. Optimizado para la comunicación confiable y de baja latencia de pequeños paquetes de datos con velocidades de datos de hasta 100kbit / s, opera en la banda sub-1GHz y es impermeable a la interferencia de WiFi y otras tecnologías inalámbricas en el rango de 2,4 GHz como Bluetooth o ZigBee. Admite redes de malla completa

sin la necesidad de un nodo coordinador y es muy escalable, lo que permite el control de hasta 232 dispositivos. Z-Wave utiliza un protocolo más simple que algunos otros, lo que puede permitir un desarrollo más rápido y simple, pero el único fabricante de chips es Sigma Designs en comparación con múltiples fuentes para otras tecnologías inalámbricas como ZigBee y otros.

- Estándar: Z-Wave Alliance ZAD12837 / ITU-T G.9959
- Frecuencia: 900MHz (ISM)
- Alcance: 30 m
- Velocidad de datos: 9.6 / 40 / 100kbit / s

**4.1.4.4 6LowPAN:** Es una tecnología clave basada en IP (Protocolo de Internet) es 6LowPAN (Red de área personal inalámbrica de baja potencia IPv6). En lugar de ser una tecnología de protocolos de aplicación IoT como Bluetooth o ZigBee, 6LowPAN es un protocolo de red que define encapsulación y mecanismos de compresión de encabezado. El estándar tiene la libertad de banda de frecuencia y capa física y también se puede usar en múltiples plataformas de comunicaciones, incluyendo Ethernet, Wi-Fi, 802.15.4 y ISM sub-1GHz. Un atributo clave es la pila IPv6 (Protocolo de Internet versión 6), que ha sido una introducción muy importante en los últimos años para habilitar el IoT. IPv6 es el sucesor de IPv4 y ofrece aproximadamente  $5 \times 10^{28}$  direcciones para cada persona en el mundo, permitiendo que cualquier objeto o dispositivo incorporado en el mundo tenga su propia dirección IP única y se conecte a Internet. Especialmente diseñado para la automatización de viviendas o edificios, por ejemplo, IPv6 proporciona un mecanismo básico de transporte para producir sistemas de control complejos y para comunicarse con los dispositivos de una manera rentable a través de una red inalámbrica de baja potencia.

Diseñado para enviar paquetes IPv6 a través de redes basadas en IEEE802.15.4 e implementar estándares abiertos de IP, incluidos TCP, UDP, HTTP, COAP, MQTT

y websockets, el estándar ofrece nodos direccionables de extremo a extremo, lo que permite que un enrutador conecte la red a IP. 6LowPAN es una red en malla que es robusta, escalable y autocurable. Los dispositivos de enrutamiento de malla pueden enrutar datos destinados a otros dispositivos, mientras que los hosts pueden dormir durante largos periodos de tiempo. Una explicación de 6LowPAN está disponible aquí, cortesía de TI.

- Estándar: RFC6282
- Frecuencia: (adaptada y utilizada en una variedad de otros medios de red, incluyendo Bluetooth Smart (2.4GHz) o ZigBee o RF de baja potencia (sub-1GHz)
- Rango: N / A
- Tasas de datos: N / A

**4.1.4.5 Hilo:** Un nuevo protocolo de red IPv6 basado en IP dirigido al entorno de domótica es Thread. Basado en 6LowPAN, y también me gusta, no es un protocolo de aplicaciones IoT como Bluetooth o ZigBee. Sin embargo, desde el punto de vista de la aplicación, está diseñado principalmente como un complemento de WiFi, ya que reconoce que si bien WiFi es bueno para muchos dispositivos de consumo, tiene limitaciones para su uso en una configuración de automatización del hogar.

Lanzado a mediados de 2014 por Thread Group , el protocolo libre de regalías se basa en varios estándares, incluido IEEE802.15.4 (como el protocolo inalámbrico de interfaz aérea), IPv6 y 6LoWPAN, y ofrece una solución resistente basada en IP para el IoT. Diseñado para funcionar con silicio inalámbrico IEEE802.15.4 existente de proveedores de chips como Freescale y Silicon Labs, Thread admite una red en malla utilizando transceptores de radio IEEE802.15.4 y es capaz de manejar hasta 250 nodos con altos niveles de autenticación y encriptación. Una actualización de software relativamente simple debería permitir a los usuarios ejecutar subprocesos en los dispositivos habilitados para IEEE802.15.4 existentes.

- Estándar: subproceso, basado en IEEE802.15.4 y 6LowPAN
- Frecuencia: 2.4GHz (ISM)
- Rango: N / A
- Tasas de datos: N / A

**4.1.4.6 Wifi:** La conectividad wifi es a menudo una opción obvia para muchos desarrolladores, especialmente dada la omnipresencia de WiFi dentro del entorno doméstico dentro de las LAN. Requiere poca explicación adicional, excepto para indicar lo obvio que claramente existe una amplia infraestructura existente, así como también una rápida transferencia de datos y la capacidad de manejar grandes cantidades de datos.

Actualmente, el estándar WiFi más común utilizado en hogares y en muchas empresas es 802.11n, que ofrece un rendimiento serio en el rango de cientos de megabits por segundo, lo que está bien para las transferencias de archivos, pero puede consumir demasiada energía para muchas aplicaciones de IoT. Una serie de kits de desarrollo de RF diseñados para construir aplicaciones basadas en WiFi están disponibles desde RS.

- Estándar: Basado en 802.11n (uso más común en los hogares de hoy)
- Frecuencias: bandas de 2.4GHz y 5GHz
- Alcance: Aproximadamente 50m
- Velocidades de datos: 600 Mbps como máximo, pero 150-200 Mbps es más típico, dependiendo de la frecuencia del canal utilizado y el número de antenas (el último estándar 802.11-ac debería ofrecer 500 Mbps a 1 Gbps)

**4.1.4.7 Celular:** Cualquier aplicación de IoT que requiera operación a distancias más largas puede aprovechar las capacidades de comunicación celular GSM / 3G / 4G. Mientras que el celular es claramente capaz de enviar grandes cantidades de

datos, especialmente para 4G, el gasto y el consumo de energía serán demasiado altos para muchas aplicaciones, pero puede ser ideal para proyectos de datos de bajo ancho de banda basados en sensores que enviarán muy bajas cantidades de datos a través de Internet. Un producto clave en esta área es la gama de productos SparqEE, incluida la pequeña placa de desarrollo original CELLv1.0 de bajo costo y una serie de placas de conexión blindadas para usar con las plataformas Raspberry Pi y Arduino.

- Estándar: GSM / GPRS / EDGE (2G), UMTS / HSPA (3G), LTE (4G)
- Frecuencias: 900/1800/1900 / 2100MHz
- Alcance: 35 km como máximo para GSM; 200 km como máximo para HSPA
- Tasas de datos (descarga típica): 35-170kps (GPRS), 120-384 kbps (EDGE), 384 Kbps-2 Mbps (UMTS), 600 Kbps-10 Mbps (HSPA), 3-10 Mbps (LTE)

**4.1.4.8 NFC:** NFC (Near Field Communication) es una tecnología que permite interacciones bidireccionales simples y seguras entre dispositivos electrónicos, y especialmente aplicable para teléfonos inteligentes, permitiendo a los consumidores realizar transacciones de pago sin contacto, acceder a contenido digital y conectar dispositivos electrónicos. Básicamente, amplía la capacidad de la tecnología de tarjetas sin contacto y permite a los dispositivos compartir información a una distancia inferior a 4 cm. Más información está disponible aquí.

- Estándar: ISO / IEC 18000-3
- Frecuencia: 13.56MHz (ISM)
- Rango: 10cm
- Tasas de datos: 100-420 kbps

**4.1.4.9 Sigfox:** Una tecnología alternativa de amplio rango es Sigfox, que en términos de rango viene entre WiFi y celular. Utiliza las bandas ISM, que son de uso gratuito sin la necesidad de adquirir licencias, para transmitir datos a través de un

espectro muy estrecho desde y hacia los objetos conectados. La idea de Sigfox es que para muchas aplicaciones M2M que funcionan con una batería pequeña y solo requieren bajos niveles de transferencia de datos, el alcance de WiFi es demasiado corto, mientras que el celular es demasiado caro y consume demasiada energía. Sigfox usa una tecnología llamada Ultra Narrow Band (UNB) y solo está diseñada para manejar velocidades de transferencia de datos bajas de 10 a 1,000 bits por segundo. Solo consume 50 microvatios en comparación con los 5000 microvatios para la comunicación celular, o puede ofrecer un tiempo de espera típico de 20 años con una batería de 2.5 Ah, mientras que solo es de 0.2 años para celulares.

Ya desplegada en decenas de miles de objetos conectados, la red se está implementando actualmente en las principales ciudades de Europa, incluyendo diez ciudades en el Reino Unido, por ejemplo. La red ofrece una red robusta, energéticamente eficiente y escalable que puede comunicarse con millones de dispositivos operados a batería en áreas de varios kilómetros cuadrados, lo que la hace adecuada para varias aplicaciones M2M que se espera que incluyan medidores inteligentes, monitores de pacientes, dispositivos de seguridad, alumbrado público y sensores ambientales. El sistema Sigfox utiliza silicio como los transceptores inalámbricos EZRadioPro de Silicon Labs, que ofrecen un rendimiento inalámbrico líder en la industria, un rango extendido y un consumo de energía ultra bajo para aplicaciones de redes inalámbricas que operan en la banda sub-1GHz.

- Estándar: Sigfox
- Frecuencia: 900MHz
- Alcance: 30-50 km (entornos rurales), 3-10 km (entornos urbanos)
- Tasas de datos: 10-1000 bps

**4.1.4.10 Neul:** Similar en concepto a Sigfox y operando en la banda sub-1GHz, Neul aprovecha segmentos muy pequeños del espectro de TV White Space para ofrecer alta escalabilidad, alta cobertura, baja potencia y redes inalámbricas de bajo costo. Los sistemas se basan en el chip Icen1, que se comunica utilizando la radio de espacio en blanco para acceder al espectro UHF de alta calidad, ahora disponible debido a la transición de TV analógica a digital. La tecnología de comunicación se llama Weightless, que es una nueva tecnología de red inalámbrica de área amplia diseñada para el IoT que compite en gran medida con las soluciones WAN GPRS, 3G, CDMA y LTE existentes. Las tasas de datos pueden ser desde algunos bits por segundo hasta 100 kbps en el mismo enlace; y los dispositivos pueden consumir tan poco como 20 a 30 mA de baterías 2xAAA, lo que significa 10 a 15 años en el campo.

- Estándar: Neul
- Frecuencia: 900MHz (ISM), 458MHz (UK), 470-790MHz (Espacio en blanco)
- Alcance: 10 km
- Tasas de datos: pocos bps de hasta 100 kbps<sup>7</sup>

## **4.2 Descripción De Las Tecnologías Utilizadas Para Las Redes LPWAN.**

**4.2.1 LoRaWAN:** LoRaWAN es una tecnología inalámbrica para datos de bajo consumo de baja potencia y largo alcance.

La arquitectura de red LoRaWAN se presenta típicamente en una topología de estrella de estrellas en la que los gateways son un puente transparente que retransmite mensajes entre end-devices (nodos) y un servidor de red central. Los gateways se conectan al servidor de red a través de conexiones IP estándar mientras que los dispositivos finales utilizan una comunicación inalámbrica de un

---

<sup>7</sup> Alejandro, Alonso. 11 Internet of Things (IoT) Protocols You Need to Know About [Base de datos en línea]. May de 2015. ITSitio Distribución, Disponible en <https://www.rs-online.com/designspark/eleven-internet-of-things-iot-protocols-you-need-to-know-about>

solo salto a uno o varios gateways. Todas las comunicaciones de punto final son generalmente bidireccionales, pero también son compatibles con la operación tal como la multidifusión que permite la actualización de software en el aire u otro tipo de mensajes que reducen el tiempo de comunicación en el aire.

La comunicación entre los nodos y los Gateways se extiende en diferentes canales de frecuencia y velocidades de datos. La selección de la velocidad de datos es una compensación entre el intervalo de comunicación y la duración del mensaje. Debido a la tecnología Spread Spectrum, las comunicaciones con diferentes velocidades de datos no interfieren entre sí y crean un conjunto de canales "virtuales" que aumentan la capacidad del gateway. Las velocidades de datos de LoRaWAN oscilan entre 0,3 kbps y 50 kbps. Para maximizar tanto la duración de la batería de los dispositivos finales como la capacidad total de la red, el servidor de red LoRaWAN gestiona la velocidad de datos y la salida de RF para cada dispositivo final individualmente mediante un esquema de velocidad de datos adaptativa (ADR).<sup>8</sup>

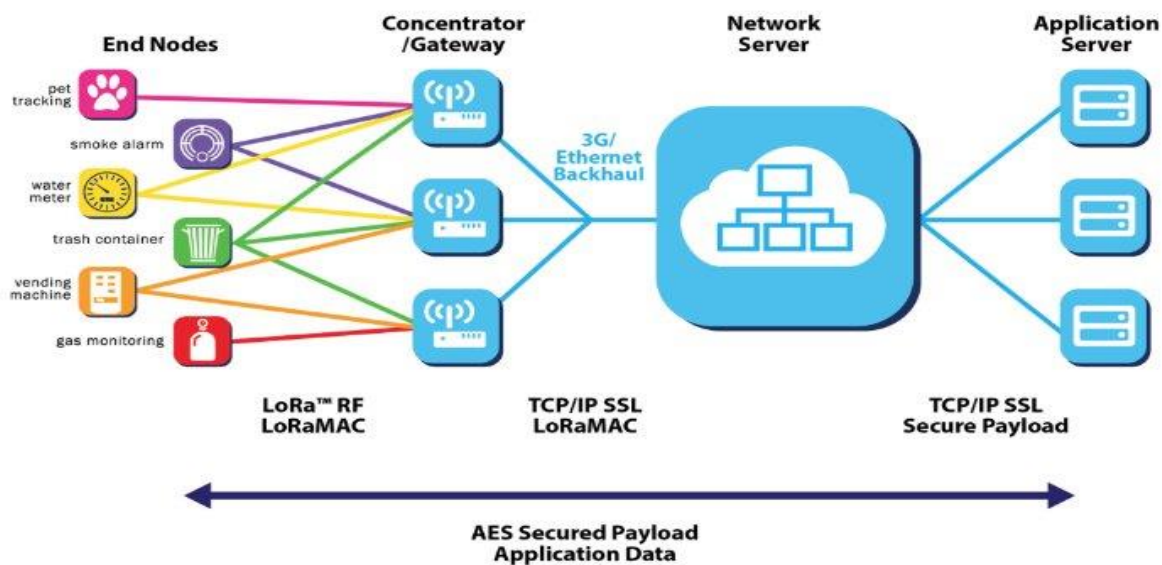
La Figura 2 muestra las entidades involucradas en una red LoRaWAN<sup>9</sup>

## **Figura 2: Modo De Funcionamiento De LoraWan**

---

<sup>8</sup> Cristian Yamith Burbano Ordoñez. Implementación de una red de sensores inalámbricos lpwan mediante módulos lora para el monitoreo de la calidad del agua en 2 rios. Bogotá d.c.: universidad distrital francisco josé de caldas. Facultad de ingeniería, ingeniería electrónica, 2017.

<sup>9</sup> «semtech [en línea] < <http://www.semtech.com/wireless-rf/internet-of-things/what-is-lora/> > [citado 04/11/2017]».



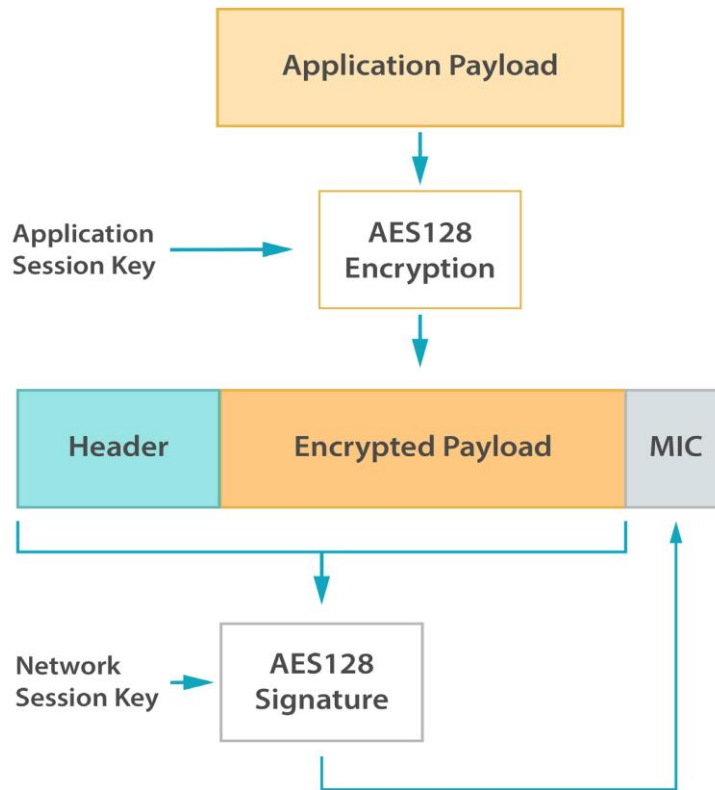
FUENTE: Tomado de [9]

**4.2.2 Seguridad En LoraWan:** Como es común en cualquier solución tecnología unos delos puntos más importantes es la seguridad de los datos, la sociedad tiene una necesidad especial de comunicación segura. LoraWan ha “resuelto” este tema con varias capas de encriptación que funcionan de la siguiente forma:

- Clave de sesión de red (clave de 128 bits) que garantiza la seguridad en el nivel de la red.
- La clave de sesión de la aplicación (clave de 128 bits) garantiza la seguridad de extremo a extremo en el nivel de la aplicación.
- Clave de aplicación (clave de 128 bits) que garantiza la seguridad de extremo a extremo en el nivel de la aplicación (solo el procedimiento OTAA).<sup>10</sup>

**FIGURA 3: Encriptación En LoraWan**

<sup>10</sup> Sabas. Haciendo IoT con LoRa: Capítulo 1.- ¿Qué es LoRa y LoRaWAN? [Base de datos en línea]. Sep de 2017. Semtech, Disponible en <https://medium.com/beelan/haciendo-iot-con-lora-cap%C3%ADtulo-1-qu%C3%A9-es-lora-y-lorawan-8c08d44208e8>



4.2.3

FUENTE: Tomado de [10]

### Hardware LoRaWAN

El módulo LoRaWAN se gestiona a través de UART y se puede conectar a SOCKET0 o SOCKET1.

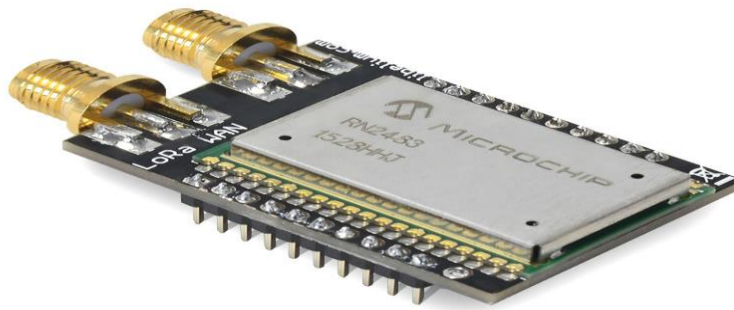
### 4.2.4 Especificaciones Por Regiones

**4.2.4.1 LoRaWAN Europa:** Las principales características del módulo se enumeran a continuación:

- **Protocol:** LoRaWAN 1.0, Class A
- **LoRaWAN-ready**
- **Frequency:** EU 863-870 MHz and EU 433 MHz ISM frequency bands.
- **TX power:** up to +14 dBm
- **Sensitivity:** down to -136 dBm

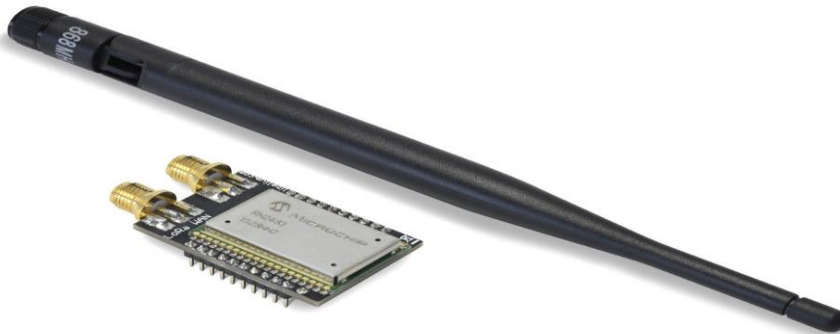
- **Range:** >15 km at suburban and >5 km at urban area. Typically, each base station covers some km. Check the LoRaWAN Network in your area.
- **Chipset consumption:** 38.9 mA
- **Radio bit rate:** from 250 to 5470 bps
- **Receiver:** purchase your own base station or use networks from LoRaWAN operators.<sup>11</sup>

**FIGURA 4: LoRaWAN EU module**



FUENTE: Tomado de [11]

**FIGURA 5: LoRaWAN EU module with antenna**



FUENTE: Tomado de [11]

---

<sup>11</sup> «libelium [en línea] <http://www.libelium.com/development/waspmote/examples/?cat=communication-examples&subcat=lorawan-communication-examples> [citado 04/11/2017]».

**4.2.4.2 LoraWAN Estados Unidos:** Las principales características del módulo se enumeran a continuación:

- **Protocol:** LoRaWAN 1.0, Class A
- **LoRaWAN-ready**
- **Frequency:** US 902-928 MHz ISM band
- **TX power:** up to +18.5 dBm
- **Sensitivity:** down to -136 dBm
- **Range:** >15 km at suburban and >5 km at urban area. Typically, each base station covers some km. Check the LoRaWAN Network in your area.
- **Chipset consumption:** 124.4 mA
- **Radio bit rate:** from 250 to 12500 bps
- **Receiver:** purchase your own base station or use networks from LoRaWAN
- Operators.

**FIGURA 6: LoRaWAN US module**



FUENTE: Tomado de [11]

**FIGURA 7: LoRaWAN US module with antenna**



FUENTE: Tomado de [11]

**4.2.5 Estándares Regionales:** La Especificación LoRaWAN establecida por LoRa Alliance establece los parámetros que deben cumplirse para cada región Consulte la tabla de compatibilidad a continuación.

Region	Supported by
EU 863-870 MHz ISM Band (Europe)	LoRaWAN EU
US 902-928 MHz ISM Band (United States)	LoRaWAN US
CN 779-787 MHz ISM Band (China)	Not supported
AU 915-928 MHz ISM Band (Australia)	Not supported
CN 470-510 MHz ISM Band (China)	Not supported
AS 923 MHz ISM Band (Asia)	Not supported
KR 920-923 MHz ISM Band (South Korea)	Not supported

**TABLA 1: Estándares Regionales LoraWAN**

**FIGURA 8: Características De LoraWAN Por Región<sup>12</sup>**

	Europe	North America	China	Korea	Japan	India
Frequency band	867-869MHz	902-928MHz	470-510MHz	920-925MHz	920-925MHz	865-867MHz
Channels	10	64 + 8 +8	In definition by Technical Committee	In definition by Technical Committee	In definition by Technical Committee	In definition by Technical Committee
Channel BW Up	125/250kHz	125/500kHz				
Channel BW Dn	125kHz	500kHz				
TX Power Up	+14dBm	+20dBm typ (+30dBm allowed)				
TX Power Dn	+14dBm	+27dBm				
SF Up	7-12	7-10				
Data rate	250bps- 50kbps	960bps-21.9kpbs				
Link Budget Up	155dB	154dB				
Link Budget Dn	155dB	157dB				

FUENTE: Tomado de [12]

## 4.2.6 El Consumo De Energía

**4.2.6.1 LoraWAN EU:** El módulo LoRaWAN EU está alimentado a 3.3 V. La siguiente tabla muestra el consumo de corriente promedio del módulo en diferentes estados del módulo.

State	Power Consumption
ON	2.8 mA
Transmitting data	38.9 mA
Receiving data	14.2 mA

**TABLA 2: Consumo De Energía En Europa**

<sup>12</sup> «3GLTEinfo [en línea] < <http://www.3glteinfo.com/lora/lorawan-frequency-bands/> [citado 04/11/2017]».

**4.2.6.2 LoraWAN US:** El módulo LoRaWAN US está alimentado a 3.3 V. La siguiente tabla muestra el consumo de corriente promedio del módulo en diferentes estados del módulo.

State	Power Consumption
ON	2.7 mA
Transmitting data	124.4 mA
Receiving data	13.5 mA

**TABLA 3: Consumo De Energía En Estados Unidos**

**4.2.7 Consumo De Tiempo:** Los períodos transcurridos definidos en este capítulo tienen en cuenta los siguientes pasos según el caso:

- Entrar a la red y envía datos no confirmados
- Entrar a la red y envía datos confirmados

Estos periodos de tiempo dependen del conjunto de velocidad de datos que se define por el factor de expansión y el ancho de banda de la señal configurado.

Transmit mode	Time elapsed
Send unconfirmed at 5470 bps	~ 2.8 seconds
Send unconfirmed at 250 bps	~ 4.2 seconds
Send confirmed at 5470 bps	~ 1.7 seconds
Send confirmed at 250 bps	~ 4.2 seconds

**TABLA 4: Consumo De Tiempo**

Al transmitir en bandas de frecuencia ISM, el usuario debe asegurarse de que la comunicación no exceda el tiempo permitido utilizando el canal de frecuencia elegido (por ejemplo, 1% de tiempo). Esto depende de las regulaciones locales

(CE, FCC, etc.) Es responsabilidad del usuario conocer el tiempo de uso permitido en la banda de frecuencia ocupada y respetarlo. Ignorar esto, podría llevar a sanciones considerables. Además, un operador de back-end LoRaWAN podría cortar el servicio o aplicar tarifas adicionales, si detectan que el usuario está excediendo la cantidad máxima de fotogramas o datos en un período de tiempo.<sup>13</sup>

**4.2.8 Clases De LoRaWAN:**<sup>14</sup> Existen 3 clases de dispositivos que manejan LoRaWan definidos como A, B y C, aunque todos los dispositivos implementan al menos la funcionalidad de la clase A.

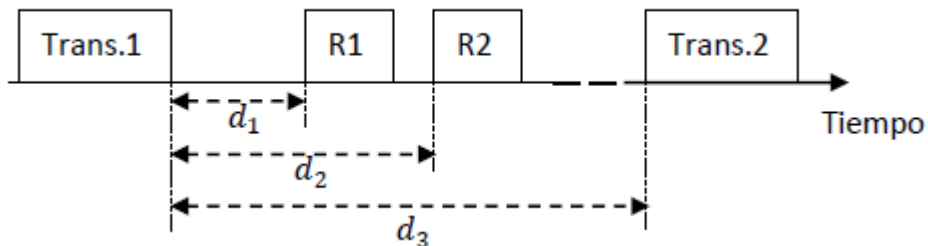
**4.2.8.1 Clase A:** Los nodos de la Clase A permiten comunicaciones bidireccionales por las cuales la transmisión de enlace ascendente de nodo es seguida por dos ventanas cortas de recepción de enlace descendente. La ranura de transmisión programada por el dispositivo final se basa en sus propias necesidades de comunicación con una pequeña variación basada en una base de tiempo aleatoria (tipo de protocolo ALOHA). Esta operación de Clase A es el sistema de dispositivo final de menor potencia para aplicaciones que sólo requieren comunicación de enlace descendente desde el servidor poco después de que el dispositivo final haya enviado una transmisión de enlace ascendente. Las comunicaciones de enlace descendente desde el servidor en cualquier otro momento tendrán que esperar hasta el siguiente enlace ascendente programado.

#### **FIGURA 9: Acceso Al Medio En Clase A De LoRaWAN.**

---

<sup>13</sup> «semtech [en línea] < <http://www.semtech.com/wireless-rf/lora.html> > [citado 04/11/2017]».

<sup>14</sup> Sabas. Haciendo IoT con LoRa: Capítulo 2.- Tipos y Clases de Nodos. [Base de datos en línea]. Sep de 2017. Semtech, Disponible en <https://medium.com/beelan/haciendo-iot-con-lora-capitulo-2-tipos-y-clases-de-nodos-3856aba0e5be>

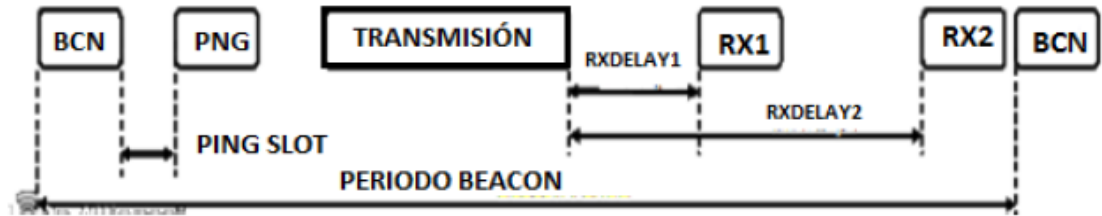


FUENTE: Tomado de [14]

**La Figura 9** representa el acceso al medio en la clase A de LoRaWAN, que se utiliza durante el procedimiento de activación, y durante el intercambio de datos (con temporizadores diferentes). Después de una transmisión, se abre una primera ventana de recepción. Si no se detecta ningún preámbulo durante la primera ventana de recepción, o si se detecta una transmisión para otro nodo, se abre la segunda ventana de recepción. Independientemente del hecho de que se reciba o no un preámbulo, el canal (así como otros canales de la misma sub-banda) no se puede utilizar durante una duración, dependiendo del ciclo útil.

**4.2.8.2 Clase B:** Dispositivos finales bidireccionales con ranuras de recepción programadas (Clase B): Los dispositivos finales de la Clase B permiten más ranuras de recepción. Además de las ventanas de recepción aleatoria de clase A, los dispositivos de clase B abren ventanas de recepción adicionales a horas programadas. Para que el dispositivo final abra la ventana de recepción a la hora programada, recibe una baliza sincronizada de tiempo desde la puerta de enlace. Esto permite al servidor saber cuándo el dispositivo final está escuchando

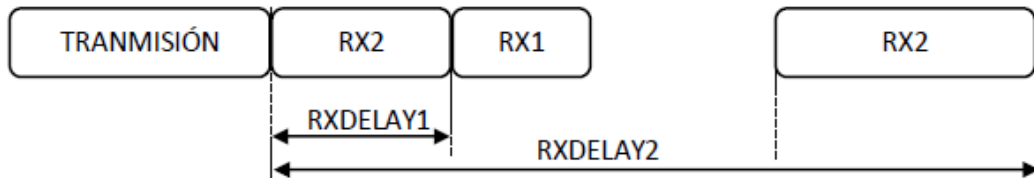
**FIGURA 10: Acceso al medio en clase B LoraWAN.**



FUENTE: Tomado de [14]

**4.2.8.3 Clase C:** Los dispositivos finales de la clase C tienen ventanas de recepción abiertas casi continuamente, sólo cerradas cuando se transmiten. El dispositivo final de Clase C utiliza más energía para funcionar que la Clase A o la Clase B, pero ofrece la menor latencia para la comunicación entre el servidor y el dispositivo final.

**FIGURA 11: Acceso Al Medio En Clase C LoraWan**



FUENTE: Tomado de [14]

**4.2.9 Activación De Un Nodo:** Se requiere un procedimiento de activación para que los nodos participen en las actividades de la red, pero antes de eso los nodos deben tener la siguiente información requerida:

Luego de ello LoRaWAN define dos procedimientos de activación:

**4.2.9.1 Activación Por Personalización (ABP):** En la ABP, los nodos poseen en su memoria la información requerida: así, no se requiere comunicación para unirse a la red, esta información es:

- **Device Address (DevAddr):** Dirección de 32 bits única dentro de la red y presente en cada dataframe la cual permite a la red interpretar los datos y usar las claves de encriptación correctamente.
- **Network Session key (NwkSKey):** Clave de encriptación AES de 128 bits única para cada nodo y compartida entre el nodo y el Servidor de la red. Proporciona integridad de los mensajes y seguridad para la comunicación entre el nodo y el servidor de la red.
- **Application Session key (AppSKey):** Clave de encriptación AES de 128 bits única para cada dispositivo y compartida con el nodo y la aplicación del servidor.

**4.2.9.2 Activación en el aire (OTAA):** El dispositivo final envía una solicitud de unión al Gateway, que reenvía la trama al servidor de red conteniendo los datos:

- DevEUI: identificador global del nodo.
- (AppEUI): Identificación de la aplicación.
- (AppKey): autenticación con la clave de aplicación

El servidor de red responde con una “join accept”, que es reenviado por el Gateway. El Gateway puede transmitir este “join accept” durante la primera ventana de recepción (que ocurre cinco segundos después del final de la transmisión de la petición de unión) o durante la segunda ventana de recepción (que ocurre seis segundos después del final de la transmisión de la petición de unión). El nodo descifra el “join accept” obteniendo así: **DevAddr**, **NwkSKey** y **AppSKey**.

**4.2.10 Batería:**<sup>15</sup> Es el dispositivo que se encarga de alimentar los otros componentes del nodo, consiste en una o más celdas electroquímicas que convierten la energía química almacenada en electricidad.

Existen diferentes tipos de baterías comerciales, los cuales se detallan a continuación:

TIPO DE BATERIA	CARACTERISTICA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>PLOMO-ACIDO</b>	Construida por dos electrodos de plomo, donde el electrolito es una disolución de ácido sulfúrico.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo costo.</li> <li>• Fácil construcción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altamente contaminante</li> <li>• Baja densidad de energía.</li> </ul>
<b>NIQUEL-HIERRO</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Larga vida útil.</li> <li>• Admite sobre-descargas</li> <li>• No es contaminante</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficiencia del 65%.</li> </ul>
<b>NIQUEL-CADMIO (Ni-Cd)</b>	Utilizan un cátodo e hidróxido de níquel y un ánodo compuesto de cadmio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Admiten un gran rango de temperaturas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Densidad de energía bajo.</li> <li>• Alto efecto memoria,</li> </ul>

<sup>15</sup> « Wikipedia [en línea]  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa\\_el%C3%A9ctrica#Efecto\\_memoria](https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_el%C3%A9ctrica#Efecto_memoria). [Citado 04/11/2017]».

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Admiten Sobre-descargas.</li> </ul>	que reduce la capacidad con cargas incompletas.
<b>Baterías de Níquel-Hidruro metálico (Ni-HM)</b>	Utilizan un ánodo de hidróxido de níquel y un cátodo de una aleación de hidruro metálico	Efecto memoria bajo.	No admiten bien el frío extremo.
<b>Baterías de Iones de Litio (Li-ion)</b>	Su desarrollo es más reciente, utilizan un ánodo de grafito y un cátodo de óxido de cobalto, trifilina u oxido de cobalto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efecto memoria bajo.</li> <li>• Altas densidades de capacidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No admiten bien los cambios de temperatura.</li> <li>• No pueden descargarse por debajo de cierto voltaje</li> </ul>
<b>Baterías de polímero de Litio (LiPo)</b>	Son una variación de las baterías de Li-ion, pero poseen una mayor densidad de energía, así como una tasa de descarga bastante superior.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor densidad de carga</li> <li>• Buena tasa de descarga, bastante superior a las e iones de litio</li> </ul>	Si se descargan por debajo de los 3V quedan inutilizables.

**TABLA 5: Tipos De Batería**

Los Supercondensadores los cuales son condensadores con una alta capacitancia, recientemente se han empezado a utilizar como fuentes de energía, especialmente cuando el dispositivo requiere de una potencia pequeña para su funcionamiento.

Las principales características a la hora de seleccionar la batería para una WSN son la capacidad y su eficiencia debido a que los nodos sensores deben estar pensados para tener una larga duración de funcionamiento. En la tabla 2 se mencionan estas características Aunque no son las únicas características a determinar el tamaño y la forma también son características importantes a la hora de seleccionar una batería cuando se diseña un nodo sensor debido a que estos suelen ser pequeños.

**TABLA 6: Características De Las Baterías**

Tipo	Relación Energía/Peso	Carga nominal	Duración (número de recargas)	Tiempo de carga	Autodescarga por mes (% del Total)
Plomo	30-40 Wh/kg	2 V	1000	8-16h	5 %
Ni-Mh	60-120 Wh/kg	1,25 V	1000	2h-4h *	20 %
Ni-Fe	30-55 Wh/kg	1,2 V	+ de 10 000	4-8h	10 %
Ni-Cd	48-80 Wh/kg	1,25 V	500	10-14h *	30 %
Li-Po	100-130 Wh/kg	3,7 V	5000	1h-1,5h	10 %
Li-ion	110-160 Wh/kg	3,7 V	4000	2h-4h	25 %

FUENTE: Tomado de [15]

Las baterías de litio (tanto las Li-Po como las Li-ion) son las que mayor eficiencia tienen y el voltaje a operar es el adecuado para el presente proyecto, sin embargo se debe tener circuitería adicional para conocer el estado de la batería debido a que no soportan cargas excesivas y no pueden descargarse por debajo de cierto voltaje de lo contrario podrían quedar inutilizables o disminuir su capacidad drásticamente.

**4.2.11 Microcontrolador:** Es un circuito integrado programable compuesto de varios bloques funcionales, con el objetivo de cumplir una o varias tareas

específicas. Posee las 3 unidades funcionales de una computadora: Unidad de procesamiento, memoria y periféricos de entrada y salida. En una WSN el microcontrolador tiene la tarea recolectar procesar y almacenar los datos provenientes de los sensores para posteriormente transmitir la información al radio transmisor.

Generalmente el microcontrolador viene acompañado de un RTC (Real Time Clock) el cual aportará información del tiempo real permitiendo así, almacenar los datos con fecha y hora de la toma de datos y lanzar eventos programados en el tiempo en caso de que se requieran.<sup>16</sup>

### **4.3. LoRa**

LoRa es un protocolo de comunicación radio de baja potencia para el internet de las cosas (IoT). Su propósito es conseguir establecer conexiones de largo alcance. Estas comunicaciones están enfocadas para pequeños dispositivos IoT o M2M que desean transmitir poca información y por tanto sin necesidad de grandes velocidades pero con la intención de emplear el menor consumo de energía para así poder tener un mayor tiempo de vida con pequeñas baterías.

Su intención es establecer una red de dispositivos conectados que se les denominará nodos. Los cuales establecerán un enlace inalámbrico con un elemento más potente capaz de comunicarse con todos estos elementos de manera gestionada. Este elemento tomará el nombre de Gateway. A su vez, este gateway será capaz de comunicarse por otro método de red, con mayor ancho de banda y transmitir toda la información de estos dispositivos a aquellos elementos que la soliciten.<sup>17</sup>

---

<sup>16</sup> « TEXAS INSTRUMENTS [en línea] <http://www.ti.com/product/MSP430F5529>. [Citado 04/11/2017]».

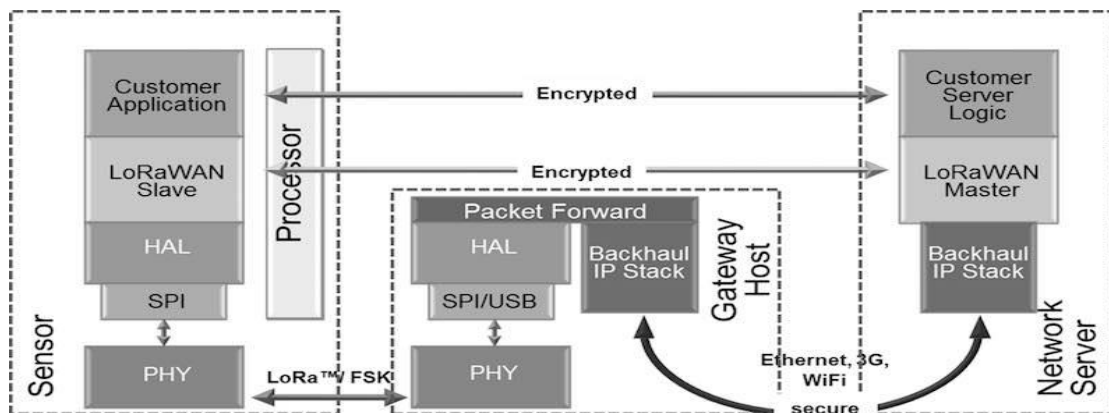
<sup>17</sup> Camila Andrea Maldonado Borda - Leonardo Pineda Cusba. Diseño de una red inalámbrica para la gestión y control de un sistema integral de sistemas de riego. Bogotá d.c.: universidad distrital francisco José de caldas. Facultad de ingeniería, ingeniería electrónica, 2017.

**4.3.1 ¿Cómo funciona la red LoRa?:**<sup>18</sup> En este caso también, el principio de funcionamiento es similar al de una red de telefonía móvil: la señal es emitida por una antena conectada a una estación base que a su vez está conectada a Internet.

Los objetos conectados compatibles con LoRa se comunican con un controlador en la banda de los 868 MHz y éste enlaza con la estación base por la red LoRa de baja velocidad y largo alcance, sin depender de otras conexiones. Para ello, deben estar equipados con un modem compatible con esa tecnología, es decir un chip LoRa.

La tecnología LoRa, al igual que Sigfox, es bidireccional. Además, está diseñada para garantizar las comunicaciones en prácticamente cualquier situación: a mucha distancia, en interiores y hasta en ubicaciones subterráneas.

**FIGURA 12: Como Funciona Una Red Lora**



FUENTE: Tomado de [18]

**4.3.2 Modulación LoRa:**<sup>19</sup> Muchos sistemas inalámbricos usan modulación FSK, porque es muy eficiente para lograr baja potencia. Sin embargo LoRa está basada

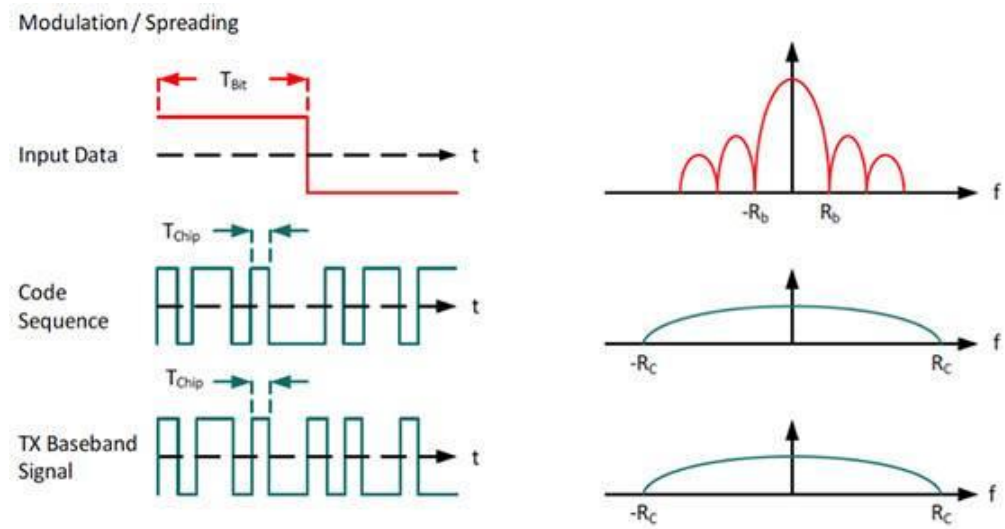
<sup>18</sup> PHILIPPE. La red LoRa es otra solución de comunicación dedicada al Internet de las Cosas [Base de datos en línea]. Abr de 2016. Domótica Doméstica ©, <http://www.domoticadomestica.com/la-red-lora-es-otra-solucion-de-comunicacion-dedicada-al-internet-de-las-cosas/>

<sup>19</sup> Paul, Pickering. Desarrollar con LoRa para aplicaciones IoT de baja tasa y largo alcance. [Base de datos en línea]. Jun 29 2017. Digi-Key Electronics, Disponible en

en la Modulación CSS (Chirp Spread Spectrum) que ha sido utilizada para comunicaciones espaciales y militares por décadas debido a larga distancias de comunicación que se puede lograr y robustez a la interferencia. LoRa es la primera en implementar esta modulación de forma comercial.

La capa física LoRa utiliza modulación de espectro ensanchado (SSM) (Figura 2). SSM codifica la señal base con una secuencia de alta frecuencia, que deliberadamente propaga la señal base a través de un mayor ancho de banda, reduce el consumo de energía y aumenta la resistencia a las interferencias electromagnéticas.

**FIGURA 13: Un Sistema De Espectro Ensanchado Multiplica Los Datos De Entrada En Una Secuencia De Código Mucho Más Rápida Que Propaga La Señal De Ancho De Banda.**



FUENTE: Tomado de [19]

El factor de propagación (SF) de la señal base es variable y representa una solución de compromiso. Para un ancho de banda disponible, una mayor difusión factor

<https://www.digikey.com/es/articles/techzone/2017/jun/develop-lora-for-low-rate-long-range-iot-applications>

reduce la tasa de bits, y también reduce la duración de la batería incrementando el tiempo de transmisión.

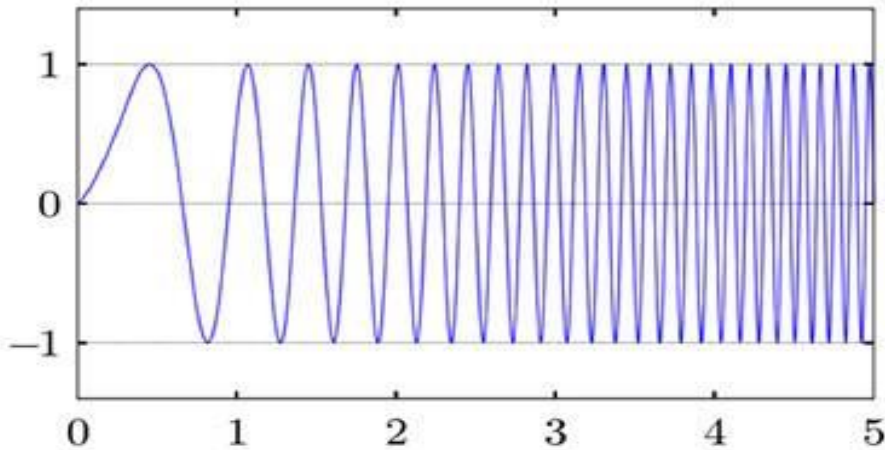
Un determinado factor de propagación (SF) y el ancho de banda (BW) darán una tasa de bits definidos por:

$$\text{Bit Rate} = SF \times \frac{BW}{2^{SF}}$$

LoRa permite seis factores de propagación (SF7 - SF12) y tres diferentes anchos de banda (125 kHz, 250 kHz, 500 kHz). Los factores de propagación y anchos de banda permitidos están definidos por las agencias reguladoras. América del Norte, por ejemplo, especifica un ancho de banda de 500 kHz y factores de propagación de 7 a 10.

Debido a la tecnología de espectro de propagación, los mensajes con diferentes velocidades de datos son ortogonales y no interfieren unos con otros, creando un conjunto de canales "virtuales", aumentando la capacidad de la puerta de enlace. El esquema LoRa se basa en una variante de SSM llamada modulación de chirp spread spectrum (CSS) (Figura 3). CSS codifica los datos con un "pitido" o chirp, que es esencialmente una señal sinusoidal de frecuencia modulada en banda ancha que aumenta o disminuye con el tiempo.

**FIGURA 14: Un CSS "Upchirp" Puede Derivarse De Una Expresión Polinómica Para Frecuencia Vs. Tiempo, O Exhibir Una Relación Lineal Como Se Muestra Aquí.**



FUENTE: Tomado de [19]

CSS es muy adecuado para aplicaciones de velocidad de datos baja ( $<1$  Mb/s) que requieren un bajo consumo de energía. IEEE 802.15.4a, otro estándar de velocidad baja, lo especifica como técnica para su uso en redes de área personal inalámbricas (LR-WPAN). CSS se ha utilizado durante muchos años para proporcionar comunicación sólida de largo alcance en las aplicaciones militares y espaciales, pero LoRa es la primera implementación comercial de bajo costo.

**4.3.3 Clasificaciones nodo final de LoRa:** Hay tres clases de dispositivos de nodo final. Las tres clases permiten la comunicación bidireccional y puede iniciar una subida a los servidores a través de la puerta de enlace. Difieren en relación a cuándo aceptar mensajes entrantes del servidor.

Una dispositivo LoRaWAN Clase A consume menos energía. Un nodo final sólo permite la comunicación desde el servidor durante dos breves ventanas de recepción, que se abren durante un corto período de tiempo después de una transmisión de enlace ascendente. Los mensajes desde el servidor en cualquier otro momento deben esperar hasta la próxima hora programada de enlace ascendente. Un dispositivo de Clase A es asincrónico. Un extremo comienza una transmisión

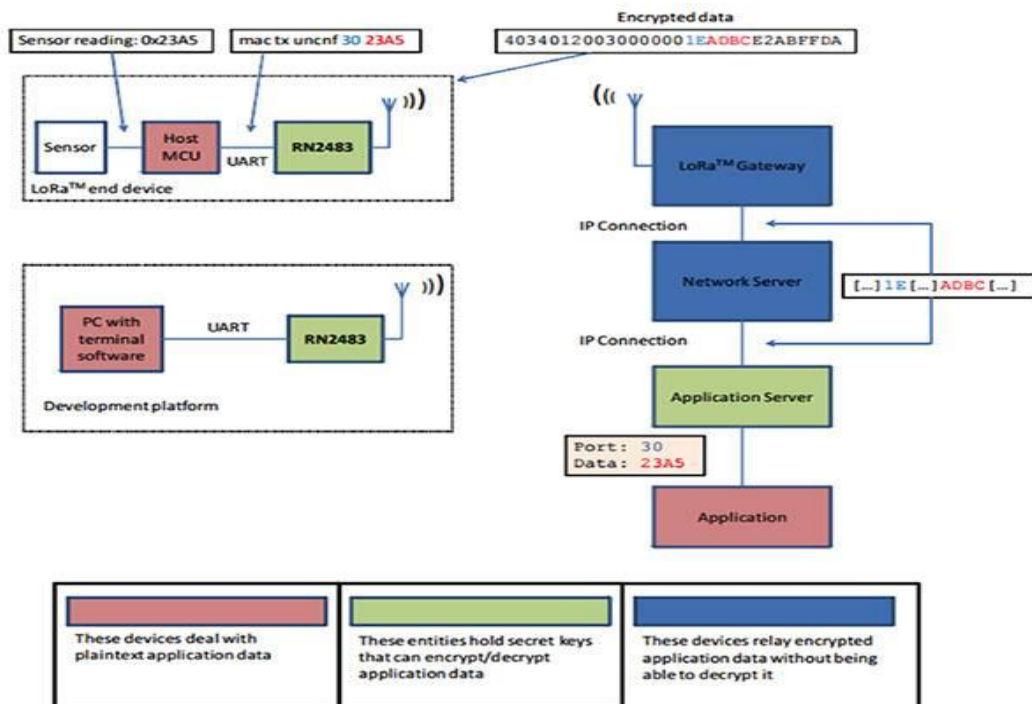
cuando tiene datos para enviar, entonces espera a una hora preestablecida y espera una respuesta.

Un dispositivo LoRa Clase B ofrece una funcionalidad de clase, pero también abre ventanas de recepción extra a las horas programadas. Para sincronizar con la red, el nodo Clase B recibe un contador sincronizado en tiempo desde la compuerta cada 128 segundos. Se le asigna un espacio de tiempo dentro de 128 segundos que permiten que el servidor sepa cuando el dispositivo final está escuchando.

Un dispositivo LoRa de Clase C proporciona ventanas de recepción casi continuamente abiertas. Las ventanas sólo se cierran durante las transmisiones de punto final. Un dispositivo de Clase C es adecuado donde se requiere una gran cantidad de datos para recibir, en lugar de transmitirse.

**4.3.4 Seguridad LoRa:** Una seguridad sólida es un elemento clave de cualquier diseño LPWAN. LoRaWAN utiliza cifrado AES de 128 bits y tiene dos capas independientes de seguridad, una clave de sesión de red (NwkSKey) y una clave de sesión de aplicación (AppSKey).

**FIGURA 15: El Flujo De Datos Desde Un Dispositivo Final Lora A La Aplicación Incluye Cifrado Y Descifrado Al Principio Y Al Final De La Cadena, De Modo Que Sólo El Nodo Final Del Sensor Y La Aplicación Tengan Acceso A Los Datos De Texto Sin Formato.**



FUENTE: Tomado de [19]

El nivel de seguridad de red garantiza la autenticidad del nodo en la red, y la aplicación de la capa de seguridad garantiza que el operador de red no tiene acceso a los datos de aplicaciones del usuario final.

Hay dos métodos para implementar las claves:

- Activación mediante personalización (ABP): Aquí, los dispositivos finales LoRaWAN pueden ser programados en fábrica con la información de autenticación para una determinada red LoRaWAN.
- Activación inalámbrica (OTAA): Este utiliza un ID de aplicación, un único ID de dispositivo, y una red de dispositivo asignado para obtener la dirección y NwkSKey AppSKey. Este es el método preferido porque las teclas no están predeterminadas y pueden ser regeneradas.

La siguiente tabla resume las características clave de la tecnología inalámbrica LoRa, como rango, estándar, esquema de modulación, capacidad, capa física, etc.

**FIGURA 16: Características Clave De La Tecnología Inalámbrica LoRa<sup>20</sup>**

Especificación / característica	Soporte LoRa
Distancia	2-5 Km en áreas urbanas densas y 15 Km en áreas suburbanas
Banda de frecuencia	Banda ISM 868 MHz y 915 MHz
Estándar	IEEE 802.15.4g
Modulación	se utiliza el tipo de modulación de espectro expandido que utiliza impulsos de FM lineales de banda ancha. El aumento de frecuencia o la disminución de frecuencia durante cierto período se utiliza para codificar la información de datos a transmitir. Da una mejora de 30dB sobre FSK.
Capacidad	Una pasarela LoRa cuida miles de nodos.
Batería	Mayor duración de la batería
Capa física LoRa	Se ocupa de la frecuencia, potencia, modulación, señalización entre nodos y puerta de enlace

FUENTE: Tomado de [20]

#### 4.4 Catálogos de productos disponibles y en desarrollo.

**4.4.1 AIFON TECHNOLOGY CO. [21]:** AIFON tecnología fue establecida en 2009. La empresa fue fundada por un equipo de personas profesionales que tienen más de 10 años de experiencia de comunicaciones de fibra óptica. También contamos con ingenieros que trabajan en Semtech antes. Diseño, fabricación y comercialización de una amplia gama de componentes de fibra óptica de alto rendimiento y módulos inalámbricos que aumentan el ancho de banda y flexibilidad de las redes de comunicación de hoy.

##### Catálogo De Productos:

**Módulos LoRa UM801LP:** UM801LP es un módulo de transceptor de RF de baja potencia y mitad dúplex altamente integrado que incorpora MCU de alta velocidad

<sup>20</sup> «blogs.deusto.es [en línea] < <https://blogs.deusto.es/aplicaciones-tic/lorawan-long-range-wide-area-network/> > [citado 04/11/2017]».

y baja potencia y chip de RF de alto rendimiento con modulación LORA que es capaz de alcanzar un rango más largo significativo que el transceptor de RF existente de FSK u OOK modulación. UM801LP soporta totalmente el protocolo de Clase-A de LoRaWAN.

Este módulo utiliza la modulación LoRa para mejorar la sensibilidad hasta -137dBm, ampliando significativamente la distancia de transmisión bajo la baja potencia. Por los protocolos LoRaWAN, la red inicial podría resolver el problema de colisión y bajo consumo de energía a través de la solución gateway.

El voltaje de la interfaz del módulo UM801LP es de 2.6-3.6 V consumiendo sólo 13 mA en el modo de recepción. Si no hay paquetes para transmitir, el consumo del módulo es sólo 1.3uA, que es muy adecuado para un sistema con pilas.

**FIGURA 17: Módulos LoRa UM801LP<sup>21</sup>**



FUENTE: Tomado de [21]

**Módulo LoRa LoRaWAN UM401LP:** UM401LP es un módulo de transceptor de RF de semiconductores de baja potencia altamente integrado que incorpora MCU de baja potencia de alta velocidad y chip de RF de alto rendimiento con módem LORA que es capaz de alcanzar un alcance mucho más largo que el transceptor de RF existente basado en la modulación FSK u OOK.

---

<sup>21</sup> « <http://www.100gfiber.es/wireless-gateway-routerwireless-module/lora-iot/> (optical modules), visitado el 04/11/2017 ».

UM401LP soporta el protocolo de clase-A de LoRaWAN. Este módulo utiliza el módem LoRa para mejorar la sensibilidad hasta  $-137\text{dBm}$ , extendiendo significativamente la distancia de transmisión bajo una baja potencia. Bajo el protocolo LoRaWAN, la red de inicio puede resolver el problema de colisión y bajo consumo de energía a través de la solución de pasarela. UM401LP 2.6-3.6V con el consumo de sólo 13mA en el modo de recepción. Si no hay paquetes para transmitir, el consumo del módulo es sólo 1.3uA, que es muy adecuado para un sistema con pilas.

**FIGURA 18: Módulo LoRa LoRaWAN UM401LP**



FUENTE: Tomado de [21]

**GW8000 LoRa Gateway De Comunicación Inteligente LoRa Gateway Router Estación De Base LoRa O Concentrador De LoRa:** GW8000 es una pasarela de comunicación inteligente de LoRa, independientemente investigada y desarrollada por la tecnología de AIFON, con la alta densidad de la integración, las funciones de gran alcance y el alto rendimiento del coste; Y tal puerta de enlace soporta el protocolo de comunicación LoRaWAN. El procesador del producto adopta ARM-Cortex A8 y frecuencia dominante de 800MHZ, de alto rendimiento y de la característica de MPU consumición de la energía baja; El producto incorporado apoya varias funciones de comunicación sin hilos, tales como LoRa, 2G / 3G / 4G, WiFi y GPS; Y se inserta con puerto de comunicación con cable Ethernet 10M /

100M / 1000M. El producto se proporciona con la batería de litio incorporada. Si el sistema externo está apagado, el trabajo se puede continuar mediante conmutación automática a la fuente de alimentación con batería de litio. El producto está diseñado como por nivel industrial; Grado de impermeabilización grado IP65 aplicaciones de comunicación para la estación de base desatendida al aire libre.

**FIGURA 19: GW8000 LoRa Gateway**



FUENTE: Tomado de [21]

**Lora Gateway De Comunicación Inteligente Lora Gateway Router Estación Base Lora O Concentrador Lora Lorawan Gateway For Out Door.**

La pasarela de la serie GD002 está para el uso al aire libre.

La versión max admite 32 frecuencias y 196 canales.

El enlace ascendente es Ethernet y 4G.

Fuente de alimentación 48V POE.

Localización del GPS.

**FIGURA 20: Lora Gateway De Comunicación Inteligente**



FUENTE: Tomado de [21]

**4.4.2 Semtech Corporation:**<sup>22</sup> La plataforma LoRa RF de Semtech (familia de productos SX127X) es una solución inalámbrica bidireccional que complementa la infraestructura celular M2M y proporciona una forma económica de conectar dispositivos móviles y con batería a la infraestructura de red. Al combinar nuestros productos de transceptor RF LoRa con nuestra puerta de enlace concentradora LoRa, puede crear redes con rangos más largos y la capacidad de manejar millones de dispositivos. También puede mejorar la vida útil de la batería de sus dispositivos de usuario final, al tiempo que minimiza la interferencia de la señal. El resultado es una red ideal para aplicaciones de Internet de las cosas (IoT), medición, seguridad, seguimiento de activos y máquina a máquina (M2M).

#### **Catálogo De Productos:**

**SX1272:** Los transceptores SX1272 / 73 cuentan con el módem de largo alcance LoRa® que proporciona comunicación de espectro extendido de ultra largo alcance y alta inmunidad a la interferencia, al tiempo que minimiza el consumo de corriente. Utilizando la técnica de modulación LoRa patentada de Semtech SX1272 / 73 puede alcanzar una sensibilidad de más de -137 dBm utilizando un cristal y una lista de materiales de bajo costo. La alta sensibilidad combinada con el amplificador de potencia integrado de +20 dBm produce un presupuesto de enlace líder en la industria que lo hace óptimo para cualquier aplicación que requiera rango o

---

<sup>22</sup> <http://www.semtech.com/wireless-rf/lora.html> (Familia de productos LoRa), visitado el 04/11/2017.

robustez. LoRa también proporciona ventajas significativas tanto en el bloqueo como en la selectividad sobre las técnicas de modulación convencionales, resolviendo el compromiso de diseño tradicional entre rango, inmunidad a la interferencia y consumo de energía.

**SX1276:** Los transceptores SX1276 / 77/78/79 cuentan con el módem de largo alcance LoRa® que proporciona comunicación de espectro extendido de ultra largo alcance y alta inmunidad a la interferencia, al tiempo que minimiza el consumo de corriente.

El uso de la técnica de modulación LoRa patentada de Semtech SX1276 / 77/78/79 puede alcanzar una sensibilidad de más de -148dBm utilizando un cristal y una lista de materiales de bajo costo. La alta sensibilidad combinada con el amplificador de potencia integrado de +20 dBm produce un presupuesto de enlace líder en la industria que lo hace óptimo para cualquier aplicación que requiera rango o robustez. LoRa también proporciona ventajas significativas tanto en el bloqueo como en la selectividad sobre las técnicas de modulación convencionales, resolviendo el compromiso de diseño tradicional entre rango, inmunidad a la interferencia y consumo de energía.

**SX1301:** El chip de banda base digital SX1301 es un motor de procesamiento de señal digital masivo específicamente diseñado para ofrecer capacidades de gateway de avanzada en las bandas de ISM en todo el mundo. Integra el concentrador IP de LORA.

#### **4.4.3 ARDUINO:<sup>23</sup>**

##### **Catálogo De Productos:**

---

<sup>23</sup> <https://www.arduino.cc/en/Main/Products> (Arduino Products), visitado el 04/11/2017

**Arduino Yún:** El Arduino Yún es un tablero de microcontroladores basado en el ATmega32u4 y el Atheros AR9331. El procesador Atheros admite una distribución de Linux basada en OpenWrt denominada Linino OS. La placa tiene soporte integrado Ethernet y WiFi, un puerto USB-A, ranura para tarjeta micro-SD, 20 pines de entrada / salida digitales (7 de ellos pueden usarse como salidas PWM y 12 como entradas analógicas), un cristal de 16 MHz oscilador, una conexión micro USB, un encabezado ICSP y 3 botones de reinicio.

**FIGURA 21: Arduino Yún**



FUENTE: Tomado de [23]

**MKR GSM 1400:** Arduino MKR GSM 1400 ha sido diseñado para ofrecer una solución práctica y rentable para los fabricantes que buscan agregar conectividad GSM global a sus proyectos con una mínima experiencia previa en redes. Se basa en el Atmel SAMD21 y un módulo SARAU201 GSM. El diseño incluye la capacidad de alimentar la placa con una batería LiPo o una fuente de alimentación externa de 5V hasta 12V. El cambio de una fuente a la otra se hace automáticamente.

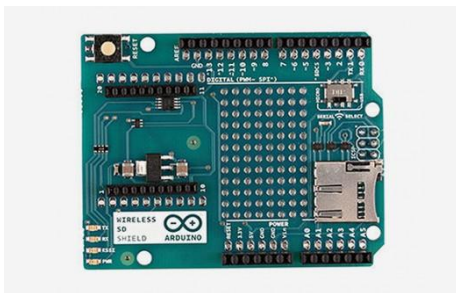
**FIGURA 22: MKR GSM 1400**



FUENTE: Tomado de [23]

**Arduino Wireless Sd Shield:** El Arduino Wireless Sd Shield permite que una placa Arduino se comunique de forma inalámbrica con un módulo inalámbrico. Está basado en los módulos Xbee de Digi pero puede usar cualquier módulo con la misma huella. El módulo puede comunicarse hasta 100 pies en interiores o 300 pies en exteriores (con línea de vista). Se puede usar como un reemplazo de serie / USB o puede ponerlo en un modo de comando y configurarlo para una variedad de opciones de red de difusión y malla. Los escudos dividen cada uno de los pines de Xbee en una almohadilla de soldadura de agujeros pasantes.

**FIGURA 23: Arduino Wireless Sd Shield**



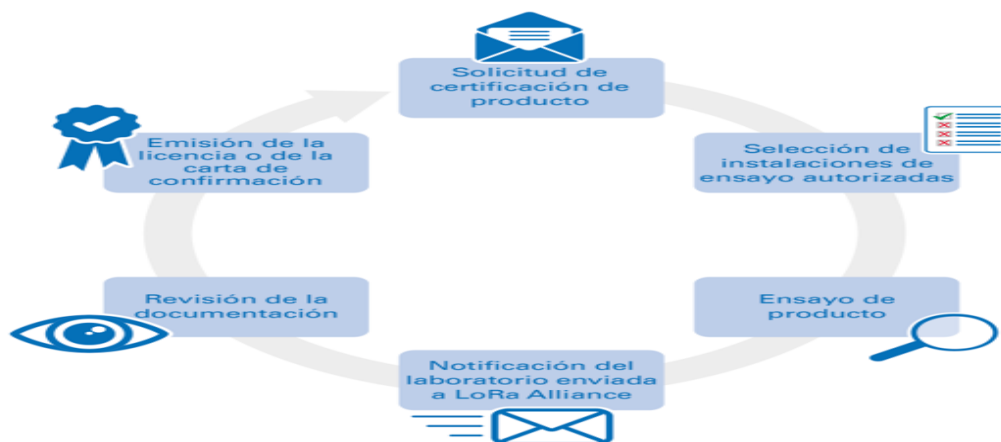
FUENTE: Tomado de [23]

## 4.5 Certificación Lora Alliance<sup>24</sup>

**¿Por qué debería certificar el producto?:** La certificación LoRaWAN™ asegura la interoperabilidad y el cumplimiento con las redes LoRaWAN™. Esto también autoriza a su producto a utilizar el logotipo de Certificado por LoRa® Alliance. También recibirá un listado de productos en la web de LoRa Alliance, así como promoción del producto como otra garantía de LoRa Alliance.

**¿Qué tipo de dispositivos LoRaWAN™ pueden certificarse?:** el programa de certificación está disponible para dispositivos de clase A en la UE de banda de 863-870 MHz. Aún no se ha abierto el programa de certificación para dispositivos de clase B, clase C y Gateway. También se continúa desarrollando el programa de certificación para regiones que no utilizan la banda ISM de la UE. No obstante, puede ponerse en contacto con TÜV Rheinland (proveedor de servicios de ensayos autorizado por LoRa Alliance) si está interesado en un ensayo de pre-certificación para dispositivos que aún no disponen de un programa de certificación.

**FIGURA 24: Proceso Para Certificar LoRa**



FUENTE: Tomado de [24]

<sup>24</sup> <https://www.tuv.com/argentina/es/programa-del-certificado-lora-alliance.html> (TÜV Rheinland), visitado el 04/11/2017

#### 4.6 LoRa Respecto A Otras Tecnologías LPWAN.

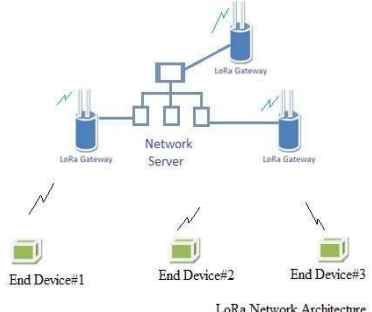
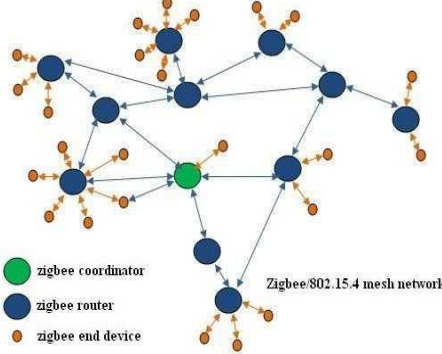
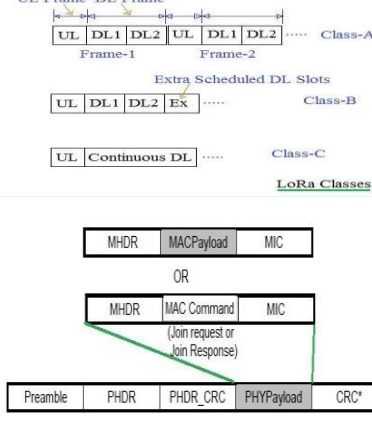
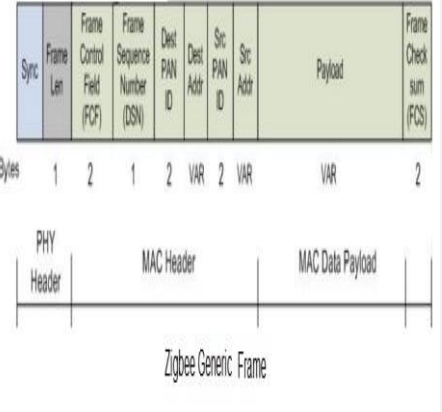
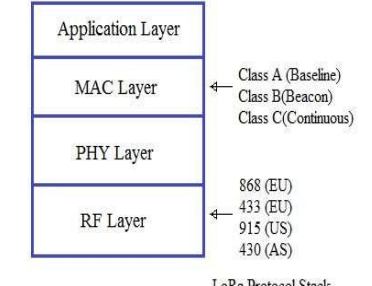
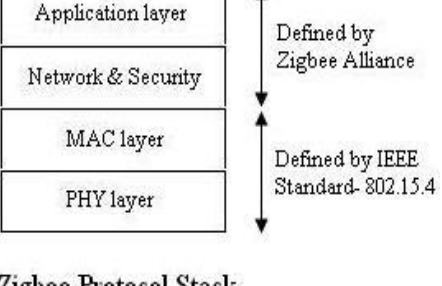
La siguiente tabla menciona similitudes y diferencias entre los términos LoRa y LoRaWAN.

Specifications	LoRa	LoRaWAN
¿Qué es?	LoRa es la técnica de modulación utilizada en la capa física de la red LoRaWAN. Básicamente se trata de una modulación CSS (Chirp Spread Spectrum) utilizada para proporcionar diferentes velocidades de datos utilizando diferentes factores de dispersión.	LoRaWAN es una red inalámbrica utilizada como WAN (red de área amplia) debido a sus amplias capacidades de cobertura.
Aplicaciones	Usado como una modulación robusta en el sistema LORaWAN. Ayuda a lograr diferentes velocidades de datos.	Se utiliza como sistema inalámbrico de baja potencia, baja velocidad de datos y largo alcance. Es popular en sistemas basados en IoT / M2M.
Opera en qué capa?	Tiene una función específica en la capa física del sistema.	Tiene cuatro capas a saber. RF, PHY, MAC y capa de aplicación.

**TABLA 7: LoRa Vs LoRaWan**

#### LoRa Vs Zigbee

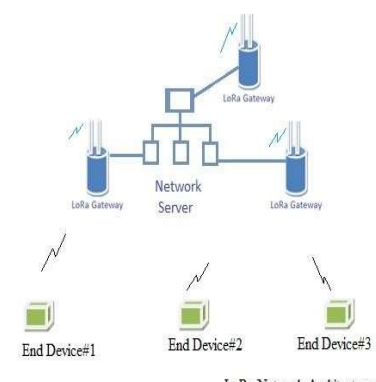
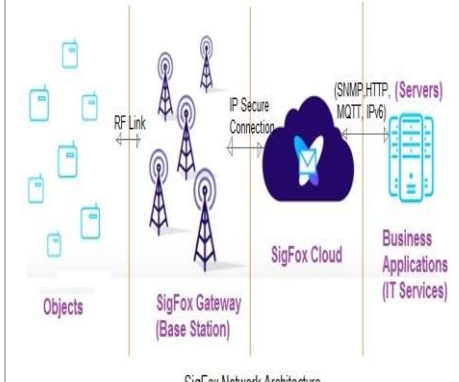
Specifications	LoRa	Zigbee
Frequency Bands	863 to 870 MHz, 902 to 928 MHz, 779 to 787 MHz	868MHz, 915 MHz, 2450 MHz
Coverage distance	2-5 Km (urban areas), 15 Km (suburban areas)	10 to 100 meters
Power consumption	lower compare to zigbee	low
Modulation technique	LoRa modulation (CSS modulation) , FSK or GFSK	BPSK, OQPSK modulation. Also uses DSSS technique to convert bits to chips.

<p>Data rate</p>	<p>0.3 to 22 Kbps (LoRa modulation) and 100 Kbps (using GFSK)</p>	<p>20 kbps (868 MHz band ) , 40Kbps (915 MHz band ) , 250 kbps (2450 MHz band)</p>
<p>Network Architecture</p>	 <p style="text-align: center;"><u>LoRa Network Architecture</u></p> <p>Consists of LoRa Gateway, servers and end devices.</p>	 <p style="text-align: center;"><u>Zigbee 802.15.4 mesh network</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● zigbee coordinator</li> <li>● zigbee router</li> <li>● zigbee end device</li> </ul> <p>Consists of coordinator, routers and end devices.</p>
<p>Frame Structure</p>	 <p style="text-align: center;"><u>LoRa Classes</u></p>	 <p style="text-align: center;"><u>Zigbee Generic Frame</u></p>
<p>Protocol stack</p>	 <p style="text-align: center;"><u>LoRa Protocol Stack</u></p> <p>Consists of RF, PHY, MAC, application layers</p>	 <p style="text-align: center;"><u>Zigbee Protocol Stack</u></p> <p>Consists of RF, PHY, MAC, network and security, application layers.</p>
<p>Physical Layer</p>	<p>Uses modulation scheme as mentioned above and incorporates error correction capabilities, It adds preamble for synchronization purpose, It</p>	<p>There are two physical layers viz. 868/915 Mhz (uses BPSK, raised cosine pulse shaping) , and 2450 MHz (uses OQPSK, half sine wave pulse shaping )</p>

	uses PHY header CRC as well as entire frame CRC.	
Applications	used as Wide Area Network	used as LR-WPAN i.e. low rate wireless personal area network
Advantages, disadvantages	LoRa advantages and disadvantages>>	Zigbee advantages and disadvantages>>
Standard/Alliance	IEEE 802.15.4g, LoRa Alliance	IEEE 802.15.4 (defines PHY and MAC), Zigbee Alliance (defines network, security and application layers)

**TABLA 8: LoRa Vs Zigbee** <sup>25</sup>

### LoRa Vs Sigfox

Specifications	LoRaWAN	Sigfox
Frequency band of operation	433 MHz, 868 MHz, 780 MHz, 915 MHz	868 MHz, 902 MHz
Channel Bandwidth	EU: 8 x 125 KHz US: 64 x 125 KHz, 8 x 125 KHz Modulation: Chirp Spread Spectrum	Ultra narrow band
Coverage range	2 to 5 Km in urban areas, 15 Km in rural areas	3 to 10 Km in urban areas, 30 to 50 Km in rural areas, 1000 Km in LOS (Line of Sight)
Network Architecture	 <p style="text-align: center;"><u>LoRa Network Architecture</u></p>	 <p style="text-align: center;"><u>SigFox Network Architecture</u></p>
Transmit power of end node	EU: < +14 dBm ; US: < +27 dBm	-20 dBm to +20 dBm

<sup>25</sup> <http://www.rfwireless-world.com/Terminology> (optical modules), visitado el 04/11/2017.

Message size	242 bytes	12 bytes
Downlink data rate	EU: 300 bps to 50 Kbps US: 900 to 100 Kbps	4 messages of 8 bytes/day
uplink data rate	same as above	100 bps, 140 messages/day
network topology	Star on star	star
Number of end devices per gateway or access point	Uplink: >1M Downlink: < 100 K	1M

**TABLA 9: LoRa Vs Sigfox.** <sup>26</sup>

#### **4.7 ANALISIS DE TECNOLOGIA EN UN CASO DOCUMENTADO.** <sup>27</sup>

Para el caso se trae de ejemplo un trabajo de investigación de la Universidad politécnica de Cataluña, realizado por Rubén Pérez García de fecha 5 de Febrero del 2017 optando por el título de Ingeniería Telemática y que tiene como objetivo:

Propone un estudio detallado sobre las prestaciones y limitaciones de los protocolos de comunicaciones inalámbricas para sensores LoRa/LoRaWAN, considerando herramientas analíticas y experimentales.

A continuación se mostraran los pasos que se dieron en las pruebas hechas.

**4.7.1 Cobertura de LoRa/LoRaWAN:** A continuación procederemos a comprobar la principal ventaja de LoRa/LoRaWAN: su cobertura. Realizaremos un despliegue real de una red de sensores LoRa en la Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i Aeroespacial de Castelldefels que cubre parte de la ciudad de Castelldefels y analizaremos la cobertura de los nodos sensores. La prueba consiste en medir el nivel de señal en distintos puntos y ver cómo la ubicación de los nodos y el modo de transmisión afecta a la señal recibida.

<sup>26</sup> <http://www.rfwireless-world.com/Terminology> (optical modules), visitado el 04/11/2017.

<sup>27</sup> Rubén Pérez García. Evaluación de LoRa/LoRaWAN para escenarios de Smart City. Cataluña- España: La Universidad Politécnica de Catalunya (UPC), 2017.

La red LoRa desplegada cumple con las siguientes características:

- Se emplearon módulos LoRa en una comunicación P2P.
- Los módulos utilizan el modo 1, el cual permite una comunicación de mayor alcance.
- Potencia de transmisión de 14 dBm.
- Canal de frecuencia 12 en la banda de 868 MHz
- Mensajes con un payload de 25 bytes.
- Se han transmitido 100 mensajes desde cada ubicación para estimar las pérdidas.

**FIGURA 25: Mapa de cobertura en la ciudad de Castelldefels**



FUENTE: Tomado de [27]

En el centro del mapa de la **Figura 26**. Tenemos el gateway marcado con una señal roja. El resto de puntos numerados del 1 al 5 se corresponden con cinco ubicaciones clave de la ciudad de Castelldefels.

- El punto 1 se corresponde con la entrada a la zona de huertos próxima al campus. Hay visibilidad directa desde ambos puntos, cosa que quedará reflejada en el éxito del 100% en la entrega de mensajes

- El punto 2 se encuentra en el paseo marítimo de la ciudad de Castelldefels. A pesar de la poca distancia con el gateway, la calidad de la señal y el éxito de entrega de los mensajes son inferiores a la esperada por la cantidad de edificios que bloquean la visibilidad.
- El punto 3 se encuentra frente al centro comercial Anec Blau. La distancia entre este punto y el gateway no es muy extensa y el número de edificios que impiden la visibilidad directa es reducida.
- El punto 4 está situado en el Castell de Castelldefels. Nos encontramos con una comunicación a mayor distancia que las anteriores y con numerosos edificios bloqueando la visibilidad directa, incluido el propio castillo.
- El punto 5 está al lado del Canal Olímpic de Catalunya. Contamos con una comunicación casi directa, impedida únicamente por un edificio.

Los resultados de las pruebas de cobertura se pueden ver en la **TABLA 10**:

Punto	Distancia	SNR (dB)	RSSI (dB)	RSSI packet (dBm)	Paquetes entregados (%)
1	500 m	-13	-112	-129	100
2	1,15 km	-5	-109	-122	49
3	714 m	-20	-112	-120	96
4	1,3 km	-12	-113	-129	95
5	945 m	-12	-112	-127	91

**TABLA 10: Resultados De Las Pruebas De Cobertura**

Como se verá a continuación (Tabla 11), si se cambiaran los nodos a otro modo de funcionamiento, el número de paquetes entregados con éxito se vería notablemente afectado. En modo 10, el cual cuenta con un throughput muy superior al modo 1,

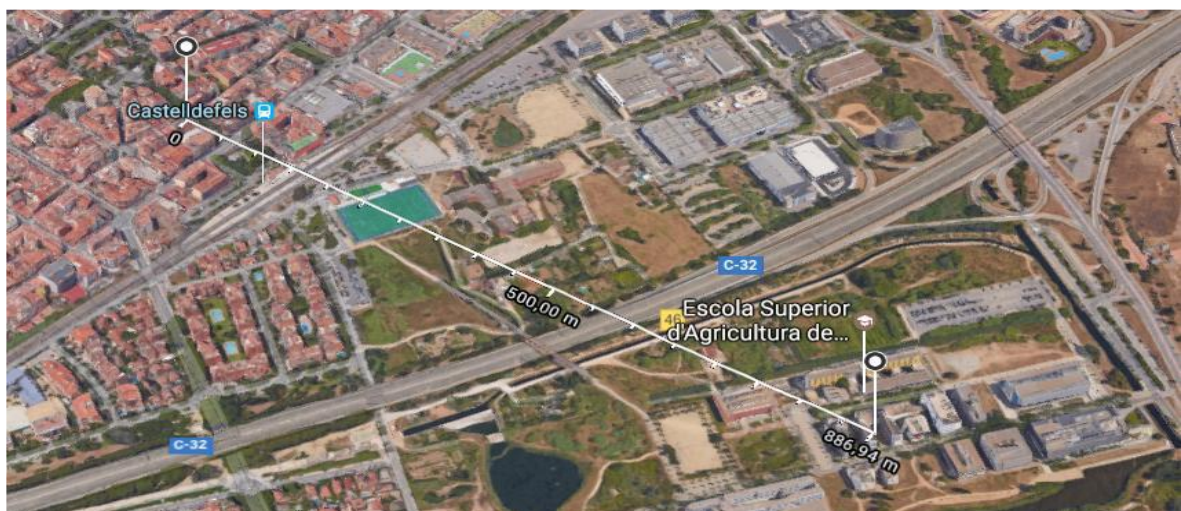
obtendríamos unas pérdidas de casi el 100% en cualquiera de los puntos del mapa anterior.

El modo 10 es adecuado si se quiere recibir un volumen de datos mayor dentro del mismo edificio en el que se encuentra el gateway pero es una mala opción cuando se pretende cubrir una distancia superior a los 100 metros por la mala penetración a los edificios que tiene, por lo que se deduce que el modo 10 está limitado a interiores o a comunicaciones con visibilidad directa.

Entre el gateway y los puntos 1, 3 y 4 apenas hay edificios altos que causen problemas de visibilidad y aunque la distancia entre el gateway y distintos puntos sea dispar, las pérdidas son mínimas con apenas diferencias entre ellas. Esto indica que la distancia no es la principal causa de las pérdidas de paquetes, sino el número de obstáculos que bloquean la visibilidad con el gateway.

A continuación se comprobará cómo afectan a la señal las distintas configuraciones de modo de transmisión, potencia de salida y canal empleado para la comunicación.

**FIGURA 26: Segundo mapa de cobertura**



FUENTE: Tomado de [27]

La distancia entre el gateway del campus y el módulo LoRa ubicado en Castellfedels (mostrado en la TABLA 11) es de 887 metros. A pesar de no encontrar obstáculos en la mayor parte del camino, varios edificios bajos impiden la visibilidad directa entre dispositivos.

Modo	Potencia	SNR	RSSI	PacketRSSI	Paquetes entregados (%)
1	H	-19	-113	-129	87
	M	-13	-113	-123	96
5	H	-22	-111	-127	63
	M	-16	-111	-121	89
10	H	-	-	-	0
	M	-	-	-	0

**TABLA 11: Resultados Segunda Prueba De Cobertura**

**4.7.2 Conclusión De La Prueba:** Como es lógico, la potencia de salida de la señal afecta claramente a la calidad de la señal como al éxito de entrega de paquetes.

En el modo 10, el gateway no llega a recibir ningún mensaje del módulo. Como ya se comentó anteriormente, este modo no es apto para cubrir largas distancias sin visibilidad directa. A pesar de eso, el modo 5 consigue establecer una comunicación casi sin pérdidas empleando la máxima potencia de transmisión y una tasa de éxito del 63% con una potencia de transmisión alta. Recordemos que la diferencia entre ambas potencias de salida es de 7 dB.

#### **4.8 ACERCA DE LORA ALLIANCE.<sup>28</sup>**

“LoRa Alliance es una asociación abierta y sin fines de lucro de miembros que cree que la era de Internet de las cosas es ahora. Fue iniciado por líderes de la industria con la misión de estandarizar redes de área amplia de baja potencia (LPWAN)

<sup>28</sup> <https://www.lora-alliance.org/> (ENABLING THINGS TO HAVE A GLOBAL VOICE), visitado el 04/11/2017.

desplegadas en todo el mundo para permitir Internet de las cosas (IoT), máquina a máquina (M2M), ciudad inteligente y aplicaciones industriales. Los miembros de la Alianza colaborarán para impulsar el éxito global del protocolo LoRa (LoRaWAN), al compartir el conocimiento y la experiencia para garantizar la interoperabilidad entre operadores en un estándar global abierto.”

“Nuestros miembros provienen de organizaciones de todo tipo de todo el mundo que abordan todos los aspectos del ecosistema. Los miembros incluyen empresas multinacionales de telecomunicaciones, fabricantes de equipos, integradores de sistemas, fabricantes de sensores, empresas emprendedoras y semiconductores. En África, Asia, Europa y América del Norte, nuestros miembros desarrollan, implementan y usan la tecnología en países y continentes, impulsando la implementación de Internet de las cosas. LoRa Alliance es una organización con membresías que se ocupa de la necesidad de la empresa individual y se divide en un patrocinador, contribuyente y un grupo de adopción.”

#### **4.9 ESCENARIOS DONDE SE PUEDA EMPLEAR LA TECNOLOGÍA LORA**

Como se dijo anteriormente LoRaWAN es el nombre de una alianza y un protocolo de estándar abierto de redes LPWAN. Su asociación de más de 300 miembros, busca convertir su tecnología en el estándar global de LP-WAN para IoT. Las empresas de la alianza están teniendo éxito instalando redes de IoT alrededor del mundo. Como ejemplos, la compañía inglesa Senet, busca cubrir 100 ciudades de Estados Unidos con redes LoRa públicas; la corporación alemana Netzikon construye y opera redes con este protocolo en varias zonas metropolitanas de Alemania; la operadora holandesa de telefonía fija y móvil KPN instaló en poco tiempo una red LoRa en su país, con 1.5 millones de dispositivos conectados, por lo que Holanda es el primer país en tener una red nacional para aplicaciones de IoT; la firma rumana FlashNet, tiene clientes en 28 países de Europa, Asia y América, gracias a su producto inteliLIGHT, un controlador de alumbrado público con

tecnología LoRa. A la fecha, existen redes LoRaWAN públicas y privadas en más de 50 países.<sup>29</sup>

La tecnología LoRa es ideal para aplicaciones de bajo consumo y sensores con batería, como por ejemplo:

- Internet de las Cosas
- Agricultura inteligente
- Ciudad inteligente
- Redes de sensores
- Automatización industrial
- Contadores inteligentes
- Seguimiento de activos
- Casa inteligente
- M2M

Se plantean algunas aplicaciones para el ámbito del desarrollo con el uso de los dispositivos LoRa:

A continuación describimos el caso de dos empresas que desarrollan soluciones bajo la tecnología LoRa, una lo hace con licencia gratis y la otra de forma paga.

### **CASO 1:**<sup>30</sup>

**The Things Network:** The Things Network es una comunidad global que desarrolla una red global de Internet de las cosas con implementaciones en más de 90 países. Al permitir que las comunidades agrícolas establezcan redes de

---

<sup>29</sup> A. Mora, J. Sánchez, J. Sánchez, H. Chagolla y M. Mora Red pública, abierta y gratuita de Internet de las Cosas en la ciudad de Querétaro. Santiago de Querétaro, QRO, 2016: Instituto Tecnológico de Querétaro, 2016.

<sup>30</sup> <https://www.thethingsnetwork.org/docs/> visitado el 04/11/2017

datos inalámbricas sin suscripción, las estaciones de sensores ya no necesitan pasarelas patentadas, pero pueden usar un punto de acceso compartido. La red usa un rango de 5 millas y un protocolo de frecuencia de radio de baja potencia llamado LoRaWAN.

La aplicación de gestión de viñedos eVineyard está completamente personalizada para satisfacer las necesidades de los productores de uva de los Estados Unidos y ofrece muchas características, como una determinación automática del tiempo de riego, basada en datos meteorológicos locales y mediciones de humedad del suelo Vinduino. Este enfoque único aumenta la facilidad de uso y la precisión del riego de viñedos, llevando el ahorro de agua al próximo nivel.

La estación de sensores Vinduino utiliza un módulo LM-110-H1 diseñado a medida por Globalsat, que permite la conexión a una red inalámbrica LoRaWAN sin cambio de diseño.

*" Este es un gran progreso, el resultado de nuestro esfuerzo de colaboración hace que las tecnologías de sensores agrícolas sean mucho más fáciles y asequibles ", dice Reinier van der Lee, fundador y CEO de Vinduino. " Con nuestro sistema de sensores puede optimizar el riego y ahorrar un promedio de 25% de agua. Además de eso, puedes compartir una puerta de enlace con cientos de sensores. Algunas pasarelas pueden cubrir un área agrícola completa, lo que permite enormes ahorros en el costo inalámbrico. "*

**FIGURA 27: Dispositivo Vinduino Monitoreando Viñedo**



FUENTE: Tomado de [30]

*"Cuando nos enteramos por primera vez de Vinduino, nos pareció perfecto para The Things Network y su comunidad global", dice Johan Stokking, líder tecnológico y cofundador de The Things Network. "Es de código abierto, está bien documentado y soluciona un problema real de la manera correcta, utilizando LoRaWAN. Los gateways conectados de Things Network no solo cubren la solución eVinyard, sino también cualquier otra solución LoRaWAN existente o futura en las cercanías".*

"Ahora, los ahorros en el manejo del viñedo con la ayuda de sensores son accesibles, asequibles y fáciles de configurar y usar para cualquier viñedo, literalmente ", agrega Matic Serc de eVinyard. " La nueva oferta será beneficiosa tanto para nuestros clientes actuales como para los nuevos que se unirán a la familia eVinyard. Este es un gran ejemplo de cómo las tecnologías IoT transforman la agricultura, y estamos entusiasmados de trabajar con Vinduino y The Things Network. Al frente de esta ola".

"Nuestra colaboración resultó en una constante y constante propuesta de valor para aumentar y desarrollar el Sistema Vinduino con los módulos LoRa (TM) de GlobalSat". Dice Larry Liang, COO de USGlobalSat, Inc. " El sistema Vinduino llena un vacío en el mercado agrícola en la agricultura de precisión vertical no abordado por ninguna otra solución de producto disponible en la actualidad, y solo prevemos muchos desarrollos maravillosamente nuevos para el espacio en progreso".

**Sobre eVineyard:** El sistema de gestión eVineyard es un desarrollo de Elmitel, una empresa privada de Eslovenia.

Nuestra visión es que los cultivos que consumimos sean lo más naturales posible y producidos con orgullo de una manera sostenible. Es por eso que incorporamos las últimas tecnologías y métodos en nuestro software simple de usar para bodegas de todos los tamaños. Ayudamos a los productores de todo el mundo a producir cosechas de la más alta calidad de la manera más sostenible y económica. El equipo detrás de eVineyard se compone de personas con antecedentes de software y agronómicos, y está involucrado en proyectos de innovación de la UE sobre el tema. Ganamos varios premios europeos por nuestro enfoque.

**Sobre Globalsat:** GlobalSat WorldCom Corp. se estableció al comienzo del nuevo milenio (el año 2000) en Taipei, Taiwán y poco después se convirtió en un importante fabricante de receptores GPS y dispositivos de comunicaciones electrónicas a nivel mundial. GlobalSat WorldCom Corp. ha refinado sus líneas de productos principales para aplicaciones GPS y redes LoRa. GlobalSat WorldCom Corp. exporta principalmente a Europa y América del Norte. Las ventas a los mercados de América del Norte se facilitan principalmente en su oficina afiliada en Chino, California.

**Acercas de la red de cosas:** The Things Network es una comunidad global de 22,742 personas en más de 90 países que construyen una red de datos global de Internet of Things utilizando un protocolo de radiofrecuencia de baja potencia y largo alcance llamado LoRaWAN. La tecnología permite que las cosas hablen a Internet sin 3G o WiFi. Entonces no hay códigos WiFi ni suscripciones a dispositivos móviles.

**Sobre Vinduino:** Vinduino LLC es una compañía privada, con sede en California. Nuestras tecnologías proporcionan información precisa y en vivo necesaria para adaptar la gestión de cultivos a las condiciones climáticas cambiantes. Con esta

información, un agricultor puede usar los recursos de manera más eficiente, ahorrar tiempo y optimizar el rendimiento. Distribuimos la aplicación eVineyard en California. Nuestros sensores y estaciones de sensores premiados se diseñan y ensamblan con orgullo en Temecula Wine Country, California.

## **CASO 2:**<sup>31</sup>

**inteliLIGHT®:** El sistema de gestión de alumbrado InteliLIGHT® es un producto de Flashnet SRL.

Flashnet es una compañía de tecnología con sede en Brasov, Rumania, que integra hardware y software para desarrollar servicios inteligentes para ciudades más inteligentes. Nuestra visión es mejorar la sinergia urbana y la vida de las personas a través de la investigación y el desarrollo continuo. Hemos apuntado a la innovación como la única fuerza motriz para una sociedad mejor desde el establecimiento de Flashnet, en 2005.

Todos los productos de Flashnet se construyen hoy con el futuro en mente, utilizando las últimas aplicaciones y tecnologías disponibles. Nuestra experiencia, obtenida de proyectos previos y desafíos profesionales actuales, recomienda a Flashnet como un socio serio, brindando altos estándares de productos y servicios.

Además, Brasov ya es reconocido como un importante centro de desarrollo de tecnología y software en Rumania, y Flashnet lo está apoyando mediante el uso de recursos humanos y materiales locales para las instalaciones de producción, el desarrollo de software y los equipos de investigación. Su actividad socialmente responsable y su implicación local aseguran el desarrollo sostenible a largo plazo,

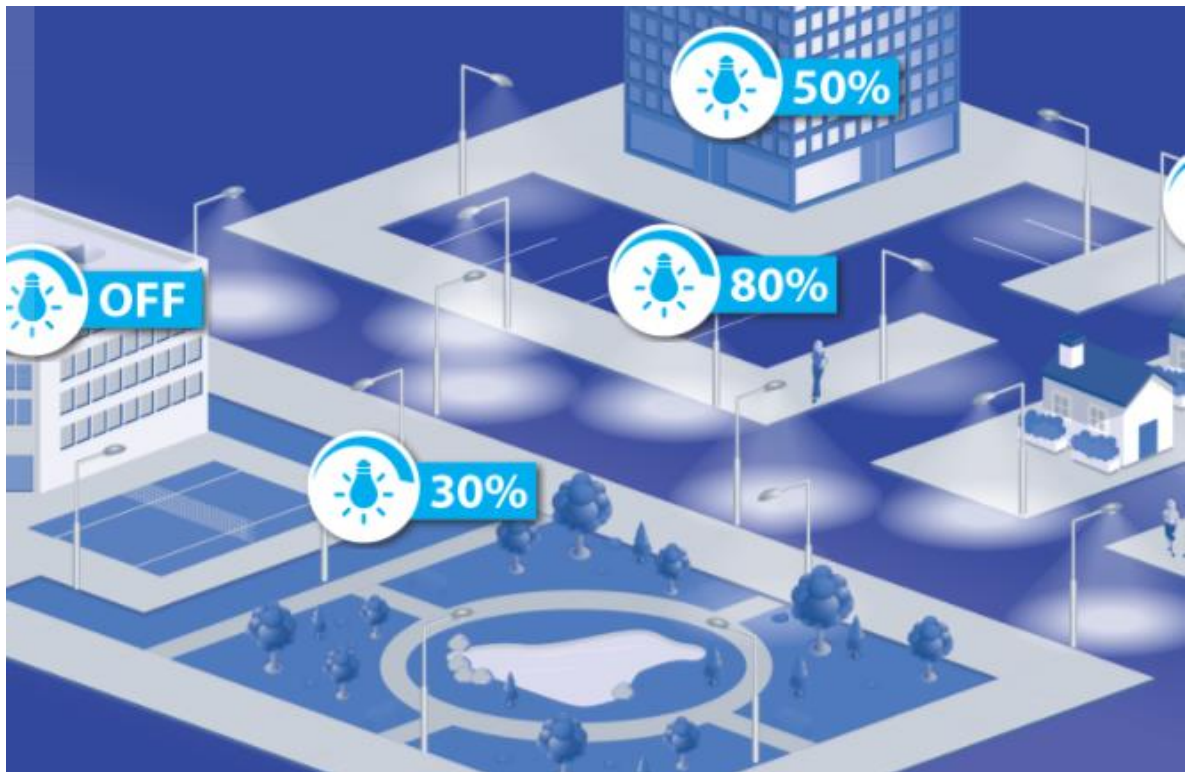
---

<sup>31</sup> [https://inteligent.eu/intelligent-street-lighting-control/#\\_community\\_benefits](https://inteligent.eu/intelligent-street-lighting-control/#_community_benefits), visitado el 04/11/2017

especialmente teniendo en cuenta el mejor activo de la empresa: su gente entusiasta.

La administración remota de alumbrado público InteliLIGHT®, la conectividad Wi-Fi para toda la ciudad, la carga de vehículos eléctricos y los costos de energía para alumbrado público cercano a cero son solo algunos de los proyectos e intereses actuales de Flashnet.

**FIGURA 28: Red De Alumbrado Inteligente.**



FUENTE: Tomado de [31]

**Hechos De Iluminación De La Calle:** Todas las noches, un sistema inteligente de control de alumbrado público debe iluminarse en el momento preciso y funcionar sin problemas. Las luces de la calle de una ciudad proporcionan condiciones de tráfico más seguras, un entorno peatonal más seguro y pueden representar una gran mejora para la producción arquitectónica, turística y comercial de la ciudad. Sin embargo, estos beneficios no son exactamente baratos, ya que un promedio del

40% de la factura de energía de los presupuestos públicos se destina solo al alumbrado público. El aumento del precio de la energía, más los importantes costos de mantenimiento y las expectativas siempre crecientes manifestadas por el público ejercen una presión continua sobre los presupuestos de iluminación.

## **Características Del Sistema**

**Tecnología de comunicación agnóstica:** Para asegurarse de que el sistema es flexible y adaptable a cualquier cliente y condiciones específicas del proyecto, hemos adaptado controladores inteliLIGHT® utilizar varias tecnologías de comunicación IO: LonWorks ® PLC, LoRaWAN ™, NB-IO, Sigfox. Según la cobertura de red local y los requisitos específicos, puede usar un protocolo de comunicaciones abierto o combinarlos en implementaciones híbridas para satisfacer las necesidades del proyecto. Esto genera opciones de implementación sin precedentes, pero también permite despliegue rápido y puesto en servicio en caso de una cobertura de red pública existente.

**Operación De Iluminación Autónoma:** inteliLIGHT® garantiza una operación de alumbrado público continua, sin fisuras y autónoma. El sistema ofrece capacidades de gestión y retroalimentación a nivel de la lámpara, reduce el esfuerzo general de gestión de la red e incrementa su rendimiento. Puede elegir nuestros horarios preprogramados, planificar su propio horario o gestionar manualmente cada farola, según sus necesidades. Además, si la comunicación falla por alguna razón, los controladores inteliLIGHT® son lo suficientemente inteligentes como para continuar operando las lámparas de forma autónoma, al tratar de restablecer una conexión en vivo.

**Conciencia E Informes:** Más que control, conciencia de la grilla en profundidad. inteliLIGHT® ofrece una vista de mapa detallada de todos los accesorios de alumbrado público y paneles de iluminación, con información completa y

diagnósticos eléctricos. El sistema monitorea una amplia gama de parámetros eléctricos (voltaje, corriente, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente, energía activa, energía reactiva, factor de potencia, frecuencia, etc.) para toda la red y los informes analíticos avanzados ayudan a comprender las tendencias, a reducir pérdida de energía, mejorar las políticas de iluminación y aumentar la satisfacción general de alumbrado público.

### **Beneficios Del Sistema**

**Ahorro de energía:** Los costos de energía se reducen de inmediato hasta en un 35% a través de la activación / desactivación inteligente, atenuación progresiva dirigida y administración eficiente del consumo,

**Optimización de mantenimiento:** Los equipos de mantenimiento ya no necesitan patrullar las calles, reciben notificaciones detalladas con cualquier mal funcionamiento, incluidos posibles análisis de defectos y materiales necesarios. La compatibilidad con iOS y Android asegura que tenga un mapeo de red en tiempo real, un inventario de alumbrado público y acceso a las funciones del sistema, incluso en la carretera.

### **Beneficios Comunitarios**

**Ciudades más sostenibles y un medio ambiente más limpio:** Al reducir el consumo de energía y, por lo tanto, la cantidad de CO2 liberado, inteliLIGHT® reduce el impacto ambiental de la ciudad y también ayuda a satisfacer las cada vez más exigentes normas ambientales. Además, la contaminación lumínica que afecta a las aves migratorias y la vida silvestre en general se reduce significativamente.

**Le ahorra dinero a su comunidad:** inteliLIGHT® puede ahorrar dinero para su ciudad. Los costos de energía se reducen inmediatamente hasta en un 80% (con

lámparas LED) a través de la conmutación inteligente de ENCENDIDO / APAGADO, atenuación progresiva dirigida y gestión de energía eficiente. Los costos operacionales generales bajan hasta en un 42% mediante el mantenimiento detallado y las intervenciones preventivas de la red basadas en informes generados por el sistema.

**Aumenta la calidad del servicio de iluminación:** Con el sistema de alumbrado público funcionando en todo momento, inteliLIGHT® ayuda a evitar casi por completo el riesgo de accidentes debido al mal funcionamiento del sistema de iluminación. La mayoría de los problemas de iluminación se detectan y se tratan antes de que los ciudadanos tengan la oportunidad de notarlos.

Por último y para entender más de los beneficios de la utilización de esta tecnología se puede acceder a la página web oficial de “sentech” propietaria de la esta tecnología, donde con diferentes

**4.9.1 ¿Por qué utilizar LoRa?:** LoRa es otra red LPWAN con un modelo de negocio muy similar a Sigfox aunque con una tecnología algo diferente ya que, entre otras cosas, utiliza un espectro de comunicaciones un poco más amplio que SigFox. Si buscamos una diferencia considerable entre ambas redes, LoRa es una red LPWAN mejor preparada para una comunicación bidireccional en tiempo real con el dispositivo de IoT. Asimismo, las especificaciones para los fabricantes que quieran comunicar sus equipos a través de LoRa son más abiertas o menos estrictas que con Sigfox. Por otro lado, la cobertura de LoRa es mucho menor que la de Sigfox, ya que actualmente solo se encuentra desplegada en Francia, Bélgica, Suiza, Países Bajos y Sudáfrica, factor sin duda determinante a la hora de plantear un proyecto de IoT.

## 5. CONCLUSIONES

Una vez terminado este proyecto se puede dar por cumplido el objetivo principal de la monografía el cual era hacer una revisión de las tecnologías asociadas al desarrollo de las red LPWAN, teniendo como principales tecnologías a LoRa y LoRaWan.

Según el estudio citado podemos concluir que independientemente de las zonas donde se implementes estas tecnologías siempre será una buena opción hacer uso de ellas ya que aun en los escenarios más complejos en un gran porcentaje cumplen con el objetivo requerido.

Muestra claramente que es la tecnología ideal para seguir el desarrollo del IoT (internet de las cosas) dándole solución a los problemas que se presentan a la hora de implementar esas tecnologías.

Su forma de implementación está hecha a la medida y lo más importante que es a bajo costo.

Se pueden implementar estas soluciones en todos los ámbitos propuestos inicialmente con un alto grado de confiabilidad debido a los buenos resultados obtenidos en las pruebas que se han hecho.

Se llega a la conclusión que se pueden implementar estas soluciones en todos los ámbitos propuestos inicialmente con un alto grado de confiabilidad debido a los buenos resultados obtenidos en todos los casos donde han implementado.

En la mayoría de los casos de implementación de la tecnología LoRa, se hacen estudios Vs otras tecnologías similares que comprenden las redes LPWAN, teniendo como resultados estos estudios favorabilidad para LoRa y LoRaWAN por encima de las otras debido al nivel de cumplimiento con los requisitos establecidos.

Los más destacados son la economía en el montaje y funcionamiento, sin tener este algo en contra de su fiabilidad.

## BIBLIOGRAFIA

A. Mora, J. Sánchez, J. Sánchez, H. Chagolla y M. Mora Red pública, abierta y gratuita de Internet de las Cosas en la ciudad de Querétaro. Santiago de Querétaro, QRO, 2016: Instituto Tecnológico de Querétaro, 2016.

Alejandro, Alonso. 11 Internet of Things (IoT) Protocols You Need to Know About [Base de datos en línea]. May de 2015. ITSitio Distribución, Disponible en

Alejandro, Alonso. Dispositivos conectados: LPWAN y su importancia para la Internet de las Cosas [Base de datos en línea]. May de 2017. ITSitio Distribución, Disponible en <http://distribucion.itsitio.com/ar/dispositivos-conectados-lpwan-importancia-la-internet-las-cosas/>

Camila Andrea Maldonado Borda - Leonardo Pineda Cusba. Diseño de una red inalámbrica para la gestión y control de un sistema integral de sistemas de riego. Bogotá d.c.: universidad distrital francisco José de caldas. Facultad de ingeniería, ingeniería electrónica, 2017.

Cristian Yamith Burbano Ordoñez. Implementación de una red de sensores inalámbricos lpwan mediante módulos lora para el monitoreo de la calidad del agua en 2 rios. Bogotá d.c.: universidad distrital francisco José de caldas. Facultad de ingeniería, ingeniería electrónica, 2017.

Equipo de marketing. LoRaWAN: versatilidad y autonomía para las conexiones sensoricas. [Base de datos en línea]. Jul de 2017. Wellness Telecom S.L, Disponible en <http://www.wtelecom.es/2017/05/lorawan-versatilidad-autonomia-las-conexiones-sensoricas/>

Florencia Tomassi. REDES DE DATOS. [Base de datos en línea]. Mar de 2012. calameo, Disponible en <http://es.calameo.com/read/001378455c21a60f60553>

Margaret, Rouse. LPWAN (low-power wide area network). [Base de datos en línea]. Sep de 2017. IoT Agenda, Disponible en <http://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/LPWAN-low-power-wide-area-network>

Margaret, Rouse. LPWAN (low-power wide area network). [Base de datos en línea]. Sep de 2017. IoT Agenda, Disponible en <http://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/LPWAN-low-power-wide-area-network>

Paul, Pickering. Desarrollar con LoRa para aplicaciones IoT de baja tasa y largo alcance. [Base de datos en línea]. Jun 29 2017. Digi-Key Electronics, Disponible en <https://www.digikey.com/es/articles/techzone/2017/jun/develop-lora-for-low-rate-long-range-iot-applications>

PHILIPPE. La red LoRa es otra solución de comunicación dedicada al Internet de las Cosas [Base de datos en línea]. Abr de 2016. Domótica Doméstica ©, <http://www.domoticadomestica.com/la-red-lora-es-otra-solucion-de-comunicacion-dedicada-al-internet-de-las-cosas/>

Rubén Pérez García. Evaluación de LoRa/LoRaWAN para escenarios de Smart City. Cataluña-españa: La Universidad Politécnica de Catalunya (UPC), 2017.  
Sabas. Haciendo IoT con LoRa: Capítulo 1.- ¿Qué es LoRa y LoRaWAN? [Base de datos en línea]. Sep de 2017. Semtech, Disponible en <https://medium.com/beelan/haciendo-iot-con-lora-cap%C3%ADtulo-1-qu%C3%A9-es-lora-y-lorawan-8c08d44208e8>

Sabas. Haciendo IoT con LoRa: Capítulo 2.- Tipos y Clases de Nodos. [Base de datos en línea]. Sep de 2017. Semtech, Disponible en

<https://medium.com/beelan/haciendo-iot-con-lora-capitulo-2-tipos-y-clases-de-nodos-3856aba0e5be>

<http://www.semtech.com/wireless-rf/lora.html> (Familia de productos LoRa), visitado el 04/11/2017.

<https://www.arduino.cc/en/Main/Products> (Arduino Products), visitado el 04/11/2017

<https://www.tuv.com/argentina/es/programa-del-certificado-lora-alliance.html> (TÜV Rheinland), visitado el 04/11/2017

<http://www.rfwireless-world.com/Terminology> (optical modules), visitado el 04/11/2017.

<http://www.rfwireless-world.com/Terminology> (optical modules), visitado el 04/11/2017.

<https://www.rs-online.com/designspark/eleven-internet-of-things-iot-protocols-you-need-to-know-about>

<https://www.lora-alliance.org/> (ENABLING THINGS TO HAVE A GLOBAL VOICE), visitado el 04/11/2017.

«semtech [en línea] < <http://www.semtech.com/wireless-rf/internet-of-things/what-is-lora/>> [citado 04/11/2017]».

«IoTNet mexico [en línea] < <http://www.iotnet.mx/index.php/2017/07/29/las-ventajas-de-sigfox-entre-las-tecnologias-complementarias-de-la-conectividad-lpwan-weneedsigfox/>> [citado 04/11/2017]».

«libelium [en línea] < <http://www.libelium.com/development/waspmote/examples/?cat=communication-examples&subcat=lorawan-communication-examples> [citado 04/11/2017]».

«3GLTEinfo [en línea] < <http://www.3glteinfo.com/lora/lorawan-frequency-bands/> [citado 04/11/2017]».

«semtech [en línea] < <http://www.semtech.com/wireless-rf/lora.html>> [citado 04/11/2017]».

« Wikipedia [en línea] [https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa\\_el%C3%A9ctrica#Efecto\\_memoria](https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_el%C3%A9ctrica#Efecto_memoria). [Citado 04/11/2017]».

« TEXAS INSTRUMENTS [en línea] <http://www.ti.com/product/MSP430F5529>. [Citado 04/11/2017]».

«blogs.deusto.es [en línea] < <https://blogs.deusto.es/aplicaciones-tic/lorawan-long-range-wide-area-network/> > [citado 04/11/2017]».

« <http://www.100gfiber.es/wireless-gateway-routerwireless-module/lora-iot/> (optical modules), visitado el 04/11/2017 ».

### **Internet, World Wide Web y bancos de datos en línea**

Andrew, Bickley. Tecnología LoRa para sistemas IoT. [Base de datos en línea]. Mayo 18 de 2016. Revista comunicaciones inalámbricas hoy, Disponible en <https://www.comunicacionesinalambricashoy.com/tecnologia-lora-sistemas-iot/>

Bryon, Moyer. Low Power, Wide Area A Survey of Longer-Range IoT Wireless Protocols. [Base de datos en línea]. Sep 7 de 2015. EE Journal, Disponible en <http://www.eejournal.com/article/20150907-lpwa/>

Edwin ernesto anaya almeida. Estudio de aplicabilidad de información de tecnologías de virtualización de equipos de cómputo sobre diferentes sistemas operativos. Bucaramanga-Santander: universidad industrial de Santander. Facultad de ingeniería físico mecánicas, escuela de ingeniería eléctrica, electrónica y telecomunicaciones, 2011.

Electrones. Conexiones RF hasta 15 Km con la tecnología LoRa(TM). [Base de datos en línea]. Oct 19 2015. Electroners, revista de tecnología, Disponible en <http://electroners.com/online/conexiones-rf-hasta-15-km-con-la-tecnologia-loratm/>

José Daniel Rodríguez Munca. Dispositivo lora de comunicación a largo alcance y bajo consumo energético para aplicaciones del ámbito del desarrollo. Madrid-España: universidad de politécnica de Madrid. Master interuniversitario en estrategias y tecnologías para el desarrollo, 2016. July 21.

Margaret, Rouse. LPWAN (low-power wide area network). [Base de datos en línea]. Sep de 2017. IoT Agenda, Disponible en <http://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/LPWAN-low-power-wide-area-network>

Revista CONECtrónica. Las redes LPWAN desbancarán a las redes móviles en aplicaciones IoT. [Base de datos en línea]. Oct 14 de 2015. Revista CONECtrónica, Disponible en <http://www.conelectronica.com/tecnologia-electronica/las-redes-lpwan-desbancaran-a-las-redes-moviles-en-aplicaciones-iot>

Rubén Pérez García. Evaluación de LoRa/LoRaWAN para escenarios de Smart City. Cataluña-españa: La Universidad Politécnica de Catalunya (UPC), 2017.  
S. Farrell, Ed. Trinity College Dublin.

Sergio Antonio Pino Gallardo, Irene Lizeth Manotas Gutierrez. Software para el mejoramiento en la transmisión de datos entre computadores utilizando redes p2p. Bucaramanga-Santander: universidad industrial de Santander. Facultad de ingeniería físico mecánicas, escuela de ingeniería de sistemas e información, 2009.