



Universidade de Vigo

ESCOLA DE ENXEÑARÍA DE TELECOMUNICACIÓN

Grao en Enxeñaría de Tecnoloxías de Telecomunicación

# BOXPEAK

Memoria resumen ejecutivo

**Autores:**

López Gómez, Juan Anselmo

Otero Rivas, Pedro

Pardo Pérez, Laura

Valladares Pazó, Axel

Vilas Rodríguez, Alejandro

Curso 2023/2024

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. MOTIVACIÓN E ORIXE DA IDEA

Actualmente, os sistemas de localización e comunicación actuais non están preparados para ser utilizados en entornos pechados ou dependen de aspectos físico do lugar, problema que se acentúa en entornos rurais.

Este proxecto busca innovar no uso das tecnoloxías Bluetooth aplicadas á detección e comunicación nestas situacións, ofrecendo un sistema que garante un servizo fiable, seguro e de baixo custo de despliegue e mantemento.

Empregando unha rede Bluetooth *ad-hoc* conseguíase dar servizo independentemente das condicións de cobertura do lugar.

## 1.2. MODELO PROPOSTO

O sistema contará con 3 tipos dispositivos: dispositivo portable (*wearable*), servidor e dispositivo de avisos.

Ao entrar nunha sala dotada dun dispositivo de aviso este detecta ao *wearable* e solicita a súa dirección MAC. Esta dirección xunto coa do dispositivo da sala é enviada a través da rede Mesh tendo como destinatario o servidor. A rede Mesh encárgase de difundir as mensaxes, garantindo a entrega ao destinatario. Unha vez que o servidor recibe a mensaxe, comproba a que usuario corresponde a dirección do *wearable* recibida. Co usuario identificado, actualiza a información na base de datos se é necesario, tal como se detalla na sección 3.4.

Para o envío dos avisos, os usuarios deben pulsar un botón do *wearable*, iniciando deste xeito a gravación de audio. Ao mesmo tempo iníciase o proceso de emparellamento (*pairing*) co dispositivo de aviso da sala na que se atope. Cunha nova pulsación do botón finalízase a gravación e procédese a converter o audio a texto. Tras a conversión envíase o resultado ao dispositivo de aviso e finalízase o emparellamento entre eles.

O dispositivo de avisos envía as mensaxes co texto que contén o aviso a través da rede Mesh con destino o servidor. Unha vez que o servidor recibe a mensaxe, consulta na súa base de datos a localización actual do destinatario da mensaxe. É dicir, o dispositivo de avisos máis preto. A continuación, envía a mensaxe co texto de aviso á sala destino a través da rede Mesh.

Finalmente, o dispositivo de avisos da sala destino recibe a mensaxe e convértea en audio, o cal emite a través dos altosfalantes que ten conectados para comunicar o aviso ao usuario

## 1.3. ESTADO DO ARTE

Actualmente, as empresas e institucións empregan tecnoloxías de radio ou dispositivos persoais como os teléfonos móbiles para a comunicación, sendo inexistente un rexistro da ubicación actual de cada usuario.

Os teléfonos móbiles teñen o gran inconveniente da falta de cobertura, sobre todo nos entornos rurais. Ó depender da rede celular non contan con gran precisión a hora de determinar a ubicación precisa dun usuario. Dependendo da situación, os teléfonos poden non ser adecuados ou pode dificultarse a súa manipulación.

Co fin de suplir o problema da cobertura, é habitual substituír ou complementar o sistema mediante o uso de walkies-talkies. Non obstante, a comunicación entre estes dispositivos non é fiable e conta cunha escasa cobertura.

Pola outra banda, en certas institucións o persoal conta con teléfonos fixos nos despachos e noutras salas para comunicarse. Consecuentemente a flexibilidade no desprazamento pola infraestrutura vese reducida, ao non poder comunicarse se non se atopa na sala adecuada. Ademais o custo de despliegue dunha rede telefónica cableada e moito máis elevado que as opcións anteriormente mencionadas.

Boxpeak garante todas estas características grazas o emprego da tecnoloxía Bluetooth Mesh, a facilidade de uso posto que non require que os usuarios sosteñan e operen o dispositivo durante a comunicación, ademais ó contar cun sistema de localización propio, non é necesario coñecer previamente a ubicación do usuario co que se quere comunicar, é o sistema o encargado de reenviar correctamente as mensaxes ó destinatario. Por último o baixo custo de todo o sistema permite que sexa máis accesible para todas as empresas que opten por esta opción.

## 2. TAREFAS REALIZADAS

Boxpeak consiste nun sistema que permite unha maior fiabilidade na comunicación entre o persoal das empresas e particulares nos seus lugares de traballo. Para o desenvolvemento do prototipo do sistema realizáronse as seguintes tarefas:

### 2.1. DESENVOLVEMENTO DO DISPOSITIVO DE GRAVACIÓN E LOCALIZACIÓN - WEARABLE

Como se mostra na Figura 1, para a gravación das mensaxes de aviso e a localización do persoal dentro das instalacións desenvólvese un dispositivo *wearable*. Este dispositivo permite a gravación de audios, que son convertidos a texto para o seu envío aos dispositivos de avisos das salas, empregando unha conexión Bluetooth.

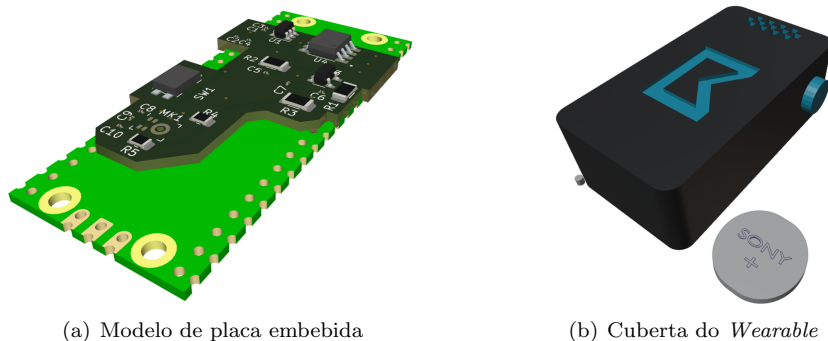


Figura 1: Na esquerda, o deseño da placa embebida; na dereita, o deseño da cuberta do *Wearable*

### 2.2. DESENVOLVEMENTO DOS DISPOSITIVOS DE AVISOS

Ademais dos *wearables* elaborouse un dispositivo que se situará nas salas das instalacións, formado por unha Raspberry Pi [1], unha placa Nordic NRF52840-DK [2] e dous altosfalantes. Este dispositivo estará encargado de realizar as seguintes funcións:

- Detectar a presenza de *wearables* no seu rango e enviar actualizacións dos usuarios que están no seu alcance ó servidor.
- Recibir as mensaxes de avisos enviados polo servidor dos que sexa destinatario. Converte ditas mensaxes a audio para reproducirlas polos seus altosfalantes.

### 2.3. ESTABLECEMENTO DA CONECTIVIDADE ENTRE SALAS - REDE MESH

Co fin de manter comunicados os dispositivos das salas e o servidor, impleméntase unha rede Bluetooth Mesh para obter unha conectividade completa. Como nodos da rede Mesh, pódense diferenciar dous tipos de dispositivos segundo a súa función:

- Os microcontroladores que actúan como intermediarios entre a rede e o servidor ou os dispositivos de avisos.
- Os microcontroladores situados fora das salas, que actúan como nodos relay na rede Mesh retransmitindo as mensaxes para garantir a chegada ao destinatario.

## 2.4. IMPLEMENTACIÓN DA XESTIÓN DAS MENSAXES - SERVIDOR

Para a xestión das mensaxes enviadas a través da rede Mesh impleméntase un servidor central. Sendo o intermediario no intercambio das mensaxes entre salas e o encargado de manter o rexistro da ubicación de todos os usuarios no sistema, cumpre as seguintes funcións:

- Recibir as mensaxes coas actualizacións das localizacións dos diferentes *wearables* que se detectaron nas salas e actualizar a información da súa localización.
- Recibir as mensaxes de avisos que se enviaron a través da rede Mesh, determinando a partir da mensaxe a localización do destinatario, e vólveo a enviar ao mesmo.
- Avisar a tódolos dispositivos de avisos das salas de que se rexistrou un novo *wearable* na rede Mesh. Polo tanto, os dispositivos de avisos poden realizar o *pairing* con este.

## 2.5. ORZAMENTO

No Cadro 1 pódese ver a desagregación do orzamento necesaria para a elaboración de un prototipo inicial.

DISPOSITIVO	Micrófono USB	Altosfalantes (Set de 2)	Baterías Lipo 5V (Set de 3)	Raspberrys Pi (Set de 3)	Placa Nordic NRF52840-DK (Set de 2)	Servidor	Man de obra (5 personas / 300 H)
PREZO	15.95€	49.99€	43.99€	148.29€	116.12€	369.00€	11.85€/H
<b>TOTAL</b>							<b>18518.34€</b>

Cadro 1: Desagregación do orzamento do prototipo

## 3. TECNOLOXÍAS EMPREGADAS

Para o desenvolvemento do sistema empregáronse diversas tecnoloxías, entre as que destacan:

- Bluetooth (BR/EDR): É un estándar de comunicación de corto alcance que permite a transmisión de datos entre dispositivos sin necesidade de cables físicos. Emprega ondas de radio de corta lonxitude de onda na banda de frecuencias de 2.4GHz, permitindo conexións rápidas, sinxelas e seguras entre dispositivos compatibles cun baixo consumo enerxético.
- Bluetooth Mesh: É unha extensión do estándar Bluetooth que permite a creación de redes de dispositivos interconectados. Cada dispositivo actúa como un nodo e pode transmitir mensaxes a outros dispositivos dentro da rede, o que permite unha comunicación robusta e escalable ofrecendo unha baixa latencia entre dispositivos distribuídos nunha área extensa.

### 3.1. DISPOSITIVO DE GRAVACIÓN E LOCALIZACIÓN - WEARABLE

Para a implementación utilízase unha Raspberry Pi, un microcontrolador de reducidas dimensións, pero coa suficiente capacidade de cómputo para levar a cabo as operacións necesarias.

Conéctase a través do seu USB un micrófono omnidireccional para a gravación dos avisos. Para converter o dispositivo en portable e compacto inclúese unha batería LiPo de 5V recargable para a alimentación do microcontrolador. Así mesmo, para facilitar a recarga do dispositivo, emprégase a batería como *Powerbank* alimentada mediante USB de tipo A. Estes dispositivos empregan a librería de speech to text de Google [3] para a conversión dos avisos de audio a texto.

### 3.2. DISPOSITIVOS DE AVISOS

Estes dispositivos impleméntanse mediante unha Raspberry Pi, a cal ten conectado un altofalante mono auto amplificado para a reprodución dos avisos. Ademáis, conéctase empregando unha conexión serial (por UART) a unha placa Nordic nRF52840dk.

A Raspberry Pi integra o stack Bluetooth 4.2[4] para a conexión e comunicación cos *wearables*. Mentres que a placa nRF integra o stack Mesh para a comunicación coa rede.

Empégase a linguaxe Python para a implementación da comunicación destes dispositivos cos *wearables*.

Estes dispositivos empregan a librería de texto a speech de Google [5] para a conversión das mensaxes de texto aos avisos de audio.

### 3.3. CONECTIVIDADE ENTRE SALAS - REDE MESH

Para a implementación da rede Mesh intégrase o stack de Bluetooth Mesh [6] (5.0) en todas as placas nRF.

Desenvólvese un código en linguaxe C coa funcionalidade de replicar a funcionalidade dunha aplicación de chat. Ao tratarse as mensaxes de avisos a través da rede Mesh de mensaxes en audios convertidos a cadeas de caracteres, imítase así o comportamento dun chat de mensaxería.

### 3.4. XESTIÓN DAS MENSAXES - SERVIDOR

O servidor do prototipo emprega un ordenador persoal de prestacións estándar conectado a través dunha conexión serial (por UART) cunha placa Nordic nRF52840dk para comunicarse coa rede Mesh.

Para o almacenamento dos datos empregase MongoDB[7], unha base de datos NoSQL e de código aberto orientada a documentos, onde cada entrada de datos ten o seguinte formato:

- Dirección MAC do wearable (MAC\_W).
- Alias do wearable (ALIAS)
- Localización do wearable, a dirección unicast da placa Nordic do dispositivo de avisos da sala onde se atope o wearable (DIR\_nRF\_SALA).
- RSSI (*Received Signal Strength Indicator*)
- *Timestamp*, el instante temporal de la última actualización del RSSI.

Impleméntanse en Python as operacións para a xestión das mensaxes no servidor, tanto para as recibidas coma as enviadas. Segundo a función, existen os seguintes tipos de mensaxes:

- Mensaxes de posicionamento: Enviados polos dispositivos de aviso co fin de actualizar a ubicación dos *wearables* xunto co seu RSSI. Esta información actualízase baixo os seguintes criterios:
  - Recíbese a mesma localización (non se moveu da sala): Sempre se actualiza o valor do RSSI e do *timestamp* na base de datos.
  - Recíbese unha localización diferente (provén doutra sala): Só se actualiza se o valor do RSSI é maior que o que se atopa na base de datos.
- Mensaxes de avisos: Envíanse para transmitir os avisos entre salas. Dependendo do emisor, as mensaxes poden ter a etiqueta " - *m*" (emitido por un dispositivo de avisos) e " - *t*" (emitido polo servidor).
- Novo usuario: Neste caso, quérese engadir un novo usuario ao sistema. O servidor enviará unha mensaxe, coa etiqueta " - *n*", aos dispositivos de avisos co fin de actualizar a lista de MACs dos usuarios.

## 4. PROBAS E RESULTADOS ACADADOS

### 4.1. RESULTADOS

Na Figura 2 preséntase un esquema do prototipo final acadado durante o desenvolvemento. Este prototipo consiste nun sistema que permite a localización en tempo real de tódolos usuarios rexistrados, e a posibilidade de enviar mensaxes de aviso aos dispositivos de aviso máis próximos a cada usuario.

Como se pode ver na Figura 2, nun caso de uso estándar os usuarios están dotados dun *wearable* durante os seus desplazamentos polas instalacións nas súas horas de traballo.

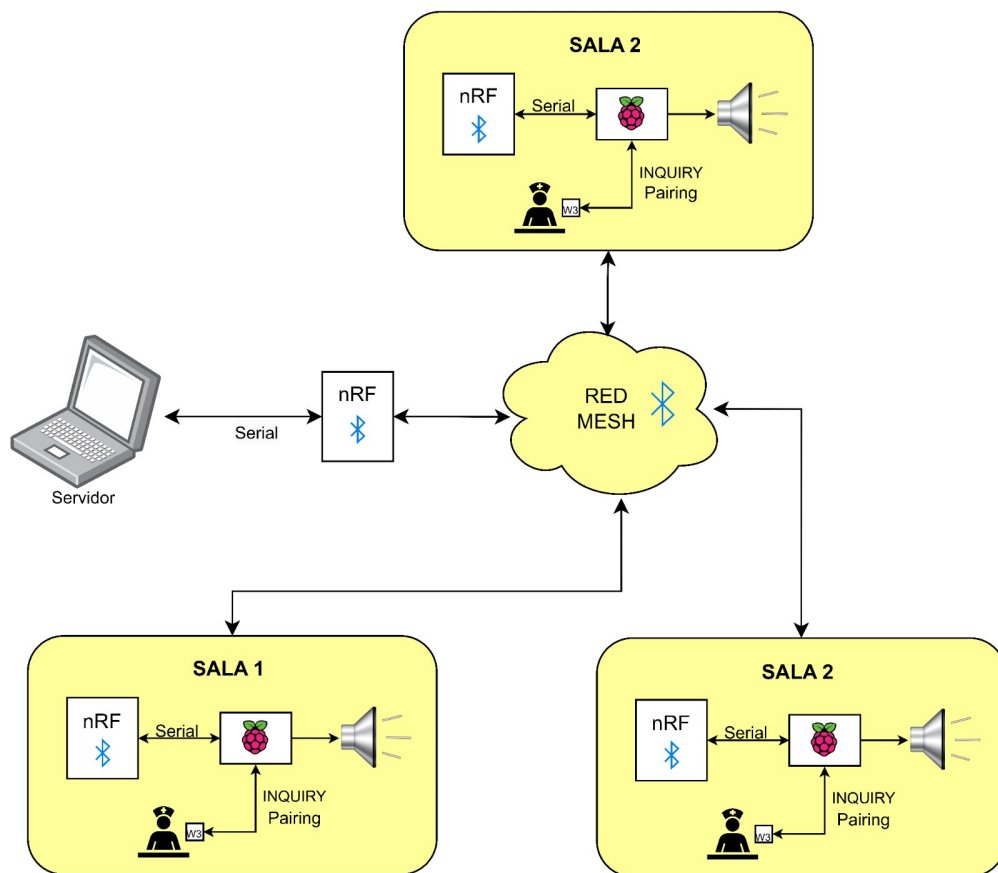


Figura 2: Esquema do funcionamento do prototipo

### 4.2. PROBAS

Realizáronse probas de forma individual de cada compoñente do sistema así como o despliegue completo do sistema nun entorno reducido.

Realizáronse nun contexto controlado polos membros do equipo para garantir o correcto funcionamento de cada un dos compoñentes do prototipo.

As probas a realizar incluíron, entre outras:

- Probas de intercambio de mensaxería na rede Mesh.
- Probas de localización e emparellamento dos *wearables*.
- Probas dos sistemas de avisos por audio.

- Probas da correcta conversión de audio a texto e viceversa.
- Probas de detección en espazos pechados.
- Probas sobre o consumo da batería dos wearable.

As probas de consumo enerxético mostraron unha autonomía razoable. Estas probas fixéronse cun rango e número de usuarios reducido para facer unha proba de concepto cunha amplitude limitada.

## 5. POSIBILIDADES COMERCIAIS

Realizouse un estudo co fin de analizar as oportunidades de mercado onde encaixa Boxpeak. Tal e como se indicou na Sección 1.3 a Boxpeak destaca fronte o resto de tecnoloxías actuais no mercado debido a innovación e prestacións que ofrece.

No estudo anteriormente mencionado considerouse que é o que se quere ofrecer, que impedimentos existen, e cara a que usuarios se poden dirixir. Como resultado, conclúense os seguintes potenciais clientes:

- Administracións públicas, empresas privadas e particulares: Unha vez instalado e desplegado, o mantemento requerido é mínimo, o que significa que os usuarios poden dispoñer das funcionalidades completas do sistema sen necesidade da intervención dun técnico especializado.
- ONGs Humanitarias: Grazas o rápido e sinxelo despliegue, Boxpeak pode marcar a diferenza notable na labor que estas organizacións desempeñan.

### 5.1. MODELO DE NEGOCIO

Tendo en conta que os costes principais son os de produción dos prototipos e posteriormente dos dispositivos, optouse por ofrecer un modelo de subscrición mensual cun prezo adaptado ó número de usuarios que se introducen no sistema, os prezos detallanse no punto 5.2.

Este modelo está presente en outros sectores máis afianzados baseados en despliegues de hardware como é, por exemplo, o mercado da videovixilancia.

Por conseguinte, isto provoca unhas perdas significativas os primeiros anos que se esperan recuperar nun período estimado de 3 anos. A partir desta etapa, os gastos se reducen drásticamente; só o custo de fabricación e os salarios dos traballadores. Pola outra banda os ingresos mantéñense constantes.

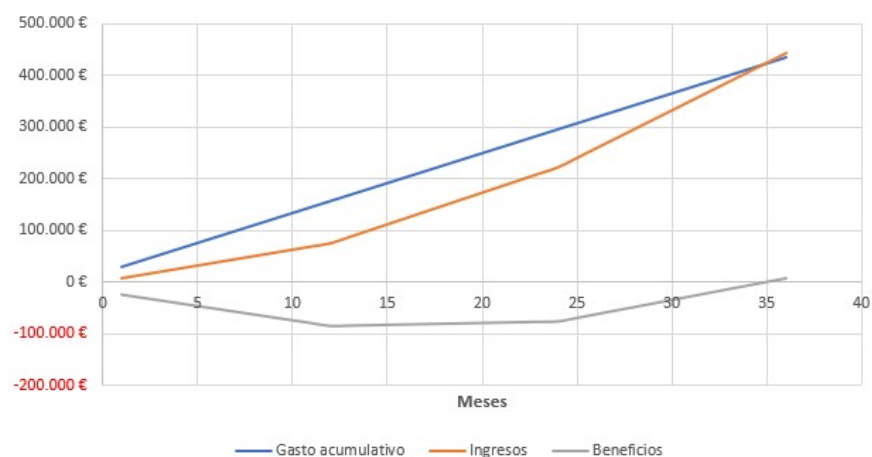


Figura 3: Representación gráfica do modelo de negocio

## 5.2. DESENVOLVEMENTO DO ORZAMENTO

O custo para o usuario final do noso sistema, xa sexa unha empresa ou un particular, pode desglosarse en dúas compoñentes fundamentais: o hardware utilizado e a man de obra no despliegue do produto.

O prezo da subscrición varía en medida do número de dispositivos *wearables* que precise o contratador do servizo, facendo que o desembolso capital inicial aportado polo mesmo non sexa excesivo, conseguindo así un ciclo capital máis asequible a corto e medio prazo.

Baseándonos nos prezos de hardware específico aportados por empresas de distribución como Texas Instruments[8] o MicroBattery[9], o custo de produción de 500 dispositivos *wearables* é de 5€ por dispositivo, e o custo de produción de 500 dispositivos de aviso é de 80€ por dispositivo.

Tendo en conta estes datos, se fixo unha aproximación do prezo dos despliegues en empresas medianas e grandes, chegando a os prezos de 2.900€ e 19.400€ tendo en conta tamaños de 100 e 1000 empregados por empresa respectivamente. Supoñendo unha contratación por parte dunha empresa dun tamaño de 100 empregados e contratacións por parte de distintas empresas e particulares para chegar a un cómputo total de 1000 usuarios máis, fíxose un balance no cal o prezo da subscrición é de 5,6€ por dispositivo *wearable*. Isto fai que, ao conseguir un número aproximado aos 1.100 usuarios ao ano, os custos de desenvolvemento, produción e prototipado se solventaría no tempo esperado.

## 6. CONCLUSIÓNS E LÍÑAS FUTURAS

A realización deste proxecto supuxo todo un reto a nivel de coñecementos, empregando tecnoloxías e hardware que non se utilizaran polos integrantes do grupo a un nivel tan profundo ata este momento. Entre estes se contan o uso da tecnoloxía Bluetooth a baixo nivel e o desenvolvemento de software para sistemas embebidos de baixo e alto nivel para os dispositivos de nRF e Raspberry respectivamente.

As tecnoloxías escollidas demostraron robustez e potencial para que, nun futuro, moitos máis sistemas como o prototipo adopten estas alternativas. Produtos como o que aquí se presenta todavía non están en auxe, debido a dificultade de localizar dispositivos en interiores utilizando en redes inalámbricas.

Boxpeak ten a oportunidade de mellorar en varios aspectos, entre os cales se atopa a integración dos dispositivos *wearables* dentro da propia rede de Bluetooth Mesh, conseguindo unha comunicación a nivel persoal en lugar de baseada en espazos concretos.

Ademáis a búsqueda de hardware máis especializado nas tarefas encomendadas permitirá a miniaturización e abaratamento dos distintos dispositivos empregados, facendo que o produto poida alcanzar un nivel de flexibilidade e autonomía moito maior do alcanzado no prototipo. Así mesmo, unha implementación do estándar BLE [4] (Bluetooth Low Energy) tamén incrementaría a autonomía dos *wereables*. Isto reflexaríase no prezo final do servizo, resultando nuncha diminución considerable. Finalmente, de cara a unha ampliación dos servizos ofrecidos, plantéxanse a comunicación directa entre usuarios, as notificacións de prohibicións ou os avisos de acceso a zonas restrinxidas.



## 7. REFERENCIAS

- [1] *Raspberry Pi Website*. URL: <https://www.raspberrypi.com/> (visitado 24-04-2024).
- [2] *Nordic NRF52840-DK Website*. URL: <https://www.nordicsemi.com/Products/Development-hardware/nRF52840-DK> (visitado 24-04-2024).
- [3] *Speech to text de Google*. URL: [https://cloud.google.com/speech-to-text?hl=es\\_419](https://cloud.google.com/speech-to-text?hl=es_419).
- [4] *Bluetooth 4.2 Website*. URL: <https://www.bluetooth.com/specifications/specs/core-specification-4-2/> (visitado 24-04-2024).
- [5] *Text to speech de Google*. URL: [https://cloud.google.com/text-to-speech?hl=es\\_419](https://cloud.google.com/text-to-speech?hl=es_419) (visitado 24-04-2024).
- [6] *Bluetooth Mesh Documentation*. URL: <https://www.bluetooth.com/wp-content/uploads/2019/03/Mesh-Technology-Overview.pdf> (visitado 24-04-2024).
- [7] *MongoDB Website*. URL: <https://www.mongodb.com/> (visitado 24-04-2024).
- [8] *Texas Instruments Website*. URL: [https://www.ti.com/ordering-resources/buying-with-ti.html?utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=ocb-tistore-null-58700007762798204\\_tistore\\_april22\\_rsa-cpc-pp-google-ww\\_e\\_pur&utm\\_content=tistore\\_april22&ds\\_k=texas+instruments+products&gad\\_source=1&gclid=CjwKCAjw26KxBhBDEiwAu6KXtzWToaIf0DH9v-jrWrGcvW006lReAuW5Wb58DQoRf-7aA5VDIWYP3xoCMioQAvD\\_BwE&gclidsrc=aw.ds](https://www.ti.com/ordering-resources/buying-with-ti.html?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=ocb-tistore-null-58700007762798204_tistore_april22_rsa-cpc-pp-google-ww_e_pur&utm_content=tistore_april22&ds_k=texas+instruments+products&gad_source=1&gclid=CjwKCAjw26KxBhBDEiwAu6KXtzWToaIf0DH9v-jrWrGcvW006lReAuW5Wb58DQoRf-7aA5VDIWYP3xoCMioQAvD_BwE&gclidsrc=aw.ds) (visitado 24-04-2024).
- [9] *MicroBattery Website*. URL: <https://www.microbattery.com/> (visitado 24-04-2024).