

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

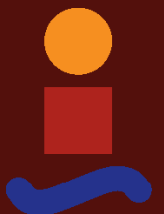
Integración de robot manipulador con posicionador basado en arduino

Autor: Antonio Pérez García

Tutor: Luis Fernando Castaño Castaño

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2022



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

Integración de robot manipulador con posicionador basado en arduino

Autor:

Antonio Pérez García

Tutor:

Luis Fernando Castaño Castaño

Profesor Contratado Doctor

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2022

Trabajo Fin de Grado: Integración de robot manipulador con
posicionador basado en arduino

Autor: Antonio Pérez García

Tutor: Luis Fernando Castaño Castaño

El tribunal nombrado para juzgar el trabajo arriba indicado, compuesto por los siguientes profesores:

Presidente:

Vocal/es:

Secretario:

acuerdan otorgarle la calificación de:

El Secretario del Tribunal

Fecha:

Agradecimientos

Esto es una prueba

Índice

1	Introducción	1
1.1	Motivación	1
1.2	Escenario	1
1.2.1	Usuario	1
1.2.2	Dispositivos integrados	2
1.2.3	Lógica de negocio	2
2	Arquitectura de la plataforma	3
2.1	Funcionalidad	3
2.1.1	Bidireccionalidad	3
	Bidireccionalidad en la interfaz con los servicios del cliente	3
	Bidireccionalidad en la interfaz con los dispositivos	4
2.1.2	Tiempo real	4
2.1.3	Persistencia	4
2.1.4	Tenencia múltiple	5
2.2	Diseño	5
2.3	Componentes	5
2.3.1	API	6
2.3.2	Broker	7
2.3.3	Bases de datos	7
2.3.4	Backend de autorización	7
2.3.5	Procesador de flujos	7
3	Protocolo MQTT y STOMP	9
3.1	MQTT	9
3.1.1	El patrón publicador/suscriptor	9
3.1.2	Escalabilidad	10
3.1.3	Filtrado de mensajes	10
3.1.4	Diferencias con un sistema de colas	10
3.2	STOMP	11

3.3	AMQP	11
3.3.1	Brokers	11
3.3.2	El modelo AQMP	11
3.3.3	<i>Exchanges</i>	12
	<i>Direct Exchange</i>	12
	<i>Fanout Exchange</i>	13
	<i>Topic Exchange</i>	14
	<i>Header Exchange</i>	14
3.3.4	Colas	14
	Colas durables	14
3.3.5	<i>Bindings</i>	14
3.3.6	Mensajes	14
3.4	STOMP vs. MQTT vs. AMQP	15
4	Broker y autorización	17
4.1	RabbitMQ	17
5	API	19
5.1	Registro de usuario	19
5.2	Obtención de Fleet Key	20
5.3	Registro de dispositivos	21
6	Bases de datos	23
7	Dispositivos y Módulos	25
7.1	Dispositivos	25
7.1.1	Flotas	25
7.2	Módulos	25
7.2.1	Caso 1	26
7.2.2	Caso 2	26
7.3	Conexión al broker	26
8	Lógica de negocio	27
	<i>Índice de Figuras</i>	29
	<i>Índice de Códigos</i>	31
	<i>Bibliografía</i>	33

1 Introducción

1.1 Motivación

Hoy en día es innegable que las tecnologías enfocadas al IoT (Internet de las cosas) están en pleno auge. La tendencia es conectar todo lo que se pueda a Internet para así hacerlo inteligente.

Imaginemos que un fabricante decide crear un dispositivo, digamos que desarrolla un sensor de temperatura para que un usuario pueda monitorizar la temperatura de una habitación mediante una interfaz web o app móvil. Al poco de plantear alguna solución encontrará que desarrollar toda una arquitectura para poder comunicar su sensor de temperatura con la aplicación web puede ser un proceso complejo. Será necesario obtener datos de miles de sensores, tratar los datos, almacenarlos, poder obtenerlos desde la aplicación web o móvil, etc.

Mientras que una organización de gran tamaño con suficientes recursos puede abordar el problema, para pequeñas compañías o startups puede suponer un handicap. El desarrollo de un backend sobre el que se apoye su producto puede ser una tarea que termine por hacer que el proyecto sea inviable, ya que no permite al desarrollador centrar todos sus esfuerzos en desarrollar su producto y le obliga a gastar recursos en construir y mantener su backend.

En el panorama actual existe una gran alternativas a la hora de elegir las diferentes tecnologías que compondrán el sistema. El mero hecho de realizar un estado del arte ya supone un esfuerzo. Para solucionar cada pequeño problema podemos encontrar una gran variedad de soluciones y a la hora de la integración de las diferentes partes pueden surgir más problemas.

Todo esto no hace más que suponer una barrera para los fabricantes que puede desembocar en que el proyecto nunca sea llevado a cabo.

1.2 Escenario

1.2.1 Usuario

Llamaremos usuario a la persona, personas u organización que utiliza la plataforma que vamos a diseñar para su beneficio. Queremos cubrir una necesidad, que en este caso es comunicar dos elementos: los dispositivos integrados del usuario y la lógica de negocio del usuario.

Por supuesto, esto deberá de hacerse de forma totalmente transparente y de la forma más eficiente posible. El usuario no tiene por qué saber cómo funciona el sistema de forma interna, sólomente deberá saber cómo interactuar con él.

1.2.2 Dispositivos integrados

En primer lugar tenemos los dispositivos del usuario, que son los elementos que queremos dotar de conectividad para que puedan comunicarse de forma eficiente y robusta. Debemos tener en cuenta que cuando hablamos de sistemas integrados no podemos suponer que contamos con los mismo recursos que en un equipo estándar. La cantidad de memoria, de almacenamiento, de ancho de banda o incluso de energía pueden ser muy limitadas, por lo que no podemos aplicar las mismas soluciones que aplicaríamos en un entorno donde nos sobran dichos recursos.

Con esto se quiere decir que protocolos como HTTP que funcionan de forma correcta en un equipo actual no tienen por qué funcionar igual de bien en un dispositivo que cuenta con poca memoria. Si en lugar de *WiFi* se usa un protocolo más simple orientado a eficiencia energética, HTTP puede ser muy pesado y su implementación puede consumir mucha memoria, energía o ancho de banda.

Tendremos que buscar soluciones acordes a esta tecnología.

1.2.3 Lógica de negocio

Es el conjunto de *software* que desea comunicarse con los dispositivos, ya sea para recolectar los datos que unos sensores captan o para accionar unos actuadores. Toda esta lógica pertenece al usuario y puede ser desde un pequeño *script* en *Python* hasta una compleja infraestructura desplegada en *Amazon*. Puesto que tiene otras características diferentes a los dispositivos tendrán otros requisitos diferentes, por lo que la forma en la que interaccionarán con la plataforma no tiene por qué ser la misma que los dispositivos.

Uno de los requisitos para la lógica de negocio es que debe poder funcionar en un navegador web, de forma que se podría crear una aplicación web que se comunique **directamente** con la plataforma.

2 Arquitectura de la plataforma

Con motivo de no hacer esta memoria demasiado extensa, se omitirán todas las comparativas que se han hecho entre diferentes protocolos y servicios y todos los cambios realizados desde la primera versión hasta la definitiva. De esta forma podremos centrarnos en describir la arquitectura final.

Desde el primer diseño de la arquitectura hasta el actual se ha pasado por un enorme proceso de simplificación en el cual se han eliminado bucles, conexiones redundantes, servicios innecesarios, etc. Se puede decir que la arquitectura actual consta de los componentes mínimos para llevar a cabo su funcionalidad.

2.1 Funcionalidad

Todas las decisiones realizadas para elegir la tecnología más adecuada a la hora de la implementación del sistema se basan en cuatro premisas:

- *Bidireccionalidad*: Los datos debe poder fluir en ambos sentidos. Desde un extremo de la arquitectura al otro y viceversa.
- *Tiempo real*: Los datos deben pasar de un extremo a otro en un tiempo mínimo. Es decir, debe haber el menor número de paradas posibles.
- *Persistencia*: El sistema debe ser capaz de almacenar los datos obtenidos para que puedan ser consultados en cualquier momento.
- *Tenencia múltiple*: Un despliegue de la plataforma debe permitir ser usada por varios usuarios u organizaciones simultáneamente de forma completamente aislada.

Además el diseño debe ser lo suficientemente genérico para que cualquier usuario, independientemente del tipo de datos que quiera enviar, pueda hacer uso del sistema.

2.1.1 Bidireccionalidad

La plataforma está diseñada con el objetivo de permitir la comunicación de forma bidireccional. Como tiene una interfaz con los dispositivos y otra con la lógica de negocio del usuario, tenemos que garantizar que los protocolos que usemos en ambos casos nos permitan bidireccionalidad.

Bidireccionalidad en la interfaz con los servicios del cliente

En el paradigma clásico de internet (HTTP), la comunicación siempre va de cliente a servidor. El servidor nunca envía ningún dato al cliente, sino que el cliente debe obtener los datos como respuesta a una petición

que él mismo realice, pero no puede ser notificado en el momento de que haya un nuevo dato. Esto representa un problema a la hora de conseguir tiempo real.

Una primera solución sería que el cliente constantemente realice peticiones al servidor para ver si hay datos nuevos para él. Esto es un método poco eficiente y sólo permite una “ilusión” de que obtenemos los datos en tiempo real. Además este método no es escalable, pues si tenemos miles de clientes sería muy costoso que estén constantemente haciendo peticiones al servidor ya que cada conexión supone una reserva y posterior liberación de recursos.

Afortunadamente, en la actualidad existen numerosas alternativas a este método que permiten la comunicación bidireccional entre cliente y servidor de forma eficiente.

Se ha elegido el protocolo STOMP, que permite a los servicios del cliente establecer una conexión TCP persistente y recibir datos en tiempo real sin realizar consultas periódicas. La conexión TCP se mantiene y así se evita estar constantemente reservando y liberando recursos. El servidor enviará una notificación a través de la conexión TCP establecida.

Bidireccionalidad en la interfaz con los dispositivos

En cuanto al extremo contrario, es importante que los dispositivos también sean capaces de recibir datos en tiempo real desde la plataforma.

Podríamos usar la misma idea que en la otra interfaz, sin embargo, existe un protocolo muy popular conocido como MQTT que es fácil de implementar en muchos dispositivos. A diferencia de HTTP, MQTT sí permite una comunicación bidireccional, por lo que podemos usar dicho protocolo para comunicar también los dispositivos con la plataforma sin mayor problema.

2.1.2 Tiempo real

El diseño actual de la arquitectura se centra en ofrecer una comunicación extremo a extremo sin que, en ningún momento, un elemento tenga que solicitar los datos explícitamente al elemento que le precede, sino que será notificado por éste cuando haya nuevos datos.

Los datos irán fluyendo por toda la infraestructura hasta llegar al cliente que, por ejemplo, puede mostrarlo en una web en tiempo real, almacenarlo en una base de datos o enviar una notificación push a un dispositivo móvil. En ningún momento el dato se quedará en un elemento intermedio a la espera de que el siguiente componente lo pida explícitamente.

No debe asumirse que este flujo reactivo impida el agrupamiento de varios mensajes en uno (batching). Lo que el concepto de flujo reactivo realmente implica es que el elemento que recibe un dato decide cuando enviarlo al siguiente, en lugar de esperar que lo soliciten explícitamente.

Como ya se ha indicado antes, la única espera podría ser para realizar batching y así aumentar la eficiencia del sistema. Una posible mejora sobre la implementación actual sería hacer agrupaciones de mensajes cuyo tamaño sea dinámico y dependa de la carga del sistema. Cuando el sistema está saturado, los mensajes se agrupan en lotes de mensajes de mayor tamaño, mientras que si el sistema está descargado la granularidad de los mensajes es mayor. Otra opción sería realizar batching para los clientes gratuitos mientras que para los clientes de pago se le ofrece granularidad total y, por lo tanto, un tiempo de respuesta menor.

2.1.3 Persistencia

El usuario puede obtener sus datos de dos formas diferente:

Streaming: Los datos son entregados en tiempo real al cliente y éste debe procesarlos conforme van llegando. Los filtros debe aplicarlos el usuario.

Query: El cliente puede decidir realizar una consulta a la API cuando él lo decida para obtener los datos. Pueden establecerse ciertos filtros, por ejemplo, puede obtener todos los mensajes de un dispositivo en un rango de tiempo.

Obviamente, para el segundo caso es obligatorio que el sistema sea capaz de persistir los datos. Por ello el sistema dispondrá de diferentes bases de datos para poder llevar a cabo esta tarea.

2.1.4 Tenencia múltiple

La plataforma debe permitir el uso por múltiples organizaciones o usuarios. Cada usuario puede tener una o varias flotas de dispositivos que sean independientes de los otros usuarios. Aunque los datos pasen por la misma plataforma debe existir un aislamiento que impida a un usuario obtener datos de otro.

Otra ventaja de la tenencia múltiple es que una organización puede realizar un despliegue de la plataforma y ofrecer los servicios a otras organizaciones.

2.2 Diseño

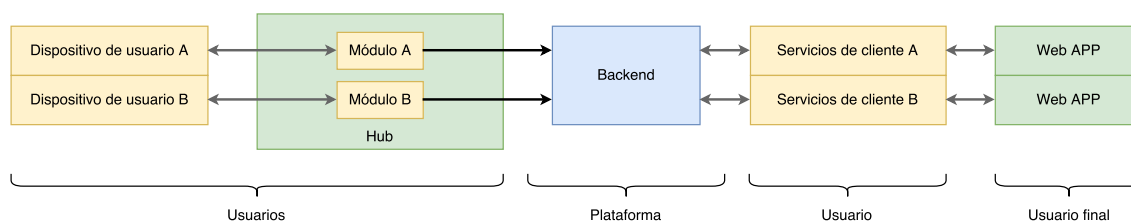


Figura 2.1 Estructura de un aplicación que use la plataforma.

Como vemos en la Figura 3.1, la plataforma se sitúa como elemento intermedio entre los dispositivos y la lógica del usuario. El objetivo es ofrecer de forma transparente y eficiente un canal de comunicación al usuario para que éste pueda centrarse en su negocio, que es ofrecer una serie de servicios al usuario final sin tener que preocuparse por cómo se mueven los datos.

Puesto que la plataforma soporta multi tennant, múltiples usuario pueden compartir la plataforma o una organización puede encargarse de mantenerla y ofrecer sus servicios a los usuarios finales.

Sabiendo todo esto, podríamos definir la plataforma de la siguiente manera:

Es una plataforma que permite a los desarrolladores de dispositivos inteligentes comunicar sus dispositivos con su lógica de negocio de forma transparente, rápida, fiable y segura. Para usar la plataforma habrá que preparar a los dispositivos que se distribuyan para que se comuniquen con la API y por otro lado habrá que diseñar los servicios para que obtengan los datos también de la API.

A continuación se puede ver un esquema de la arquitectura final en Figura 3.2.

2.3 Componentes

En la Figura 3.2 se pueden ver los elementos de la plataforma, situados entre los dispositivos y la lógica de negocio del usuario. Tenemos los siguientes componentes:

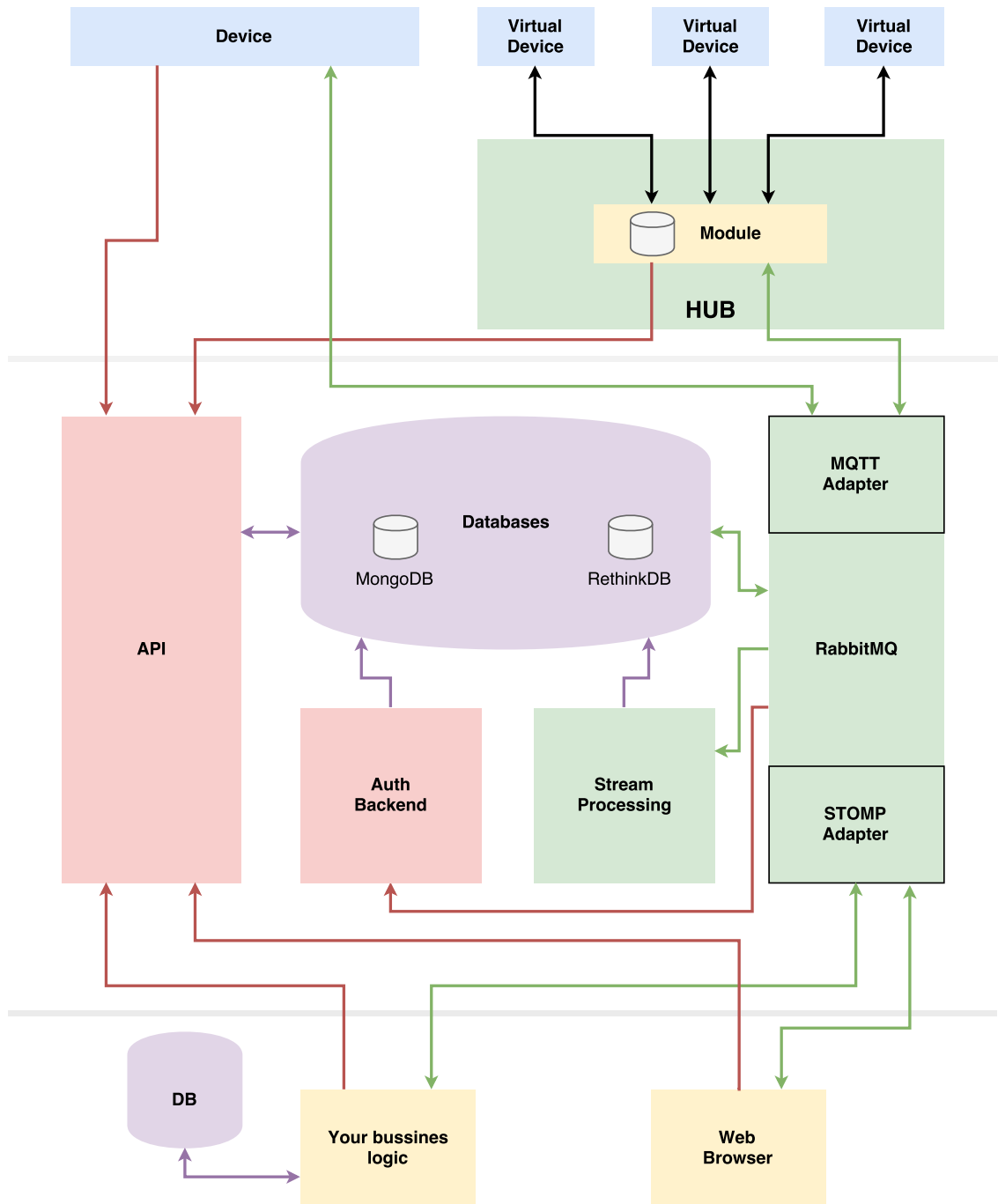


Figura 2.2 Estructura interna de la plataforma.

2.3.1 API

Es el componente que permite a los usuarios comunicarse con la plataforma. Tanto los dispositivos como los servicios propios del usuario usarán la API. Es tarea de la API el registro de los dispositivos, el registro de usuarios y otras tareas de gestión así como permite hacer consultas para obtener datos almacenados en la plataforma.

La API es una aplicación que ha sido desarrollada como parte de este trabajo. Se ha utilizado `Node.js` para su implementación.

2.3.2 Broker

Es el componente central de la arquitectura. Por él pasan los mensajes enviados por los otros elementos. Permite balanceo de carga entre múltiples instancias, persistencia, sincronización, etc.

Como *broker* se ha usado **RabbitMQ** ya que es uno de los más extendidos por su capacidad para escalar, su robustez y su extensibilidad.

2.3.3 Bases de datos

La persistencia del sistema. Múltiples bases de datos se encargan de almacenar los datos recibidos que deben ser persistidos. También será necesaria almacenar información de usuarios y dispositivos registrados.

Para almacenamiento de credenciales se usará una base de datos MongoDB por ser una de las más populares. Para persistir los datos del usuario que llegan al sistema se usa RethinkDB. La característica más importante de esta base de datos es que, a diferencia de las bases de datos convencionales, las aplicaciones no tienen que consultarla de forma periódica para detectar nuevos datos o modificaciones en éstos, sino que es la propia base de datos la que notifica a las aplicaciones.

2.3.4 Backend de autorización

Debido a que es necesario controlar el acceso a la plataforma a los dispositivos y a las aplicaciones, necesitamos un control de acceso. En este escenario, el control de acceso debe realizarlo el *broker*, en este caso en particular lo hará RabbitMQ. Gracias a un plugin para éste, podemos delegar la autenticación en una aplicación externa, de forma que el *broker* realizará una petición HTTP a una aplicación cuando un cliente se intente conectar, siendo esta aplicación quien decida si se permite o no.

El *backend de autorización* es la aplicación encargada de tomar las decisiones. Tendrá conectividad con la base de datos donde se encuentran las credenciales y verificará que las conexiones son legítimas.

Esta aplicación también ha sido desarrollada como parte del trabajo, una vez más usando Node.js como plataforma.

2.3.5 Procesador de flujos

Este componente obtiene los datos en crudo de la cola de mensajes, los trata y los almacena en la base de datos. Puede ser interesante añadir algunos metadatos a la información recibida antes de almacenarse.

Al mismo tiempo, la base de datos notificará a este componente cuando termine de persistir el dato y este componente lo enviará a una cola del *broker* donde posteriormente podrá leerlo una aplicación que se conecte a la plataforma.

También se ha desarrollado como parte del trabajo en Node.js.

3 Protocolo MQTT y STOMP

3.1 MQTT

MQTT es un protocolo cliente/servidor que permite roles de publicador/suscriptor. Es ligero, abierto, simple y diseñado para ser fácil de implementar en el cliente. Estas características lo hacen ideal para su uso en múltiples situaciones, como por ejemplo, entornos donde la memoria y el ancho de banda son limitados, como la comunicación M2M (*Machine to machine*) o para dispositivos en el Internet de las Cosas.

Es un protocolo binario ligero que, en comparación con HTTP, tiene una mínima sobrecarga en cuanto a cabeceras para hacer más eficiente el tampaño de los paquetes. MQTT es muy fácil de implementar en el cliente. Esto encaja perfectamente en sistemas integrados con recursos limitados, de hecho, esto es uno de los objetivos que se buscaban cuando MQTT se creó.

3.1.1 El patrón publicador/suscriptor

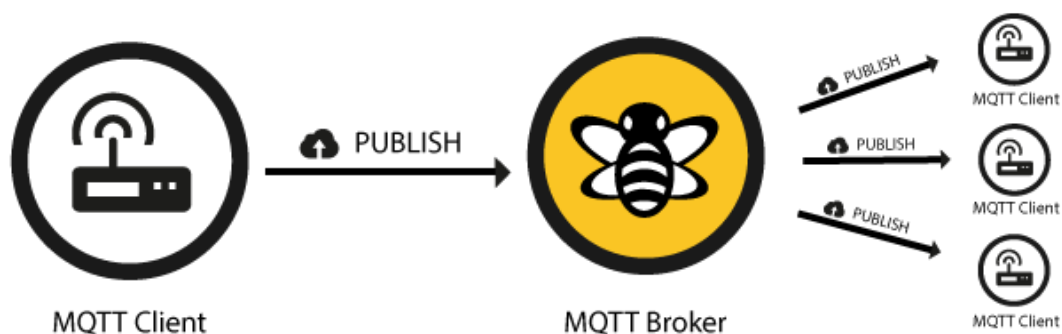


Figura 3.1 Patrón publicador/suscriptor.

El patrón publicador/suscriptor es una alternativa al sistema tradicional de cliente/servidor, donde un cliente se comunica directamente con un destino. Sin embargo, el patrón pub/sub desacopla al cliente que están enviando un mensaje (publicador) de otro cliente o más clientes que reciben mensajes (suscriptor). Esto quiere decir que publicador y suscriptor no son conscientes de la existencia del otro. Existe un tercer componente llamado *broker* que es conocido tanto por el publicador como el suscriptor que es el encargado de filtrar los mensajes que llegan y distribuirlos correctamente.

As already mentioned the main aspect in pub/sub is the decoupling of publisher and receiver, which can be differentiated in more dimensions: Como ya hemos mencionado, el principal aspecto del patrón publicador/suscriptor es el desacople en las siguientes dimensiones:

- Espacio desacoplado: Publicador y suscriptor no tiene porqué saber el uno del otro (IP, puerto, etc.).
- Tiempo desacoplado: Publicador y suscriptor no tienen porqué estar en ejecución al mismo tiempo.
- Sincronización desacoplada: Las operaciones de los dos componentes no se detienen durante envío o recepción.

En resumen, el patrón publicador/suscriptor desacopla el publicador o receptor de un mensaje y a través de los filtros para los mensajes se puede elegir qué clientes reciben qué mensajes.

3.1.2 Escalabilidad

El patrón publicador/suscriptor ofrece mejor escalabilidad que el patrón clásico de cliente/servidor. Esto se debe a que las operaciones en el broker pueden ser altamente paralelizadas. También es común el cacheo de mensajes y el enrutado inteligente. Sin embargo, es un reto el escalar a millones de conexiones, esto puede conseguirse mediante el uso de clústeres de *brokers* para distribuir la carga entre múltiples servidores.

3.1.3 Filtrado de mensajes

El filtrado de mensajes es el encargado de que solamente los mensajes sean recibidos por los clientes que deben. Tenemos varias opciones de filtrado de mensajes:

- Filtrado basado en *topic*: El *topic* puede ser parte de cada mensaje. Cada cliente recibe solamente mensajes del *topic* en el que está interesado. Los *topics* generalmente son cadenas de texto organizadas de forma jerárquica, por lo que se puede filtrar en función de una expresión.
- Filtrado basado en contenido: El filtrado se basa en el contenido específico del mensaje. Una gran desventaja de este método es que el contenido del mensaje debe ser conocido por el *broker*, cosa que no siempre ocurre, por ejemplo, cuando el contenido va cifrado.
- Filtrado por tipo: En lenguajes orientados a objetos es típico filtrar en base a un tipo o clase del mensaje o evento. En este caso el suscriptor podría recibir todos los mensajes de un tipo o subtipo.

En el caso de MQTT se utiliza el filtrado por *topic* así que cada mensaje contiene un *topic*, el cual es procesado por el *broker* para entregarlo a los clientes que se han suscrito a él.

MQTT tiene múltiples niveles de calidad de servicio (QoS). Se puede conseguir fácilmente que un mensaje sea entregado del cliente al *broker* o del *broker* al cliente. Sin embargo, existe la posibilidad de que nadie se suscriba a un *topic* en particular, en este caso depende el *broker* cómo se debe manejar la situación.

3.1.4 Diferencias con un sistema de colas

Existe confusión debido a su nombre en cuanto a si es un protocolo de colas. Su nombre proviene de *MQseries*, un producto de *IBM* y no de *Message Queue*. Independientemente del nombre, existen diferencias entre MQTT y un sistema de colas:

- Un sistema de colas almacena un mensaje hasta que se consume: En un sistema clásico los mensajes se almacenan hasta que son tomados por un cliente (consumidor), esto en MQTT no ocurre ya que puede haber cero clientes suscritos a un *topic* y el mensaje es descartado.

- Un mensaje sólo es consumido por un cliente: Otra gran diferencia es el hecho de que en un sistema tradicional de cola de mensajes, los mensajes son consumidos por un único consumidor así la carga se puede distribuir entre múltiples procesos. En MQTT esto suele ser al contrario, todos los suscriptores reciben el mensaje si se han suscrito al *topic*.
- Las colas tienen nombres y deben crearse de forma explícita: Una cola es menos flexible que un *topic*, antes de usar una cola debe declararse explícitamente y sólo entonces se pueden consumir los mensajes. En MQTT los *topics* son extremadamente flexibles y son creados en el momento.

3.2 STOMP

STOMP (*Simple Text Orientated Messaging Protocol*), a diferencia de MQTT, está orientado a texto, como HTTP. El protocolo permite a clientes conectarse a un *broker* para que se puedan comunicar fácilmente entre diferentes tipos de aplicaciones y plataformas. En STOMP también se sigue un modelo publicador/suscriptor.

Se centra en tener un diseño simple y minimalista y que sea muy fácil de implementar en cualquier lenguaje. Al funcionar en modo texto, hacer un cliente puede ser tan sencillo como abrir una sesión Telnet para loguearse en cualquier *broker* de STOMP e interactuar con él. Se dice que es posible crear un cliente de STOMP en un par de horas.

3.3 AMQP

AMQP (Advanced Message Queuing Protocol) es un protocolo de mensajes que permite a aplicaciones de clientes comunicarse con un *broker*.

3.3.1 Brokers

Los brokers de mensajes reciben los mensajes de los publicadores (aplicaciones que los publican, también conocidos como productores) y los enrutan hacia los consumidores (aplicaciones que los procesan).

Ya que es un protocolo de red, los publicadores, consumidores y el broker pueden residir en diferentes máquinas.

3.3.2 El modelo AQMP

El modelo de AMQP 0-9-1 tiene la siguiente visión de lo que ocurre:

Los mensajes se publican en *exchanges*, que se podrían ver como un buzón o una oficina postal. Los *exchanges*, al recibir mensajes, los distribuyen a las colas (*queues*) siguiendo unas reglas llamadas *bindings*. A continuación, el *broker* entrega los mensajes a los consumidores que están suscritos a las colas, o los propios consumidores consultan la cola y leen los mensajes.

Cuando se publica un mensaje, se pueden especificar diferentes atributos (*metadata*). Alguno de estos atributos pueden ser usados por el *broker*, sin embargo, el cuerpo del mensajes es completamente opaco para el *broker* y sólomente será usado por la aplicación que recibirá el mensaje.

Las redes pueden tener problemas y las aplicaciones puede fallas al procesar los mensajes, por eso mismo, el modelo AMQP hace uso de ACKs. Cuando un mensaje se entrega a un consumidor, éste debe notificar al broker que ha procesado el mensaje, ya sea de forma automática o cuando el desarrollador de la aplicación lo decida. El *broker* sólomente eliminará el mensaje de la cola cuando éste haya sido confirmado.

"Hello, world" example routing

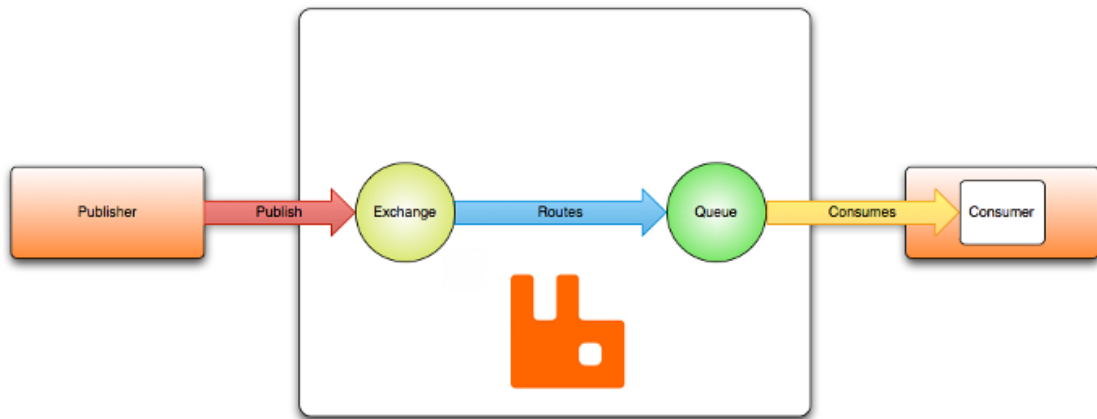


Figura 3.2 Ejemplo de enrutamiento en AMQP.

En algunas situaciones, por ejemplo, cuando un mensaje no puede ser enrutado, el mensaje puede ser devuelto al productor, descartado o, si el broker lo implementa, enviado a una cola especial llamada *dead letter queue*. Los consumidores pueden elegir cómo manejar situaciones como estas usando algunos parámetros a la hora de publicar los mensajes.

Las colas, los *exchanges* y los *bindings* son conocidas como **entidades de AMQP**.

3.3.3 Exchanges

Los *exchanges* son entidades de AMQP a donde llegan los mensajes. Éstos al recibir los mensajes los enrutan hacia cero o más colas. El algoritmo de enrutado depende del tipo de *exchange* y las reglas definidas (*bindings*). Existen cuatro tipos de *exchanges*:

- Direct exchange: `amq.direct`
- Fanout exchange: `amq.fanout`
- Topic exchange: `amq.topic`
- Headers exchange: `amq.match`

Independientemente del tipo de *exchange*, éstos son declarados con ciertos atributos, los más importantes son:

- Name: Nombre del *exchange*.
- Durability: Indica al *broker* que debe sobrevivir a reinicios.
- Auto-delete: Son eliminados si no hay ninguna cola asociada.
- Arguments: Dependen del *broker*.

Direct Exchange

Los *exchanges* directos entregan los mensajes a las colas basándose en la routing key. Son ideales para enrutamiento *unicast*, aunque también se pueden usar para *multicast*. Funcionan de la siguiente manera:

- Una cola se conecta (establece un *binding*) al *exchange* con la routing key $K = R$

- El *exchange* directo suele ser usado para distribuir mensajes entre múltiples *workers* en modo *round robin*. Es importante ser conciente de que en AMQP se balancea entre consumidores y no entre colas.

Se puede ver de forma gráfica en la Figura 3.2.

Direct exchange routing

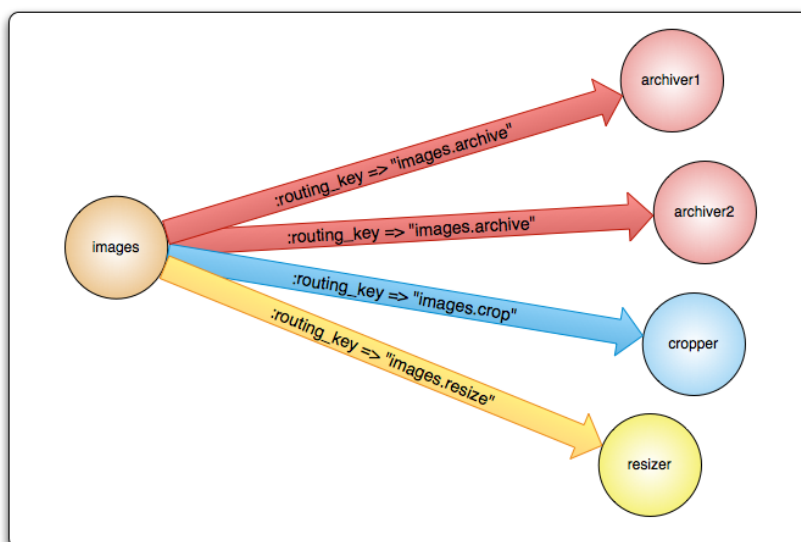


Figura 3.3 *Exchange* directo.

Fanout Exchange

Este tipo de *exchange* enruta todos los mensajes a todas las colas con las que está conectado, es decir, la *routing key* se ignora en este caso. Una copia de cada mensaje es enviado a cada una de las colas. Este tipo de *exchange* es ideal para el tráfico *broadcast*.

Se puede ver de forma gráfica en la Figura 3.4.

Fanout exchange routing

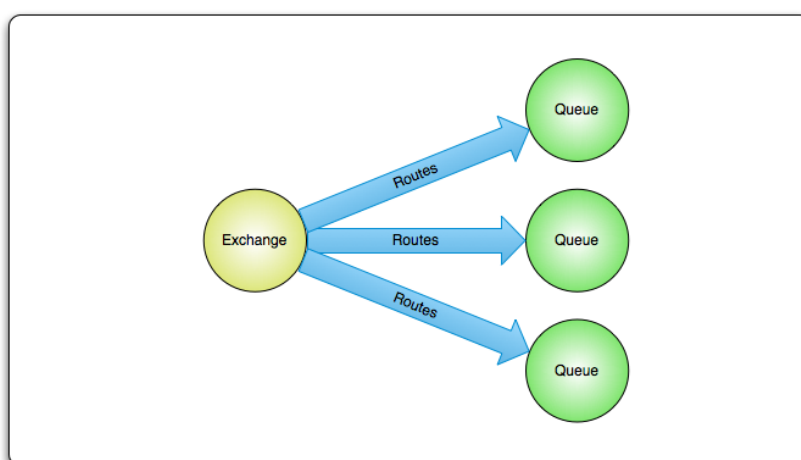


Figura 3.4 *Fanout exchange*.

Topic Exchange

En este caso, los mensajes se envían a una o varias colas, basándose en la *routing key* con la que una cola está conectada a un *exchange*. Este patrón se suele usar en modelos de publicador/suscriptor.

Header Exchange

El *header exchange* está diseñado para enrutar mensajes basándose en múltiples atributos que viajan en las cabeceras de los mensajes en lugar de usar la *routing key*.

3.3.4 Colas

Las colas en AMQP son muy similares a las colas en otros sistemas de colas. Almacenan mensajes que pueden ser consumidos por aplicaciones. Las colas comparten algunas propiedades con los *exchanges*, pero también tienen sus propios atributos:

- Name: Nombre de la cola.
- Durable: Indica al *broker* que deben sobrevivir a reinicios.
- Exclusive: Sólo se permite una conexión a la cola.
- Arguments: Dependen del *broker*.

Las colas deben ser declaradas antes de poder ser usadas. La declaración hace que la cola se cree si no existía anteriormente, si ya estuviese declarada, otra declaración no tendrá ningún efecto. Si se vuelve a declarar con otros atributos diferentes, se producirá una excepción.

Colas durables

Las colas durables se persisten a disco y sobreviven a reinicios del *broker*, en cambio, las colas que no son durables son llamadas transitorias. No todos los escenarios requieren que una cola sea durable.

La durabilidad de una cola no hace que los mensajes que sean enrutados hacia esa cola sean durables. Si el *broker* se reinicia, las colas durables volverán a declararse durante el inicio de forma automática, sin embargo, sólo los mensajes persistidos podrán recuperarse.

3.3.5 Bindings

Los *bindings* son reglas usadas por los *exchanges* para enrutar los mensajes recibidos hacia las colas. Para que un *exchange* enrute un mensaje a una cola, dicha cola debe enlazarse con el *exchange*. Los *bindings* pueden tener atributos opcionales como las *routing keys*. La finalidad de una clave de enrutado es seleccionar ciertos mensajes publicados en un *exchange* que está enlazado con una cola, es decir, actúan como filtros.

Cuando un mensaje no se puede enrutar hacia una cola se descartará o se devolverá al productor, dependiendo de los atributos que el productor haya ajustado.

3.3.6 Messages

Los mensajes en AMQP tienen atributos. Algunos de ellos son tan común que la especificación los define de forma que los desarrolladores no tienen que preocuparse por ellos.

- Content type
- Content encoding
- Routing key

- Delivery mode
- Message priority
- Message publishing timestamp
- Expiration period
- Publisher application id

Algunos atributos los usa el *broker*, pero la mayoría de ellos son para los consumidores que lo reciben. Algunos atributos son opcionales. Los atributos se fijan cuando el mensaje se publica.

Los mensajes también tienen una carga (los datos) que el *broker* trata como una ristra de *bytes*. El *broker* no inspecciona o modifica los datos. Es bastante común enviar los datos serializados en formatos como JSON, MessagePack, Protocol Buffers, etc. Para comunicar esta información se pueden usar los atributos `content-type` o `content-encoding`.

Los mensajes pueden ser publicados como persistentes, que hace que el *broker* los persista a disco. Si el servidor se reinicia, el sistema se asegura que los mensajes persistentes no se pierdan. Sólo por publicar un mensaje en un *exchange* durable o que la cola a la que el mensaje es enrutado sea durable no hace que el mensaje sea persistente, para ello el mensaje tiene que ser publicado como persistente. Hay que tener en cuenta que publicar mensajes persistentes afecta al rendimiento.

3.4 STOMP vs. MQTT vs. AMQP

Como se puede ver, STOMP y MQTT son protocolos muy semejantes, entonces, ¿Cuándo usaremos cada uno de ellos?. Pues los dispositivos usarán el protocolo MQTT ya que ofrece más funcionalidad y es muy fácil encontrar implementaciones para muchos tipos de dispositivos.

Sin embargo, para el lado de las aplicaciones se ha decidido usar STOMP. Esto quiere decir, que las aplicaciones del usuario que deseen conectarse al sistema para obtener los datos que los dispositivos envían mediante MQTT deben hacerlo usando STOMP. Esto es así porque una de las cosas que permite STOMP es que puede usar cualquier capa de transporte. Uno de los requisitos que se busca es que un navegador web pueda conectarse directamente a la plataforma y recibir datos. De esta forma no se requeriría que el servidor de la aplicación web obtenga los datos y los envíe al navegador, es decir, se pueden hacer aplicaciones *serverless*.

Desde un navegador web sólo se permite el tráfico HTTP, por lo que, en principio, no se puede usar MQTT ya que este viaja en TCP. Ahí es donde entra en juego STOMP, que está diseñado para funcionar independientemente de la capa que haya debajo, lo que lo hace ideal para funcionar sobre *websockets*.

Dicho esto el escenario es el siguiente:

- Los dispositivos se conectan mediante MQTT sobre TCP a la plataforma. Se suscriben y publican en *topics*.
- Las aplicaciones de la lógica del usuario se conecta a la plataforma usando STOMP bien sobre una sesión TCP o bien sobre *websockets* en caso de que quien realice la conexión sea un navegador. Se suscriben y publican en *topics*.
- La plataforma, de forma interna, convierte los mensajes MQTT y STOMP a AMQP y trabaja con este sistema de forma interna. Veremos qué es AMQP en el siguiente capítulo.

4 Broker y autorización

4.1 RabbitMQ

Como *broker* se usará RabbitMQ. El *broker* es una de los componentes más importantes de la plataforma, por no decir el más importante de todos. Cada mensaje que llega al sistema desde un elemento externo, ya sea un dispositivo o una aplicación del usuario debe hacerlo a través del *broker*. Además, los servicios internos de la plataforma también usan el *broker* para la comunicación.

RabbitMQ nos ofrece todo el sistema de colas de AMQP que ya hemos descrito anteriormente, por lo que todos los datos de la plataforma estarán en colas. Esto permite soportar picos de tráfico, ya que si los servicios o las bases de datos no son capaces de soportar una carga elevada los mensajes simplemente se encolarán y no serán descartados.

Además, gracias a unos plugins oficiales, es posible configurar a RabbitMQ para que sea capaz de recibir mensajes MQTT y STOMP. Es importante aclarar que en realidad no existe un *broker* como tal para estos protocolos, sino que realmente se hace una adaptación a AMQP, es decir, que aunque los mensajes lleguen en formato MQTT, éstos se guardarán en colas AMQP y los leerán servicios mediante este protocolo. Los servicios del núcleo de la plataforma no implementan ni MQTT ni STOMP.

Un ejemplo de comunicación sería:

```
DISPOSITIVO -> ADAPTADOR MQTT -> AMQP -> STREAM PROCESSOR -> RETHINKDB ->  
-> STREAM PROCESSOR -> AMQP -> STOMP -> NAVEGADOR WEB
```

Por supuesto en sentido contrario también funcionaría.

5 API

Lo primero y más importante del sistema son los usuarios. Serán quienes exploten las funcionalidades del sistema. Puesto que la finalidad de la plataforma es establecer una comunicación entre los dispositivos de un cliente y su lógica, tenemos dos roles:

- *Dispositivos*: Los componentes que obtienen información o controlan elementos.
- *Lógica*: El software del usuario que procesan la información obtenida y controlan los dispositivos.

Para que el usuario pueda interactuar con la plataforma para conocer el estado de los dispositivos se proveerá de una API RESTful que permita:

- *Registro de usuarios*
- *Administración de flotas*
- *Monitorización de dispositivos*

5.1 Registro de usuario

Para crear un usuario se enviará un mensaje HTTP a la API con el contenido del código 5.1:

Código 5.1 Petición para creación de usuario.

```
POST /users

{
  "email": "yo@dominio.com",
  "password": "secreto"
}
```

Una vez registrados, se puede hacer login y realizar peticiones autenticadas a la API. Para realizar un *login* debemos enviar el contenido del código 5.1.

Código 5.2 Petición de login.

```
POST /users/login

{
  "email": "yo@dominio.com",
  "password": "secreto"
}
```

Como respuesta se obtiene el `access_token` y `user_id`:

Código 5.3 Respuesta a login.

```
{
  "id": "<access_token>",
  "ttl": 1209600,
  "created": "2013-12-20T21:10:20.377Z",
  "userId": "<user_id>"
}
```

A partir de ahora podemos realizar peticiones autorizadas enviando en la cabecera del mensaje HTTP el `access_token` el campo `Authorization`.

5.2 Obtención de Fleet Key

Para crear una flota es necesario haber realizado el proceso de registro y disponer de un `user_id` y `access_token`. Se realizará la petición indicada en el código 5.4.

Código 5.4 Creación de `fleet_key`.

```
POST /users/<user_id>/fleets

Authorization: <access_token>
```

Si todo ha ido correctamente se obtendrá como respuesta el mensaje de respuesta 5.5

Código 5.5 Obtención de `fleet_key`.

```
{
  "uuid": "<fleet_uuid>"
}
```

5.3 Registro de dispositivos

Cuando el dispositivo se inicie por primera vez, deberá realizar un proceso de registro en el que usará la `fleet_key` para poder obtener un `uuid` y un `secret`. Para que un dispositivo pueda registrarse deberá ser capaz de comunicarse mediante HTTP, en caso contrario, será necesario el uso de un dispositivo intermedio capaz de realizar esta labor en nombre del dispositivo.

A este dispositivo intermedio lo llamaremos *hub* que puede ser cualquier dispositivo que sea capaz de enviar mensajes HTTP y MQTT y reenviarlos en el protocolo que sea a los dispositivos reales. Podría ser, por ejemplo, un *router* o una *Raspberry Pi*.

Un caso podría ser un *Arduino* que se comunicase mediante un módulo NRF24 con un programa que se ejecute en una *Raspberry Pi*. Será dicho programa de la *Raspberry Pi* el responsable de realizar el registro, de forma que el dispositivo no tiene porqué tener conocimiento del proceso ni de la plataforma. Cabe destacar que, en este caso, será la aplicación en cuestión quien debe conocer la `fleet_key`.

Esto puede ser útil en caso de tener dispositivos que no podemos adaptar al sistema, bastaría con crear este intermediario para poder usar el dispositivo con la plataforma.

En cualquier caso, el procedimiento será enviar un mensaje HTTP a la API con el contenido de la petición 5.6.

Código 5.6 Registro de dispositivo.

```
POST /fleets/<fleety_key>/registerMote
```

Código 5.7 Respuesta de registro de dispositivo.

```
{
  "uuid": "<Nuevo UUID de dispositivo>",
  "secret": "<Nuevo secreto>"
}
```

Una vez obtenidas las credenciales para poder enviar datos deberían persistirse para futuros usos.

6 Bases de datos

7 Dispositivos y Módulos

7.1 Dispositivos

Los dispositivos son elementos externos al sistema. El propio sistema está diseñado para proveer servicios a estos dispositivos, por lo que podemos verlos como un especie de usuario de la plataforma.

Cada dispositivo debe estar registrado en el sistema para poder interactuar con él, por lo que deberán implementar un proceso en el cual puedan darse de alta en la plataforma. Cada dispositivo estará asociado a un usuario, esto quiere decir que a la hora de registrarse, el dispositivo debe proveer cierta información para que la plataforma pueda determinar a qué usuario quedará asociado.

7.1.1 Flotas

La forma de asociar un dispositivo a un usuario es mediante las **flotas**. Las flotas son agrupaciones independientes de dispositivos que puede crear el usuario para gestionarlos. Cada usuario puede tener múltiples flotas. Al crear una flota, se generará de forma automática una `fleet_key`, que es una clave única que representa a cada flota. Cuando un dispositivo ejecuta el proceso de registro deberá proveer la clave para que el sistema lo reconozca como perteneciente a su flota correspondiente a la hora de registrarlo en la base de datos.

Dispositivos de diferentes flotas no pueden comunicarse entre ellos de forma directa, es decir, si en una flota un dispositivo publica en el *topic* `temperature` y otro dispositivo de una flota diferente está suscrito a este *topic* no recibirá el mensaje. Sin embargo, siempre será posible que una aplicación o dispositivo pertenezca a ambas flotas y sea capaz de reenviar los mensajes.

7.2 Módulos

Los módulos son aplicaciones que simulan ser dispositivos. Su objetivo es actuar como intermerdiario entre los dispositivos reales y la plataforma.

El dispositivo en el que corren los módulos se denominará *hub*. Una Raspberry Pi puede ser muy adecuado como *hub* ya que puede implementar los protocolos necesarios y puede comunicarse con los dispositivos reales usando un adaptador Bluetooth o ZigBee.

Existen varios escenarios donde puede ser interesante usar módulos:

7.2.1 Caso 1

Los dispositivos no tienen capacidad de enviar mensajes HTTP o MQTT, que son los protocolos usados por la plataforma. En tal caso, se puede crear un módulo que corra en otro dispositivo capaz de implementar estos protocolos y, al mismo tiempo, sea capaz de comunicarse con los dispositivos reales. Estos módulos tienen la responsabilidad de registrarse como si fuesen dispositivos reales, obtener datos y reenviarlos a los dispositivos correspondientes. Útiles para dispositivos que usan Bluetooth o ZigBee como protocolo de comunicación.

7.2.2 Caso 2

Los dispositivos ya existen y no es posible modificar el software para que se comunique con la plataforma directamente. Por ejemplo porque los dispositivos los fabrica un tercero. En este caso, el módulo tiene una función de “pasarela” entre los dispositivos reales y la plataforma.

7.3 Conexión al broker

Para enviar datos a la plataforma será necesario disponer de los siguientes datos:

- **host:** El nombre o dirección IP del equipo donde está desplegada la plataforma.
- **puerto:** El puerto donde se reciben los mensajes de los dispositivos mediante MQTT.
- **user:** El uuid del dispositivo, generado en el proceso de registro.
- **password:** La contraseña del dispositivo, generada en el proceso de registro.
- **topics:** <fleet_key>/#. Donde “#” es el nombre original del topic.

A la hora de publicar mensajes en un topic, el dispositivo debe preceder el topic con el `fleet_key`, por ejemplo, si se quiere publicar al topic “temperature”, deberá enviarse el mensaje al topic <fleet_key>/temperature.

Para suscribirse a un topic se aplicará la misma regla, precediendo el nombre del topic original por el Fleet Key.

Se debe usar TLS ya que sino las credenciales viajarán en texto plano y pueden ser capturadas por un tercero.

8 Lógica de negocio

Índice de Figuras

2.1	Estructura de un aplicación que use la plataforma	5
2.2	Estructura interna de la plataforma	6
3.1	Patrón publicador/suscriptor	9
3.2	Ejemplo de enrutamiento en AMQP	12
3.3	<i>Exchange</i> directo	13
3.4	<i>Fanout exchange</i>	13

Índice de Códigos

5.1	Petición para creación de usuario	19
5.2	Petición de login	20
5.3	Respuesta a login	20
5.4	Creación de <code>fleet_key</code>	20
5.5	Obtencion de <code>fleet_key</code>	20
5.6	Registro de dispositivo	21
5.7	Respuesta de registro de dispositivo	21

Bibliografía
