

REAELECTRIC: Asistente de mantenimiento eléctrico mediante realidad aumentada en iOS

Francisco Javier Martínez Junquera
Grado de Ingeniería Informática
Desarrollo Aplicaciones Dispositivos Móviles (iOS)

Joan Vicent Orenga Serisuelo
Jordi Almirall López
Carles Garrigues Olivella

03 de enero de 2020



Esta obra está sujeta a una licencia de [Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 España de Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/)

FICHA DEL TRABAJO FINAL

Título del trabajo:	<i>Realectric: Asistente de mantenimiento eléctrico mediante realidad aumentada en iOS</i>
Nombre del autor:	<i>Francisco Javier Martínez Junquera</i>
Nombre del consultor:	<i>Joan Vicent Orenge Serisuelo Jordi Almirall López</i>
Nombre del PRA	<i>Carles Garrigues Olivella</i>
Fecha de entrega (mm/aaaa):	<i>01/2020</i>
Titulación:	<i>Grado de Ingeniería Informática</i>
Área del Trabajo Final:	<i>Desarrollo aplicaciones dispositivos móviles (iOS)</i>
Idioma del trabajo:	<i>Español</i>
Palabras clave:	<i>iOS, Realidad aumentada, Firebase</i>
Resumen del Trabajo (máximo 250 palabras): <i>Con la finalidad, contexto de aplicación, metodología, resultados i conclusiones del trabajo.</i>	
<p>El siguiente trabajo aborda el desarrollo de una aplicación para el sistema iOS, que proporcione una herramienta para la localización de equipos en instalaciones industriales mediante el uso de realidad aumentada y que, además, permita la consulta de documentación técnica de los equipos en tiempo real.</p> <p>El modelo de operación y mantenimiento industrial ha cambiado y el número de trabajadores se ha reducido o se ha aumentado el número de instalaciones por trabajador. Sin embargo, sigue siendo necesario el conocimiento del funcionamiento de estas por parte de los operarios. Esta aplicación trata de ofrecer una herramienta universal de ayuda al trabajador industrial sin la necesidad de un desarrollo a medida.</p> <p>La aplicación emplea Firebase para proporcionar los servicios de autenticación de usuarios, de base de datos de los equipos y como almacenamiento en la nube para los documentos relativos a estos equipos. Esto evita el desarrollo de la lógica de servidor, que se traslada a la aplicación cliente.</p> <p>Se ha empleado Kanban como metodología de desarrollo incremental, dividiendo el trabajo en partes y limitando las tareas simultáneas. Para el diseño de la aplicación se han puesto en práctica diversas técnicas de desarrollo centrado en el usuario, que permiten adaptar el diseño a las necesidades de los usuarios.</p> <p>Como resultado, se ha obtenido una aplicación completamente funcional para dispositivos iPad con todas las funcionalidades planificadas inicialmente, así como un manual de instrucciones para el uso de esta y los recursos necesarios para su uso.</p>	

Abstract (in English, 250 words or less):

The following work deals with the development of an application for the iOS system, which provides a tool for the location of equipment in industrial facilities through the use of augmented reality and allowing the review of technical documentation of the equipment in real time.

The industrial operation and maintenance model has changed, and the number of workers has been reduced or the number of installations per worker has been increased. However, it is still necessary for the operators to know how those facilities work. This application tries to offer a universal tool to help the industrial worker without the need of a customized development.

The application uses Firebase to provide the services of user authentication, realtime database and cloud storage for equipment related documents. This avoids the development of server logic, which is transferred to the client application.

Kanban has been used as an incremental development methodology, dividing the work into parts and limiting simultaneous tasks. For the design of the application, various user-centered design techniques have been put into practice, allowing the application design to be adapted to the needs of the users.

As a result, a fully functional application for iPad devices has been obtained with all the functionalities initially planned, as well as an instruction manual for its use and the resources required for its use.

Índice

1. Introducción	1
1.1. Contexto y justificación del trabajo	1
1.2. Objetivos del Trabajo	2
1.3. Enfoque y método seguido	4
1.4. Planificación del Trabajo	5
1.5. Breve resumen de productos obtenidos	8
1.6. Breve descripción de los otros capítulos de la memoria	8
2. Diseño centrado en el usuario	9
2.1. Usuarios y contextos de uso	9
2.2. Diseño conceptual	13
2.3. Prototipado	27
2.4. Evaluación	33
3. Diseño técnico	35
3.1. Casos de uso	35
3.2. Base de datos	43
3.3. Entidades y clases	44
3.4. Arquitectura del sistema	45
4. Implementación	46
4.1. Herramientas y componentes utilizados	46
4.2. Desarrollo de la aplicación	47
4.3. Tareas adicionales al desarrollo	56
4.4. Estado del proyecto	57
4.5. Producto entregable	58
5. Pruebas	59
5.1. Pruebas unitarias	59
5.2. Pruebas de interfaz de usuario	61
5.3. Prueba funcional de realidad aumentada	62
5.4. Resultados	63
6. Conclusiones	64
7. Glosario	65
8. Bibliografía	66
9. Anexos	67
Anexo 1: Modelo de encuesta	67
Anexo 3: Modelo de cuestionario de evaluación	69
Anexo 4: Imagen de rastreo del origen	71
Anexo 5: Manual de usuario	72

Lista de figuras

Figura 1. Imagen del dispositivo iPad de Apple	3
Figura 2. Cuota de mercado global de tabletas por SSOO (Statcounter, 2019)	4
Figura 3. Diagrama de Gantt del TFG	7
Figura 4. Tablero Trello para planificación Kanban del TFG	8
Figura 5. Diagrama de flujo de Búsqueda.....	20
Figura 6. Diagrama de flujo de Exploración con AR	21
Figura 7. Diagrama de flujo de Consulta de detalle	22
Figura 8. Diagrama de flujo de Consulta de elementos guardados.....	23
Figura 9. Diagrama de flujo de Ajustes.....	24
Figura 10. Diagrama de flujo de Edición de equipos.....	25
Figura 11. Diagrama de flujo de Validación de equipos.....	26
Figura 12. Sketches de la interfaz de la aplicación	29
Figura 13. Flujo entre pantallas del prototipo horizontal.....	29
Figura 14. Capturas de pantalla del prototipo horizontal.....	32
Figura 15. Diagrama de casos de uso	35
Figura 16. Diagrama de la base de datos.....	43
Figura 17. Diagrama de base de datos basada en documentos	44
Figura 18. Diagrama de clases simplificado	44
Figura 19. Patrón Modelo-Vista-Controlador (MVC)	45
Figura 20. Arquitectura del sistema	45
Figura 21. Capturas de la creación de un proyecto en Firebase.....	48
Figura 22. Capturas de la configuración de la aplicación de Firebase	49
Figura 23. Capturas de la configuración de la autenticación en Firebase	49
Figura 24. Capturas de la creación de la base de datos en Firebase	49
Figura 25. Capturas de la configuración del almacenamiento de archivos en Firebase	50
Figura 26. Estructura de archivos	52
Figura 27. Configuración de un índice de campo único mediante exención en Firebase	53
Figura 28. Panel de edición de constraints.....	54
Figura 29. Ejemplo de documentación generada.....	55
Figura 30. Icono de la aplicación	56
Figura 31. Obtención del punto de referencia del origen	56
Figura 32. Desviaciones en la planificación	57
Figura 33. Entorno simulado de pruebas para realidad aumentada.....	63
Figura 34. Resultados de las pruebas unitarias y de interfaz.....	63

1. Introducción

1.1. Contexto y justificación del trabajo

En la actualidad, el modelo de operación y mantenimiento industrial ha cambiado. Los avances en automatización y en telecontrol han propiciado la aparición de instalaciones desatendidas, así como la reducción del personal de operación y mantenimiento o su subcontratación. Sin embargo, el control y mantenimiento de este tipo de instalaciones sigue exigiendo que el personal que lo lleve a cabo conozca la ubicación de los equipos implicados, sus características, funcionamiento y la dependencia funcional entre dispositivos.

Habitualmente, los técnicos de operación y mantenimiento eléctrico se valen de planos y documentación de equipos para comprender el funcionamiento de la instalación y actuar en consecuencia. En la mayoría de los casos, esa documentación está disponible en forma impresa o, en el caso de empresas más punteras tecnológicamente, mediante el uso de dispositivos móviles.

La utilización de un dispositivo con realidad aumentada puede permitir realizar tareas de operación y mantenimiento de una manera más eficiente, proporcionando una herramienta que permita identificar los equipos a una persona que desconozca la instalación, sin necesidad de buscar ni interpretar planos, y le facilite información sobre éstos, así como el guiado de las operaciones y los trabajos.

La tecnología de realidad aumentada permite superponer objetos virtuales e información sobre imágenes del entorno que nos rodea (normalmente en tiempo real) capturadas por un dispositivo, como puede ser un smartphone, una tableta o unas gafas especiales.

Este trabajo intenta proveer de una **herramienta visual que identifique, mediante señales visuales en pantalla, aquellos equipos que se quieren reparar u operar, que indique las dependencias entre componentes del sistema y que proporcione al usuario la documentación referente a esos equipos**, facilitando de este modo las tareas que se deban realizar. Los datos necesarios se obtendrán de un servidor que permita a múltiples dispositivos obtener la información necesaria sin necesidad de almacenarse localmente y de manera que se facilite la sincronización de nueva información añadida.

Actualmente existen soluciones que proporcionan estas funcionalidades, como pueden ser UtilityAR, iAR o soluciones de gigantes del sector eléctrico como SIEMENS y Schneider Electric:

- **UtilityAR** [<https://www.utilityar.com>] proporciona una gran cantidad de funciones y servicios:
 - Utilizar múltiples bases de datos como origen de la información,
 - Seguimiento de procedimientos con indicaciones,
 - Formación de trabajadores in situ,
 - Grabación de imágenes,
 - Visualización remota por otro técnico,
 - Marcado de indicaciones en pantalla que quedan almacenadas para ser incorporadas a la realidad aumentada.
- **iAR** [<https://iar-soft.com>], en su solución iAR eDOC, proporciona unos servicios más parecidos a los que se pretenden obtener:
 - Identificar elementos que componen los cuadros por medio de etiquetas en Realidad Aumentada

- Acceder y navegar a los esquemas eléctricos
- Identificar en el espacio elementos de los esquemas eléctricos
- Realizar anotaciones y enviarlas
- Adicionalmente se puede incorporar la monitorización y control de variables en tiempo real sobre los propios esquemas eléctricos o sobre planos de la lógica de control.

Adicionalmente, iAR dispone de otras soluciones para ofrecer las funcionalidades que UtilityAR proporciona.

A pesar de que las soluciones existentes presentan una gran cantidad de funcionalidades y ventajas, todas requieren de un desarrollo ad hoc a medida de cada cliente y en su mayoría emplean dispositivos extremadamente costosos, como las gafas HoloLens de Microsoft. Debido a los costes (económicos y temporales) de actualización, estos sistemas adquieren un alto carácter monolítico, lo que puede provocar una obsolescencia temprana y reducir drásticamente su utilidad.

Una alternativa, como la que se propone, sería obtener una solución que pueda emplearse en un dispositivo económico, como el iPad de Apple (en su versión básica), y que la inclusión de información sobre las instalaciones pueda llevarse a cabo por personal no cualificado en desarrollo informático o ingeniería. Es decir, con este trabajo **se pretende obtener una plataforma genérica para todo tipo de usuarios y empresas.**

Desafortunadamente, el tiempo disponible para el desarrollo del TFG no permite ofrecer todas las funcionalidades que las soluciones comerciales existentes proporcionan, por lo que será necesario limitarlas en la nueva aplicación.

1.2. Objetivos del Trabajo

El objetivo general de este trabajo es el desarrollo de la aplicación **Realectric**, que proporcione determinadas funcionalidades que permiten asistir a los técnicos de operación y mantenimiento de sistemas eléctricos industriales. Esta aplicación servirá de apoyo en la localización de equipos, ayudándose de la realidad aumentada, y proporcionará información en tiempo real sobre estos equipos. Esta información estará centralizada en un servidor.

Tratándose de una propuesta propia, no existe un cliente conocido. Por otro lado, siendo trabajador del sector de mantenimiento eléctrico, el desarrollador de la aplicación será *stakeholder* también con el rol de usuario. Así, los requerimientos del proyecto serán los siguientes:

1.2.1. Requerimientos funcionales

- RF1: La aplicación debe ser capaz de autenticar al usuario para proteger la confidencialidad de la información que puede mostrar.
- RF2: El sistema deberá reconocer si el usuario y la contraseña son incorrectos y notificarlo al usuario.
- RF3: Deben poderse buscar equipos en la base de datos introduciendo su código de identificación.
- RF4: Tiene que proporcionar un método visual para establecer el origen de coordenadas, advirtiendo al usuario de que se ha completado el proceso.
- RF5: Tiene que ser capaz de identificar en pantalla aquellos equipos que se desean localizar mediante elementos gráficos sobre la imagen real.

- RF6: Debe mostrar indicaciones gráficas sobre aquellos equipos que se encuentran en la imagen capturada y que han sido ubicados en la base de datos de equipos.
- RF7: Debe mostrar información (almacenada en la base de datos) sobre el elemento que se busca.
- RF8: Debe mostrar información (almacenada en la base de datos) sobre el elemento que se ha resaltado en pantalla.
- RF9: Mostrará un listado de documentos disponibles sobre el equipo buscado o resaltado.
- RF10: Tiene que ser capaz de mostrar el contenido del documento seleccionado.
- RF11: Debe permitir introducir información sobre un equipo.
- RF12: Debe advertir al usuario si la información introducida está incompleta o no es del tipo adecuado.
- RF13: Cuando el objeto que se pretende localizar es un componente de un equipo, deberá identificar, secuencialmente, el equipo que lo contiene, y una vez junto a éste, permitir cambiar de sistema de referencia para identificar el componente.

1.2.2. Requerimientos no funcionales

- RNF1: Múltiples usuarios podrán conectarse a la base de datos simultáneamente, por lo que será necesario que se ejecute en un servidor (o servicio BaaS) centralizado.
- RNF2: La aplicación se adaptará a cualquier orientación del dispositivo.
- RNF3: Tiene que proporcionar la información en diferentes idiomas.
- RNF3: Debe ser intuitiva y de uso sencillo, mostrando indicaciones que guíen al usuario.
- RNF4: No se podrá acceder a la base de datos sin el registro del usuario por parte de un administrador.

1.2.3. Plataforma de desarrollo

Uno de los objetivos principales de la aplicación será mostrar indicaciones y documentos por pantalla. Así, un tamaño elevado de pantalla favorecerá la inclusión de más información y la revisión de documentación, por lo que el desarrollo se dirigirá hacia tabletas, y más específicamente al iPad de Apple (Figura 1), que es el dispositivo de este tipo más utilizado a nivel mundial, tal como puede verse en la Figura 2. Sin embargo, no resultaría complicado adaptarlo a las pequeñas pantallas de los iPhone o iPod Touch. Es lo que se conoce como aplicación universal.



Figura 1. Imagen del dispositivo iPad de Apple

Estos dispositivos pueden ejecutar, en el momento de la confección de este documento, el sistema operativo **iPadOS**¹. Este SSOO es un *fork* de iOS que aprovecha mejor las características de los iPads, añadiendo funcionalidades adicionales a las que proporciona el sistema del que deriva. Estas características adicionales no serán aprovechadas en la aplicación. Sin embargo, en esta nueva versión del sistema, se han incorporado nuevas funcionalidades al *framework* ARKit, como el sistema de *coaching* para guiar al usuario, mejoras en la detección de superficies, imágenes, etc. Por tanto, se establecerá iPadOS (equivalente a iOS 13) como plataforma de desarrollo y como sistema que ejecutará el equipo de pruebas.

La adopción temprana de un nuevo SSOO puede provocar errores inesperados en la ejecución de la aplicación, pero se asumirán los riesgos debido a que las nuevas funcionalidades permitirán generar una mejor experiencia de uso y precisión en la superposición de objetos.

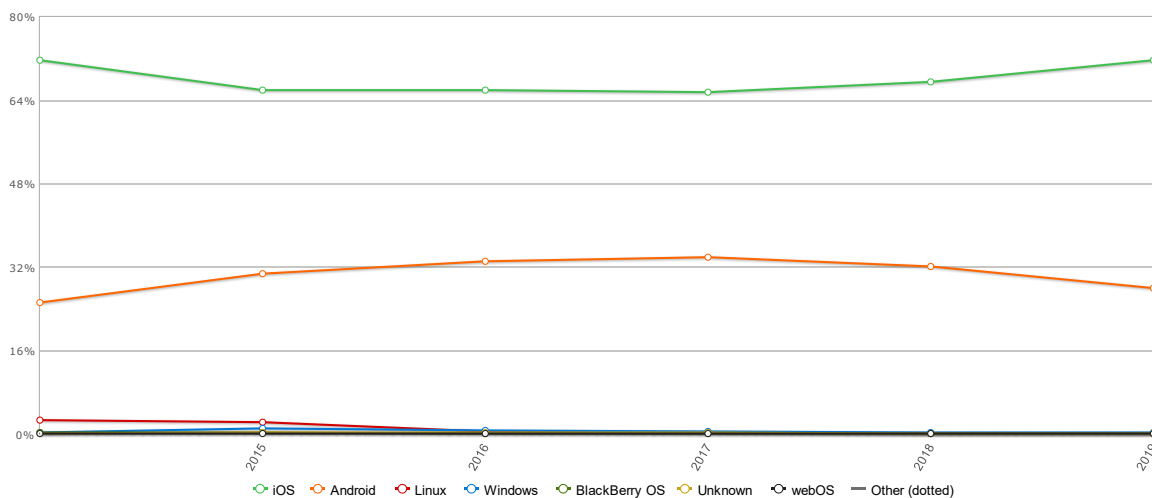


Figura 2. Cuota de mercado global de tabletas por SSOO (Statcounter, 2019)

El empleo de realidad aumentada limita los dispositivos compatibles con la aplicación. Para la ejecución de software que implemente el *framework* ARKit es necesario utilizar un iPad 2017 o superior, un iPad Mini de 5ª generación (o superior), cualquier iPad Pro o un iPad Air de 3ª generación en adelante.

1.3. Enfoque y método seguido

Actualmente no existe un software de código abierto que proporcione las funcionalidades que se pretenden alcanzar en el lado del cliente, por lo que se optará por el desarrollo de una aplicación para iOS que satisfaga los requerimientos buscados.

En cambio, para el *backend* se optará por el BaaS de Firebase, debido a que no es necesaria lógica de aplicación en el lado servidor. Firebase proporciona los servicios necesarios de autenticación de usuarios (Firebase Auth), base de datos en tiempo real (Cloud Firestore) y almacenamiento de archivos (Firebase Storage). Además, escala automáticamente, es muy sencillo de integrar en la aplicación de iOS y permite emplear un mismo *backend* para migración a otras plataformas, gracias a su SDK único. Principalmente, se ha elegido Firebase sobre otras alternativas (CloudBoost, Back4App, etc.) debido a su mejor documentación.

¹ Disponible oficialmente desde el día 24/09/2019

1.3.1. Metodología de desarrollo

Se empleará la metodología de desarrollo Kanban. Esta metodología Lean y Agile está basada en el desarrollo incremental, dividiendo el trabajo en partes. Kanban se basa en establecer un número máximo de tareas simultáneas, lo que resulta ideal para el TFG, debido al tiempo limitado y a que sólo hay un desarrollador.

Esta metodología visual se basa en el empleo de tarjetas colocadas en un panel, dividido en los diferentes estados por los que puede pasar una tarea/producto. Las tarjetas van cambiando de un estado de desarrollo a otro, lo que permite visualizar las fases en las que se encuentra cada tarea, las tareas pendientes y el avance del trabajo. Actualmente existen tableros virtuales, como Trello (Figura 4), para gestionar este método de seguimiento del desarrollo.

Otra de las características de Kanban es que se produce estrictamente lo necesario y no se añaden funcionalidades que no estén definidas en los requisitos.

No se ha empleado Scrum por su marcada orientación al desarrollo en equipo y en su relación con el cliente. Por otra parte, el desarrollo no será iterativo como en Scrum, debido a la estructuración de las entregas. Además, Kanban no exige la creación de roles ni tiene limitaciones en el tamaño de las divisiones del trabajo (necesario para los sprint).

Se optará por un modelo de diseño centrado en el usuario (DCU), que permite determinar las características del software que satisfagan las necesidades de los usuarios de la aplicación.

Para probar la aplicación se diseñará una batería de pruebas unitarias automatizadas, así como de la interfaz de usuario, que permitirán verificar el correcto funcionamiento del desarrollo. Desafortunadamente, no es posible realizar test unitarios sobre ARKit, ya que debe ser ejecutado en un dispositivo físico. Por este motivo deben diseñarse pruebas reales para verificar su funcionamiento en el dispositivo de prueba.

1.4. Planificación del Trabajo

Los recursos necesarios para llevar a cabo el desarrollo de la aplicación serán los siguientes:

- Un ordenador Apple que soporte la ejecución del IDE XCode 10, que permite compilar el código y ejecutar la aplicación en el dispositivo de pruebas. Concretamente, el ordenador que se empleará será un Macbook Pro de 15" del 2017, que es el equipo que poseo.
- Un iPad de Apple. El *framework* necesario para ejecutar las funciones de realidad aumentada, ARKit no permite ser ejecutado en un simulador por software, por lo que será necesario disponer de un dispositivo iPad para realizar las pruebas de funcionamiento. Debe tratarse de un dispositivo de los indicados anteriormente como soportados. El dispositivo que se utilizará será un iPad de 6ª generación.
- El IDE Xcode de Apple. Necesario, como previamente se ha comentado, para la ejecución de las pruebas y compilación del software.
- Software ofimático. Se empleará Office 365.
- Software de diseño de diagramas. Se utilizará [Draw.io](https://draw.io).
- Software para diseño gráfico. Se empleará Affinity Designer para MacOS.
- Repositorio privado en GitHub para control de versiones mediante Git.

La tabla de hitos que se pretenden alcanzar es la siguiente:

Número	Descripción	Duración
1	PEC 1: Plan de trabajo	46,00h
1.1	Propuesta de trabajo	4,00h
1.2	Establecer objetivos y estrategias	14,00h
1.3	Planificación del trabajo	8,00h
1.4	Prueba del entorno de desarrollo	14,00h
1.5	Redacción de la memoria	5,75h
1.6	Entrega	0,25h
2	PEC 2: Diseño y arquitectura	80,00h
2.1	Definición de perfiles de usuario	10,00h
2.2	Análisis de contextos de uso	10,00h
2.3	Análisis de tareas	8h
2.4	Elaboración de los escenarios de uso	10,00h
2.5	Diseño de la arquitectura	10,00h
2.6	Diseño gráfico	6,00h
2.7	Elaboración de prototipo	14,00h
2.8	Evaluación del prototipo	8,00h
2.9	Redacción de la memoria	11,75h
2.10	Entrega	0,25h
3	PEC 3: Implementación	135,00h
3.1	Documentación sobre frameworks iOS	14,00h
3.2	Documentación sobre Firebase	10,00h
3.3	Configuración de Firebase	2,00h
3.4	Implementación de login de usuarios	8,00h
3.5	Implementación del sistema para la incorporación de nueva información a la base de datos	8,00h
3.6	Implementación de la visualización de documentos	8,00h
3.7	Implementación del posicionamiento de referencia en AR	8,00h
3.8	Implementación del posicionamiento de objetos virtuales	16,00h
3.9	Implementación del sistema de búsqueda de equipos	8,00h
3.10	Implementación del sistema de búsqueda de documentos	8,00h
3.11	Implementación del menú de opciones	4,00h
3.12	Integración	10,00h
3.13	Realización de pruebas	8,00h
3.14	Corrección de errores	15,00h
3.15	Redacción de la memoria	5,75h
3.16	Entrega	0,25h
4	ENTREGA FINAL	64,00h
4.1	Corrección de errores acumulados	18,00h
4.2	Redacción de la memoria	20,00h
4.3	Redacción del manual de usuario	8,00h
4.4	Elaboración de la presentación	14,00h
4.5	Revisión de los entregables	3,75h
4.6	Entrega	0,25h
Duración total		325,00h

La planificación temporal se muestra a continuación (reflejada en horas de trabajo):

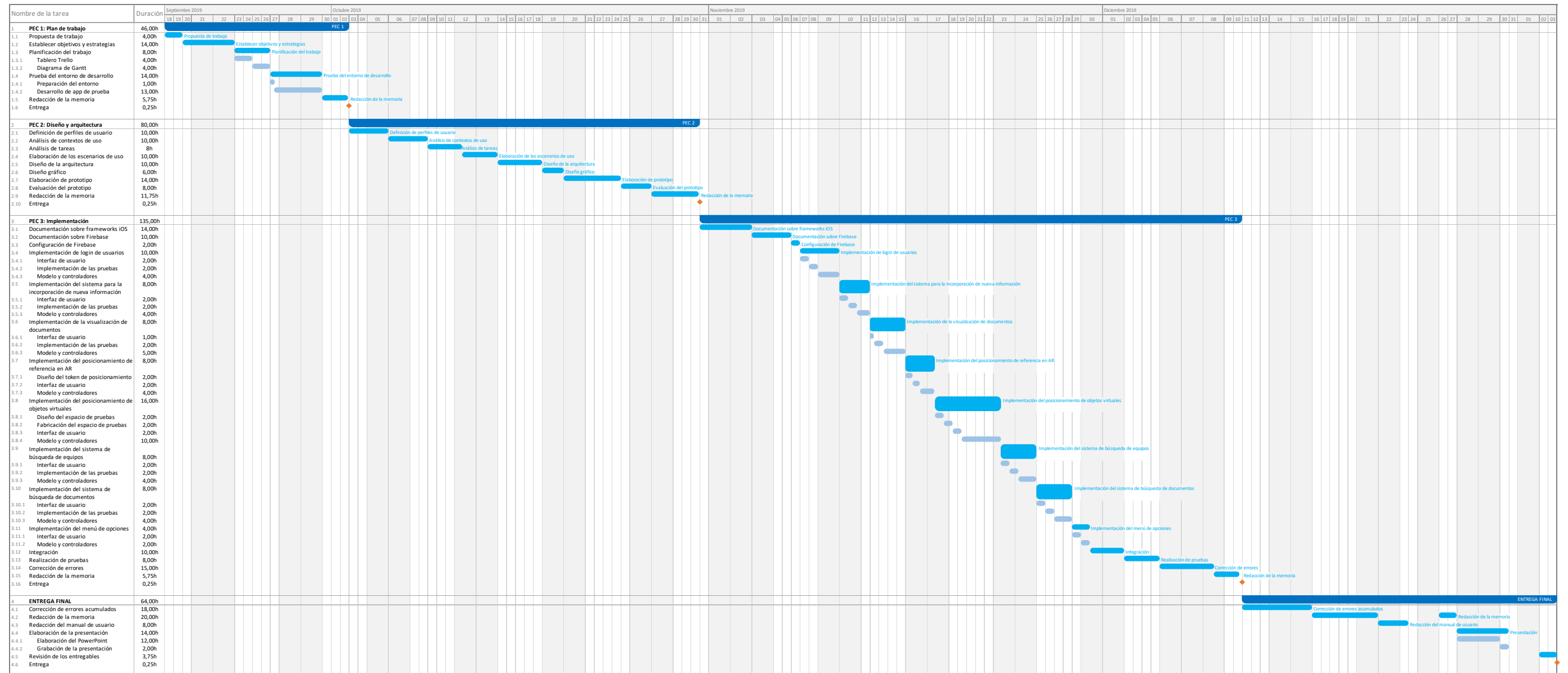


Figura 3. Diagrama de Gantt del TFG

Debido a la necesidad de compatibilizar el trabajo a jornada completa, el estudio de otra asignatura y la conciliación de la vida familiar, únicamente me es posible dedicar un máximo de 2 horas de trabajo los días laborables y 6 horas en días de descanso o festivos. Esto se ha tenido en cuenta a la hora de elaborar en el diagrama, en el que las franjas de los días festivos tienen el triple de ancho que las de los días entre semana. Además, no se dedicará tiempo al TFG los festivos especiales de la época navideña.

Adicionalmente al diagrama de Gantt, se ha elaborado un tablero en Trello (Figura 4) para realizar el seguimiento de las tareas empleando la metodología Kanban, descrita en el apartado anterior.

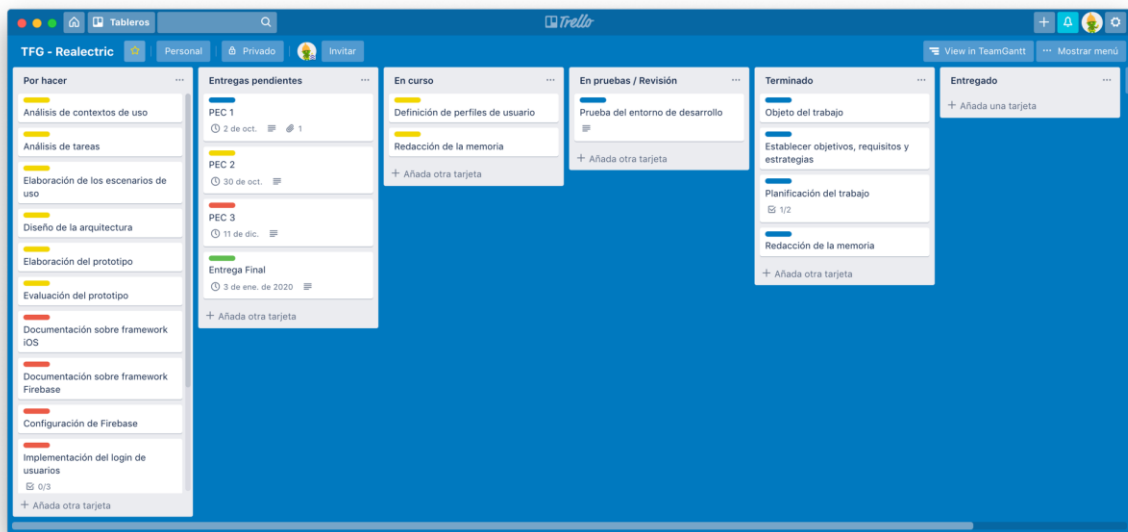


Figura 4. Tablero Trello para planificación Kanban del TFG

1.5. Breve resumen de productos obtenidos

Al finalizar el trabajo, se esperan obtener los siguientes productos:

- Proyecto de XCode con el código y todos los recursos multimedia de la aplicación.
- Aplicación **Realectric** para iOS distribuida de manera privada a través de la App Store y compatible con iPad.
- Memoria del Trabajo final de grado.
- Manual de usuario de la aplicación.
- Presentación gráfica del Trabajo final de grado.

1.6. Breve descripción de los otros capítulos de la memoria

- **Capítulo 2, DCU:** Aborda las tareas del diseño centrado en el usuario, incluyendo el análisis de usuarios, los escenarios de uso, los flujos de interacción, la elaboración de los prototipos de la interfaz y su evaluación.
- **Capítulo 3, Arquitectura:** Describe la arquitectura de la aplicación y la justificación de las decisiones técnicas del proyecto.
- **Capítulo 4, Implementación:** Resume las tareas de implementación del proyecto y las decisiones tomadas durante el proceso.
- **Capítulo 5, Pruebas:** Resultados y análisis de las pruebas realizadas.
- **Capítulo 6, Conclusiones:** Reflexión y análisis crítico del desarrollo del trabajo, objetivos conseguidos y seguimiento de la planificación.
- **Capítulo 7, Glosario:** Definición de los términos y acrónimos más relevantes utilizados dentro de la memoria.
- **Capítulo 8, Bibliografía:** Lista numerada de las referencias bibliográficas utilizadas dentro de la memoria.

2. Diseño centrado en el usuario

2.1. Usuarios y contextos de uso

En esta primera fase se intenta conocer a los usuarios de la aplicación, obteniendo información que permita detectar aquellas funcionalidades que satisfagan sus necesidades y objetivos. Para conseguirlo se han empleado diversos métodos de indagación y, a partir de la información recopilada, se han elaborado perfiles de usuario, incluyendo contextos de uso y análisis de tareas.

2.1.1. Métodos de indagación

Para conocer a los usuarios de la futura aplicación y poder especificar los contextos de uso, se ha optado por una combinación de métodos de indagación cualitativos y cuantitativos. Para los primeros se han llevado a cabo entrevistas en profundidad con usuarios objetivo y observación contextual en su entorno habitual. Debido a que no se tiene acceso a una de las aplicaciones alternativas, no se realizará *logging* ni análisis competitivo, por lo que únicamente se emplearán cuestionarios para el análisis cuantitativo.

Este estudio se ha realizado con la colaboración de ocho trabajadores del sector de operación y mantenimiento eléctrico (usuario objetivo) pertenecientes a dos empresas distintas.

Investigación contextual (shadowing):

Se ha observado a los usuarios en su trabajo habitual con equipos informáticos y con aparataje eléctrica.

A partir de estas observaciones se ha podido esclarecer el grado de conocimiento técnico de los sujetos observados.

Entrevista en profundidad:

El guion de la entrevista consta de las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es la edad del entrevistado?
- ¿Cuál es su género?
- ¿Cuál es su situación familiar?
- ¿Cuál es su nivel de formación?
- ¿Cuánto tiempo lleva en su puesto de trabajo?
- ¿En qué consiste su trabajo?
- ¿Con qué problemas se encuentra en su puesto de trabajo?
- ¿Qué dispositivos electrónicos utiliza?
- ¿Qué aplicaciones utiliza laboralmente? ¿Y en su vida privada?
- ¿Qué sabe de la realidad aumentada?
- ¿Consulta planos habitualmente?
- ¿Consulta documentos técnicos habitualmente?
- ¿Tiene problemas para localizar equipos en su trabajo?
- ¿Utiliza o ha utilizado una aplicación similar?

De estas entrevistas se ha sabido que los entrevistados tienen una edad comprendida entre los 20 y los 55 años, con estudios de formación profesional o superior. Todos poseen un

smartphone (un iPhone y el resto Android) y algunos de ellos poseen iPad particular. En el trabajo emplean PC, portátil o sobremesa, con Windows 10 y MS Office. En el caso de una de las empresas utilizan un ERP basado en SAP para gestión de mantenimiento y consulta de planos. Ninguno utiliza dispositivos móviles en el trabajo y jamás han utilizado una aplicación del tipo que se quiere desarrollar, aunque se muestran muy entusiasmados con las posibilidades que puede ofrecer. Sólo uno de ellos estaba familiarizado con la realidad aumentada (el más joven). Suelen encontrar problemas para encontrar equipos y creen que la herramienta puede serle de mucha utilidad

Encuesta:

Se facilita el documento de la encuesta a los trabajadores mencionados. El documento de la encuesta se ha elaborado a partir de los resultados de la fase de análisis cualitativo formada por las entrevistas y la investigación contextual. El modelo de la encuesta puede verse en el Anexo 1: Modelo de encuesta, aunque los resultados de ésta no se han podido adjuntar por limitaciones en la extensión del documento.

2.1.2. Perfiles de usuario

Analizados los resultados de las investigaciones anteriores se han elaborado tres perfiles de usuario:

Perfil de usuario	Técnico de mantenimiento junior
Características	
Edad	20 – 25 años
Género	100% masculino
Formación	Formación Profesional de Grado superior en electricidad/electrónica/mecánica
Experiencia	Nueva incorporación. Entre 0 y 5 años
Conocimientos	Básicos (provenientes de su formación) y conocimiento general de la instalación. Se maneja bien con la documentación y los planos
Situación familiar	Soltero o con pareja, sin hijos
Dispositivos	Smartphone personal (mayoritariamente Android) Ordenador portátil personal (Windows 10) iPad personal
Software	WhatsApp, Instagram, Navegador, MS Office, Videojuegos
Contextos de uso	
<p>¿Dónde?: Usarán la aplicación en instalaciones eléctricas reales (60%) y también en aulas de formación (40%).</p> <p>¿Cuándo?: cuando quieran explorar los equipos que componen una instalación (80%). Como algunos están en formación, también consultarán documentación en casa para estudiarlos (20%).</p> <p>Entorno: Ruido. Baja luminosidad a veces. Las aulas de formación disponen de wi-fi, pero algunas instalaciones eléctricas no.</p>	

Usuario: Puede sufrir distracciones del entorno en instalaciones, en movimiento. Receptivo al uso de nuevas herramientas.

Tareas

- Autenticarse en la aplicación.
- Explorar una instalación mediante realidad aumentada y obtener indicaciones de los equipos.
- Buscar equipos y obtener detalles técnicos.
- Consultar documentación de los equipos.
- Guardar equipos y documentos favoritos.
- Consultar equipos y documentos guardados.

Funcionalidades detectadas

- Se detecta que los técnicos junior no deben tener acceso a insertar, modificar o eliminar entradas en la base de datos.
- El contenido debería ser accesible offline

Perfil de usuario	Técnico de mantenimiento senior
Características	
Edad	25 – 55 años
Género	100% masculino
Formación	Formación Profesional de Grado superior en electricidad/electrónica/mecánica
Experiencia	Entre 5 años y 20 años
Conocimientos	Conoce las instalaciones al completo, conoce las particularidades de funcionamiento de algunos equipos, se maneja bien con la documentación y los planos
Situación familiar	Con pareja / casado / divorciado, con hijos
Dispositivos	Smartphone personal (mayoritariamente Android) Teléfono móvil corporativo Ordenador portátil personal (Windows 10) Ordenador de sobremesa corporativo (Windows 10)
Software	Whatsapp, Facebook, Navegador, MS Office, Videojuegos, AutoCAD, ERP SAP, Software de configuración de dispositivos eléctricos
Contextos de uso	
<p>¿Dónde?: Usarán la aplicación en instalaciones eléctricas en las que trabaje su empresa (100%).</p> <p>¿Cuándo?: En horario laboral (100%), en aquellos momentos en que necesiten localizar equipos y sus interconexiones.</p> <p>Entorno: Ruido. Baja luminosidad a veces. Algunas de estas instalaciones están aisladas y no tienen conexión inalámbrica.</p> <p>Usuario: Puede sufrir distracciones del entorno en instalaciones, en movimiento. Receloso del uso de nuevas herramientas.</p>	

Tareas
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Autenticarse en la aplicación. ▪ Explorar una instalación mediante realidad aumentada y obtener indicaciones de los equipos. ▪ Obtener indicaciones de equipos interconectados ▪ Buscar equipos y obtener detalles técnicos. ▪ Consultar documentación de los equipos. ▪ Guardar equipos y documentos favoritos. ▪ Consultar equipos y documentos guardados. ▪ Incluir nuevos equipos en la base de datos ▪ Añadir nuevos documentos a la base de datos
Funcionalidades detectadas
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Los técnicos senior podrán insertar equipos y documentos, pero no podrán eliminarlos, ya que requerirá autorización del encargado. ▪ Los equipos y documentos insertados deberán ser confirmados por el encargado.

Perfil de usuario	Encargado de mantenimiento
Características	
Edad	Más de 40 años
Género	100% masculino
Formación	Ingeniería industrial
Experiencia	Más de 10 años
Conocimientos	Conoce detalles técnicos de las instalaciones, pero no la ubicación exacta de todos los equipos ni su funcionamiento. Se dedica más a labores de gestión del mantenimiento.
Situación familiar	Casado o divorciado, con hijos
Dispositivos	Smartphone corporativo (iOS) Ordenador portátil corporativo y personal (Windows 10) iPad corporativo
Software	Whatsapp, Facebook, Navegador, MS Office, AutoCAD, ERP SAP, Software de configuración de dispositivos eléctricos
Contextos de uso	
<p>¿Dónde?: Usarán la aplicación en instalaciones eléctricas (100%) en las que opere su empresa.</p> <p>¿Cuándo? Cuando necesiten localizar equipos y sus interconexiones, además de cuando deban gestionar esta información. Lo harán en horario laboral (90%), aunque también consultarían documentación en cualquier momento (10%) por disponer de equipo corporativo propio.</p> <p>Entorno: Ruido. Baja luminosidad a veces. Algunas de estas instalaciones están aisladas y no tienen conexión wi-fi.</p> <p>Usuario: No recibe distracciones del entorno. Ubicación estable. Siempre disponible.</p>	

Tareas

- Autenticarse en la aplicación.
- Explorar una instalación mediante realidad aumentada y obtener indicaciones de los equipos.
- Buscar equipos y obtener detalles técnicos.
- Consultar documentación de los equipos.
- Guardar equipos y documentos favoritos.
- Consultar equipos y documentos guardados.
- Incluir nuevos equipos en la base de datos
- Añadir nuevos documentos a la base de datos
- Eliminar equipos de la base de datos

Funcionalidades detectadas

- Establecer el perfil necesario para consultar algunos documentos y datos
- Debe poder ser administrador en la base de datos para añadir usuarios

2.2. Diseño conceptual

2.2.1. Personas

A partir de la información obtenida en el proceso de indagación y elaboración de los perfiles de usuario se han creado las siguientes descripciones de personas ficticias:

Miguel

Perfil: Técnico de mantenimiento junior



Miguel tiene 22 años, está soltero y sin pareja. Ha estudiado un Grado Superior en Instalaciones Electrotécnicas y se incorporó a una empresa eléctrica hace 6 meses. Actualmente está en periodo de formación y acompaña a técnicos senior para observar su trabajo y familiarizarse con las instalaciones.

Dispone de un smartphone con sistema operativo Android para su uso particular, un portátil con Windows y un iPad particular, por lo que está familiarizado con su uso.

Utiliza redes sociales y sus aplicaciones, como Whatsapp o Instagram. También utiliza Google Chrome como navegador móvil y de escritorio. Profesionalmente usa Office 365 para Outlook y Excel, mayoritariamente.

Utilizará la aplicación como medio de consulta y formación, ayudándose de ésta para localizar equipos y consultar documentación.

Víctor

Perfil: Técnico de mantenimiento senior



Víctor tiene 35 años, está casado y tiene una hija. Estudió un Grado Superior en Producción por mecanizado y lleva 8 años en la empresa. Conoce bien las instalaciones en las que trabaja y realiza labores de mantenimiento eléctrico y mecánico, además de su operación y vigilancia del funcionamiento.

Dispone de un Smartphone con sistema operativo Android para su uso particular y un teléfono corporativo para llamadas. En el trabajo dispone de un ordenador de sobremesa compartido con otros compañeros y en casa tiene ordenador portátil. Ambos sistemas utilizan Windows 10.

También utiliza redes sociales y sus aplicaciones, aunque emplea más Facebook y Whatsapp. En el trabajo utiliza Office 365 para el correo, generar informes, listados, etc. Además, utiliza SAP con el ERP al que accede para consultar planos u órdenes de mantenimiento. En ocasiones utiliza AutoCAD para dibujar algún plano o modificarlo y también diferentes aplicaciones de Siemens o Schneider para conectarse a PLC, convertidores de señal o variadores de frecuencia y así efectuar diagnóstico o correcciones de la programación.

José María

Perfil: Encargado de mantenimiento



José María tiene 48 años, está divorciado y tiene dos hijos. Estudió formación profesional en Electricidad y posteriormente Ingeniería industrial. Lleva 10 años trabajando en la empresa y los 5 últimos como encargado de mantenimiento. Conoce las instalaciones y su funcionamiento general, pero no es capaz de identificar todos los equipos que la componen.

Dispone de un iPhone y un iPad que le ha facilitado la empresa, así como un ordenador portátil corporativo (con Windows 10). En casa dispone también de ordenador portátil.

Como jefe de mantenimiento, su labor es mayoritariamente de gestión, así que emplea otras áreas del ERP, como pedidos, RRHH, etc. También utiliza AutoCAD para consultar y modificar planos, así como Office 365 para informes y correo electrónico. En ocasiones también utiliza software específico para conectarse a los dispositivos de las instalaciones. En su vida personal utiliza WhatsApp y Facebook.

2.2.2. Escenarios de uso

Escenario de uso	Localizar un equipo en la instalación
Perfil de usuario	Técnico de mantenimiento junior / senior / encargado
Contexto	Miguel ha sido enviado a la instalación P1030 a verificar el estado de un convertidor de señal que está dando problemas. Sin embargo, no conoce la ubicación del armario ACM01 de la instalación P1030.
Objetivo	Localizar la ubicación física del equipo.
Tareas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Autenticarse en el sistema. ▪ Seleccionar el equipo que se quiere localizar. ▪ Explorar la instalación hasta localizar el equipo.
Necesidades de información	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conocer sus credenciales de acceso (correo y contraseña). ▪ Identificador de la instalación. ▪ Identificador o descripción del equipo que quiere localizar.
Funcionalidades necesarias	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mecanismo de autenticación del usuario. ▪ Búsqueda de instalaciones. ▪ Búsqueda de equipos. ▪ Resaltar equipo en un visor de realidad aumentada.
Desarrollo de las tareas	<ol style="list-style-type: none"> 1. El usuario abre la aplicación en su dispositivo. 2. En la pantalla de login introduce sus credenciales y accede al sistema. 3. En el menú elige buscar un equipo. 4. Introduce la instalación en el campo de búsqueda. 5. Selecciona la instalación. 6. Introduce el identificador o descripción del equipo que busca. 7. Selecciona la opción de explorar el equipo. 8. Mueve el dispositivo hasta que el sistema resalta en pantalla el equipo que buscaba.

Escenario de uso	Identificar los equipos que están interconectados
Perfil de usuario	Técnico de mantenimiento junior / senior / encargado
Contexto	Víctor está intentando solucionar una avería en un equipo y necesita saber qué otros equipos tienen conexión o mando sobre el que provoca la avería.
Objetivo	Identificar aquellos equipos que tienen conexión con el equipo que se ha designado.
Tareas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Autenticarse en el sistema. ▪ Seleccionar el equipo que se quiere localizar. ▪ Explorar la instalación hasta localizar el equipo. ▪ Solicitar el resaltado de equipos conectados.
Necesidades de información	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conocer sus credenciales de acceso (correo y contraseña). ▪ Identificador de la instalación. ▪ Identificador o descripción del equipo que quiere localizar.

Funcionalidades necesarias	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mecanismo de autenticación del usuario. ▪ Búsqueda de instalaciones. ▪ Búsqueda de equipos. ▪ Resaltar equipo en un visor de realidad aumentada. ▪ Resaltar equipos interconectados al designado.
Desarrollo de las tareas	<p>Mediante búsqueda:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. El usuario abre la aplicación en su dispositivo. 2. En la pantalla de login introduce sus credenciales y accede al sistema. 3. En el menú elige buscar un equipo 4. Introduce la instalación en el campo de búsqueda. 5. Selecciona la instalación. 6. Introduce el identificador o descripción del equipo que busca. 7. Selecciona la opción de explorar el equipo. 8. Mueve le dispositivo hasta que el sistema resalta en pantalla el equipo que buscaba. 9. Elige la opción de resaltar equipos interconectados. <p>Mediante exploración:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. El usuario abre la aplicación en su dispositivo. 2. En la pantalla de login introduce sus credenciales y accede al sistema. 3. En el menú elige explorar la instalación. 4. Introduce la instalación en el campo de búsqueda. 5. Selecciona la instalación. 6. Mueve le dispositivo hasta que el sistema resalta en pantalla el equipo que buscaba. 7. Elige la opción de resaltar equipos interconectados

Escenario de uso	Buscar información sobre un equipo de la instalación
Perfil de usuario	Técnico de mantenimiento junior / senior / encargado
Contexto	Miguel ha estado inspeccionando una instalación y ha encontrado un equipo del que no conoce bien su funcionamiento.
Objetivo	Visualizar la documentación de un equipo para obtener información de su funcionamiento.
Tareas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Autenticarse en el sistema. ▪ Seleccionar / explorar el equipo que se quiere consultar. ▪ Visualizar el documento.
Necesidades de información	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conocer sus credenciales de acceso (correo y contraseña). ▪ Identificador de la instalación. ▪ Identificador o descripción del equipo (opcional).
Funcionalidades necesarias	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mecanismo de autenticación del usuario. ▪ Búsqueda de instalaciones. ▪ Búsqueda de equipos. ▪ Resaltar equipo en un visor de realidad aumentada. ▪ Visor de documentos.
Desarrollo de las tareas	<p>Mediante búsqueda:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. El usuario abre la aplicación en su dispositivo.

	<ol style="list-style-type: none"> 2. En la pantalla de login introduce sus credenciales y accede al sistema. 3. En el menú elige buscar un equipo 4. Introduce la instalación en el campo de búsqueda. 5. Selecciona la instalación. 6. Introduce el identificador o descripción del equipo que busca. 7. Selecciona el equipo para ver el detalle. 8. Consulta la información. 9. Visualiza el documento seleccionado (opcional). <p>Mediante exploración:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. El usuario abre la aplicación en su dispositivo. 2. En la pantalla de login introduce sus credenciales y accede al sistema. 3. En el menú elige explorar la instalación. 4. Introduce la instalación en el campo de búsqueda. 5. Selecciona la instalación. 6. Mueve le dispositivo hasta que el sistema resalta en pantalla el equipo que buscaba. 7. Selecciona para ampliar información. 8. Consulta la información. 9. Visualiza el documento seleccionado (opcional).
--	---

Escenario de uso	Inserción de un nuevo equipo
Perfil de usuario	Técnico de mantenimiento senior / encargado
Contexto	Se ha instalado un nuevo equipo en una instalación, y Víctor detecta que no se encuentra en la base de datos.
Objetivo	Añadir el equipo a la base de datos para que esté disponible para consulta.
Tareas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Autenticarse en el sistema. ▪ Localizar el equipo ▪ Recopilar información del equipo ▪ Almacenar la información recopilada.
Necesidades de información	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conocer sus credenciales de acceso (correo y contraseña). ▪ Identificador de la instalación. ▪ Identificador que se va a asignar al equipo. ▪ Especificaciones del equipo. ▪ Documentos y planos relativos al equipo en formato digital.
Funcionalidades necesarias	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mecanismo de autenticación del usuario. ▪ Búsqueda de instalaciones. ▪ Búsqueda de equipos. ▪ Formulario de introducción de datos. ▪ Validación de datos. ▪ Importación de documentos ▪ Notificación para validación.
Desarrollo de las tareas	<p>Tareas del técnico de mantenimiento senior / encargado:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. El usuario abre la aplicación en su dispositivo.

	<ol style="list-style-type: none"> 2. En la pantalla de login introduce sus credenciales y accede al sistema. 3. En el menú elige Insertar nuevo equipo. 4. Introduce la identificación, la descripción, las coordenadas y dimensiones del equipo. 5. Añade propiedades técnicas del equipo (opcional) 6. Examina los archivos del dispositivo en busca de un documento (opcional). 7. Selecciona el documento a añadir (opcional). 8. Guarda los cambios. <p>Tareas del encargado de mantenimiento:</p> <ol style="list-style-type: none"> 9. En el menú elige validar equipo. 10. Verifica los datos y documentos del equipo. 11. Confirma los cambios.
--	--

Escenario de uso	Cambio de base de datos
Perfil de usuario	Técnico de mantenimiento junior / senior / encargado
Contexto	Víctor tiene que trabajar en una instalación propiedad de otra empresa a la que se le ofrece servicio de operación y/o mantenimiento y esa empresa dispone de una base de datos propia.
Objetivo	Cambiar la base de datos para acceder a los datos de la instalación.
Tareas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cambiar la dirección de la base de datos en los ajustes. ▪ Verificar que se tiene acceso.
Necesidades de información	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conocer sus credenciales de acceso (correo y contraseña) de la nueva base de datos. ▪ Conocer la URL de la nueva base de datos
Funcionalidades necesarias	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mecanismo de cambio de base de datos. ▪ Verificación de conexión. ▪ Mecanismo de autenticación del usuario.
Desarrollo de las tareas	<ol style="list-style-type: none"> 1. El usuario abre la aplicación en su dispositivo. 2. Selecciona el menú de ajustes. 3. Cambia la URL de la base de datos. 4. Pulsa verificar conexión para comprobar que la URL es correcta. 5. Vuelve a la pantalla de login. 6. Introduce las nuevas credenciales y accede al sistema.

2.2.3. Flujos de interacción

A continuación, se detallan los diagramas de flujo de interacción para la aplicación.

Para facilitar la visualización de los flujos de interacción se han independizado los flujos necesarios para autenticarse (login de usuario) y navegar por el menú principal.

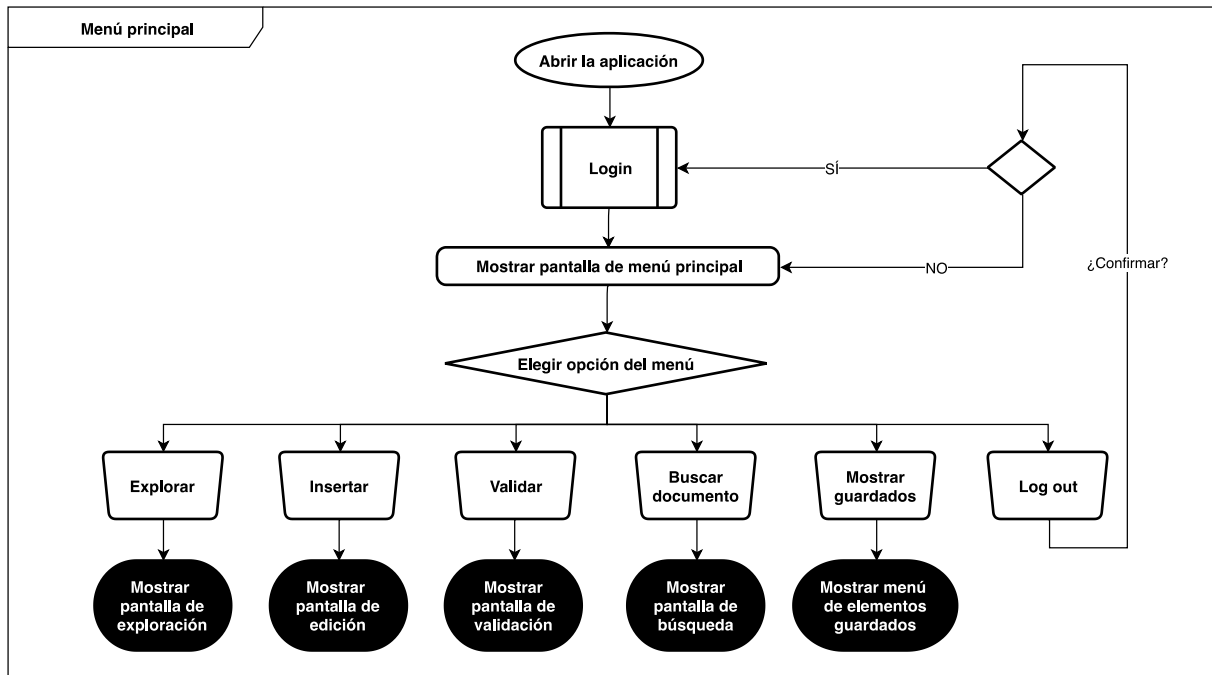


Figura 5. Diagrama de flujo del Menú principal

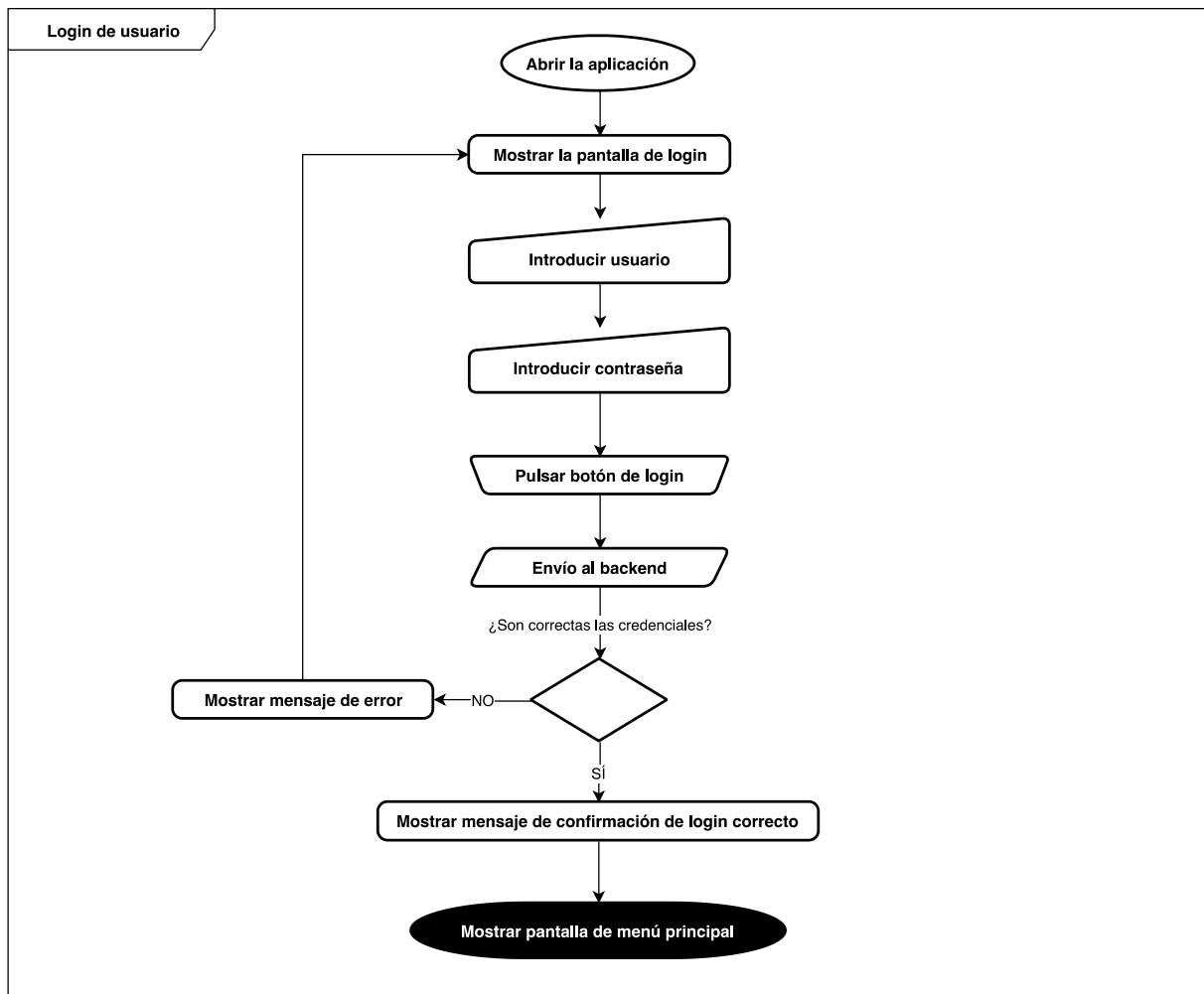


Figura 6. Diagrama de flujo de Login de usuario

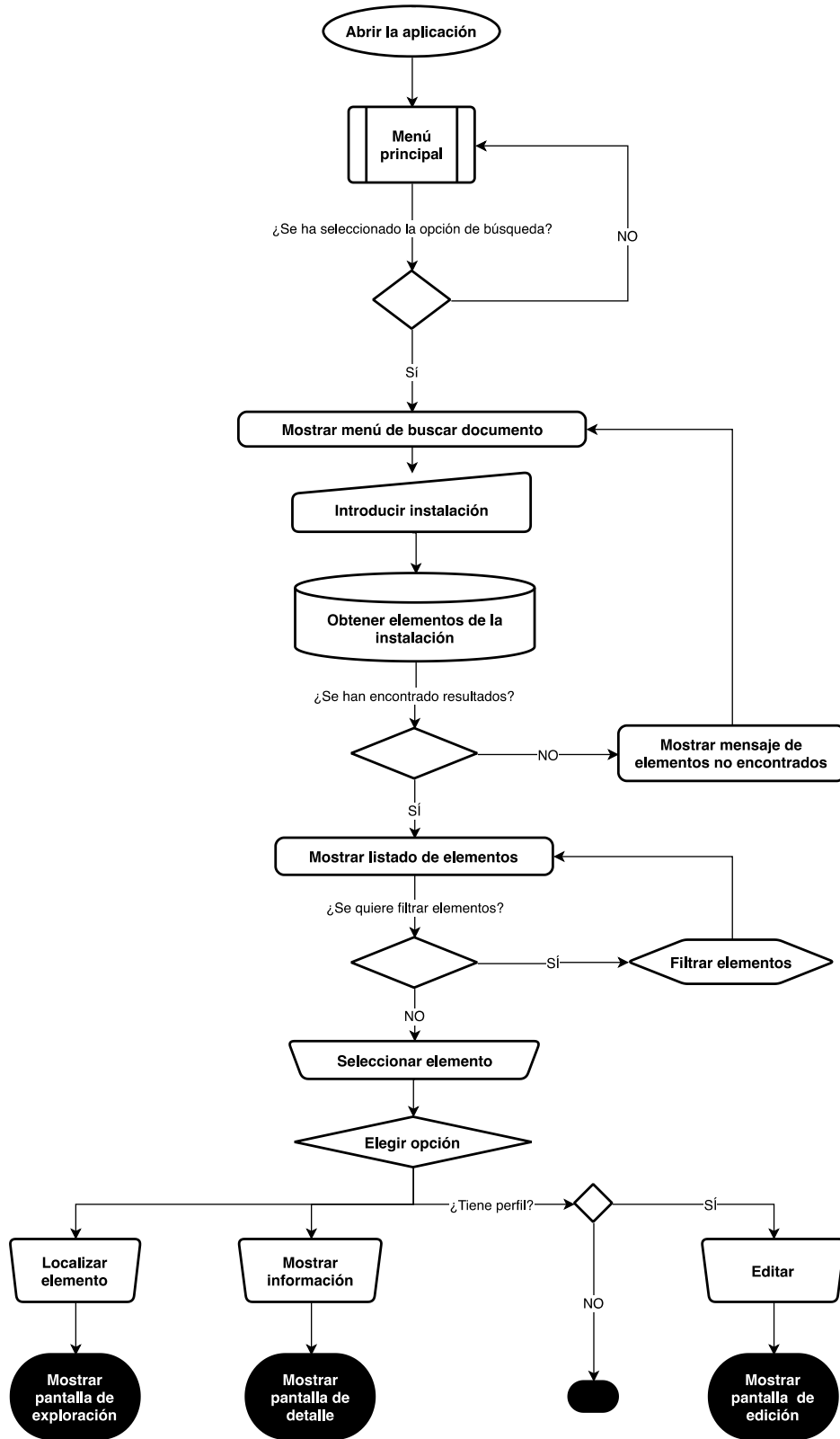


Figura 5. Diagrama de flujo de Búsqueda

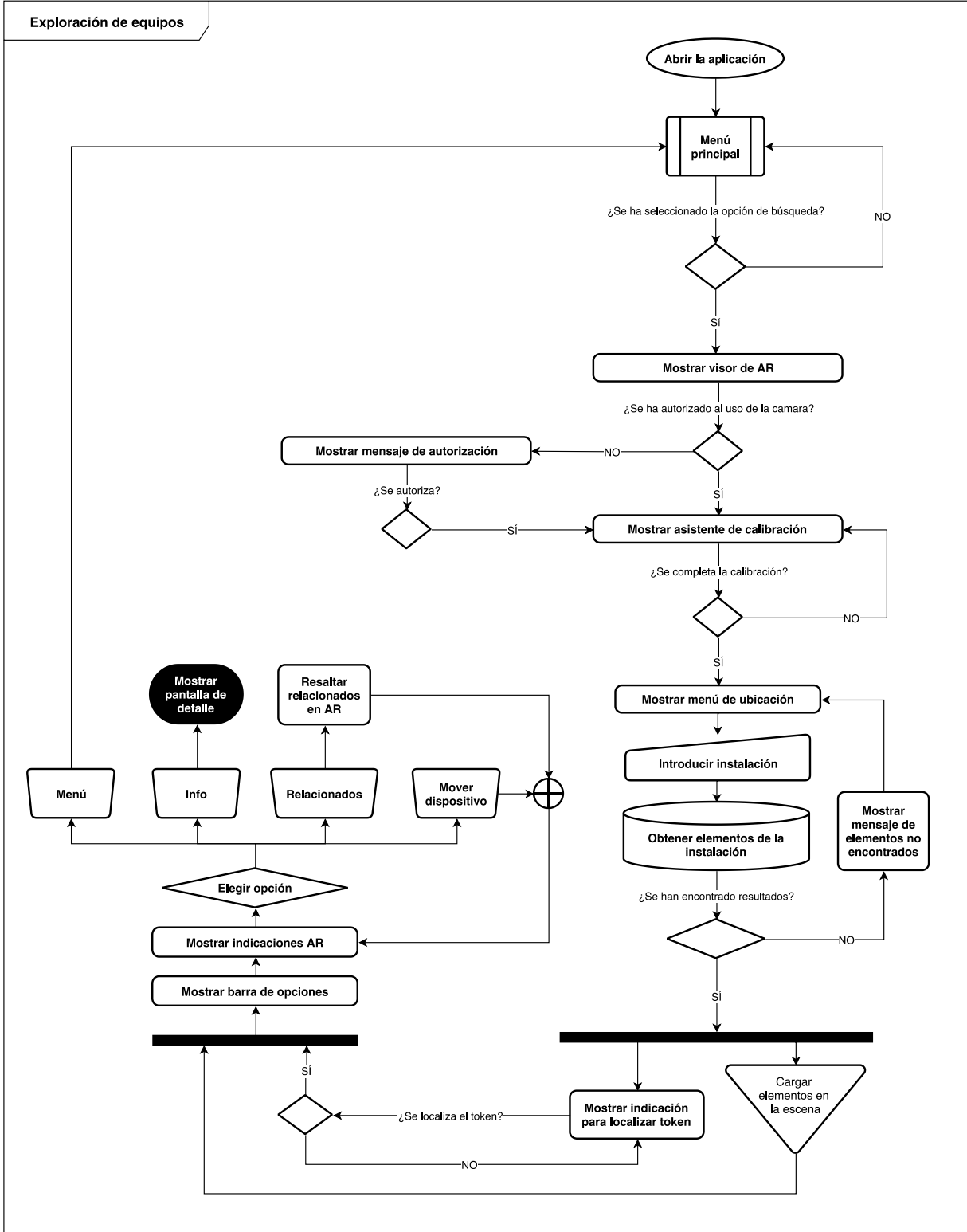


Figura 6. Diagrama de flujo de Exploración con AR

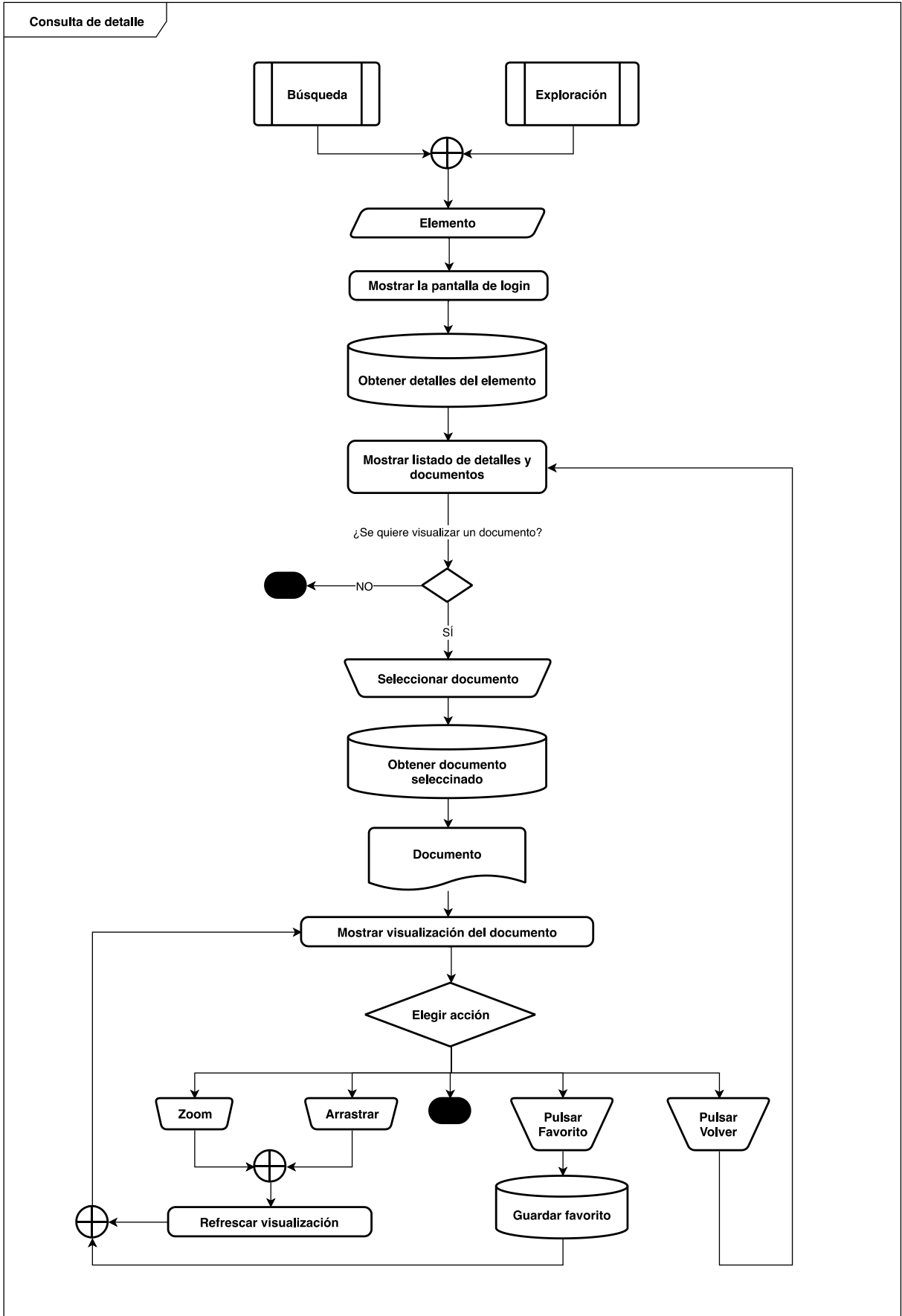


Figura 7. Diagrama de flujo de Consulta de detalle

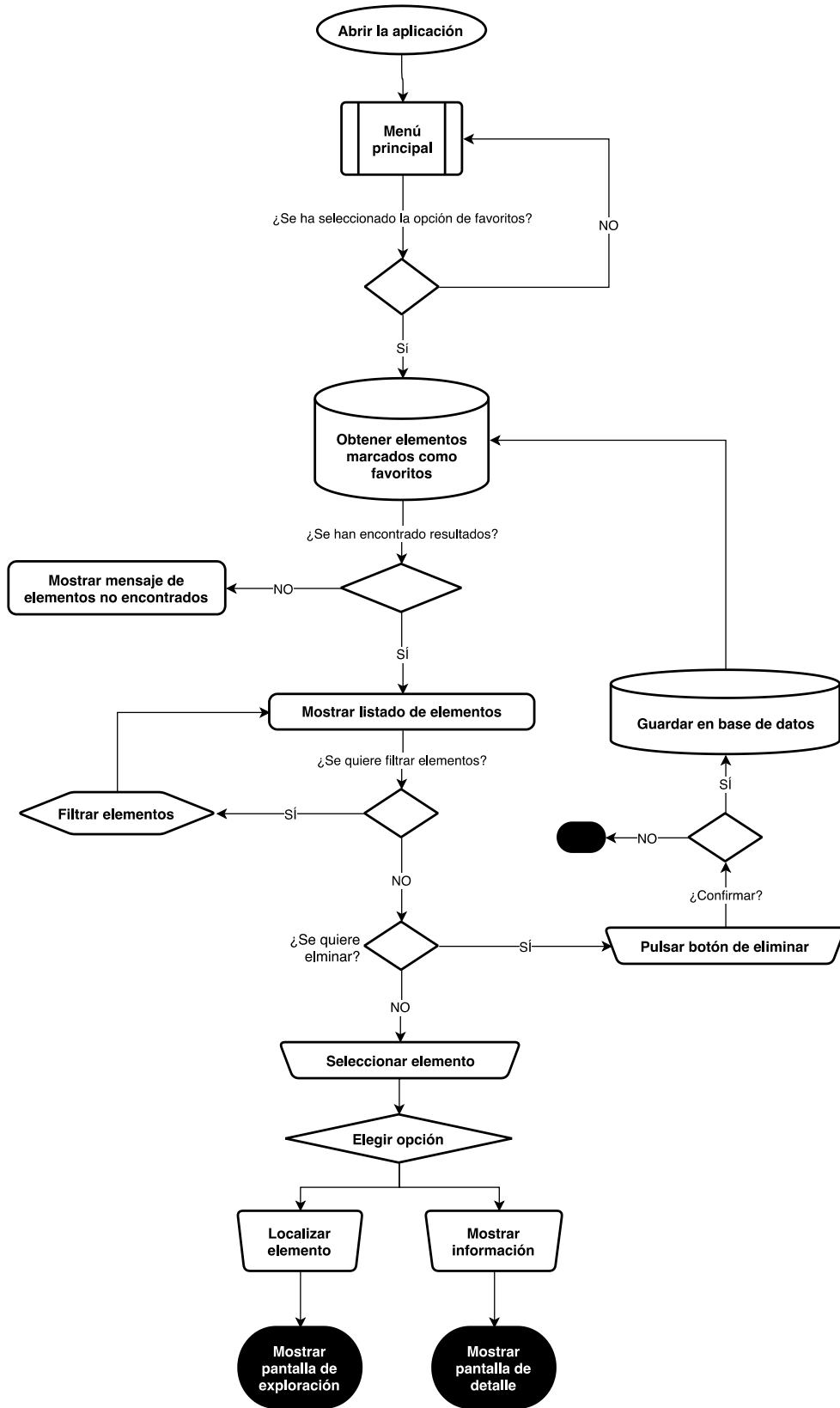


Figura 8. Diagrama de flujo de Consulta de elementos guardados

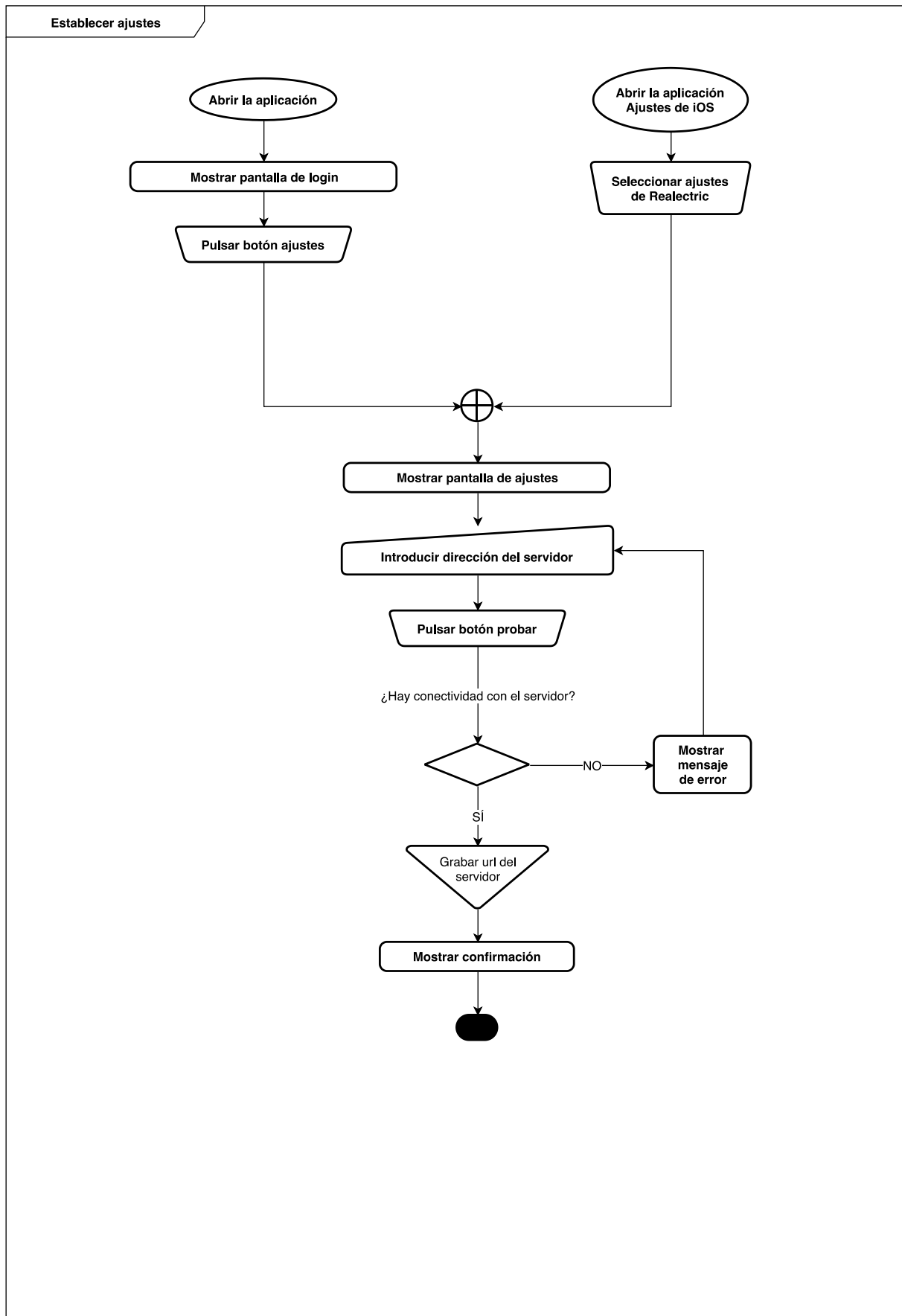


Figura 9. Diagrama de flujo de Ajustes

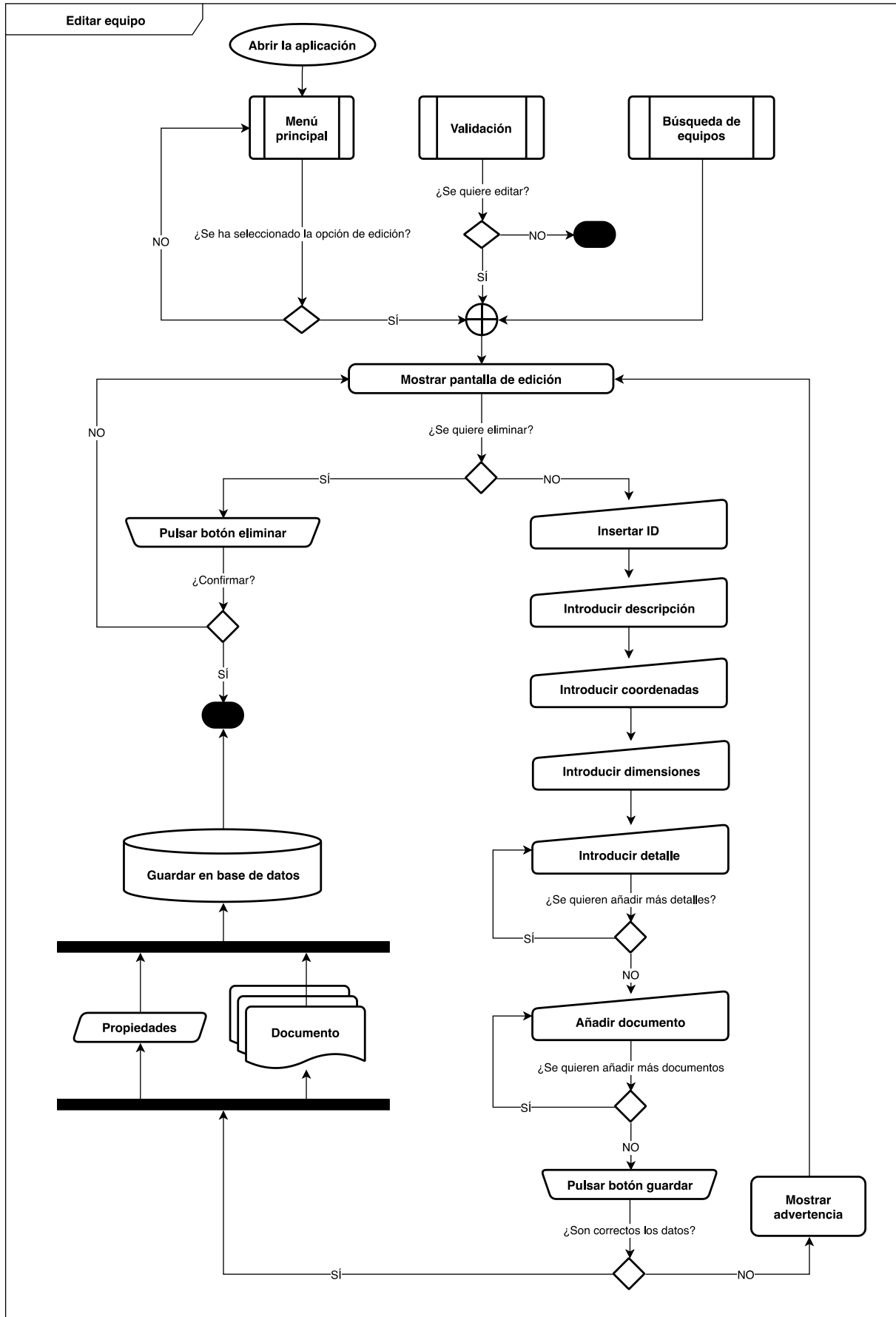


Figura 10. Diagrama de flujo de Edición de equipos

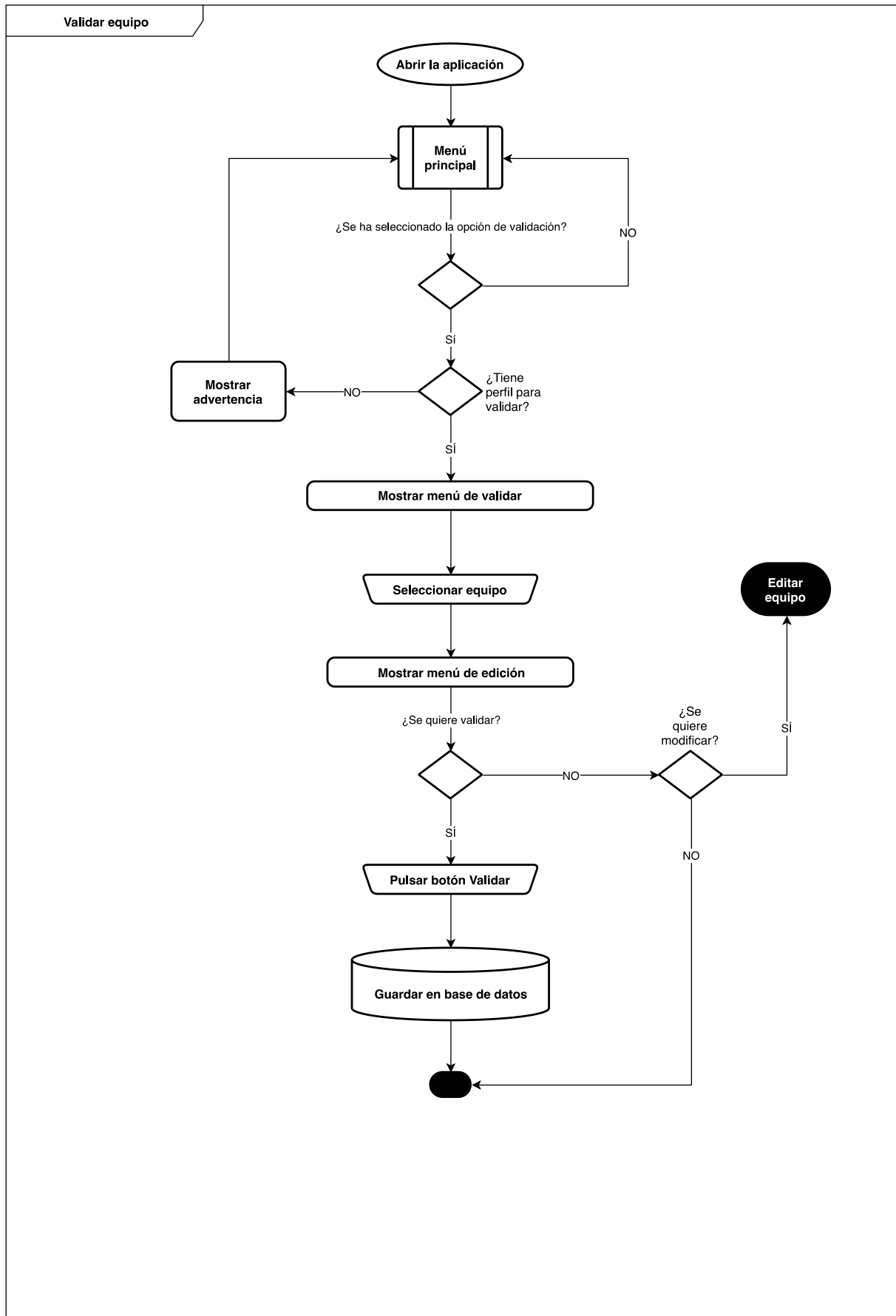
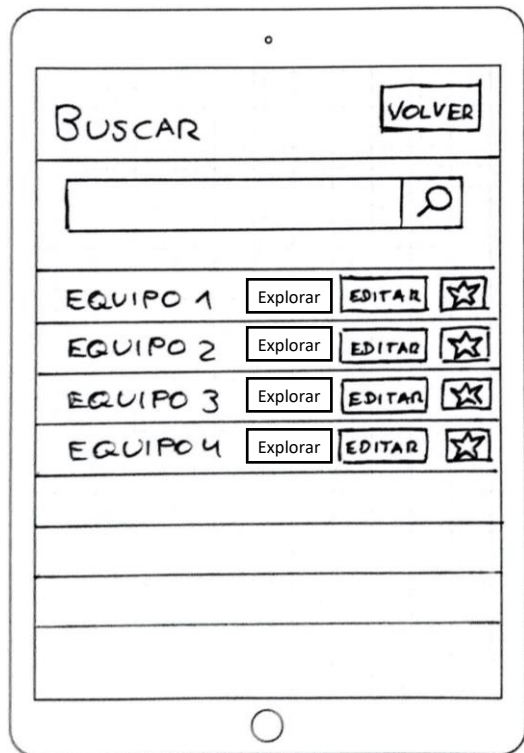
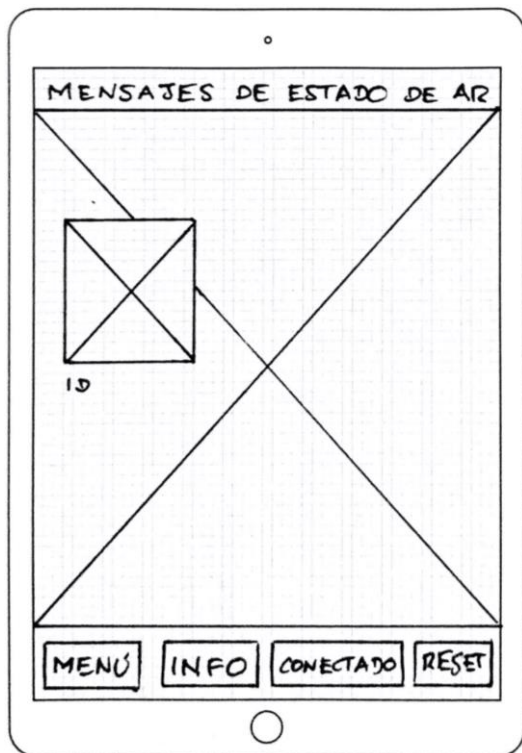
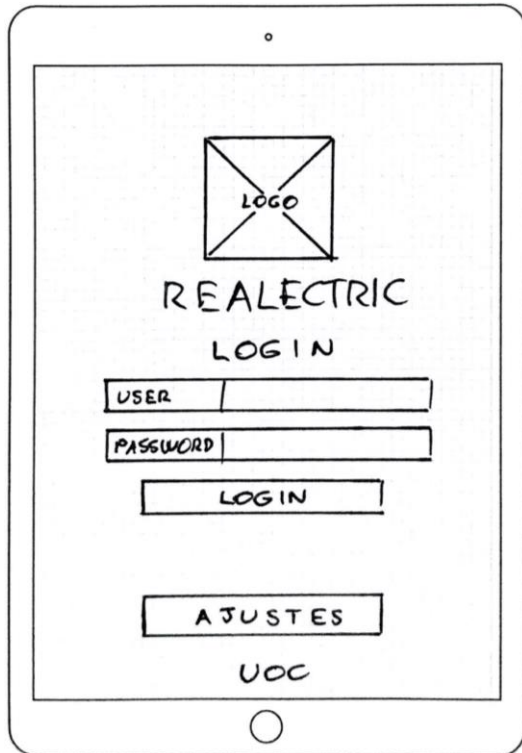
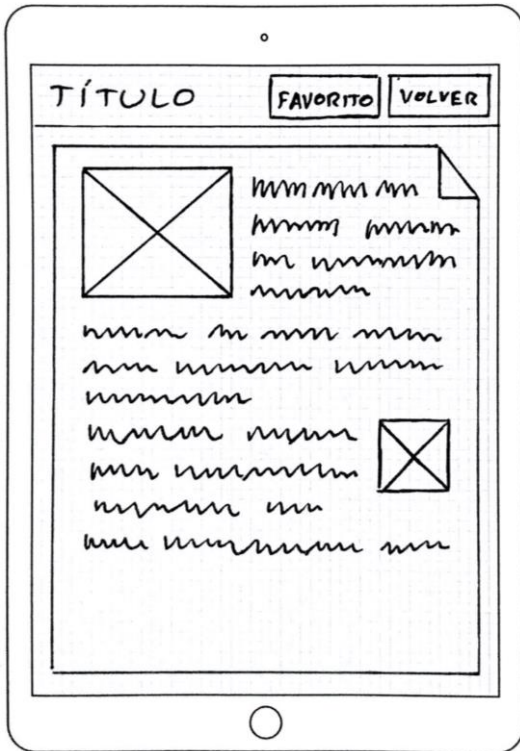
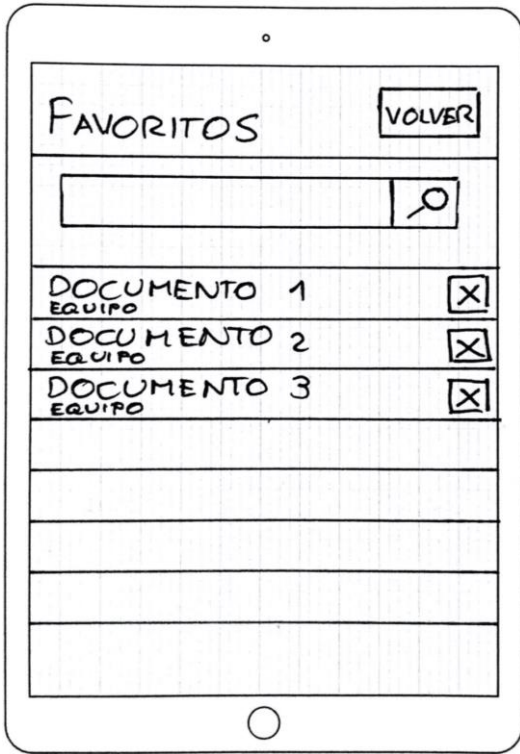


Figura 11. Diagrama de flujo de Validación de equipos.

2.3. Prototipado

2.3.1. Sketches





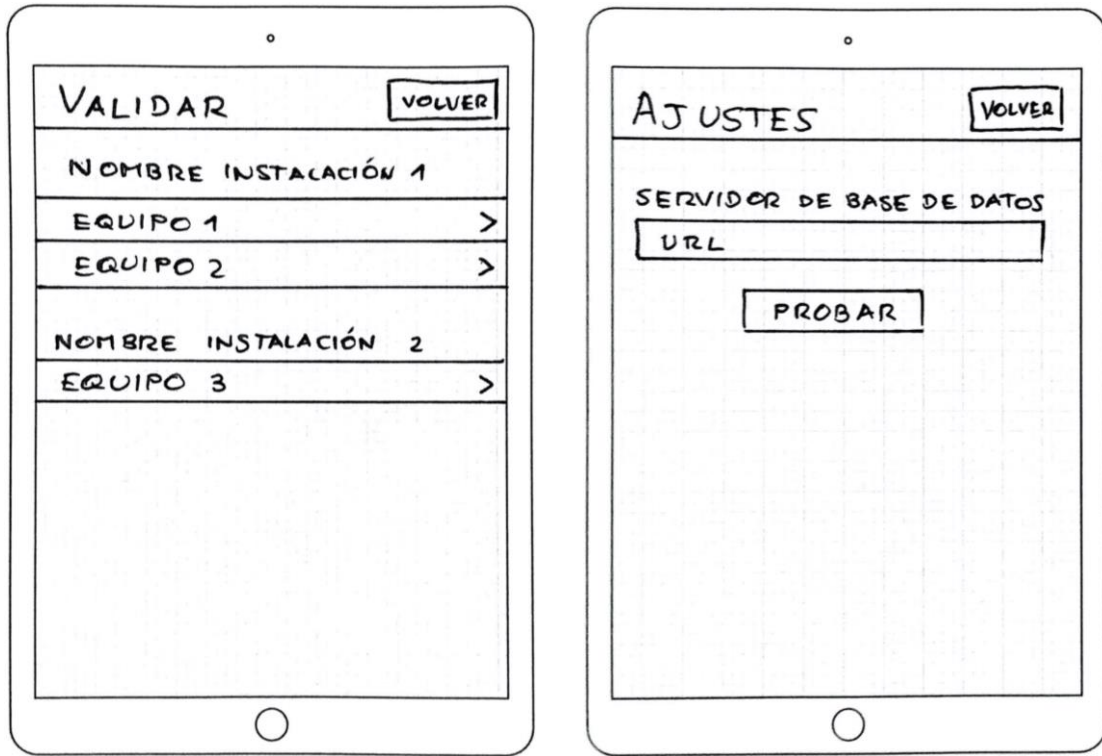


Figura 12. Sketches de la interfaz de la aplicación

2.3.2. Prototipo horizontal de alta fidelidad

Tras analizar diversas herramientas de prototipado, como JustInMind o Adobe XD, se ha decidido emplear la herramienta de *storyboards* del IDE XCode para generar un prototipo dinámico. Esto permite obtener una reproducción casi definitiva de la navegación entre menús y permite reutilizar el contenido generado en la implementación del software final. Desafortunadamente, resulta complicado simular la experiencia de realidad aumentada, por lo que se ha optado por incluir una imagen estática que permita a los usuarios hacerse una idea del funcionamiento final.

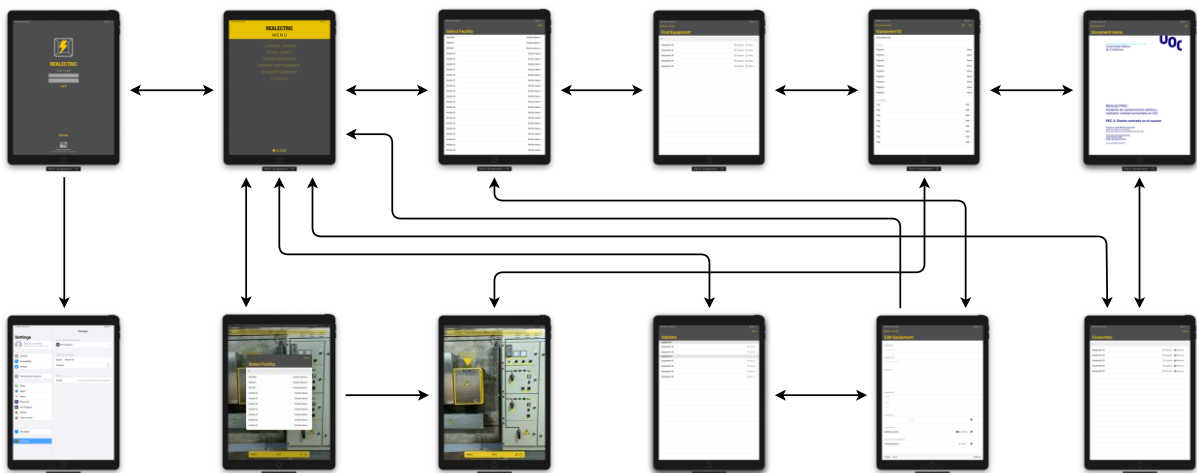
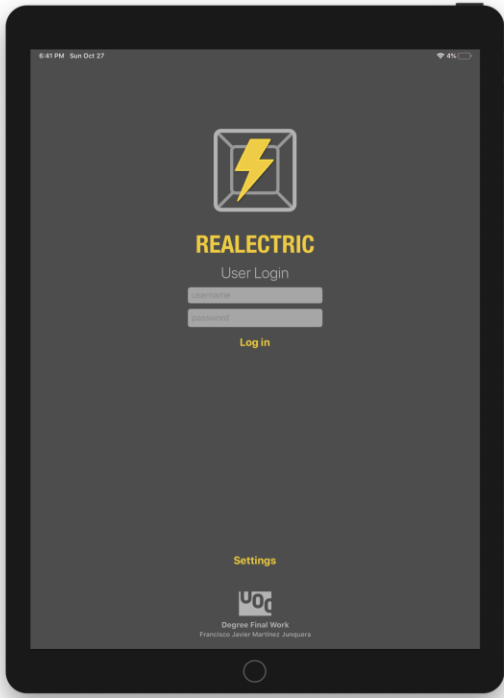
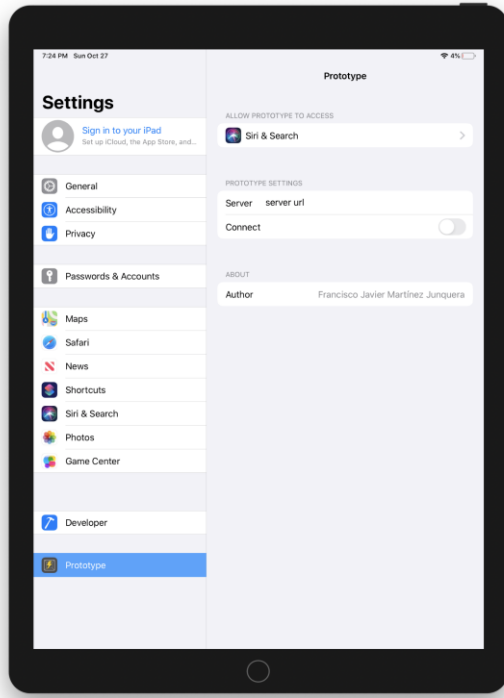


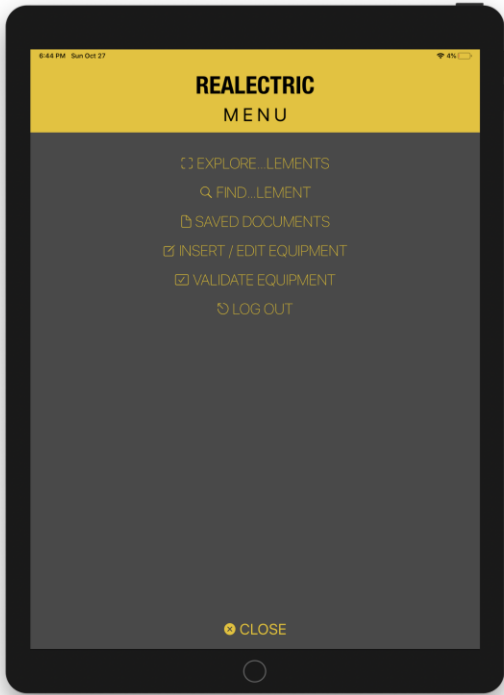
Figura 13. Flujo entre pantallas del prototipo horizontal



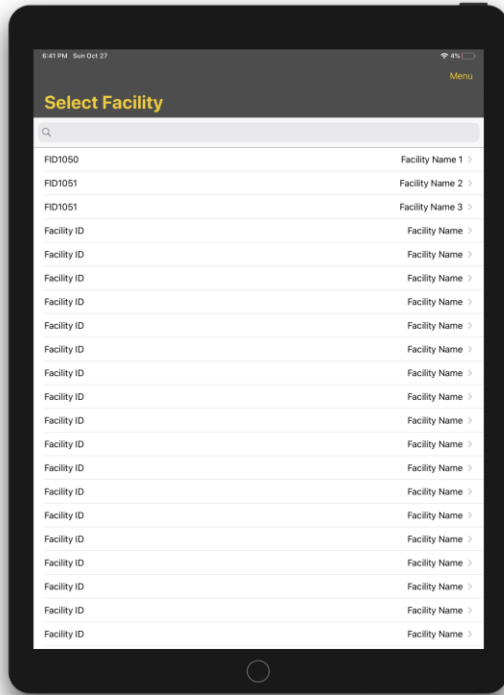
iPad Air (3rd generation) — 13.1



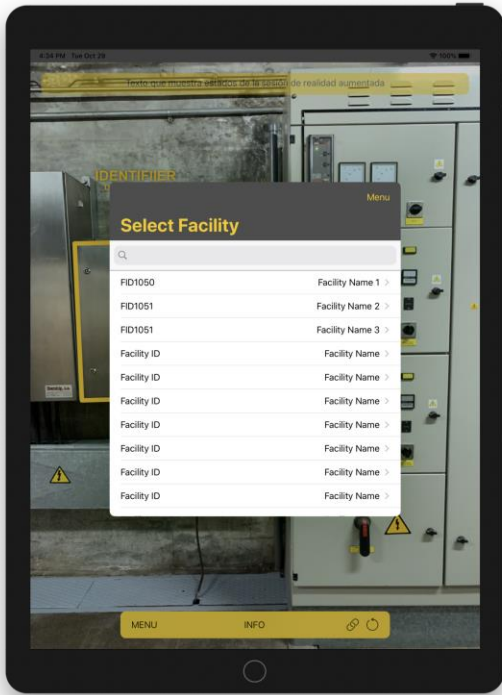
iPad Air (3rd generation) — 13.1



iPad Air (3rd generation) — 13.1



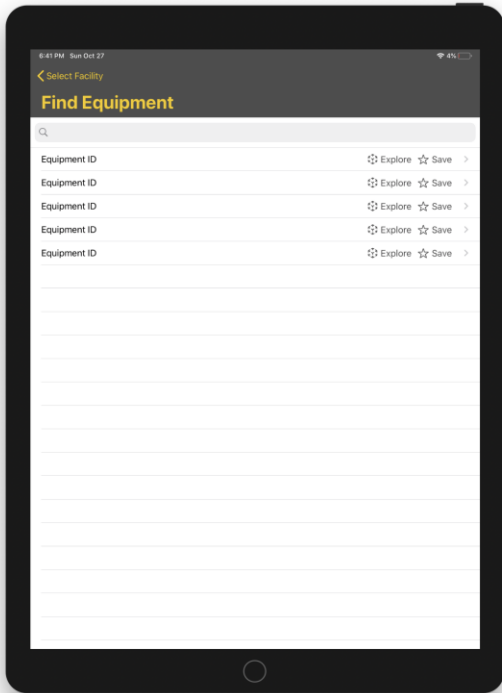
iPad Air (3rd generation) — 13.1



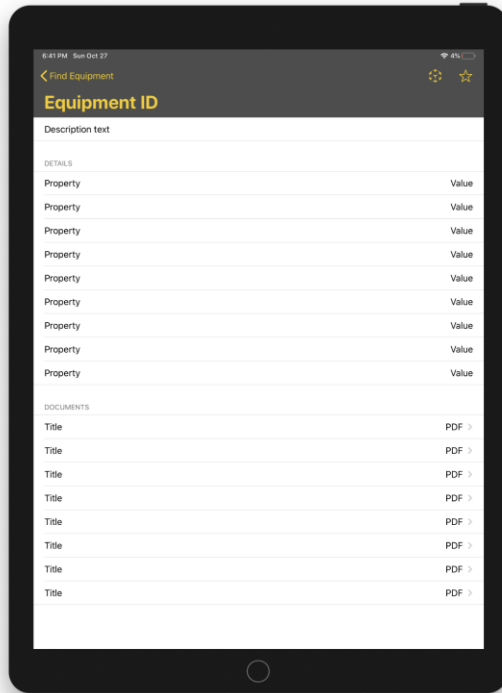
iPad Air (3rd generation) — 13.1



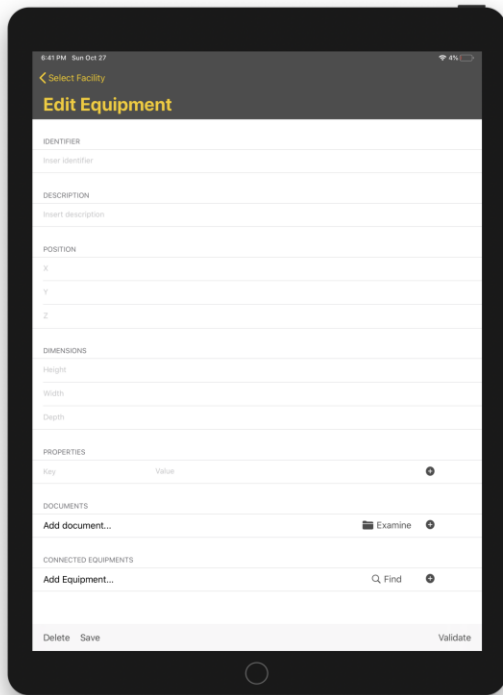
iPad Air (3rd generation) — 13.1



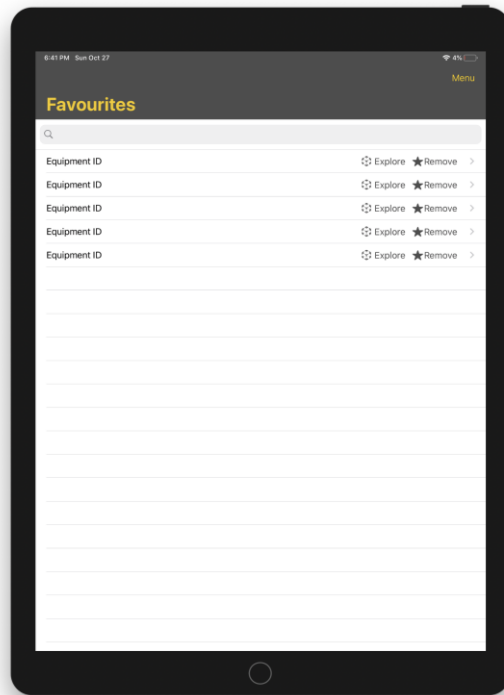
iPad Air (3rd generation) — 13.1



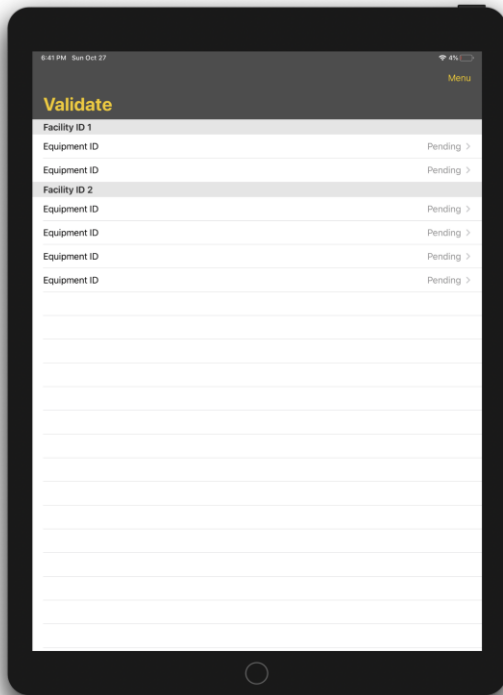
iPad Air (3rd generation) — 13.1



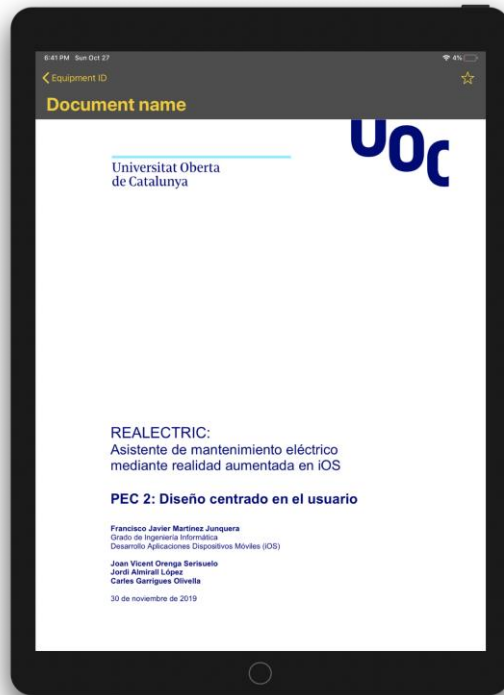
iPad Air (3rd generation) — 13.1



iPad Air (3rd generation) — 13.1



iPad Air (3rd generation) — 13.1



iPad Air (3rd generation) — 13.1

Figura 14. Capturas de pantalla del prototipo horizontal

2.4. Evaluación

Para la evaluación del DCU se llevará a cabo un test con usuarios y se aplicarán algunos métodos de inspección. Las pruebas con usuarios se realizará un estudio de laboratorio para comprobar si la aplicación satisface las necesidades de los usuarios, en referencia a la usabilidad y la consecución de objetivos, así como para detectar posibles puntos de mejora en el diseño de la aplicación. No se han realizado pruebas en contexto debido a que la funcionalidad del prototipo es limitada respecto a la que la aplicación debería proporcionar.

Para registrar las acciones de los usuarios se grabará su interacción con el prototipo, ejecutado en un dispositivo iPad, y se registrarán sus interacciones mediante los logs y realización de capturas de pantalla, herramientas que facilita la IDE de Xcode. Durante la monitorización, se tomarán notas sobre las interacciones y se realizarán preguntas al usuario si se detectan problemas o se le explicarán algunos comportamientos de la aplicación que el prototipo no refleja.

2.4.1. Tareas

Se solicitará al usuario que lleve a cabo las siguientes tareas:

- Iniciar sesión en la aplicación
- Buscar un equipo en una instalación
- Explorar una instalación con realidad aumentada
- Resaltar equipos conectados
- Consultar un documento
- Añadir un equipo nuevo en la base de datos (para perfil senior)
- Validar un equipo que se ha añadido (para perfil encargado)

2.4.2. Preguntas

Previamente a la realización de la prueba se solicitará la siguiente información al usuario:

- ¿Cuál es su nombre?
- ¿Cuál es su género?
- ¿Cuál es su edad?
- ¿Tiene algún problema de visión?
- ¿Puesto de trabajo?
- ¿Cuánto tiempo lleva en ese puesto de trabajo?
- ¿Cuál es su nivel de formación?
- ¿Con qué dispositivos móviles trabaja?
- ¿Qué dispositivos posee a nivel particular?
- ¿Con qué frecuencia los usa en el trabajo / fuera de éste?
- ¿Qué software emplea habitualmente en el trabajo / fuera de éste?
- ¿Hay conexión wi-fi y/o de datos en los lugares que trabaja habitualmente?
- ¿Conoce la realidad aumentada?
- ¿Consulta planos habitualmente?
- ¿Consulta documentos técnicos habitualmente?
- ¿Tiene problemas para localizar equipos en su trabajo?

Para cada tarea se realizan las siguientes preguntas:

- ¿Considera atractivo el diseño?

- ¿Considera práctico el diseño?
- ¿Ha sido sencillo saber lo que tenía que hacer?
- ¿Le ha resultado sencillo realizar las tareas para conseguir su objetivo?
- ¿Ha conseguido su objetivo satisfactoriamente?
- ¿Qué le ha resultado más complicado?
- ¿Tiene algún comentario que nos ayude a mejorar el producto?

Adicionalmente, una vez realizada la prueba se realizan las siguientes preguntas:

- ¿Le parece bien el diseño general?
- ¿Cuál es su opinión sobre la facilidad de uso?
- ¿Considera acertada la solución que se ha empleado?
- ¿Añadiría alguna funcionalidad adicional?
- ¿Tiene algún comentario que nos ayude a mejorar el producto?

La plantilla para el formulario se adjunta en el Anexo 3: Modelo de cuestionario de evaluación.

2.4.3. Métodos de inspección

Adicionalmente a los tests con usuarios, se llevan a cabo ciertas inspecciones de usabilidad sin usuarios. Se lleva a cabo una evaluación heurística del diseño basada en el modelo de las ocho reglas de oro de Schneiderman:

- **Regla 1.** Luchar por la coherencia y la consistencia: Xcode permitirá cambiar fácilmente el formato y diseño a otros dispositivos de tamaños diferentes.
- **Regla 2.** Atajos para usuarios expertos: No se han incluido por el momento.
- **Regla 3.** Feedback: En la versión final se incluirán mensajes de alerta y estado.
- **Regla 4.** Diálogo para mostrar el trabajo pendiente: En la pantalla de realidad aumentada se guiará en los pasos necesarios para la exploración.
- **Regla 5.** Ofrecer una gestión sencilla de los errores. Se utilizarán mensajes de alerta para notificar los errores al usuario.
- **Regla 6.** Permitir una fácil recuperación de las acciones: Dado que cualquier modificación se almacena en el servidor de base de datos, no se producirán posibles pérdidas del avance.
- **Regla 7.** Soportar el control del usuario. Ninguna acción se lleva a cabo de manera automática.
- **Regla 8.** Reducir la carga de información del usuario. La información completa sobre un equipo sólo es mostrada en la pantalla de detalle.

Adicionalmente, se realiza una inspección de estándares, verificando si el diseño cumple con las Human Interface Guidelines de Apple, no incumpliendo ninguna de las recomendaciones.

3. Diseño técnico

3.1. Casos de uso

3.1.1. Diagrama de casos de uso

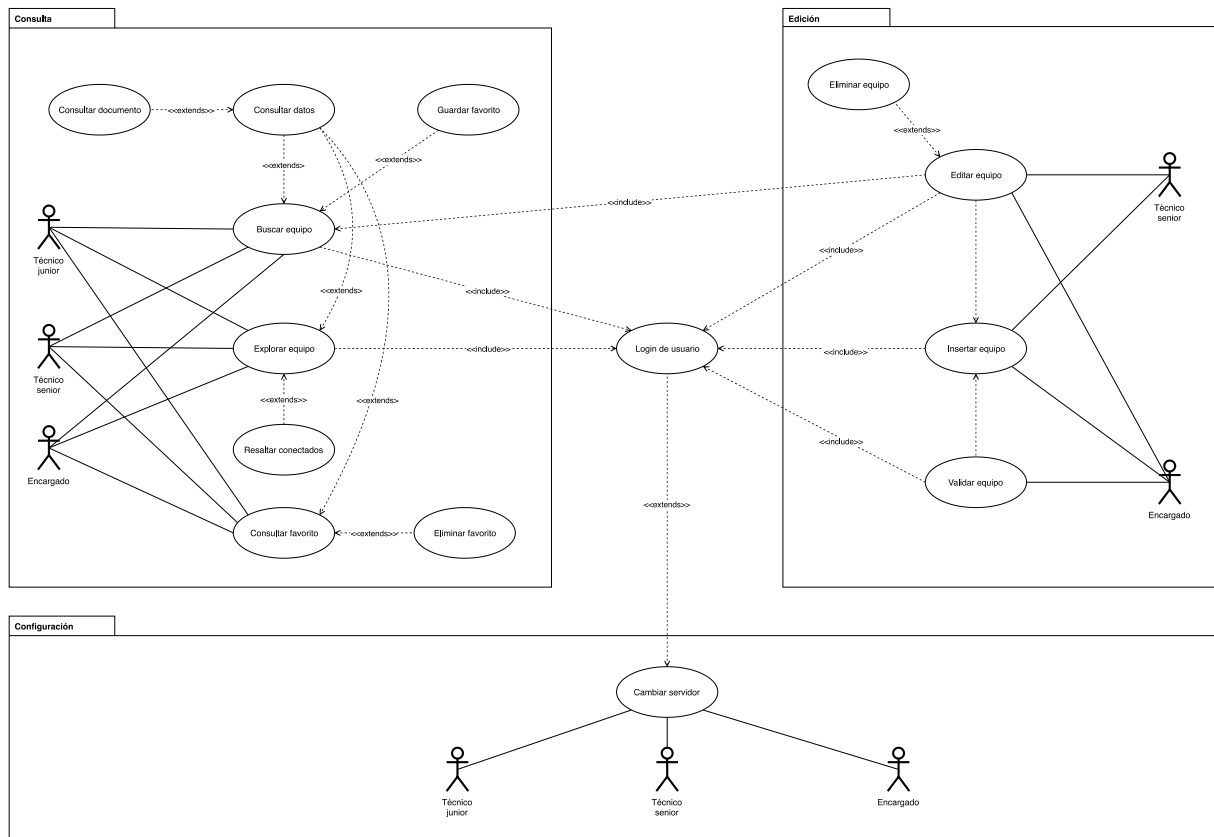


Figura 15. Diagrama de casos de uso

3.1.2. Definición de los casos de uso

Identificador	CU-01
Nombre	Login de usuario.
Prioridad	Alta.
Descripción	Permite a los usuarios autenticarse en el sistema de manera segura para asegurar que sólo tenga acceso personal autorizado a la propiedad industrial.
Actores	Técnico junior, técnico senior o encargado.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none"> El administrador de la base de datos debe haber registrado al usuario. Deben conocerse las credenciales de usuario.
Iniciado por	Técnico junior, técnico senior o encargado.
Flujo	<ol style="list-style-type: none"> Iniciar la aplicación. Introducir las credenciales (usuario y contraseña). Se pulsa el botón de Login.

	4. Si los datos son correctos se autentica en el sistema y accede al menú.
Flujo fracaso	4. Si los datos son incorrectos se muestra un mensaje de error
Postcondiciones	El usuario inicia sesión y accede al menú.
Notas	El sistema puede tener un número máximo de intentos de login. En caso de superar ese número, se podría bloquear la cuenta temporalmente.

Identificador	CU-02
Nombre	Insertar equipo.
Prioridad	Normal.
Descripción	Permite a un usuario autorizado insertar un nuevo equipo (y sus datos) en una instalación.
Actores	Técnico senior o encargado.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Se debe haber iniciado sesión en el sistema. ▪ El usuario debe tener perfil autorizado. ▪ La instalación debe existir en la base de datos. ▪ Deben conocerse al menos el identificador, una descripción del equipo, su ubicación y dimensiones.
Iniciado por	Técnico senior o encargado.
Flujo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Iniciar la aplicación 2. Realizar Login de usuario (CU-01). 3. Seleccionar en el menú Insertar/Editar Equipo. 4. Seleccionar la instalación en la que se ubicará el nuevo equipo. 5. Introducir Identificador. 6. Introducir descripción. 7. Introducir posición (en metros) respecto al token de origen. 8. Introducir dimensiones en metros. 9. Añadir Propiedad y valor (Opcional). 10. Explorar en busca de documento (Opcional). 11. Seleccionar documento para añadir (Opcional). 12. Buscar equipo conectado (Opcional). 13. Seleccionar equipo a añadir (Opcional). 14. Pulsar en Guardar. 15. Se confirma el guardado.
Postcondiciones	Se guarda en la base de datos un equipo con la información mínima necesaria y, opcionalmente, con propiedades, documentos y equipos conectados.
Notas	Sólo se podrá explorar documentos que estén disponibles en el sistema de archivos del dispositivo (esto puede incluir servicios de almacenamiento en la nube, como iCloud o OneDrive).

Identificador	CU-03
Nombre	Buscar equipo
Prioridad	Alta

Descripción	Permite al usuario localizar un equipo en una instalación.
Actores	Técnico junior, técnico senior o encargado.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Se debe haber iniciado sesión en el sistema. ▪ La instalación debe existir en la base de datos. ▪ Deben conocerse al menos el identificador o la descripción del equipo.
Iniciado por	Técnico junior, técnico senior o encargado.
Flujo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Iniciar la aplicación. 2. Realizar Login de usuario (CU-01). 3. Seleccionar Buscar Equipo en el menú. 4. Filtrar instalación según palabra clave (Opcional). 5. Seleccionar instalación. 6. Filtrar equipo según palabra clave (Opcional). 7. Pulsar para localizar el equipo en AR (Opcional).
Flujo fracaso	6. No se muestran equipos.
Postcondiciones	Se obtiene listado de equipos de una instalación.
Notas	Sólo puede filtrarse por Identificador o Descripción

Identificador	CU-04
Nombre	Explorar equipos
Prioridad	Alta
Descripción	Permite a un usuario ubicar equipos generando indicaciones gráficas representadas mediante realidad aumentada.
Actores	Técnico junior, técnico senior o encargado.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Se debe haber iniciado sesión en el sistema. ▪ La instalación debe existir en la base de datos. ▪ Debe haber una imagen de posicionamiento en la instalación.
Iniciado por	Técnico junior, técnico senior o encargado.
Flujo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Iniciar la aplicación 2. Realizar Login de usuario (CU-01). 3. Seleccionar Explorar Equipos en el menú. 4. Filtrar instalación según palabra clave (Opcional). 5. Seleccionar instalación. 6. Calibrar reconocimiento de escena AR. 7. Explorar entorno en busca de imagen de origen. 8. Reconocimiento de la imagen de origen. 9. Explorar entorno para resaltar equipos.
Flujo alternativo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Seguir el caso Buscar Equipo (CU-03). 2. Pulsar localizar equipo en AR.
Flujo fracaso	8. No se reconoce la imagen de origen.
Postcondiciones	Se debe resaltar mediante cuadros y texto en pantalla los distintos equipos de la instalación.
Notas	Se debe utilizar preferiblemente un diseño de alto contraste para establecer el origen mediante reconocimiento de imagen.

Identificador	CU-05
Nombre	Consultar datos de equipo.
Prioridad	Alta.
Descripción	Permite consultar información de un equipo, como su identificador, descripción, propiedades técnicas y documentos disponibles.
Actores	Técnico junior, técnico senior o encargado.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Se debe haber iniciado sesión en el sistema. ▪ Se debe haber buscado un equipo o resaltado uno en el visor de realidad aumentada. ▪ El equipo y sus datos mínimos deben existir en la base de datos.
Iniciado por	Técnico junior, técnico senior o encargado.
Flujo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Iniciar la aplicación. 2. Realizar Login de usuario (CU-01). 3. Seleccionar Buscar Equipo en el menú. 4. Filtrar instalación según palabra clave (Opcional). 5. Seleccionar instalación. 6. Filtrar equipo según palabra clave (Opcional). 7. Seleccionar equipo par ver detalles. 8. Visualizar detalles del equipo.
Flujo alternativo	<ol style="list-style-type: none"> 3. Seleccionar Explorar Equipos en el menú. 4. Filtrar instalación según palabra clave (Opcional). 5. Seleccionar instalación. 6. Calibrar reconocimiento de escena AR. 7. Explorar entorno en busca de imagen de origen. 8. Reconocimiento de la imagen de origen. 9. Explorar entorno para resaltar equipos. 10. Pulsar Info para consultar detalle
Postcondiciones	Debe mostrarse en una única pantalla desplazable al menos el identificador y la descripción del equipo y, opcionalmente, un listado de propiedades y sus valores, documentos disponibles y equipos conectados.

Identificador	CU-06
Nombre	Consultar documento.
Prioridad	Normal.
Descripción	Permite visualizar un documento técnico (plano o manual técnico) referente a un equipo de la instalación.
Actores	Técnico junior, técnico senior o encargado.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Se debe haber iniciado sesión en el sistema. ▪ Se debe haber buscado un equipo o resaltado uno en el visor de realidad aumentada. ▪ El equipo debe existir en la base de datos. ▪ Los documentos deben tener un formato de archivo compatible con el visor de documentos.

Iniciado por	Técnico junior, técnico senior o encargado.
Flujo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Iniciar la aplicación. 2. Realizar Login de usuario (CU-01). 3. Seleccionar Buscar Equipo en el menú. 4. Filtrar instalación según palabra clave (Opcional). 5. Seleccionar instalación. 6. Filtrar equipo según palabra clave (Opcional). 7. Seleccionar equipo para ver detalles. 8. Seleccionar documento a visualizar. 9. Se muestra el documento en pantalla.
Flujo fracaso	9. El documento no es compatible o está dañado.
Postcondiciones	Debe mostrarse un documento navegable y que pueda ampliarse para ver detalles.
Notas	Los formatos más comunes son PDF, DOCX, JPG, PNG y TIFF

Identificador	CU-07
Nombre	Resaltar equipos conectados.
Prioridad	Baja.
Descripción	Permite a un usuario ubicar equipos, conectado a uno previamente resaltado, generando indicaciones gráficas representadas mediante realidad aumentada.
Actores	Técnico junior, técnico senior o encargado.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Se debe haber iniciado sesión en el sistema. ▪ La instalación debe existir en la base de datos. ▪ Debe haber una imagen de posicionamiento en la instalación. ▪ Debe haberse resaltado un equipo en el visor de realidad aumentada.
Iniciado por	Técnico junior, técnico senior o encargado.
Flujo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Llevar a cabo el caso Explorar Equipos (CU-04) 2. Pulsar en resaltar conectados (icono de cadena). 3. Se muestran en otro color los elementos conectados al resaltado.
Flujo fracaso	<ol style="list-style-type: none"> 3. No hay elementos conectados. 4. Se muestra mensaje de advertencia
Postcondiciones	Los elementos conectados son destacados en un color diferente al resaltado en la pantalla de AR.

Identificador	CU-08
Nombre	Validar equipo.
Prioridad	Baja.
Descripción	Permite que un usuario con perfil adecuado valide un equipo añadido a la base de datos para que esté disponible para los usuarios que exploren / busquen equipos en una instalación.
Actores	Encargado.

Precondiciones	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Se debe haber iniciado sesión en el sistema. ▪ La instalación debe existir en la base de datos. ▪ El usuario tiene que tener un perfil que permita realizar la validación. ▪ Debe haberse añadido al menos un equipo a la base de datos sin que se haya validado. ▪ Debe aparecer una notificación de elementos pendientes de validar.
Iniciado por	Encargado.
Flujo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Iniciar la aplicación. 2. Realizar Login de usuario (CU-01). 3. Se recibe notificación de equipos pendientes de validar. 4. Se pulsa el botón Validar equipos. 5. Se selecciona el equipo que se quiere validar. 6. Se verifican los datos del equipo. 7. Se pulsa Validar.
	7. Se pulsa Eliminar o se edita.
Postcondiciones	Se guarda en la base de datos el equipo validado.
Notas	La notificación de elementos pendientes de validar implicará que el botón de validar esté activo. En caso contrario (no hay elementos pendientes) debería estar inactivo.
Identificador	CU-09
Nombre	Editar equipo.
Prioridad	Baja.
Descripción	Técnico senior o encargado.
Actores	Permite a un usuario autorizado editar la información almacenada en la base de datos para un equipo de una instalación.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Se debe haber iniciado sesión en el sistema. ▪ La instalación debe existir en la base de datos. ▪ El usuario tiene que tener un perfil que permita realizar la edición. ▪ Debe haberse añadido a la base de datos el equipo que se pretende editar.
Iniciado por	Técnico senior o encargado.
Flujo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar Buscar Equipo (CU-03). 2. Pulsar Editar. 3. Cambiar la información del equipo en la pantalla de inserción/edición. 4. Pulsar Guardar.
Postcondiciones	Se guardarán las modificaciones en la base de datos como pendientes de validación, sin borrar los datos originales.

Identificador	CU-10
Nombre	Eliminar equipo.
Prioridad	Normal.

Descripción	Permite que un usuario con perfil adecuado elimine un equipo de una instalación.
Actores	Encargado.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Se debe haber iniciado sesión en el sistema. ▪ La instalación debe existir en la base de datos. ▪ El usuario tiene que tener un perfil que permita realizar la eliminación. ▪ Debe haberse añadido a la base de datos el equipo que se pretende eliminar.
Iniciado por	Encargado.
Flujo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar flujo Editar Equipo (CU-09) 2. Pulsar Eliminar. 3. En el mensaje de confirmación se pulsa Eliminar.
Flujo alternativo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar flujo Editar Equipo (CU-09) 2. Pulsar Eliminar. 3. En el mensaje de confirmación se pulsa Cancelar.
Postcondiciones	Si se pulsa eliminar se borrará el equipo de la base de datos y de los favoritos de todos los usuarios.
Notas	Debe valorarse la notificación a usuarios de la eliminación del equipo.

Identificador	CU-11
Nombre	Guardar favorito.
Prioridad	Normal.
Descripción	Permite a un usuario guardar un documento referente a un equipo de una instalación para consulta rápida.
Actores	Técnico junior, técnico senior o encargado.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Se debe haber iniciado sesión en el sistema. ▪ La instalación debe existir en la base de datos. ▪ Se debe haber seleccionado algún documento mediante búsqueda o exploración.
Iniciado por	Técnico junior, técnico senior o encargado.
Flujo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar Buscar Equipo (CU-03) o Consultar Datos de Equipo (CU-05). 2. Se pulsa en Guardar.
Postcondiciones	Se guarda el favorito en la base de datos para el usuario que realiza la acción.

Identificador	CU-12
Nombre	Eliminar favorito.
Prioridad	Baja.
Descripción	Permite a un usuario eliminar un documento del listado de elementos guardados como favoritos.
Actores	Técnico junior, técnico senior o encargado.

Precondiciones	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Se debe haber iniciado sesión en el sistema. ▪ La instalación debe existir en la base de datos. ▪ Debe haberse guardado el documento previamente como favorito.
Iniciado por	Técnico junior, técnico senior o encargado.
Flujo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar Buscar Equipo (CU-03) o Consultar Datos de Equipo (CU-05). 2. Se pulsa Eliminar.
Postcondiciones	Se elimina el favorito en la base de datos para el usuario que realiza la acción.

Identificador	CU-13
Nombre	Consultar favorito.
Prioridad	Baja.
Descripción	Permite a un usuario consultar un documento del listado de elementos guardados como favoritos.
Actores	Técnico junior, técnico senior o encargado.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Se debe haber iniciado sesión en el sistema. ▪ La instalación debe existir en la base de datos. ▪ Debe haberse guardado el documento previamente como favorito.
Iniciado por	Técnico junior, técnico senior o encargado.
Flujo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar Buscar Equipo (CU-03) o Consultar Datos de Equipo (CU-05). 2. Se selecciona el equipo a consultar.
Postcondiciones	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Se muestra la pantalla de detalle del equipo seleccionado. ▪ El detalle está almacenado en el equipo para su consulta offline.
Notas	Evaluar si se deben guardar todos los documentos referentes a un equipo.

Identificador	CU-14
Nombre	Cambiar datos del servidor de base de datos.
Prioridad	Normal.
Descripción	Permite a un usuario cambiar el servidor de base de datos al que se conecta la aplicación para obtener los datos.
Actores	Técnico junior, técnico senior o encargado.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (En caso de prueba de conexión) El usuario debe estar acreditado para acceder a la nueva base de datos.
Iniciado por	Técnico junior, técnico senior o encargado.
Flujo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Iniciar la aplicación. 2. Pulsar en Ajustes. 3. Editar los campos con los datos de conexión al servidor de base de datos. 4. Volver a la aplicación.

	5. Iniciar sesión (CU-01) para comprobar que se tiene acceso (Opcional).
Flujo alternativo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Acceder a ajustes del sistema en el dispositivo. 2. Seleccionar el panel de ajustes de la app Realectric. 3. Editar los campos con los datos de conexión al servidor de base de datos. 4. Abrir / volver a la aplicación. 5. Iniciar sesión (CU-01) para comprobar que se tiene acceso (Opcional).
Flujo fracaso	<ol style="list-style-type: none"> 4. Volver a la aplicación. 5. La configuración es errónea. 6. La aplicación se cierra.
Postcondiciones	La configuración del servidor es correcta y permite conectarse al servidor de base de datos seleccionado.
Notas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Para volver a la aplicación, iOS/iPadOS facilitan una opción en la esquina superior derecha de la pantalla. ▪ Firebase no permite capturar excepciones sobre los fallos de configuración, por lo que se cerrará la app debido al fallo del sistema.

3.2. Base de datos

El siguiente diagrama representa las relaciones entre entidades de la base de datos.

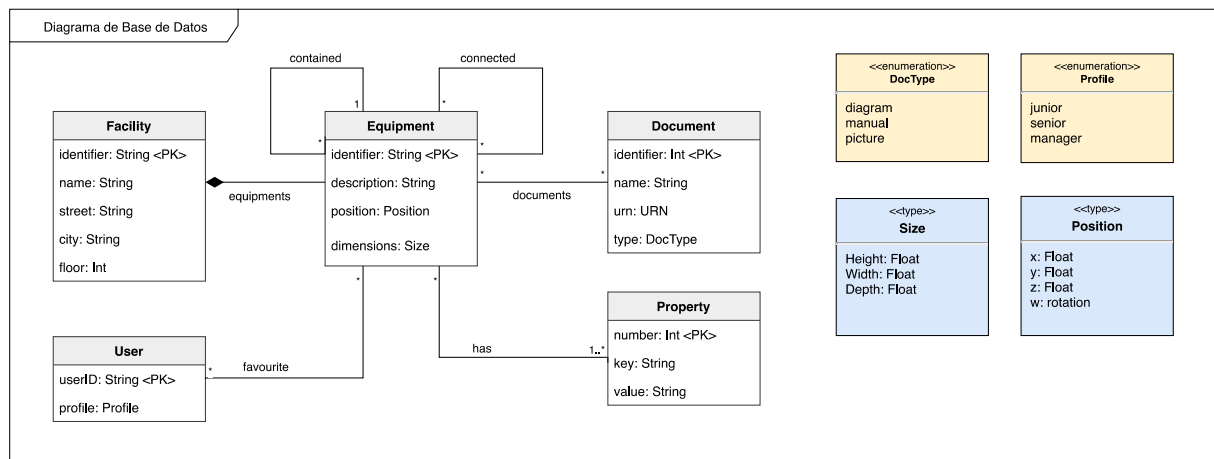


Figura 16. Diagrama de la base de datos

La base de datos que se empleará será Firebase Cloud Firestore, que emplea un modelo NoSQL basado en documentos. Por tanto, será necesario adaptar el modelo relacional a un modelo jerárquico. Afortunadamente, esta labor resulta sencilla debido a la relación de composición entre instalación y equipos, que puede modelarse como una colección. El fabricante puede ser representado como atributo de un equipo al no estar relacionado con otras entidades y las propiedades como una subcolección de equipo. Los usuarios y los documentos (que pueden estar relacionados con múltiples equipos) se modelarán como colecciones adicionales relacionadas, debido a que pueden existir sin relación a equipos.

El diagrama para la base de datos NoSQL quedaría de la siguiente manera:

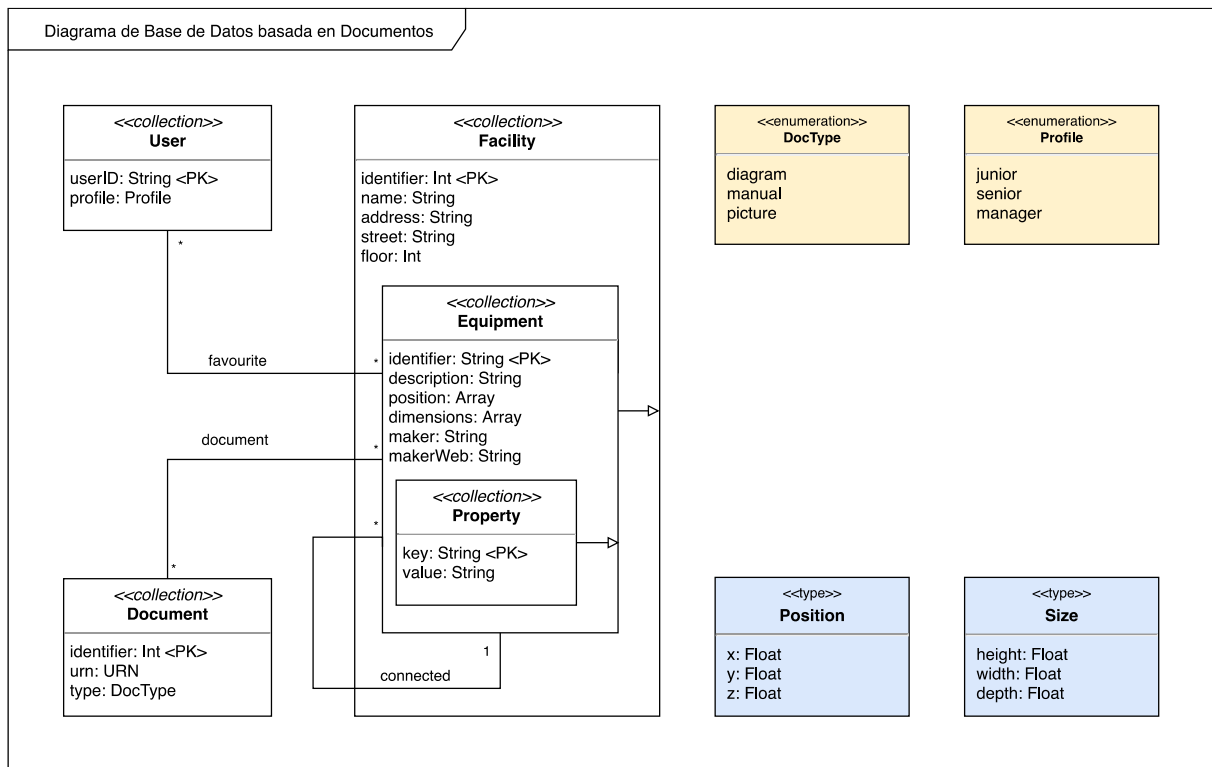


Figura 17. Diagrama de base de datos basada en documentos

3.3. Entidades y clases

El diagrama de clases de la aplicación se muestra a continuación. Para simplificarlo se han obviado las propiedades y métodos de las entidades.

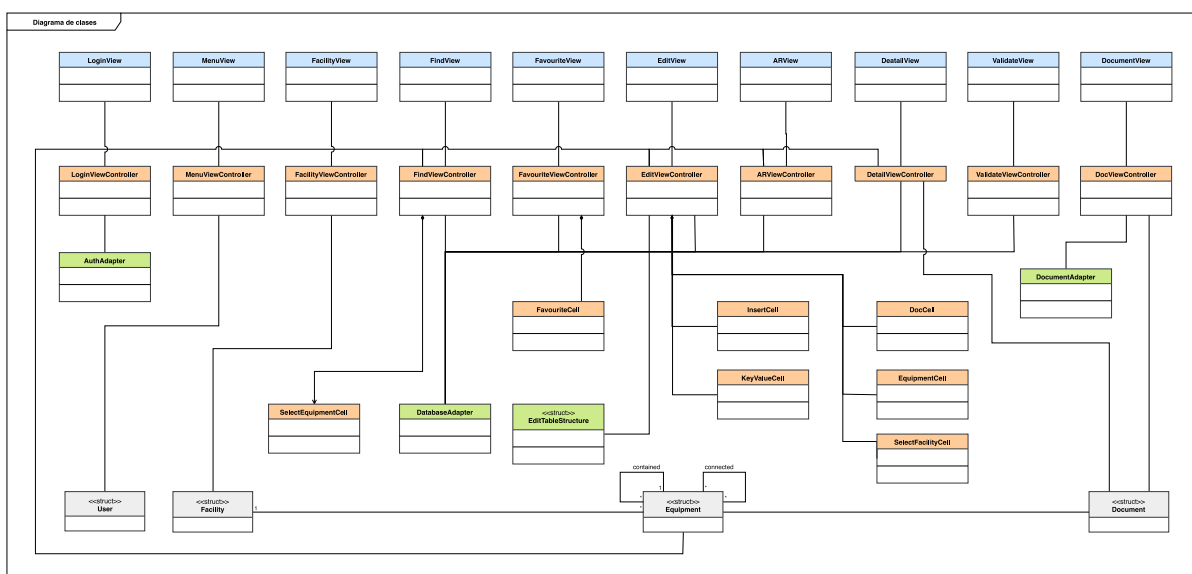


Figura 18. Diagrama de clases simplificado

3.4. Arquitectura del sistema

Aunque podría haberse optado por el nuevo patrón MVVM (Model-View-ViewModel) que introduce el nuevo *framework* SwiftUI de iOS 13, se optará por emplear el viejo patrón MVC (Model-View-Controller) que hasta ahora se empleaba en el desarrollo para iOS con XCode. El principal motivo se basa en la reducida documentación que existe sobre el nuevo *framework* y a la posibilidad de aprovechar material generado en el prototipo de alta fidelidad para la implementación final.

El patrón de software Modelo-Vista-Controlador (MVC) separa los datos y lógica de aplicación de la gestión de eventos y la interacción con el usuario. Para ello se construye la aplicación en torno a tres componentes diferenciados: el modelo, que incluye la información y la lógica de aplicación, la vista, que es una representación del modelo (normalmente una interfaz de usuario), y el controlador, encargado de responder a los eventos generados por el usuario, así como actuar de intermediario entre el modelo y la vista.

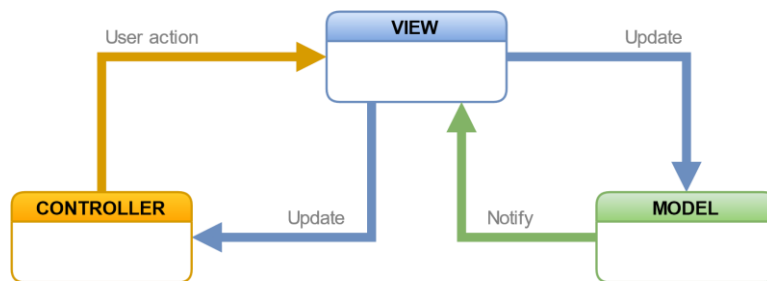


Figura 19. Patrón Modelo-Vista-Controlador (MVC)

La arquitectura del sistema se basa en el uso de Firebase como *backend*. Esto evita la necesidad de desarrollar el software del lado servidor. La implementación de los métodos de acceso, y de los constructores necesarios, se lleva a cabo en las clases modelo, empleando para ello el SDK de Firebase, que accede mediante Websockets a los diferentes servicios necesarios.

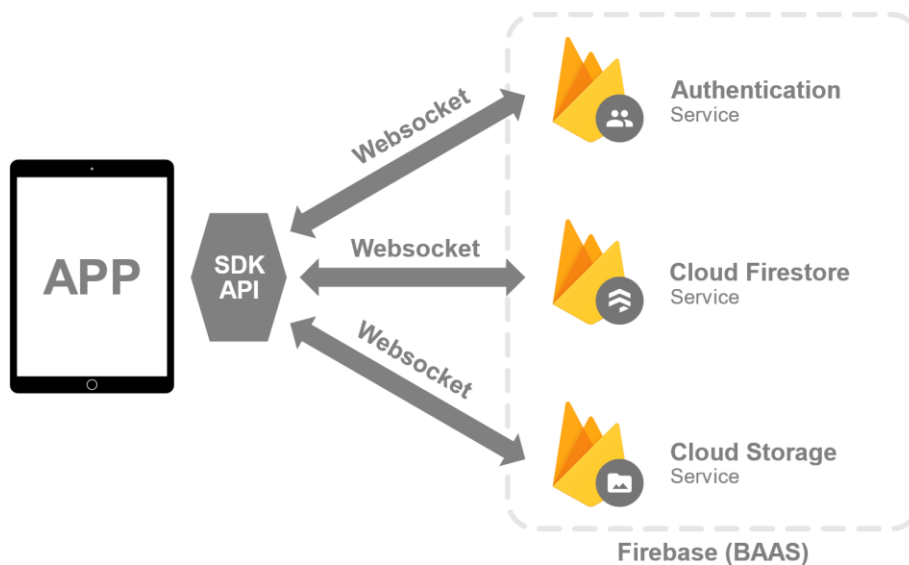


Figura 20. Arquitectura del sistema

Debido a que el sistema de *backend* puede variar en desarrollos posteriores, se optará por adoptar el patrón Adapter para actuar de intermediario con las clases modelo, tal como puede verse en el diagrama de clases.

4. Implementación

4.1. Herramientas y componentes utilizados

Xcode

Xcode es un entorno integrado de desarrollo (IDE) para MacOS, creado por Apple para facilitar el desarrollo de aplicaciones para sus diferentes sistemas operativos. Integra un entorno de desarrollo gráfico de interfaces (Interface Builder), simuladores de los distintos dispositivos móviles de la marca, el compilador Clang, el *debugguer* LLDB y diversas herramientas de diagnóstico. Adicionalmente, incorpora la documentación completa de los distintos *frameworks* de Apple y un visor para su consulta.

Durante el desarrollo del proyecto se ha empleado la versión 11.2 de este software.

Firestore

Firestore es una plataforma de desarrollo móvil desarrollada actualmente por Google (tras la adquisición de Firebase en 2014) en la modalidad de BaaS (*Backend as a service*). Proporciona un conjunto de herramientas en la nube para su integración en aplicaciones móviles multiplataforma sin necesidad de implementar la lógica de servidor, facilitando el desarrollo y la escalabilidad. Emplea como infraestructura Google Cloud Platform.

Dispone de una consola web de control para administrar los proyectos y sus configuraciones. Los servicios que se emplearán en este proyecto y que deberán configurarse son los siguientes:

- **Firestore Authentication.** Provee de un servicio de autenticación de los usuarios empleando únicamente código en el lado del cliente. Además, permite utilizar diferentes proveedores de servicios de inicio de sesión, como Google, Microsoft, Facebook, etc. y un sistema de administración de usuarios basado en correo electrónico y contraseña, que será el empleado inicialmente en el desarrollo por ser un método más universal, aunque cada día son más las empresas que emplean estos servicios externos de autenticación.
- **Firestore Cloud Firestore.** Es una base de datos NoSQL basada en documentos agrupados en colecciones que permite actualizaciones en tiempo real, el almacenamiento offline en caché y la sincronización de datos entre cliente y servidor. Permite el uso de consultas expresivas para recuperar los documentos, con filtros y ordenación en cadena.
- **Firestore Cloud Storage.** Proporciona un servicio de almacenamiento en la nube de forma segura y escalable para cargar y recuperar los documentos empleados por la aplicación móvil.

GitHub

GitHub es una plataforma de desarrollo colaborativo que permite el alojamiento de proyectos de software con control de versiones basado en Git. Actualmente la plataforma pertenece a Microsoft. Permite aprovechar las ventajas de Git de una manera intuitiva y simplificada.

Se ha empleado GitHub para mantener un repositorio privado en el que llevar un registro y control de cualquier cambio que se realice en el código durante todo el ciclo de desarrollo.

Concretamente, se ha sincronizado el repositorio online con el proyecto local directamente en la IDE de Xcode para una gestión de las versiones más sencilla.

CocoaPods

CocoaPods es una herramienta de gestión de dependencias para proyectos basados en el *framework* Cocoa para lenguajes que emplean el runtime de Objective-C, como Swift y Objective-C. Este software facilita la integración de *frameworks* y librerías externas en los proyectos de Xcode. Tiene una interfaz en línea de comandos y emplea archivos de configuración de dependencias denominados Podfiles.

Se ha utilizado para la incorporación de los diversos SDK de Firebase, por recomendación de Google y porque se han encontrado problemas para integrar los *frameworks* al proyecto de forma manual. La versión empleada durante el desarrollo ha sido la 1.8.4.

Affinity Designer

Affinity Designer es un editor de gráficos vectoriales desarrollado por Serif. Se trata de un software propietario multiplataforma. Se ha empleado en la elaboración del proyecto para crear los elementos de arte de la aplicación.

Draw.io

Draw.io es un software gratuito basado en web para el diseño de diagramas. Es de código abierto y puede usarse tanto en línea como fuera de línea. Permite la integración con diferentes plataformas de almacenamiento en la nube y la exportación a múltiples formatos. Se ha usado para diseñar los diferentes diagramas del proyecto.

4.2. Desarrollo de la aplicación

4.2.1. Dependencias

Para integrar Firebase en la aplicación es necesaria la instalación de dependencias de las bibliotecas de su SDK. Las dependencias que ha sido necesario integrar han sido Firebase Core (librería base), Firebase Auth, Firebase Firestore y Firebase Storage. Se ha empleado CocoaPods para su integración. El contenido del archivo de especificación de instalación de dependencias (Podfile) es el siguiente:

```
# Uncomment the next line to define a global platform for your project
platform :ios, '13.0'

def shared_pods
  pod 'Firebase/Core'
  pod 'Firebase/Auth'
  pod 'Firebase/Firestore'
  pod 'Firebase/Storage'
end

target 'Realectric' do
  # Comment the next line if you don't want to use dynamic frameworks
  use_frameworks!

  # Pods for Realectric
  shared_pods
end
```

```

target 'RealectricTests' do
  inherit! :search_paths
  # Pods for testing
  shared_pods
end

target 'RealectricUITests' do
  inherit! :search_paths
  # Pods for testing
  shared_pods
end

end

```

4.2.2. Configuración de Firebase

- **Creación del proyecto de Firebase:** Se introduce el nombre del proyecto y se activan, o desactivan en el caso de este proyecto, las funcionalidades de analíticas de uso que proporciona Firebase.

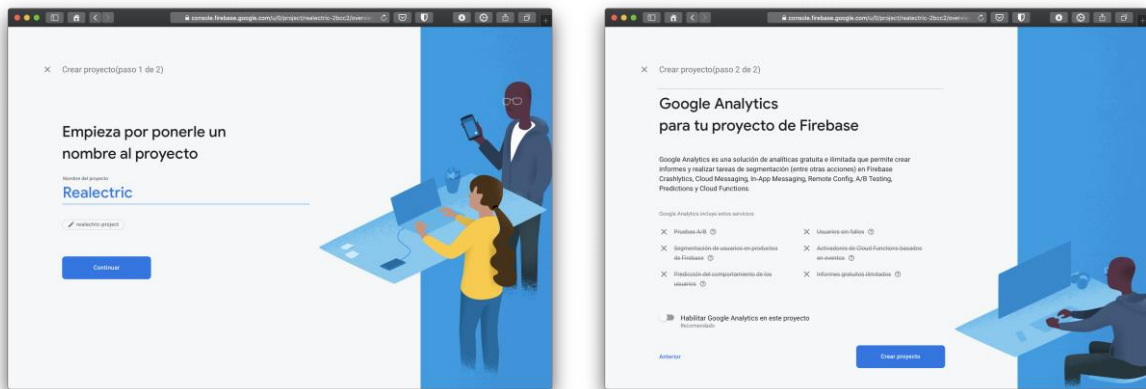


Figura 21. Capturas de la creación de un proyecto en Firebase

- **Ajustes del proyecto e inclusión de la aplicación:** Se elige la ubicación del almacenamiento del proyecto (europe-west), el nombre público (REALECTRIC) y el correo electrónico de asistencia. Una vez hecho esto se registra la aplicación de iOS, con el ID del *bundle* de iOS (uoc.realectric), y se descarga el archivo de configuración que se incluirá en el proyecto de Xcode.

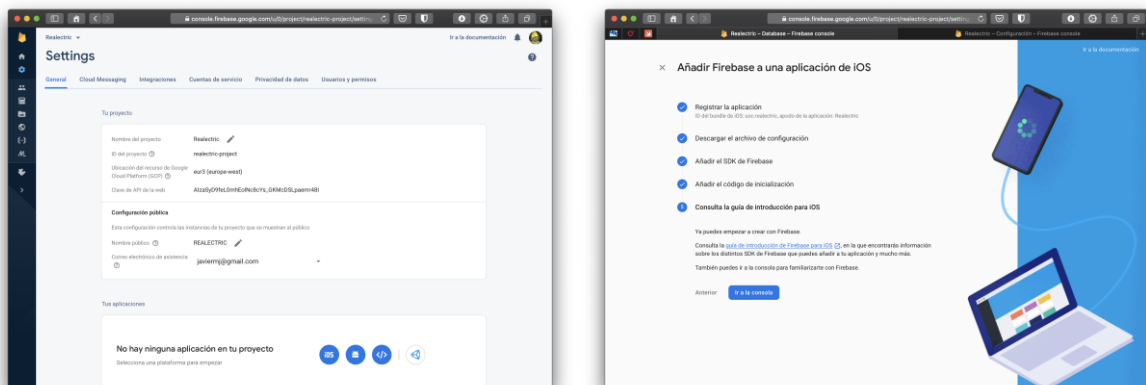


Figura 22. Capturas de la configuración de la aplicación de Firebase

- **Ajustes del sistema de autenticación:** Se selecciona como proveedor de autenticación la modalidad de Correo Electrónico / Contraseña de entre todas las posibles debido a que cada organización puede usar diferentes proveedores de autenticación. En futuras implementaciones se podrían añadir otros proveedores.

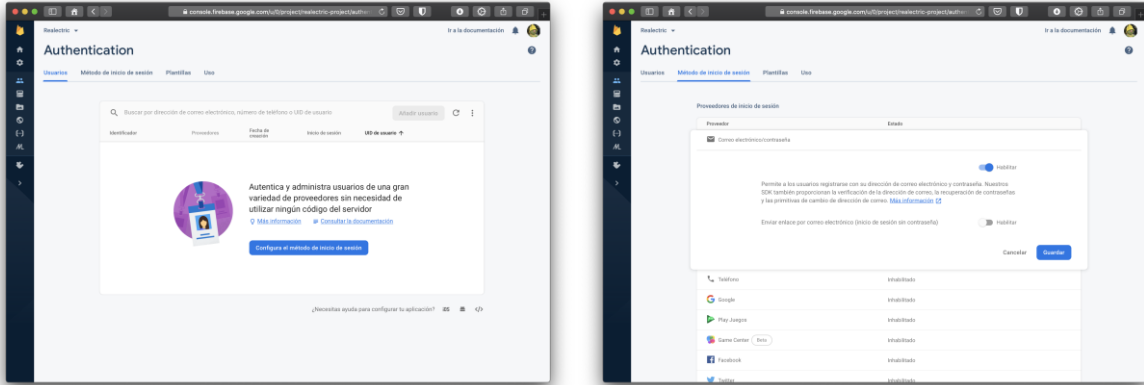


Figura 23. Capturas de la configuración de la autenticación en Firebase

- **Creación de la base de datos:** Se selecciona Firestore y se asigna un nombre a la base de datos. Posteriormente se crean las colecciones de partida de la aplicación, que serían las instalaciones disponibles (sólo el administrador debería crearlas y no se implementa esta funcionalidad), los usuarios y los documentos.

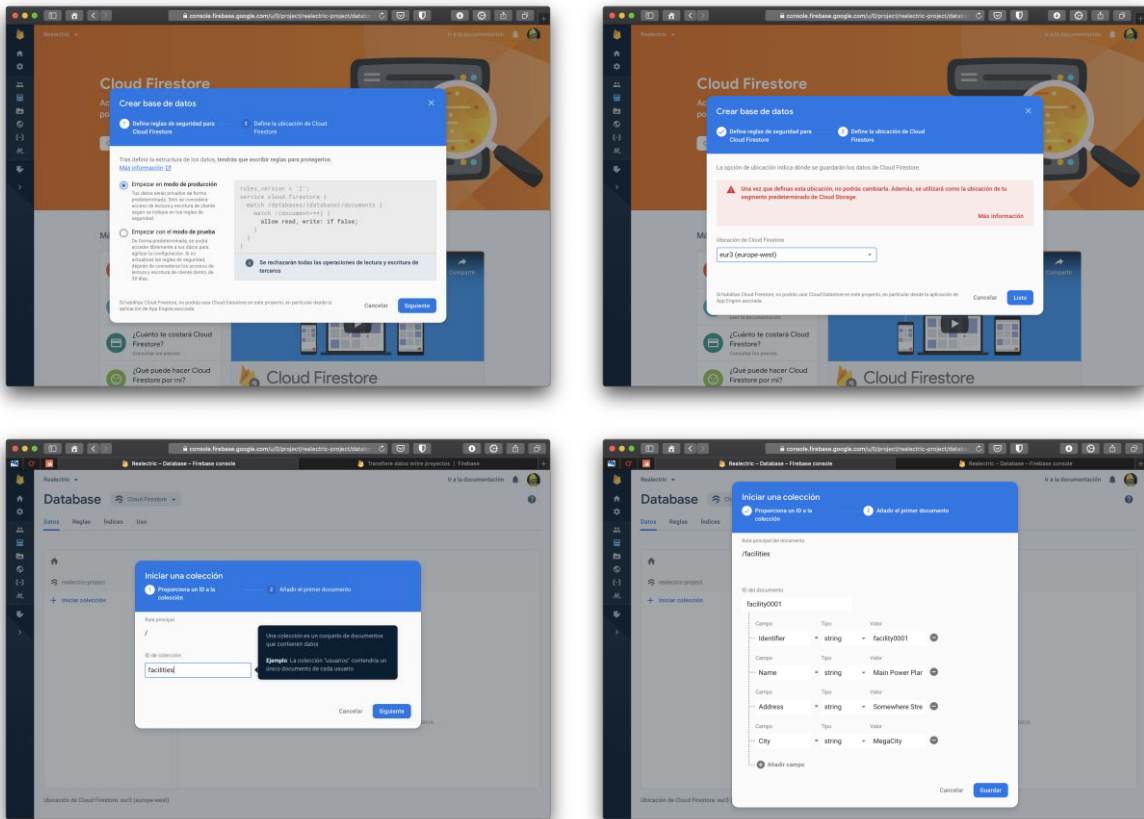


Figura 24. Capturas de la creación de la base de datos en Firebase

- **Creación del espacio de almacenamiento de archivos:** Se establecen las reglas de seguridad y la ubicación de los datos para evitar un acceso libre.

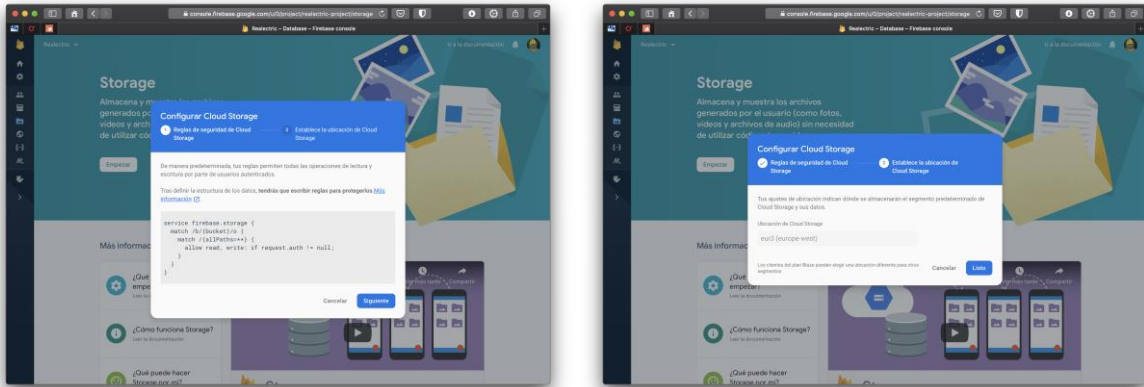


Figura 25. Capturas de la configuración del almacenamiento de archivos en Firebase

- **Configuración del acceso restringido por credenciales:** Para evitar que se pueda acceder a la base de datos y a los archivos sin estar autenticado es necesario establecer diversas reglas en la consola de Firebase.

Para Firebase Cloud Firestore (base de datos):

```
rules_version = '2';
service cloud.firestore {
  match /databases/{database}/documents {
    // Allow read/write access on all documents to any user
    // signed into the application
    match /{document=**} {
      allow read, write: if request.auth.uid != null;
    }
  }
}
```

Para Firebase Storage (almacenamiento de archivos):

```
rules_version = '2';
service firebase.storage {
  match /b/{bucket}/o {
    match /{allPaths=**} {
      allow read, write: if request.auth.uid != null;
    }
  }
}
```


Adicionalmente, se ha creado un segundo proyecto en Firebase, que se ha llamado **Realectric-Alternative**, para poder comprobar que cambiando los parámetros de conexión se puede acceder a otra plataforma que emplee Firebase y que contenga la base de datos de otra entidad para el uso de la aplicación.

4.2.3. Decisiones adoptadas durante el desarrollo

Durante la fase de desarrollo se han llevado a cabo múltiples tareas, tanto de codificación como de diseño. Las decisiones más destacables que se han tomado durante esta fase se resumen en este apartado de la memoria.

Como se ha comentado previamente, el desarrollo se realiza con el SDK para iOS 13, debido especialmente a las mejoras, a nivel de funcionamiento interno, del framework ARKit para esta versión. Además, los dispositivos que, por hardware, soportan cualquier versión del mencionado *framework*, son capaces de ejecutar iOS 13, por lo que el sistema operativo no sería una limitación para el uso de la aplicación.

Storyboard

Para la implementación de la interfaz gráfica se ha optado por utilizar un *storyboard* XIB de Xcode, que permite aprovechar el trabajo realizado en la fase de prototipado.

Estructura de archivos del proyecto Xcode

Para el proyecto se han generado un total de 60 archivos. Para un acceso más sencillo se ha optado por agrupar los archivos según su función dentro de la arquitectura del sistema. Se han organizado en los siguientes grupos:

- **Model:** para las clases o estructuras del modelo y las clases adaptadoras.
- **Controllers:** para ubicar los diferentes controladores de las vistas.
- **Interface:** donde se han colocado los archivos XIB de la interfaz gráfica.
- **Scene objects:** para las estructuras gráficas de la escena de AR.
- **Resources:** para almacenar los archivos, en este caso sólo imágenes, que se emplean en la aplicación.
- **Extensions:** para las extensiones añadidas a las clases controladoras.
- **Protocols:** para ubicar los protocolos que deben seguir las clases.
- **Errors:** para las enumeraciones de gestión de errores.
- **RealectricTests:** para las pruebas unitarias.
- **RealectricUITests:** para las pruebas de interfaz de usuario.
- **Products:** donde se almacenan (automáticamente) los archivos generados en la compilación.
- **Pods:** donde se almacenan (automáticamente) los archivos de configuración del proyecto generados por CocoaPods.
- **Frameworks:** donde se almacenan (automáticamente) las librerías integradas por CocoaPods en el proyecto.

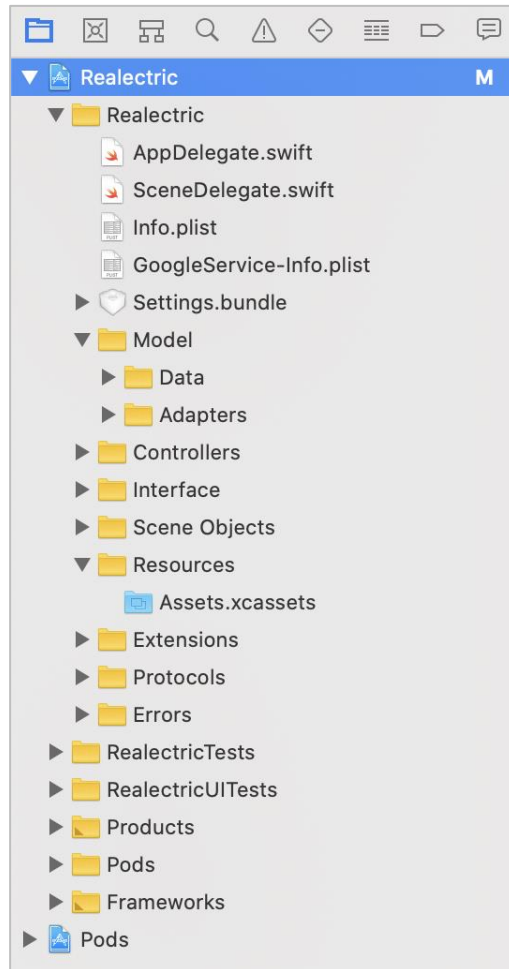


Figura 26. Estructura de archivos

Clases del modelo

Se han creado 3 clases adaptadoras para conectar con los servicios de Firebase. La clase `AuthAdapter` se encarga de autenticar al usuario y devolver su identificador, así como de cerrar la sesión del usuario. La clase `DatabaseAdapter` se encarga de realizar las diferentes consultas a la base de datos y la clase `DocumentAdapter` tiene como funciones la subida y bajada de archivos al servicio Firebase Storage.

El modelo de datos se compone de 4 *structs* que almacenan la información de las distintas entidades necesarias: `Facilities`, `Equipments`, `Documents` y `Users`. Se ha optado por utilizar *structs* por no necesitar herencia y evitar problemas de memoria debido a referencias cruzadas, gracias a que se pasan por valor y no por referencia.

Además, se ha creado otra clase (`EditTableStructure`) para proporcionar un modelo de datos a la tabla de la vista de edición de equipos, bien en blanco o una vez cargado el modelo de equipo. La clase `equipo` también se ha extendido para proporcionar una estructura tabular de los datos de un equipo.

Clases controladoras

Cada vista de la aplicación lleva asociada una clase controladora. Aquellas clases que actúan como delegadas se han extendido para incluir los métodos que exigen implementar los protocolos delegados.

Celdas personalizadas

Se ha creado una subclase de UICollectionViewCell para cada una de las celdas con formato personalizado y, para aquellas que generan acciones en la aplicación, se ha creado un prototipo para utilizar el patrón delegado (*delegate*) en los controladores de las tablas (UITableViewController).

Consultas en grupos de colecciones

Para realizar búsquedas de equipos que no han sido validados es necesario realizar consultas en múltiples colecciones, una para cada instalación. Esta acción implicaría multitud de solicitudes al servidor. Para evitarlo, Firestore permite realizar consultas en múltiples colecciones al mismo tiempo. Así se podrán realizar búsquedas directamente en las subcolecciones de equipos dentro de los documentos que almacenan la información sobre las instalaciones o equipos guardados como favoritos. Para conseguirlo es necesario crear, en la consola de Firebase, una exención en los índices de campo único, para las colecciones "equipments" y "favourites".

The screenshot shows the 'Compuestos' section with the 'Campo único' tab selected. It displays the 'Configuración de indexación automática' settings. A dark blue information banner explains that Cloud Firestore creates defined indexes with automatic configuration for each added field, and that simpler queries are enabled by default. Below this, a table shows the status of automatic indexing for 'Índices' (Ascending, Descending, Matrices) and 'Collection scope' (Habilitado) and 'Collection group scope' (Inhabilitado). The 'Exenciones' section below contains a table with columns for 'ID de colección', 'Ruta del campo', 'Permiso de colección', and 'Permiso de grupo de colecciones'. Two exemptions are listed: 'favourites' with field 'Equipment' and 'equipments' with field 'validated'. Both have 'No changes from automatic index settings' and are set to 'Ascendente' with '+ 2 unchanged' items. A 'Añadir exención' button is visible in the top right of the exemptions table. At the bottom, there is a pagination control showing 'Items per page: 25' and '1 - 2 of 2'.

Índices	Collection scope ?	Collection group scope ?
Ascendente Consultar igualdad y ordenar los resultados de la consulta de menor a mayor	✓ Habilitado	⊘ Inhabilitado
Descendente Consultar igualdad y ordenar los resultados de la consulta de mayor a menor	✓ Habilitado	⊘ Inhabilitado
Matrices Consultar valores incluidos en matrices	✓ Habilitado	⊘ Inhabilitado

ID de colección	Ruta del campo	Permiso de colección	Permiso de grupo de colecciones
favourites	Equipment	No changes from automatic index settings	✓ Ascendente + 2 unchanged
equipments	validated	No changes from automatic index settings	✓ Ascendente + 2 unchanged

Figura 27. Configuración de un índice de campo único mediante exención en Firebase

Peticiones asíncronas

En las peticiones asíncronas a los modelos de autenticación, base de datos y obtención de documentos, se ha optado por emplear el patrón de devolución de llamada o *callback*, para obtener los resultados y acciones consecuentes una vez que se han completado las solicitudes.

Uso de expectativas

Para la evaluación de las llamadas a servidor sin respuesta, y para llevar a cabo las pruebas unitarias sobre métodos asíncronos, se emplearán las que se denominan “expectativas”. Es un concepto parecido al de las promesas de otros lenguajes, en el que estos objetos, dotados de un identificador, actúan como testigos de la finalización de los *callbacks* dentro de un tiempo que podemos establecer. Cuando hay retorno de las peticiones asíncronas se llama a la función de “llenado” (*fulfil*) de la expectativa. Si estas expectativas (o promesas) no se han cumplido (llenado) en el tiempo que se ha determinado como válido, se da por fallido el resultado.

Adaptación a diferentes orientaciones

Se han empleado restricciones (*constraints*) para adaptar la interfaz a las diferentes orientaciones del dispositivo. Su implementación se ha llevado a cabo en el archivo del storyboard. Estas restricciones permiten posicionar según diferentes parámetros, como ancho, alto, alineación, etc. y fijar estas posiciones a determinados bordes u objetos.

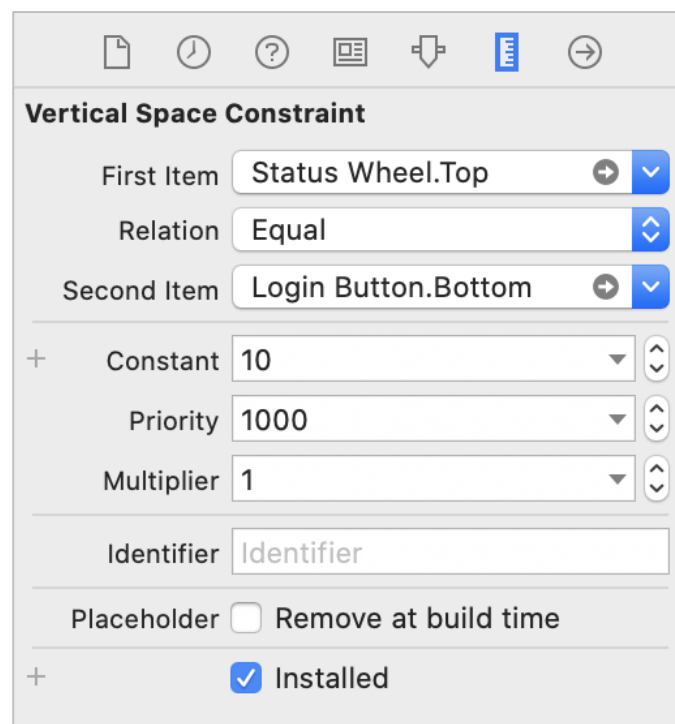


Figura 28. Panel de edición de constraints

Alertas simples

Para notificar errores es común la presentación de alertas con título y mensaje, así que se ha extendido la clase UIViewController con un método (showSimpleAlert) que admite como parámetros el título y el mensaje, y que agrupa todas las instrucciones necesarias para mostrar la alerta por pantalla.

Colas de procesamiento multihilo

Debido a que el renderizado de las imágenes en la sesión gráfica de la vista de realidad aumentada requiere de una gran carga de procesamiento, se emplea DispatchQueue (“despachador” de colas) para enviar las tareas relacionadas con SceneKit a otro hilo que se ejecute en segundo plano de manera asíncrona, evitando así la posible congelación de la interfaz de usuario, que se ejecuta en el hilo de procesamiento principal.

Login con teclado

Adicionalmente al botón de Login se ha añadido el código necesario para poder completar la operación mediante la tecla enter del propio teclado.

Documentación

Se ha generado la documentación del código siguiendo la sintaxis específica para XCode, facilitando así la reutilización de código de las clases modelo y su modificación.

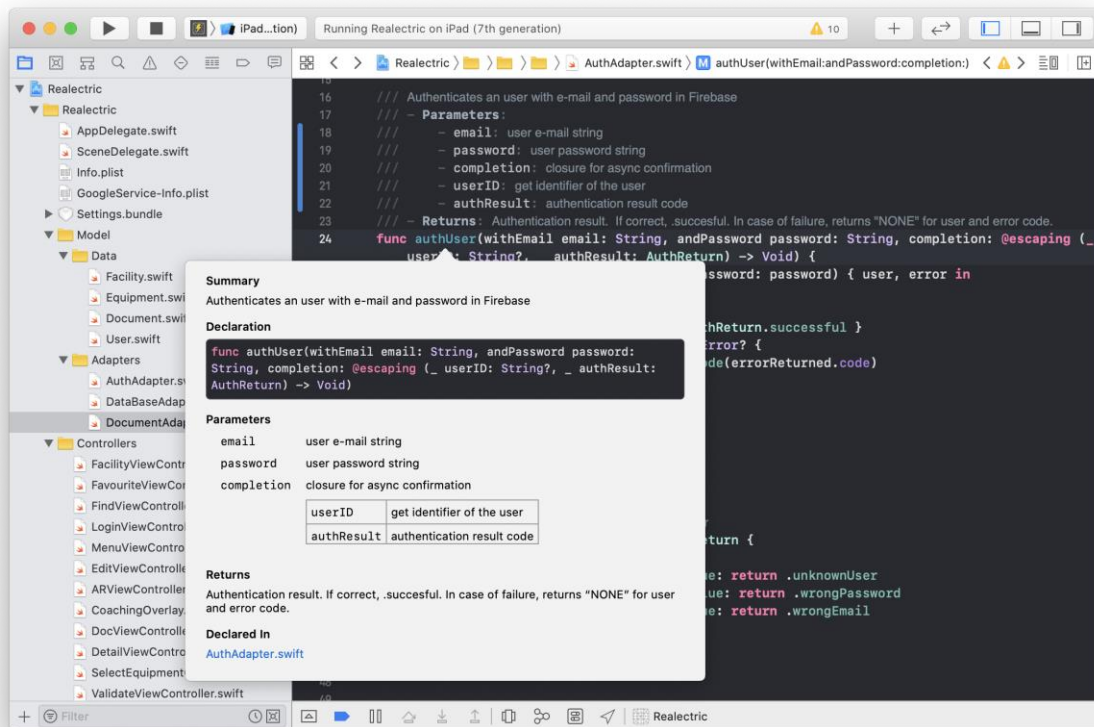


Figura 29. Ejemplo de documentación generada

4.3. Tareas adicionales al desarrollo

Adicionalmente a las tareas de programación de los distintos componentes de la aplicación, ha sido necesario elaborar otros recursos digitales y físicos, que se describen a continuación:

Icono de la aplicación

iOS exige que se incluyan en la aplicación versiones del icono de la aplicación con diferentes tamaños y resoluciones, para adaptar el icono a diferentes situaciones y usos dentro del sistema. Para su diseño se ha empleado el software Affinity Designer y se ha tratado de reflejar una asociación entre la realidad aumentada y los sistemas eléctricos con los que se empleará.



Figura 30. Icono de la aplicación

Imagen de rastreo del origen de coordenadas

Para que el sistema tenga un punto de referencia a partir del cual ubicar los distintos equipos situados en una instalación se ha optado por el reconocimiento de una imagen de referencia. Cuando el sistema reconoce la imagen, establece un *anchor* o punto de anclaje para el origen de coordenadas.

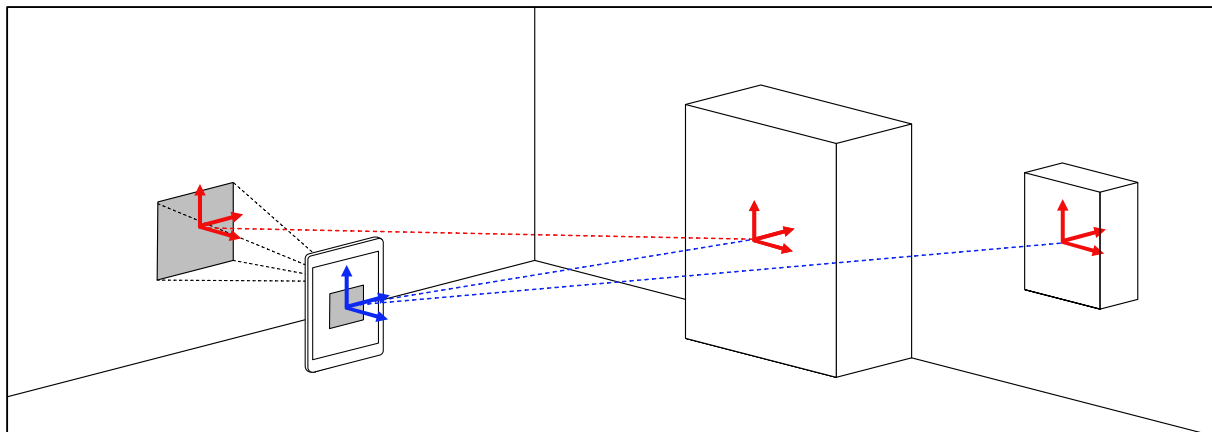


Figura 31. Obtención del punto de referencia del origen

Se ha diseñado una imagen con una alta granularidad de colores y con formas geométricas fácilmente diferenciables, para facilitar el reconocimiento de imagen por parte de la aplicación. Las dimensiones de la imagen impresa deben tener un tamaño exacto de 100x100mm (que son las dimensiones que se le han asignado en el proyecto), para que pueda realizarse el cálculo de la distancia desde el dispositivo hasta la imagen de rastreo.

La imagen de rastreo se ubicará en una pared, en una ubicación que será tomada como punto de origen de coordenadas de la instalación física.

La imagen empleada se ha adjuntado en el Anexo 4: Imagen de rastreo del origen. Para su impresión debe asegurarse que se conserva la relación de aspecto y el tamaño original.

Maquetas para el entorno de pruebas

Para llevar a cabo las pruebas del sistema de realidad aumentada, ha sido necesario elaborar unas maquetas que simulen la apariencia de equipos eléctricos reales. El motivo de no usar instalaciones reales se debe al carácter público de este documento, que puede derivar en infracciones de las leyes sobre propiedad industrial. Se han empleado cajas de cartón con imágenes impresas en su exterior. Se describe en el apartado de pruebas.

4.4. Estado del proyecto

A la finalización de la PEC3, se ha conseguido desarrollar todas las funcionalidades planificadas al principio del proyecto. Sin embargo, algunas presentan errores y anomalías en su funcionamiento. Afortunadamente, en la planificación se había contemplado un periodo de 18 horas, distribuidas en 5 días, que permitirán corregir estos problemas de funcionamiento en la entrega final del proyecto.

Durante la fase de implementación me han surgido problemas laborales y de salud que han impedido dedicar el tiempo que se había planificado inicialmente, por lo que los retrasos se han ido acumulando.

Por otra parte, la configuración de Firebase en Xcode ha presentado grandes complicaciones que han requerido incrementar enormemente la duración de esta fase (que se había planificado para 2 horas inicialmente) hasta llegar a las 10 horas.

Con estos retrasos, para conseguir llegar en plazo a la entrega de la aplicación ha sido necesario comprimir las horas dedicadas a las actividades de desarrollo en una cantidad de días inferior. Además, se ha tenido que reducir el tiempo dedicado a la fase de pruebas, que estaba planificada al final de la PEC3. La fase de integración entre funcionalidades ha generado problemas y se ha debido ampliar su duración, así como en la fase de corrección de errores. A continuación, se muestran los cambios:

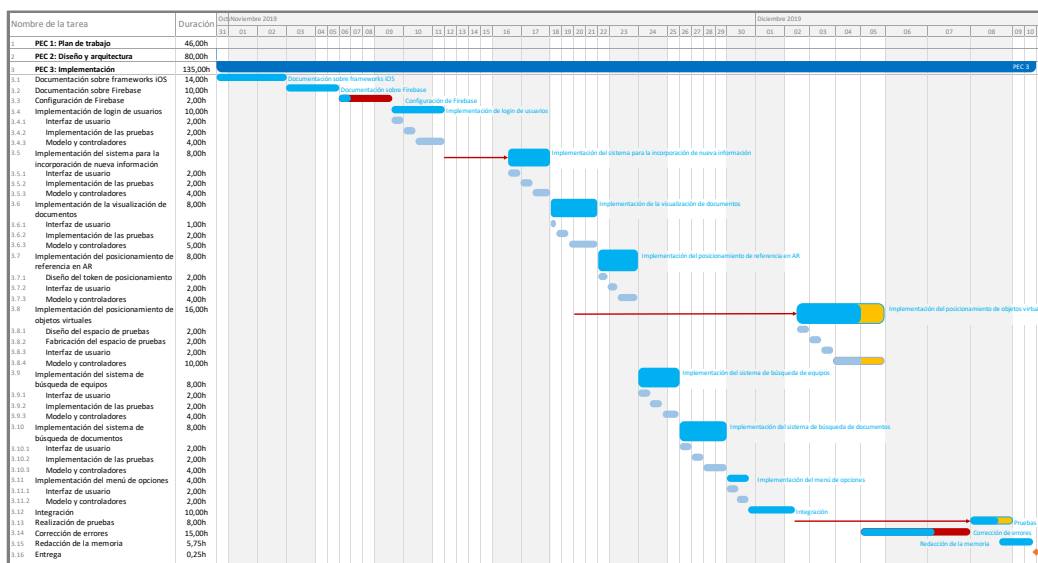



Figura 32. Desviaciones en la planificación

4.5. Producto entregable

Finalizada la fase de implementación se obtiene la aplicación REALECTRIC para iPad, que incorpora las funcionalidades planificadas al inicio del proyecto y aplicando diseño centrado en el usuario. Con la entrega de esta memoria se incluye el contenido del proyecto de Xcode y se distribuye la aplicación al tutor.

Debido a que Apple no permite la instalación manual de aplicaciones, la distribución de la aplicación se llevará a cabo a través de la plataforma de testeo denominada TestFlight. Esta plataforma permite invitar a usuarios para que usen versiones beta de la aplicación y proporcionen *feedback* sobre los fallos que presenta ésta, tanto de manera automática (mediante analíticas) como en forma de comentarios escritos.

	Enlace de TestFlight para la aplicación: https://testflight.apple.com/join/Dk97Ycgu
Usuario de prueba (con perfil de manager): Usuario: fjmartinezj@uoc.edu Contraseña: testpwd-02	

4.5.1. Manual de usuario

Para facilitar el manejo de la aplicación y resolver dudas sobre el uso de las distintas opciones de la aplicación se ha elaborado un manual de usuario escrito que se adjunta en el Anexo 5: *Manual de usuario*.

5. Pruebas

Para asegurar el correcto funcionamiento de la aplicación es necesario realizar una serie de pruebas que verifiquen que el código desarrollado proporcione las salidas esperadas para unas entradas determinadas y que realice el proceso de manera correcta y eficiente.

Con este objetivo marcado se llevan a cabo pruebas unitarias para verificar el funcionamiento interno de la aplicación, pruebas de interfaz de usuario para verificar el comportamiento de la interfaz y pruebas de carga para verificar el comportamiento de la aplicación cuando el conjunto de datos presenta un tamaño considerable.

Además, se realizarán pruebas manuales de comportamiento de la interfaz de realidad aumentada, debido a que ésta no permite la automatización de las pruebas. A continuación, se describen los procesos de prueba que deben llevarse a cabo con la aplicación.

5.1. Pruebas unitarias

Las pruebas unitarias, que son fragmentos de código que se diseñan para comprobar el funcionamiento de un código determinado, se realizan sobre el simulador de un iPad (7ª generación) con iOS 13. Para realizar las pruebas se ha empleado el *framework* XCTest de Apple, ya que se integra perfectamente con los flujos de trabajo de Xcode y proporciona resultados en tiempo real y automatizados.

La batería principal de pruebas unitarias se encargará de validar aquellas funcionalidades que implican interacción con el servidor y sobre los resultados obtenidos en función de los parámetros enviados.

Por otra parte, se deberían llevar a cabo pruebas para el sistema de validación de datos introducidos, por ser una de las funcionalidades más críticas y en las que existe mayor posibilidad de fallo dentro de la aplicación.

Las pruebas que deben formar parte de esta batería son las siguientes:

Para el cambio de ajustes:

- Con ajustes correctos es posible hacer login de usuario y acceder a la base de datos.
- Con ajustes incorrectos no es posible iniciar la librería de Firebase y la aplicación se bloquea (Firebase no implementa ninguna funcionalidad para esta verificación).

Para el login de usuario se tiene que verificar:

- Que con credenciales incorrectas no es posible loguearse y que el sistema informa sobre ello.
- Que con credenciales correctas se obtiene acceso al sistema y se retorna el identificador de usuario para su uso posterior.

Para la obtención del listado de instalaciones registradas en la base de datos:

- Que no estando autenticado no sea posible obtener el listado
- Que estando autenticado se obtenga un listado con las instalaciones almacenadas para la prueba.
- Que se obtenga un listado vacío, pero sin error, si no hay instalaciones.
- Que se obtenga error en caso de fallo en la consulta

Para obtener el listado de equipos:

- Que para una determinada instalación se obtengan los equipos registrados si existen.
- Que no se obtenga listado si no existe la instalación en la base de datos
- Error en caso de fallo de la consulta.

Para los detalles de un equipo:

- Dado un identificador y para una instalación se obtengan los detalles de un equipo cuyos datos se conocen previamente, y coinciden.

Para el guardado de favoritos:

- Que una vez guardado un favorito se pueda recuperar este en el listado.
- Que una vez eliminado no se pueda recuperar.

Para la inserción de nuevos equipos:

- Que no sea posible insertar equipos sin el perfil de usuario adecuado.
- Que no puedan introducirse datos erróneos.
- Que una vez guardada la información se pueda recuperar y conserve su integridad.

Para la eliminación de equipos:

- Que una vez eliminado no se pueda recuperar su información.

Para la validación de equipos:

- Que se puedan recuperar aquellos equipos que están pendientes de validar agrupados por instalación.
- Que no se puedan recuperar si se han eliminado.
- Que una vez validados no se muestren en el listado.
- Que una vez validado se muestre en el listado de equipos.

Para la visualización de documentos:

- Que para un equipo que tenga registrados documentos se pueda recuperar de la base de datos y que se cargue correctamente en el visor.

Ejemplos de pruebas unitarias

El fragmento de código siguiente corresponde a la prueba unitaria realizada para verificar el login correcto de un usuario con credenciales correctas:

```
func testCorrectCredentials() {
    // Declares expectation
    let expectation = self.expectation(description: "wrong password")

    // Authenticate user
    auth.authUser(withEmail: username, andPassword: password) { user, result in
        // User returned not nil
        XCTAssertNotNil(user)
        // User identifier is correct
        XCTAssertEqual(user == self.userID)
        // Result not nil
        XCTAssertNotNil(result)
        // Operation result is correct
        XCTAssertEqual(result == .successful, "result is \(result)")
        expectation.fulfill()
    }

    waitForExpectations(timeout: 5, handler: nil)
}
```

```

// Log out
auth.signOutUser()
}

```

El fragmento de código siguiente corresponde a la prueba unitaria realizada para verificar que no se pueden obtener resultados sin estar autenticado:

```

func testErrorWhithNoAuthentication() {

    // Logout user if logged
    let authService = Auth.auth()
    try? authService.signOut()
    XCTAssertNil(try? authService.getStoredUser(forAccessGroup: nil))

    // Expectation declared
    let expectation = self.expectation(description: "no login")

    // Get facility list
    self.database.getFacilities() { facilities, error in
        // List empty?
        XCTAssertNil(facilities)
        // Error is returned
        XCTAssertNotNil(error)
        // Test complete
        expectation.fulfill()
    }

    // Wait for completion
    waitForExpectations(timeout: 5, handler: nil)
}

```

5.2. Pruebas de interfaz de usuario

El comportamiento de la interfaz se evaluará utilizando los tests de interfaz de usuario (UITest) que Xcode proporciona y que simulan la interacción de un usuario con la aplicación. Se llevará a cabo en simulador de iPad al igual que las pruebas unitarias.

Xcode proporciona un modo de grabación para poder registrar la interacción y, a partir de esta grabación depurar y especificar las pruebas.

Ejemplo de prueba de interfaz de usuario

El siguiente es un ejemplo de prueba de interfaz de usuario que simula el proceso de login correcto para un usuario:

```

func testGoodLoginInterface() {
    // Login data
    let goodUser = "fjmartinezj@uoc.edu"
    let goodPswd = "testpwd01"

    // Load app
    let app = XCUIApplication()
}

```

```

let expectation = self.expectation(description: "CorrectLogin")

// Fill username
let usernameTextField = app.textFields["username"]
usernameTextField.tap()
usernameTextField.typeText(goodUser)

// Fill password
let passwordSecureTextField = app.secureTextFields["password"]
passwordSecureTextField.tap()
passwordSecureTextField.typeText(goodPswd)

// Tap login
app.buttons["Log in"].tap()

// Check spinning wheel
XCTAssert(app.activityIndicators.element.exists)

// Fill expectation
expectation.fulfill()

// Wait time for expectation
waitForExpectations(timeout: 5, handler: nil)

// Tap in menu button. THIS CHECK USER INTERACTION
app.buttons["FIND ELEMENT"].tap()
}

```

5.3. Prueba funcional de realidad aumentada

El *framework* de ARKit no permite su uso en simulador ni la aplicación de pruebas unitarias, debido a su funcionamiento basado en el reconocimiento del entorno por parte del dispositivo. Por este motivo, se llevarán a cabo pruebas funcionales del sistema en un entorno controlado con algunas maquetas que emulen una instalación de tamaño pequeño.

La instalación simulada incluye un armario eléctrico con cuatro cabinas de interruptores y dos bombas verticales simuladas en cajas de cartón. Además, se ha impreso una imagen de rastreo que se ha colocado en la pared a una distancia de 1500mm desde el suelo.

Esta simulación de un entorno físico permite comprobar que se reconoce una imagen como punto de referencia y la correcta ubicación de los equipos que se han seleccionado en la aplicación, bien específicamente o bien mostrando todos los dispositivos en la vista de exploración.

La realización de las pruebas al finalizar la PEC3 no proporciona resultados correctos y ha sido necesario reparar los errores en la fase de corrección final planificada para este tipo de incidencias.



Figura 33. Entorno simulado de pruebas para realidad aumentada

5.4. Resultados

Lamentablemente, no ha sido posible finalizar la elaboración de la batería de pruebas completa, aunque se incluyen los resultados de aquellas que se han podido llevar a cabo. A continuación, se incluyen los resultados de las pruebas llevadas a cabo:

Test Name	Status
RealelectricTests 22 tests	
RealelectricTests	
testAuthenticationEmpty()	✓
testWrongPassword()	✓
testCorrectCredentials()	✓
testErrorWhithNoAuthentication()	✓
testDatabaseGetUserData()	✓
testDatabaseGetUserDataWrongData()	✓
testDatabaseGetFacilities()	✓
testCreateEquipmentStructure()	✓
testDatabaseGetEquipments()	✓
testDatabaseGetDetail()	✓
testDatabaseGetWrongDetail()	✓
testDatabaseRemoveNotExistentEquipment()	✓
testGetEquipmentAfterRemoving()	✓
testDatabaseSaveFavourite()	✓
testDatabaseGetFavourites()	✓
testDatabaseRemoveFavourite()	✓
testGetFavouritesAfterRemoving()	✓
testDatabaseGetPending()	✓
testDataBaseGetPendingNoPrivileged()	✓
testDatabaseValidate()	✓
testAddDocument()	✓
testGetDocument()	✓
RealelectricUITests 17 tests, 5 failing	
RealelectricUITests	
testEmptyLoginInterface()	✓
testBadLoginInterface()	✓
testGoodLoginInterface()	✓
testMenuInterface()	✓
testFindFacilitiesInterface()	✓
testFindEquipmentInterface()	✓
testSaveFavouriteInFind()	✓
testDetailInterface()	✓
testSaveFavouriteInDetail()	✓
testFavouriteInterface()	✓
testInsertInterface()	✓
testSaveInterface()	✓
testShowPendingInterface()	✓
testValidateFromPending()	✓
testValidateInterface()	✓
testRemoveInterface()	✓
testLogoutInterface()	✓

Figura 34. Resultados de las pruebas unitarias y de interfaz

6. Conclusiones

Afrontar este proyecto sin experiencia previa en el desarrollo real de aplicaciones móviles ha supuesto un enorme reto personal, pero al mismo tiempo, se ha convertido en una experiencia enormemente enriquecedora y didácticamente muy completa. Una vez finalizado, podría atreverme a decir que el trabajo fin de grado ha sido el mayor reto al que me he enfrentado a lo largo de estos estudios que están a punto de finalizar.

El desarrollo de una aplicación implica la puesta en práctica de una gran cantidad de las disciplinas que se han ido estudiando durante el grado, como son la interacción persona-ordenador, la programación orientada a objetos, el uso y diseño de bases de datos, el diseño con patrones, la ingeniería del software o la gestión de proyectos, entre otras. Supone la revisión de muchos conocimientos y materiales, además del descubrimiento de nuevas tecnologías, como han sido la realidad aumentada o las bases de datos NoSQL de Firebase.

Por lo tanto, se ha comprobado que el desarrollo de software no supone una tarea sencilla y es importante no subestimar el tiempo necesario para su realización. La planificación inicial era demasiado optimista en cuanto al tiempo necesario para la implementación de las distintas funcionalidades, por lo que se han generado retrasos que ha sido necesario compensar con un aumento de horas empleadas a la consecución de los objetivos.

El problema de planificación no se puede achacar a la metodología de desarrollo empleada, en este caso Kanban, ya que ha resultado bastante eficaz a la hora de ir monitorizando las tareas en desarrollo y pendientes, resultando mucho más flexible que un desarrollo en cascada.

A pesar de la complejidad de la tarea y de los retos que supone adquirir una gran cantidad de conocimientos en el poco tiempo en el que se desarrolla este trabajo, y aun habiéndose producido los retrasos comentados, ha sido posible obtener una aplicación completamente funcional y que incluye todas aquellas funcionalidades que se habían planificado incorporar.

Sin embargo, una vez finalizada la aplicación, se puede antojar algo sencilla. Esta apreciación me deja con ganas de continuar y ampliar las funcionalidades de esta, como pueden ser un método interactivo para ubicar nuevos equipos en el entorno de realidad aumentada, la asistencia en tiempo real de otro usuario, las anotaciones en documentos y equipos o la incorporación de indicaciones para seguir procedimientos de trabajo.

7. Glosario

App Store: Tienda de aplicaciones para dispositivos de Apple.

Scrum: Técnica de trabajo para entornos ágiles en la que se aplican buenas prácticas para el trabajo colaborativo, basada en ciclos incrementales, con fases de desarrollo solapadas y poniendo hincapié en el conocimiento tácito de los miembros del equipo.

BaaS: Backend as a service. Modelo que proporciona diferentes servicios en la nube para aplicaciones móviles y webs, accesibles desde una API y SDK unificada.

Framework: Estructura conceptual y tecnológica que puede servir de base para la organización y desarrollo de software, pudiendo incluir programas, bibliotecas, lenguajes, etc.

Kanban: Metodología de trabajo agile, lean e incremental basada en el uso de tarjetas en un panel que reflejan los estados de las tareas a realizar.

Trello: Software multiplataforma que proporciona un tablero virtual de tarjetas, que pueden ser organizadas en distintas listas, reflejando ideas, tareas, etc. Puede usarse como tablero para la metodología Kanban.

IDE (Entorno integrado de desarrollo): Aplicación informática que proporciona, de una manera integrada, todos los servicios esenciales necesarios para el desarrollo de software.

NoSQL: Sistema de gestión de base de datos que no se basa en relaciones ni es estructurado. Se suele referir a estos sistemas como de almacenamiento estructurado.

Patrones de diseño de software: Técnicas para resolver problemas comunes en el desarrollo de software.

CLANG: Front end de compilador multiplataforma para diferentes lenguajes de programación, sustituto de GNU Compiler Collection, que incluye un analizador estático de software y herramientas de análisis de código.

Dependencia de software: Aplicación o biblioteca de software requerida por un programa para funcionar correctamente.

SDK (Kit de desarrollo de software): conjunto de herramientas de desarrollo de software que actúa como interfaz de programación de aplicaciones.

Storyboard: Composición gráfica de las vistas de una aplicación que incorpora los flujos de navegación entre estas.

Struct: Estructura de datos formada por la unión de varios elementos, como datos y métodos. Se diferencia de las clases en que no necesitan inicialización ni permiten herencia.

Delegate: Patrón de diseño de software que permite que un objeto se encarga de procesar las peticiones que le llegan a otro objeto del que se ha nombrado delegado.

8. Bibliografía

Wang, Wallace. *Pro iPhone Development with Swift 5: Design and Manage Top Quality Apps.* Apress, 2019.

Wang, Wallace. *Beginning ARKit for iPhone and iPad: Augmented Reality App Development for iOS.* Apress, 2018.

Muriel Garreta, Domingo. Mor Pera, Enric. *Diseño centrado en el usuario.* FUOC, 2011.

Pradel Miquel, J. Raya Martos, J. *Validación y verificación de requisitos.* FUOC, 2016.

Apple Inc. *Apple Developer documentation* [En línea] Disponible en:
<https://developer.apple.com/documentation>
[Visitada: 30 de septiembre de 2019]

Garzas, Javier. *Kanban* [En línea] Disponible en:
<https://www.javiergarzas.com/2011/11/kanban.html>
[Visitada el 27 de septiembre de 2019]

Hasnain, Lubaba. *Integration of Xcode 9 with GitHub* [En línea] Disponible en:
<https://medium.com/technology-nineleaps/integration-of-xcode-9-with-github-a350bf563278>
[Visitada el 26 de septiembre de 2019]

Almirall López, J. *Diseño Centrado en el Usuario para dispositivos móviles* [En línea] Disponible en: <http://cv.uoc.edu/webapps/xwiki/wiki/matm1202es/view/Main/WebHome>
[Visitada el 23 de octubre de 2019]

Apple Inc. *Human Interface Guidelines* [En línea] Disponible en:
<https://developer.apple.com/design/human-interface-guidelines/>
[Visitada el 24 de octubre de 2019]

Kwangchul Shin, Chulhyun Hwang, Hoekyung Jung. *NoSQL Database Design Using UML Conceptual Data Model Based on Peter Chen's Framework* [En línea] Disponible en:
https://www.ripublication.com/ijaer17/ijaerv12n5_12.pdf
[Visitada el 4 de noviembre de 2019]

CocoaPods Dev Team. *CocoaPods Guides* [En línea] Disponible en:
<https://guides.cocoapods.org> [Visitada el 5 de noviembre de 2019]

Firebase team. *Firestore documentation* [En línea] Disponible en:
<https://firebase.google.com/docs> [Visitada el 1 de diciembre de 2019]

Kerpelman, Todd. *Understanding Collection Group Queries in Cloud Firestore* [En línea] Disponible en: <https://firebase.googleblog.com/2019/06/understanding-collection-group-queries.html> [Visitada el 1 de diciembre de 2019]

Sundell, John. *Unit testing asynchronous Swift code* [En línea] Disponible en:
<https://www.swiftbysundell.com/articles/unit-testing-asynchronous-swift-code/>
[Visitada el 5 de noviembre de 2019]

9. Anexos

Anexo 1: Modelo de encuesta

Datos personales:

Nombre	
Edad	
Sexo	
Formación	
Antigüedad	
Estado civil	
Hijos	

Conocimiento laboral. Marque con una X:

	Poco	Normal	Mucho
¿Conoce todas las instalaciones en las que desempeña su trabajo?			
¿Conoce el funcionamiento de todos los equipos con los que trabaja?			
¿Se maneja bien con documentación técnica?			
¿Ubica en la realidad los elementos que encuentra en un plano?			
¿Comprende las lógicas de control representadas en un plano?			
¿Recurre a documentación técnica a menudo?			

Tareas laborales. Marque aquellas que realiza:

Formación	
Operación de instalaciones	
Reparación de instalaciones	
Consulta de documentación	
Gestión de mantenimiento	

Conocimiento tecnológico

Dispositivos personales que posee	
Dispositivos profesionales que utiliza	
Redes sociales	
Software que utiliza	
¿Cuántas horas al día utiliza dispositivos informáticos?	
¿Ha utilizado alguna vez algún software de realidad aumentada? (Responda Sí / No)	
Si ha contestado sí, indique cual	

Marque con una X:

	Mal	Normal	Bien
¿Cómo considera que se maneja con soluciones informáticas?			
¿Cómo se adapta al uso de nuevas soluciones?			

Observaciones que desee añadir:

--

Anexo 3: Modelo de cuestionario de evaluación

Nombre		Sexo	V		M	
Perfil de usuario		Fecha				
Problema de visión						
Puesto de trabajo						
Tiempo en el puesto						
Formación						
Dispositivos profesionales		Frecuencia de uso (h/día)				
Dispositivos particulares		Frecuencia de uso (h/día)				
Software utilizado habitualmente						
¿Conoce la RA?		¿Consulta planos?				
¿Consulta documentos técnicos?		¿Problemas para localizar equipos?				

Puntúe del 1 al 5 la siguiente encuesta en relación con su nivel de satisfacción con el prototipo analizado, siendo 1 la peor nota y 5 la mejor:

Login de usuario

	1	2	3	4	5
¿Considera atractivo el diseño?					
¿Considera práctico el diseño?					
¿Ha sido sencillo saber lo que tenía que hacer?					
¿Ha conseguido su objetivo satisfactoriamente?					
¿Le ha resultado sencillo realizar las tareas para conseguir su objetivo?					
¿Qué le ha resultado más complicado?					
¿Tiene algún comentario que nos ayude a mejorar el producto?					

Exploración con realidad aumentada

	1	2	3	4	5
¿Considera atractivo el diseño?					
¿Considera eficiente el diseño?					
¿Ha sido sencillo saber lo que tenía que hacer?					
¿Ha conseguido su objetivo satisfactoriamente?					
¿Le ha resultado sencillo realizar las tareas para conseguir su objetivo?					
¿Qué le ha resultado más complicado?					
¿Tiene algún comentario que nos ayude a mejorar el producto?					

Búsqueda de equipos

	1	2	3	4	5
¿Considera atractivo el diseño?					
¿Considera práctico el diseño?					
¿Ha sido sencillo saber lo que tenía que hacer?					
¿Le ha resultado sencillo realizar las tareas para conseguir su objetivo?					
¿Ha conseguido su objetivo satisfactoriamente?					
¿Qué le ha resultado más complicado?					
¿Tiene algún comentario que nos ayude a mejorar el producto?					

Consulta de equipos guardados

	1	2	3	4	5
¿Considera atractivo el diseño?					

¿Considera práctico el diseño?					
¿Ha sido sencillo saber lo que tenía que hacer?					
¿Le ha resultado sencillo realizar las tareas para conseguir su objetivo?					
¿Ha conseguido su objetivo satisfactoriamente?					
¿Le ha resultado sencillo realizar las tareas para conseguir su objetivo?					
¿Qué le ha resultado más complicado?					
¿Tiene algún comentario que nos ayude a mejorar el producto?					

Visualización de documentos

	1	2	3	4	5
¿Considera atractivo el diseño?					
¿Considera práctico el diseño?					
¿Ha sido sencillo saber lo que tenía que hacer?					
¿Le ha resultado sencillo realizar las tareas para conseguir su objetivo?					
¿Ha conseguido su objetivo satisfactoriamente?					
¿Le ha resultado sencillo realizar las tareas para conseguir su objetivo?					
¿Qué le ha resultado más complicado?					
¿Tiene algún comentario que nos ayude a mejorar el producto?					

Introducción de equipos nuevos en la base de datos

	1	2	3	4	5
¿Considera atractivo el diseño?					
¿Considera práctico el diseño?					
¿Ha sido sencillo saber lo que tenía que hacer?					
¿Ha conseguido su objetivo satisfactoriamente?					
¿Le ha resultado sencillo realizar las tareas para conseguir su objetivo?					
¿Qué le ha resultado más complicado?					
¿Tiene algún comentario que nos ayude a mejorar el producto?					

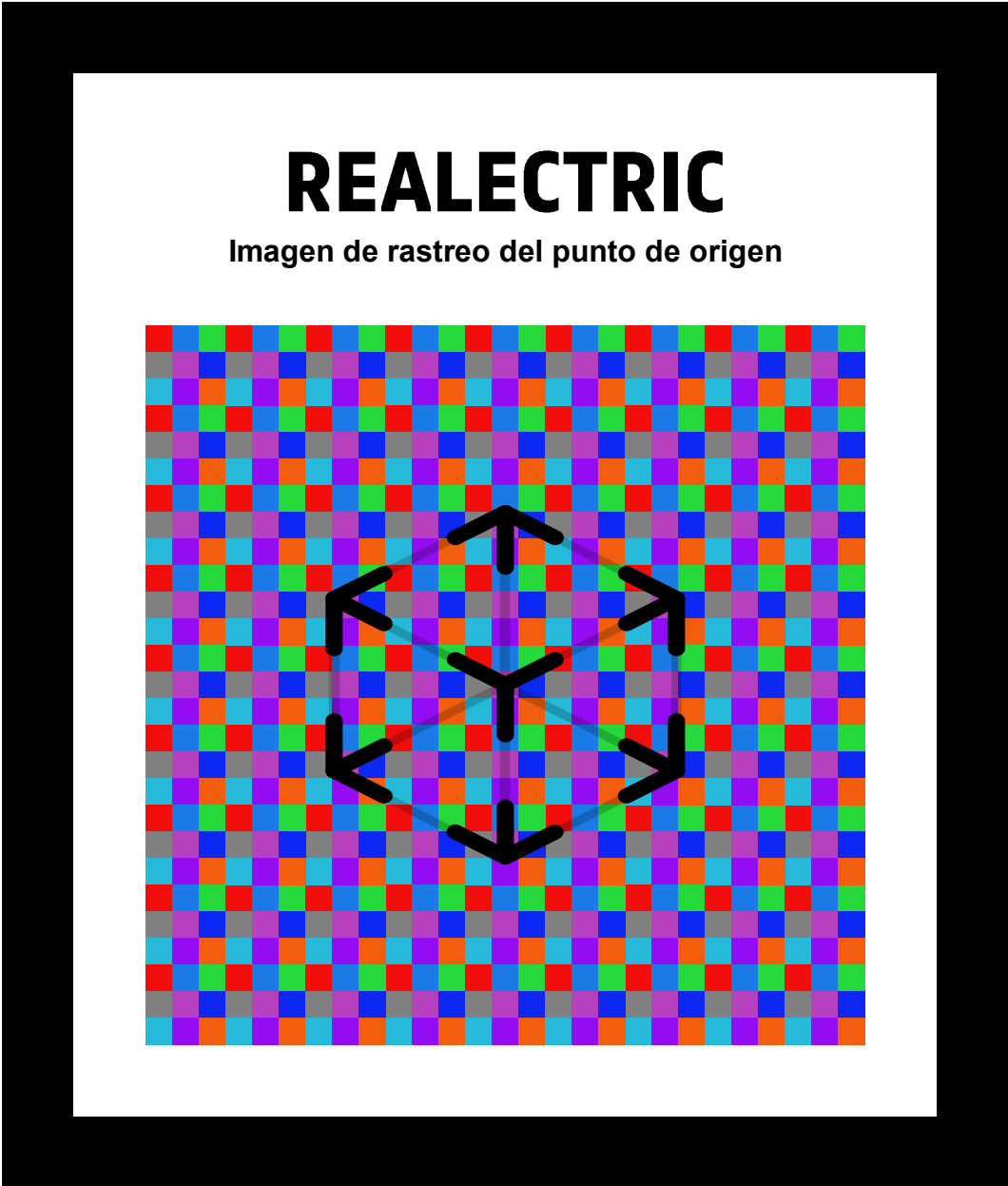
Validación de equipos nuevos en la base de datos

	1	2	3	4	5
¿Considera atractivo el diseño?					
¿Considera práctico el diseño?					
¿Ha sido sencillo saber lo que tenía que hacer?					
¿Ha conseguido su objetivo satisfactoriamente?					
¿Le ha resultado sencillo realizar las tareas para conseguir su objetivo?					
¿Cree que es acertada la solución que se ha empleado?					
¿Qué le ha resultado más complicado?					
¿Tiene algún comentario que nos ayude a mejorar el producto?					

Satisfacción general con el prototipo

	1	2	3	4	5
¿Le parece bien el diseño general?					
¿Cuál es su opinión sobre la facilidad de uso?					
¿Considera acertada la solución que se ha empleado?					
¿Añadiría alguna funcionalidad adicional?					
¿Tiene algún comentario que nos ayude a mejorar el producto?					

Anexo 4: Imagen de rastreo del origen



Anexo 5: Manual de usuario



REALECTRIC

Asistente de mantenimiento eléctrico
mediante realidad aumentada

Manual de usuario

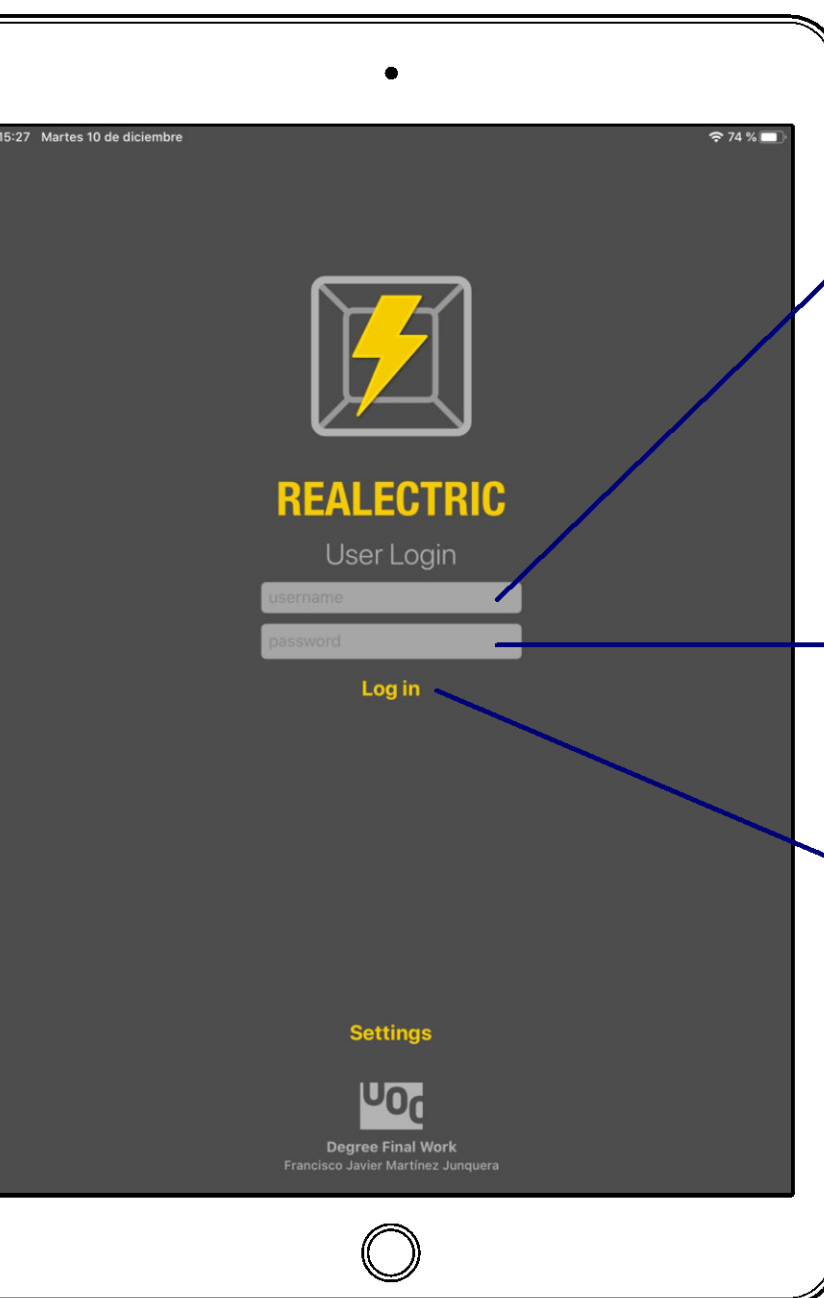
Login de usuario	1
Menú principal	2
Exploración de instalaciones con AR	3
Seleccionar instalación	4
Seleccionar equipo	5
Ver detalle de un equipo	6
Visualizar documentos	7
Seleccionar favoritos.....	8
Validar equipos	9
Insertar nuevo equipo	10
Cambiar de servidor.....	11




Trabajo Final de Grado
Francisco Javier Martínez Junquera

Login de usuario

La aplicación no permite acceder a los datos sin autenticarse con un usuario y contraseña que le proporcione el administrador del sistema. Para autenticarse en el sistema deberá seguir los siguientes pasos:



- 1** Introduzca su dirección de correo electrónico.
- 2** Introduzca la contraseña.
- 3** Pulse el botón de Log in.

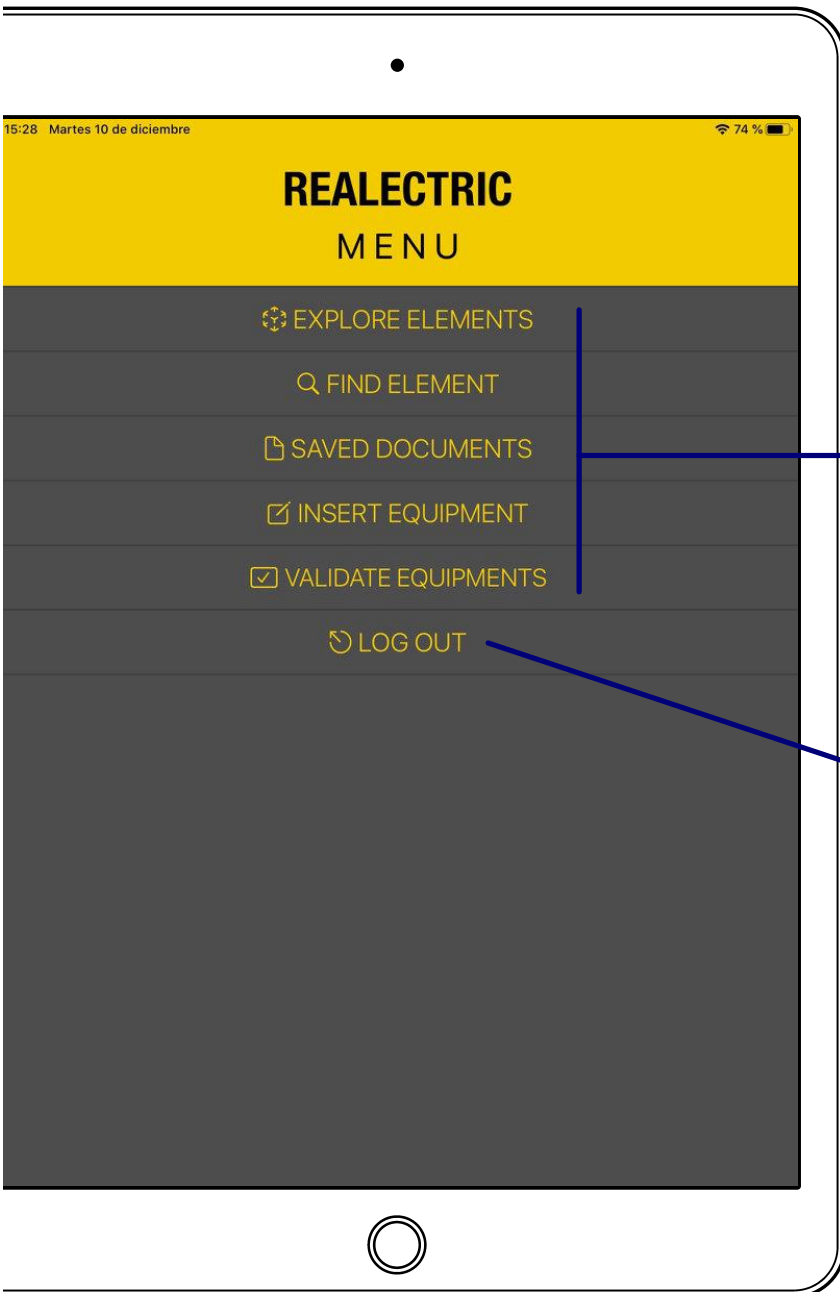


También se puede pulsar la tecla **Enter**

Nota: La contraseña puede ser almacenada en el llavero de iCloud para su recuperación rápida

Menú principal

En esta vista podrá seleccionar a qué otra vista quiere dirigirse o cerrar la sesión de usuario.

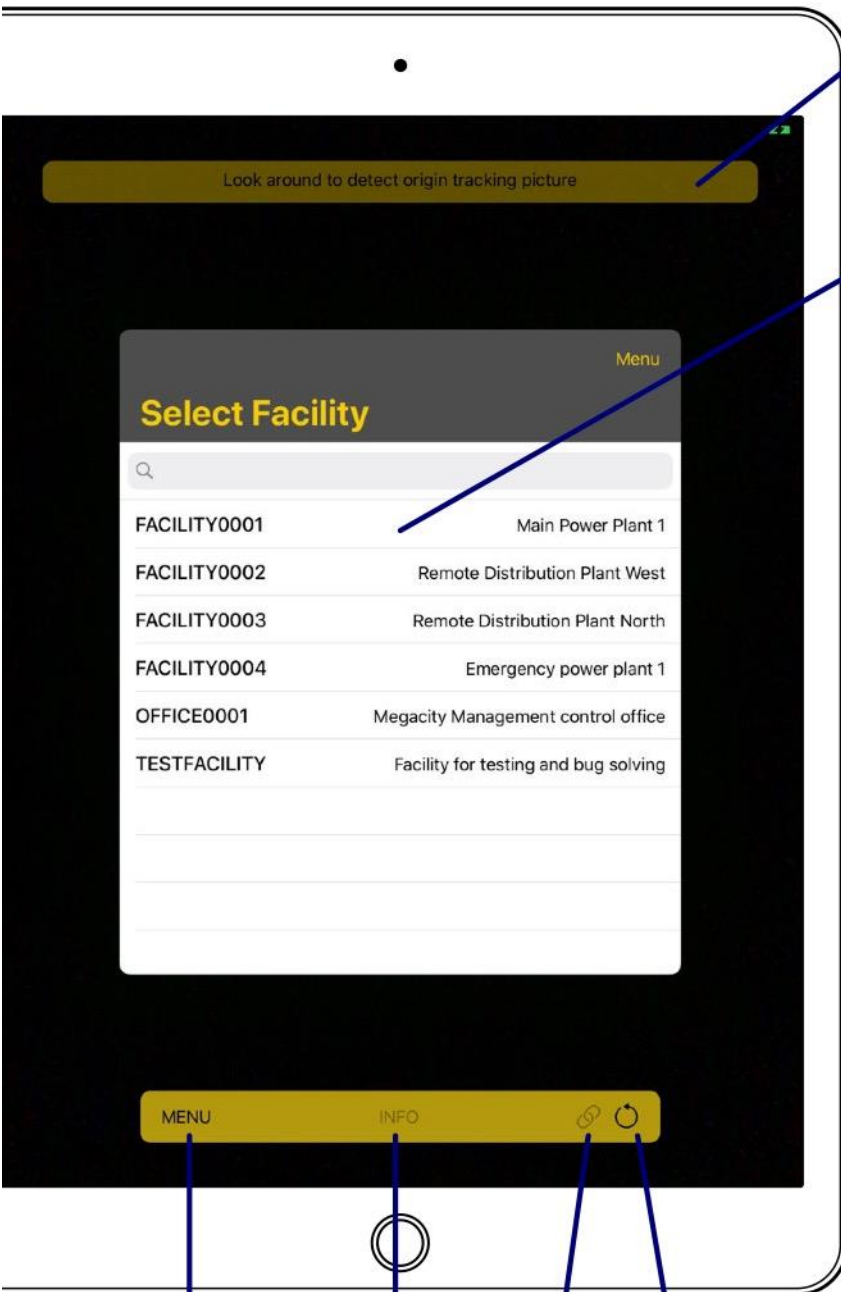


Seleccione una de las opciones a la que quiera acceder.

Pulse el botón Log Out para cerrar sesión y volver a la pantalla de Log in.

Exploración

Mediante esta vista se pueden localizar equipos utilizando realidad aumentada.



Panel de estado

Muestra posibles errores, consejos y el identificador del equipo en primer plano.

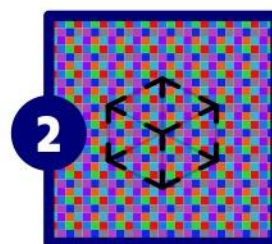
Seleccionar instalación

Cuando abra el explorador se le solicitará indicar la instalación que desea explorar.

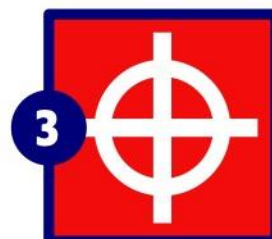
Pasos para iniciar la exploración:



El asistente le guiará para que el dispositivo pueda ubicarse correctamente.



Deberá enfocar la imagen de rastreo del punto de origen de coordenadas.



Una vez reconocido el origen se mostrará la siguiente marca.

Mostrar menú

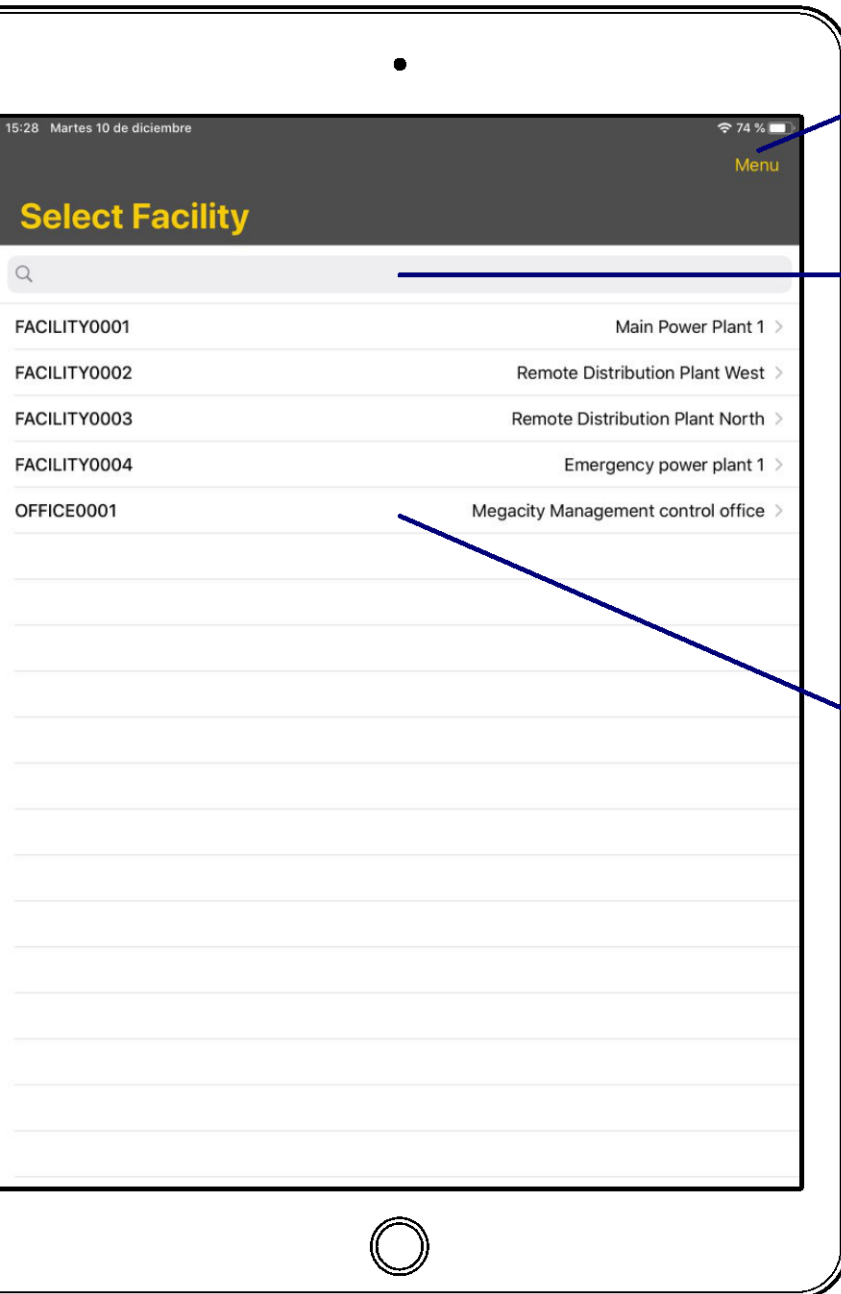
Detalle equipo

Mostrar conectados

Reiniciar la vista

Seleccionar instalación

En esta vista se selecciona la instalación de la que queremos obtener los equipos que contiene.



Volver al menú

Filtrar resultados

Para filtrar los resultados escriba el texto buscado en el campo de búsqueda. La búsqueda se lleva a cabo en todos los campos.

Para borrar la búsqueda pulse el botón con la X que aparecerá.

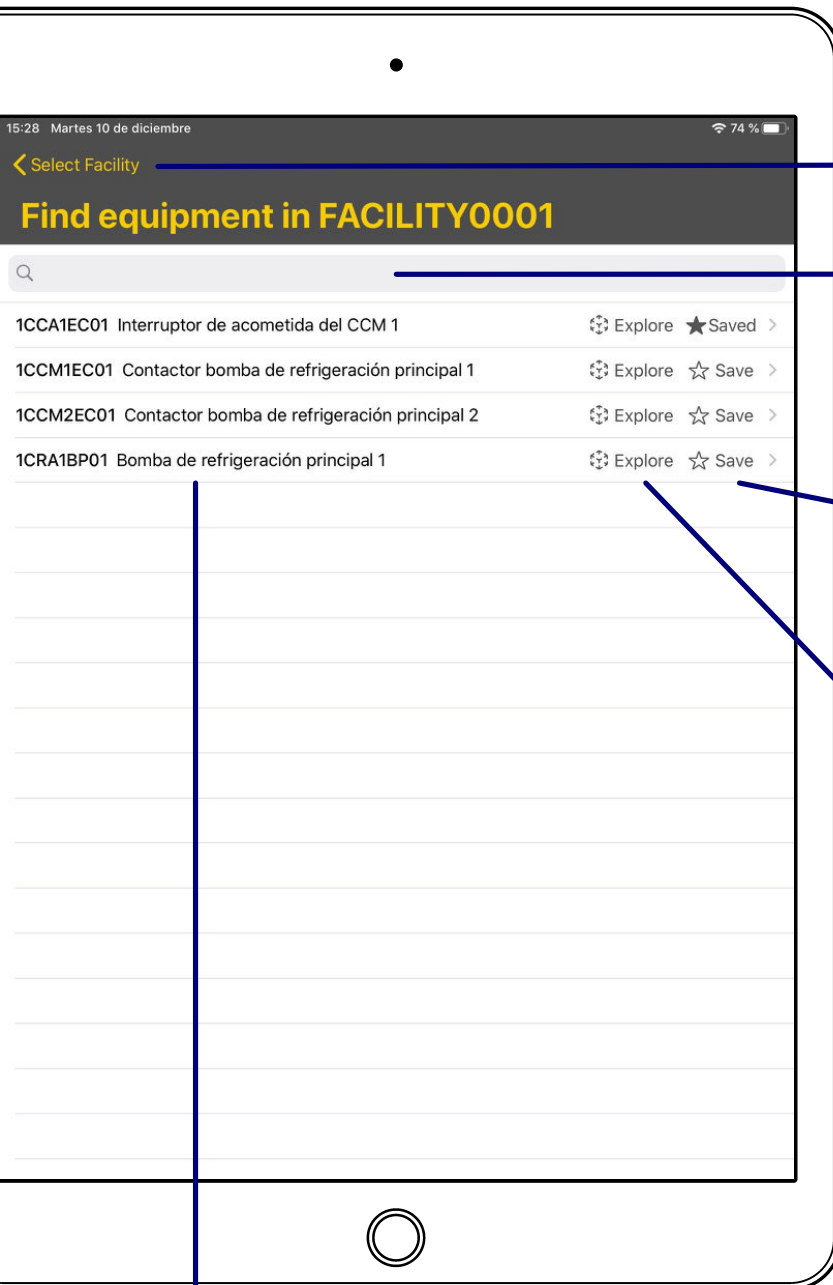


Explorar equipos

Seleccione la fila que indique la instalación de la que quiere explorar los equipos que contiene.

Seleccionar equipo

Para una determinada instalación seleccionada, aparecerá un listado con los equipos disponible para su consulta. Desde esta vista puede localizarse un equipo mediante realidad aumentada o guardarse como favorito.



Volver

Filtrar resultados

Guardar como favorito

Guardar para consultar de manera rápida en el menú de elementos guardados. Una vez guardado el estado cambia.

Explorar en AR

Pulsar para acceder a la vista de realidad aumentada en la que se resaltará el equipo seleccionado.

Ver detalle

Pulsando en la fila se accede a una vista con los detalles sobre el equipo.

Ver detalle de un equipo

En esta vista pueden verse los detalles sobre un equipo y consultar los equipos conectados a este, los documentos disponibles, guardarlo para más tarde o, en caso de tener el perfil de edición habilitado, modificar los datos del equipo.

Volver

Editar Pulsar para editar los detalles del equipo

Guardar como favorito
Guardar para consultar de manera rápida en el menú de elementos guardados. Una vez guardado la estrella cambiará de color.

Explorar en AR
Pulsar para acceder a la vista de realidad aumentada en la que se resaltará el equipo seleccionado.

Visualizar documento
Pulsar para acceder al visor con el documento seleccionado.

Ver equipo conectado
Pulsar para acceder a la vista de detalle del equipo al que está conectado el equipo actual.

15:29 Martes 10 de dic mbre 73%

< Find equipment in FACILITY0001

1CCM1EC01

DESCRIPTION

Contactor bomba de refrigeración principal 1

POSITION

Coordinate X	0.5
Coordinate Y	0.0
Coordinate Z	0.0
Rotation	0.0

SIZE

Depth	0.4
Height	0.3
Width	0.3

PROPERTIES

Max Current	30A
Voltage	400V

DOCUMENTS

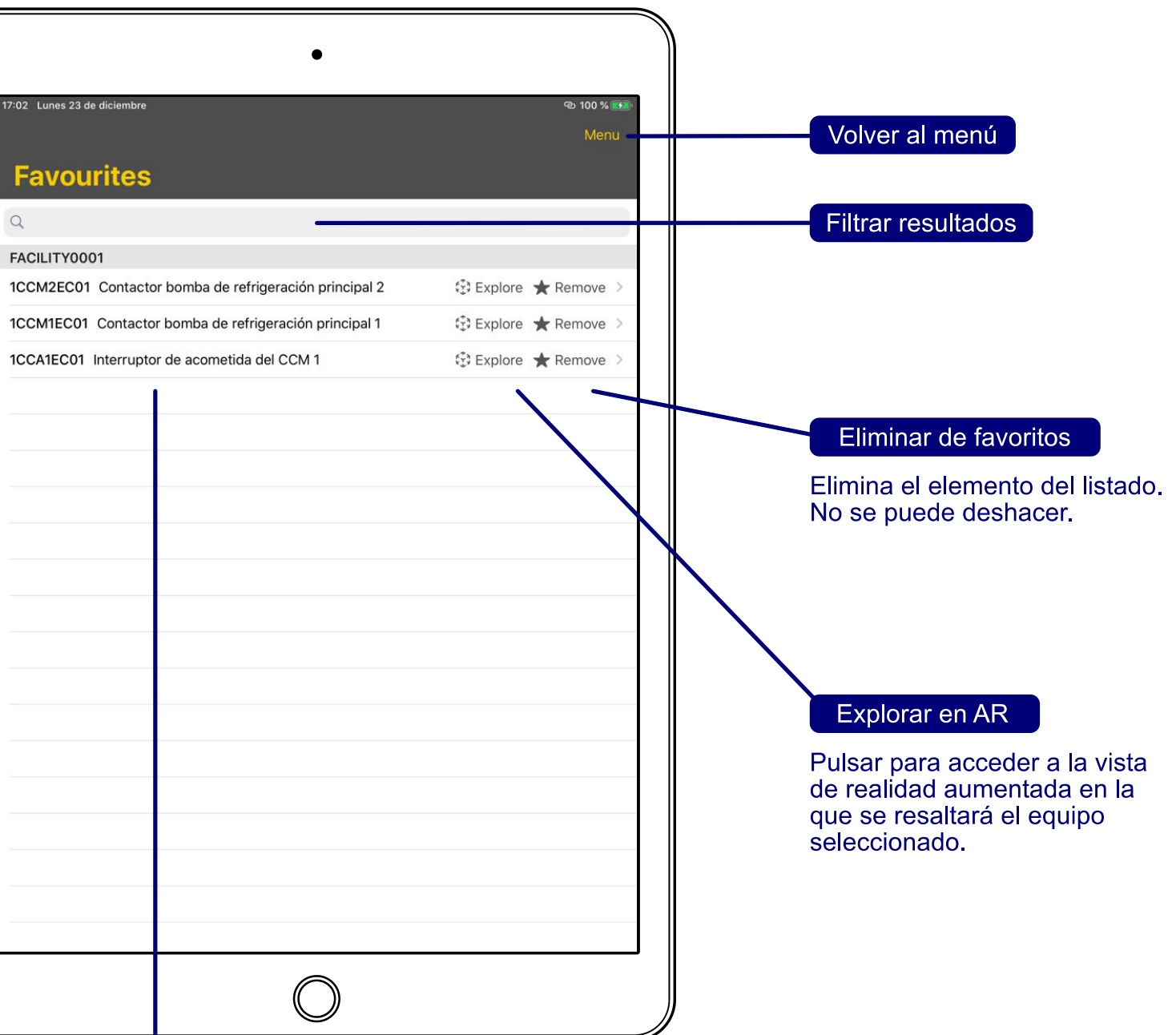
Ejemplo	PDF
---------	-----

CONNECTED EQUIPMENTS

1CCM2EC01	Contactor bomba de refrigeración principal 2
1CRA1BP01	Bomba de refrigeración principal 1 >

Ver favoritos guardados

En esta vista, un usuario puede seleccionar aquellos equipos que ha guardado para consultar de manera más rápida. Al igual que en la vista de selección de equipos, se puede acceder al detalle o explorar mediante realidad aumentada.



Validación de equipos

Esta vista sólo es accesible si se tiene el perfil de usuario “manager”. A partir de esta se puede acceder a aquellos equipos que se han añadido o modificado para validarlos como aptos para su consulta.

The screenshot shows a mobile application interface titled "Validate Equipments". At the top, there is a status bar with the time "17:02", the date "Lunes 23 de diciembre", and battery status "100 %". Below the status bar, there is a "Menu" link. The main content area displays a list of equipment entries, each with a unique identifier and a description followed by a right-pointing chevron (>). The entries are: "FACILITY0003", "PRUEBA2" (with description "Descripción de la prueba modificada"), "PRUEBA" (with description "Descripción de la prueba modificada"), "OFFICE0001", and "TESTEQUIPMENT" (with description "Test description").

Volver al menú

Validar equipo

Pulsando en la fila se accede a la vista de edición para validar, editar o eliminar el equipo seleccionado.

Edición de equipos

Limpiar
Pulsar para borrar todos los campos

Volver al menú

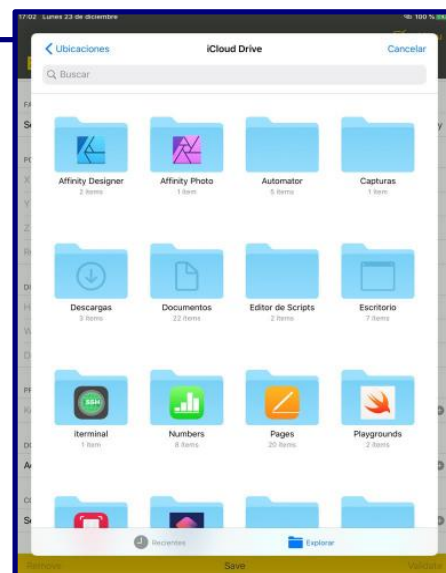
Seleccionar instalación
Pulsar para acceder al menús de selección de instalación y seleccionar la instalación en la que se ubica el equipo.

Añadir propiedad adicional

Guardar equipo

Borrar equipo

Validar equipo



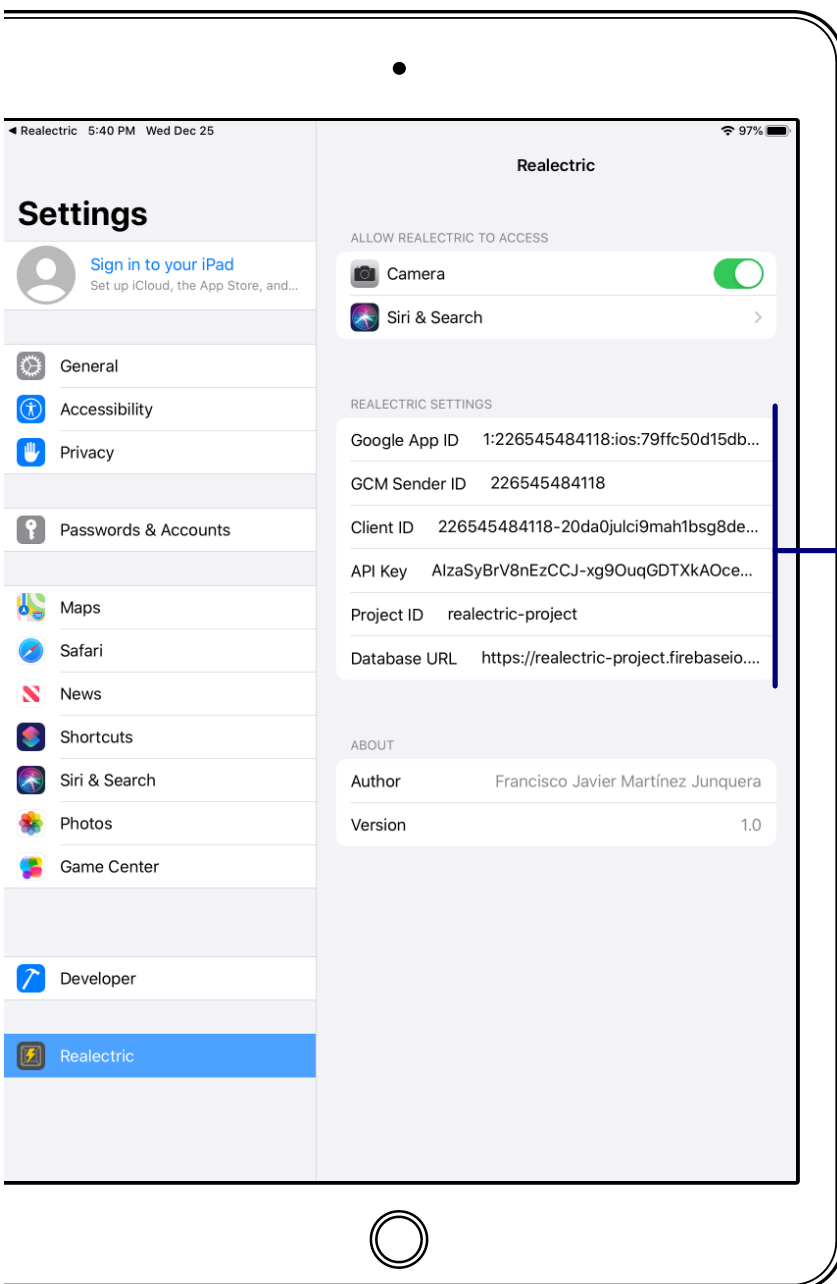
Pulsar para seleccionar el documento que se quiere añadir.

Si la vista está en modo validación permitirá validar el equipo si no se han modificado los datos.

Ajustes del servidor

En esta vista pueden cambiarse los parámetros de acceso a la base de datos correspondiente a su empresa.

Atención: Asegúrese de introducir los datos correctos, ya que cualquier error en los mismos puede provocar que la aplicación no funcione.



Edite todos los campos con la configuración que le facilite el administrador del sistema