# 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](#_Toc38551101)

[RESUMEN 4](#_Toc38551102)

[INDICE 5](#_Toc38551103)

[ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS 6](#_Toc38551104)

[ILUSTRACIONES 7](#_Toc38551105)

[ECUACIONES 8](#_Toc38551106)

[TABLAS 9](#_Toc38551107)

[CÓDIGOS 10](#_Toc38551108)

[1. INTRODUCCIÓN 11](#_Toc38551109)

[2. ESTADO DEL ARTE 12](#_Toc38551110)

[2.1. Internet of Things (IoT) 12](#_Toc38551111)

[2.2. Low Power – Wide Area Networks (LPWAN) 12](#_Toc38551112)

[2.3. Narrow-Band IoT (NB-IoT) 12](#_Toc38551113)

[2.3.1. Introducción 12](#_Toc38551114)

[2.3.2. Características NB-IoT 13](#_Toc38551115)

[2.3.3. Arquitectura NB-IoT [3], [7] 15](#_Toc38551116)

[3. OBJETIVOS 16](#_Toc38551117)

[4. MÉTODOS Y EQUIPO 17](#_Toc38551118)

[5. EXPERIMENTOS 18](#_Toc38551119)

[6. RESULTADOS Y ANÁLISIS 19](#_Toc38551120)

[7. CONCLUSIONES 20](#_Toc38551121)

[8. LINEAS FUTURAS 21](#_Toc38551122)

[9. PLANIFICACIÓN TEMPORAL Y PRESUPUESTO 22](#_Toc38551123)

[10. BIBLIOGRAFÍA 23](#_Toc38551124)

# ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

IoT

LTE

eNB

EPC

NAS

# ILUSTRACIONES

[Ilustración 1 Modos De Operación NB-IoT (1) [4] 14](#_Toc38551127)

[Ilustración 2 Modos de Operación NB-IoT (2) [5] 14](#_Toc38551128)

[Ilustración 3 Arquitectura básica NB-IoT [3] 15](#_Toc38551129)

# ECUACIONES

# TABLAS

# 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)

## 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. [2]

### Características NB-IoT

La principales características de NB-IoT son las siguientes [3]:

* 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), si no 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.

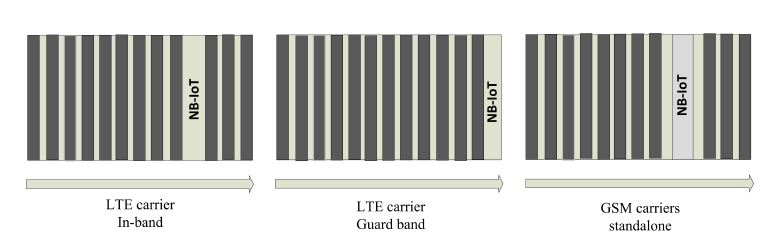


Ilustración 1 Modos De Operación NB-IoT (1) [4]

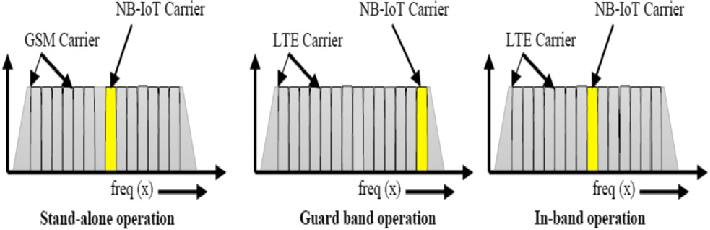


Ilustración 2 Modos de Operación NB-IoT (2) [5]

En todos los modos de operación a la hora del despliegue, se implementa NB-IoT con los siguientes objetivos de diseño de sistema [6]:

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 los) 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 [3], [7]

La arquitectura básica de NB-IoT es similar a la de la red de LTE, también conocida como EPC (Evolved Packet Core), pero con la diferencia de estar optimizada 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. Dicha arquitectura básica es la representada en la siguiente imagen:

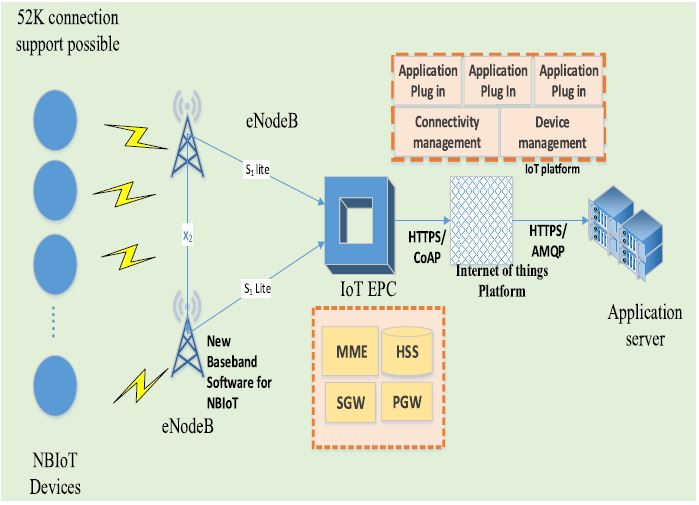


Ilustración 3 Arquitectura básica NB-IoT [3]

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 cuál 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.

# 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] 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.

[3] 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.

[4] 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.

[5] R. S. Sinha, Y. Wei, and S. H. Hwang, “A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT,” *ICT Express*, vol. 3, no. 1, pp. 14–21, 2017.

[6] 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.

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