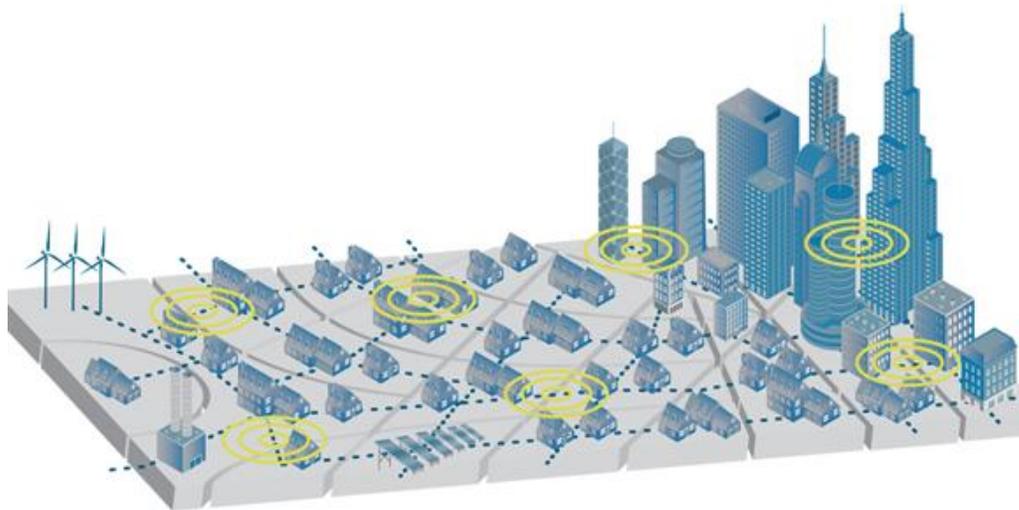


# RED SENSORES MULTISERVICIO LPWAN

## LORA, LORAWAN, TTN Y MQTT

Diseño de una red de sensores LPWAN, en el entorno de la ciudad de Zaragoza, debe soportar los servicios de: Alumbrado, riego, control de aguas, control de basura, control atmosférico y de semáforos y señales.



Autor: Manuel Calero Herruzo  
Máster Universitario en Ingeniería de  
Telecomunicación-Telemática

Tutor: Jose Lopez Vicario  
Profesor: Xavi Vilajosana Guillen  
Universitat Oberta de Catalunya

TFM - Enero-2023

# Índice

- ▶ Introducción, Objetivos y filosofía
- ▶ Estado del arte
  - ▶ Redes LPWAN
  - ▶ Soluciones LPWAN
- ▶ Requisitos y decisiones.
- ▶ Estudio solución LoRa/LoRaWAN, TTN y MQTT
  - ▶ Protocolos LoRa y LoRaWAN
  - ▶ Arquitectura
  - ▶ Dispositivos
  - ▶ TTN
  - ▶ MQTT
- ▶ Prototipo red sensores LPWAN
- LoRa\LoRaWAN
  - ▶ Descripción y test realizados
  - ▶ Conclusiones
- ▶ Diseño de una red de sensores multiservicio en la ciudad de Zaragoza
  - ▶ Localización entorno
  - ▶ Servidores, gateways y localización
  - ▶ Dispositivos y localización
  - ▶ MQTT
- ▶ Valoración económica
- ▶ conclusiones y líneas futuras

# 1 - Introducción, Objetivos y filosofía

## ¿Sobre que va este proyecto?

- ▶ Diseño redes de sensores, con necesidades de consumo energético bajo y largo alcance.
- ▶ IOT y Smart city. WiFi, Zigbee,... ya no son validos por lo que aparece LPWAN.

## ¿Que Objetivos tiene?

- ▶ Cubrir 10 km<sup>2</sup>, 5 servicios distintos, no más de 24 envíos al día, cargas de menos de 250 bytes, soportar más de 1000 (se tienen 9000), red hibrida pública y privada.

## ¿Como se va hacer?

- ▶ Estudio y comparativas tecnologías LPWAN.
- ▶ Estudio tecnología escogida.
- ▶ Prototipo
- ▶ Diseño de red LPWAN en la ciudad de Zaragoza.

## ¿Que filosofía se va a seguir?

- ▶ Ascendente, en las tareas previas se va adquiriendo el conocimiento necesario para realizar la siguiente tarea.
- ▶ Ser inclusivo socialmente, filosofía “Maker” y comunidades intelectuales.

# 2 - Estado del arte - Redes LPWAN

## Revisión de proyectos similares, ¿Qué se aporta?

- ▶ Entorno real y urbano.
- ▶ Red multiservicio.
- ▶ Medidas reales en el entorno (No simulaciones).
- ▶ No se busca una solución específica, si no, abierta a múltiples problemas.
- ▶ Red híbrida, pública y privada.

## Puntos críticos redes LPWAN:

- ▶ Largo alcance, kilómetros.
- ▶ Baja tasa de datos < 250 bytes.
- ▶ Bajo consumo de energía.
- ▶ bajo coste.
- ▶ Muchos dispositivos.
- ▶ Espectro a usar (ISM).
- ▶ Topología
- ▶ Seguridad
- ▶ Procesamiento en la nube
- ▶ Roaming
- ▶ Gama de servicios soportados
- ▶ Interferencias
- ▶ Posicionamiento
- ▶ Servicios de multidifusión
- ▶ Escalabilidad

## 2.1 - Estado del arte - Soluciones LPWAN

Comparativa (Figura 5 memoria):

Tecnología/ Parámetros	Lora/LoRaWAN	SigFox	RPMA	NB-IoT	Telensa
Tipo de infraestructura	Open Source	Closed Source	Closed Source	Open Source	Closed Source
Banda	ISM: en Europa: 433MHz y 868MHz	ISM: en Europa: 868MHz	ISM: 2,4 GHz	Licenciada: 7-900MHz	ISM: en Europa: 868MHz
Data rate	0,3-50Kbps	UL: 100-600bps DL: 600bps	UL: 624 Kbps DL: 156Kbps	UL: 158,5kbs DL: 106Kbs	UL: 62,5 bps DL: 500kbps
Ancho canal	125KHz	UL: 100/600Hz DL: 1,5KHz	1MHz	200KHz	100KHz
Presupuesto de enlace (dB)	160	146-162	168	164	158 (20)
Capa acceso al medio	Pure ALOHA	R-FDMA	CDMA-like	FDMA/OFDMA	Propio
Topología	Estrella de estrellas	Estrella	Estrella o árbol	Estrella	Estrella o árbol
Payload (bytes)	11-250	UL: 12 DL: 8	10	1600	65k
Alcance	De 5-15km casos excepcionales centenas de kilómetros	3-30km	15-500km (caso especial)	15km	3-8km
Roaming	Si	Si	Si	Si	Si
Corrección de errores	CRC-8/16	UL: CRC-16 DL: CRC-18	CRC	CRC	Si
Seguridad	AES-128	Encriptación en niveles superiores	16B hash, AES 128	Seguridad en capa 2	Si
Autenticación	Autenticación por llave simétrica	Autenticación por llave simétrica (burn-in)	Autenticación mutua	Autenticación mutua	Autenticación mutua
Cotes dispositivo / gateway	Bajo/Medio	Bajo/Muy alto	Alto/Alto	Alto/Muy alto	Muy alto/Muy alto
Inmunidad interferencia	Muy alta	Muy alta	Alta	Baja	Alta
Geolocalización	Si (TDOA)	Si (RSSI)	Si	No	Si
Escalabilidad	Si (añadir más gateways)	Si (añadir más gateways pero depende operador)	Si (añadir más gateways pero más cara y difícil)	Si (añadir más gateways pero depende operador)	Si (añadir más gateways pero más cara y difícil) depende empresa

Figura 5: Comparación tecnologías LPWAN.

# 3 - Requisitos y decisiones.

## ► Subsistemas:

- **Alumbrado:** Envió como mucho 5 veces al día, 2 veces seguras, necesidad 1 bit y 2 bytes.
- **Riego:** Envió 2 veces seguras, control de parámetros cada 2h , necesidad 1 bit y 2 bytes.
- **Control de aguas:** Envió contadores, 1 vez por semana, resto detecta si desfase en algún parámetro y 1 vez cada hora y media, necesidad 1 bit y 2 bytes cada parámetro.
- **Control de basura:** Envió si lleno o arde y una vez al día, necesidad 2 bytes.
- **Control atmosférico:** Envió 1 vez cada hora y media, necesidad 28 bytes.
- **Control de semáforos y señales:** Envió si fallo y 1 vez al día, necesidad 1 bit y 2 bytes.

## ► Características :

- **Cobertura:** 10 km<sup>2</sup>.
- **Throughput:** 28 bytes al segundo.

- **Consumo de energía:** 200 mA transmitiendo y durmiendo unos 20  $\mu$ A.
- **Coste:** gateway menor a 1000 € y nodos menores a 500 €.
- **Cantidad de dispositivos:** 1000.
- **Espectro:** Preferible ISM.
- **Topología:** Estrella de estrellas.
- **Seguridad:** Cifrado.
- **Roaming:** No.
- **Interferencias:** No.
- **Posicionamiento:** No inicialmente.
- **Escalabilidad:** Alta.
- **Latencia:** <10 minutos.
- **Control de fallos/probabilidad de error:** PER 30%.
- **Disponibilidad:** En 1h debe estar 45 minutos 75%.

## ► Decisión: LoRa/LoRaWAN

# 4 - Estudio solución LoRa/LoRaWAN, TTN y MQTT - Protocolos LoRa y LoRaWAN

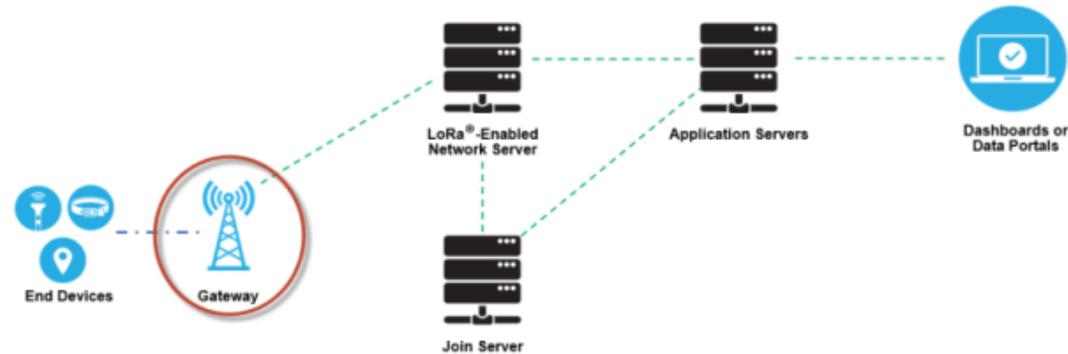
- ▶ **LoRa (Long Range):** Solución radio de la capa física modulación de espectro ensanchado de chirp (CSS)
- ▶ **LoRaWAN:** Es una implementación de capas superiores, enlace (paquetes), red (frames) y sesión (comunicación), que usa LoRa como tecnología de capa física.
- ▶ **Espectro ISM:** 868 MHz con canales de 125 KHz.
- ▶ **Potencia máxima de TX:** 16 dBm.
- ▶ **Restricciones de ciclo de trabajo:** 1% y 10% (No es una restricción LoRa/LoRaWAN, si no de la banda ISM).
- ▶ **Capacidad:** de 255 bytes teóricos, añadiendo cabeceras entre 51 bytes (en velocidades bajas) a 222 bytes (a velocidades altas).
- ▶ **Factores de dispersión (figura 6):**

Spreading Factor (For UL at 125 KHz)	Bit Rate	Range (Depends on Terrain)	Time on Air for an 11-byte payload
SF10	980 bps	8 km	371 ms
SF9	1760 bps	6 km	185 ms
SF8	3125 bps	4 km	103 ms
SF7	5470 bps	2 km	61 ms

- ▶ **Método de acceso al medio:** Basado en Aloha (método de acceso aleatorio al medio), todos misma prioridad.
- ▶ **Tasa de datos adaptativa (ADR):** capacidad de optimizar automáticamente la velocidad a la que los dispositivos envían sus datos.

## 4.2 - Estudio solución LoRa/LoRaWAN, TTN y MQTT - Arquitectura

Figura 7 (memoria):

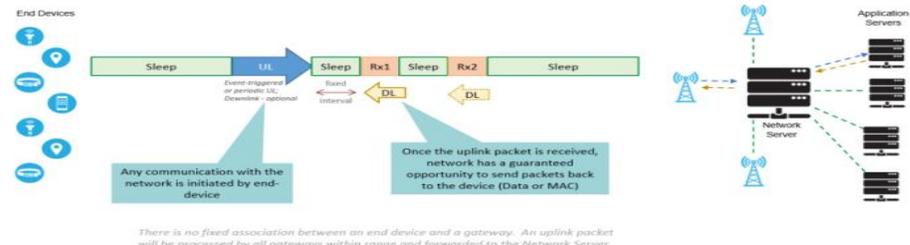


- ▶ **Dispositivos:** Miden el parámetro y transmiten, a cualquier gateway.
- ▶ **Gateways:** Reciben cualquier dato a su alcance y lo mandan a los servidores.
- ▶ **Servidores:**
  - ▶ **Servidor de red:** Encargado administrar la red, responsable del ADR, establece conexiones AES de extremo a extremo, y controla el tráfico del dispositivo final al LNS y al revés.
  - ▶ **Servidores de aplicaciones:** Gestionar e interpretar de forma segura, los datos que los dispositivos finales envían. Por otro lado, genera las respuestas y cargas útiles de enlace descendente de la capa de aplicación a los dispositivos finales.
  - ▶ **Servidor de unión:** gestiona que los dispositivos finales se agreguen a la red por aire. Guarda la información requerida para procesar las tramas de unión de enlace ascendente y genera el mensaje de activación que se envía por el enlace descendente.

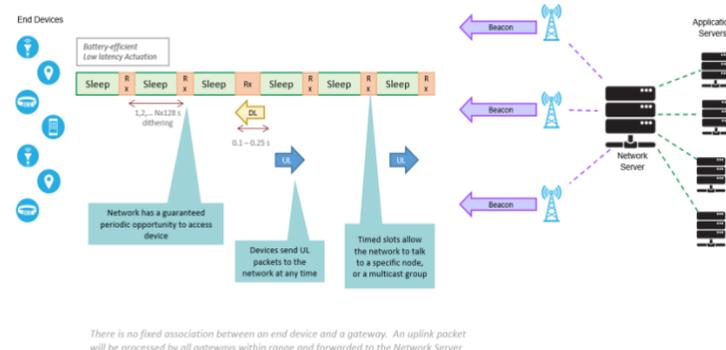
# 4.3 - Estudio solución LoRa/LoRaWAN, TTN y MQTT - Dispositivos

Existen 3 tipos de dispositivos, según la forma de trabajar y las ventanas en las que envían o duermen, algo que afecta al consumo:

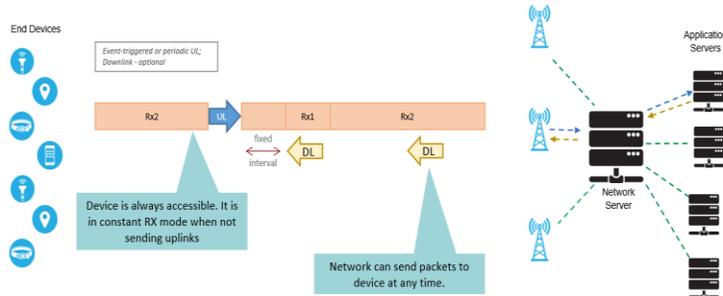
- ▶ **Clase A** (Más duerme-Menos consume):



- ▶ **Clase B** (Más ventanas de escucha - Más consumo energético):



- ▶ **Clase C** (Siempre escuchan-Mucho consumo energético (no baterías)):



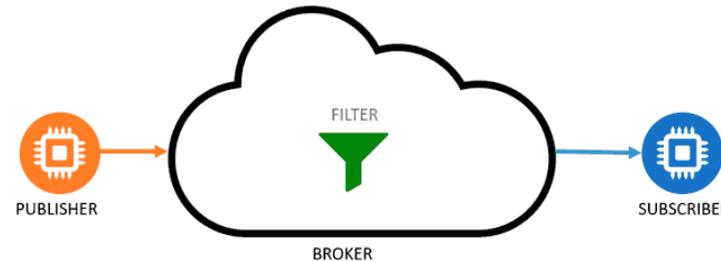
## 4.4 - Estudio solución LoRa/LoRaWAN, TTN y MQTT - TTN

- ▶ The Things Network consiste en una comunidad, sin ánimo de lucro, inclusiva y abierta a personas, empresas, gobiernos y universidades, que están aprendiendo, experimentando y construyendo con The Things Stack soluciones LoRaWAN.
- ▶ The Things Network han implementado las “comunidades”, que son un conjunto de personas de la misma zona geográfica, que deciden empezar a conectar gateway en The Things Network y participar en proyectos de Internet de las Cosas (IoT) que beneficien a la zona y sus habitantes.
- ▶ The Things Network implementar la capa/arquitectura LoRaWAN, mediante el servidor de red unión y parte del de aplicación, incluso permite integración con MQTT. Esta implementación, The Things Network la realiza mediante Things Stack, el cual, es un servidor de red LoRaWAN.



## 4.5 - Estudio solución LoRa/LoRaWAN, TTN y MQTT - MQTT

- ▶ Protocolo ligero diseñado como un transporte de mensajería de publicación/suscripción ligero y fácil de usar, que está basado en TCP/IP donde cada conexión se mantiene abierta y confiable, además de ser escalable, asincronismo y desacoplamiento entre clientes, tiene un coste energético y de ancho de banda bajo.
- ▶ Consta:
  - ▶ Broker, servidor de mensajería push con una explotación publicación/suscripción.
  - ▶ Cliente suscriptor.
  - ▶ Topic.
- ▶ Necesita:
  - ▶ Conexión abierta permanente, no adecuado si no la hay.
  - ▶ puerto 1883 o el 8883 (SSL/TLS)



# 5 - Prototipo red sensores LPWAN LoRa\LoRaWAN

## Descripción y test realizados

- ▶ **Descripción y objetivos:** Pequeño prototipo demostrativo de esta red LoRaWAN, donde se puedan hacer comprobaciones y mediciones reales, usando gateway, servidor en Raspberry Pi y varios nodos comerciales y de fabricación propia. Se espera:
  - ▶ Encontrar dificultades a la hora de la implementación real.
  - ▶ Fabricar dispositivo diseñado por la comunidad, demostrando y dando a conocer la filosofía “Maker”.
  - ▶ Encontrar medidas y parámetros del entorno de actuación.
  - ▶ Comprobar el funcionamiento de las aplicaciones y bajo que condiciones han de configurarse.
- ▶ **Test realizados:**
  - ▶ Test de conexión gateway red TTN.
  - ▶ Test de conexión gateway red privada (Chirpstack).
  - ▶ Comprobar conexión de nodos y envío de datos a TTN, tanto con el nodo fabricado, como con el comercial.
  - ▶ Comprobar conexión de nodos y envío de datos a red privada (Chirpstack), tanto con el nodo fabricado, como con el comercial.
  - ▶ Test de cobertura y alcance en TTN y en modo privado (Chirpstack).
  - ▶ Comprobación de los aspectos multiservicio (MQTT).
    - ▶ Configuración MQTT para TTN. Con tres nodos, solo se gestionan contraseñas y usuarios.
    - ▶ Configuración MQTT para Chirpstack. Con tres nodos, tres usuarios y ACLs Mosquitto.

# 5 - Prototipo red sensores LPWAN LoRa\LoRaWAN - Conclusiones

## ▶ Caso red pública:

- ▶ Se puede dar cobertura de red pública a los 10 km<sup>2</sup> que se plantean.
- ▶ La gateway que se ha colocado, da cobertura a las zonas más cercanas a ella.
- ▶ Zonas más retiradas, la cobertura es de una gateway nombrada como rak7249-012, ya existente en Torre del Agua.
- ▶ Parámetros adecuados a los requisitos definidos.
- ▶ Sin la gateway colocada ya prácticamente había cobertura, se han estimado 14,37 kilómetros cuadrados de cobertura existente.
- ▶ Distancia máxima medida: 3,1 km. Distancia media medida: 2,15 km. Distancia mínima medida: 1,36 km.



## ▶ Caso red privada:

- ▶ Se puede dar cobertura de red pública a los 10 km<sup>2</sup> que se plantean.
- ▶ RSSI medio -116,85 dBm Máximo: 100dBm. Mínimo: 127-126 dBm, Umbral marcado 126,dBm.
- ▶ Sombra hacia el Norte de la imagen.
- ▶ Parámetros adecuados a los requisitos definidos.
- ▶ Área de cobertura 3,92 kilómetros cuadrados.
- ▶ Distancia máxima medida: 2,93 km. Distancia media medida: 1,0645 km. Distancia mínima medida: 0,25 km. Máxima distancia en zona urbana:1,44 km.
- ▶ Distancia máxima medida: 3,1 km. Distancia media medida: 2,15 km. Distancia mínima medida: 1,36 km.
- ▶ Buen comportamiento en exterior, pero penetrabilidad en edificio no muy buena.



## ▶ Test de aplicaciones: Todos correctos, se detecta dificultades en:

- ▶ Configuraciones propias de Linux.
- ▶ Cuidado con las frecuencias de trabajo de los elementos de red y su configuración, además de las consideraciones de cada fabricantes (codec).
- ▶ Buena gestión de usuarios contraseñas y ACLs.

# 6 - Diseño de una red de sensores multiservicio en la ciudad de Zaragoza - Localización entorno

- ▶ Azules representan zonas puramente urbanas.
- ▶ Amarillas son parque.
- ▶ Verdes son zonas rurales agrícolas.
- ▶ Rojas centros comerciales.
- ▶ Verde claro ribera Canal Imperial de Aragón.
- ▶ Negro los centros deportivos.
- ▶ Morado planta potabilizadora de Zaragoza.

## Puntos:

- ▶ Bombeos de agua.
- ▶ Depósitos de agua.
- ▶ Colegios.



# 6.1 - Diseño de una red de sensores multiservicio en la ciudad de Zaragoza - Servidores, gateways y localización

- ▶ **Servidor IP:**
  - ▶ red 172.18.1.0/24
  - ▶ 172.18.1.254/24
- ▶ **WisGate Edge Pro versión 2 (RAK7289V2/RAK7289CV2)**
  - ▶ 16 canales.
  - ▶ GPS.
  - ▶ VPN.
  - ▶ Conectividad Ethernet, Wi-Fi y celular (4G/LTE).
- ▶ **2 antenas Fiberglass Antenna por gateway.**
- ▶ **1 antena GPS por gateway**
- ▶ Se requieren para la red privada 3 gateway, 6 antenas y 3 antena GPS.
- ▶ La parte pública replica a la parte privada, mismas localizaciones.
- ▶ **Total 6 gateways, 12 antenas y 6 antenas GPS.**
- ▶ **Gateways IP:**
  - ▶ Gateway 1: 172.18.1.1/24.
  - ▶ Gateway 2: 172.18.1.2/24.
  - ▶ Gateway 3: 172.18.1.3/24.



# 6.2 - Diseño de una red de sensores multiservicio en la ciudad de Zaragoza - Dispositivos y localización

- ▶ **Subsistema de alumbrado (1500 dispositivos):**
  - ▶ 600 Relé activación/desactivación.
  - ▶ 600 Sensor de corriente eléctrica .
  - ▶ 300 Intensidad de la luz.
- ▶ **Subsistema de riego (1600 dispositivos):** Reparten zona urbana y rural.
  - ▶ 200 Volumen del flujo de agua y presión.
  - ▶ 200 Temperatura y humedad
  - ▶ 100 Relé activación/desactivación.
  - ▶ 200 Nutrientes y fertilidad del suelo.
  - ▶ 200 PH del suelo.
  - ▶ 100 Calidad de aire interior.
  - ▶ 200 Humedad de hojas.
  - ▶ 200 Humedad del suelo.
  - ▶ 200 Intensidad de la luz.
- ▶ **Subsistema de control de aguas (1402 dispositivos):**
  - ▶ 1000 Volumen del flujo de agua y presión.
  - ▶ 200 Relé activación/desactivación.
  - ▶ 2 EM500-PP Presiones de líquidos.
  - ▶ 150 Sensor de corriente eléctrica.
- ▶ **Subsistema de control de basura (1896 dispositivos):**
  - ▶ 50 Detección de distancia.
  - ▶ 632 Detección de distancia.
  - ▶ 632 Temperatura y humedad.
  - ▶ 632 Calidad de aire interior.
- ▶ **Subsistema de control atmosférico (1602 dispositivos):**
  - ▶ 300 Temperatura y humedad.
  - ▶ 200 Nutrientes y fertilidad del suelo.
  - ▶ 200 PH del suelo.
  - ▶ 2 WSC1 -L Estación meteorológica completa.
  - ▶ 300 Calidad de aire interior.
  - ▶ 200 Humedad de hojas.
  - ▶ 200 Humedad del suelo.
  - ▶ 200 Intensidad de la luz.
- ▶ **Subsistema de control de semáforos y señales luminosas (1000 dispositivos):**
  - ▶ 500 Relé activación/desactivación.
  - ▶ 500 Sensor de corriente eléctrica.

**Total de 9000 sensores.**

# 6.3 - Diseño de una red de sensores multiservicio en la ciudad de Zaragoza -MQTT

Usuarios:

Servicio	Usuario
Parques y jardines	ParquesYJardines
Tratamiento Residuales	Residuos
Ciclo del agua	CicloDelAgua
Medio ambiente y control atmosférico	MedioAmbiente
Sindicato de Riego	Riegos
Alumbrado público	Alumbrado
Ciudadano en general (Público)	Ciudadano

Aplicaciones:

Aplicación	Id aplicación
Riego parques y jardines	1
Riego sindicato de riego	2
Encendido de luces	3
Control contenedor	4
Control de contenedores público	5
Control de lluvia parques y jardines	6
Control lluvia sindicato de riego	7
Control de bombas de presión de agua potable	8
Control de acequias	9
Control de nivel depósito	10
Puntos atmosféricos privados	11
Puntos atmosféricos públicos	12
Control de cloración de agua	13
Control de luminosidad	14

ACLs:

Usuario	ACLs
ParquesYJardines	topic write application/1/devide/+/event/+ topic write application/6/devide/+/event/+
Residuos	topic write application/4/devide/+/event/+
CicloDelAgua	topic write application/8/devide/+/event/+ topic write application/10/devide/+/event/+ topic write application/13/devide/+/event/+
MedioAmbiente	topic write application/11/devide/+/event/+
Riegos	topic write application/2/devide/+/event/+ topic write application/7/devide/+/event/+ topic write application/9/devide/+/event/+ topic write application/13/devide/+/event/+
Alumbrado	topic write application/3/devide/+/event/+ topic write application/14/devide/+/event/+
Ciudadano	(Opcional) topic write application/5/devide/+/event/+ topic write application/12/devide/+/event/+

# 7 - Valoración económica

► Observaciones:

- Los precios incluyen IVA.
- Los dispositivos han sido buscados en distintas web a precio minorista.
- No se incluyen costes de instalación ni mantenimiento.
- Tanto gateways, como casi todos los nodos no superan el precio marcado en requisitos (1000€ y 500€).
- Solo lo supera el EM500 (641,49), pero por características se considera necesario para un control preciso de presión en la planta de bombeo. La estación meteorológica tiene un coste total de 1525,8 euros pero contempla un conjunto de nodos que no superan el precio marcado.

Sensor/actuador	Cantidad	Precio unidad	Enlace	Precio
RAK7289V2/RAK7289CV2	6	525	(74)	3150
8dBi Fiberglass Antenna 858-878MHz	12	60	(75)	720
GPS Antenna	6	32	(76)	192
SW3L LoRaWAN Dragino	1200	54,9	(77)	65880
LDDS75 LoRaWAN Dragino	682	65,5	(78)	44671
LSN50v2-S31B LoRaWAN Dragino	1132	53,3	(79)	60335,6
LT-22222-L LoRaWAN Dragino	1400	44,5	(80)	62300
LSNPK01 LoRaWAN Dragino	400	127,49	(81)	50996
LSPH01 LoRaWAN Dragino	400	132,86	(82)	53144
Estación Meteorológica	2	1525,8	Varias	3051,6
WCS1-L	1	71	(83)	-
WSS-01	1	122,49	(84)	-
WSS-02	1	104,54	(85)	-
WSS-03	1	164,08	(86)	-
WSS-04	1	49,79	(87)	-
WSS-05	1	102,4	(88)	-
WSS-06	1	240,19	(89)	-
WSS-07	1	240,09	(90)	-
WS-K2 kit de montaje	1	272,92	(91)	-
Panel Solar 50W	1	89,44	(92)	-
MPPT	1	41,87	(93)	-
Battery 12V 12AH	1	26,99	(94)	-
LAQ4 LoRaWAN Dragino	1032	61,71	(95)	63684,72
LLMS01 LoRaWAN Dragino	400	105,1	(96)	42040
LSE01 LoRaWAN Dragino	400	114	(97)	45600
EM500-PP LoRaWAN Milesight	2	641,49	(98)	1282,98
S2102 LoRaWANSenseCAP	700	59	(99)	41300
ARF8190BA-B02 LoRaWAadeunis	1250	148,89	(100)	186112,5
<b>Total</b>	<b>9024</b>			<b>724460,4</b>

# 8 - Conclusiones y líneas futuras

- ▶ **Conclusiones:** Smart Cities, necesita de LPWAN y priorizar: Distancia de emisión, consumos energéticos, posibilidad de escalado. Frente a: Latencias bajas, tasas de datos altas.

- ▶ **Prototipo:**

- ▶ Alcance medio en zona rural: 1,99 km.
- ▶ Alcance medio en zona urbana: 0,95 km.
- ▶ RSSI medio: -116,85.
- ▶ RSSI mínimo: -126 dbm.
- ▶ RSSI máximo: -100 dbm.
- ▶ La máxima distancia en zona urbana: 1,44 km.
- ▶ La máxima distancia medida zona rural: 2,93 km.
- ▶ Posible red híbrida, con parte pública y parte privada.
- ▶ Posible tipificar los datos y separarlos por servicios (MQTT).

**Dificultades:**

- ▶ Cuidado con sombras, cobertura en interiores.
- ▶ Elección correcta de la frecuencia en dispositivo, gateway y configuración.
- ▶ Realizar una política adecuada de usuarios y contraseñas.
- ▶ Realizar una política adecuada de topic y suscriptores.
- ▶ Tener conocimiento entornos Linux.
- ▶ Documentación de los fabricantes, para encontrar codec, datos y demás información.

- ▶ **Diseño de red, cumple objetivos:**

- ▶ Cubre 10 km<sup>2</sup>.
- ▶ Soportara 5 servicios.
- ▶ No mandarán datos más de 24 veces al día.
- ▶ No más de 250 bytes de información.
- ▶ Se deseaba que la red soportara 1000 dispositivos, se soportan 9000.

- ▶ Red mixta, que trabaje de forma privada y pública (TTN).
- ▶ Parámetros.

- ▶ **Planificación:**

- ▶ Complicaciones y retrasos con la gateway, obligan a acortar tareas sobredimensionadas.

- ▶ **Metodología seguida:**

- ▶ Ha ayudado al proyecto.

- ▶ **Impacto ético :**

- ▶ Impacto positivo y social.

- ▶ **Líneas Futuras:**

- ▶ Ampliar cobertura.
- ▶ Estudio de cobertura en el interior de edificios.
- ▶ Ampliación de tipos de nodos.
- ▶ Ampliación de servicios.
- ▶ Trabajar la capa de aplicación.
- ▶ Ampliar la capa de seguridad de la red.
- ▶ Estudio y simulación de cobertura LoRa/LoRaWAN a mayor nivel.
- ▶ Localización.

**FIN**

**Muchas Gracias por su atención**

**RED SENSORES MULTISERVICIO LPWAN  
LORA, LORAWAN, TTN Y MQTT**

Autor: Manuel Calero Herruzo

Máster Universitario en Ingeniería de  
Telecomunicación TFM-Telemática

Tutor: Jose Lopez Vicario

Profesor: Xavi Vilajosana Guillen

Universitat Oberta de Catalunya

TFM - Enero-2023

