

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
ESTUDIO DE MEJORAS EN UNA SOLUCIÓN IOT PARA LA MONITORIZACIÓN DE
ACTIVOS DE INSTALACIÓN FIJA Y/O DESPLEGADOS EN CAMPO
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2023/24 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de otro, ni
total ni parcialmente y la información que ha sido tomada
de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Pablo Martínez Sevilla Fecha: 16/ 07/ 2024

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO
ESPEJO
PORTERO,
NICOLAS
(FIRMA)

Firmado digitalmente
por ESPEJO PORTERO,
NICOLAS (FIRMA)
Fecha: 2024.07.16
23:22:29 +02'00'

Fdo.: Nicolás Espejo Portero Fecha: 16/ 07/ 2024

ESTUDIO DE MEJORAS EN UNA SOLUCIÓN IOT PARA LA MONITORIZACIÓN DE ACTIVOS DE INSTALACIÓN FIJA Y/O DESPLEGADOS EN CAMPO

Autor: Pablo Martínez Sevilla
202111476@alu.comillas.edu

Director: Nicolás Espejo Portero
nespejo@comillas.edu

Co-Director: Álvaro Scandella Casado
alvaro.scandellacasado@telefonica.com

Universidad Pontificia de Comillas (ICAI). Madrid, España

RESUMEN

Este Trabajo de Fin de Máster se centra en el estudio y mejora de una solución IoT para la monitorización de activos, basándose en un proyecto real desarrollado para un cliente del sector bancario. El objetivo principal es optimizar la calidad y competitividad de la solución actual, ampliando su mercado potencial a otros sectores con casos de uso similares.

El TFM aborda uno de los desafíos técnicos y de seguridad que pueden comprometer la eficacia de estas soluciones, como es el caso de las inhibiciones de señal celular. Se plantean diferentes alternativas, como antenas directivas, redes de respaldo multimodales y multifrecuencia, parejas de dispositivos con conexión redundante y ajustes en la frecuencia de envío de mensajes de estado. Tras un análisis exhaustivo, se concluye que las redes de respaldo multimodales y multifrecuencia mediante módulos NB-IoT/LTE-M son la solución óptima.

Además, se propone el desarrollo de una familia de dispositivos IoT adaptables a múltiples casos de uso, desde una solución genérica hasta soluciones especializadas. Estos dispositivos se integran en una plataforma común y desarrollada específicamente para estos casos de uso, denominada Asset Control, que ofrece una gestión centralizada y eficiente.

La solución desarrollada en este TFM se está aplicando con éxito en un proyecto piloto para una empresa distribuidora de gases industriales en Europa. El caso de uso se centra en la monitorización de racks de bombonas de hidrógeno, utilizando un manómetro IoT y la plataforma Asset Control.

De cara al futuro, se plantea continuar evolucionando la plataforma mediante la incorporación de nuevas funcionalidades y explorando el desarrollo de nuevos casos de uso con alto potencial.

Palabras clave: Internet de las Cosas, monitorización de activos, NB-IoT, inhibición de señal celular, dispositivos IoT, Plataforma IoT, redes de respaldo multimodales y multifrecuencia.

INTRODUCCIÓN Y PROYECTO ESPECIAL

El Internet de las Cosas (*IoT* por sus siglas en inglés) ha experimentado un crecimiento exponencial en los últimos años, transformando la forma en que las empresas gestionan y protegen sus activos. La monitorización de activos mediante soluciones *IoT* permite optimizar operaciones, reducir costes de mantenimiento y mejorar la seguridad. En el ámbito de la seguridad bancaria, el *IoT* presenta oportunidades únicas para proteger activos críticos como los cajeros automáticos, que son frecuentemente objeto de ataques físicos y cibernéticos. Este Trabajo de Fin de Máster se basa en un proyecto real desarrollado para un importante cliente del sector bancario, enfocado en la monitorización avanzada de cajeros automáticos mediante tecnología *IoT*.

El cliente, una entidad bancaria líder en España, enfrentaba desafíos significativos en la protección de su red de cajeros automáticos distribuidos por todo el territorio nacional. Los cajeros eran vulnerables a diversos tipos de ataques, incluyendo butrones, zarandeos y arrancamientos para extraer el dinero de su interior. La falta de una solución adecuada resulta en costes adicionales para el cliente, como el envío de personal técnico para inspecciones in situ y el flujo cesante, y tiene consecuencias negativas de cara al cliente final, como la interrupción de servicios y la pérdida de confianza en la marca.

Para abordar esta problemática, se desarrolló una solución *IoT* integral que permite la detección temprana de perturbaciones y el envío de alarmas y localización en caso de robo o manipulación. Esta solución incluye un dispositivo *IoT* equipado con sensores de manipulación y giroscopio, módulo de comunicaciones *NB-IoT*, *GNSS* para geolocalización y baterías para garantizar su autonomía.

La conectividad del dispositivo se basa en tecnología *NB-IoT*, seleccionada por su bajo consumo energético y amplia cobertura, incluso en ubicaciones subterráneas o remotas. La gestión de esta conectividad se realiza a través de la plataforma *Kite* de Telefónica Tech, que proporciona funcionalidades de conectividad gestionada, incluyendo la administración de tarjetas SIM, monitorización del uso de datos y optimización de la conectividad.

La plataforma de operación, diseñada específicamente para este proyecto y alojada en la nube, recibe y procesa en tiempo real los datos transmitidos por los dispositivos. Esta plataforma recibe los datos de los dispositivos y genera una alarma en caso de haberse detectado alguna perturbación.

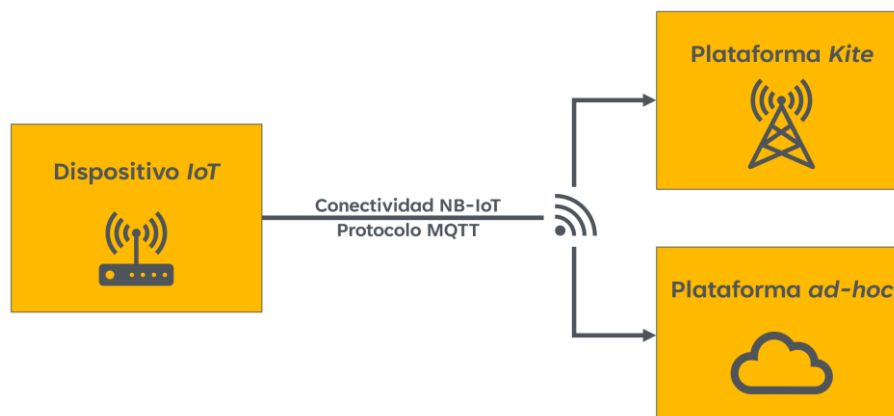


Figura 1. Diagrama a alto nivel de la solución *IoT* desarrollada para el proyecto especial

La motivación de este TFM surge de la necesidad de mejorar la calidad y competitividad de la solución *IoT* desarrollada en el proyecto especial, resolviendo problemas identificados durante el desarrollo de este y ampliando su mercado potencial a otros sectores con casos de uso similares. Además, se busca aportar valor tanto desde el punto de vista académico, aplicando conocimientos adquiridos durante el Máster, como desde el punto de vista empresarial, ofreciendo soluciones innovadoras y competitivas para mejorar la monitorización de activos en diferentes escenarios reales.

OBJETIVOS

El presente Trabajo de Fin de Máster tiene como objetivo principal estudiar mejoras para una solución *IoT* de monitorización de activos, de manera que los resultados puedan ser aplicados en un futuro. Para ello, se ha comenzado explicando el proyecto inicial sobre el que se ha basado la solución, con el fin de identificar las funcionalidades y casos de uso que se pueden añadir en una versión “productizada”.

Una vez identificados estos puntos de mejora, se estudiarán en profundidad y de manera independiente las tecnologías que pueden estar generando cada uno de los problemas, planteando diferentes alternativas de solución. Se realizará una comparativa de las ventajas e inconvenientes de cada una de ellas, explicando cuál es la solución óptima en función del caso de uso a resolver. De esta forma, se pretende aportar un análisis detallado y fundamentado que permita la futura implementación de las mejoras propuestas.

METODOLOGÍA

Este proyecto adopta la metodología propuesta por Alan Cohen en “*Prototype to Product: A Practical Guide for Getting to Market*” [1]. El enfoque se estructura en fases secuenciales que incluyen la identificación del problema, la exploración de alternativas de solución, la comparativa objetiva de estas alternativas, y el análisis detallado de los resultados. Esta metodología permite un desarrollo iterativo y centrado en el usuario, facilitando la transición desde la conceptualización inicial hasta la implementación práctica. Además, se incorporan técnicas de análisis multicriterio para evaluar las alternativas de solución, asegurando una toma de decisiones fundamentada y alineada con los objetivos del proyecto.

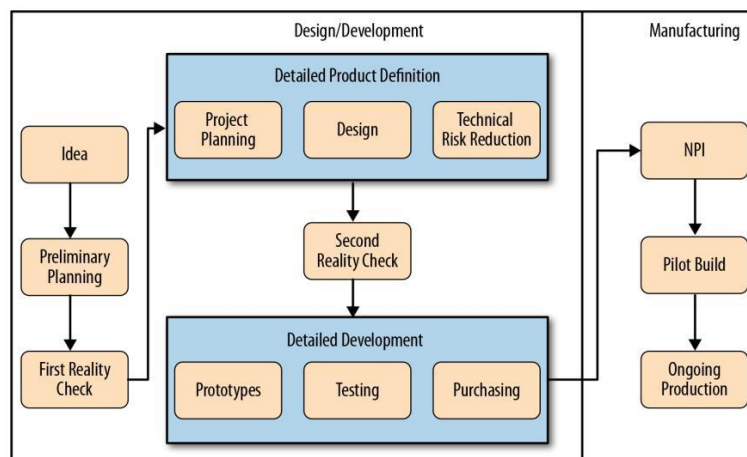


Figura 2. Metodología planteada y seguida durante el desarrollo del TFM [1]

DETECCIÓN DE INHIBICIONES DE SEÑAL CELULAR

En el proyecto de monitorización de cajeros automáticos, se han producido varios robos donde el dispositivo *IoT* no ha reportado ninguna alarma. Tras analizar los casos, una posible causa es que los delincuentes estén utilizando inhibidores de señal para bloquear las comunicaciones del dispositivo, evitando así que pueda transmitir la alarma. Esta situación supone un importante problema, ya que deja los cajeros desprotegidos y vulnerables a los ataques. Además, reduce la confianza en el sistema de monitorización implantado. Por ello, es prioritario estudiar el problema de las inhibiciones de señal y desarrollar soluciones que permitan a los dispositivos detectar y contrarrestar este tipo de ataques.

Para abordar este desafío crítico, se desarrollaron y analizaron cuatro alternativas de solución para detectar y mitigar su impacto en los dispositivos *IoT*:

- **Antenas directivas:** Esta solución propone la implementación de antenas directivas en los dispositivos *IoT* para concentrar la señal en una dirección específica. Las antenas directivas, como las Yagi-Uda o las log-periódicas, ofrecen una mayor ganancia en la dirección deseada, lo que potencialmente podría superar las interferencias de los inhibidores. Sin embargo, el aumento del tamaño y peso del dispositivo, el elevado coste de las antenas la complejidad en la instalación y orientación, y la vulnerabilidad a cambios en la dirección de la señal son limitaciones significativas que se presentan en esta alternativa solución.
- **Redes de respaldo multimodales y multifrecuencia:** Esta alternativa implica la integración de múltiples tecnologías de comunicación en un solo dispositivo. La idea es que el dispositivo pueda conmutar automáticamente entre estas tecnologías en caso de detectar una inhibición en una de ellas. Esta solución ofrece una mayor resiliencia y continuidad en las comunicaciones, aprovechando la amplia cobertura de ambas tecnologías.
- **Pareja de dispositivos con conexión redundante:** Esta solución propone el uso de dos dispositivos *IoT* separados físicamente a una distancia mínima de 50 metros y comunicados entre sí mediante módulos de radiofrecuencia HC-12. Si el dispositivo principal detecta una inhibición, puede comunicarse con el dispositivo secundario para que este envíe la alarma. Aunque esta solución ofrece una alta redundancia, presenta desafíos en términos de costes, complejidad de instalación y mantenimiento.
- **Ajuste de la frecuencia del heartbeat:** Esta alternativa sugiere aumentar la frecuencia de los mensajes de estado enviados por el dispositivo *IoT* en el orden de segundos. Al incrementar la frecuencia de estos mensajes, la plataforma de operación podría detectar rápidamente una inhibición de señal. Sin embargo, esta solución tiene grandes limitaciones en términos de consumo de energía e imposibilitando esta alternativa sin una fuente de energía constante.

Para detectar las inhibiciones de señal en las alternativas de redes de respaldo y la pareja de dispositivos, se propone monitorizar el parámetro *SINR* (*Signal to Interference plus Noise Ratio*), establecido por la *3GPP* en el estándar *NB-IoT* [2] y que es la relación entre el nivel de la señal y el nivel combinado de ruido más interferencia. Una caída significativa de este parámetro puede indicar la presencia de una señal de interferencia fuerte, permitiendo al dispositivo identificar posibles

intentos de inhibición. Para esto, es necesario modificar el firmware del dispositivo, de forma que pueda monitorizar este parámetro y conmutar.

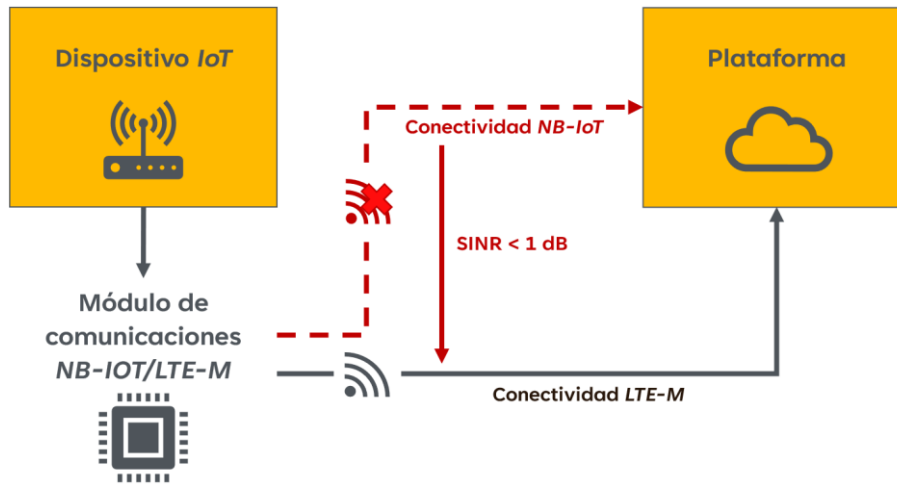


Figura 3. Diagrama a alto nivel de la alternativa de solución de redes de respaldo multimodales y multifrecuencia

Tras un análisis exhaustivo de estas alternativas, se concluye que las redes de respaldo multimodales y multifrecuencia, específicamente la combinación de *NB-IoT* y *LTE-M*, ofrecen la solución más robusta y eficiente para contrarrestar las inhibiciones de señal celular. Las razones principales para esta conclusión son:

- **Resiliencia y redundancia:** La capacidad de conmutar entre *NB-IoT* y *LTE-M* proporciona una redundancia efectiva, asegurando la continuidad de las comunicaciones incluso si una de las tecnologías es inhibida.
- **Amplia cobertura:** Tanto *NB-IoT* como *LTE-M* ofrecen una cobertura extensa en áreas urbanas y rurales, lo que garantiza la conectividad en todo el territorio español.
- **Eficiencia energética:** Aunque *LTE-M* consume más energía que *NB-IoT*, la combinación de ambas tecnologías permite un balance entre rendimiento y consumo energético, especialmente cuando se implementan modos de ahorro de energía.
- **Madurez tecnológica:** Ambas tecnologías están bien establecidas y cuentan con un amplio soporte de la industria, lo que facilita su implementación y mantenimiento a largo plazo.
- **Flexibilidad:** La solución permite adaptarse a diferentes escenarios de inhibición y condiciones de red, mejorando la robustez general del sistema.
- **Relación coste-efectividad:** Aunque implica un costo inicial mayor al incluir un módulo de comunicaciones que incluya ambas tecnologías, ofrece el mejor balance entre rendimiento, confiabilidad y costo a largo plazo.
- **Escalabilidad:** Esta solución es fácilmente escalable y aplicable a diversos casos de uso y sectores industriales, más allá de la monitorización de cajeros automáticos.

Esta solución no solo aborda el desafío inmediato de las inhibiciones de señal en la monitorización de cajeros automáticos, sino que también establece una base sólida para el desarrollo de dispositivos *IoT* más resilientes y adaptables en diversos contextos industriales. La capacidad de mantener comunicaciones confiables incluso en condiciones adversas es crucial para garantizar la seguridad y eficacia de los sistemas de monitorización de activos críticos.

DISEÑO DE UNA FAMILIA DE DISPOSITIVOS IOT PARA LA MONITORIZACIÓN DE ACTIVOS

La solución actual de monitorización de cajeros automáticos ha demostrado ser efectiva para detectar ataques físicos a estos activos críticos. Sin embargo, limitar el alcance de la solución únicamente a este caso de uso supone desaprovechar el potencial de la tecnología *IoT* y la inversión de desarrollo. Utilizando el proyecto especial como punto de partida, se pueden abordar una amplia gama de desafíos en la gestión y seguridad de activos en diversos sectores más allá del bancario.

En este TFM se han identificado tres casos de uso principales para el desarrollo de esta familia de dispositivos *IoT*. El primero es una solución *IoT* de aplicación genérica, diseñada para ser altamente adaptable y capaz de satisfacer una amplia gama de necesidades de monitorización en diversos sectores. El segundo caso de uso se centra en una solución *IoT* para el geoposicionamiento de activos, permitiendo el seguimiento preciso de cualquier activo o recurso. El tercer caso de uso aborda una solución *IoT* específica para la monitorización de gases industriales, respondiendo a las necesidades de seguridad y control en entornos industriales donde la presencia y concentración de gases pueden ser críticas.

En lugar de desarrollar dispositivos completamente nuevos, se ha optado por buscar soluciones ya existentes en el mercado que puedan adaptarse a estos casos de uso. Esta decisión se basa en varios factores, incluyendo la reducción del tiempo de desarrollo, el aprovechamiento de tecnologías probadas y la optimización de costes. Además, la utilización de dispositivos ya disponibles en el mercado permite una mayor flexibilidad y rapidez en la implementación de soluciones para los clientes.



Figura 4. Dispositivos Hawk, GL53MG y manómetro Hercules

Para el caso de uso de aplicación genérica, se propone el dispositivo *Hawk* de Digital Matter [3]. Este dispositivo destaca por su versatilidad y compatibilidad con un amplio catálogo de sensores. El *Hawk* es un dispositivo *IoT* de bajo consumo que integra conectividad *LTE-M/NB-IoT* con fallback a *2G*. Cuenta con memoria flash para almacenar las medidas recogidas entre comunicaciones. Su diseño modular permite la conexión de hasta 9 sensores externos a través de interfaces *I2C*, *One-Wire*, *RS-232* y entradas analógicas y digitales, entre otras. El dispositivo incorpora un acelerómetro de 3 ejes para detección de movimiento y un *GNSS* de alta sensibilidad. Su capacidad de 2 baterías

LTC tipo D le proporciona una autonomía de hasta 7 años con una comunicación diaria. Además, presenta protección IP68 e IK08 para garantizar su correcto funcionamiento independientemente del ambiente de trabajo. Estas características permiten adaptar el dispositivo a multitud de necesidades de monitorización que le puedan surgir a cualquier cliente, facilitando la flexibilidad y escalabilidad de la solución.

Para la solución de geoposicionamiento de activos, se sugiere el dispositivo GL53MG de Queclink [4]. Este rastreador compacto está diseñado específicamente para aplicaciones de seguimiento de activos. Integra módulos de comunicación *LTE-M/NB-IoT* con fallback a redes 2G/3G, así como tecnologías de posicionamiento *GNSS*. Incorpora un acelerómetro de 3 ejes para detección de movimiento y vibración. Su batería de litio le proporciona una autonomía de hasta 3 años en modo de bajo consumo. El dispositivo tiene certificaciones IP67 para resistencia al agua y al polvo y presenta BLE 5.1 en caso de requerir incluir algún sensor. Estas características permiten un seguimiento preciso de la ubicación de prácticamente cualquier tipo de activo minimizando el coste del dispositivo.

En cuanto a la monitorización de gases industriales, se propone el manómetro Hercules de Amper TFS [5]. Este dispositivo está específicamente diseñado para medir y monitorizar la presión de gases en entornos industriales. El Hercules integra un sensor de presión piezorresistivo con una precisión del $\pm 0.5\%$ del fondo de escala. Cuenta con conectividad *NB-IoT/LTE-M* para la transmisión de datos y un módulo *GNSS* para geolocalización. El dispositivo está alimentado por una batería de litio capaz de proporcionar una autonomía de hasta 10 años con una frecuencia de envío diaria. Su carcasa de acero inoxidable con grado de protección IP68 lo hace adecuado para su uso en ambientes industriales agresivos. El Hercules tiene una versión que cumple con las normativas ATEX para su uso en atmósferas potencialmente explosivas. Este dispositivo está específicamente diseñado para medir y monitorizar la presión de gases en entornos industriales, ofreciendo una solución robusta y confiable para este caso de uso especializado.

La elección de estos dispositivos se basa en su capacidad para adaptarse a los requisitos específicos de cada caso de uso, así como en su fiabilidad y rendimiento probados en aplicaciones similares. Además, estos dispositivos ofrecen la ventaja de ser compatibles con las tecnologías de comunicación y protocolos estándar utilizados en *IoT*, facilitando su integración en la plataforma de gestión.

Para complementar esta familia de dispositivos *IoT*, se propone el desarrollo de la plataforma *Asset Control*, integrada en el entorno de trabajo de *Kite Platform*. La decisión de desarrollar esta plataforma se fundamenta en la necesidad de contar con una solución unificada y personalizada para la gestión y monitorización de los diversos dispositivos y casos de uso. La integración con *Kite Platform* permite aprovechar las capacidades existentes de gestión de conectividad y seguridad, al tiempo que se añaden funcionalidades específicas para la monitorización de activos.

La plataforma *Asset Control* se compone de varios elementos clave. En primer lugar, incorpora un módulo de gestión de dispositivos que permite la configuración, actualización y monitorización remota de los dispositivos *IoT* desplegados. También incluye un sistema de alertas y notificaciones para informar en tiempo real sobre eventos críticos o anomalías detectadas en los activos monitorizados.

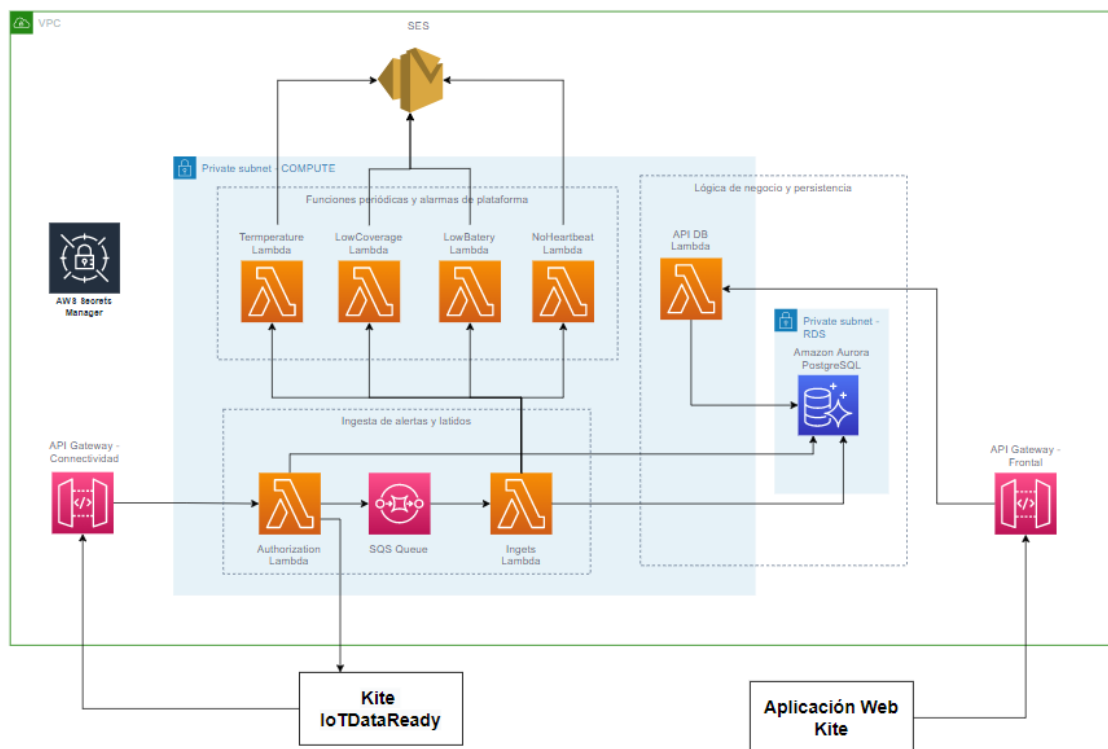


Figura 5. Arquitectura de la plataforma Asset Control

Un componente crucial de la plataforma es el bróker *IoT Data Ready* de Telefónica Tech, diseñado para la ingesta eficiente de datos provenientes de los diversos dispositivos *IoT*. Este módulo es capaz de procesar y normalizar grandes volúmenes de datos en tiempo real, facilitando su análisis y visualización. *IoT Data Ready* también incorpora capacidades de filtrado y agregación de datos, permitiendo una gestión más eficiente de la información y reduciendo la carga en los sistemas de almacenamiento y procesamiento.

Además, la plataforma *Asset Control* incluye herramientas avanzadas de análisis y visualización de datos, que permiten a los usuarios obtener *insights* valiosos a partir de la información recopilada. Estas herramientas facilitan la identificación de patrones, tendencias y anomalías en el comportamiento de los activos monitorizados, lo que puede conducir a una mejor toma de decisiones y a la optimización de procesos operativos.

APLICACIÓN A UN PROYECTO REAL

La aplicación práctica de las mejoras estudiadas en este TFM se materializa en un proyecto piloto que actualmente se encuentra en proceso de desarrollo para una de las principales empresas distribuidoras de gases industriales de Europa. Este cliente se enfrenta a desafíos significativos en la gestión y monitorización de sus racks de bombonas de gas, elementos críticos en su cadena de suministro que contienen gases esenciales como hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, fundamentales para numerosos procesos industriales de sus clientes.

Uno de los principales problemas que afronta la empresa es la falta de visibilidad en tiempo real sobre el estado y ubicación de cada rack. Actualmente, el seguimiento de estos activos se realiza de forma manual, lo que resulta en un proceso ineficiente, propenso a errores y que no permite una respuesta rápida ante incidencias. Además, la falta de datos precisos y actualizados sobre el nivel

de llenado de cada bombona dificulta la planificación adecuada de la producción, distribución y mantenimiento de estos activos, lo que puede llevar a situaciones de sobrestock o, por el contrario, a la incapacidad de satisfacer picos de demanda.

Para abordar estas necesidades, se ha implementado la solución *IoT* para la monitorización de gases industriales planteada en este TFM, instalando el manómetro *IoT* Hercules de Amper TFS en los racks de bombonas de hidrógeno. Este dispositivo, especialmente diseñado para medir la presión de gases industriales, se conecta a la plataforma *Asset Control* mediante la red *NB-IoT*. La plataforma recibe y procesa los datos de presión, ubicación y estado enviados por cada manómetro, generando informes, visualizaciones y alertas según las reglas de negocio definidas.

El proyecto piloto se está llevando a cabo actualmente con un despliegue inicial de 50 racks localizados en 2 instalaciones de Madrid y Valencia. Las fases de instalación y configuración de los dispositivos, así como el desarrollo de la plataforma, ya han sido completadas, y el piloto ha comenzado la fase de explotación, que se espera tenga una duración de 6 meses. Durante este período, se recopilarán y analizarán los datos generados por los dispositivos para evaluar el rendimiento de la solución en un entorno real y su capacidad para satisfacer las necesidades del cliente en términos de monitorización, optimización de operaciones y mejora de la seguridad.

Si los resultados del piloto inicial son satisfactorios y demuestran el valor de la solución, se prevé una segunda fase del proyecto que consistirá en ampliar el parque de racks monitorizados hasta alcanzar un total de 3000 unidades, localizados a lo largo de todo el territorio español. Esta expansión permitirá validar la escalabilidad y la robustez de la arquitectura propuesta, así como identificar posibles desafíos y oportunidades de mejora en un despliegue de mayor envergadura. La duración estimada de esta segunda fase será de 1 año, lo que proporcionará una visión a largo plazo del rendimiento y la estabilidad de la solución.

El éxito de este proyecto piloto no solo supondría una validación de la tecnología y la arquitectura propuestas, sino que también abriría la puerta a nuevas oportunidades de negocio en el sector de la distribución de gases industriales. La experiencia adquirida durante el piloto permitirá refinar y mejorar la solución, adaptándola a las necesidades específicas de otros clientes y casos de uso, consolidando así la posición de Telefónica Tech como referente en soluciones *IoT* para la monitorización de activos en este sector.

CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

El desarrollo de este Trabajo Fin de Máster ha permitido alcanzar con éxito los objetivos planteados inicialmente, contribuyendo significativamente a la mejora y expansión de una solución *IoT* para la monitorización de activos. En primer lugar, se ha logrado abordar de manera efectiva el desafío crítico de las inhibiciones de señal celular, un problema que amenazaba la fiabilidad y seguridad de la solución original. Tras un análisis exhaustivo de las diferentes alternativas, se ha determinado que la implementación de redes de respaldo multimodales y multifrecuencia, específicamente la combinación de *NB-IoT* y *LTE-M*, ofrece la solución más robusta y eficiente para contrarrestar estas inhibiciones.

Otro objetivo cumplido ha sido el desarrollo de una familia de dispositivos *IoT* adaptados a diversos casos de uso. Esta diversificación no solo amplía el alcance de la solución original, sino que también permite abordar las necesidades específicas de diferentes sectores industriales. La implementación

de dispositivos como el Digital Matter Hawk para aplicaciones genéricas, el Queclink GL53MG para geoposicionamiento de activos, y el manómetro Hercules de Amper TFS para la monitorización de gases industriales, demuestra la versatilidad y adaptabilidad de la solución propuesta.

Además, se ha logrado diseñar y conceptualizar la plataforma *Asset Control*, una solución unificada de gestión de activos que integra eficazmente los diversos dispositivos y casos de uso. Esta plataforma no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también proporciona una base sólida para futuras expansiones y adaptaciones a nuevas necesidades del mercado.

La implementación exitosa del proyecto piloto con una empresa distribuidora de gases industriales ha validado la eficacia y el valor práctico de las soluciones desarrolladas. Este piloto no solo ha demostrado la viabilidad técnica de la solución, sino que también ha abierto nuevas oportunidades de negocio en el sector de la distribución de gases industriales.

Mirando hacia el futuro, se han identificado varias líneas de desarrollo prometedoras que podrían expandir aún más el alcance y la efectividad de la solución *IoT* para monitorización de activos. Una de las áreas más interesantes es la exploración de la monitorización de contenedores marítimos mediante *IoT* satelital. Esta tecnología permitiría extender la cobertura de la solución a entornos donde la conectividad celular no está disponible, como en alta mar, abriendo nuevas posibilidades en el sector logístico y de transporte marítimo.

Otra línea de desarrollo crucial es la implementación de *APIs* para la integración con sistemas de gestión empresarial (*ERP*). Esta integración permitiría una sincronización más fluida entre la plataforma *Asset Control* y los sistemas existentes de los clientes, mejorando la eficiencia operativa y facilitando la toma de decisiones basadas en datos en tiempo real.

La incorporación de modelos predictivos basados en *Machine Learning* representa otra área de gran potencial. Estos modelos podrían analizar los datos históricos y en tiempo real recopilados por los dispositivos *IoT* para predecir fallos en los activos, estimar la vida útil de los componentes o anticipar picos de demanda, permitiendo así una gestión más proactiva y eficiente de los recursos.

Finalmente, es fundamental continuar refinando y mejorando la solución basándose en el *feedback* obtenido del proyecto piloto en curso. La experiencia práctica y los *insights* generados durante esta fase serán invaluable para optimizar tanto la plataforma *Asset Control* como los dispositivos *IoT*, asegurando que la solución continúe evolucionando para satisfacer las necesidades cambiantes del mercado y mantener su competitividad en el dinámico sector de las soluciones *IoT*.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Cohen, *Prototype to Product: A Practical Guide for Getting to Market*. Beijing ; Sebastopol, 2015.
- [2] G. Ts, «6.6 Measurement procedures».
- [3] «Datasheet_SHT3x_DIS.pdf». Accedido: 10 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://sensirion.com/media/documents/213E6A3B/63A5A569/Datasheet_SHT3x_DIS.pdf
- [4] «GL53MG-ES-20210928.pdf». Accedido: 10 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.queclink.com/wp-content/uploads/2021/09/GL53MG-ES-20210928.pdf>
- [5] «HERCULES TFS MM6001-NB - TFS - Catálogo PDF | Documentación técnica | Brochure». Accedido: 10 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://pdf.directindustry.es/pdf/tfs/hercules-tfs-mm6001-nb/242918-994702.html>

STUDY OF IMPROVEMENTS IN AN IOT SOLUTION FOR MONITORING FIXED INSTALLATION AND/OR FIELD DEPLOYED ASSETS

Author: Pablo Martínez Sevilla
202111476@alu.comillas.edu

Director: Nicolás Espejo Portero
nespejo@comillas.edu

Co-Director: Álvaro Scandella Casado
alvaro.scandellacasado@telefonica.com

Universidad Pontificia de Comillas (ICAI). Madrid, España

ABSTRACT

This Master Thesis focuses on the study and improvement of an IoT solution for asset monitoring, based on a real project developed for a client in the banking sector. The main objective is to optimise the quality and competitiveness of the current solution, extending its market potential to other sectors with similar use cases.

The thesis addresses one of the technical and security challenges that can compromise the effectiveness of these solutions, such as cellular signal jamming. Different alternatives are proposed, such as directive antennas, multi-modal and multi-frequency backup networks, device pairs with redundant connection and adjustments in the frequency of sending status messages. After a thorough analysis, it is concluded that multi-modal and multi-frequency back-up networks using NB-IoT/LTE-M modules are the optimal solution.

Furthermore, it is proposed to develop a family of IoT devices adaptable to multiple use cases, from a generic solution to specialised solutions. These devices are integrated in a common platform specifically developed for these use cases, called Asset Control, which offers a centralised and efficient management.

The solution developed in this Master Thesis is being successfully applied in a pilot project for an industrial gases distribution company in Europe. The use case focuses on the monitoring of hydrogen cylinder racks, using an IoT pressure gauge and the Asset Control platform.

Going forward, it plans to continue evolving the platform by adding new functionalities and exploring the development of new use cases with high potential.

Keywords: Internet of Things, asset monitoring, NB-IoT, cellular jamming, IoT devices, IoT platform, multi-modal and multi-frequency backup networks.

INTRODUCTION: SPECIAL PROJECT

The Internet of Things (IoT) has experienced exponential growth in recent years, transforming the way companies manage and protect their assets. Asset monitoring through IoT solutions can optimise operations, reduce maintenance costs and improve security. In the field of banking security, IoT presents unique opportunities to protect critical assets such as ATMs, which are frequently subject to physical and cyber attacks. This Master's thesis is based on a real project developed for a major client in the banking sector, focused on advanced ATM monitoring using IoT technology.

The client, a leading bank in Spain, faced significant challenges in protecting its network of ATMs distributed throughout the country. The ATMs were vulnerable to various types of attacks, including smash-and-grabbing, smash-and-grabbing, and snatch-and-grab to extract cash from inside the ATMs. The lack of an adequate solution results in additional costs for the customer, such as the dispatch of technical staff for on-site inspections and downstream costs, and has negative consequences for the end customer, such as interruption of services and loss of trust in the brand.

To address this issue, a comprehensive IoT solution was developed to enable early detection of disturbances and the sending of alarms and localisation in case of theft or tampering. This solution includes an IoT device equipped with tamper and gyroscope sensors, NB-IoT communications module, GNSS for geolocation and batteries to guarantee its autonomy.

The connectivity of the device is based on NB-IoT technology, selected for its low power consumption and wide coverage, even in underground or remote locations. This connectivity is managed through Telefónica Tech's Kite platform, which provides managed connectivity functionalities, including SIM card management, data usage monitoring and connectivity optimisation.

The operating platform, designed specifically for this project and hosted in the cloud, receives and processes in real time the data transmitted by the devices. This platform receives the data from the devices and generates an alarm if any disturbance is detected.

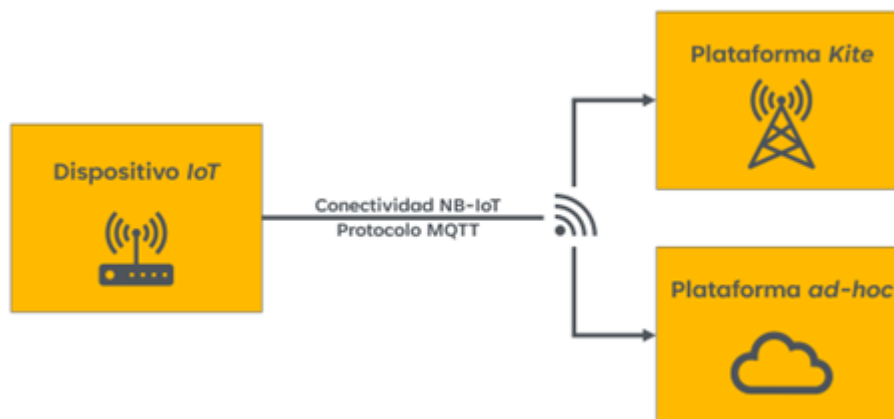


Figure 1. High-level diagram of the IoT solution developed for the special project

The motivation of this Master Thesis arises from the need to improve the quality and competitiveness of the IoT solution developed in the special project, solving problems identified during its development and expanding its potential market to other sectors with similar use cases. In addition, it seeks to add value both from the academic point of view, applying knowledge acquired during the

Master studies, and from the business point of view, offering innovative and competitive solutions to improve the monitoring of assets in different real scenarios.

OBJECTIVES

The main objective of this Master Thesis is to study improvements for an IoT solution for asset monitoring, so that the results can be applied in the future. To do this, we have started by explaining the initial project on which the solution is based, in order to identify the functionalities and use cases that can be added in a “productised” version.

Once these points of improvement have been identified, the technologies that may be generating each of the problems will be studied in depth and independently, proposing different alternative solutions. A comparison will be made of the advantages and disadvantages of each of them, explaining which is the optimal solution depending on the use case to be solved. In this way, the aim is to provide a detailed and well-founded analysis that will allow the future implementation of the proposed improvements.

METHODOLOGY

This project adopts the methodology proposed by Alan Cohen in ‘Prototype to Product: A Practical Guide for Getting to Market’ [1]. The approach is structured in sequential phases that include the identification of the problem, the exploration of solution alternatives, the objective comparison of these alternatives, and the detailed analysis of the results. This methodology allows for iterative, user-centred development, facilitating the transition from initial conceptualisation to practical implementation. In addition, multi-criteria analysis techniques are incorporated to evaluate solution alternatives, ensuring informed decision making aligned with project objectives.

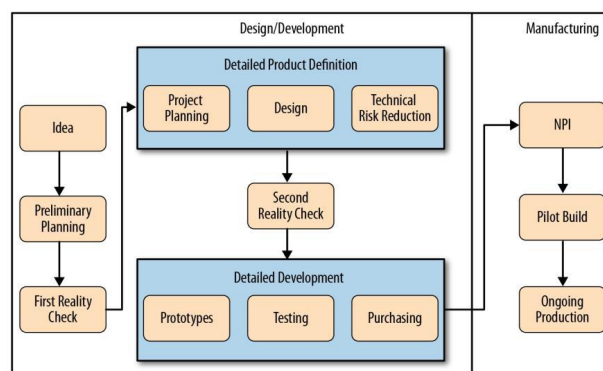


Figure 2. Methodology proposed and followed during the development of the TFM [1]

DETECTION OF CELLULAR SIGNAL INHIBITIONS

In the ATM monitoring project, there have been several thefts where the IoT device has not reported any alarms. After analysing the cases, one possible cause is that criminals are using signal jammers to block the device's communications, preventing it from transmitting the alarm. This is a major problem, as it leaves ATMs unprotected and vulnerable to attack. It also reduces confidence in the monitoring system in place. It is therefore a priority to address the problem of signal jamming and to develop solutions that enable devices to detect and counter such attacks.

To address this critical challenge, four alternative solutions were developed and analysed to detect and mitigate its impact on IoT devices:

- **Directional antennas:** This solution proposes the implementation of directional antennas in IoT devices to focus the signal in a specific direction. Directional antennas, such as Yagi-Uda or log-periodic antennas, offer higher gain in the desired direction, potentially overcoming interference from jammers. However, the increased size and weight of the device, the high cost of the antennas, the complexity in installation and orientation, and the vulnerability to changes in signal direction are significant limitations to this alternative solution.
- **Multi-mode, multi-frequency back-up networks:** This alternative involves the integration of multiple communication technologies in a single device. The idea is that the device can automatically switch between these technologies if it detects an inhibition in one of them. This solution offers greater resilience and continuity in communications, taking advantage of the wide coverage of both technologies.
- **Pair of devices with redundant connection:** This solution proposes the use of two IoT devices physically separated at a minimum distance of 50 metres and communicating with each other via HC-12 radio frequency modules. If the primary device detects an inhibition, it can communicate with the secondary device to send the alarm. Although this solution offers high redundancy, it presents challenges in terms of cost, installation complexity and maintenance.
- **Adjusting the heartbeat frequency:** This alternative suggests increasing the frequency of status messages sent by the IoT device in the order of seconds. By increasing the frequency of these messages, the operating platform could quickly detect a signal inhibition. However, this solution has major limitations in terms of power consumption and makes this alternative impossible without a constant power supply.

To detect signal jamming in alternative back-up networks and device pairing, it is proposed to monitor the SINR (Signal to Interference plus Noise Ratio) parameter, which is set by 3GPP in the NB-IoT standard [2] and is the ratio between the signal level and the combined level of noise plus interference. A significant drop in this parameter can indicate the presence of a strong interference signal, allowing the device to identify possible jamming attempts. For this, it is necessary to modify the firmware of the device so that it can monitor this parameter and switch.

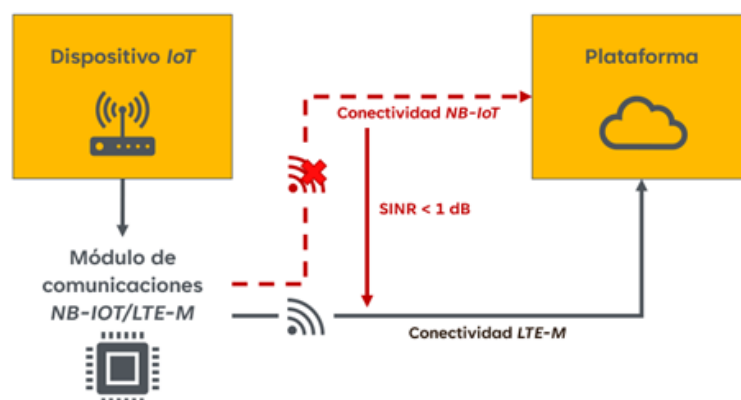


Figure 3. High-level diagram of the multi-mode, multi-frequency back-up network solution alternative

After a thorough analysis of these alternatives, it is concluded that multi-mode, multi-frequency back-up networks, specifically the combination of NB-IoT and LTE-M, offer the most robust and efficient solution to counter cellular signal inhibitions. The main reasons for this conclusion are:

- **Resilience and redundancy:** The ability to switch between NB-IoT and LTE-M provides effective redundancy, ensuring continuity of communications even if one of the technologies is inhibited.
- **Wide coverage:** Both NB-IoT and LTE-M offer extensive coverage in urban and rural areas, ensuring connectivity throughout Spain.
- **Energy efficiency:** Although LTE-M consumes more energy than NB-IoT, the combination of both technologies allows a balance between performance and energy consumption, especially when energy saving modes are implemented.
- **Technology maturity:** Both technologies are well established and widely supported by the industry, making them easy to deploy and maintain over the long term.
- **Flexibility:** The solution can adapt to different inhibition scenarios and network conditions, improving the overall robustness of the system.
- **Cost-effectiveness:** Although it involves a higher initial cost to include a communications module that includes both technologies, it offers the best balance between performance, reliability and long-term cost.
- **Scalability:** This solution is easily scalable and applicable to a variety of use cases and industry sectors beyond ATM monitoring.

This solution not only addresses the immediate challenge of signal inhibitions in ATM monitoring, but also lays a solid foundation for the development of more resilient and adaptable IoT devices in various industrial contexts. The ability to maintain reliable communications even in adverse conditions is crucial to ensure the safety and effectiveness of critical asset monitoring systems.

DESIGN OF A FAMILY OF IOT DEVICES FOR ASSET MONITORING

The current ATM monitoring solution has proven to be effective in detecting physical attacks on these critical assets. However, limiting the scope of the solution to this use case alone misses the potential of IoT technology and development investment. Using the special project as a starting point, a wide range of asset management and security challenges can be addressed in various sectors beyond banking.

In this Master Thesis, three main use cases have been identified for the development of this family of IoT devices. The first is a generic application IoT solution, designed to be highly adaptable and capable of meeting a wide range of monitoring needs in various sectors. The second use case focuses on an IoT solution for asset geo-positioning, enabling accurate tracking of any asset or resource. The third use case addresses a specific IoT solution for industrial gas monitoring,

addressing safety and control needs in industrial environments where the presence and concentration of gases can be critical.

Instead of developing completely new devices, the decision was made to look for existing solutions on the market that can be adapted to these use cases. This decision is based on several factors, including reducing development time, leveraging proven technologies and optimising costs. In addition, the use of off-the-shelf devices allows for greater flexibility and speed in implementing solutions for customers.



Figure 4. Hawk, GL53MG and Hercules pressure gauge devices

For the generic application use case, the Hawk device from Digital Matter [3] is proposed. This device stands out for its versatility and compatibility with a wide range of sensors. The Hawk is a low-power IoT device that integrates LTE-M/NB-IoT connectivity with fallback to 2G. It has flash memory to store measurements collected between communications. Its modular design allows the connection of up to 9 external sensors through I2C, One-Wire, RS-232, analogue and digital inputs, among others. The device incorporates a 3-axis accelerometer for motion detection and a high sensitivity GNSS. Its capacity of 2 LTC type D batteries gives it an autonomy of up to 7 years with daily communication. In addition, it has IP68 and IK08 protection to guarantee its correct operation regardless of the working environment. These features allow the device to be adapted to a multitude of monitoring needs that may arise for any client, facilitating the flexibility and scalability of the solution.

For the asset geo-positioning solution, the Queclink GL53MG device [4] is suggested. This compact tracker is specifically designed for asset tracking applications. It integrates LTE-M/NB-IoT communication modules with fallback to 2G/3G networks, as well as GNSS positioning technologies. It incorporates a 3-axis accelerometer for motion and vibration detection. Its lithium battery provides a battery life of up to 3 years in low power mode. The device is IP67 certified for water and dust resistance and features BLE 5.1 if any sensors are required. These features enable accurate location tracking of virtually any type of asset while minimising the cost of the device.

For industrial gas monitoring, the Amper TFS Hercules pressure gauge is proposed [5]. This device is specifically designed to measure and monitor gas pressure in industrial environments. The Hercules integrates a piezoresistive pressure sensor with an accuracy of $\pm 0.5\%$ of full scale. It features NB-IoT/LTE-M connectivity for data transmission and a GNSS module for geolocation. The device is powered by a lithium battery capable of providing a battery life of up to 10 years with a daily shipment frequency. Its IP68-rated stainless steel housing makes it suitable for use in harsh industrial environments. The Hercules has an ATEX compliant version for use in potentially explosive atmospheres. This device is specifically designed to measure and monitor gas pressure in industrial environments, offering a robust and reliable solution for this specialised use case.

The choice of these devices is based on their ability to adapt to the specific requirements of each use case, as well as their proven reliability and performance in similar applications. In addition, these devices offer the advantage of being compatible with standard communication technologies and protocols used in IoT, facilitating their integration into the management platform.

To complement this family of IoT devices, the development of the Asset Control platform, integrated in the Kite Platform working environment, is proposed. The decision to develop this platform is based on the need for a unified and customised solution for the management and monitoring of the various devices and use cases. The integration with Kite Platform allows to leverage existing connectivity and security management capabilities, while adding specific functionalities for asset monitoring.

The Asset Control platform consists of several key elements. Firstly, it incorporates a device management module that enables remote configuration, updating and monitoring of deployed IoT devices. It also includes an alert and notification system to inform in real time about critical events or anomalies detected in the monitored assets.

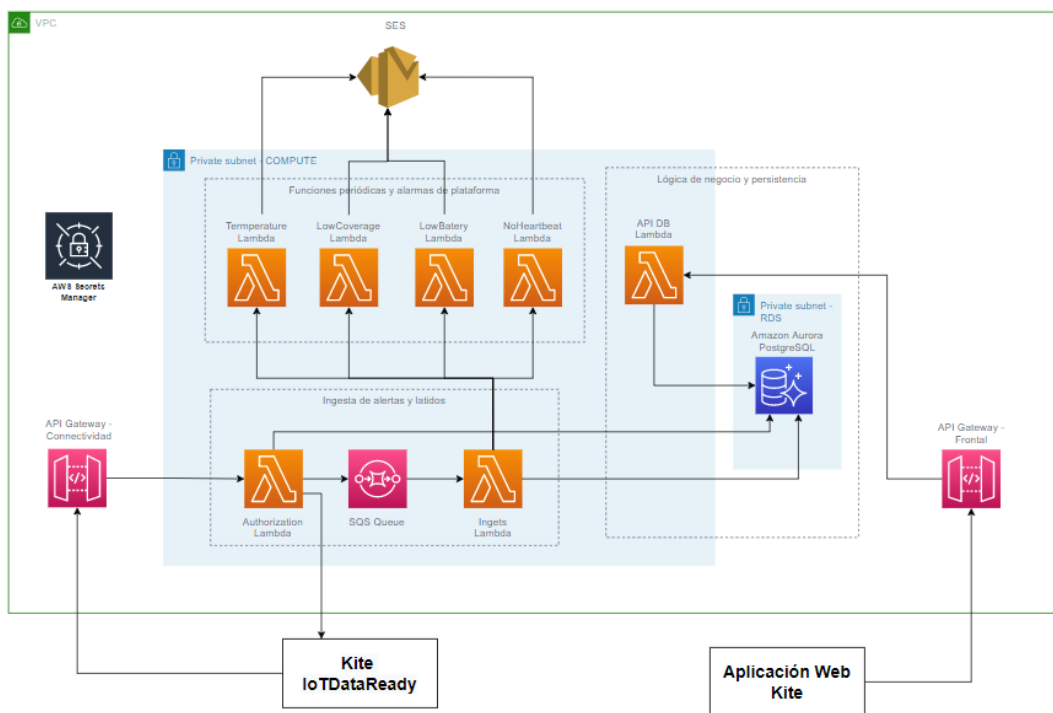


Figure 5. Asset Control platform architecture

A crucial component of the platform is Telefónica Tech's IoT Data Ready broker, designed for the efficient ingestion of data from various IoT devices. This module is capable of processing and normalising large volumes of data in real time, facilitating its analysis and visualisation. IoT Data Ready also incorporates data filtering and aggregation capabilities, enabling more efficient information management and reducing the burden on storage and processing systems.

In addition, the Asset Control platform includes advanced data analysis and visualisation tools, allowing users to gain valuable insights from the information collected. These tools facilitate the identification of patterns, trends and anomalies in the behaviour of monitored assets, which can lead to better decision making and optimisation of operational processes.

APPLICATION TO A REAL PROJECT

The practical application of the improvements studied in this TFM is materialised in a pilot project currently under development for one of Europe's leading industrial gas distribution companies. This client faces significant challenges in the management and monitoring of its gas cylinder racks, critical elements in its supply chain containing essential gases such as hydrogen, oxygen and nitrogen, which are essential for numerous industrial processes of its customers.

One of the main issues facing the company is the lack of real-time visibility on the status and location of each rack. Currently, these assets are tracked manually, resulting in an inefficient, error-prone process that does not allow for a rapid response to incidents. In addition, the lack of accurate and up-to-date data on the fill level of each cylinder makes it difficult to properly plan the production, distribution and maintenance of these assets, which can lead to overstock situations or, on the contrary, the inability to meet peak demand.

To address these needs, the IoT solution for industrial gas monitoring proposed in this TFM has been implemented by installing the Amper TFS Hercules IoT pressure gauge in the hydrogen cylinder racks. This device, specially designed to measure the pressure of industrial gases, is connected to the Asset Control platform via the NB-IoT network. The platform receives and processes the pressure, location and status data sent by each pressure gauge, generating reports, visualisations and alerts according to the defined business rules.

The pilot project is currently being carried out with an initial deployment of 50 racks located in 2 facilities in Madrid and Valencia. The installation and configuration phases of the devices, as well as the development of the platform, have already been completed, and the pilot has started the exploitation phase, which is expected to last 6 months. During this period, data generated by the devices will be collected and analysed to assess the performance of the solution in a real environment and its ability to meet the customer's needs in terms of monitoring, optimising operations and improving security.

If the results of the initial pilot are satisfactory and demonstrate the value of the solution, a second phase of the project is planned, which will consist of expanding the number of monitored racks to a total of 3,000 units, located throughout Spain. This expansion will make it possible to validate the scalability and robustness of the proposed architecture, as well as to identify possible challenges and opportunities for improvement in a larger deployment. The estimated duration of this second phase will be 1 year, which will provide a long-term view of the performance and stability of the solution.

The success of this pilot project would not only validate the proposed technology and architecture, but also open the door to new business opportunities in the industrial gas distribution sector. The experience gained during the pilot will allow refining and improving the solution, adapting it to the specific needs of other customers and use cases, thus consolidating Telefónica Tech's position as a benchmark in IoT solutions for asset monitoring in this sector.

CONCLUSIONS AND FUTURE LINES

The development of this Master's thesis has successfully achieved the initial objectives, contributing significantly to the improvement and expansion of an IoT solution for asset monitoring. Firstly, the critical challenge of cellular signal inhibitions, a problem that threatened the reliability and security of the original solution, has been effectively addressed. After a thorough analysis of the different alternatives, it has been determined that the implementation of multi-mode, multi-frequency back-up networks, specifically the combination of NB-IoT and LTE-M, offers the most robust and efficient solution to counter these inhibitions.

Another objective achieved has been the development of a family of IoT devices tailored to various use cases. This diversification not only extends the scope of the original solution, but also allows addressing the specific needs of different industry sectors. The implementation of devices such as the Digital Matter Hawk for generic applications, the Queclink GL53MG for asset geo-positioning, and the Amper TFS Hercules pressure gauge for industrial gas monitoring, demonstrates the versatility and adaptability of the proposed solution.

In addition, the Asset Control platform, a unified asset management solution that effectively integrates the various devices and use cases, has been successfully designed and conceptualised. This platform not only improves operational efficiency, but also provides a solid foundation for future expansions and adaptations to new market needs.

The successful implementation of the pilot project with an industrial gases distribution company has validated the effectiveness and practical value of the developed solutions. This pilot has not only demonstrated the technical feasibility of the solution, but also opened up new business opportunities in the industrial gas distribution sector.

Looking ahead, several promising lines of development have been identified that could further expand the scope and effectiveness of the IoT solution for asset monitoring. One of the most interesting areas is the exploration of satellite IoT monitoring of maritime containers. This technology would allow extending the coverage of the solution to environments where cellular connectivity is not available, such as on the high seas, opening up new possibilities in the logistics and shipping sector.

Another crucial line of development is the implementation of APIs for integration with enterprise resource planning (ERP) systems. This integration would enable a more seamless synchronisation between the Asset Control platform and clients' existing systems, improving operational efficiency and facilitating decision-making based on real-time data.

The incorporation of Machine Learning-based predictive models represents another area of great potential. These models could analyse real-time and historical data collected by IoT devices to predict asset failures, estimate component lifetimes or anticipate peaks in demand, enabling more proactive and efficient management of resources.

Finally, it is essential to continue to refine and improve the solution based on feedback from the ongoing pilot project. The practical experience and insights generated during this phase will be invaluable in optimising both the Asset Control platform and the IoT devices, ensuring that the solution continues to evolve to meet changing market needs and remain competitive in the dynamic IoT solutions sector.

BIBLIOGRAPHY

- [1] A. Cohen, Prototype to Product: A Practical Guide for Getting to Market. Beijing ; Sebastopol, 2015.
- [2] G. Ts, «6.6 Measurement procedures».
- [3] «Datasheet_SHT3x_DIS.pdf». Accessed: 10 June 2024. [Online]. Available at: https://sensirion.com/media/documents/213E6A3B/63A5A569/Datasheet_SHT3x_DIS.pdf
- [4] «GL53MG-ES-20210928.pdf». Accessed: 10 June 2024. [Online]. Available at: <https://www.queclink.com/wp-content/uploads/2021/09/GL53MG-ES-20210928.pdf>
- [5] «HERCULES TFS MM6001-NB - TFS - Catálogo PDF | Documentación técnica | Brochure». Accessed: 10 June 2024. [Online]. Available at: <https://pdf.directindustry.es/pdf/tfs/hercules-tfs-mm6001-nb/242918-994702.html>