# AGRADECIMIENTOS

En mi primer lugar, me gustaría agradecer a mis tutores de proyecto Jorge Portilla y Gabriel Mujica. Agradecer su colaboración y su experiencia en redes de sensores inalámbricas.

Dar las gracias también a mi familia por su constante apoyo y ánimo en épocas difíciles.

# RESUMEN

El mundo tiende a compartir cada vez más información, a estar cada vez más interconectado. Cada vez existe un mayor número de dispositivos conectados entre ellos y con Internet de múltiples maneras. De todo esto surge lo que se conoce, en inglés, como **Internet of Things** o **IoT**, o en español, Internet de las cosas.

Este concepto consiste en redes de sensores capaces de monitorizar su entorno, reaccionando ante posibles cambios.

# INDICE

[AGRADECIMIENTOS 3](#_Toc39743015)

[RESUMEN 4](#_Toc39743016)

[INDICE 5](#_Toc39743017)

[ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS 6](#_Toc39743018)

[ILUSTRACIONES 7](#_Toc39743019)

[ECUACIONES 8](#_Toc39743020)

[TABLAS 9](#_Toc39743021)

[CÓDIGOS 10](#_Toc39743022)

[1. INTRODUCCIÓN 11](#_Toc39743023)

[2. ESTADO DEL ARTE 12](#_Toc39743024)

[2.1. Internet of Things (IoT) 12](#_Toc39743025)

[2.2. Low Power – Wide Area Networks (LPWAN) 12](#_Toc39743026)

[2.3. Narrow-Band IoT (NB-IoT) 14](#_Toc39743027)

[2.3.1. Introducción 14](#_Toc39743028)

[2.3.2. Características NB-IoT 15](#_Toc39743029)

[2.3.3. Arquitectura NB-IoT [4], [9] 17](#_Toc39743030)

[2.3.4. Esquemas de transmisión de NB-IoT 20](#_Toc39743031)

[3. OBJETIVOS 21](#_Toc39743032)

[4. MÉTODOS Y EQUIPO 22](#_Toc39743033)

[5. EXPERIMENTOS 23](#_Toc39743034)

[6. RESULTADOS Y ANÁLISIS 24](#_Toc39743035)

[7. CONCLUSIONES 25](#_Toc39743036)

[8. LINEAS FUTURAS 26](#_Toc39743037)

[9. PLANIFICACIÓN TEMPORAL Y PRESUPUESTO 27](#_Toc39743038)

[10. BIBLIOGRAFÍA 28](#_Toc39743039)

# ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

|  |  |
| --- | --- |
| IoT | Internet of Things |
| LTE | Long Term Evolution |
| eNB | eNodeB |
| EPS | Evolved Packet System |
| EPC | Evolved Packet Core |
| NAS | Non Access Stratum |
| LPWAN | Low Power – Wide Area Networks |
| CNAF | Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias |
| LTE-M | LTE Cat-M1 |
| 3GPP | 3er Generation Partnership Project |
| GSM | Global System for Mobile |
| GPRS | General Packet Radio Service |
| HD-FDD | Half Duplex – Frecuency Division Duplexing |
| eDRX | Extended Discontinuous Reception |
| UE | Unión Europea |
| PSM | Power Saving Modes |
| QPSK | Quadrature Phase Shift Keying |
| RRC | Radio Resource Control |
| MCL | Maximun Coupling Lost |
| DONAS | Data Over Non-Access Stratum |
| NAS | Non-Access Stratum |
| OFDMA | Orthogonal Frequency-Division Multiple Access |

# ILUSTRACIONES

[Ilustración 1 Principales tecnologías de redes LPWAN. (fuente: http://micm.es/noticias/iot-el-internet-de-las-cosas/) 13](#_Toc39760714)

[Ilustración 2 Modos De Operación NB-IoT (1) [6] [7] 16](#_Toc39760715)

[Ilustración 3 Modos de Operación NB-IoT (2) [8] [7] 16](#_Toc39760716)

[Ilustración 4 Arquitectura básica NB-IoT [4] 17](#_Toc39760717)

[Ilustración 5 Ilustración 5 Optimizaciones sobre EPS específicas. Pila de protocolo de NB-IoT específica para planos de Control y de Usuario (fuente: [8]) 18](#_Toc39760718)

[Ilustración 6 Esquema del Frame de NB-IoT [4] 20](#_Toc39760719)

[Ilustración 7 Grid de Recursos. Espaciado 15 kHz (drcha) y 3.75 kHz (izda) [7][10] 21](#_Toc39760720)

# ECUACIONES

# TABLAS

[Tabla 1 Comparación de tecnologías LPWAN 14](#_Toc39677843)

# CÓDIGOS

# INTRODUCCIÓN

# ESTADO DEL ARTE

En los últimos años, se han ido desarrollando cada vez más las tecnologías para Internet of Things, IoT. Entre estas tecnologías están las tecnologías de comunicaciones inalámbricas tanto a redes de áreas pequeñas como de áreas extensas. Estas últimas, conocidas como WAN (wide área network), son usadas como base para la gran mayoría de arquitecturas en proyectos IoT.

En este estudio nos centraremos en las características de una de ellas: Narrowband IoT (NB-IoT). Para esto conviene conocer mínimamente las tecnologías IoT, y en concreto, el modelo de la tipología red WAN sobre la que mejor se aplica IoT en casos de conexiones inalámbricas: LPWAN.

## Internet of Things (IoT)

En el IoT, un gran número de tecnologías inalámbricas, como el WiFi, el Bluetooth, LoRa, NB-IoT, 2G/3G/4G, etc., han sido usadas en diversas aplicaciones, conectando entre si a millones de dispositivos de manera inalámbrica. 3G y 4G son muy usados en IoT, pero no están totalmente optimizados para aplicaciones de este tipo. A pesar de esto, el 4G ha mejorado bastante algunas de las capacidades de las redes móviles, dando a los dispositivos IoT acceso a Internet. Dentro de la conectividad 4G hay varios tipos de tecnologías como BLE, WiMaxb, LTE, Zigbee, LoRa, NB-IoT, etc. [1]

## Low Power – Wide Area Networks (LPWAN)

Las redes LPWA, low power – wide Area, cómo indica su nombre, son redes de bajo consumo, pero con larga distancia. A su vez tienen un bajo ancho de banda, ya que, si hay menos datos, se consigue una mayor distancia.

Estas redes están creciendo rápidamente tanto en el desarrollo de tecnologías con espectro licenciado como con espectro no licenciado, debido a que se ajustan a la perfección a los requerimientos de las aplicaciones actuales de IoT. Esto se debe a que son redes que permiten diseños de red con un alto número de nodos, costes de componentes muy reducidos y una amplia comunidad de desarrolladores.

Varias de las tecnologías que más se han aventajado y siguen aventajándose son: NB-IoT, LoRa, LTE-M y Sigfox, las cuales aportan una gran cobertura a un bajo consumo de energía en la red implementada.

Gran cantidad de servicios de comunicación confluyen en el espectro radioeléctrico de frecuencias electromagnéticas. Para evitar interferencias, dando así seguridad y ordenando la utilización de este espectro, unas determinadas entidades regulan todas las emisiones, acordando y fijando los rangos de frecuencia y los diferentes servicios a los que se asignarán cada banda de frecuencia. En España dicha entidad es el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF), el cual depende del Ministerio de Economía y Empresa.

Toda empresa que desee una banda para uso exclusivo y explotarla comercialmente, deberá solicitarla y se someterán todas las empresas a concurso público de subasta. Este concurso estará regulado por la Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones. Este concurso, a su vez, supondrá un pago al Estado por la concesión temporal de dicha banda.

El espectro dedicado a las concesiones a las operadoras telefónicas, es el **espectro licenciado**. Este espectro tiene como ventajas que se puede usar más eficientemente, ya que la operadora en cuestión tiene mayor flexibilidad en la gestión de la calidad de su servicio. Al estar supervisado, se evitan en gran medida las interferencias. En este espectro, existe un estándar para las tecnologías inalámbricas en redes LPWAN definido en 3GPP, este se conoce como **NB-IoT**, acrónimo de **Narrow-Band IoT**, este estándar se desarrollará más tarde.

A parte de la propia entidad reguladora de cada país, existe una entidad, la Unión Internacional de Telecomunicaciones, la cual se encarga de unificar los criterios de uso y nomenclatura del espectro de frecuencias radioeléctricas.

Este espectro está muy supervisado y reglamentado para poder regularizar los intereses con las necesidades de la sociedad digital. Aunque es necesaria, esta reglamentación impediría la competición contra grandes operadoras en cuanto a iniciativas tecnológicas si no llega a ser por la existencia de un espectro de bandas de frecuencia de uso público o acceso libre, donde se han empezado a desarrollar muchas nuevas tecnologías.

Las principales tecnologías de redes LPWAN se muestran en la siguiente imagen:

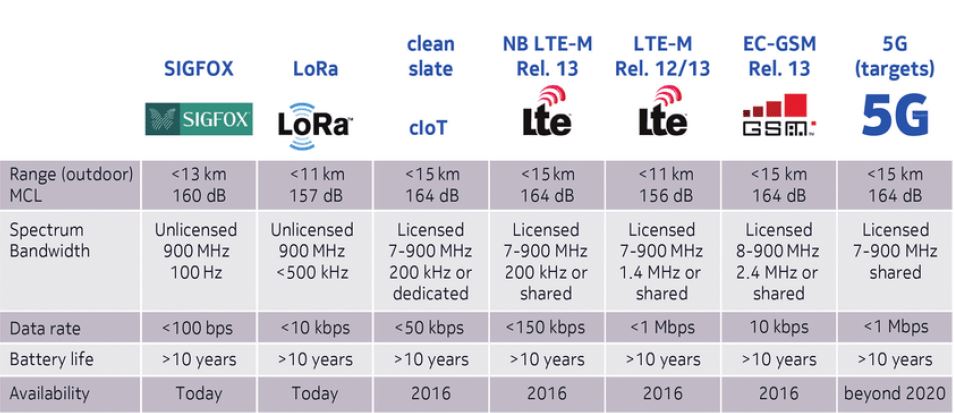


Ilustración Principales tecnologías de redes LPWAN. (fuente: <http://micm.es/noticias/iot-el-internet-de-las-cosas/>)

Este espectro de uso público no requiere identificar ante un regulador los accesos y los usos. Es el denominado **espectro no licenciado** y comprende diferentes bandas de frecuencias, siendo este rango entre los 862 MHz y los 870 MHz el asignado en Europa [2], [3]. Aunque sea un espectro libre y no requiere regulación ni intermediación de ningún organismo, se fijan unas reglas de explotación y normas de transmisión básicas que permitan un reparto equitativo de bandas. Las radiofrecuencias de este espectro son muy vulnerables a interferencias por naturaleza. Debido a la diversidad y descoordinación dificulta la gestión de las interferencias, ya que la supervisión de esta parte del espectro es escasa.

A pesar de esto, al ser una tecnología de bajo coste, bajo consumo de energía y permite largas distancias en la transmisión de datos

En la siguiente tabla se mostrará una comparativa entre las distintas tecnologías LPWAN.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Technology** | **LPWAN Technologies** | | | | | | |
| **3GPP no licenciado** | | | | **3GPP Licenciado** | | |
| **LoRa** | **SIGFOX** | **INGENU** | **Weightless-P** | **LTE-M** | **ECGSM-IoT** | **NBIoT** |
| **Range** | 2-5 km (urbano), 15 km (no urbano) | 3-10 km (urbano), 30-50 km (no urbano) | 15 km (urbano) | 2 km (urbano) | 11 km | 15 km | **10-15 km** |
| **Bandwidth** | <500 kHz (125 kHz como ancho de banda del canal) | 100 kHz | 1 MHz | 12.5 kHz | 1.08 MHz (carrier de 1.4 MHz de ancho de banda) | 200 kHz | **180 kHz**  **(carrier de 200 kHz de ancho de banda)** |
| **Frequency Band** | 868 MHz, 915 MHz,  Sub 1GHz | 915 – 928 MHz  Sub 1 GHz band | 2.4 GHZ | Sub GHz ISM bands | Cellular band | 2.4 GHz | **700, 800 y 900 MHz** |
| **Data Rate** | 50 kbps con FSK | Menos de 100 bps | 624 kbps de bajada y 156 kbps de subida | De 0.625 kbps hasta 100 kbps | 300/375 kbps variables | Desde 350 bps hasta 70 kbs | **200 kbps** |
| **Latency** | 1-10 ms | Alta, 1 a 30 ms | 10 s | - | 10 s – 15 ms | 10 s | **< 10 s** |
| **Throughput** | 50 kbps | Ultra bajo, 100 bps | 30 Mbps | - | <1 Mbps | 10 kbps | **150 kbps** |
| **Modulation Scheme** | Técnicas FSK | GFSK para la bajada y DBPSK para la subida | Patente RPMA | GMSK, offset – QPSK | QPSK y QAM | Basado en GSM | **BPSK y QPSK** |
| **Requirement** | Requiere un GateAway para la conectividad | Modem SIGFOX y Redes SIGFOX | Red Privada | Requiere un kit y un Access Point para operar | Usa Red LTE existente con mejora software | Mejora Software | **Mejora Software y una SIM para operar.** |
| **Battery Lifetime** | >10 años | 10 años si solo se envía un mensaje y <10 años si se envían 6 mensajes | 10 - 20 años o más. | 3 – 8 años | >10 años | 10 años | **>10 años con una batería con una capacidad de 5Wh** |
| **Cost** | Bajo Coste | Bajo Coste | Bajo Coste | Moderado | Bajo | Bajo | **Bajo** |
| **Application** | Polución del Aire, Monitorización, detección de fuego | Medidor inteligente, Seguimiento de mascotas, detección de humo, agricultura | Automatización de campos de aceite y gas | - | Smart-home, telemática, accesorios y seguimiento de flotas | Aplicaciones de medición de Agua y Gas, maquinaria de control, Smart Grid | **Pulsómetros, Luces de la calle, agricultura.** |
| **Mobility** | Sí | Sí | No | Sí | Sí | Nómada | **Nómada** |
| **Advantages** | Altamente inmune a interferencias. Larga vida de batería y adaptabilidad de rango de datos. | Altamente fiable, baja complejidad de dispositivo, permite elegir frecuencia aleatoria para transmitir el canal | Altamente fiable, extrema cobertura. Transmite control de potencia para alargar vida de batería. Tiene alta capacidad. | Ofrece Alta fiabilidad, y admite muchos dispositivos conectados. | Soporta multicasting, posicionamiento. Altos rangos de datos y soporta VoLTE | Mejora de GSM / Seguridad EDGE. Baja complejidad de dispositivo, El chipset admite EC-GSM-IoT | **Usa PSM, edrx, obsoleto el requerimiento de un GateAway.**  **Mejor rango y cobertura** |
| **Limitations** | Paquetes de tamaño limitado, larga latencia. No recibe Acknowledges de todos los paquetes | Baja seguridad, Sufre de interferencias, BS puede no soportar múltiples sectores. | No hay estudios que analicen esta parte | Actualizaciones de especificación infrecuentes y escasez de hardware | Perdidas por acoplamiento en interiores. Las repeticiones ralentizan la transmisión | - | **Poca inmunidad a interferencias, carencias en Acknowledging y no admite modo manos libres.** |
| **Standard Body** | LoRa Alliance | SIGFOX | INGENU | WEIGHTLESS SIG | 3GPP | 3GPP | **3GPP** |

Tabla Comparación de tecnologías LPWAN [4]

## Narrow-Band IoT (NB-IoT)

### Introducción

Narrow-band IoT (NB-IoT) es una tecnología de redes LPWA introducida en la especificación 3GPP Release 13, como una evolución del LTE Cat-M1. Se espera que NB-IoT facilite despliegues masivos de dispositivos IoT permitiendo a operadores existentes introducir NB-IoT en una porción del espectro de sus redes.

NB-IoT, o LTE Cat-NB1, está diseñado para una coexistencia de tecnologías de GSM, GPRS y LTE, operando con ancho de banda de 180 kHz tanto para bajada como para subida de datos. Debido a esto, un operador de GSM puede cambiar su señal carrier o portadora GSM por una señal portadora GSM de 200 kHz con una aplicación de NB-IoT. Con LTE se puede realizar lo mismo, dando un bloque de recursos de 180 kHz a Cat-NB1.

Para cuando NB-IoT está desplegado dentro de una señal portadora de LTE y el rendimiento de ambas no se vea comprometida, se ha optimizado bastante la interfaz aérea del NB-IoT o LTE Cat-NB1, asegurando así una buena coexistencia entre NB-IoT y LTE. [5]

### Características NB-IoT

La principales características de NB-IoT son las siguientes [4]:

* Admite **conexiones masivas**, superando incluso las 52K conexiones por canal. Esto se debe a que las transferencias son a **baja frecuencia** e **insensibles a la latencia**, pudiendo así conectarse muchos dispositivos a una célula. NB-IoT permite, también, dos esquemas de transmisión, multi-tone y single-tone.
* NB-IoT usa un **ancho de banda** de **180 kHz** y se opera con **HD-FDD (Half Duplex).** Esto causa que no se pueda transmitir y recibir a la vez.
* El principal **objetivo de diseño** es **prolongar** la **vida de la batería**. Esto se consigue usando eDRX (recepción discontinua extendida) y diferentes modos de ahorro de batería (PSM). Para eDRX, la UE controla el paginado de canales periódicamente mientras que en PSM, se mantiene el estado recibido del dispositivo.
* **Extiende el rango de cobertura en 20dB** en comparación del GPRS (especialmente en interiores), por lo que reduce la influencia del ruido de interferencia.
* **Se ofrece flexibilidad en el modo de operación.** Coexisten LTE y 2G. Los modos de operación se explicarán más tarde.
* **No se admiten esquemas de modulación superiores a QPSK.** Se mantiene así una baja complejidad en el dispositivo a la vez que el bajo coste.
* **Se soportan aplicaciones de baja tasa de transmisión de datos**, las cuales no tienen un requerimiento de una memoria Flash de alta capacidad, reduciendo así el área del chip y por lo tanto su coste.
* **Se opera en Banda Licenciada,** dando así cierto nivel de seguridad en las transmisiones.
* **Se consigue optimizar la señalización.** No solo se usa RRC (del inglés Radio Resource Control), sino que también se usa Data Over Non Access Stratum (DONAS).   
  DONAS habilita al usuario el transmitir datos sin activar un plano de usuario y soporta transmisión de datos. RRC optimiza el procedimiento del plano de usuario que introduce una forma eficiente de desactivar y activar el plano de usuario.

A la hora de desplegar NB-IoT, hay tres diferentes modos de operación:

1. **Stand-Alone:** Se reutilizan las bandas de frecuencias de señales portadoras GSM.
2. **In-band:** Usando bloques de recursos dentro de la señal portadora de LTE.
3. **Guard band**: Se usarían bloques de recursos sin utilizar en las bandas de trasporte de LTE. Esta banda sin usar es la banda de los 180 kHz.

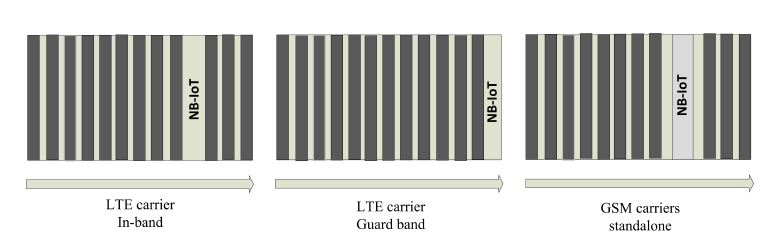


Ilustración Modos De Operación NB-IoT (1) [6] [7]

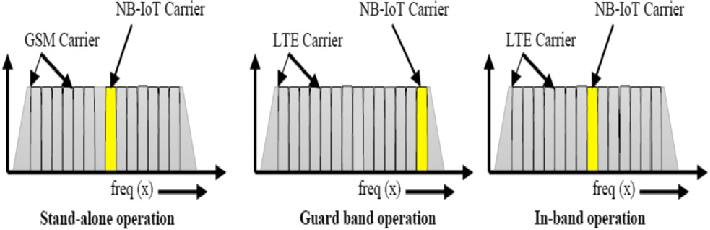


Ilustración Modos de Operación NB-IoT (2) [8] [7]

En todos los modos de operación a la hora del despliegue, se implementa NB-IoT con los siguientes objetivos de diseño de sistema [9]:

1. **Mejorar la cobertura dentro de edificios.** Se busca mejorar la cobertura en 20 dB comparado con los dispositivos GPRS. Esto se debe al objetivo de perdidas máximas de acoplamiento (MCL, maximun coupling lost) de 164 dB, pudiendo llegar así a un rango de envío y recibo de datos de 160 bps.
2. **Soportar una cantidad masiva de dispositivos de bajo rendimiento.** El objetivo es llegar a soportar 52547 dispositivos por sector.
3. **Reducir complejidad de los dispositivos.** Reduciendo así la complejidad de las aplicaciones IoT.
4. **Mejorar eficiencia energética.** Se busca una esperanza de vida de 10 años para una batería con capacidad de 5Wh a los 164 dB MCL.
5. **Reducir latencias.** Para el 99% de los dispositivos se miden latencias de 10 segundos o menos.

### Arquitectura NB-IoT [4], [10]

La arquitectura básica de NB-IoT está basada en el sistema EPS (Evolved Packet System) o EPC (Evolved Packet Core), el cuál es el de LTE. Sobre EPS o EPC se hace una optimización, para NB-IoT, para un masivo despliegue de dispositivos, consiguiendo la optimización de los planos de usuario y de control al permitir las transmisiones cortas de datos de las propias aplicaciones M-IoT. Ambas optimizaciones buscan la ruta “óptima” para el envío y el recibo de datos, siendo esta flexible para cada paquete de datos generado y transmitido.

Dicha arquitectura básica es la representada en la siguiente imagen:

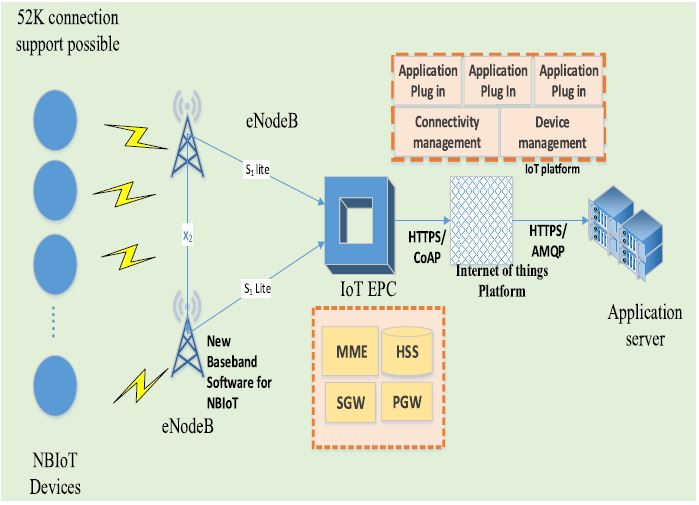


Ilustración 4 Arquitectura básica NB-IoT [4]

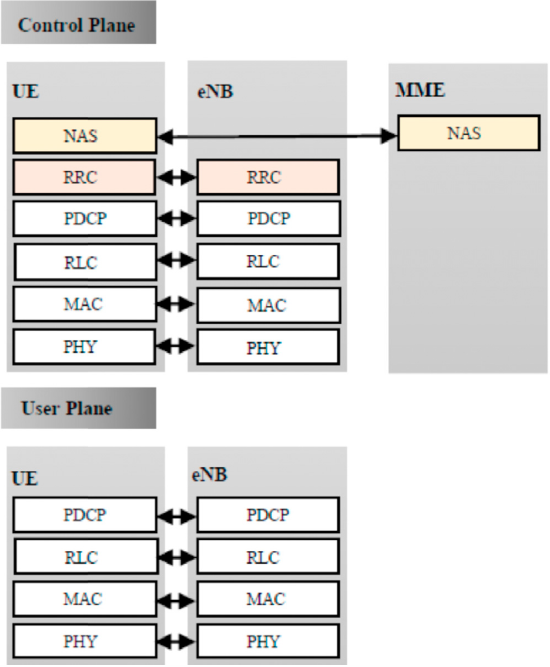


Ilustración Ilustración 5 Optimizaciones sobre EPS específicas. Pila de protocolo de NB-IoT específica para planos de Control y de Usuario (fuente: [8])

El dispositivo NB-IoT se comunica con el eNodeB (eNB), y este a su vez se conecta con el EPC IoT. Esto implica a diferentes partes:

* Serving GateWay (GW).
* Packet Data Network GW.
* Entidad de Plano de gestión de movilidad.
* Home Subscriber server.

Esta comunicación sería de la siguiente manera:

* El dispositivo enlaza con el eNB, usando la capa o nivel de acceso que gestiona los recursos de radio gracias al protocolo RRC, el cuál configura los planos de usuario y control a lo largo de todo el proceso. Se parte de dos posibles estados:
  + IDLE: El dispositivo está disponible y accesible desde la red, pero sin emitir).
  + CONNECTED: El dispositivo esta localizable a nivel de celda y posibilidad de transmisión y recepción de datos (TX/RX).
* Posteriormente, el eNodeB correspondiente pasa, mediante el uso del nivel NAS (Non-Access Stratum), al EPC usando la interfaz s1-lite, versión optimizada del S1-Control-Plane (gestión de plano de control) y capaz de soportar un manejo eficiente de datos. NAS, principalmente, es un protocolo que transmite las señales que no sean de radio entre los dispositivos de usuario y el MME, el cual lleva los datos para la sesión y el manejo de movilidad.
* Finalmente, el EPC pasa la capa (stratum) a una plataforma IoT, accediendo a un plano de usuario, para hacer llegar los datos a los servidores de aplicación para posteriormente ser procesados por dichos servidores. Entre el dispositivo NB-IoT y el servidor de aplicación, hay dos maneras de transmitir los datos, con o sin IP. El modo sin IP es más adecuado para estas aplicaciones debido a que son transmisiones más seguras y se reducen la cabecera en el equipo de usuario. Además, el uso de NAS mejora la transmisión o transferencia de datos a los nuevos elementos de la red para este tipo de dispositivos.

### Esquemas de transmisión de NB-IoT [4], [10]–[12]

En NB-IoT hay dos posibilidades de esquemas o estructuras de transmisión de datos: *subida* y *bajada.* Se explicarán ambos a continuación.

#### Canal de Bajada

Esta estructura o esquema de bajada de datos, es idéntica al esquema usado en LTE.

En el *dominio del* tiempo, los Slot, Subframe y Frame de radio, tienen duraciones también idénticas al LTE, 0.5 ms, 1 ms y 10ms respectivamente. Un Frame de radio contiene 10 subframes y estos a su vez tienen 2 Slot cada uno. El número de los Frames está referido al Número de Frames del Sistema (SFN, por sus iniciales en inglés), el cuál tiene un rango de 0 a 1023. Cuando el SFN alcanza 1023, se reinicia y aumenta el valor del hyper SFN. Este último también cuenta con un rango de 0 a 1023.

En el *dominio de* frecuencia, este está basado en OFDMA con el mismo espaciado entre señales subportadora de 15 kHz, como en LTE. En el mismo bloque de recursos hay 12 señales consecutivas de subportadora, con un total de 180 kHz. Reutilizando la misma numerología OFDMA que el LTE, se asegura un buen funcionamiento en la coexistencia con el LTE.

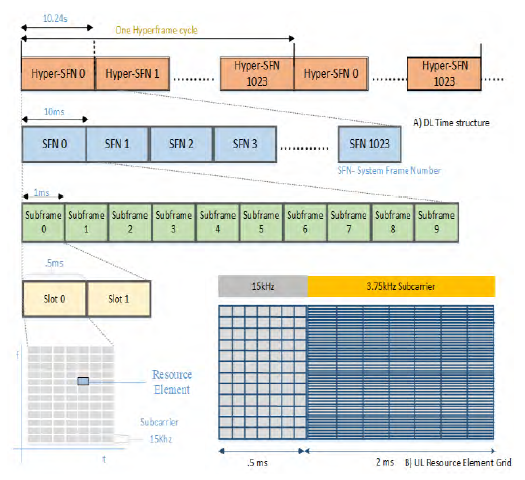


Ilustración Esquema del Frame de NB-IoT [4]

#### Canal de Subida

El canal de subida en NB-IoT admite dos modos de operación: transmisiones multi-tono o tono único (multi-tone o single-tone en inglés). Se sigue disponiendo de 180 kHz de ancho de banda, al igual que en el canal de bajada.

El *modo multi-tono* está basado en una señal portadora única con división de frecuencia de múltiple acceso (SC-FDMA, por su traducción del inglés Single-Carrier Frequency-Division Multiple Access). Se usa el mismo espaciado entre señales subportadoras que el LTE (igual también que el canal de bajada) de 15 kHz y cada Slot es de 0.5 ms, igual que el LTE también. Esto da lugar a 12 señales subportadoras, igual que en el canal de bajada, las cuales se pueden agrupar en grupos de 3, 6 o de 12 señales.

El *modo tono único* admite espaciado entre señales subportadoras de 15 kHz o 3.75 kHz. Con el espaciado de 15 kHz, es idéntico al LTE, provocando asó una coexistencia en funcionamiento con el LTE en el canal de subida. Con el espaciado de 3.75 kHz se usa una duración de 2 ms en cada Slot y habría 48 señales subportadoras.

La duración mínima de las unidades dependerá del modo de operación (multi-tono o tono único) y de las señales subportadoras asignadas. El grid de recursos de 15 kHz, el mismo que el del canal de bajada, y el de 3.75 kHz se establecen de la siguiente manera:

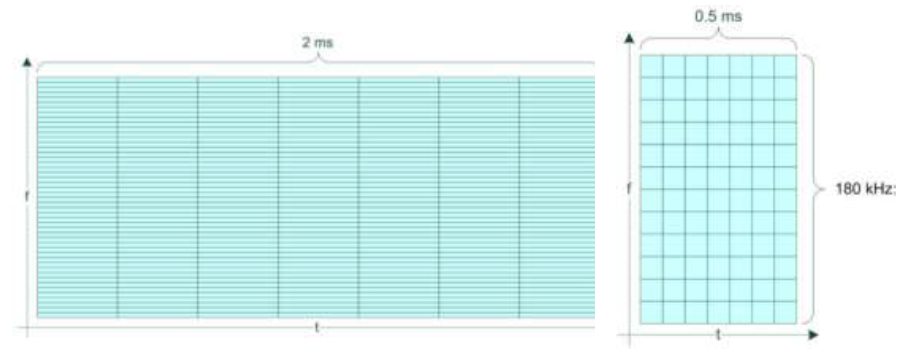


Ilustración Grid de Recursos. Espaciado 15 kHz (drcha) y 3.75 kHz (izda) [7][10]

### Canales Físicos [4], [9], [11], [13]

Los canales y señales de NB-IoT son los siguientes:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Enlace** | **Canales y señales** | **Uso** |
| **Bajada** | Narrowband Physical Downlink Control Channel (NPDCCH) | Información de Scheduling de bajada y subida |
| Narrowband Physical Downlink Shared Channel (NPDSCH) | Canal dedicado de bajada y datos comunes |
| Narrowband Physical Downlink Broadcast Channel (NPBCH) | Información del Master para el acceso del sistema |
| Narrowband Primary Synchronization Signal (NPSS) | Sincronización de tiempo y frecuencia. |
| Narrowband Secondary Synchronization Signal (NSSS) | Sincronización de tiempo y frecuencia. |
| Narrowband Reference Signal (NRS) | Proveer una fase de referencia para la demodulación de los canales de bajada. |
| **Subida** | Narrowband Physical Unlink Shared Channel (NPUSCH) | Canal dedicado de subida |
| Narrowband Physical Random-Access Channel (NPRACH) | Random Access |

Tabla Resumen de Canales y Señales Físicos de NB-IoT

#### NSSS

En caso de los modos de operación in-band o Guard-band, esta señal puede ser solo transmitida en un subconjunto del LTE PRB disponible, como se muestra en la siguiente ilustración. NSSS es transmitida cada 20 ms.

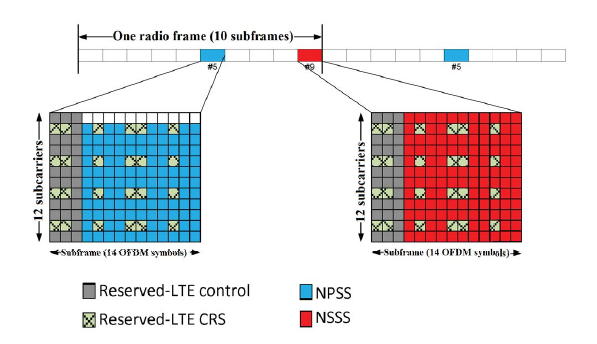


Ilustración NPSS & NSSS Transmission

#### NPSS

En caso de los modos de operación in-band o Guard-band, esta señal puede ser solo transmitida en un subconjunto del LTE PRB disponible, como se muestra en la Ilustración 8. NPSS es transmitida cada 10 ms.

#### NPBCH

Es la responsable de transmitir el NarrowBand Master Information Block (MIB-NB) sobre un bloque de 80 ms. Esta transmisión se repite 8 veces, repitiendo sin cambios el MIB-NB durante 640 ms usando a la vez la modulación QPSK. Esto se hace para asegurar cobertura en condiciones extremas.

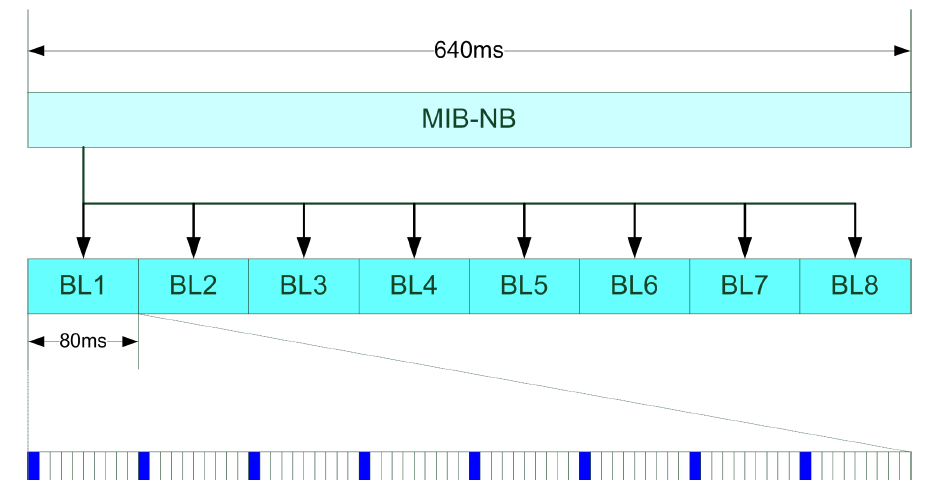


Ilustración Mapeado de NPBCH a los subframes [14]

El propio NB-IoT determinará el número de celdas destinadas a puertos de antena mientras que demodula la información del MIB, el cuál da la información también sobre el modo de operación

#### NPDSCH

#### NPDCCH

#### NRS

Esta señal es usada para proveer una fase de referencia para la demodulación de los canales de bajada. Este tipo de señales son multiplexada en tiempo y frecuencia

# OBJETIVOS

# MÉTODOS Y EQUIPO

# EXPERIMENTOS

# RESULTADOS Y ANÁLISIS

# CONCLUSIONES

# LINEAS FUTURAS

# PLANIFICACIÓN TEMPORAL Y PRESUPUESTO

# BIBLIOGRAFÍA

[1] S. Li, L. Da Xu, and S. Zhao, “5G Internet of Things: A survey,” *J. Ind. Inf. Integr.*, vol. 10, no. February, pp. 1–9, 2018.

[2] D. Ron, “Radio spectrum A key resource for the Digital Single Market,” no. March, 2015.

[3] Electronic communication Committee, “The European table of frequency allocations and application in the frequency range 9 kHz to 3000 GHz,” *Erc Rep. 25*, no. June, p. 275, 2011.

[4] S. Popli, R. K. Jha, and S. Jain, “A Survey on Energy Efficient Narrowband Internet of Things (NBIoT): Architecture, Application and Challenges,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 16739–16776, 2019.

[5] G. A. Akpakwu, B. J. Silva, G. P. Hancke, and A. M. Abu-Mahfouz, “A Survey on 5G Networks for the Internet of Things: Communication Technologies and Challenges,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 3619–3647, 2017.

[6] C. B. Mwakwata, H. Malik, M. M. Alam, Y. Le Moullec, S. Parand, and S. Mumtaz, “Narrowband internet of things (NB-IoT): From physical (PHY) and media access control (MAC) layers perspectives,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 11, pp. 1–34, 2019.

[7] J. Schlienz and D. Raddino, “Narrowband Internet of Things Whitepaper,” p. 42, 2016.

[8] R. S. Sinha, Y. Wei, and S. H. Hwang, “A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT,” *ICT Express*. 2017.

[9] R. Ratasuk, B. Vejlgaard, N. Mangalvedhe, and A. Ghosh, “NB-IoT system for M2M communication,” *2016 IEEE Wirel. Commun. Netw. Conf. Work. WCNCW 2016*, no. Wd5g, pp. 428–432, 2016.

[10] J. S. Miranda, “Estudio en detalle de NB-IoT. Comparación con otras tecnologías LPWAN considerando diferentes patrones de tráfico.,” 2019.

[11] Y. P. E. Wang *et al.*, “A Primer on 3GPP Narrowband Internet of Things,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 55, no. 3, pp. 117–123, 2017.

[12] N. Mangalvedhe, R. Ratasuk, and A. Ghosh, “NB-IoT deployment study for low power wide area cellular IoT,” *IEEE Int. Symp. Pers. Indoor Mob. Radio Commun. PIMRC*, no. 1, pp. 1–6, 2016.

[13] W. Ayoub, A. E. Samhat, F. Nouvel, M. Mroue, and J. C. Prévotet, “Internet of Mobile Things: Overview of LoRaWAN, DASH7, and NB-IoT in LPWANs Standards and Supported Mobility,” *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 21, no. 2, pp. 1561–1581, 2019.

[14] B. Schulz, “Narrowband Internet of Things Measurements Application Note,” pp. 1–62.