



Universidad de Valladolid



Escuela de Ingeniería Informática

TRABAJO FIN DE GRADO

Grado en Ingeniería Informática
Mención en Ingeniería de Software

Aplicación para la gestión y guiado de la calibración y el ajuste de instrumentos de laboratorio en entornos de investigación

Autor: Daniel Lizano Zapata



Universidad de Valladolid



Escuela de Ingeniería Informática

TRABAJO FIN DE GRADO

Grado en Ingeniería Informática
Mención en Ingeniería de Software

Aplicación para la gestión y guiado de la calibración y el ajuste de instrumentos de laboratorio en entornos de investigación

Autor: Daniel Lizano Zapata

Tutores: Valentín Cardeñoso Payo
Eduardo Rodríguez Gutiez

A todos los que han estado conmigo estos meses.

Agradecimientos

Han sido muchas personas las que han ayudado a que este proyecto haya salido adelante.

En primer lugar agradecérselo a mis tutores ya que con sus constantes revisiones y correcciones tanto la aplicación como la memoria ha ido por el camino adecuado.

En general, este trabajo ha sido posible gracias a varias personas que han dedicado parte de su valioso tiempo a él, generalmente resolviendo las dudas que han ido surgiendo durante su realización, pero también prestando otro tipo de ayuda o recursos. Por ejemplo, el prof. Francisco Javier Santos Martín, miembro del Centro de Investigación Biomecánica y Ergonomía (CIBER), nos ha ayudado a comprender los procesos de calibración, especialmente en instrumentos de pesaje.

Asimismo, Paula Sáez Serrano y Vicente Yagüe Alcaraz, del Departamento de pesaje del Centro Español de Metrología (CEM), y José Carlos Rodríguez Cabello y Matilde Alonso Rodrigo, del GIR BIOFORGE, han dedicado tiempo a responder algunas de nuestras dudas y a aportar comentarios respecto a la utilidad de este tipo de aplicaciones para el trabajo de investigación que realizan en su grupo y cómo emplean y calibran ellos sus instrumentos, especialmente micropipetas y balanzas.

Las pruebas de calibración de micropipetas y las fotografías de dicho proceso han podido realizarse gracias al apoyo de Rosario Gómez Gutiérrez, y Rodrigo García Loma, del Departamento de química analítica de la UVa, quienes nos han dado acceso a las balanzas calibradas de sus laboratorios y a agua ultrapura Milli-Q, y nos han proporcionado retroalimentación respecto a la aplicación y sus posibles mejoras.

Por otra parte, divesos miembros del GIR MIOMeT, incluyendo a Alberto Díez de la Varga, y a los prof. Celedonio Álvarez y Héctor Barbero San Juan, también han prestado apoyo al proyecto prestándonos la micropipeta, las puntas, y los vasos de precipitado que se emplearon en la documentación de su proceso de calibración. Las fotografías del soporte con micropipetas y la balanza se tomaron en sus laboratorios.

El barómetro necesario para calcular la presión atmosférica fue prestado por el prof. Francisco Javier Carmona del Río, de Física Aplicada.

En el plano de recursos informáticos, quisiéramos expresar también nuestro aprecio a Félix Antonio Santos González, quien nos ha dado acceso a diversas bases de datos y otros recursos de la UVa, así como a los técnicos de la Escuela de Ingeniería Informática.

A todos ellos, nuestro más sincero agradecimiento.

Resumen

Los laboratorios de Física, Química y otras disciplinas afines cuentan entre sus materiales con balanzas de precisión, pipetas, buretas, etc que requieren calibración periódica para mantener el nivel de calidad de las medidas que se requiere habitualmente. La tarea de calibración es sistemática y puede realizarse en parte siguiendo unos pasos establecidos por especialistas o recurriendo a laboratorios de calibración especializados. En cualquiera de los casos, es necesario disponer de una aplicación que facilite a los responsables de laboratorio, bajo el control de una administración central, el registro de las actuaciones de calibración que se hayan realizado sobre los diferentes instrumentos, así como el GUIADO AUTOMÁTICO DEL OPERADOR PARA REALIZAR LA CALIBRACIÓN DEL INSTRUMENTO, sobre la base de unos manuales ya existentes. El objetivo de este trabajo es desarrollar una aplicación WEB para facilitar la gestión del colectivo de responsables de laboratorio, el registro de los instrumentos cuya calibración debe registrarse y realizarse a lo largo del tiempo, así como la generación de informes históricos periódicos de las actuaciones de calibración realizadas, por instrumento, operario, laboratorio, etc. Se prevé como arquitectura inicial una basada en servidor API REST con cliente ligero web multiplataforma.

Abstract

The Physics, chemistry and other similar disciplines have in their inventories with things like precision scales, pipettes, burettes, etc. These things require periodic calibration to maintain a quality level on the given measurements. The calibration task is systematic and can be done following an established procedures created by experts or resorting to specialized calibration laboratories. In either case, an application that makes easier, under the control of a central administration, the record of the execution of the calibration procedures over the different tools is needed, as well as THE AUTOMATIC GUIDING OF THE OPERATOR TO EXECUTE THE CALIBRATION PROCEDURE, using existing manuals as a base. The main objective of this project is to develop a WEB APP to help the management of laboratories, the recording of the instruments that their calibration needs to be registered and be done on the future, as well as the generation of periodic historical reports over the executed calibrations, per instrument, operator, laboratory, etc. An REST API server is predicted in addition of a multiplatform lightweight web client.

Índice general

Índice de cuadros	VI
Índice de figuras	VIII
1. Introducción	1
1.1. Introducción	1
1.2. Motivación	1
1.3. Estructura	2
2. Objetivos y Alcance	3
2.1. Objetivos	3
3. Metodología	5
3.1. Agile	5
3.1.1. ¿Por que elegir Agile?	5
3.1.2. Etapas de desarrollo Agile	6
3.2. Fases	6
4. Riesgos del proyecto	9
4.1. ¿Qué es un riesgo?	9
4.1.1. Tipos de riesgo	9
4.1.2. Riesgo total	10
4.2. Riesgos identificados	10
4.3. Oportunidades	14
5. Marco Conceptual	17
5.1. Características de un instrumento de medición	17
5.2. Balanzas	18
5.2.1. Historia	20
5.2.2. Calibración	21
5.2.3. Ajuste	24
5.3. Micropipetas	24
5.3.1. Historia	28
5.3.2. Calibración	31
5.3.3. Ajuste	36
6. Soluciones Existentes	39
6.1. Herramientas de propósito general	39
6.2. Herramientas para instrumentos de laboratorio	39
6.3. Propuesta de solución	40

7. Análisis	43
7.1. Especificación de requisitos software	43
7.1.1. Requisitos funcionales	43
7.1.2. Requisitos no funcionales	47
7.1.3. Requisitos funcionales de información	48
7.1.4. Casos de uso	48
7.1.5. Actores del sistema	78
7.2. Modelo de clases inicial	79
7.2.1. Gestión de Usuarios	79
7.2.2. Gestión de procedimientos	80
7.2.3. Gestión de instrumentos	80
7.3. Costes del proyecto	81
7.3.1. Costes materiales	81
7.3.2. Costes del personal	82
7.3.3. Costes totales	82
8. Diseño	83
8.1. Diseño de la interfaz	83
8.1.1. Pantalla principal	83
8.1.2. Comprobación de calibración	85
8.2. Diseño	88
8.2.1. Front-end	88
8.2.2. Back-end	91
9. Implementación	93
9.1. Herramientas de Desarrollo	93
9.2. Implementación	94
10. Pruebas	95
11. Conclusiones	97
11.1. Valoración personal	97
11.2. Trabajo futuro	98
11.2.1. Servicio de archivos propio	98
11.2.2. Implementar el servicio de usuarios de la UVA	98
11.2.3. Localización	98
11.2.4. Permitir vídeos como recurso	98
11.2.5. Sistema de notificaciones por correo	98
11.2.6. Exportar los certificados de calibración	98
11.2.7. Permitir modificaciones de datos	99
11.2.8. Rediseño de interfaz	99
11.2.9. Rediseño de interfaz para móviles	99
11.2.10. Editor de cuadro de texto	99
11.2.11. Más pruebas con usuarios	99
11.2.12. Permitir fórmulas alternativas	99
Apéndices	101
Apéndice A. Manual de Instalación	103
Apéndice B. Manual de Usuario	105

Apéndice C. Enlaces del proyecto	113
Bibliografía	115

Índice de cuadros

3.1. Fases de desarrollo del proyecto previstas y su estimación.	7
4.1. Riesgo 1, Desconocimiento del tema	11
4.2. Riesgo 2, Tecnología desconocida	11
4.3. Riesgo 3, Tutor no localizable	12
4.4. Riesgo 4, Prácticas simultaneas	12
4.5. Riesgo 5, Caída de servicios	13
4.6. Riesgo 6, Cambio de requisitos	13
4.7. Riesgo 7, Problemas de comunicación	14
4.8. Oportunidad 1, Misma tecnología	15
4.9. Oportunidad 2, Necesidad de calibración	15
5.1. Requisitos mínimos de las balanzas usadas en calibrado de instrumentos a pistón.	32
5.2. Factores de corrección Z. Tomados de [Sar13; Alb12; Int09b].	35
7.1. Requisito funcional RF-001,	43
7.2. Requisito funcional RF-002,	44
7.3. Requisito funcional RF-003,	44
7.4. Requisito funcional RF-004,	44
7.5. Requisito funcional RF-005,	45
7.6. Requisito funcional RF-006,	45
7.7. Requisito funcional RF-007,	45
7.8. Requisito funcional RF-008,	46
7.9. Requisito funcional RF-009,	46
7.10. Requisito funcional RF-010,	46
7.11. Requisito funcional RF-011,	47
7.12. Requisito no funcional RNF-001,	47
7.13. Requisito no funcional RNF-002,	47
7.14. Requisito no funcional RNF-003,	48
7.15. Requisito funcional de información RFI-001,	48
7.16. Caso de uso CU-001, Asignar Grupo a Sala	50
7.17. Caso de uso CU-002, Añadir guía de calibración	51
7.18. Caso de uso CU-003, Añadir guía de comprobar calibración	52
7.19. Caso de uso CU-004, Añadir inspección rutinaria	53
7.20. Caso de uso CU-005, Añadir Investigador a grupo	54
7.21. Caso de uso CU-006, Añadir Investigador a grupo	55
7.22. Caso de uso CU-007, Añadir IP	56
7.23. Caso de uso CU-008, Añadir modelo Instrumento	57
7.24. Caso de uso CU-009, Modificar datos de un usuario	58
7.25. Caso de uso CU-010, Crear usuario	59

7.26. Caso de uso CU-011, Eliminar usuario	60
7.27. Caso de uso CU-012, Crear grupo	61
7.28. Caso de uso CU-013, Añadir sala	62
7.29. Caso de uso CU-014, Añadir tipo instrumento	63
7.30. Caso de uso CU-015, Observar registro	63
7.31. Caso de uso CU-016, Comprobar calibración	64
7.32. Caso de uso CU-017, Calibrar instrumento	65
7.33. Caso de uso CU-018, Ver lista instrumento	66
7.34. Caso de uso CU-019, Ver ficha instrumento	66
7.35. Caso de uso CU-020, Iniciar sesión	67
7.36. Caso de uso CU-021, Modificar datos propios	68
7.37. Caso de uso CU-022, Cerrar sesión	68
7.38. Caso de uso CU-023, Asignar instrumento a sala	69
7.39. Caso de uso CU-024, Asignar instancia instrumento	70
7.40. Caso de uso CU-025, Borrar instancia instrumento	71
7.41. Caso de uso CU-026, Buscar instrumento	71
7.42. Caso de uso CU-027, Buscar sala	72
7.43. Caso de uso CU-028, Buscar usuario	73
7.44. Caso de uso CU-029, Eliminar sala	74
7.45. Caso de uso CU-030, Modificar instancia instrumento	75
7.46. Caso de uso CU-031, Modificar sala	76
7.47. Caso de uso CU-032, Quitar instrumento de sala	77
7.48. Caso de uso CU-033, Ver lista de salas	77
7.49. Caso de uso CU-034, Ver lista de usuarios	78
7.50. Actor AC-001, Usuario	78
7.51. Actor AC-002, Investigador	78
7.52. Actor AC-003, Investigador principal	78
7.53. Actor AC-004, Root	79

Índice de figuras

4.1. Tabla de riesgo total según probabilidad e impacto.	10
5.1. Diferencia entre precisión y exactitud.	18
5.2. Balanza Sartorius Entris 124I-1S en un laboratorio de química.	19
5.3. Posiciones para la calibración de excentricidad en platos de diferentes formas	22
5.4. Hoja de características de varias balanzas semi-micro de Mettler Toledo. Tomado de [Met06].	25
5.5. Soporte con diversas micropipetas monocanal de volumen variable en un laboratorio de química.	26
5.6. Partes de una micropipeta.	28
5.7. Diseños de micropipetas de algunos inventores	31
5.9. Un modelo de micropipeta junto con su llave de ajuste, a su izquierda.	36
5.8. Hoja de características de las micropipetas monocanal de volumen variable de la serie Proline, fabricadas por Sartorius Biohit Liquid Handling Oy. Tomado de [Sar13].	37
7.1. Diagrama de casos de uso	49
7.2. Diagrama de clases	79
8.1. Pantalla principal	84
8.2. Pantalla principal, menú desplegable	85
8.3. Pantalla de calibración - Paso inicial	85
8.4. Pantalla de calibración - Paso intermedio	86
8.5. Pantalla de calibración - Paso final	86
8.6. Pantalla de calibración - Comprobación correcta	87
8.7. Pantalla de calibración - Comprobación fallida	88
8.8. Diagrama de arquitectura del FrontEnd	90
8.9. Diagrama de arquitectura del FrontEnd	92
9.1. Diagrama de despliegue	94
B.1. Vista de inicio de sesión	105
B.2. Vista de investigador	106
B.3. Vista de investigador principal	106
B.4. Vista de un procedimiento de comprobación	107
B.5. Vista de un procedimiento de calibración, sin variable	107
B.6. Vista principal de un usuario administrador	108
B.7. Vista principal de un usuario administrador, tras pulsar un botón	108
B.8. Vista principal de un usuario administrador, tras pulsar el botón de gestión de instrumentos . .	109
B.9. Vista primaria al crear un nuevo procedimiento	109
B.10. Vista crear nuevo paso	110
B.11. Vista crear nuevo paso con modificaciones	110
B.12. Vista crear nuevo paso con modificaciones y atributos	111
B.13. Pantalla principal con la notificación de recurso guardado correctamente	111

Introducción

1.1 Introducción

Los laboratorios científicos disponen de una serie de instrumentos para medir diferentes magnitudes, como son la balanza para la masa, o las pipetas y micro-pipetas para transportar un volumen definido.

En este ámbito, el Vocabulario Internacional de Metrología (VIM), uno de los documentos de referencia a nivel internacional, en su tercera edición traducida por el Centro Español de Metrología, define la calibración como “Operación que bajo condiciones especificadas establece, en una primera etapa, una relación entre los valores y sus incertidumbres de medida asociadas obtenidas a partir de los patrones de medida, y las correspondientes indicaciones con sus incertidumbres asociadas y, en una segunda etapa, utiliza esta información para establecer una relación que permita obtener un resultado de medida a partir de una indicación” [BIP+14; BIP+12]. En otras palabras, la calibración permite conocer cuánto se desvían los valores proporcionados por un instrumento respecto del tomado como real de un patrón.

Calibrar estos instrumentos es importante porque ayuda a asegurar medidas precisas, y estas medidas precisas son fundamentales si se quiere aportar calidad y precisión al trabajo que se está realizando. Además hay que hacerlo periódicamente porque todos los elementos tienen desgaste, con lo que un instrumento no medirá de forma precisa, como indica, de forma indefinida.

Como paso previo y posterior a una calibración, es necesario analizar un instrumento con procedimientos estandarizados para conseguir uniformidad en el análisis de la calibración del instrumento, antes para saber si requiere calibración y después para saber si la calibración ha corregido los problemas. Para calibrarlos existen ciertos estándares y SOPs, que aseguran eficiencia, calidad y unidad en los procedimientos de calibración, tales como ISO 8655-6 [Int09a], que describe como se tiene que realizar los experimentos y las operaciones a realizar para obtener los resultados de si, cualquier instrumento definido por el ISO 8655-(2-5)[Int09a], da resultados fiables acorde a sus especificaciones. Otro ejemplo de procedimiento estándar para calibrar un instrumento, es el estándar EURAMET CG-18 [EUR+15] para el calibrado de balanzas y otros instrumentos de pesaje.

1.2 Motivación

Sin embargo, a pesar de su importancia, hemos constatado que el personal que trabaja en los laboratorios no calibra sus instrumentos. Las consecuencias de no hacerlo son medidas imprecisas, que dan lugar a experimentos erróneos y de baja calidad, que tienen poca capacidad de reproducción, pues, con un instrumento correctamente calibrado, dará resultados totalmente distintos. Las causas pueden deberse a la falta de conocimiento sobre la necesidad de calibrar y/o los estándares, al tener que añadir más tareas a su rutina, que pueden olvidarse, al coste, ...

1.3 Estructura

Este trabajo de fin de grado se ha estructurado con la siguiente división:

1. Introducción: Se ha presentado el contexto y la motivación del proyecto.
2. Objetivos y alcance: Se presentará y definirá los principales objetivos que queremos lograr.
3. Metodología: Se presentará la manera en la que vamos a desarrollar el proyecto, el como nos organizaremos, y las etapas que tendrá el proyecto.
4. Riesgos del proyecto: Se presentaran las situaciones alternativas que podrían alterar el flujo normal del proyecto.
5. Marco conceptual: Se presentará la parte teórica detrás de la lógica que usaremos luego para desarrollar el proyecto.
6. Soluciones Existentes: Revisaremos que productos existen en el mercado, y el porque de nuestra solución busca ser mejor.
7. Análisis: Presentaremos un primer acercamiento para solucionar el problema que plantea el proyecto, el cómo lo vamos a realizar, que cosas se van a poder hacer y el precio que tendría el proyecto.
8. Diseño: Presentaremos el como se ha desarrollado la solución partiendo de lo establecido en el análisis.
9. Implementación: Presentaremos las herramientas utilizadas para lograr lo construido en la fase de diseño.
10. Pruebas: Presentar las pruebas que hemos realizado al proyecto.
11. Conclusiones: Reflexionaremos los resultados del proyecto, e introduciremos el camino a seguir tras el termino de este.

Objetivos y Alcance

2.1 Objetivos

Los objetivos centrales a cumplir de este proyecto son los siguientes:

1. **Análisis:** Se quiere abordar la parte de analizar si un instrumento esta calibrado, acompañando al usuario durante todo el proceso mediante guías visuales que describan como realizar el procedimiento estándar de observación del instrumento. También se realizaran los cálculos necesarios de forma automática para que la salida sea si el instrumento da medidas validas o, por lo contrario, necesita calibración.
2. **Calibrado:** Si en el apartado anterior, el instrumento no es apto, o independientemente de si se ha realizado el análisis previo, se le quiere dotar al usuario, también con guías paso a paso, de las instrucciones de como calibrar el instrumento, o si se necesita de alguien dotado para ello, la información de contacto o lo que requiere hacer. Esto se hace para que no tenga que memorizar o perder el tiempo buscando los pasos a seguir.
3. **Registro:** También, se quiere mantener un registro de todos los procedimientos de análisis y las calibraciones realizadas para poder observar el comportamiento de los instrumentos, ver cuando es la ultima vez que se ha realizado un análisis o calibrado el instrumento, notificar de análisis rutinarios...

Metodología

Todo proyecto requiere de una metodología que seguir, pues sin ella nos podemos perder por las ramas a la hora de realizar el proyecto. Existen muchas alternativas, como Agile, en cascada, basado en prototipos, Scrum... Todos ellos con sus pros y sus contras. Por ejemplo, una metodología en cascada es buena para un proyecto que esta bien definido desde un principio pero por esto mismo lo hace más complicado para añadir cosas nuevas cerrada una etapa, o la basada en prototipos, en la que el cliente obtiene muchas versiones del producto final y se van refinando, pero se pierde bastante tiempo en crear cosas que posiblemente se desechen. En nuestro caso, nosotros nos hemos decantado por la metodología Agile.

3.1 Agile

Agile es una metodología de trabajo software que se caracteriza por su desarrollo iterativo que permite la adición de nuevos requisitos a lo largo de la duración del proyecto sin interrumpir el flujo de trabajo, ya que cuenta con distintas etapas que se ejecutan en bucle, hasta que se alcanza un producto en el que los desarrolladores y el cliente están satisfechos con él.

3.1.1 ¿Por que elegir Agile?

Se ha escogido la metodología Agile pues nos permite que, mientras obtenemos información y requisitos nuevos que añadir al proyecto, no paremos de desarrollar partes de este.

Un diseño en basado en cascada nos era muy difícil de ejecutar pues había muchos puntos grises que íbamos descubriendo a lo largo del desarrollo, y en un desarrollo en cascada, volver hacía atrás supone un cambio muy gordo.

Un diseño basado en prototipos suponía tener que trabajar mucho más de la cuenta, algo impensable dadas las circunstancias en las que se ha desarrollado el proyecto, ya que el tiempo que se va a trabajar al día esta medido debido a circunstancias externas al proyecto.

Un proyecto SCRUM también fue descartado porque la forma en la que todo tiene que estar medido en hitos/etapas durante los sprints era imposible de ejecutar por nuestra parte, pues al tener tanta dependencia de factores externos, había muchas variables fuera de nuestro control, como para poder estimar correctamente la duración de las tareas.

Al final, Agile es la que mejor se adaptaba a nuestras capacidades de trabajo, la que mejor permite la inclusión de nuevos requisitos e información sin tener flujos de trabajo establecidos al pie de la letra.

3.1.2 Etapas de desarrollo Agile

El desarrollo Agile cuenta con 7 etapas, 5 de las cuales se ejecutan en bucle. Las etapas, en orden de ejecución, son las siguientes:

- **Planteamiento:** Etapa inicial, en esta etapa se define las bases del proyecto, el problema a solucionar, las primeras ideas de como se va a realizar, cada cuanto se van a reunirse las partes a evaluar el proyecto, etc. Es muy importante dejar todo bien claro ya que en un principio todo lo que se defina en esta etapa, no debería de cambiar durante el desarrollo ya que no se vuelve a esta etapa.
- **Diseño:** Primera etapa iterativa. Aquí se idea, se analiza lo que se va a añadir al proyecto, se definen los caminos que se van a seguir durante las siguientes etapas del ciclo. Aquí se modifican cosas como los requisitos del proyecto, casos de uso, los modelos del proyecto, etc.
- **Desarrollo:** En esta etapa, se añade todo lo nuevo de la etapa de diseño al proyecto, en nuestro caso, el código del proyecto. En esta etapa es la primera en la que se extraen nuevos problemas a debatir, nuevas funcionalidades que necesitan ser añadidas... Para luego discutirlo durante el siguiente ciclo de diseño.
- **Pruebas:** Aquí se comprueba lo que se ha desarrollado, si todo funciona correctamente. Si en esta etapa se encuentra algo que necesita ser desarrollado se anota para la próxima iteración.
- **Despliegue:** Lanzamos la version desarrollada durante la etapa para que sea abierta al publico, para poder ejecutar correctamente la siguiente etapa.
- **Revisión:** Ultima etapa de la iteración. Las partes interesadas con el proyecto revisan lo que se ha realizado durante la iteración y hacen sus sugerencias. Se anotarán para la siguiente, y si no hay ninguna y el proyecto se ha terminado se cierra el bucle y se pasa a la última etapa.
- **Lanzamiento:** Se oficializa la publicación del proyecto, junto a la documentación de este (como es esta memoria) para su uso.

3.2 Fases

Las distintas tareas a realizar en el proyecto y la estimación de horas de trabajo que se van a emplear en ellas son las que se detallan en la siguiente figura, la 3.1.

Nombre de actividad	Horas de trabajo
Estado del arte	3
Estudiar ecosistema	5
Metodología a utilizar	0,5
Monitorización	1
Riesgos y oportunidades	3
Planificación	4
Requisitos	10
Análisis funcional	10
Diseño funcional	20
Construcción del software	120
Testeo del software	30
Despliegue del software	15
Mantenimiento	2
Resultados	5
Escribir la memoria del TFG	50

Cuadro 3.1: Fases de desarrollo del proyecto previstas y su estimación.

Riesgos del proyecto

En todo proyecto aparecen situaciones extraordinarias que en un principio suponen problemas para el desarrollo. Es por ello que conviene tener un plan de acción ante estos imprevistos, y que su impacto sea el mínimo. Entonces, identifiquemos estos riesgos y que acciones vamos a realizar para mitigarlos para que no sucedan o que podemos hacer una vez que ya han ocurrido.

4.1 ¿Qué es un riesgo?

Un riesgo es una situación inesperada que conlleva un coste, ya sea de tiempo, monetario, material... Normalmente suelen ser negativos, aunque también existen situaciones inesperadas positivas, normalmente llamadas oportunidades, que definiremos luego.

Conviene tener un plan de acción ante estos riesgos para minimizar el impacto de estos, y que el proyecto se desarrolle tal cual se ha previsto. Pero muchas veces, esto es muy difícil. Es por ello que hay que efectuar un plan de riesgos que nos permita identificar, abordar y mitigar estos riesgos antes de que se conviertan en una amenaza, o en caso de que ya hayan ocurrido, tratar de corregirlos.

Para identificar los riesgos normalmente se utiliza un portafolio con riesgos que sucedieron durante anteriores proyectos. Esto en nuestro caso no lo podemos hacer ya que es nuestro primer proyecto, pero lo que sí que podemos hacer es utilizar estudios creados por expertos en la materia [Add02] [AE11] para identificar riesgos comunes a todos los proyectos.

También se puede hacer sesiones en la que aportar ideas de riesgos que puedan ocurrir durante el proyecto dadas las circunstancias conocidas en las que se va a desarrollar, como, en mi caso particular, sabiendo que voy a estar en el extranjero, y así extraer los riesgos específicos a nuestro proyecto.

4.1.1 Tipos de riesgo

Pero todo riesgo tiene un tipo, pues no afectan de la misma manera al proyecto. Algunos atacan al proyecto, otros a las personas que lo desarrollan. Es por ello que es necesario clasificarlos según el campo al que estén afectando.

- Riesgos de complejidad tecnológica: Son riesgos que derivan dado el desconocimiento de las herramientas que se van a utilizar y/o situaciones que no sabemos como resolver. Pero siempre en el espectro de desarrollo del proyecto.
- Riesgos de entorno organizacional: Son riesgos que se dan cuando la parte de la organización falla. En nuestro caso particular, no son muy comunes pues no hay una jerarquía como habría en una empresa.

- Equipos de trabajo: Son situaciones que afectan a los componentes del equipo de proyecto. Son casos como baja cualificación, o que el proyecto es muy grande para el equipo actual.
- Planificación y control: Estos serán los más comunes ya que son los que afectan a las estimaciones de tiempo, y que requerirán realizar cambios significantes en el proyecto.
- Requerimientos: Estos están muy relacionados con los anteriores, pero tienen un alcance más definido. Si hay cambio en los requisitos durante el proyecto dado a que faltaban, no están claros o hay que cambiar el orden de prioridad, caerá bajo este grupo.
- Usuarios: Cuando los usuarios finales difieren con la visión del desarrollador y se encuentran un producto difícil, habrá que realizar cambios que caerán bajo esta clasificación.

4.1.2 Riesgo total

Otra cosa que hay que realizar para los riesgos, es identificar el riesgo que tienen en el proyecto dada su probabilidad y el impacto que generan, pues no es lo mismo un riesgo que pase casi de seguro, pero el impacto es bajo, con una que es muy poco probable pero su impacto es mucho mayor. Esto sirve a la hora de priorizar las acciones que tomaremos para mitigarlos.

Hay muchas formas de identificar estos valores, siendo la más común utilizar valores numéricos para identificar la probabilidad y el coste monetario como impacto, siendo el riesgo total el producto de ambas, pero este método es más útil cuando se necesita hacer un fondo ante situaciones inesperadas.

El método que vamos a utilizar nosotros para identificar el riesgo total es usar una matriz de probabilidad/impacto como la que se muestra en la siguiente figura:

		Probabilidad		
		Baja	Media	Alta
Impacto	Bajo	Bajo	Bajo	Medio
	Medio	Bajo	Medio	Alto
	Alto	Medio	Alto	Alto

Figura 4.1: Tabla de riesgo total según probabilidad e impacto.

4.2 Riesgos identificados

A continuación, mostramos los riesgos que hemos identificado para este proyecto:

RSK-001	Desconocimiento del tema
Descripción	Al no saber mucho del tema que se quiere solucionar, es posible que necesitemos recurrir a expertos
Categoría	Personal
Vulnerabilidad	No sabemos como funciona algo que queremos resolver
Amenaza	Al no saber como se realizan algunos procedimientos o que tipos de cosas tenemos que realizar, tenemos que recurrir a expertos de la materia. Estos a su vez puede que tarden en estar localizables
Probabilidad	Alta
Impacto	Alto
Riesgo total	Alto
Acciones de mitigación	1. No profundizar mucho en la materia 2. Tratar de encontrar a alguien antes de empezar el proyecto
Acciones correctivas	1. Buscar a algún experto en la materia para que nos ayude siempre que tengamos alguna pregunta

Cuadro 4.1: Riesgo 1, Desconocimiento del tema

RSK-002	Tecnología desconocida
Descripción	Al realizar nuestro trabajo, es posible que necesitemos utilizar una tecnología que desconocemos
Categoría	Complejidad tecnológica
Vulnerabilidad	No sabemos como funciona algo que queremos resolver
Amenaza	Al no conocer la tecnología, es necesario gastar tiempo en formarnos, al menos en lo básico, sobre esa tecnología, haciéndonos gastar más tiempo del que pensábamos
Probabilidad	Alta
Impacto	Medio
Riesgo total	Alto
Acciones de mitigación	1. Buscar otra tecnología alternativa que cumpla la misma función que ya conozcamos, aunque sea de una manera más complicada o no sea de manera estándar
Acciones correctivas	1. Realizar formación sobre esa tecnología

Cuadro 4.2: Riesgo 2, Tecnología desconocida

RSK-003	Tutor no localizable
Descripción	En el momento de un problema que requiere la atención del tutor, este no responde
Categoría	Personal
Vulnerabilidad	El tutor no responde ante un problema mayor en el proyecto
Amenaza	Sin la ayuda o respuesta del tutor, el proyecto para por completo ante este problema y no se puede trabajar en él.
Probabilidad	Baja
Impacto	Alto
Riesgo total	Medio
Acciones de mitigación	1. Establecer un método de contacto alternativo con el tutor para el caso de estas urgencias. 2. Tener otra persona de apoyo por si sucede
Acciones correctivas	1. Comprobar si la tarea bloqueante nos permite seguir trabajando en otra área del proyecto

Cuadro 4.3: Riesgo 3, Tutor no localizable

RSK-004	Prácticas simultaneas
Descripción	Mientras se realiza el TFG, también se están realizando las practicas empresariales de manera simultanea
Categoría	Planificación y Gestión
Vulnerabilidad	El tiempo de trabajo en el TFG queda reducido drásticamente
Amenaza	El tiempo que se va a tardar en realizar el TFG es mayor, ya que también existirá un mayor cansancio para la dedicación del TFG
Probabilidad	Alta
Impacto	Alto
Riesgo total	Alto
Acciones de mitigación	1. Alargar el TFG hasta la realización de las practicas
Acciones correctivas	1. Planificarse bien el tiempo para poder realizar las dos cosas durante los días

Cuadro 4.4: Riesgo 4, Prácticas simultaneas

RSK-005	Caída de servicios
Descripción	Los servicios de la nube, ya sea del control de versiones, o de cualquier otro sistema, dejan de estar disponibles
Categoría	Complejidad Tecnológica
Vulnerabilidad	Hay una caída en los servidores que utilizamos para realizar nuestro proyecto
Amenaza	Existirá un retraso sustancial, ya que por ese tiempo no se podrá trabajar del todo.
Probabilidad	Baja
Impacto	Alto
Riesgo total	Medio
Acciones de mitigación	1. Tener varios servicios para lo mismo, para tener un respaldo para cuando esto pase
Acciones correctivas	

Cuadro 4.5: Riesgo 5, Caída de servicios

RSK-006	Cambio de requisitos
Descripción	Debido a dependencias externas, es posible que los requisitos cambien durante el proyecto
Categoría	Planificación y control
Vulnerabilidad	Se añaden funcionalidades nuevas
Amenaza	Si, ya sea por la falta de conocimiento o que nos damos cuenta de que algo falla, se tiene que añadir funcionalidad nueva al proyecto, esto repercutirá en un retraso de todas las tareas e incremento de las horas de trabajo
Probabilidad	Alta
Impacto	Alto
Riesgo total	Alto
Acciones de mitigación	1. Definir bien el alcance del proyecto. 2. Establecer bien los límites de hasta donde se puede hacer y que cosas se dejen para el futuro
Acciones correctivas	1. Debatir si realmente es necesario añadir la nueva funcionalidad. 2. Realizar reuniones de forma constante para ver que nada se queda atrás.

Cuadro 4.6: Riesgo 6, Cambio de requisitos

RSK-007	Problemas de comunicación
Descripción	El problema que tiene el correo electrónico es que es asíncrono y no sabes si la otra persona recibe el mensaje.
Categoría	Planificación y control
Vulnerabilidad	La comunicación alumno-tutor se demora mucho
Amenaza	No todo el mundo esta pendiente al correo electrónico todo el rato, e incluso, este puede fallar o tardar en mandar un mensaje debido a razones externas, demorando la comunicación y dando lugar a situaciones de descontrol
Probabilidad	Media
Impacto	Alto
Riesgo total	Alto
Acciones de mitigación	1. Activar notificaciones en el móvil para avisar cuando se recibe un correo electrónico 2. Incluir otro sistema de comunicación más directo, de mensajería instantanea, ya sea Teams, Telegram, etc.
Acciones correctivas	

Cuadro 4.7: Riesgo 7, Problemas de comunicación

4.3 Oportunidades

Al igual que hay situaciones que son perjudiciales para el proyecto, las hay que son positivas para este. En este caso las denominaremos oportunidades.

Son iguales que los riesgos solo que sus efectos son positivos para el proyecto. Los clasificaremos iguales que los riesgos, y estas son las oportunidades que hemos identificado:

O-001	Misma tecnología
Descripción	Durante las prácticas laborales se utiliza una tecnología que podemos utilizar en el proyecto.
Categoría	Complejidad tecnológica
Oportunidad	Al usar la misma tecnología en el proyecto como en las prácticas, podemos utilizar el tiempo laboral para formarme en esta tecnología desconocida, aprovechando así, el tiempo de desarrollo del TFG
Acciones de aprovechamiento	1. Buscar el como integrar las tecnologías usadas en las prácticas en el proyecto.
Probabilidad	Media
Impacto	Alto
Nivel de oportunidad	Alto

Cuadro 4.8: Oportunidad 1, Misma tecnología

O-002	Necesidad de calibración
Descripción	Alguien de los laboratorios de la UVa necesita calibrar un instrumento.
Categoría	Usuarios
Oportunidad	Un posible futuro usuario necesita realizar una calibración de un instrumento.
Acciones de aprovechamiento	Pedirle al investigador que pruebe nuestra aplicación durante el proceso de calibración, indicándonos las mejoras que le haría y su opinión respecto a la funcionalidad que ofrecemos
Probabilidad	Baja
Impacto	Alto
Nivel de oportunidad	Medio

Cuadro 4.9: Oportunidad 2, Necesidad de calibración

Marco Conceptual

Antes de proceder con el desarrollo de este proyecto, es necesario conocer, buscando en diversas fuentes bibliográficas y consultando a expertos, una serie de conceptos relacionados con el dominio del problema a resolver. Esto nos permitirá, por una parte, hacer un mejor modelado del mismo, y por otra, obtener algunos de los requisitos del proyecto. Este se enmarca dentro del área de la **metrología**, que se define como la ciencia que estudia las mediciones y sus aplicaciones [BIP+14; BIP+12]. En este contexto, un *instrumento de medición* permite conocer el valor de una magnitud física [ML15].

5.1 Características de un instrumento de medición

Todo instrumento de medición dispone de una serie de características que lo definen. Dentro de estas podemos diferenciar entre **características estáticas**, y **características dinámicas**. Las primeras son aquellas que el instrumento posee cuando se encuentra en estado estacionario, es decir, cuando la cantidad a medir (la entrada al sistema de medida) no varía o lo hace muy lentamente, y su valor de salida se ha estabilizado [Ben04; ML15]. En cambio las segundas describen el comportamiento del equipo de medida cuando la cantidad a medir cambia; más específicamente, en el comportamiento del sistema durante el tiempo que transcurre desde que la cantidad a medir se cambia y hasta que el valor de salida se ha estabilizado. Este comportamiento puede modelarse mediante ecuaciones diferenciales lineales con varios términos, donde cada uno puede estar multiplicado por un coeficiente. Dependiendo de si dicha ecuación diferencial es de primer, segundo, tercer orden, etc., hablaremos de un instrumento de primer, segundo, tercer orden, etc. Las características dinámicas quedan fuera del ámbito de este TFG, si bien es posible encontrar más información en la bibliografía [Ben04; ML15].

Las características estáticas, a su vez, pueden clasificarse en **características sistemáticas**, que son aquellas que pueden ser cuantificadas con exactitud mediante métodos matemáticos o gráficos, y **características estadísticas**, que no pueden cuantificarse con exactitud [Ben04]. Las características sistemáticas incluyen el rango, el alcance o amplitud, la linealidad (o no linealidad), la sensibilidad y la resolución del instrumento. En cambio las estadísticas incluyen su repetibilidad y su tolerancia.

Por una parte, el **rango** (*range* en inglés) está definido por dos valores, que denotan el valor mínimo y máximo de la cantidad a medir que el instrumento soporta. Es por tanto una característica elegida durante el diseño de dicho instrumento y normalmente no varía durante el ciclo de vida del aparato. En algunos casos, como los dispositivos transductores, que permiten convertir magnitudes físicas en señales eléctricas, se definen dos rangos: uno de entrada (valores mínimo y máximo admisibles de la cantidad a medir), y uno de salida (valores mínimo y máximo de la señal de salida, normalmente en términos de voltaje). Algunos instrumentos, como las balanzas con DeltaRangeTM de Mettler Toledo, disponen de *dos rangos*, uno normal y uno fino, que añade un decimal más al valor mostrado por pantalla [Met93].

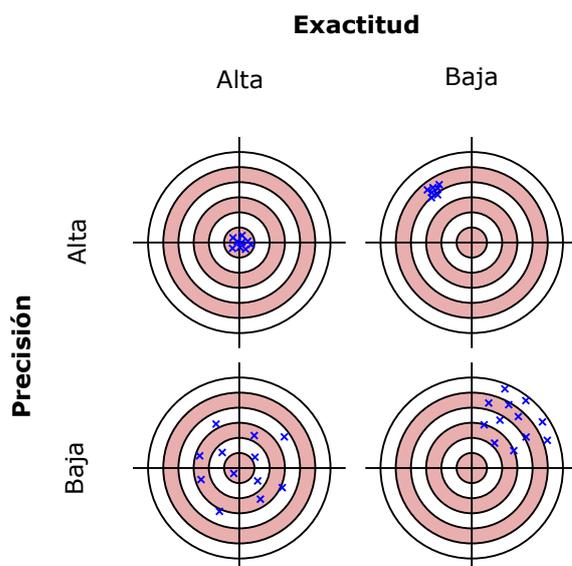


Figura 5.1: Diferencia entre precisión y exactitud.

Dado que un *rango* es en realidad un intervalo, el **alcance o amplitud** (*span*) de dicho rango es la máxima variación entre sus valores; en otras palabras es el valor absoluto de la resta entre su valor máximo y su valor mínimo [BIP+14; Ben04].

La **no linealidad** se define como la desviación máxima de cualquiera de las lecturas de salida con respecto al valor correspondiente en una línea recta obtenida al aplicar ajuste por mínimos cuadrados entre los. La no linealidad suele expresarse como porcentaje de la lectura a fondo de escala, aunque también puede expresarse utilizando la unidad de medida del instrumento (p. ej. $\pm 0,5$ g para una balanza).

Por otra parte, la **resolución** se define como la mínima variación de la magnitud medida que da lugar a una variación perceptible de la indicación correspondiente [BIP+14]. Es otra de las características inmutables de un instrumento de medida.

La **repetibilidad** describe la cercanía de los valores de salida cuando la misma entrada se aplica repetidas veces durante un corto periodo de tiempo, manteniendo las mismas condiciones de medida, mismo instrumento y observador, misma ubicación, y mismas condiciones de uso, a lo largo de todo el proceso.

La **exactitud** (*accuracy*) permite conocer cómo de próxima una medida o conjunto de ellas están al valor verdadero. Por otra parte, la **precisión** (*precision*) define cómo de próximas están las medidas entre sí, esto es, la dispersión de los valores. Una representación de la diferencia entre precisión y exactitud puede encontrarse en la figura 5.1. Se pueden diferenciar entonces dos tipos de errores: uno asociado a la media, denominado *error sistemático*, y otro asociado a la desviación estándar llamado *error aleatorio*.

5.2 Balanzas

Una **balanza** es un instrumento que permite determinar el peso o la masa de una cierta cantidad de materia en general, como por ejemplo la de un objeto. El tipo de balanza que vendrá a la mente de la mayoría de personas cuando se las pide que piensen en una **balanza clásica**, es, acertadamente, la compuesta por una barra llamada *cruz*, también llamada *viga*, *astil* o *palanca*, de la cual cuelgan dos **platos** o **platillos**, uno en cada extremo de dicha barra. En su parte central, la viga está suspendida por un pequeño punto de apoyo denominado *fulcro*, que se ubica en la parte superior de un *soporte*. Cada una de las dos secciones de la viga que van desde el fulcro hasta el extremo del que se suspende un plato se conoce como *brazo*. Este tipo de balanzas permiten comparar el peso de dos objetos de forma relativa, cada uno de los cuales se coloca en un plato diferente; cuando la masa de uno de los objetos es mayor que la del otro, la viga se inclinará hacia el objeto de mayor masa gracias al efecto de la gravedad por una parte, y por otra, a que el fulcro permite a la viga pivotar. Por este motivo, la



Figura 5.2: Balanza Sartorius Entris 124I-1S en un laboratorio de química.

viga se comporta como una palanca de primer grado. Además del fulcro, en la parte central de la viga y unida a ésta de forma tangencial, se encuentra una aguja indicadora denominada *fiel*, que permite saber el ángulo de inclinación que presenta dicha viga en cada momento. La forma de operación consiste en poner un objeto de masa desconocida en uno de los platos, y, empleando pesas de masa conocida, añadir las o quitarlas en el plato contrario hasta conseguir nivelar el fiel (esto es, conseguir que la viga quede horizontal). A este diseño también se lo denomina **balanza de cruz** o **balanza de platillos**.

No obstante, una balanza analítica moderna está evidentemente compuesta por algunas partes diferentes. Como se verá más adelante en la historia de las balanzas, uno de los factores a tener en cuenta en las balanzas de precisión son las pequeñas corrientes de aire, por ejemplo debidas a la convección. Por ese motivo, los platos están protegidos por un *anillo protector contra corrientes de aire*, o *anillo de apantallamiento*, que impide que una corriente pueda pasar por debajo de dicho plato [KER13]. El plato también puede encontrarse dentro de una caja de vidrio cuyos laterales izquierdo y derecho son puertas para acceder al interior y depositar o eliminar el objeto a pesar; se abre una o más puertas para colocarlo, y se cierran antes de pesar. Esta caja puede tener varios nombres, como por ejemplo *corta-aíres* o *cortavientos*. Respecto al plato, en el mercado pueden encontrarse balanzas con diferentes **tipos de plato**, que típicamente son redondos o cuadrados. Esto será relevante para ciertos tipos de ensayos de calibración, como se verá posteriormente.

Dependiendo de la legibilidad, una balanza de laboratorio puede ser *de precisión* (1 mg), *analítica* (0,1 mg), *semi-micro* (0,01 mg), *microbalanza* (1 μ g), y *ultra-microbalanza* (0,1 μ g).

5.2.1 Historia

Etimológicamente, el vocablo “balanza” tiene sus raíces en la palabra del latín vulgar *bilancia*, que a su vez proviene del latín tardío *bilanx*. Esta última, a su vez, está compuesta de *bi-*, dos, y *lanx*, plato, platillo. Tal y como se refleja en algunos libros publicados durante el tercer cuarto del siglo XVI [Núñ67; Arf72], en castellano se utilizó el término *balança* hasta principios del XVII [Las05], cuando ya aparece el actual *balanza* [Mar13; Man+17].

Según diversos estudios arqueológicos, al menos tres civilizaciones antiguas, la mesopotámica, la del valle del Indo, y la egipcia, utilizaban ya pesos y balanzas a mediados del tercer milenio a. C. [Wil08]. El primer egiptólogo que centró varios de sus estudios en este ámbito, el británico William Flinders Petrie, encontró en excavaciones de la cultura Naquada en la zona del Alto Egipto múltiples pesas de diferentes formas en piedra [RJK14]. Petrie también adquirió en El Cairo una viga de balanza de 8.5 cm realizada en caliza roja, datada entre el año 2750 y el 3100 a. C. [Pet21]. Esta viga es una barra de sección cuadrada, con tres agujeros; dos en los extremos, y uno en su punto central, en cada uno de los cuales se enganchaba una cuerda. Sin embargo, no se conservan muchas balanzas de estos periodos, dado que normalmente se fabricaban en madera. Se cree que pesaje comenzó con el descubrimiento de la metalurgia, e inicialmente sólo se necesitaba pesar cuerpos ligeros. Durante la civilización egipcia, una de las funciones de las balanzas sería pesar los objetos antes de intercambiarlos comercialmente [Wil08].

Posteriormente, algunos de los grandes avances sobre la balanza pasarían a producirse en la antigua Grecia. En torno al 500 a. C. aparece en Grecia la *balanza romana*, que rompería con el diseño de *brazos iguales*, el único existente hasta entonces. En este diseño, el fulcro es un pivote sostenido por un gancho, y uno de los brazos es sustancialmente más corto que el otro. Del brazo corto se cuelga el objeto a pesar, aunque muchos diseños, en vez de disponer de un plato colgante, cuenta con dos ganchos en el extremo del brazo, de los que puede colgarse un plato u otros elementos. El brazo largo no dispone de sistema para colgar otro objeto, sino que tiene una pesa, bien colgante o bien atravesada por el brazo, que puede deslizarse a lo largo de la longitud de éste. Así, se cuelga el objeto cuya masa debe determinarse de los ganchos, y se desliza la pesa desde el fulcro hacia afuera, hasta que la viga queda nivelada; a mayor distancia, más pesa el objeto. En toda su longitud, el brazo largo cuenta con marcas que indican el correspondiente peso del objeto cuando la pesa debe situarse sobre cada una de éstas, y cuenta con un tope en su extremo para evitar que la pesa deslizante se salga. Por otra parte, durante esta época será descubierta la ley de la palanca, que rige el comportamiento de la viga en las balanzas, inicialmente por otros eruditos como Euclides, pero más extensivamente por Arquímedes [RJK14].

Por otra parte, otra constante de estos diseños era que los platillos de las balanzas colgaban de los extremos de la viga, hasta 1669. Ese año el matemático francés Gilles Personne de Roberval, inventa el instrumento que lleva el nombre de su pueblo natal, la *balanza de Roberval* [Kha18].

En torno a 1770, Richard Salter, un fabricante inglés de muelles originario de West Bromwich, crea la *balanza de muelle*. Será su sobrino George Salter quien registrará la primera patente del mismo en 1838 [RJK14]. Su método de funcionamiento es igual al del dinamómetro; su diseño más simple consiste en una carcasa hueca, por ejemplo un cilindro, con una escala marcada en su exterior. En su extremo superior, la carcasa dispone una anilla que permite fijar la balanza, por ejemplo, a la pared, al techo, o sujetarla con los dedos. Interiormente contiene un muelle, que termina, por su extremo inferior, en un gancho, del cual se cuelga el objeto a pesar. El muelle tiene acoplado una aguja que sale al exterior, siendo el indicador de la escala. Al colocar un objeto, la fuerza de la gravedad provoca la deformación del muelle, lo que desplaza la aguja proporcionalmente al peso de dicho objeto. Otros diseños posteriores, con diales circulares, añaden un mecanismo de piñón y cremallera [BB44].

Algunos autores atribuyen al químico escocés Joseph Black el desarrollo de la balanza analítica en torno a mediados del siglo XVIII, cuyo diseño, expuesto actualmente en el Museo Nacional de Escocia, estaba caracterizado por el empleo de una viga rígida y ligera suspendida sobre un fulcro puntiagudo con forma de cuña [RJK14; Nat20]. No obstante, otros apuntan que el diseño de Black era similar al de los farmacéuticos de la época, si bien una de sus innovaciones fue la aplicación del pesaje a las reacciones químicas, pesando previamente los reactivos y posteriormente los productos [And21].

No obstante, además del riesgo de que el fulcro perdiera su filo por el uso, cosa que se mitigaba añadiendo un mecanismo de **freno**, que en algunos diseños también puede llamarse *palanca de disparo* o *palanca de libe-*

ración, una de las limitaciones en el diseño de las balanzas de brazos iguales es la dificultad de conseguir que la longitud de ambos sea idéntica. Una de las técnicas que se inventaron para intentar remediarlo, también en algún momento del siglo XVIII, es la de la *doble pesada*, atribuida al físico francés Jean-Charles de Borda [Kha18]. Este método consiste en poner primero el objeto a pesar en uno de los platos, y en el otro poner un elemento cualquiera siempre y cuando permita equilibrar la balanza; por ejemplo se puede utilizar arena. A continuación se retira el objeto a pesar, y se vuelve a equilibrar la balanza añadiendo pesas con masa conocida. La masa de las pesas añadidas será igual a la que tenía el objeto de masa desconocida [Kha18; Cop22]. A esta técnica también se la conoce con el nombre de *principio de sustitución* [Sch82; BG22].

Adicionalmente, para evitar los efectos que las pequeñas corrientes de aire y la humedad tienen sobre las balanzas con este nivel de precisión, la construcción incluía una caja fabricada con las paredes en vidrio, y la base y las aristas en madera. Dentro de dicha caja se encontraba la balanza propiamente dicha, quedando aislada del exterior. Algunos ejemplos de este instrumento que incluían caja, ambos empleados en investigación científica puntera de la época, son la balanza hidrostática construida entre 1785 y 1789 por el fabricante londinense Jesse Ramsden [Sci20], y la analítica encargada por Antoine Lavoisier al fabricante francés Jean-Nicolas Fortin en 1788, con la que el primero realizaría los experimentos que le llevaron a enunciar su ley de conservación de la materia [Sel20]. Otros ejemplos de balanzas con caja, en este caso empleadas en tareas más rutinarias como puede ser por boticarios, son las fabricadas por la compañía Volland & Sons, Inc. con triple viga en 1912, y algunas de las de Seederer & Kohlbusch, Inc. en 1950.

Alrededor de 1945-1948, el inventor suizo Karl Erhard Mettler, tras analizar el instrumental de un laboratorio de química de la ETH Zurich y observar los problemas de las balanzas existentes, crea junto a un empleado el primer diseño comercialmente exitoso basado en un solo plato y en una viga con carga constante, con dos prototipos terminados durante el año siguiente [Gup12]. Su diseño se basa en el principio de sustitución expuesto anteriormente, que permite que los brazos no sean simétricos. En esta balanza, uno de los platos se reemplaza por completo por un contrapeso fijo, enganchado directamente al brazo, cuya masa es igual a la máxima que permite pesar el instrumento. Del mismo punto del brazo contrario al del contrapeso cuelgan varios “platos”, todos sujetos del mismo eje vertical, cada uno en un nivel diferente. El inferior es un plato real, donde se coloca la muestra cuya masa desea conocerse. Por contra, los superiores contienen pesas con forma de anillo; cada nivel contiene varias pesas, cada una de una masa diferente, colocadas concéntricamente. Todas estas pesas pueden reposar sobre su correspondiente “plato” (en realidad un soporte), añadiendo carga al brazo de la balanza, o pueden ser retiradas o añadidas progresivamente gracias a la acción de unas palancas controladas por unos mandos que el usuario puede rotar en un sentido u otro. Cada mando controlaba un nivel, y cada uno de éstos poseía pesas para un rango diferente, por ejemplo, de 0,1 a 0,9 g; de 1 a 9 g; y de 10 a 150 g. Por otra parte, en el extremo del brazo del contrapeso se ubicaba un anillo, que servía como soporte de una escala dibujada sobre un material transparente. Dicha escala era atravesada por un haz de luz proveniente de una bombilla en la parte trasera, y terminaba en un visor en su parte frontal mediante un sistema de espejos, para que el usuario pudiera verla. De esta forma, la inclinación de la viga (y por tanto la carga en el brazo de la muestra Aunque algunos autores mencionan que Mettler fue el inventor “de la aplicación del principio de sustitución a las balanzas monoplato” [Met07], o “de las balanzas monoplato y viga con carga constante” [Gup12], otros han puntualizado que el ingeniero químico alemán Wilhelm Christian Bochkoltz ya había diseñado y construido una, basándose en los mismos principios, 120 años antes que el primero [Kha18].

5.2.2 Calibración

Para el caso de las balanzas, el método más común de referencia es el definido en el estándar EURAMET CG-18 [EUR+15], y el intervalo típico entre calibraciones suele ser anual, aunque depende de las necesidades del laboratorio [Sch19]. Previamente a los ensayos, debe recordarse que algunos fabricantes recomiendan tiempos de calentamiento (*warm up time*) que pueden ir desde varios minutos hasta horas, dependiendo del modelo y de su precisión.

El estándar define tres tipos de ensayos: de repetibilidad, de errores de indicación, y de excentricidad. En esta sección se detallarán los procedimientos de la primera y la tercera a título ilustrativo. Para dichos procedimientos,

se denotará el rango útil de la balanza que desea ser calibrada como $[W_{min}W_{max}]$

El ensayo de **repetibilidad** consiste, tal como se introdujo en el apartado 5.1, en quitar y poner repetidamente una pesa sobre un mismo punto. Requiere de los siguientes materiales:

1. Una pesa cuya masa, L_T , cumpla la siguiente característica: $0,5 \cdot W_{max} \leq L_T \leq W_{max}$

Para este tipo de prueba, se procede como se detalla en los siguientes pasos:

1. Poner a cero la balanza
2. Para cada una de las posiciones de prueba en el plato $i = 1..n$ en las que se desee probar
 - a) Para cada repetición $j = 0..m$, con $m \geq 5$ para $L_T < 100$ kg, y $m \geq 3$ en caso contrario,
 - 1) Colocar la pesa en la posición i
 - 2) Anotar la indicación de la balanza como $I_{L_{i,j}}$
 - 3) Retirar la pesa
 - 4) Comprobar que la indicación es cero
 - 5) Opcionalmente, anotar la indicación de la balanza como $I_{0,i,j}$

Por otra parte, las pruebas de **excentricidad** consisten en colocar la carga en diferentes puntos del plato (el centro y cuatro esquinas), tal como queda reflejado en la figura 5.3. En estas figuras, los puntos 2 y 5 están en la parte del plato más cercana a la cara frontal de la balanza, y los 3 y 4 los más cercanos a la parte trasera.

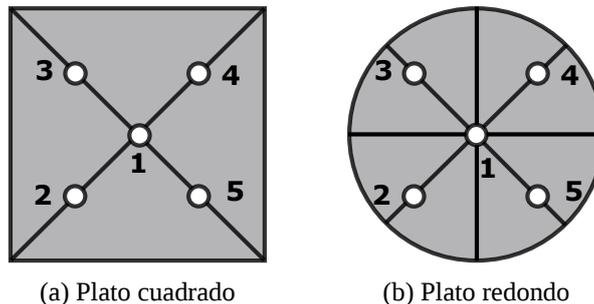


Figura 5.3: Posiciones para la calibración de excentricidad en platos de diferentes formas

Esta prueba requiere del siguiente material, de acuerdo a [EUR+15]:

- Una pesa con masa $\geq \frac{W_{max}}{3}$.

Existen 4 formas diferentes de efectuar este procedimiento, siendo las dos últimas las recomendadas en caso de que durante el proceso aparezca una deriva significativa. La primera de estas formas es:

1. Poner a cero la balanza
2. Colocar la pesa en el centro del plato (posición 1), anotar la indicación de la balanza como I_{L_0}
3. Para cada una de las posiciones restantes
 - a) Seleccionar una de las posiciones $i = 2, 3, 4, 5$ no visitadas al azar
 - b) Colocar la pesa en esa posición
 - c) Anotar la indicación de la balanza como I_{L_i}
 - d) Retirar la pesa

La segunda forma alternativa es la siguiente, con los cambios respecto a la anterior reflejados en **negrita**:

1. **Desconectar dispositivos de puesta a cero o de seguimiento de cero, si los hubiera**
2. **Colocar la pesa en el centro del plato (posición 1), sin anotar la indicación de la balanza**
3. **Tarar** la balanza
4. Para cada una de las posiciones restantes
 - a) Seleccionar una de las posiciones $i = 2,5$ no visitadas al azar
 - b) Colocar la pesa en esa posición
 - c) Anotar la indicación de la balanza como I_{L_i}
 - d) Retirar la pesa

Una tercera manera se describe a continuación, con los cambios respecto a la primera marcados en negrita:

1. Poner a cero la balanza
2. Para cada una de las posiciones **posibles**, $i = 1,5$
 - a) **Opcionalmente, registrar la indicación I_{0_i} , sin carga**
 - b) Seleccionar **la siguiente posición** no visitada, **en orden**
 - c) Colocar la pesa en esa posición
 - d) Anotar la indicación de la balanza como I_{L_i}
 - e) Retirar la pesa
 - f) **Verificar que la indicación tras retirar vuelve a ser I_{0_i}** , en caso contrario
 - 1) **Opcionalmente, poner a cero la balanza**
 - g) **Si se registró I_{0_i} , la verificación falló, y no se puso a cero la balanza**
 - 1) **Obtener la indicación del peso I_i mediante la resta**

$$I_i = I_{L_i} - I_{0_i} \quad (5.1)$$

Finalmente, la cuarta variación propuesta por el estándar es como sigue:

1. **Desconectar dispositivos de puesta a cero o de seguimiento de cero, si los hubiera**
2. Para cada una de las posiciones a partir de la 2, $i = 2,5$
 - a) Colocar la pesa en la posición 1
 - b) Anotar la indicación de la balanza como $I_{L_{1,i-1}}$
 - c) Tarar la balanza
 - d) Colocar la pesa en la posición i
 - e) Anotar la indicación de la balanza como I_{L_i}
3. Retirar la pesa

Adicionalmente, algunas calibraciones también incluyen ensayos de *linealidad* y de *sensibilidad*. No obstante, de acuerdo a un informe técnico de Mettler Toledo, los componentes que tienen una mayor contribución a la incertidumbre relativa en las balanzas análogas cuando la masa de la muestra a pesar es inferior a 10 g son, de mayor a menor, la repetibilidad, la no linealidad, el desplazamiento de sensibilidad (sensitivity offset) y la excentricidad, aunque el orden cambia para muestras de más de 30 g. [Met19].

Debe notarse que, debido a su menor contribución a la incertidumbre, los ensayos de linealidad normalmente se reservan para las calibraciones, y no ensayo son tan frecuentes en ensayos rutinarios [Met19]. La secuencia para realizar los ensayos de linealidad puede encontrarse en la bibliografía [IES18].

Una vez ejecutado el ensayo de repetibilidad, se obtienen el error sistemático y el aleatorio de cada posición, para lo cual se emplean las fórmulas de la media y de la desviación típica para muestras de una población, respectivamente, donde m representa el número de repeticiones para una posición concreta i . Recordemos que la fórmula de la media es la siguiente:

$$\bar{I}_i = \frac{\sum_{j=1}^m (I_{L_{i,j}} - I_{0_{i,j}})}{m} \quad (5.2)$$

mientras que de la desviación típica para muestras de una población es:

$$s_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m ((I_{L_{i,j}} - I_{0_{i,j}}) - \bar{I}_i)^2}{m - 1}} \quad (5.3)$$

Una vez obtenidos esos valores, se comparan con los límites proporcionados por el fabricante para el modelo concreto de balanza bajo prueba, o bien con los que el usuario haya definido como adecuados para su aplicación particular. Algunos ejemplos de valores de referencia proporcionados por el fabricante pueden verse en la tabla 5.4.

5.2.3 Ajuste

Como se ha comentado anteriormente, las balanzas tienen un botón denominado “autocalibración”, que puede considerarse como un abuso del lenguaje, ya que la operación que disparan casi siempre incluye un ajuste. La forma más común de ajuste que permiten las balanzas es el de linealidad, para el que se utilizan una o dos pesas, y que se inicia presionando la secuencia de teclas adecuada, que dependerá del fabricante. Gracias a esto, se consiguen entre dos (plato vacío y con pesa) y cuatro puntos (vacío, pesa A, pesa B y pesas A+B). Adicionalmente, algunos modelos de balanzas disponen de pesas internas mediante las cuales hacen el calibrado, mientras que en otros, la balanza solicita al usuario colocar sobre el plato una pesa de masa específica, que varía dependiendo del modelo y cuyo valor puede consultarse en el manual de usuario o es mostrado por pantalla. A estos tipos de ajustes se los conoce como *calibración interna* y *calibración externa*, respectivamente.

Dado que el ajuste de un instrumento digital puede requerir escribir nuevas tablas de valores con los resultados de una calibración previa en su memoria ROM, algunas operaciones de este tipo pueden requerir de software únicamente disponible para el personal de servicio técnico del fabricante u otras empresas autorizadas. Esto es particularmente cierto cuando las balanzas deben pasar a un modo especial de servicio antes de permitir dicha escritura. Por ejemplo, Mettler Toledo dispone, además de las diferentes versiones del programa eLoader, que están disponibles tanto para sus técnicos como para usuarios normales y se emplea actualizar el firmware de sus balanzas, de otro llamado LARS, usado para reparaciones y disponible sólo a los primeros.

A pesar de estas dificultades, algunos fabricantes pueden permitir que ciertos usuarios concretos tengan acceso a los manuales técnicos con los procedimientos de ajuste, como los de excentricidad. Por otra parte, el ajuste de balanzas predominantemente mecánicas puede encontrarse en ciertos manuales de usuario.

5.3 Micropipetas

Una *pipeta a pistón*, comúnmente llamada **micropipeta**, es un instrumento que permite aspirar y suministrar volúmenes precisos de un líquido, con capacidades que típicamente van entre un microlitro y algunos mililitros, dependiendo del modelo. Considerada por varios autores como el instrumento más ampliamente utilizado en

18.2 Características específicas por modelos

Características técnicas (límites)

Modelo	XP105DR	XP205	XP205DR
Capacidad máxima	120 g	220 g	220 g
Capacidad máxima en campo fino	31 g	---	81 g
Resolución	0.1 mg	0.01 mg	0.1 mg
Resolución en campo fino	0.01 mg	---	0.01 mg
Repetibilidad (medida con)	0.06 mg (100 g)	0.03 mg (200 g)	0.06 mg (200 g)
Repetibilidad con carga mínima (medida con)	0.05 mg (10 g)	0.015 mg (10 g)	0.05 mg (10 g)
Repetibilidad en campo fino (medida con)	0.04 mg (100 g)	---	0.04 mg (200 g)
Repetibilidad con carga mínima en campo fino (medida con)	0.015 mg (10 g)	---	0.015 mg (10 g)
Linealidad	0.15 mg	0.1 mg	0.15 mg
Carga excéntrica (medida con)	0.2 mg (50 g)	0.2 mg (100 g)	0.25 mg (100 g)
Desviación de sensibilidad ²⁾	$4 \times 10^{-6} \cdot R_{nt}$	$2 \times 10^{-6} \cdot R_{nt}$	$2.5 \times 10^{-6} \cdot R_{nt}$
Deriva térmica de sensibilidad	$1 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \cdot R_{nt}$	$1 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \cdot R_{nt}$	$1 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \cdot R_{nt}$
Estabilidad de la sensibilidad	$1 \times 10^{-6} / \text{a} \cdot R_{nt}$	$1 \times 10^{-6} / \text{a} \cdot R_{nt}$	$1 \times 10^{-6} / \text{a} \cdot R_{nt}$
Frecuencia de actualización del interface	23 /s	23 /s	23 /s
Medidas balanza (An x La x Al) [mm]	263 x 487 x 322	263 x 487 x 322	263 x 487 x 322
Altura útil del corta-aíres	235 mm	235 mm	235 mm
Dimensiones del plato de pesada (An x La) [mm]	78 x 73	78 x 73	78 x 73
Peso	10 kg	10 kg	10 kg

Características típicas para la determinación de la incertidumbre de medida

Modelo	XP105DR	XP205	XP205DR
Tiempo de estabilización	1.5 s	2.5 s	1.5 s
Repetibilidad (sd) ¹⁾	$0.04 \text{ mg} + 1 \times 10^{-7} \cdot R_{gr}$	$0.008 \text{ mg} + 6 \times 10^{-8} \cdot R_{gr}$	$0.04 \text{ mg} + 5 \times 10^{-8} \cdot R_{gr}$
Repetibilidad (sd) en campo fino ^{1) 3)}	$0.008 \text{ mg} + 1.5 \times 10^{-7} \cdot R_{gr}$	---	$0.008 \text{ mg} + 1.2 \times 10^{-7} \cdot R_{gr}$
No linealidad diferencial (sd)	$\sqrt{2.5 \times 10^{-11} \text{ g} \cdot R_{nt}}$	$\sqrt{5 \times 10^{-12} \text{ g} \cdot R_{nt}}$	$\sqrt{1.2 \times 10^{-11} \text{ g} \cdot R_{nt}}$
Carga excéntrica diferencial (sd)	$1 \times 10^{-6} \cdot R_{nt}$	$5 \times 10^{-7} \cdot R_{nt}$	$5 \times 10^{-7} \cdot R_{nt}$
Desviación de sensibilidad (sd) ²⁾	$1 \times 10^{-6} \cdot R_{nt}$	$5 \times 10^{-7} \cdot R_{nt}$	$8 \times 10^{-7} \cdot R_{nt}$
Pesada inicial mínima (según USP) ^{1) 4)}	$120 \text{ mg} + 3 \times 10^{-4} \cdot R_{gr}$	$24 \text{ mg} + 1.8 \times 10^{-4} \cdot R_{gr}$	$120 \text{ mg} + 1.5 \times 10^{-4} \cdot R_{gr}$
Pesada inicial mínima (según USP) en campo fino ^{1) 3) 4)}	$24 \text{ mg} + 4.5 \times 10^{-4} \cdot R_{gr}$	---	$24 \text{ mg} + 3.6 \times 10^{-4} \cdot R_{gr}$
Pesada inicial mínima (U=1%, 2 sd) ^{1) 4)}	$8 \text{ mg} + 2 \times 10^{-5} \cdot R_{gr}$	$1.6 \text{ mg} + 1.2 \times 10^{-5} \cdot R_{gr}$	$8 \text{ mg} + 1 \times 10^{-5} \cdot R_{gr}$
Pesada inicial mínima (U=1%, 2 sd) en campo fino ^{1) 3) 4)}	$1.6 \text{ mg} + 3 \times 10^{-5} \cdot R_{gr}$	---	$1.6 \text{ mg} + 2.4 \times 10^{-5} \cdot R_{gr}$

¹⁾ Válido para objetos compactos

²⁾ Tras el ajuste con una pesa de patrón incorporada

³⁾ En los modelos DeltaRange: el campo fino comienza en la carga nula (bruto).

⁴⁾ La pesada mínima puede mejorarse aplicando estas medidas:

- Selección de los parámetros de pesada adecuada
- Selección de un mejor emplazamiento
- Utilización de recipientes de tara más pequeños

sd = Desviación típica

Rgr = Peso bruto

Rnt = Peso neto (pesada inicial)

a = Año (Annum)

Los datos típicos son orientativos para el cálculo de la incertidumbre de medida esperada. El lugar de instalación y los ajustes pueden afectar negativa o positivamente al rendimiento de medida real.

Figura 5.4: Hoja de características de varias balanzas semi-micro de Mettler Toledo. Tomado de [Met06].



Figura 5.5: Soporte con diversas micropipetas monocanal de volumen variable en un laboratorio de química.

biología y medicina [Kli05], forma parte del grupo de aparatos volumétricos a pistón, que también incluye buretas, diluidores y dosificadores a pistón [Int10]. Este grupo de aparatos está cubierto por los estándares ISO 8655, dentro de los cuales, las partes 1, 6 y 7 contienen información general aplicable a todo el grupo. La primera (ISO 8655-1) se enfoca en terminología, requisitos y recomendaciones, mientras que las otras dos (ISO 8655-6 e ISO 8655-7), contienen métodos para ensayos de determinación del error de medida (o lo que es lo mismo, de calibración) mediante métodos gravimétricos y no gravimétricos, respectivamente. Por contra, la parte 2 (ISO 8655-2) está dedicada exclusivamente a este tipo de pipetas, mientras que el resto, las partes 3, 4, y 5, se centran en el resto de instrumentos del grupo mencionados anteriormente, las pipetas a pistón, diluidores y dosificadores, respectivamente. El método de calibración más común es el descrito en la ISO 8655-6 (gravimétrico) [Shi+14], que se discutirá en la subsección 5.3.2.

Dentro de este tipo de instrumento podemos encontrar diferentes variaciones. Dependiendo de si el usuario puede modificar el volumen que desea extraer o no, pueden clasificarse en micropipetas de volumen variable o de volumen fijo, respectivamente. Al igual que en las pipetas de vidrio, las micropipetas tienen un rango de volúmenes que pueden extraer, denominado **rango útil**, y dentro de una misma serie de productos de cada fabricante, hay diferentes modelos con diversos rangos. Rangos típicos son 0,1-2 μL , 0,2-2 μL , 0,5-10 μL , 0,5-5 μL , 1-10 μL , 2-20 μL , 5-50 μL , 10-100 μL , 20-200 μL , 30-300 μL , 100-1000 μL , 500-5000 μL , 1-5 mL y 1-10 mL. Por otra parte, existen modelos que actúan como si fueran múltiples micropipetas fusionadas entre sí, lo que se denomina *multicanal* (en contraposición a *monocanal*). Por tanto una característica de este dispositivo es su **número de canales**. En las pipetas multicanal los mecanismos de selección de volumen (para aquellas que además sean de volumen variable) y de accionamiento (aspiración y expulsión del líquido) son comunes a todos los canales, de modo que el volumen seleccionado en el mecanismo por el usuario será el que tendrá para cada canal. A modo ilustrativo, en la figura 5.5 se muestra un conjunto de micropipetas monocanal de volumen variable. Una tercera variación puede encontrarse en las formas de accionamiento y control. Este tipo de dispositivos pueden accionarse de forma manual o automática, y controlarse por medios mecánicos, electromecánicos o electrónicos [Int09a].

En cualquier tipo de micropipeta, se llama **volumen nominal** al volumen más grande que puede seleccionar un usuario por cada canal, viene especificado por el fabricante, y corresponde al valor superior del rango del instrumento [Int09a; Shi+14]. En micropipetas de volumen fijo, el volumen nominal es simplemente el valor del único volumen con el que trabajan.

Constan de diferentes partes, según puede apreciarse en la figura 5.6. Para operar una micropipeta, el usuario debe colocar una punta adecuada en el *cono para puntas*, también llamado *soporte para puntas*. Existen puntas de diferentes tamaños, asociados al rango admitido por la micropipeta, y algunas se diseñan para encajar en el cono de uno o varios fabricantes concretos, aunque existen puntas universales. Para facilitar la identificación del tamaño de punta a utilizar, algunos fabricantes utilizan un código de colores, tiñendo el plástico usado en las puntas de azul (p. ej. para micropipetas de 100-1000 μL), amarillo (p. ej. para aquellas cuyo rango se ubique entre 2 y 200 μL), o dejándolo incoloro, y fabricando alguna pieza en cada modelo de micropipeta del mismo color que las puntas que dicho modelo necesita. Dichas piezas suelen ser el *botón de accionamiento*, el *botón eyector de la punta*, y/o el *eje*.

Para extraer una cantidad determinada de líquido [FFF20], el usuario debe, en primer lugar, seleccionar aquella micropipeta dentro cuyo rango se encuentre el volumen deseado. Una vez seleccionada, debe acoplarse una punta adecuada al rango de volúmenes de la micropipeta, como se comentó anteriormente. El extremo de mayor diámetro se une al instrumento por el *cono para puntas* de éste. A continuación, en las micropipetas de volumen variable, el usuario puede seleccionar el volumen que desea pipetear. Para ello, el usuario debe rotar un mando de ajuste de volumen, que típicamente es el propio *botón de accionamiento*, aunque también puede ser una pieza independiente de ésta. Dependiendo de si se rota en sentido horario o antihorario se puede aumentar o disminuir el volumen seleccionado, o viceversa, dependiendo del modelo. Para conocer qué volumen está seleccionado en un momento determinado, el sistema de selección está mecánicamente acoplado a un *indicador numérico de volumen*, que consta de 3 o 4 dígitos. Una vez el volumen deseado se muestra en el indicador de volumen, se puede proceder al pipeteado, expulsando en primer lugar parte del aire del interior del instrumento mediante el émbolo interno. Dicho émbolo se controla mediante el *botón de accionamiento*, que tiene dos

“topes”. Al pulsar hacia abajo (hacia el *cuerpo de la micropipeta*) con el pulgar este botón, aparece un punto en el que el mecanismo presenta una ligera resistencia. Este es el primer “tope”, y el volumen de aire desalojado de la pipeta desde la posición de reposo hasta dicho “tope” coincide con el mostrado en el indicador. Sin soltar el botón (no debe ser movido del primer tope) la punta es entonces sumergida en el líquido. El botón debe ser ahora soltado lentamente para que retorne a su posición natural, lo que succiona el volumen de líquido seleccionado al interior de la punta. La razón para no soltarlo de golpe es evitar que, al succionar bruscamente, se introduzcan también burbujas de aire.

Para depositar el líquido contenido en la punta en el recipiente de destino deseado, lo ideal es tocar con el extremo fino de dicha punta en la pared interior del citado recipiente antes de empezar esta operación; esto disminuirá las salpicaduras. Para expulsar el líquido, el usuario debe presionar el botón de accionamiento, primero hasta el primer “tope”, y luego de forma ligeramente más fuerte hasta alcanzar el segundo “tope”, punto en el que ya no puede bajar más. El motivo del pequeño volumen de aire contenido entre el primer y el segundo “tope”, se debe a que, debido a la tensión superficial del líquido aspirado, parte de éste se quede adherido a la pared interna de la punta y pueda formar pequeñas gotitas, con lo que la cantidad depositada sería menor a la seleccionada. Ese volumen de aire entre el primer y el segundo “tope”, permite expulsar ese líquido adherido.

Una de las ventajas de las micropipetas es que únicamente la punta ha tocado el líquido con el que se ha estado trabajando, y estas puntas pueden cambiarse rápidamente por otra nueva. Esto permite usar la misma micropipeta para otro líquido sin gastar tiempo en limpiarla y sin preocuparse de provocar contaminación cruzada. Para expulsar la punta, basta con presionar el *botón eyector de la punta*, lo que hace que un *eyector de puntas* se deslice desde el final del *eje* hasta el extremo del *cono para puntas*, haciendo fuerza en la punta por su extremo más ancho para sacarla. En algunos modelos este *eyector de puntas* es simplemente un anillo, mientras que en otros es una pieza que cubre completamente el *eje* y es concéntrica a éste, como en la mostrada en la figura 5.6.

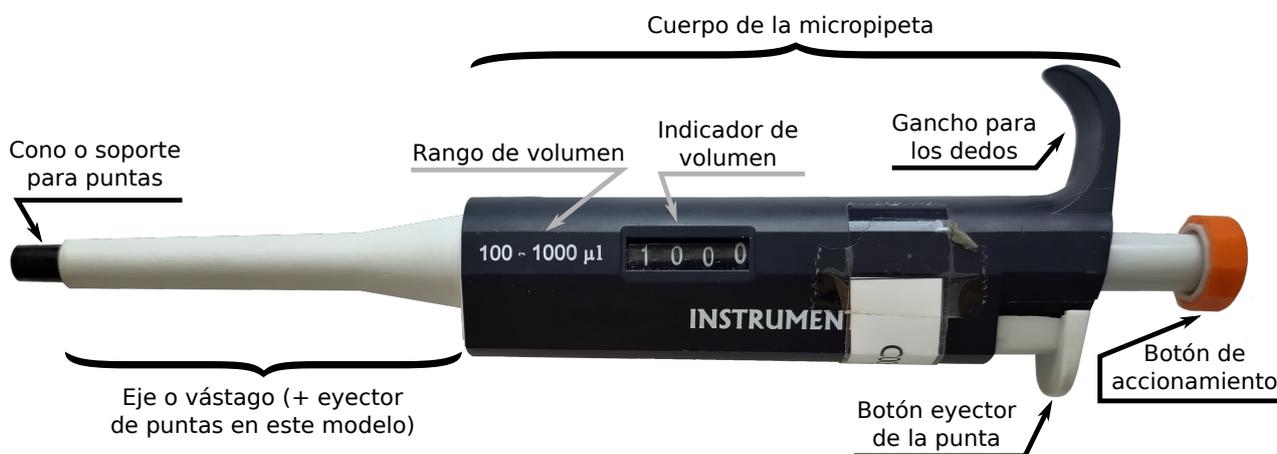


Figura 5.6: Partes de una micropipeta.

5.3.1 Historia

Los orígenes de las pipetas se remontan a los aparatos de vidrio inventados por el químico francés François-Antoine-Henri Descroizilles. En 1791 inventa el antecesor de la bureta, llamada *berthollimètre*, y en 1806 crea una nueva versión y la llama *alcalimètre*, el precursor de la pipeta [Duv71; Chr71]. Sería Louis Joseph Gay-Lussac quien, en 1824, acuñaría los términos pipeta y bureta. Entre 1860 y 1864, el químico y microbiólogo Louis Pasteur inventaría la *pipeta Pasteur* [Lab16], tomando un tubo de vidrio, calentando una sección de uno de los extremos, y estirando de la punta de dicho extremo para darle un diámetro, tanto interno como externo, progresivamente menor, esto es, para formar en la sección calentada un tubo capilar. Sin embargo, durante los años siguientes, el proceso de transferencia de líquidos se realizaba succionando con este instrumento el líquido deseado usando la boca, una técnica que tiene varios inconvenientes. Dado que, como se ha explicado anteriormente, es un instrumento de uso común en química, biología y medicina, un error del operador provocaba

que éste terminara con material infeccioso o con compuestos peligrosos en la boca, o incluso tragándose los. El primer caso registrado de este tipo de accidente surge en 1893, cuando un médico aspira accidentalmente un cultivo de bacilos tifoideos pipeteando con la boca [PB66; New16]. Por otra parte, aunque un usuario podía desarrollar la pericia necesaria como para extraer la cantidad deseada, el proceso seguía siendo lento e ineficiente. Otra desventaja consiste en que, al ser un tubo capilar de vidrio, estas pipetas se rompen muy fácilmente.

Algunos años después del invento de Pasteur, en 1936, Milton Levy, un investigador estadounidense que se encontraba trabajando en un proyecto de estudio del metabolismo de una única célula bajo la dirección de Kaj Ulrik Linderstrøm–Lang en los Laboratorios Carlsberg de Copenhague, Dinamarca, describe un método para la creación de un nuevo tipo de pipeta capaz de medir pequeños volúmenes de líquido [Lev36; Lab16; Bio17]. Dichos laboratorios habían sido creados en 1875 para el estudio de la química y la microbiología, especialmente en lo relativo a la elaboración de cerveza, por Jacob Christian Jacobsen, quien 31 años antes, en 1844, había fundado la cervecería Carlsberg. La nueva pipeta, denominada *pipeta Carlsberg* o *pipeta Lang-Levy*, se formaba partiendo de una pipeta Pasteur ya terminada, y calentando en puntos concretos a cierta distancia del extremo abierto de parte capilar del tubo; a mayor distancia y mayor diámetro del tubo de vidrio original, mayor capacidad de la pipeta. En el punto donde se calienta se forma una constricción del tubo que permite el paso del aire, pero dificulta el de líquidos. Estas pipetas debían calibrarse, una vez formadas, mediante mercurio o un líquido coloreado. Para utilizarlas, los investigadores simplemente tenían que aspirar por la boca hasta que el líquido llegaba a la constricción. Sin embargo, aunque permitían medir con precisión, adolecían de los mismos problemas que las Pasteur debido al material (frágiles al ser de vidrio) y método (pipeteo con la boca), a los que se añadían que eran difíciles de fabricar correctamente, y que pequeñas partículas en el líquido aspirado taponaban la constricción, inutilizando la pipeta [Kli05; Bio17].

Los sucesivos diseños fueron realizados por usuarios descontentos por estos problemas. En Estados Unidos, George S. Riggs, probablemente un inspector de productos lácteos, consciente de que succionar leche cruda para su análisis (una vez depositada sobre un portaobjetos de microscopía) podría implicar la infección del operador (p. ej. por *Brucella*, *Salmonella*, *Listeria*, etc.) presentó una patente titulada “Mechanical pipette” (pipeta mecánica) el 14 de noviembre de 1947 [Rig50; Bui09].

La micropipeta tal como se conoce en la actualidad fue inventada a mediados de la década de 1950 por el médico alemán Heinrich Schnitger durante un postdoctorado en el Instituto de Química Fisiológica de la Universidad de Marburgo, Alemania, en el grupo de Theodor Bücher. Seis meses después del desarrollo de su primer prototipo, construido modificando una jeringuilla de tuberculina, Schnitger presentó el 3 de mayo de 1957 una solicitud de patente, titulada “Vorrichtung zum schnellen und exakten Pipettieren kleiner Flüssigkeitsmengen” (Dispositivo para el pipeteado rápido y preciso de pequeñas cantidades de líquido), que fue publicada con número DE1090449B el 6 de octubre de 1960 y finalmente aprobada el 24 de abril de 1961. Su esquema se muestra en la figura 5.7a. Netheler & Hinz GmbH, actualmente Eppendorf AG, adquirió la licencia exclusiva para su fabricación y comercialización [Kli05; Sch60]. Algunas de las características introducidas por el diseño de Schnitger que definen la micropipeta moderna son los dos muelles concéntricos (indicados con las etiquetas 7 y 8 en el esquema) que permiten el doble “tope”, y las puntas desechables de plástico, originalmente pensadas para ser fabricadas en PTFE¹, que fue posteriormente reemplazado por polietileno al ser más económicas de fabricar.

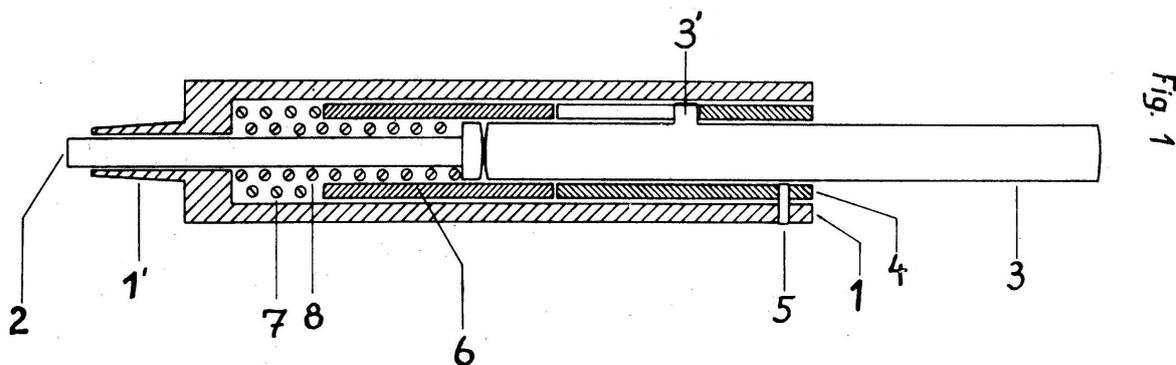
La primera patente de una micropipeta de volumen variable, titulada “pipeta ajustable” (“Adjustable pipette”, número US3827305A), que se debe al médico estadounidense Warren Gilson y a su hijo Robert, fue publicada en agosto de 1974 [GG74; Bui09] y expiró en agosto de 1991. Warren era profesor de la Facultad de Medicina y Salud Pública de la Universidad de Wisconsin en Madison, y en 1957 había fundado Gilson Inc., una empresa dedicada a diseñar nuevos instrumentos enfocados en la medicina y la investigación médica, y comercializarlos. Entre las innovaciones de su micropipeta cabe destacar, aparte de la posibilidad de modificar el volumen, el indicador numérico mecánico (típicamente de 3 dígitos) que permite conocer el volumen de líquido seleccionado. En este diseño, mostrado en la figura 5.7b, el volumen se varía girando una tuerca moleteada (110)² ubicada entre el botón de accionamiento y la parte superior del cuerpo de la micropipeta. En realidad di-

¹ Acrónimo del politetrafluoroetileno, más conocido por su nombre comercial Teflon®.

² El *moleteado* es una técnica de mecanizado que permite crear en la superficie de una pieza, normalmente de metal, patrones en

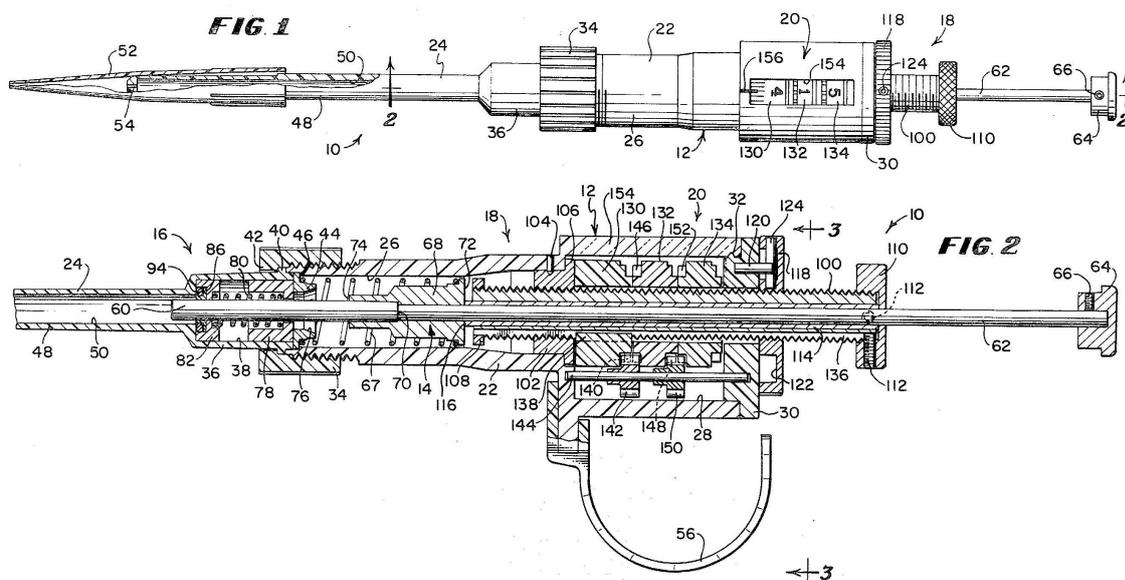
cha tuerca se comporta como si fuera la cabeza de un perno hueco (100); su parte roscada se ubica en su mayoría dentro del cuerpo de la micropipeta, y su extremo inferior actúa como tope superior (108) del émbolo. Al girar el perno mediante la tuerca, el tope superior sube o baja, aumentando o disminuyendo el volumen de líquido aspirado, respectivamente, y también rota el mecanismo del indicador numérico. El sistema también dispone de una tuerca de bloqueo (118), que también va roscada al perno (100), y al ser apretada contra el cuerpo del instrumento, impide que dicho perno gire, lo que permite que el usuario pueda bloquear el volumen seleccionado contra modificaciones inadvertidas durante su uso. Dos décadas más tarde, en julio de 1995, Warren solicitaría la patente de una versión refinada de su diseño original (“Adjustable pipette”, concedida en julio de 1997 con número US5650124A), que expiraría en julio de 2015 [Gil97].

En mayo de 1968, Colin John Sanderson, de la Universidad de Queensland, Australia, presentó una solicitud de patente para un cuentagotas múltiple (“Multiple droppers”, número AU2189667A) [San70]. Sin embargo, la primera patente de una pipeta multicanal propiamente dicha fue solicitada por el médico finlandés Osmo Antero Suovaniemi en agosto de 1969, bajo el nombre “Sarjapipetti” (Pipeta en serie), con número FI44069B, que sería registrada y se dejaría caducar simultáneamente, un año después [Suo71; Lab16]. De este diseño, cuyo esquema se muestra en la figura 5.7c, llama la atención que la sección horizontal del cuerpo de la micropipeta en los dibujos que acompañan la solicitud es cuadrado, con los ejes dispuestos en una matriz 3x3, aunque no se ha tenido tiempo de traducir el texto al español o al inglés. Posteriormente, en febrero de 1972 registraría otra patente con el mismo título, a la que se le asignaría el número FI47460B [Suo73], y que expiraría en marzo de 1992. Para esta segunda, la empresa fundada por Suovaniemi, Labsystems Oy, solicitaría su registro en otros 11 países además de en Finlandia, y se terminaría convirtiendo en el origen de la gama Finnpiquette Multicanal.

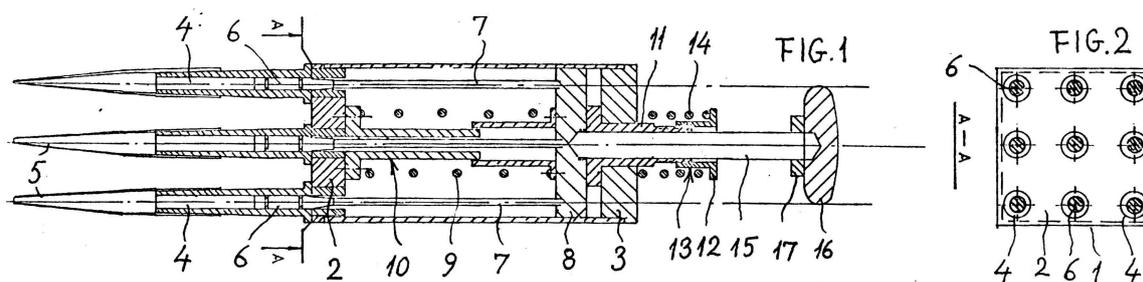


(a) Micropipeta patentada por Heinrich Schnitger en 1961. Tomado de [Sch60].

relieve, a menudo con formas romboidales o con rayas paralelas. La finalidad de dichos patrones es mejorar el agarre cuando dicha pieza se manipula con los dedos del usuario. El método más común para crear un moleteado en una pieza es mediante un torno y una herramienta específica llamada *fresa de moletear*.



(b) Micropipeta patentada por Warren y Robert Gilson en 1974. Tomado de [GG74].



(c) Micropipeta patentada por Osmo Antero Suovaniemi en 1971. Tomado de [Suo71].

Figura 5.7: Diseños de micropipetas de algunos inventores

5.3.2 Calibración

Como se ha comentado anteriormente, tanto la norma ISO 8655-6 [Int09b] como la ISO 8655-7 [Int09c] describen procedimientos de calibración que se emplean como métodos de referencia. La primera describe métodos gravimétricos para pipetas, buretas, diluidores y dosificadores, y la segunda métodos no gravimétricos, en concreto el método fotométrico y el titrimétrico, para estos mismos instrumentos. Los métodos gravimétricos se basan en determinar el volumen de líquido extraído por el instrumento en base al peso del mismo mediante una balanza, mientras que los fotométricos se apoyan en la ley de Beer-Lambert, que dice que la absorción de luz por parte de una disolución a una longitud de onda determinada es directamente proporcional, entre otros dos factores, a la concentración del soluto, por lo que este método requiere de un espectrofotómetro UV/Vis³. En cambio, los titrimétricos se basan en el análisis volumétrico (llamadas también valoraciones, ya sean de tipo ácido-base, redox, complexometrías, o de precipitación). En éstas, se toma con el instrumento a calibrar un volumen determinado de una solución de concentración conocida de un reactivo al que en este caso se denomina *analito*. Ese volumen se hace reaccionar, gota a gota, con una disolución, también de concentración conocida, de otro reactivo, denominado *valorante*. Llega un punto en el que se ha añadido el suficiente volumen de solución valorante a la solución del analito como para que todo el segundo haya reaccionado, que se evidencia

³Abreviatura de ultravioleta-visible, se emplea para describir espectrofotómetros que pueden hacer sus análisis haciendo un barrido en ambas regiones del espectro electromagnético.

de alguna forma (p.ej. por un cambio permanente de color, como en valoraciones ácido-base). A ese punto se le denomina *punto de equivalencia*, que una vez alcanzado se deja de añadir solución valorante. Conociendo las concentraciones empleadas, la reacción, y el volumen de solución valorante que se ha necesitado para alcanzar el punto de equivalencia, es posible determinar el volumen de solución del analito (volumen real vertido por el instrumento bajo calibración).

De entre los definidos en estas dos, la ISO 8655-6 y la 8655-7, el método más común es el descrito en la primera, o aquellos basados en él. Por el contrario, los otros dos métodos se recomienda reservarlos para aquellas situaciones en los que no está disponible el instrumental necesario (balanzas, termómetro) con las características mínimas requeridas, o no se dispone de un entorno adecuado para realizar el ensayo, pero en ningún caso pueden ser empleados como métodos de referencia para ensayos de tipo o de conformidad por parte del fabricante.

Por este motivo, en este apartado se presenta una descripción del procedimiento definido en la ISO 8655-6 en las últimas ediciones disponibles en el año 2010, a modo ilustrativo. Debe tenerse en cuenta que versiones más modernas de estas normas, como la del 2022, pueden haber introducido cambios. Además del método descrito en la norma [Int09b; Mar17], los manuales de las micropipetas de diversos fabricantes pueden incluir métodos de calibración simplificados basados en el primero [Sar13; Alb12].

La norma establece que deben realizarse mediciones para al menos 3 volúmenes de prueba, a los que llamaremos V_i : a) el nominal, b) aproximadamente la mitad del volumen nominal, y c) de entre el límite inferior del rango de volúmenes útiles y el 10 % del volumen nominal, el que sea mayor de los dos. Sobre este último punto, conviene recordar que el límite inferior del rango de volúmenes útiles suele ser precisamente un orden de magnitud menor que el límite superior, esto es, el 10 %. No obstante, existen modelos de ciertos fabricantes que no tienen esta característica (p. ej. de 0,1-2 μL , de 0,5-10 μL , y de 1-5 mL). Por tanto, para una micropipeta cuyo rango útil sea de 100 a 1000 μL , el estándar indica que deben hacerse mediciones con la pipeta ajustada a 100 μL , 500 μL y 1000 μL , al menos.

El mismo estándar también especifica que, cuando este método (gravimétrico) se emplee para ejecutar ensayos de conformidad⁴ o de tipo⁵, o como método de referencia, deben realizarse 10 mediciones para cada uno de los volúmenes comentados en el párrafo anterior. Dado que los usos más comunes del método por parte del usuario caen en el primer o en el tercer caso, deben realizarse por tanto, un mínimo de 30 mediciones en total.

Antes de iniciar el test, es necesario disponer de los siguientes elementos:

- la micropipeta que se desea calibrar,
- puntas de pipeta adecuadas al modelo que desea calibrarse, al menos 31,
- un líquido de prueba, específicamente agua destilada o desionizada, a temperatura ambiente, *de grado 3 de acuerdo a ISO 3696*.
- una balanza analítica, cuya resolución dependerá de los volúmenes V que deban ensayarse en las micropipetas, o del volumen nominal de éstas. Dicha resolución deberá estar de acuerdo con la tabla 5.1

Volumen seleccionado V en la micropipeta	Resolución
$1 \mu\text{L} \leq V \leq 10 \mu\text{L}$	0,001 mg
$10 \mu\text{L} < V \leq 100 \mu\text{L}$	0,01 mg
$100 \mu\text{L} < V \leq 10 \text{mL}$	0,1 mg
$10 \text{mL} < V \leq 200 \text{mL}$	1 mg

Cuadro 5.1: Requisitos mínimos de las balanzas usadas en calibrado de instrumentos a pistón.

- tres recipientes: uno al que denominaremos *inicial*, que contendrá todo el agua necesaria para la prueba completa, un segundo al que denominaremos *recipiente de pesaje*, que se colocará más adelante en la

⁴De acuerdo a ISO 8655-1 [Int10], un ensayo de conformidad, en este caso, es el examen sistemático del instrumento para determinar si cumple con los requisitos especificados en dicha norma (ISO 8655), especialmente en sentido metrológico.

⁵De acuerdo a ISO 8655-1 [Int10], un ensayo de tipo es un “ensayo de conformidad sobre la base de una o varias muestras de un producto representativo de la producción”.

balanza y servirá para determinar la masa de cada volumen de agua expelido, y un tercero que servirá para descartar agua sin pesarla. Es recomendable que el recipiente de pesaje disponga de tapa si se van a seleccionar volúmenes $\leq 50\mu L$.

- un dispositivo de temporización, tal como un cronómetro, con una incertidumbre estándar ≤ 1 s.
- un barómetro con una incertidumbre estándar $\leq 0,5$ kPa.
- un termómetro con una incertidumbre estándar $\leq 0,2$ °C.
- un higrómetro con una incertidumbre estándar ≤ 10

Una vez se cuenta con dicho material, debe procederse de la siguiente manera:

1. Anotar las condiciones del entorno antes de la prueba, específicamente: la temperatura que tiene el líquido de prueba (agua) en el recipiente del que se vaya a tomar, redondeada a los $0,2$ °C más cercanos. Apuntar también la presión barométrica de la sala redondeada al 1 kPa más cercano, y la humedad relativa redondeada al 10% más cercano. Los dos primeros se emplearán más adelante para la selección del factor de corrección Z , que permitirá convertir las masas obtenidas en cada medición al volumen que ocupan, teniendo en cuenta la densidad del agua y el empuje del aire (*air buoyancy*).
2. Transvasar algo de líquido de prueba del recipiente inicial al recipiente de pesaje, de tal forma que éste quede con al menos 3 mm de altura de líquido.
3. Seleccionar el volumen de prueba V_i en la micropipeta.
4. Colocar una nueva punta de prueba en la micropipeta.
5. Humedecer la punta de la pipeta cinco veces, tomando agua del recipiente inicial, y depositándolo en el de descarte. Esto se hace para que la humedad en el aire que siempre queda en la pipeta (volumen de aire muerto) alcance un equilibrio.
6. Colocar el recipiente de pesaje, con los (al menos) 3 mm de agua que se añadieron anteriormente, en el plato de la balanza.
7. Realizar 10 repeticiones $j = 0.,9$ de los siguientes pasos:
 - a) Colocar una nueva punta de prueba en la micropipeta.
 - b) Humedecer la punta una única vez, tomando el agua del recipiente inicial, de la siguiente manera:
 - 1) Presionar el émbolo hasta el primer tope
 - 2) Introducir la punta en el agua, sumergiendo el extremo abierto entre 2 y 3 mm por debajo de la superficie del agua
 - 3) Soltar lentamente el émbolo para que retorne a la posición de reposo
 - 4) Esperar entre 1 y 2 segundos
 - 5) Mover la micropipeta verticalmente con cuidado para sacar la punta del agua.
 - 6) Tocar con el extremo de la punta la pared lateral del recipiente inicial para limpiarla.Y depositarlo en el recipiente de descarte, como se describe a continuación:
 - 7) Tocar con el extremo abierto de la punta en la pared interior del recipiente de descarte
 - 8) Presionar el émbolo hasta el segundo tope
 - 9) Limpiar la punta arrastrándola por la pared interior del recipiente de descarte, para eliminar cualquier resto de agua.
 - 10) Sacar la pipeta del recipiente de descarte
 - 11) Soltar el émbolo para que retorne a la posición de reposo

- c) Volver a llenar la punta de la pipeta de agua, como se ha descrito en los pasos 7b.1-6.
- d) Realizar una de las siguientes dos acciones: o bien tarar la balanza, o bien anotar la masa de tara $m_{0,j,i}$, que es la masa que tiene el recipiente de pesaje junto con todo el agua que contiene en este momento (es decir, la que tiene el recipiente antes (0) de obtener la masa de la repetición j para el volumen de prueba V_i).
- e) Si el dispositivo de temporización no ha sido iniciado, esto es, si es la primera repetición ($j = 0$), iniciar la temporización.
- f) Si el recipiente de pesaje tiene tapa, quitarla.
- g) Depositar, en el recipiente de pesaje, el agua contenida en la micropipeta. Los pasos son los mismos que los descritos en 7b.7-11, con la salvedad de que, como en este caso no se está descartando el agua (esto es, depositándolo en el recipiente de descarte) sino que se desea pesar, algunos pasos tienen restricciones adicionales para conseguir un mejor resultado. Dichas diferencias y restricciones se indican en **negrita**:
- 1) Tocar con el extremo abierto de la punta en la pared interior del recipiente de **pesaje, justo por encima de la superficie del líquido, en un ángulo de aproximadamente entre 30° y 45°**.
 - 2) Presionar el émbolo hasta el segundo tope
 - 3) Limpiar la punta arrastrándola **aproximadamente entre 8 y 10 mm a lo largo de** la pared interior del recipiente de **pesaje**, para eliminar cualquier resto de agua.
 - 4) Sacar la pipeta del recipiente de **pesaje**
 - 5) Soltar el émbolo para que retorne a la posición de reposo
- h) Si el recipiente de pesaje tenía tapa, volverlo a tapar.
- i) De nuevo, dos opciones: si en el paso 7d se optó por tarar la balanza, anotar la masa del volumen de agua que se acaba de añadir al recipiente de pesaje como $m_{j,i}$. Si no se taró, anotar la masa que tiene en este momento el recipiente de pesaje como $m_{1,j,i}$, donde el primer 1 del subíndice indica que es la masa posterior a la última adición de agua.
8. En caso de que el volumen de prueba V_i sea $\leq 50\mu L$ y se haya empleado un recipiente de pesaje sin tapa, realizar los siguientes pasos adicionales para efectuar una corrección por la evaporación. En caso de que $V_i > 50\mu L$ o el recipiente tenga tapa, se deben omitir:
- a) Anotar el tiempo empleado en realizar las 10 mediciones redondeado al segundo más cercano. Este valor se obtiene del dispositivo de temporización.
 - b) Permitir que el recipiente de pesaje repose sobre el plato de la balanza durante el tiempo calculado en el paso anterior (8a), y anotar su masa, $m_{11,i}$ (se está suponiendo que hay una repetición adicional $j = 11$, para su uso en un cálculo posterior).
9. Anotar la temperatura que tiene el agua que queda en el recipiente inicial, redondeada a los 0,2 °C. Junto a la que se tomó al inicio de la prueba

Tras haber ejecutado los pasos anteriores para los tres volúmenes de prueba, y como resultado haber obtenido los datos necesarios, se puede proceder a la **evaluación de los resultados**. En primer lugar, debe calcularse la pérdida de masa debida a la evaporación para cada repetición. $\frac{m_{10}-m_{11}}{10}$

A continuación, si en los pasos 7d y 7i se optó por no tarar la balanza en cada repetición, debe calcularse la masa depositada en el recipiente de pesaje en cada una de dichas repeticiones calculando

$$m_{j,i} = m_{1,j,i} - m_{0,j,i} \quad (5.4)$$

En cualquiera de los dos casos, se haya tarado durante el procedimiento o no, ahora se dispone de las masas individuales depositadas en cada repetición m_i , y deben a ser convertidas a su volumen, V_i . Para ello, debe

multiplicarse por un factor de corrección que tiene en cuenta la densidad del agua (recordemos que la densidad de un material es directamente proporcional a su masa e inversamente a su volumen, pero también es dependiente de la temperatura)

$$V_i = m_i \cdot Z \quad (5.5)$$

Sin embargo, si la temperatura a la que se hizo el ensayo es diferente de la de ajuste (20°C o 27 °C), y si el factor de corrección por la expansión térmica Y del instrumento es conocido, se puede aplicar la siguiente fórmula:

$$V_i = m_i \cdot Z \cdot Y \quad (5.6)$$

Tal como se explica en el informe técnico ISO/TR 20461 [Int00], los factores de corrección Z se calculan utilizando la ecuación 5.7:

$$Z = \frac{1}{\rho_w} \times \frac{1 - \frac{\rho_a}{\rho_b}}{1 - \frac{\rho_a}{\rho_w}} = \frac{1}{\rho_b} \times \frac{\rho_b - \rho_a}{\rho_w - \rho_a} \quad (5.7)$$

Donde ρ_w es la densidad del agua, que se obtiene de la fórmula propuesta por Frank E. Jones y Georgia L. Harris en 1992 [JH92], que es una simplificación de las descritas por George S. Kell [Kel75]. ρ_a es la densidad del aire, y ρ_b es la densidad de la pesa estándar utilizada para calibrar la balanza, que de acuerdo a la OIML, equivale a 8000 kg/m³ para pesas hechas de acero. No obstante, tanto la propia norma ISO 8655-6 [Int09b] como los manuales de usuario de las micropipetas de diversos fabricantes [Sar13; Alb12] proporcionan tablas con los valores precalculados para las temperaturas y presiones más comunes, como se ve en la tabla 5.2:

Temperatura (°C)	Presión de aire (kPa)			
	95,0	100,0	101,3	105,0
20,0	1,0028	1,0028	1,0029	1,0029
20,5	1,0029	1,0029	1,0030	1,0030
21,0	1,0030	1,0031	1,0031	1,0031
21,5	1,0031	1,0032	1,0032	1,0032
22,0	1,0032	1,0033	1,0033	1,0033
22,5	1,0033	1,0034	1,0034	1,0034
23,0	1,0034	1,0035	1,0035	1,0036
23,5	1,0036	1,0036	1,0036	1,0037
24,0	1,0037	1,0037	1,0038	1,0038
24,5	1,0038	1,0039	1,0039	1,0039
25,0	1,0039	1,0040	1,0040	1,0040
25,5	1,0041	1,0041	1,0041	1,0042

Cuadro 5.2: Factores de corrección Z . Tomados de [Sar13; Alb12; Int09b].

Como ya se comentó en la sección 5.1, existen dos tipos de errores en la medición; el *sistemático*, que depende de la media y permite conocer la exactitud (o inexactitud) del instrumento, y el *aleatorio*, que depende de la desviación típica y al proporcionar la dispersión de los datos, proporciona la precisión (o imprecisión) del mismo.

Por tanto, para obtener el error sistemático de la medición, se debe calcular el volumen promedio depositado en cada repetición utilizando la fórmula de la media:

$$\bar{V}_i = \frac{\sum_{i=1}^{10} V_i}{10} \quad (5.8)$$

Y con él se puede obtener el **error sistemático** para el volumen V_i , denotado como e_i , en mililitros:

$$e_i = \bar{V}_i - V_i \quad (5.9)$$

Aunque también se puede obtener, mediante la siguiente fórmula, expresado como porcentaje:

$$e_i = 100 \cdot \frac{(\bar{V}_i - V_i)}{V_i} \quad (5.10)$$

Por otra parte, como se ha visto en secciones anteriores, para obtener el error aleatorio de la medición se emplea la fórmula de la desviación típica, también llamada desviación estándar, para cuando se dispone de una muestra de la población

$$s_{r_i} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (V_i - \bar{V}_i)^2}{9}} \quad (5.11)$$

$$CV_i = 100 \cdot s_{r_i} \cdot V_i \quad (5.12)$$

Una vez obtenidos el error sistemático e_i y el aleatorio, debemos compararlos con unos valores de referencia para saber si se encuentran dentro del rango considerado aceptable. Dichos rangos de referencia, cuyos valores extremos se conocen como **errores máximos permitidos** [BIP+14], pueden ser los proporcionados por la ISO 8655-2 [Int09a], por el manual de usuario del fabricante de la micropipeta, o uno definido por el usuario, de acuerdo a las necesidades del laboratorio. A modo ilustrativo, en la figura 5.8 se muestra un fragmento del manual de usuario para las micropipetas monocanal de volumen variable de la serie Proline, de la empresa Biohit, en el que se detallan los errores máximos permitidos de cada modelo, y, para cada uno de éstos, los de los tres volúmenes de prueba.

5.3.3 Ajuste

El ajuste de una micropipeta se realiza normalmente con la ayuda de una herramienta llamada **llave de calibración**, aunque una vez más estamos ante un abuso del lenguaje. Típicamente, dichas llaves contienen alguna sección que encaja en una ranura ubicada en el cuerpo de la pipeta.

Algunas empresas que comercializan piezas como repuestos y llaves de ajuste tienen disponibles en sus páginas web algunas guías de calibración [Pip21]. No existe una llave universal para hacer el ajuste, sino que cada serie puede llegar a tener una llave específica, aunque dos o más series del mismo fabricante, o incluso series de diferentes fabricantes, pueden compartir el mismo tipo de llave. A modo de ejemplo, en la figura 5.9 se muestran un modelo de micropipeta junto con su correspondiente llave de ajuste. Tiene un rango de 100 a 1000 μL y es del fabricante Hanssell Instruments, aunque en realidad está fabricado por otra empresa. Este modelo es similar a los de la serie Proline del fabricante BiohitTM (ahora parte de Sartorius AG).

La llave de este modelo, similar a una llave fija, tiene unas protuberancias en una de sus caras por las cuales se fija a la tuerca de ajuste del cuerpo de la pipeta, que tiene unas hendiduras circulares, como se aprecia en la imagen. El hueco central de la cabeza de la llave permite que el eje del botón de accionamiento pueda pasar por él. Girando la llave a izquierda o a derecha permite subir o bajar el tope superior, o viceversa dependiendo del modelo, del émbolo, sin afectar al indicador numérico.



Figura 5.9: Un modelo de micropipeta junto con su llave de ajuste, a su izquierda.

Specifications**Biohit Proline Single Channel Adjustable Volume Pipettors**

Cat.No.	Volume range	Volume	Inaccuracy ±	Imprecision ±
720005	0.1-2.5 µl	2.5 µl 1.25 µl 0.25 µl	2.50% 3.00% 12.00%	2.00% 3.00% 6.00%
720000	0.5-10 µl	10 µl 5 µl 1 µl	1.00% 1.50% 2.50%	0.80% 1.50% 1.50%
700080	2-20 µl	20 µl 10 µl 2 µl	0.90% 1.20% 3.00%	0.40% 1.00% 2.00%
720020	5-50 µl	50 µl 25 µl 5 µl	0.60% 0.90% 2.00%	0.30% 0.60% 2.00%
700050	10-100 µl	100 µl 50 µl 10 µl	0.80% 1.00% 3.00%	0.15% 0.40% 1.50%
720070	20-200 µl	200 µl 100 µl 20 µl	0.60% 0.80% 3.00%	0.15% 0.30% 1.00%
720060	100-1000 µl	1000 µl 500 µl 100 µl	0.60% 0.70% 2.00%	0.20% 0.25% 0.70%
720110	1-5 ml	5 ml 2.5 ml 1 ml	0.50% 0.60% 0.70%	0.15% 0.30% 0.30%

Figura 5.8: Hoja de características de las micropipetas monocanal de volumen variable de la serie Proline, fabricadas por Sartorius Biohit Liquid Handling Oy. Tomado de [Sar13].

Soluciones Existentes

Una vez explicados los conceptos propios de las ramas de conocimiento en las que se enmarca este TFG, en este capítulo se realizará un análisis de las soluciones previas a su desarrollo, exponiendo sus características y comparándolas con las del futuro producto software. Esto permitirá resaltar las ventajas de la presente propuesta respecto al estado de la técnica.

6.1 Herramientas de propósito general

Dentro de este apartado podemos encontrar soluciones diseñadas para el mantenimiento de cualquier tipo de sistema. Un ejemplo es software **GLPi**, del francés *Gestionnaire Libre de Parc Informatique*, cuyas funcionalidades principales son la gestión. Lo que nos importa a nosotros es la gestión de instrumentos que presenta y los registros sobre las intervenciones que hacen los usuarios en el material gestionado. Permite muchos aspectos que nosotros queremos para nuestra aplicación, porque, aunque no este pensado como tal para un laboratorio, al ser de alcance general, se puede conseguir muchas cosas. Pero falla en una de las cosas que queremos que sea clave, y es que aunque permite la gestión de documentos relacionados con los instrumentos que se gestionan, no ayuda al guiado de ciertos procedimientos, que es lo que más buscamos nosotros.

6.2 Herramientas para instrumentos de laboratorio

La división croata del fabricante de balanzas Sartorius desarrolla el programa **myScal**[Sar21]. Dispone de tres módulos, uno diseñado para la calibración de micropipetas, otro para balanzas, y un tercero para pesas, que pueden interactuar entre ellos. Los procedimientos de calibrado de dichos módulos están basados en los estándares ISO 8655, EURAMET y OIML R-111, respectivamente.

En lo respectivo a la calibración de micropipetas, la mayoría de multinacionales que fabrican o venden este tipo de instrumento ofrece también un software para su calibrado. Por ejemplo, Mettler Toledo dispone del software **Calibry** y, tras su adquisición del fabricante de micropipetas Rainin Instrument, LLC en 2001, también de un segundo denominado **PipetteX** [Lab20]. Calibry es lo más cercano a lo que queremos conseguir hasta el momento, ya que permite el guiado, el registro de los procedimientos y busca cumplir con los estándares de las micropipetas, pero ese es su problema, que solo sirve para micropipetas monocanal o multicanal. Si queremos calibrar otro tipo de instrumento, no nos sirve.

Otra multinacional dedicada a la fabricación de instrumentos y especialmente micropipetas, Eppendorf, proporciona el PIpette CALibration SOftware, **PiCaSo** [VWR]. En 2015, la empresa vendía las licencias para la segunda versión de este programa (PiCaSo II) por 489 € + IVA [Epp15]. Pero presenta el mismo problema que Calibry, es exclusivo para micropipetas.

Existen ya algunas soluciones en el mercado como son:

- **NIST On-Wafer Software** [Nat09]: Colección de software bajo licencia del instituto nacional de estándares y tecnología de Estados Unidos. Aparte de que ofrece múltiples soluciones, en distintos programas, todos corren bajo el S.O Windows, y algún programa data de 1995, y necesita un interprete para que funcione en sistemas operativos modernos. Uno de sus problemas es que, para cada instrumento utiliza un programa, algo que, en un laboratorio con decenas de instrumentos, te tienes que aprender que programa calibra que instrumento. Algunos de los programas dice que requiere contraseña, el resto son gratuitos.
- **Fluke Calibration** [Flu]: Empresa que se dedica a la creación de instrumentos de medida, entre otras cosas. Ofrece Software para calibrar instrumentos del laboratorio, pero, en su mayoría, es propietario, solo para sus productos. La mayoría de programas que ofrecen, son solo compatibles con Windows. Y dado su longevidad, algunos tienen problemas en sistemas de 32 bits. Al igual que el software de NIST, ofrecen un programa por funcionalidad, haciendo que tengas que instalar varios programas si quieres mantener tus instrumentos. No ofrecen precio si no contactas con ellos. Y todo su software es de pago.
- **GAGetrak** [GAG]: Software para la administración de la calibración de herramientas, pues ofrece un sistema bastante completo a la hora de mantener un registro de los eventos de calibración, cuando toca la siguiente calibración programada, con notificaciones para avisar cuando toca calibrar... Pero carece de uno de los focos principales del problema, el ayudar al investigador a comprobar si el instrumento esta calibrado.
- **MetQuay** [Met]: Web-App que mantiene registro de trabajos de calibración en una empresa, con herramientas para comprobar los resultados de los experimentos y SOPs de calibración. Ofrece muchas funcionalidades de gestión, y la creación de certificados de que un instrumento ha sido calibrado. Pero carece de guías para ayudar al personal a realizar estos procedimientos.
- **GageList** []: Se definen ellos mismos como “Solución sencilla online que hace mantener registros de mantenimiento de una herramienta fácil y económico.”. Al igual que las dos últimas herramientas, su función es hacer de una base de datos de registros de calibración. Tiene una interfaz simple, para que se pueda utilizar hasta con el teléfono, pero carece de guías de calibrado. Tiene un plan gratuito de hasta 25 calibrados o herramientas.

Como observamos, básicamente, los programas que ya existen en el mercado, son gestores de equipo, osea, están pensados para grandes sitios, como cadenas de ensamblado, o envasado, en las que tienen una gran cantidad de instrumentos de medida, y tienen personal cualificado solo para la tarea de calibrado del instrumento, es decir, expertos.

6.3 Propuesta de solución

Como hemos analizado, ya hay soluciones parciales en el mercado, ya que la gestión de la calibración de instrumentos es muy necesaria para largas cadenas de producción. Pero, estas no cumplen con las especificaciones que necesitamos, pues nuestros usuarios, no serían expertos en el calibrado de instrumentos del laboratorio, y su conocimiento sobre los estándares de calibración de instrumentos será limitado, ya que su labor no es calibrar instrumentos, si no, realizar experimentos.

Para ello, se planea una Web-App, que permita mantener un registro de los instrumentos del laboratorio, sus registros de calibración (cuando fue la última, si se hace de forma rutinaria, cuando es la próxima...), y que, a la hora de añadir un registro nuevo, permita al usuario ver unas guías de como tiene que realizar la operación de calibración y le acompañe durante todo el proceso para que, al final, le muestre si el instrumento esta correctamente calibrado, o en su defecto, necesite calibrarlo y muestre también una guía de como calibrarlo (o si no se puede realizar por una persona, información sobre el experto que puede solucionar el problema).

La Web-App tendría 3 secciones grandes que se le mostrarían al usuario al comenzar, que son las correspondientes con los problemas que se quieren abordar. La sección de análisis y calibrado, serían, tras seleccionar el instrumento deseado, una consecución de fotos y texto breve al estilo WikiHow [Wik]. Se pasarán tarjetas a medida que el usuario vaya cumplimentando los distintos pasos e introduciendo valores dados por el instrumento si es necesario, que le llevaran a un informe final una vez acabado.

La tercera sección, se tendrá que realizar según los requisitos de los usuarios para ver que información requieren de conocer en los informes detallados, pero en la parte más general, sería un listado de los experimentos y calibraciones recientes con un buscador por herramienta, día...

El desarrollo se puede separar en 3 partes, análisis y diseño, desarrollo del back-end, y desarrollo del front-end. Para el Back-End se puede utilizar una API REST para poder acceder a la base de datos desde el front-end de forma sencilla. Como herramienta se puede utilizar el framework Spring [Spr], debido a lo fácil que es trabajar con el y que ya he trabajado con el antes.

Para el front-end, se necesita una interfaz web atractiva en la que visualizar los datos que recuperamos con la API REST. Existen muchos frameworks que facilitan todo esto, como son AngularJS [Ang], React [] o VueJS []. En este caso, al no tener experiencia previa en esta faceta, se necesita hacer un mayor análisis de las herramientas, y ver cual se adecua más a las necesidades nuestras y de los usuarios.

Como alternativa, se puede realizar la aplicación con un framework como es Flutter [], que, aunque este pensado para desarrollo multiplataforma de aplicaciones móviles, también cuenta con la posibilidad de crear WebApps sin más esfuerzo, por su desarrollo multiplataforma. Y tener la base de datos en Firebase [] junto a varias soluciones que ofrece (como la autenticación, el despliegue de la aplicación o guardar ficheros en la nube), pero para poder elegir, habría que hacer un análisis de los costos para ver cual de las dos maneras sería más barato implementar con los requisitos que analicemos. O, existe la posibilidad de utilizar el framework Flutter para realizar el front-end y ya usar el servidor Spring como back-end. Esto se baraja dado que al utilizar Flutter, no se tendrá que invertir tiempo en aprender a utilizar nuevas herramientas, pero como se ha dicho antes, esto se debe de decidir con los requisitos del proyecto enfrente.

Análisis

Los diferentes artefactos generados en el desarrollo de un software, como son especificaciones de requisitos, casos de uso, etc., se presentarán a lo largo de este documento de forma gráfica utilizando el estándar de modelado UML, disponible como ISO/IEC 19505:2012[Obj12].

7.1 Especificación de requisitos software

7.1.1 Requisitos funcionales

Un requisito funcional es el como se debe de comportar el sistema, definiendo que tiene que hacer para satisfacer las necesidades del cliente o usuario.

Los requisitos funcionales que hemos extraído para nuestro proyecto son los siguientes:

RF-001	Registro de calibración
Objetivos de los que depende	Ninguno
Requisitos de los que depende	Ninguno
Descripción	El sistema deberá permitir al usuario guardar un registro de calibración sobre un instrumento
Comentarios	

Cuadro 7.1: Requisito funcional RF-001,

RF-002	Registro de calibración
Objetivos de los que depende	Ninguno
Requisitos de los que depende	Ninguno
Descripción	El sistema deberá enseñar al usuario una guía para calibrar un instrumento
Comentarios	

Cuadro 7.2: Requisito funcional RF-002,

RF-003	Registro de calibración
Objetivos de los que depende	Ninguno
Requisitos de los que depende	Ninguno
Descripción	El sistema deberá enseñar al usuario una guía para realizar el experimento de análisis de un instrumento.
Comentarios	

Cuadro 7.3: Requisito funcional RF-003,

RF-004	Registro de calibración
Objetivos de los que depende	Ninguno
Requisitos de los que depende	Ninguno
Descripción	El sistema deberá mostrar los registros guardados de calibración de un instrumento.
Comentarios	

Cuadro 7.4: Requisito funcional RF-004,

RF-005	Registro de calibración
Objetivos de los que depende	Ninguno
Requisitos de los que depende	Ninguno
Descripción	El sistema deberá permitir al usuario conocer si su instrumento esta calibrado una vez el usuario finalice el experimento de análisis.
Comentarios	

Cuadro 7.5: Requisito funcional RF-005,

RF-006	Gestión de usuarios
Objetivos de los que depende	Ninguno
Requisitos de los que depende	Ninguno
Descripción	El sistema deberá de permitir la gestión de usuarios. (Crear, actualizar y borrar usuarios, así como un sistema de inicio de sesión)
Comentarios	

Cuadro 7.6: Requisito funcional RF-006,

RF-007	Gestión de instrumentos
Objetivos de los que depende	Ninguno
Requisitos de los que depende	Ninguno
Descripción	El sistema deberá permitir la gestión de instrumentos. (Crear, actualizar y borrar instrumentos)
Comentarios	

Cuadro 7.7: Requisito funcional RF-007,

RF-008	Gestión de salas
Objetivos de los que depende	Ninguno
Requisitos de los que depende	Ninguno
Descripción	El sistema deberá permitir la gestión de salas. (Crear, actualizar y borrar salas)
Comentarios	

Cuadro 7.8: Requisito funcional RF-008,

RF-009	Gestión de grupos de investigación
Objetivos de los que depende	Ninguno
Requisitos de los que depende	Ninguno
Descripción	El sistema deberá permitir la gestión de grupos de investigación. (Crear, actualizar y borrar grupos de investigación)
Comentarios	

Cuadro 7.9: Requisito funcional RF-009,

RF-010	Inspecciones Rutinarias
Objetivos de los que depende	Ninguno
Requisitos de los que depende	Ninguno
Descripción	El sistema deberá permitir añadir acciones rutinarias
Comentarios	

Cuadro 7.10: Requisito funcional RF-010,

RF-011	Recordatorios de inspección
Objetivos de los que depende	Ninguno
Requisitos de los que depende	Ninguno
Descripción	El sistema deberá recordar a los usuarios las acciones rutinarias
Comentarios	

Cuadro 7.11: Requisito funcional RF-011,

7.1.2 Requisitos no funcionales

A diferencia de los funcionales, los requisitos no funcionales determinan el como debe de funcionar el sistema. Normalmente suelen ser restricciones o obligaciones.

Los requisitos no funcionales que se han extraído son los siguientes:

RNF-001	Dependencias
Objetivos de los que depende	Ninguno
Requisitos de los que depende	Ninguno
Descripción	El sistema deberá de tener toda su funcionalidad en un servidor local.
Comentarios	Por ejemplo, no se podrá depender de servicios de bases de datos on-line.

Cuadro 7.12: Requisito no funcional RNF-001,

RNF-002	Entorno de ejecución
Objetivos de los que depende	Ninguno
Requisitos de los que depende	Ninguno
Descripción	El sistema tiene que ser desarrollado para navegador web e incluir compatibilidad para los navegadores de los dispositivos móviles.
Comentarios	

Cuadro 7.13: Requisito no funcional RNF-002,

RNF-003	Robusto
Objetivos de los que depende	Ninguno
Requisitos de los que depende	Ninguno
Descripción	El sistema tiene que ser robusto, para que cuando exista algún error, el impacto sea mínimo, y se pueda seguir utilizando.
Comentarios	

Cuadro 7.14: Requisito no funcional RNF-003,

7.1.3 Requisitos funcionales de información

Los requisitos funcionales de información son el como se van a tratar los datos dentro del sistema, o la información que va a producir para el usuario.

En nuestro caso, estos son los requisitos funcionales de información:

RFI-001	Registro de calibración
Objetivos de los que depende	Ninguno
Requisitos de los que depende	Ninguno
Descripción	Los registros tienen que mostrar información acorde al estándar ISO 17025 (o 9001 si no se quiere ser específico).
Comentarios	

Cuadro 7.15: Requisito funcional de información RFI-001,

7.1.4 Casos de uso

Los casos de uso son las descripciones de las acciones que los usuarios del sistema pueden realizar y el como estas se tienen que desarrollar. También define quien tiene acceso al sistema, los cuales les denominamos actores. En este apartado se describen los casos de uso detectados durante la fase de análisis.

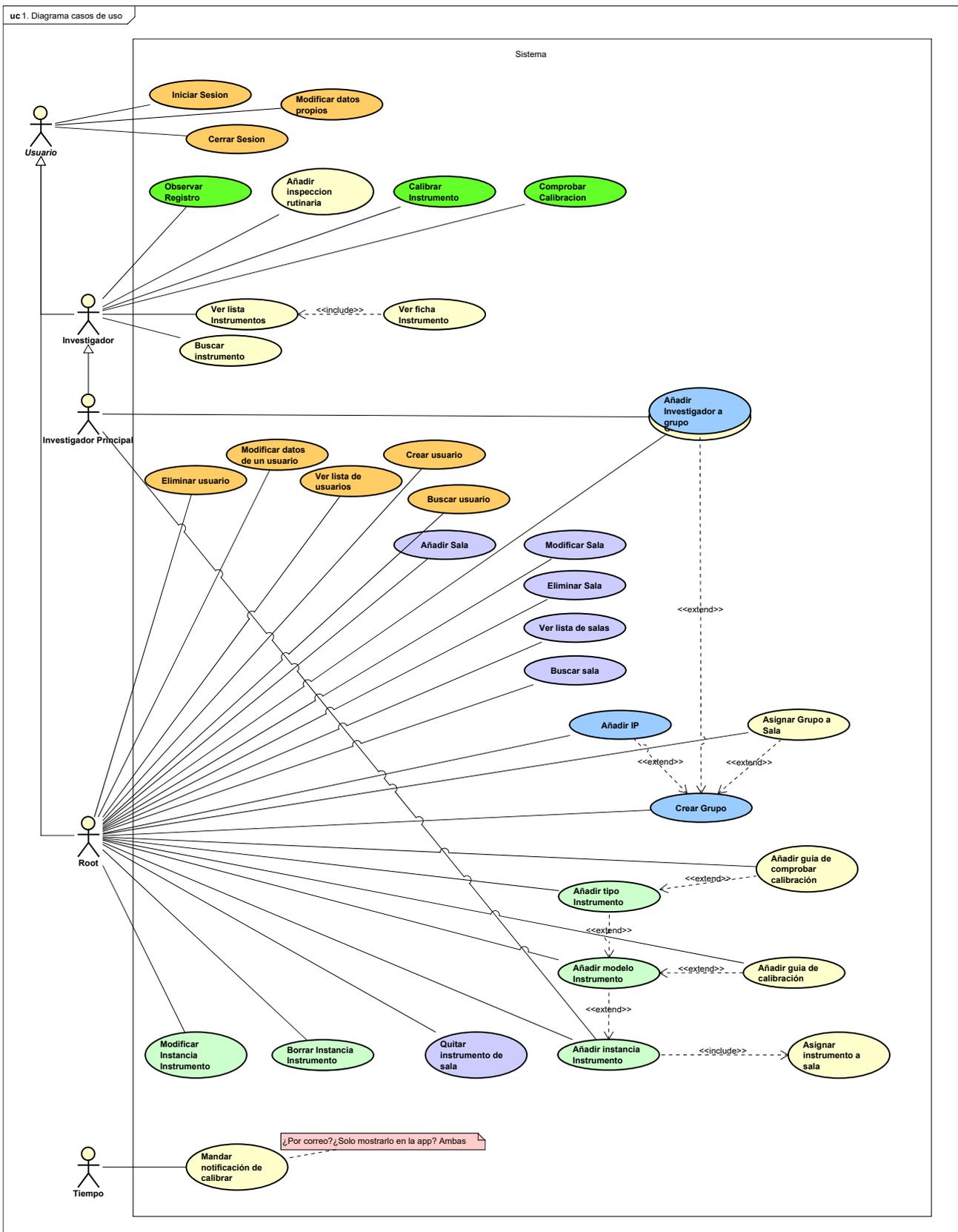


Figura 7.1: Diagrama de casos de uso

CU-001	Asignar Grupo a Sala
Resumen	
Actor	Root
Precondición	
Secuencia normal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Root quiere asignar un grupo a una sala 2. SYSTEM le pregunta por el grupo 3. Root selecciona el grupo 4. SYSTEM pregunta que sala 5. Root selecciona sala 6. SYSTEM muestra la asignación y pregunta por confirmación 7. Root confirma 8. SYSTEM almacena la asignación y el caso de uso finaliza.
Postcondición	
Secuencias alternativas	3a 5a 7a. Root cancela FIN DEL CASO DE USO 7a. Root no confirma IR A 2
Comentarios	

Cuadro 7.16: Caso de uso CU-001, Asignar Grupo a Sala

CU-002	Añadir guía de calibración
Resumen	
Actor	Root
Precondición	
Secuencia normal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Root quiere añadir una guía de calibración. 2. SYSTEM le muestra los modelos de instrumento y solicita el cual desea añadir una guía. 3. Root selecciona modelo instrumento. 4. SYSTEM muestra la plantilla de tarjeta. 5. Root modifica la plantilla. 6. SYSTEM pregunta si quiere añadir otra o finalizar. 7. Root finaliza. 8. SYSTEM muestra previsualización y pregunta si confirmar. 9. Root confirma. 10. SYSTEM almacena la nueva guía de calibración y el caso de uso finaliza.
Postcondición	
Secuencias alternativas	<p>3a 5a 7a 9a. Root cancela FIN DEL CASO DE USO</p> <p>3a. Root selecciona nuevo instrumento CASO DE USO “Añadir modelo de instrumento”</p> <p>7a. Root desea añadir otro paso IR A 4</p> <p>9a. Root no confirma IR A 4</p>
Comentarios	

Cuadro 7.17: Caso de uso CU-002, Añadir guía de calibración

CU-003	Añadir guía de comprobar calibración
Resumen	
Actor	Root
Precondición	
Secuencia normal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Root quiere añadir una guía de comprobar calibración. 2. SYSTEM le muestra los tipos de instrumento y solicita el cual desea añadir una guía. 3. Root selecciona instrumento. 4. SYSTEM muestra la plantilla de tarjeta. 5. Root modifica la plantilla. 6. SYSTEM pregunta si quiere añadir otra o finalizar. 7. Root finaliza. 8. SYSTEM muestra previsualización y pregunta si confirmar. 9. Root confirma. 10. SYSTEM almacena la nueva guía de comprobación y el caso de uso finaliza.
Postcondición	
Secuencias alternativas	<p>3a 5a 7a 9a. Root cancela FIN DEL CASO DE USO.</p> <p>7a Root desea añadir otro paso IR A 4.</p> <p>9a Root no confirma IR A 4.</p>
Comentarios	

Cuadro 7.18: Caso de uso CU-003, Añadir guía de comprobar calibración

CU-004	Añadir inspección rutinaria
Resumen	
Actor	Investigador
Precondición	
Secuencia normal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Investigador quiere añadir una inspección rutinaria a un instrumento 2. SYSTEM le muestra un listado de instrumentos y le pide el instrumento 3. Investigador selecciona el instrumento 4. SYSTEM pide la frecuencia de inspección 5. Investigador introduce la frecuencia 6. SYSTEM pide cuando empezar con la rutina 7. Investigador introduce la fecha 8. SYSTEM muestra los datos y pide confirmación 9. Investigador confirma 10. SYSTEM almacena los datos en el sistema y el caso de uso finaliza.
Post-condición	
Secuencias alternativas	3a 5a 7a 9a. Investigador cancela FIN DEL CASO DE USO. 9a Investigador no confirma IR A 4.
Comentarios	

Cuadro 7.19: Caso de uso CU-004, Añadir inspección rutinaria

CU-005	Añadir Investigador a grupo
Resumen	
Actor	Root
Precondición	
Secuencia normal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Root quiere añadir un Investigador a un grupo 2. SYSTEM solicita el Investigador 3. Root selecciona el Investigador 4. SYSTEM solicita el grupo 5. Root selecciona el grupo 6. SYSTEM muestra la asignación y solicita confirmación 7. Root confirma 8. SYSTEM almacena la asignación en el sistema y el caso de uso finaliza
Post-condición	
Secuencias alternativas	3a 5a 7a. Root cancela FIN DEL CASO DE USO 7a Root no confirma IR A 2
Comentarios	

Cuadro 7.20: Caso de uso CU-005, Añadir Investigador a grupo

CU-006	Añadir Investigador al grupo
Resumen	
Actor	Investigador Principal
Precondición	
Secuencia normal	<ol style="list-style-type: none"> 1. IP quiere añadir un Investigador a su grupo 2. SYSTEM solicita el Investigador 3. IP selecciona el Investigador 4. SYSTEM muestra la asignación y solicita confirmación 5. IP confirma 6. SYSTEM almacena la asignación en el sistema y finaliza el caso de uso
Post-condición	
Secuencias alternativas	3a 5a. IP cancela FIN DEL CASO DE USO 5a. IP no confirma IR A 2
Comentarios	

Cuadro 7.21: Caso de uso CU-006, Añadir Investigador a grupo

CU-007	Añadir IP
Resumen	
Actor	Root
Precondición	
Secuencia normal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Root quiere añadir un IP a un grupo 2. SYSTEM solicita el IP 3. Root selecciona el IP 4. SYSTEM solicita el grupo 5. Root selecciona el grupo 6. SYSTEM muestra la asignación y solicita confirmación 7. Root confirma 8. SYSTEM almacena la asignación en el sistema y el caso de uso finaliza
Post-condición	
Secuencias alternativas	3a 5a 7a. Root cancela FIN DEL CASO DE USO 7a Root no confirma IR A 2
Comentarios	

Cuadro 7.22: Caso de uso CU-007, Añadir IP

CU-008	Añadir modelo Instrumento
Resumen	
Actor	Root
Precondición	
Secuencia normal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Root quiere añadir un modelo de instrumento 2. SYSTEM solicita el tipo 3. Root selecciona el tipo de instrumento 4. SYSTEM solicita datos 5. Root introduce nuevos datos 6. SYSTEM muestra los datos y solicita confirmación 7. Root confirma 8. SYSTEM almacena el nuevo tipo de instrumento y el caso de uso finaliza
Post-condición	
Secuencias alternativas	3a 5a 7a. Root cancela Fin del caso de uso
Comentarios	

Cuadro 7.23: Caso de uso CU-008, Añadir modelo Instrumento

CU-009	Modificar datos de un usuario
Resumen	
Actor	Root
Precondición	
Secuencia normal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Root quiere modificar los datos de un usuario 2. System le pide el ID del usuario a modificar 3. Root introduce el ID. 4. System comprueba el ID 5. System muestra los datos del usuario y pide las modificaciones 6. Root cambia los campos deseados 7. System comprueba los datos y pide confirmación 8. Root confirma los cambios 9. System guarda los cambios en el sistema.
Post-condición	
Secuencias alternativas	<p>4a. El ID no se encuentra en el sistema 1. System le muestra el error al usuario IR A 2.</p> <p>7a. Alguno de los campos no es correcto 1. System le muestra el error al usuario IR A 5.</p> <p>8a. Root no confirma los datos IR A 5.</p> <p>3a 6a. Root cancela los cambios FIN CASO USO</p>
Comentarios	

Cuadro 7.24: Caso de uso CU-009, Modificar datos de un usuario

CU-010	Crear usuario
Resumen	
Actor	Root
Precondición	
Secuencia normal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Root quiere crear un usuario 2. System pide DNI 3. Root introduce el DNI 4. System comprueba que el DNI es valido 5. System pide el resto de datos necesarios 6. Root introduce los datos 7. System comprueba los datos 8. System pide confirmación del nuevo usuario 9. Root confirma 10. System guarda el nuevo usuario y el caso de uso finaliza
Post-condición	
Secuencias alternativas	<p>3a 6a. Root cancela el proceso. FIN caso de uso</p> <p>9a. Root no confirma los datos IR A 5.</p> <p>4a. El DNI no es valido o ya esta introducido en el sistema 1 System informa al usuario del error. IR A 2.</p> <p>7a. Alguno de los datos no es valido 1 System informa del error al usuario. IR A 5.</p>
Comentarios	

Cuadro 7.25: Caso de uso CU-010, Crear usuario

CU-011	Eliminar usuario
Resumen	
Actor	Root
Precondición	
Secuencia normal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Root quiere eliminar un usuario 2. SYSTEM le pide el ID del usuario 3. Root introduce el ID del usuario a eliminar 4. SYSTEM comprueba que sea un ID valido 5. SYSTEM muestra los datos del usuario y pide confirmación 6. Root confirma 7. SYSTEM confirma el borrado y efectúa los cambios en el sistema y el caso de uso finaliza
Post-condición	
Secuencias alternativas	<p>3a 6a. Root cancela FIN</p> <p>4a. No existe usuario con ese ID 1 System se lo hace saber a root IR A 2</p> <p>6a. Root no confirma el borrado IR A 2</p>
Comentarios	

Cuadro 7.26: Caso de uso CU-011, Eliminar usuario

CU-012	Crear grupo
Resumen	
Actor	Root
Precondición	
Secuencia normal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Root desea crear un grupo de investigación. 2. SYSTEM le pregunta por el nombre del grupo 3. Root introduce el nombre del grupo 4. SYSTEM comprueba el nombre 5. SYSTEM pregunta si desea realizar alguna acción más o confirmar creación 6. Root confirma creación 7. SYSTEM almacena el nuevo grupo en el sistema
Post-condición	
Secuencias alternativas	<p>1a 3a 6a. Root cancela FIN CASO USO</p> <p>4a. Ya existe un grupo con ese nombre 1 SYSTEM informa a Root IR A 2 6a Root no confirma.</p> <p>1a Root quiere asignar el grupo a una sala CASO DE USO “Asignar grupo a sala” IR A 5</p> <p>1b Root quiere asignar IP al grupo CASO DE USO “Asignar IP a grupo” IR A 5</p> <p>1c Root quiere asignar investigadores al grupo CASO DE USO “Asignar Investigadores al grupo” IR A 5</p>
Comentarios	

Cuadro 7.27: Caso de uso CU-012, Crear grupo

CU-013	Añadir sala
Resumen	
Actor	Root
Precondición	
Secuencia normal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Root quiere añadir una sala 2. SYSTEM solicita el edificio en el que se encuentra la sala 3. Root selecciona el edificio 4. SYSTEM solicita los datos de la sala 5. Root introduce los datos 6. SYSTEM muestra los datos y pide confirmación 7. Root confirma 8. SYSTEM almacena la sala y muestra éxito a Root
Post-condición	
Secuencias alternativas	3a 5a 7a. Root cancela FIN CASO DE USO 7a Root no confirma IR A 2
Comentarios	

Cuadro 7.28: Caso de uso CU-013, Añadir sala

CU-014	Añadir tipo instrumento
Resumen	
Actor	Root
Precondición	
Secuencia normal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Root quiere añadir un tipo de instrumento 2. SYSTEM solicita el nombre 3. Root introduce el nombre del nuevo tipo 4. SYSTEM solicita datos extra 5. Root introduce nuevos datos 6. SYSTEM almacena el nuevo tipo de instrumento
Post-condición	
Secuencias alternativas	
Comentarios	

Cuadro 7.29: Caso de uso CU-014, Añadir tipo instrumento

CU-015	Observar Registro
Resumen	
Actor	Investigador
Precondición	
Secuencia normal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Investigador desea ver los últimos registros almacenados 2. SYSTEM muestra un listado con información simple 3. Investigador pulsa en el registro deseado 4. SYSTEM muestra información detallada del registro
Post-condición	
Secuencias alternativas	
Comentarios	

Cuadro 7.30: Caso de uso CU-015, Observar registro

CU-016	Comprobar calibración
Resumen	
Actor	Investigador
Precondición	
Secuencia normal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Investigador quiere comprobar si un instrumento esta calibrado 2. SYSTEM pregunta que instrumento desea comprobar 3. Investigador selecciona instrumento 4. SYSTEM muestra los requisitos para realizar el experimento 5. Investigador comienza el experimento 6. SYSTEM muestra el siguiente paso 7. Investigador rellena información necesaria 8. REPETIR 6 Y 7 HASTA QUE NO HAYA MÁS PASOS 9. SYSTEM comprueba con la información recogida, y muestra por pantalla el resultado
Post-condición	
Secuencias alternativas	3a 5a 7a. Investigador cancela ejecución. FIN CASO DE USO
Comentarios	

Cuadro 7.31: Caso de uso CU-016, Comprobar calibración

CU-017	Calibrar instrumento
Resumen	
Actor	Investigador
Precondición	
Secuencia normal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Investigador quiere comprobar si un instrumento esta calibrado 2. SYSTEM pregunta que instrumento desea calibrar 3. Investigador selecciona instrumento 4. SYSTEM muestra los requisitos para realizar el experimento 5. Investigador comienza el experimento 6. SYSTEM muestra el siguiente paso 7. Investigador rellena información necesaria 8. REPETIR 6 Y 7 HASTA QUE NO HAYA MÁS PASOS 9. SYSTEM muestra los detalles de la ejecución y el registro. Pide confirmación de finalización 10. Investigador confirma 11. SYSTEM almacena los datos en el sistema
Post-condición	
Secuencias alternativas	
Comentarios	

Cuadro 7.32: Caso de uso CU-017, Calibrar instrumento

CU-018	Ver lista instrumentos
Resumen	
Actor	Investigador
Precondición	
Secuencia normal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Investigador quiere ver la lista de instrumentos en su laboratorio. 2. SYSTEM muestra la lista de instrumentos.
Post-condición	
Secuencias alternativas	
Comentarios	

Cuadro 7.33: Caso de uso CU-018, Ver lista instrumento

CU-019	Ver ficha instrumento
Resumen	
Actor	Investigador
Precondición	
Secuencia normal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Caso De Uso “Ver lista Instrumentos” 2. Investigador selecciona un instrumento 3. SYSTEM muestra la ficha del instrumento
Post-condición	
Secuencias alternativas	
Comentarios	

Cuadro 7.34: Caso de uso CU-019, Ver ficha instrumento

CU-020	Iniciar sesión
Resumen	
Actor	Usuario
Precondición	
Secuencia normal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Usuario quiere iniciar sesión en el sistema 2. SYSTEM pide ID y contraseña 3. Usuario introduce los datos 4. SYSTEM comprueba los datos 5. SYSTEM confirma la entrada al sistema
Post-condición	
Secuencias alternativas	<p>4a. Los datos no son correctos 1 SYSTEM muestra error IR A 2 3a. Usuario cancela FIN CASO USO</p>
Comentarios	

Cuadro 7.35: Caso de uso CU-020, Iniciar sesión

CU-021	Modificar datos propios
Resumen	
Actor	Usuario
Precondición	
Secuencia normal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Usuario quiere modificar sus datos 2. SYSTEM muestra todos los datos del usuario 3. Usuario cambia los campos deseados 4. SYSTEM comprueba la validez 5. SYSTEM muestra los cambios y pide confirmación 6. Usuario confirma los cambios 7. SYSTEM almacena los cambios en el sistema
Post-condición	
Secuencias alternativas	<p>4a Alguno de los cambios no es valido 1 SYSTEM Muestra error al Usuario IR A 2</p> <p>6a Usuario no confirma IR A 2</p> <p>3a 6a Usuario cancela FIN CASO DE USO</p>
Comentarios	

Cuadro 7.36: Caso de uso CU-021, Modificar datos propios

CU-022	Cerrar sesión
Resumen	
Actor	Usuario
Precondición	
Secuencia normal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Usuario quiere cerrar sesión 2. SYSTEM le cierra sesión al usuario
Post-condición	
Secuencias alternativas	
Comentarios	

Cuadro 7.37: Caso de uso CU-022, Cerrar sesión

CU-023	Asignar instrumento a sala
Resumen	
Actor	Usuario
Precondición	
Secuencia normal	<ol style="list-style-type: none">1. Investigador principal quiere añadir el instrumento a una sala2. SYSTEM le pregunta por la sala3. Investigador principal selecciona la sala4. SYSTEM almacena la asignación y el caso de uso finaliza
Post-condición	
Secuencias alternativas	
Comentarios	

Cuadro 7.38: Caso de uso CU-023, Asignar instrumento a sala

CU-024	Añadir instancia instrumento
Resumen	
Actor	Investigador Principal, Root
Precondición	
Secuencia normal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Actor quiere añadir un modelo de instrumento 2. SYSTEM solicita el tipo 3. Actor selecciona el tipo de instrumento 4. SYSTEM solicita el modelo 5. Actor selecciona el modelo 6. SYSTEM solicita datos 7. Actor introduce nuevos datos 8. SYSTEM muestra los datos y solicita confirmación 9. Actor confirma 10. SYSTEM almacena la nueva instancia de instrumento
Post-condición	
Secuencias alternativas	3a 5a 7a 9a. Actor cancela Fin del caso de uso
Comentarios	

Cuadro 7.39: Caso de uso CU-024, Asignar instancia instrumento

CU-025	Borrar instancia instrumento
Resumen	
Actor	Root
Precondición	
Secuencia normal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Root quiere borrar una instancia de instrumento 2. SYSTEM le pregunta por la instancia 3. Root selecciona la instancia 4. SYSTEM le pregunta por confirmación 5. Root confirma 6. SYSTEM elimina la instancia del sistema y el caso de uso finaliza
Post-condición	
Secuencias alternativas	3a 5a Root cancela Fin del caso de uso
Comentarios	

Cuadro 7.40: Caso de uso CU-025, Borrar instancia instrumento

CU-026	Buscar instrumento
Resumen	
Actor	Investigador
Precondición	
Secuencia normal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Investigador desea buscar un instrumento 2. SYSTEM le pregunta por alguno de sus datos 3. Investigador introduce algunos datos 4. SYSTEM muestra instrumentos que coinciden con esos datos 5. Investigador selecciona el instrumento que deseaba 6. SYSTEM finaliza el caso de uso
Post-condición	
Secuencias alternativas	3a 5a. Investigador cancela FIN DEL CASO DE USO 5a Investigador no selecciona instrumento IR A PASO 2.
Comentarios	

Cuadro 7.41: Caso de uso CU-026, Buscar instrumento

CU-027	Buscar sala
Resumen	
Actor	Root
Precondición	
Secuencia normal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Root desea buscar una sala 2. SYSTEM le pregunta por alguno de sus datos 3. Root introduce algunos datos 4. SYSTEM muestra salas que coinciden con esos datos 5. Root selecciona la sala que deseaba 6. SYSTEM finaliza el caso de uso
Post-condición	
Secuencias alternativas	3a 5a. Root cancela FIN DEL CASO DE USO 5a Root no selecciona sala IR A PASO 2.
Comentarios	

Cuadro 7.42: Caso de uso CU-027, Buscar sala

CU-028	Buscar usuario
Resumen	
Actor	Root
Precondición	
Secuencia normal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Root desea buscar un usuario 2. SYSTEM le pregunta por alguno de sus datos 3. Root introduce algunos datos 4. SYSTEM muestra usuarios que coinciden con esos datos 5. Root selecciona el usuario que deseaba 6. SYSTEM finaliza el caso de uso
Post-condición	
Secuencias alternativas	3a 5a. Root cancela FIN DEL CASO DE USO 5a Root no selecciona usuario IR A PASO 2.
Comentarios	

Cuadro 7.43: Caso de uso CU-028, Buscar usuario

CU-029	Eliminar sala
Resumen	
Actor	Root
Precondición	
Secuencia normal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Root quiere eliminar una sala 2. SYSTEM le pide el ID de la sala 3. Root introduce el ID de la sala a eliminar 4. SYSTEM comprueba que sea un ID valido 5. SYSTEM muestra los datos de la sala y pide confirmación 6. Root confirma 7. SYSTEM confirma el borrado y efectúa los cambios en el sistema
Post-condición	
Secuencias alternativas	<p>3a 6a. Root cancela FIN</p> <p>4a. No existe sala con ese ID 1 System se lo hace saber a root IR A 2</p> <p>6a. Root no confirma el borrado IR A 2</p>
Comentarios	

Cuadro 7.44: Caso de uso CU-029, Eliminar sala

CU-030	Modificar instancia instrumento
Resumen	
Actor	Root
Precondición	
Secuencia normal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Root quiere modificar la instancia de un instrumento 2. SYSTEM pide el ID del instrumento a modificar 3. Root introduce el ID 4. SYSTEM comprueba el ID 5. SYSTEM muestra los datos de la instancia y pide los cambios 6. Root hace los cambios deseados 7. SYSTEM muestra los cambios y pide confirmación 8. Root confirma los cambios 9. SYSTEM almacena los cambios y finaliza el caso de uso
Post-condición	
Secuencias alternativas	<p>3a 6a 8a. Root cancela FIN DEL CASO DE USO</p> <p>4a El id no existe MUESTRA ERROR Y VOLVER AL PASO 2</p> <p>8b Root no confirma IR AL PASO 5</p>
Comentarios	

Cuadro 7.45: Caso de uso CU-030, Modificar instancia instrumento

CU-031	Modificar sala
Resumen	
Actor	Root
Precondición	
Secuencia normal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Root quiere modificar una sala 2. SYSTEM pide el ID de la sala a modificar 3. Root introduce el ID 4. SYSTEM comprueba el ID 5. SYSTEM muestra los datos de la sala y pide los cambios 6. Root hace los cambios deseados 7. SYSTEM muestra los cambios y pide confirmación 8. Root confirma los cambios 9. SYSTEM almacena los cambios y finaliza el caso de uso
Post-condición	
Secuencias alternativas	<p>3a 6a 8a. Root cancela FIN DEL CASO DE USO</p> <p>4a El id no existe MUESTRA ERROR Y VOLVER AL PASO 2</p> <p>8b Root no confirma IR AL PASO 5</p>
Comentarios	

Cuadro 7.46: Caso de uso CU-031, Modificar sala

CU-032	Quitar instrumento de sala
Resumen	
Actor	Root
Precondición	
Secuencia normal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Root quiere quitar un instrumento de una sala 2. SYSTEM pregunta por el ID 3. Root introduce el ID 4. SYSTEM muestra la asignación actual y pregunta por confirmación de la acción 5. Root confirma 6. SYSTEM almacena los cambios y finaliza el caso de uso
Post-condición	
Secuencias alternativas	3a 5a. Root cancela FIN DEL CASO DE USO 5b Root no confirma IR A PASO 2 4a ID no existe MUESTRA ERROR E IR AL PASO 2
Comentarios	

Cuadro 7.47: Caso de uso CU-032, Quitar instrumento de sala

CU-033	Ver lista de salas
Resumen	
Actor	Root
Precondición	
Secuencia normal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Root quiere ver todas las salas que hay en el sistema 2. SYSTEM muestra todas las salas
Post-condición	
Secuencias alternativas	
Comentarios	

Cuadro 7.48: Caso de uso CU-033, Ver lista de salas

CU-034	Ver lista de usuarios
Resumen	
Actor	Root
Precondición	
Secuencia normal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Root quiere ver todas los usuarios que hay en el sistema 2. SYSTEM muestra todas los usuarios
Post-condición	
Secuencias alternativas	
Comentarios	

Cuadro 7.49: Caso de uso CU-034, Ver lista de usuarios

7.1.5 Actores del sistema

En este apartado, describiremos los distintos tipos de actores que pueden interactuar con el sistema, y una breve descripción de su función.

AC-001	Usuario
Descripción	Actor abstracto. Sirve como punto de entrada al sistema, ya que el resto de actores serán especificaciones de este.
Comentarios	

Cuadro 7.50: Actor AC-001, Usuario

AC-002	Investigador
Descripción	Actor más común. Representa a cualquier trabajador en un laboratorio. Podrá realizar las acciones de comprobar calibraciones, calibrar y visualizar los registros anteriores
Comentarios	Contiene toda la funcionalidad del actor “Usuario”

Cuadro 7.51: Actor AC-002, Investigador

AC-003	Investigador principal
Descripción	El investigador principal se encargara de la gestión de un grupo de investigación y, por ende, de sus investigadores.
Comentarios	Contiene toda la funcionalidad del actor “Investigador”.

Cuadro 7.52: Actor AC-003, Investigador principal

AC-004	Root
Descripción	Gerente del sistema. Se encargará de la gestión de funcionalidades básicas del sistema, como crear usuarios nuevos, añadir salas al sistema, etc...
Comentarios	

Cuadro 7.53: Actor AC-004, Root

7.2 Modelo de clases inicial

Como todo proyecto, necesita una estructura de datos y sus relaciones. Para ello diseñamos un diagrama de clases de análisis que luego, implementaremos en el desarrollo utilizando los tipos específicos del lenguaje de programación que utilizemos.

En nuestro caso, el diagrama de clases es el siguiente:

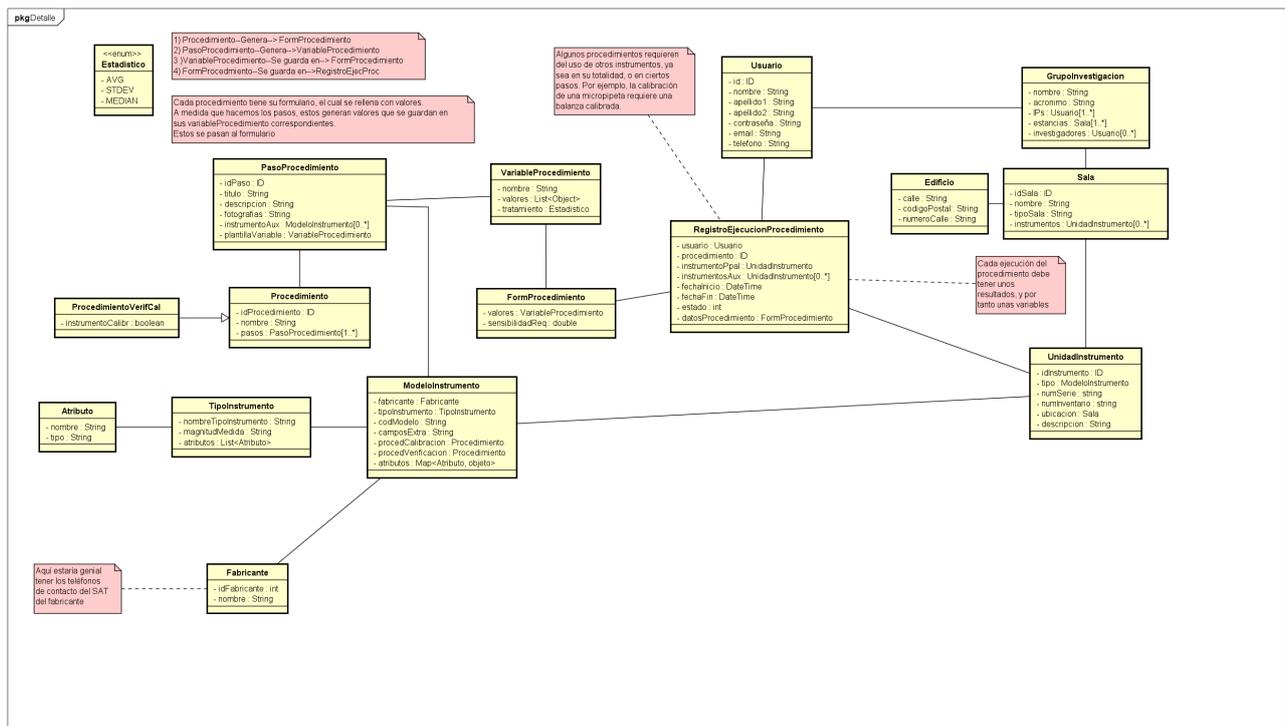


Figura 7.2: Diagrama de clases

Podemos dividir el diagrama en tres partes, usuarios, instrumentos y procedimientos, y luego donde todo converge, los registros.

7.2.1 Gestión de Usuarios

En la parte de usuarios tenemos 4 clases distintas:

- Usuario, clase que busca representar un usuario del sistema.
- Sala, busca representar los lugares donde pueden trabajar los usuarios en distintos proyectos de investigación. Están en edificios, los cuales también tenemos modelados.

- Grupo de investigación, clase que representa un grupo de investigación, alojado en una sala. Esta compuesto por investigadores, e investigadores principales.

7.2.2 Gestión de procedimientos

Para gestionar los distintos procedimientos que pueden presentar los instrumentos hemos utilizado unas cuantas clases distintas:

- Procedimiento: Clase central de los procedimientos, en ella almacenaremos datos básicos sobre ellos y los pasos que los conforman.
- Paso procedimientos: Representación de un paso dentro del procedimiento, tiene información que ayuda a cumplimentar las acciones necesarias para finalizar una etapa.
- Variable Procedimiento: Son las representaciones de las distintas acciones que hay que contabilizar cuando se realiza un paso. Es por ejemplo el peso que da una balanza al poner una pesa de 100g sobre ella.
- Formulario Procedimiento: Es el resultado del procedimiento, con todos los valores de los pasos que almacenaremos en los registros.

Aquí tenemos que explicar un par de cosas, como por que separamos los formularios de procedimientos del propio procedimiento. A la hora de modelar esta parte, encontramos un par de dependencias cíclicas, generadas por la parte de los instrumentos, el registro y los procedimientos. Teniendo en cuenta que antes no estaba el formulario, y el registro conectaba directamente con la instancia de instrumento y el procedimiento. Pero claro, como tal, nosotros podíamos acceder al procedimiento a través del instrumento (dirigiéndonos al modelo), con lo cual podíamos cortar esa relación. Pero al cortarla, perdíamos acceso o el lugar donde guardar los valores que se habían sacado durante ese procedimiento, con lo que necesitábamos un lugar donde almacenar las copias con los valores de las variables y que este conectado con el registro, sin hacer un bucle cíclico. Así surgió la clase FormProcedimiento

7.2.3 Gestión de instrumentos

Para modelar la parte de los instrumentos tenemos 3 clases:

- Tipo instrumento: Es la clase más general, aquí estaríamos hablando de los tipos generales, como son balanzas, pesas, etc.
- Modelo Instrumento: Aquí ya especificamos más a los modelos de los instrumentos, con números de modelo por fabricante. Estos modelos son los que tendrán distintos tipos de procedimientos asignados a ellos.
- Instancia Instrumento: Son cada una de las unidades de los distintos modelos de instrumentos que hay presentes en los laboratorios de los grupos de investigación.
- Atributos: Son la representación de una entrada, como si de un mapa se tratase, siendo el nombre la clave, y el valor el tipo.

Los atributos se han modelado de esta manera y no como un mapa porque el problema se encontraba cuando especificábamos el valor de los atributos en el modelo. Tuvimos que idear este parche para que tuviese sentido tener algo parecido a un mapa de ternas.

7.3 Costes del proyecto

Todo proyecto tiene un coste asociado. Aunque este proyecto se haya realizado bajo un ámbito no comercial, tiene un valor asociado, incluyendo gastos del personal que ha trabajado en el, o los materiales que se han utilizado para su desarrollo. En esta sección comentaremos que se ha utilizado para el desarrollo del proyecto y el precio que se le ha asignado, dando una ligera idea de cuanto podría costar un proyecto de esta índole en el mercado.

7.3.1 Costes materiales

Dentro del material para el desarrollo y mantenimiento del proyecto tenemos lo siguiente:

Hardware: Para el desarrollo del sistema software se ha utilizado lo siguiente:

- Servidor de alojamiento de la aplicación
 - Características:
 - 2GB Memoria.
 - 16GB Almacenamiento.
 - Procesador Intel 2,4GHz 2Cores 64Bits.
 - Sistema operativo Linux 5.15.0-56.
 - Precio: El servidor ha sido proporcionado por el departamento de informática. En un proveedor como Arsys el precio de un sistema de características parecidas sería de 11€ al mes.
- Ordenador de desarrollo:
 - Características:
 - 8GB Memoria.
 - 256GB Almacenamiento.
 - Procesador Intel i58250U 1,6GHz 4Cores 64bits.
 - Windows 10.
 - Precio: En PCComponentes lo podemos encontrar por 180€.

Software:

- Entorno de desarrollo:
 - Como IDE se ha utilizado IntelliJ IDEA y Android Studio. Android Studio es gratuito en todas sus capacidades. Sin embargo, IntelliJ IDEA tiene la version gratuita (Community edition) y una de pago (Ultimate edition). Se ha utilizado una instancia de la Ultimate edition que esta disponible con licencia educativa de la UVa, pero para usuarios normales el precio es de 16,90€ al mes.
- Herramientas de desarrollo:
 - Como herramientas adicionales se utilizan varias:
 - Spring Boot: Servicio gratuito bajo licencia Apache 2.0 para crear aplicaciones independientes ya preparadas para producción.
 - Flutter: Open Source Framework bajo licencia BSD 3-Clause para crear aplicaciones multiplataformas con una sola base de código
 - MySQL: Sistema gestor de bases de datos de licencia GPL.

Extra:

- Estabilizador de móvil para grabar vídeos de los procedimientos: 15€.

7.3.2 Costes del personal

El equipo humano para desarrollar sería el siguiente:

Título	Precio hora	Horas (estimadas)	Total
Project Manager	22,12€	110 horas	2433,22€
Analista Programador	14,23€	30 horas	426,9€
Ingeniero Software	17,84€	40 horas	713,6€
Programador Software	14,33€	120 horas	1599,6€
TOTAL		300 horas	5173,32€

Los salarios medios para estos puestos se han extraído de las referencias [Fun19] y [Fab23], en especial de la última.

7.3.3 Costes totales

El proyecto ha sido desarrollado a lo largo de 6 meses. Suponiendo los precios dichos en las secciones anteriores y que todo se compró desde el día 1 del proyecto, nos sale lo siguiente:

- Costes Materiales: 261€
- Costes Software: 101,4€
- Costes personal: 5173,32€

En total, el coste del proyecto es de 5535,72€.

Diseño

Para el desarrollo de toda aplicación hay que partir de unas bases, unos planos. En nuestro caso el plano tiene que ser de la interfaz que vamos a construir pero también de los datos que la van a soportar. Es por ello que tenemos que crear esquema de la aplicación y los patrones que vamos a seguir para desarrollarla. Esto es lo que vamos a tratar en los siguientes puntos.

8.1 Diseño de la interfaz

Aquí vamos a mostrar los mock-ups que hemos desarrollado para crear las interfaces que tendremos en la aplicación y el razonamiento detrás de ellos. La base de la que partiremos para desarrollar las interfaces son las guías de diseño de Material Design 3 [Mew15] que ofrece Google con la intención crear las mejores prácticas para el diseño de interfaces.

8.1.1 Pantalla principal

Para esta pantalla, queremos un diseño simple, sin mucha cosa. Y es por eso que decidimos que lo mejor sería poner las funcionalidades principales en todo el centro con botones grandes. Algunos expertos nos sugirieron utilizar un menú hamburguesa, escondiendo los botones grandes. Lo rechazamos pues de aquella manera, a parte de esconder funcionalidad, nos quedaría un espacio en blanco muy grande y realmente no tenemos nada que poner ahí.

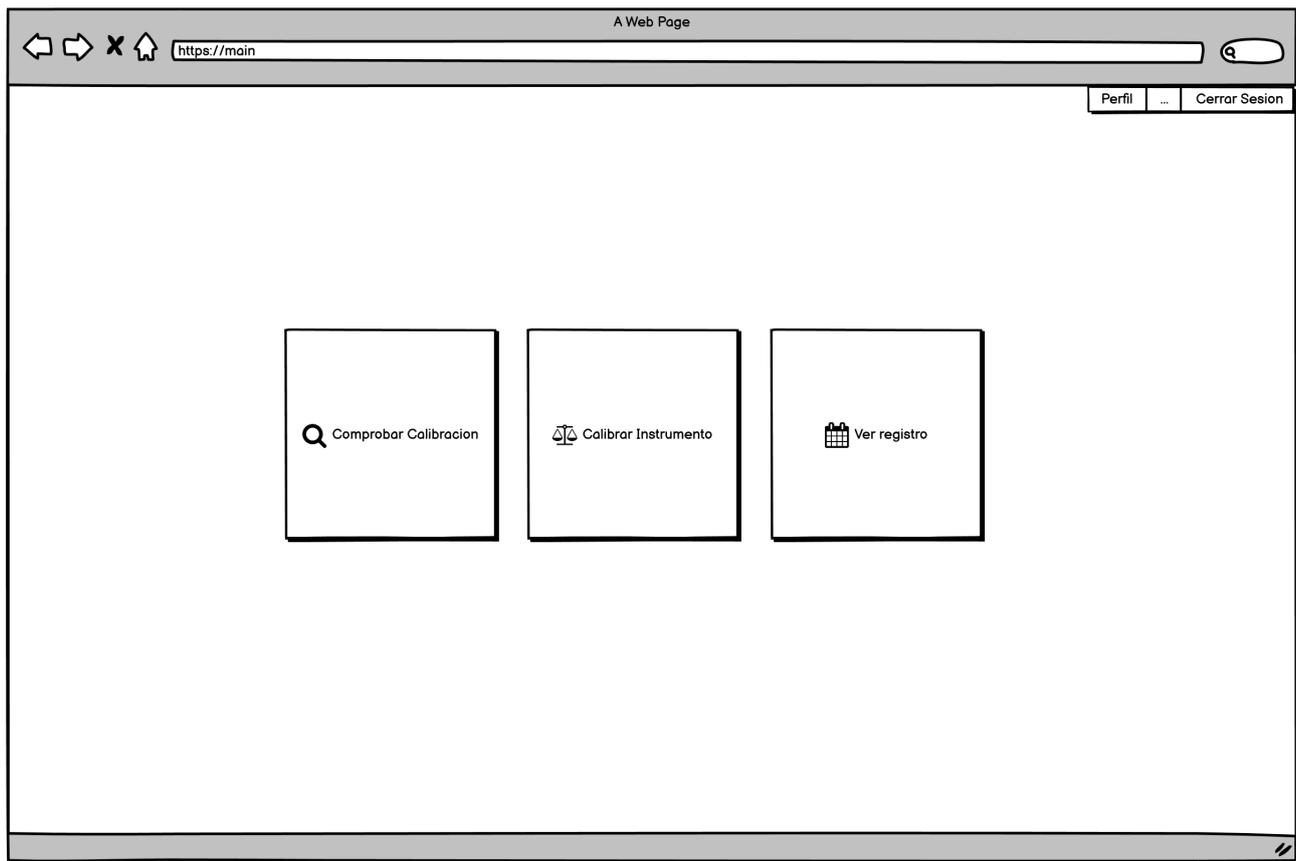


Figura 8.1: Pantalla principal

Alguno de los botones de la pantalla principal, contienen submenus, como sucede en el caso de la vista de usuario administrador. Para ello, lo que haremos será dejar caer un menú desplegable con las opciones.

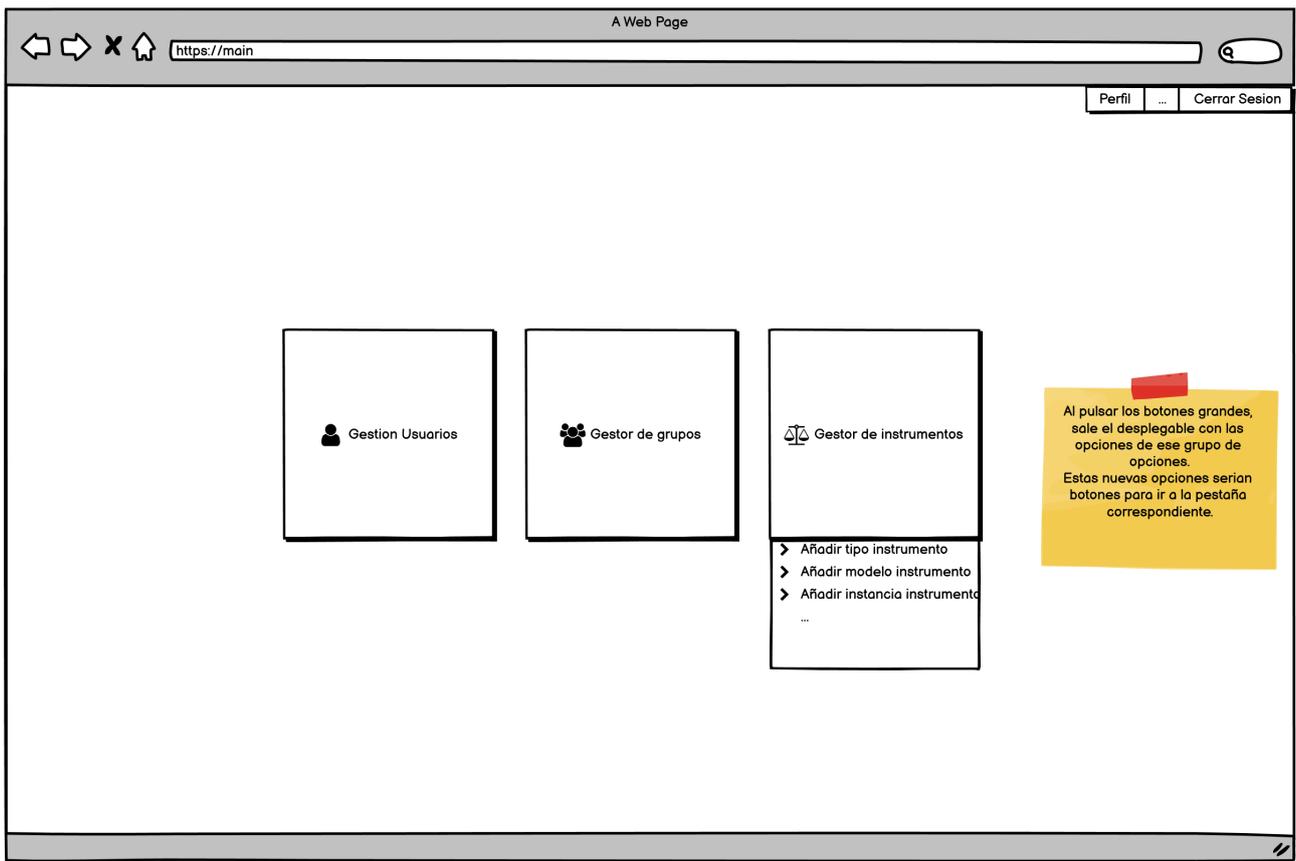


Figura 8.2: Pantalla principal, menú desplegable

8.1.2 Comprobación de calibración

Para la ejecución de procedimientos, siempre hemos tenido como referencia el diseño de WikiHow [Wik], simple basado en tarjetas con recurso gráfico predominando sobre el resto de la interfaz. A esto, le sumamos un diseño basado en carrusel y nos queda un diseño muy intuitivo y sencillo, que da esa velocidad a los investigadores para buscar lo más importante en la interfaz. Algunos de estos pasos tienen campos de datos que el usuario tiene que completar, como son la temperatura del liquido a medir, o la medida que devuelve cierto instrumento.

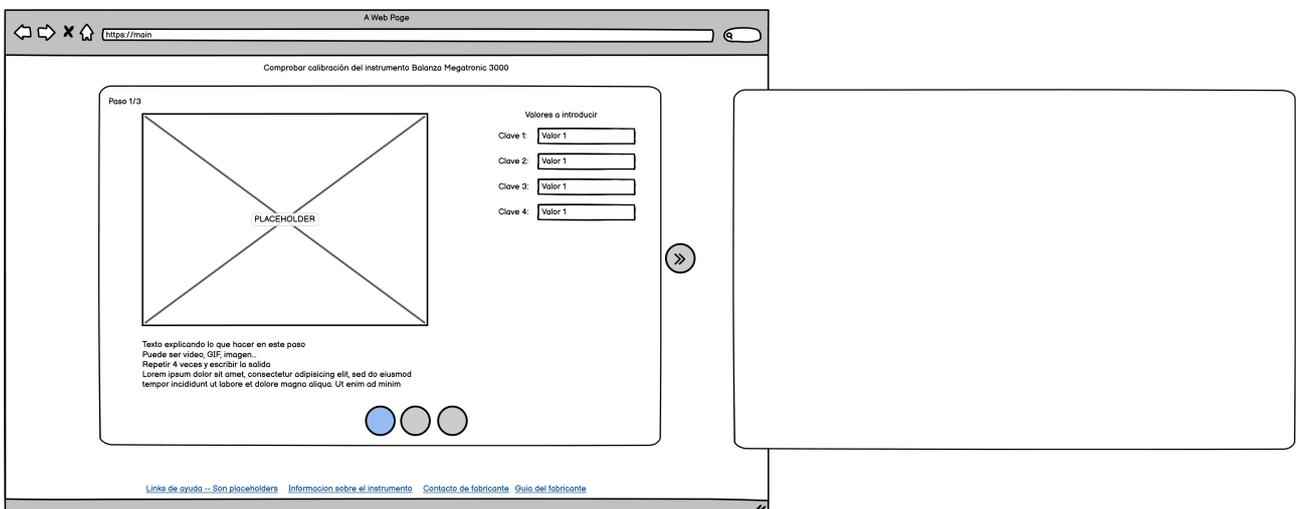


Figura 8.3: Pantalla de calibración - Paso inicial

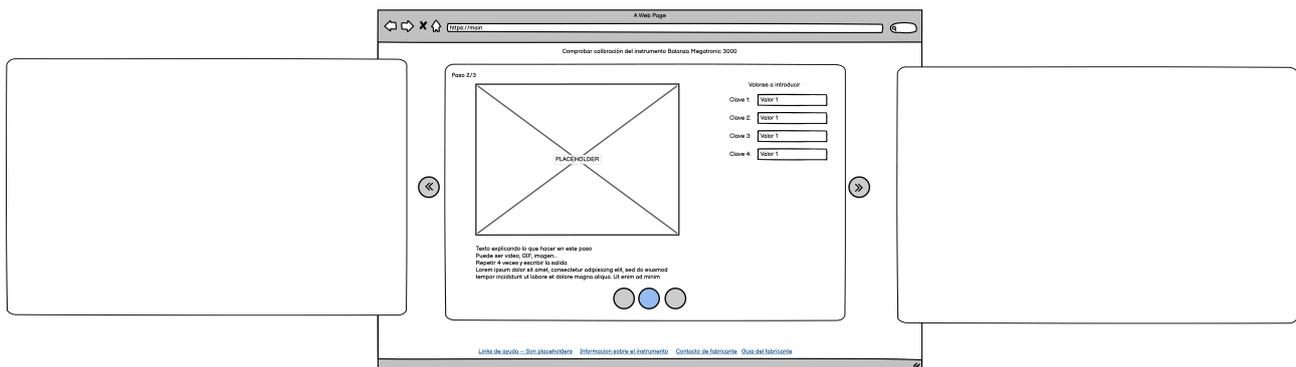


Figura 8.4: Pantalla de calibración - Paso intermedio

Al termino de los distintos pasos, lo que hacemos es cambiar uno de los botones para cambiar de tarjeta por algo más distintivo que el usuario identifique como fin de proceso.

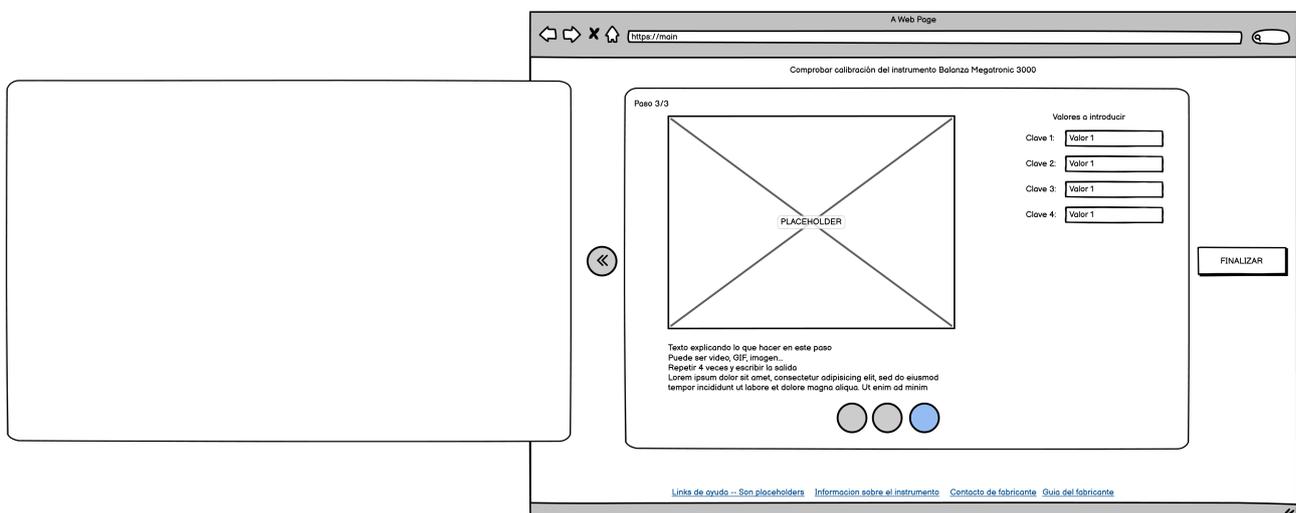


Figura 8.5: Pantalla de calibración - Paso final

Una vez acabado el procedimiento, se le mostrara al usuario una pantalla de resumen del instrumento con los datos que se han recopilado durante este, y avisándole del estado del procedimiento, y del instrumento.

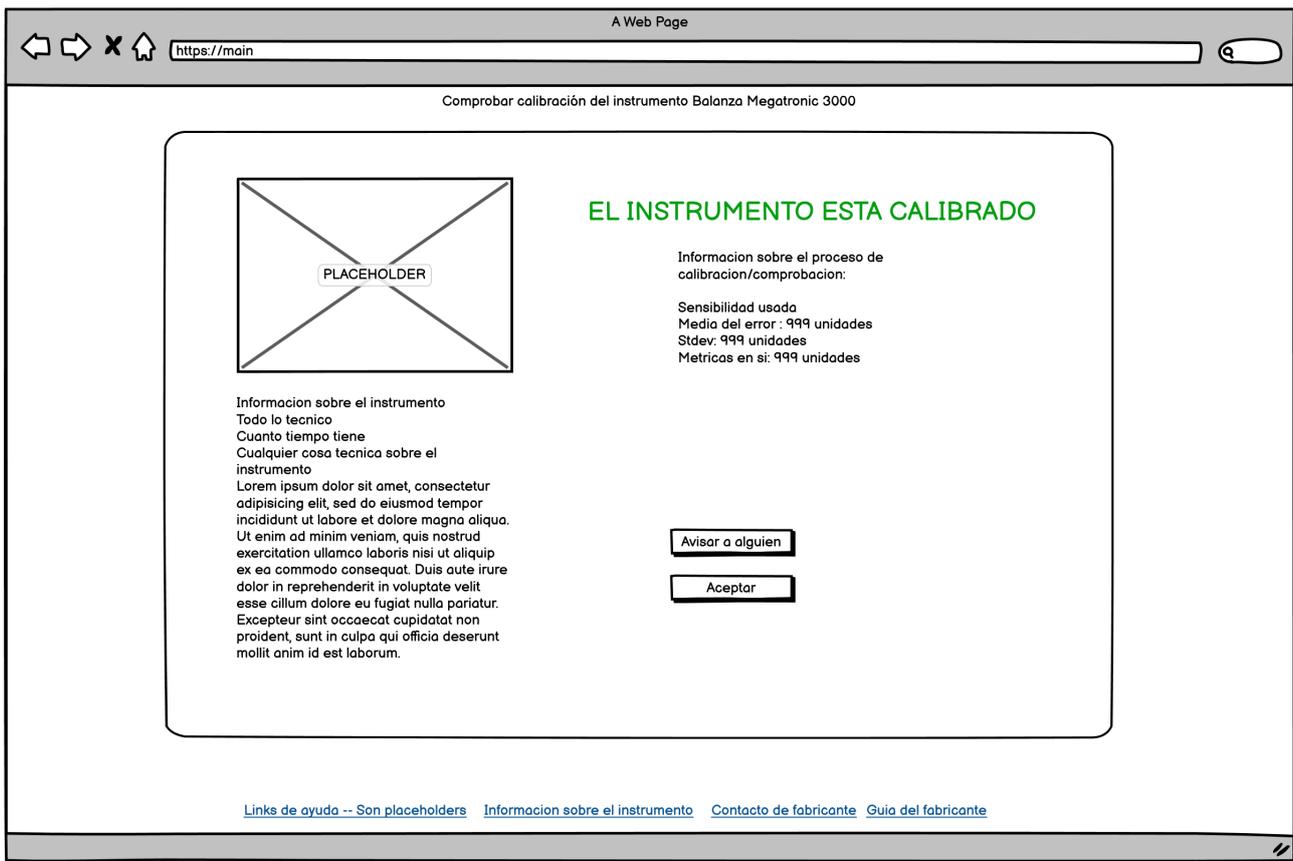


Figura 8.6: Pantalla de calibración - Comprobación correcta

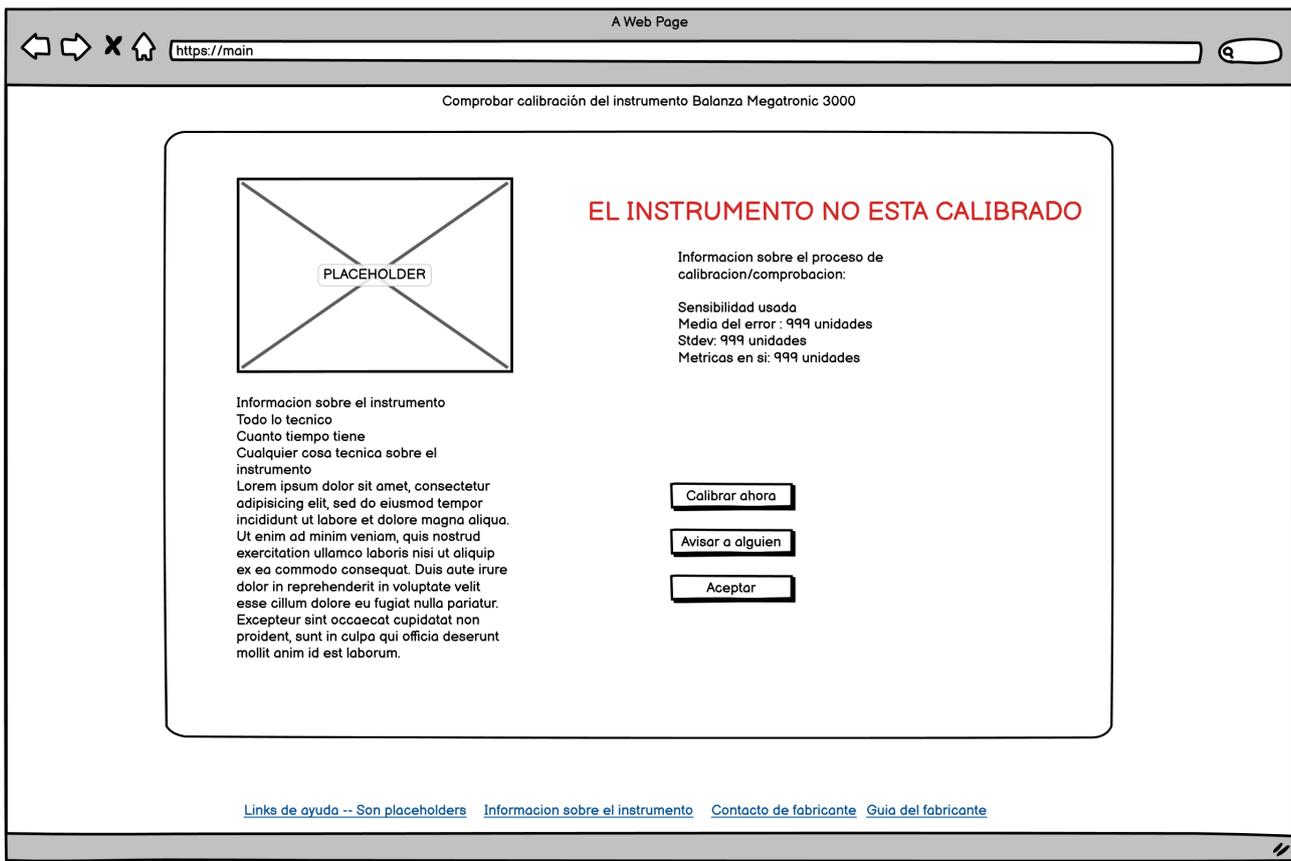


Figura 8.7: Pantalla de calibración - Comprobación fallida

8.2 Diseño

8.2.1 Front-end

Para el diseño del front-end se han utilizado distintos patrones:

Patrón Model-View-Viewmodel

Se ha utilizado este patrón para desacoplar lo máximo posible la lógica de interfaz con la lógica de aplicación. Este patrón se caracteriza porque cuenta con 3 elementos claves:

1. El modelo: La representación de la capa de datos, es lo que contiene la información de los objetos de negocio.
2. La vista: Es los elementos gráficos, la interfaz de usuario. En este patrón son activas, a si que leen los datos directamente de los modelos, teniendo dependencia de ellos
3. Modelo de vista: Es el intermediario entre los dos elementos anteriores, y contiene la lógica de la vista, para así modificar los datos de los modelos.

En adición a este patrón, se utilizan el patrón de caso de uso, para tratar la lógica de negocio, y el patrón repositorio, para recuperar los datos de la API.

Patrón de Casos de uso

Este patrón se utiliza para separar por responsabilidades los distintos casos en los que modificaremos elementos del modelo. De esta manera dividiremos la lógica en distintas clases que se asemejaran a los casos de uso que hemos extraído en el diagrama.

Patrón de Repositorios

Este patrón lo que busca es separar la capa de datos del resto de la aplicación. En nuestro caso, al tener los datos almacenados en la base de datos, necesitamos de estos repositorios para recuperar los datos de la base de datos.

Estos tres patrones conforman el diseño de la aplicación web que utilizaremos para el front-end.

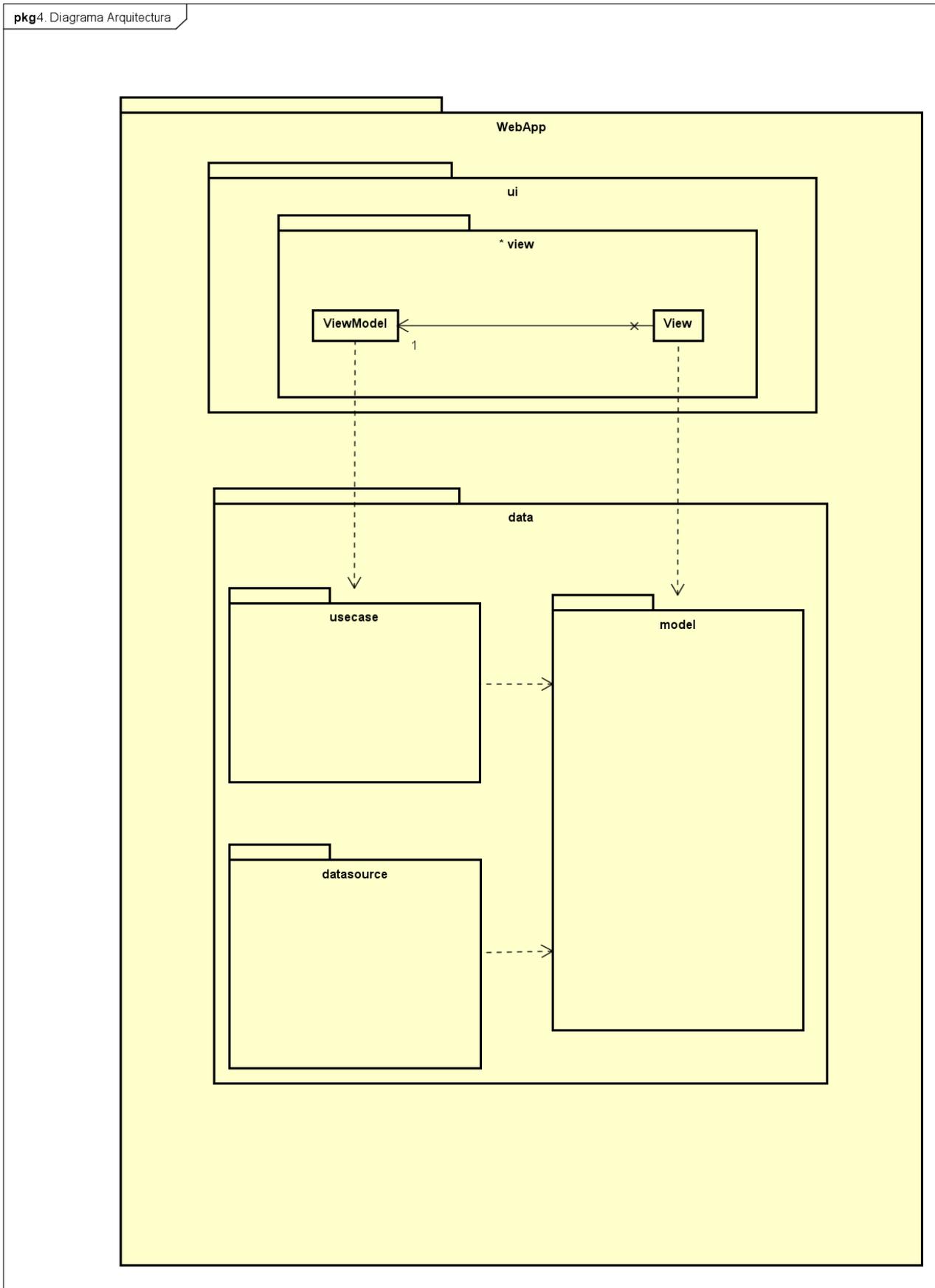


Figura 8.8: Diagrama de arquitectura del FrontEnd

8.2.2 Back-end

Para el back-end hemos decidido utilizar un patrón de arquitectura hexagonal, que es un tipo de arquitectura limpia.

Patrón Arquitectura Hexagonal

Este patrón tiene como base permitir que la aplicación sea utilizada de la misma forma por los usuarios, programas, pruebas, y ser desarrollada de forma aislada de la base de datos y dispositivo en la que será ejecutada. Entonces lo que busca es desacoplar cada capa en la que separemos la aplicación para mantener esta independencia que estamos buscando, favoreciendo la reutilización, si tuviésemos más servicios usando la misma aplicación. Lo que estamos haciendo es tener una API bien definida, creando puntos de entrada que otros módulos, como el de pruebas, puede utilizar perfectamente sin tener que cargar todo el sistema. No aprovechamos del todo este patrón ahora mismo, pues solo tenemos un servicio con el que jugar, pero es el camino a seguir si queremos añadir, por ejemplo, un servicio de notificaciones por correo cuando haya que buscar que instrumentos necesiten calibración.

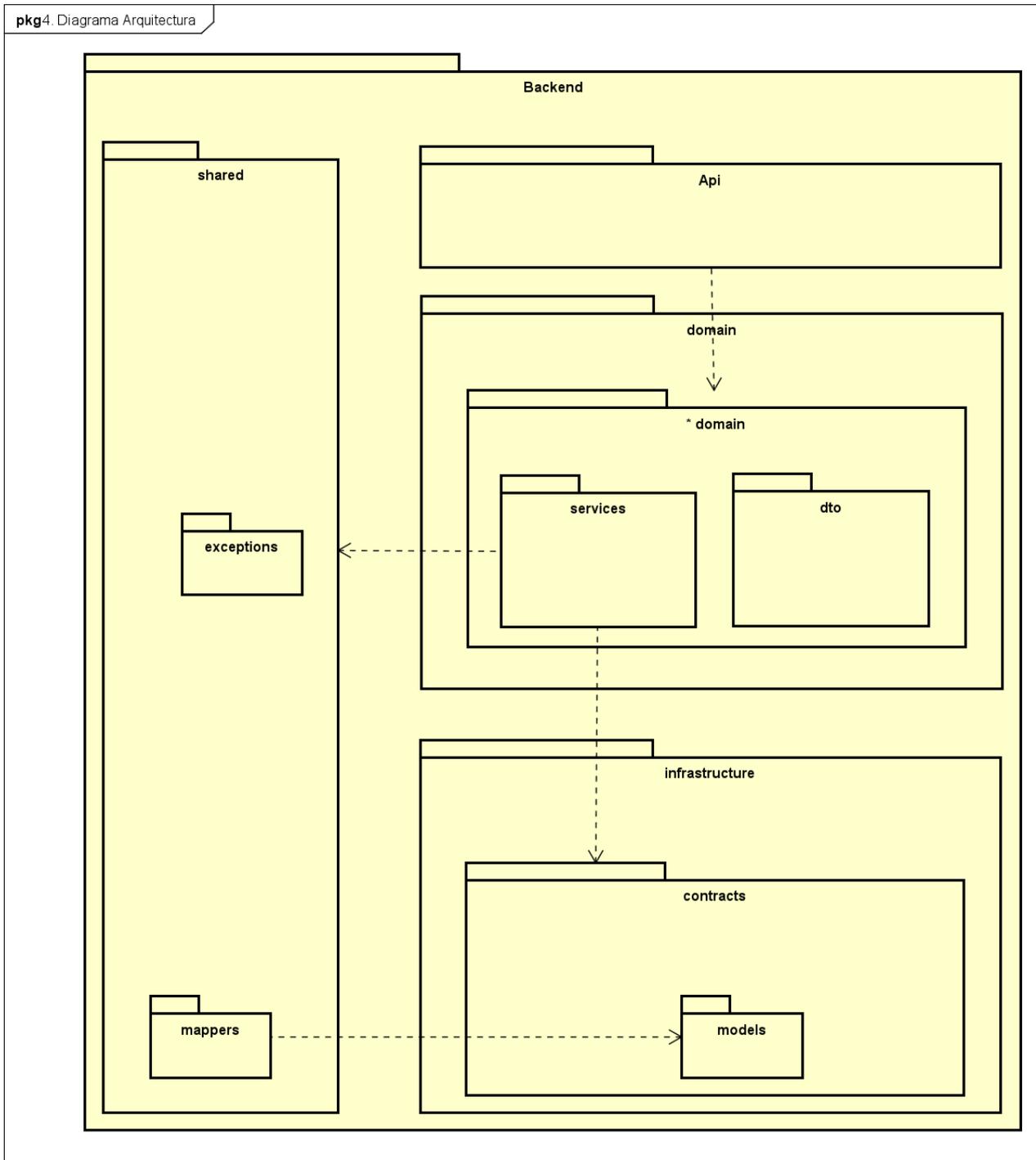


Figura 8.9: Diagrama de arquitectura del FrontEnd

Implementación

9.1 Herramientas de Desarrollo

De las sugerencias incluidas en la propuesta de solución, y como se ha adelantado en el apartado de costes del proyecto, nos hemos decantado por un front-end desarrollado con Flutter, un back-end desarrollado con Spring Boot, y una base de datos alojada con MySQL. Nos hemos decantado por Flutter por que se contaba con experiencia ya con el framework y no se tenía que gastar tiempo extra en aprender a utilizarlo, el cómo hacer distintas cosas, etc. Además de su facilidad para luego crear una app para dispositivos móviles, una aplicación de escritorio y una web al mismo tiempo, haciendo más simple el desarrollo.

La experiencia con el framework también ha sido la razón de más peso por la que se ha escogido Spring Boot como herramienta de back-end. Y es que, aunque Firebase tiene compatibilidad nativa con Flutter, y están pensados para usarse en conjunto, Firebase tiene dependencia de conexión externa (no hay posibilidad de alojar en un servidor propio) lo que hace imposible desplegar el sistema en redes cerradas.

Como base de datos nos decantamos por MySQL tras debatir durante un tiempo si escoger una base de datos noSQL o una SQL. En nuestro caso, MongoDB o MySQL. Al principio, pensábamos que MongoDB iba a ser mejor para nuestra aplicación por su capacidad de escalar lateralmente al no tener tipos de datos definidos, pero tras darle varias vueltas a las opciones, y una vez especificamos framework para el Back-end, preferimos escoger MySQL pues es mucho más sencillo de configurar y Spring Boot tiene muchas más opciones de compatibilidad que con MongoDB, que muchas cosas hay que hacerlas a mano.

- Como entornos de desarrollo (IDEs) hemos utilizado dos, Android Studio e IntelliJ IDEA. Android Studio se ha escogido pues es la herramienta recomendada por Google, creador del framework Flutter, para el desarrollo con este framework. Incluye todos los plugins necesarios para el correcto desarrollo de una aplicación con Flutter, y, además, su flujo de trabajo no dista mucho de como se desarrolla con IntelliJ IDEA, que es el que hemos utilizado para desarrollar el back-end. IntelliJ IDEA nos ofrece una multitud de funcionalidades nativas con el framework de SpringBoot como autocompletado, sugerencias de tipos y/o la mejor forma de relacionar dos entidades, etc. Además, ya se contaba con experiencia con el entorno, y migrar a uno nuevo, como Visual Studio Code, significaba tener que realizar nuevas instalaciones, realizar formación, ante errores nuevos tener que buscar soluciones, etc.
- Como repositorio donde almacenar el código, se ha utilizado GitLab, concretamente la versión que nos ofrece la escuela.
- Como herramienta para el desarrollo continuo, se ha utilizado Docker. Las razones las ampliaremos en la siguiente sección.

9.2 Implementación

Como parte de la implementación, se ha creado una pipeline dentro del propio repositorio de Gitlab que ejecuta unas tareas. Entre estas tareas se encuentran la puesta a punto y puesta en marcha de la aplicación. Para esto se ha utilizado contenedores Docker, junto a la modificación de los docker-compose. De esta manera, cualquier actualización que se realice al código de la aplicación se actualizará automáticamente en la versión pública. Así, nos ahorramos mucho trabajo ya que esta modificación de Docker, permite crear redes internas con un servicio de DNS y redireccionamiento de puertos, y se nos facilita mucho la conexión de los 3 servicios, front-end, back-end y base de datos.

Debido a restricciones de los puertos que están abiertos en la máquina virtual que nos ha prestado la UVA, hemos tenido que implementar un pequeño servicio de reverse proxy, usando Caddy, un servidor web de código abierto. Entonces, Caddy recibirá todas las peticiones HTTP y dependiendo de la ruta, las redireccionará al puerto correspondiente de manera interna pero sin necesidad de abrir los puertos al exterior.

El diagrama de despliegue del sistema es el siguiente:

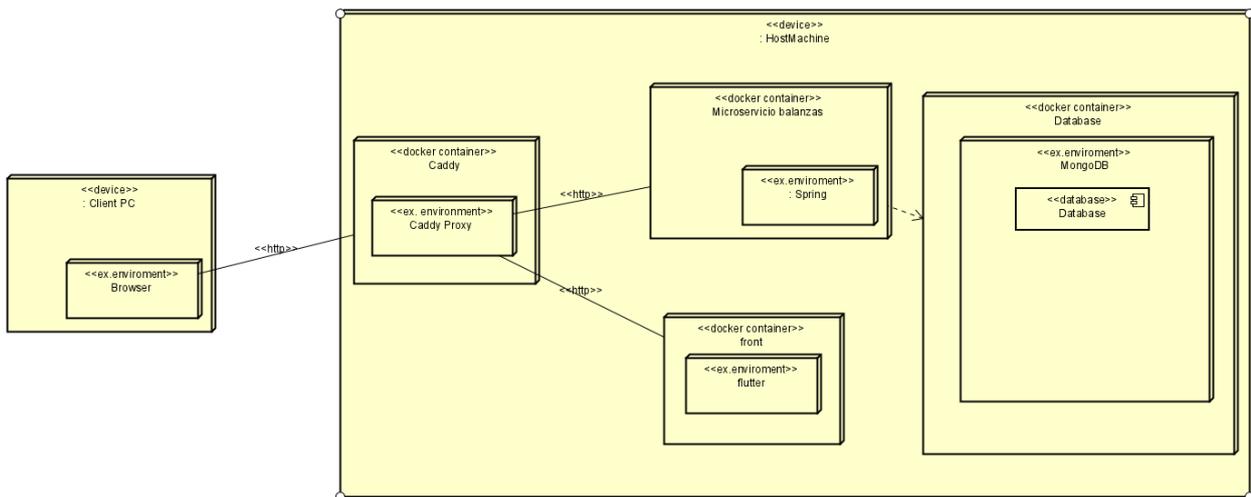


Figura 9.1: Diagrama de despliegue

Pruebas

Para las pruebas, lo que vamos a realizar es, con ayuda de personal del laboratorio, comprobar si se pueden introducir correctamente los procedimientos de comprobación y calibración, y una vez introducidos, pedir al mismo personal, que utilice la aplicación para realizar el procedimiento.

Al ser uno de los tutores un miembro de los laboratorios, él también se encargaba de comprobar que el funcionamiento de la aplicación fuese el adecuado en todo momento.

Fue, por ejemplo, en una de estas pruebas donde nos dimos cuenta que los miembros del laboratorio no son usuarios conocedores del lenguaje Markdown con lo que habría que buscar un método alternativo para que estos usuarios puedan aprovechar al máximo las capacidades de Markdown pero sin que tengan que emplear tiempo en aprenderlo.

También al principio hicimos una pseudo base de datos utilizando el gestor de base de datos de MongoDB para ver si este era capaz de solucionarnos el problema que planteábamos, pero finalmente lo descartamos por la complejidad que suponía tener que utilizar MongoDB y conectarlo con una API REST basada en el framework de Spring.

Respecto a las pruebas unitarias, no se han realizado por restricciones temporales, y ha sido algo que decidimos no realizar. Y aunque la API se podía probar con la interfaz, no tiene que ser la manera con la que proceder. También hace falta investigar el como hacer pruebas automáticas e unitarias de la interfaz, y añadir esto al apartado de despliegue y la pipeline del proyecto.

Conclusiones

Una vez realizado el proyecto consideramos que nos hubiese gustado tener más tiempo para refinarlo del todo. Es cierto que se ha llegado a un punto en el que el proyecto se puede utilizar para el fin que se quería, pero mucha funcionalidad que puede que no sea básica pero que normalmente tiene que aparecer, no nos ha dado tiempo a implementarlo. Lo importante es que la base está ahí, y ahora depende de nosotros el seguirla.

A continuación se enumeran los objetivos más significantes que se han desarrollado, en referencia a la infraestructura del proyecto:

- Creación de una web app con el framework Flutter.
- Creación de una API REST con Spring.
- Conexión de las dos instancias.
- Convertir ambas cosas en micro-servicios con contenedores Docker.
- Despliegue continuo en la máquina virtual asignada para el proyecto.
- Usar Caddy a modo de proxy inversa para tener solo un puerto abierto en el servidor.

En referencia a los requisitos del proyecto, se han cumplido la gran mayoría, dejando atrás los de importar datos. Por falta de tiempo se ha abandonado la idea, pero es algo que me hubiese gustado mucho realizar. También hay muchas ideas nuevas que aparecieron durante el desarrollo pero que se alejaban mucho de un alcance realista para entregar en este proyecto. Esas ideas quedan reflejadas en el apartado Trabajo futuro que se expone más adelante.

11.1 Valoración personal

Este proyecto me ha servido para aprender mucho el cómo gestionar un proyecto de desarrollo software, que nunca uno sabe lo que es hasta que se enfrenta a ello.

Dado las dificultades en las que se ha desarrollado el proyecto (realizando las prácticas empresariales en otro país e idioma) creo que al final el proyecto ha salido bien, pero me hubiese gustado que hubiese sido algo distinto. Pienso que la calidad no es mala, pero que en otras circunstancias hubiese sido bastante mejor.

Por otro lado, el proyecto me ha despertado un interés por todo el apartado de despliegue continuo, de los microservicios usando Docker y herramientas para conectar distintos servicios como es Caddy. Cosas que son muy útiles pero son bastante desconocidas desde afuera.

Estoy bastante orgulloso de lo construido y de lo más importante, haber aprendido durante el trayecto, cosas personales, cosas del mundo de la informática y cosas sobre el mundo de los investigadores científicos.

11.2 Trabajo futuro

El proyecto presentado en este documento puede extenderse de múltiples formas.

11.2.1 Servicio de archivos propio

Debido a las especificaciones del servidor, no se ha podido implementar un servicio para permitir a los usuarios de la aplicación subir sus propios archivos (fotos, videos, GIFs, etc) al sistema. Por el momento, nos hemos decantado porque los usuarios lo suban a servicios externos y compartan solo la URL con nosotros.

Una de las restricciones ha sido el tamaño del disco, que era pequeño y, junto a los contenedores Docker, se nos iba casi todo el espacio, es por ello que decidimos dejarlo como idea a desarrollar en el futuro.

11.2.2 Implementar el servicio de usuarios de la UVA

Una gran idea que estuvimos barajando era utilizar el sistema de usuarios para grupos de investigación que ya se usa dentro de la universidad. Pensamos que era buena idea para tener ya poblada la base de datos y que la aplicación estuviese “viva”, pero debido a restricciones en el diseño de nuestro sistema y el de la UVA, era una posibilidad que se nos iba de plazos.

11.2.3 Localización

Algo que se puede realizar es añadir localización al sistema de tal forma que el usuario pueda escoger el idioma en el que el quiera ver el sistema. Pero al tener datos introducido por los usuarios (las descripciones de los procedimientos, por ejemplo) habría que encontrar una manera con la que podamos identificar y buscar la cadena en ese idioma dentro de la base de datos.

11.2.4 Permitir vídeos como recurso

Actualmente, se permite imágenes o GIFs como recurso visual en los procedimientos, pero una desventaja que tienen las imágenes es que no puedes ver movimiento, y los GIFs no tienes control sobre la reproducción, con lo que no puedes pausar, y si el GIF es muy largo, toca verlo en bucle. La mejora se basa en añadir un reproductor de vídeos para las demostraciones dentro de los procedimientos, y con esto, también se podría incluir narración para usuarios con problemas visuales.

11.2.5 Sistema de notificaciones por correo

Una de las funciones que no nos ha dado tiempo a implementar es el sistema de notificaciones. Habíamos pensado en incluir un sistema a mayores, que rutinariamente buscara instancias y ver cuando fueron sus últimas calibraciones para avisar a sus usuarios que es posible que estén descalibrados. También que se pudiesen establecer cada cuanto tiempo se tiene que revisar un instrumento, y llegado el momento, mandar un correo a los usuarios del instrumento y mostrar una notificación para cuando se metan en la aplicación.

11.2.6 Exportar los certificados de calibración

Toda calibración viene acompañada por un certificado de calibración que responde al estándar ISO9001 para ser válido. Por si algún proyecto necesitase el certificado de calibración del instrumento, nosotros tendremos que ofrecer esto en la aplicación para que el usuario lo imprima, o lo incluya en su proyecto.

11.2.7 Permitir modificaciones de datos

Debido a posibles modificaciones sobre los distintos instrumentos y procedimientos durante el paso del tiempo, los datos necesitan actualizarse. Actualmente no permitimos eso en la aplicación debido a la relación de los datos. Si permitiésemos la modificación es posible que tuviésemos registros sin todos los datos debido a que el procedimiento a cambiado desde que lo hicimos. Para ello habría que incluir una especie de control de versiones en los procedimientos e instrumentos y permitir el modificar los datos.

11.2.8 Rediseño de interfaz

No es fácil realizar una interfaz buena y utilizable. Normalmente existe una persona dedicada a este apartado en todos los proyectos. En nuestro caso, se ha intentado hacer una interfaz que se pueda entender y sea fácil de usar aunque no sea lo más llamativo. Por eso, la interfaz requiere un lavado de cara para que sea algo más bonita.

11.2.9 Rediseño de interfaz para móviles

Al igual que pasa con la interfaz, se ha intentado que en todo lugar, la interfaz sea de diseño 'responsive' para que se adapte a cualquier tamaño de pantalla. Pero en ciertos lugares hay errores que debido a la falta de tiempo no se ha podido refinar todo lo que se quería.

11.2.10 Editor de cuadro de texto

Algo que nos enteramos durante una de las pruebas, es que los usuarios del laboratorio no son expertos en el uso de 'Markdown' para escribir textos con formato. Es por ello que una posible actualización sea incluir un editor en los cuadros de texto de las descripciones de los pasos de los procedimientos para que usuarios no expertos en 'Markdown' sean capaces de aprovechar al máximo las funcionalidades que ofrecemos.

11.2.11 Más pruebas con usuarios

Hemos realizado pruebas con unos pocos voluntarios que encontramos, pero hay muchas cosas que no salen a la vista hasta que no se generaliza un poco más las pruebas. Es por ello que es necesario realizar más pruebas con usuarios para, además de ver que echan en falta, pulir al máximo la interfaz para que sea un producto bueno.

11.2.12 Permitir fórmulas alternativas

Actualmente solo ofrecemos 3 tipos de formulas para el tratamiento de datos, la mediana, la media y la desviación estándar. Muchas veces, los procedimientos usan estos datos, pero también tienen otro tipo de fórmulas. Es por eso que es recomendable añadir una manera de permitir la introducción e interpretación de estas fórmulas alternativas.

Apéndices

Apéndice A

Manual de Instalación

Gracias a que el sistema esta dividido en micro servicios, y utilizando la magia de Docker hace que el proceso de instalación sea muy sencillo.

Para ello, primero hay que descargar e instalar Docker y Docker Compose, siguiendo la documentación oficial. Una vez realizado esto, en los directorios de la aplicación que se puede obtener en repositorio del proyecto, desplazarse a **/Code**. Aquí se encuentra el archivo **docker-compose.yml** que incluye toda la definición de la infraestructura que tendrá que ejecutar Docker. En ese directorio será necesario abrir una consola de terminal y ejecutar el comando **\$ docker-compose build**. Lo que hace este comando es generar los contenedores Docker necesarios para el proyecto. Una vez finalizado, simplemente levantar estos contenedores con **\$ docker-compose up**. Ahora que ya tenemos ejecutándose los contenedores, simplemente conectarse, mediante navegador a la dirección **http://localhost** y nos llevara a la página principal de la web. Si se quiere acceder a la API, habrá que poner ir a la dirección **http://localhost/api/direccion** ya que Caddy se encarga de enviar el tráfico a donde necesite.

Apéndice B

Manual de Usuario

Lo primero que ve el usuario al entrar en la aplicación es lo siguiente:

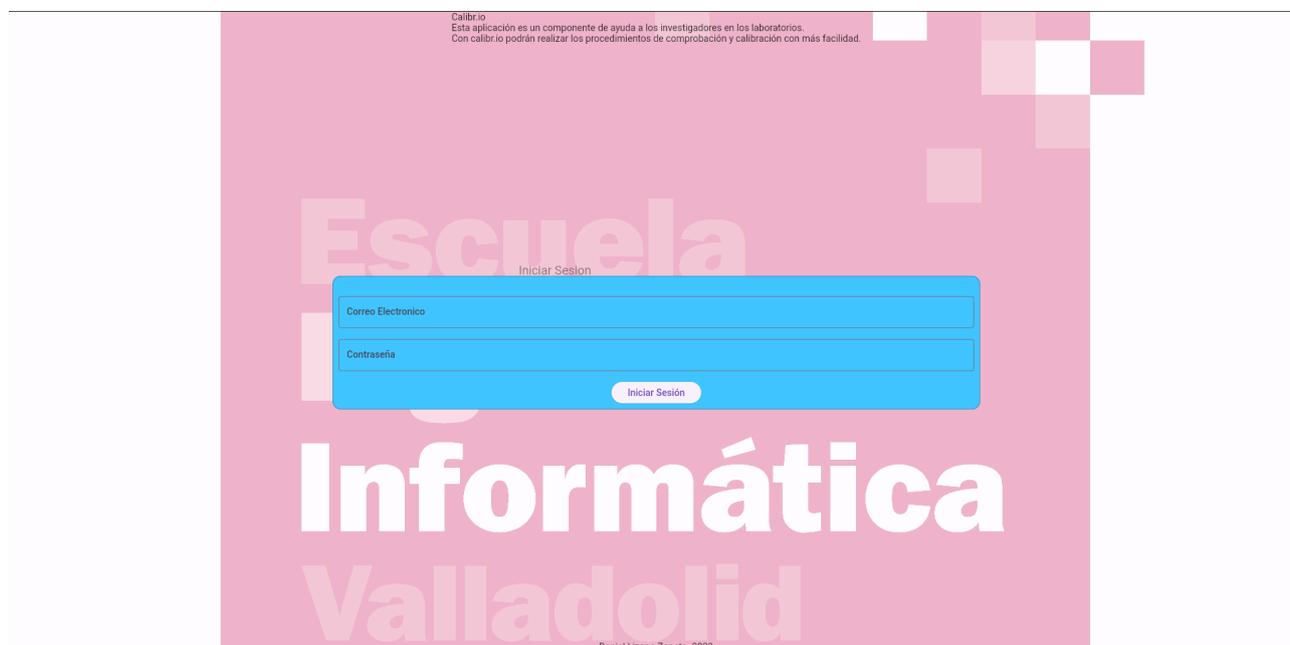


Figura B.1: Vista de inicio de sesión

Si el usuario que introduce es un usuario estándar se encontrará con una de las siguientes, dependiendo si en el grupo al que pertenece es investigador o investigador principal:

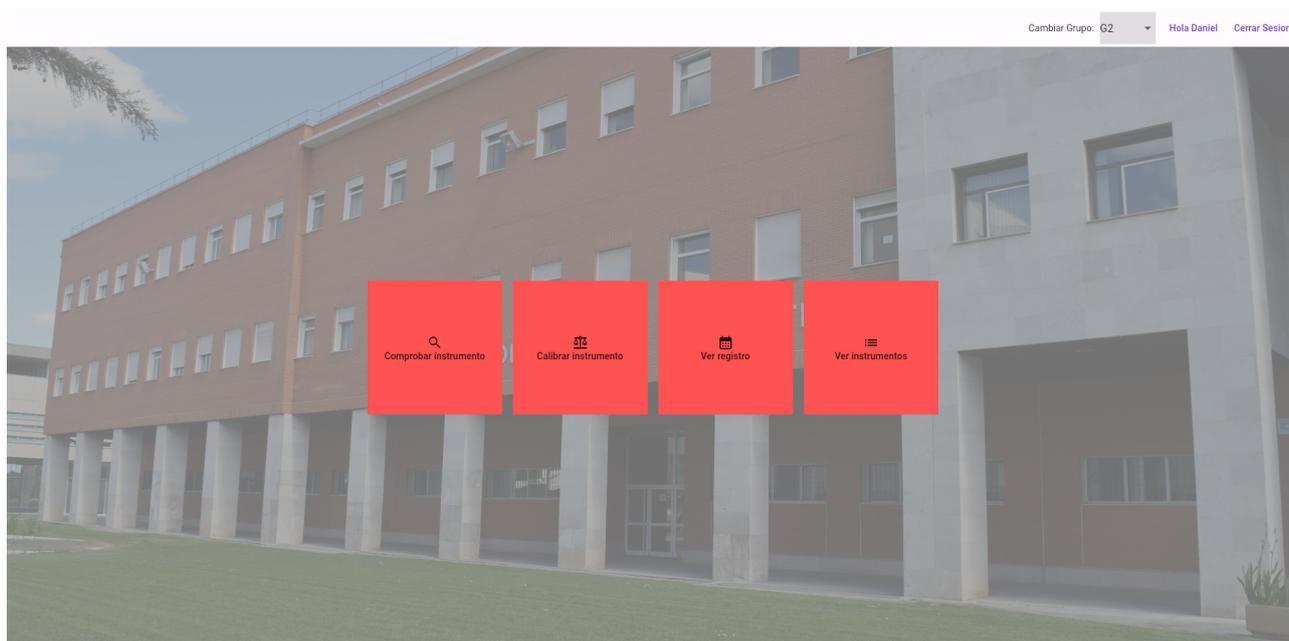


Figura B.2: Vista de investigador

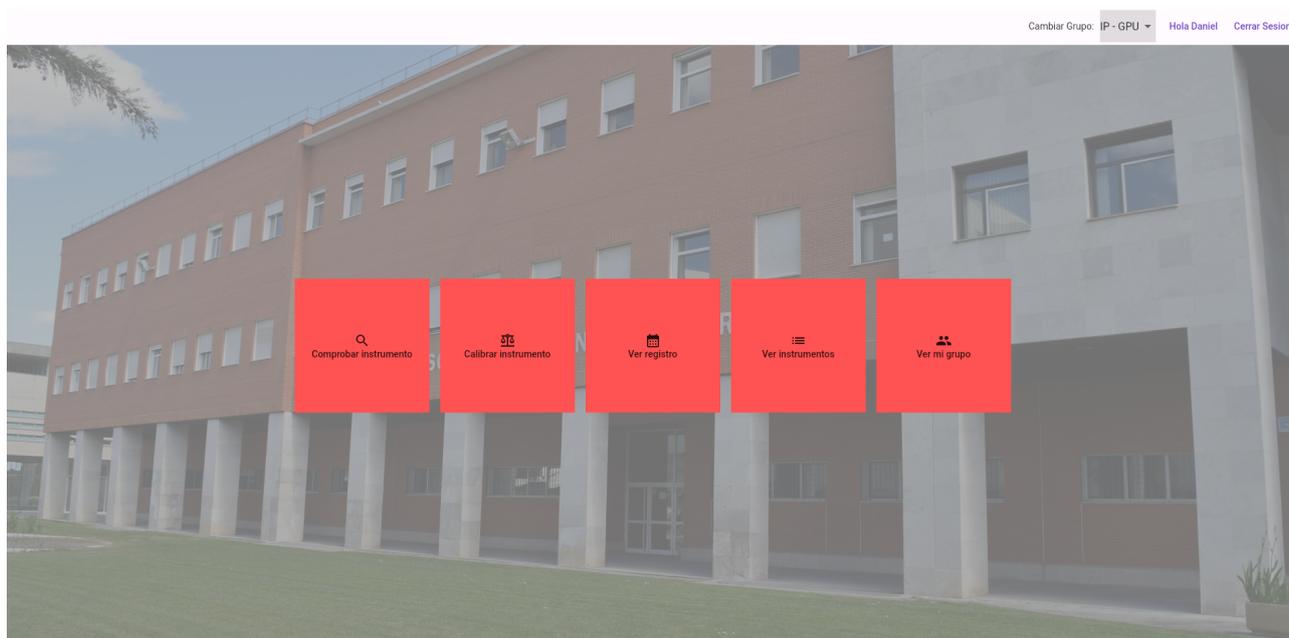


Figura B.3: Vista de investigador principal

En cualquiera de los casos, si el usuario desea comprobar un instrumento, se le mostrará

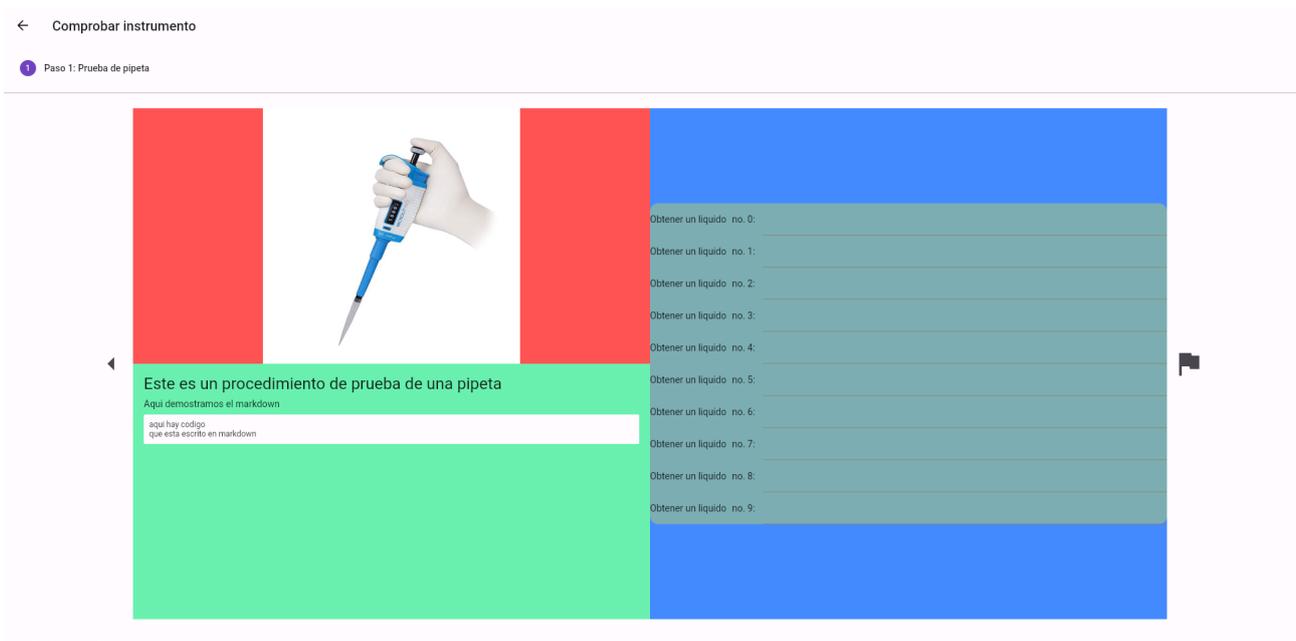


Figura B.4: Vista de un procedimiento de comprobación

También puede darse el caso que la tarjeta no permita introducir datos y solo sea realizar una acción, en ese caso la tarjeta es distinta:

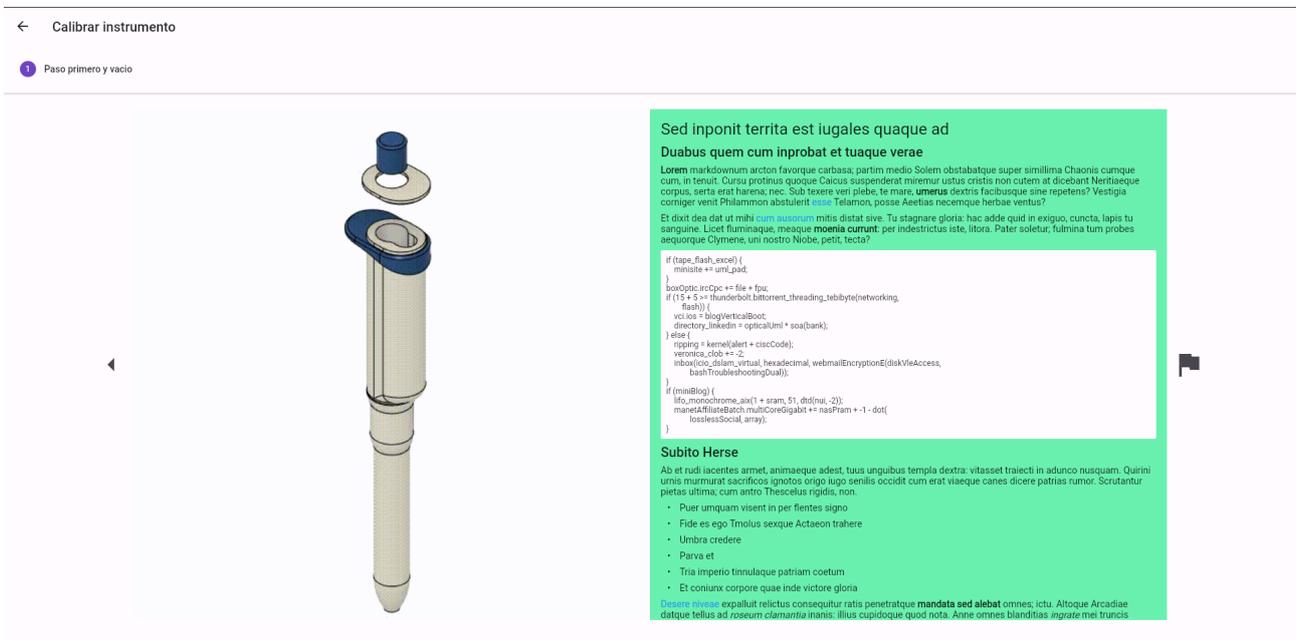


Figura B.5: Vista de un procedimiento de calibración, sin variable

Al completar el procedimiento se muestra al usuario un resumen de las estadísticas generadas durante el proceso.

Por parte del administrador, su pantalla principal es algo diferente:

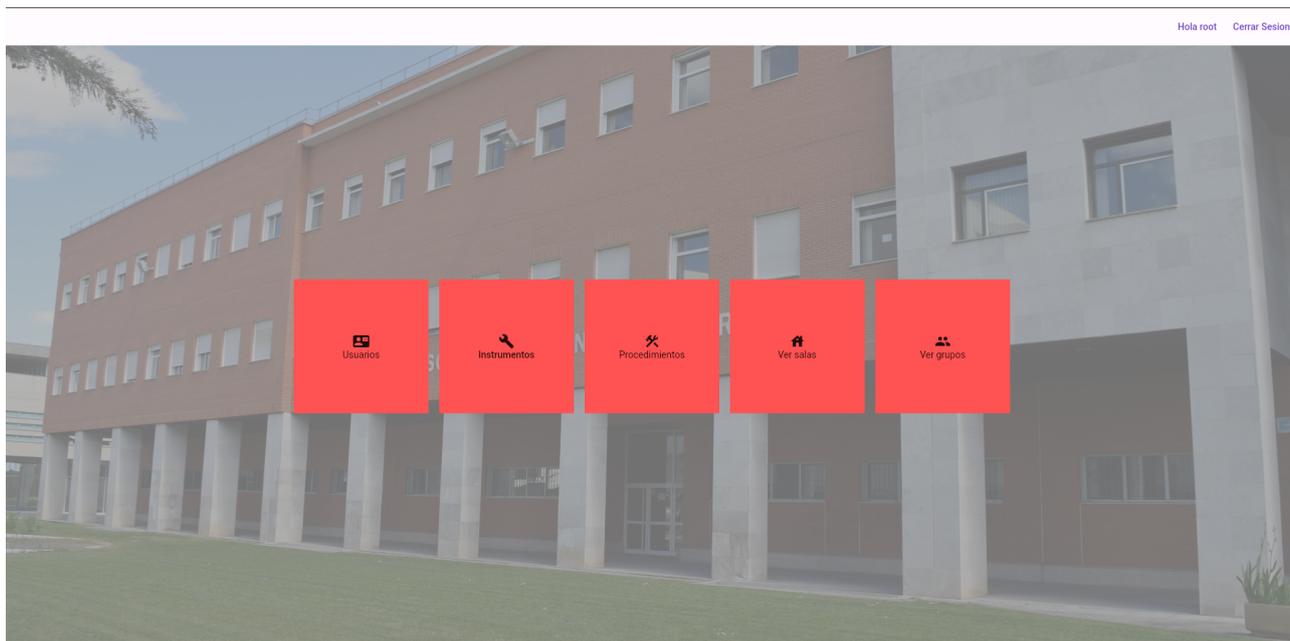


Figura B.6: Vista principal de un usuario administrador

Al pulsar cualquiera de los botones se despliega un submenú con distintas opciones. En todos existe crear y listar.

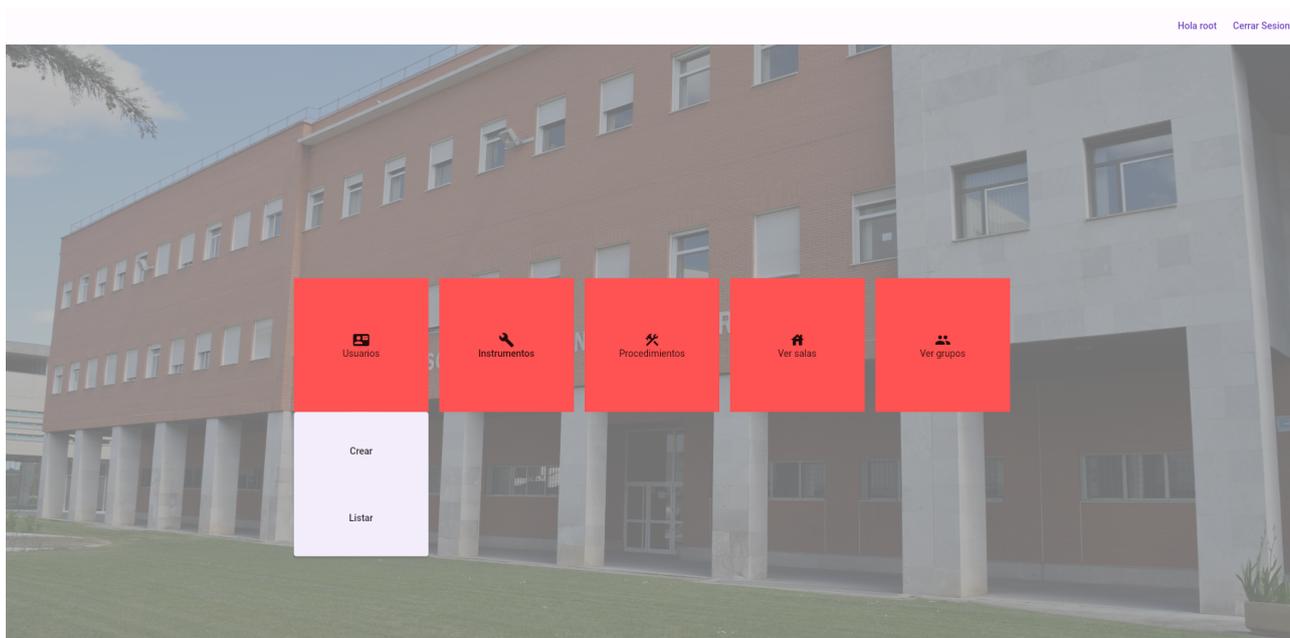


Figura B.7: Vista principal de un usuario administrador, tras pulsar un botón

En instrumentos tenemos opciones extra.

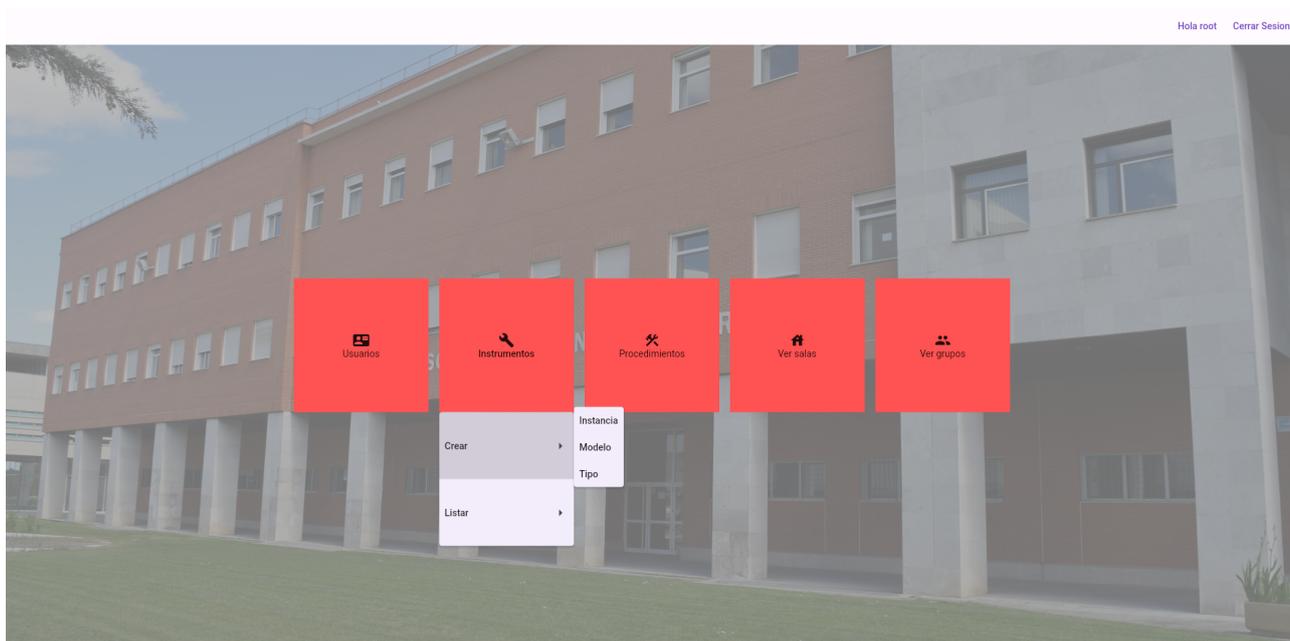


Figura B.8: Vista principal de un usuario administrador, tras pulsar el botón de gestión de instrumentos

Al pulsar en los botones de crear se abrirá el formulario correspondiente al tipo de recurso solicitado. Y en el de listar mostrará en una lista todos los elementos de ese tipo de recurso. El paso que es algo más distinto, es el de crear procedimiento. Primero nos saldrá una ventana inicial que pedirá información básica.

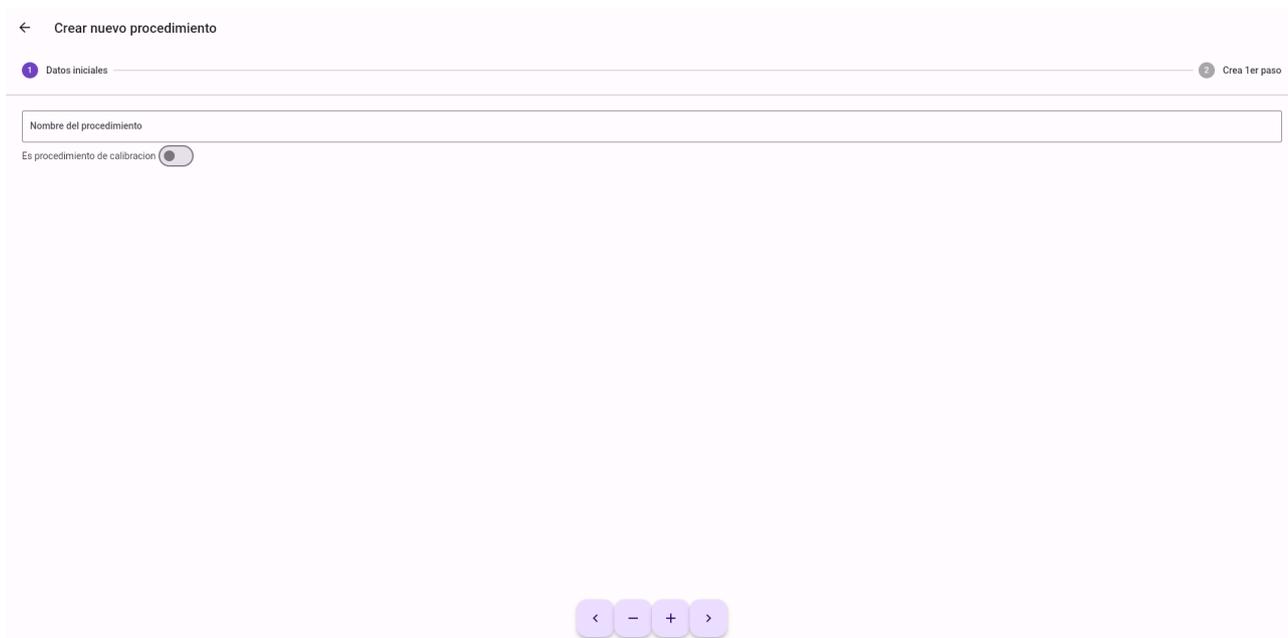


Figura B.9: Vista primaria al crear un nuevo procedimiento

Una vez rellenamos los datos, vamos a la siguiente página, utilizando los botones inferiores o pulsando en la barra superior. Se nos muestra lo siguiente:

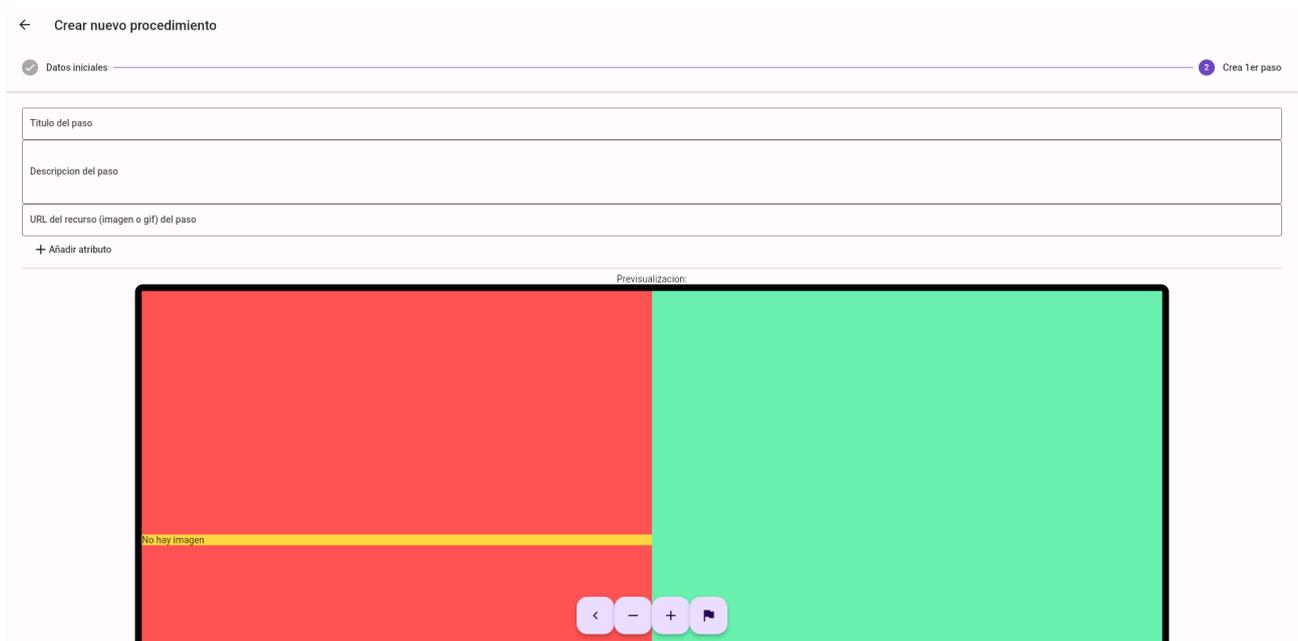


Figura B.10: Vista crear nuevo paso

Aquí vemos el formulario de introducción de datos, y una previsualización de como se va a ver el paso en las tarjetas, que hemos visto anteriormente. Si modificamos un dato, este se actualiza en el apartado de abajo

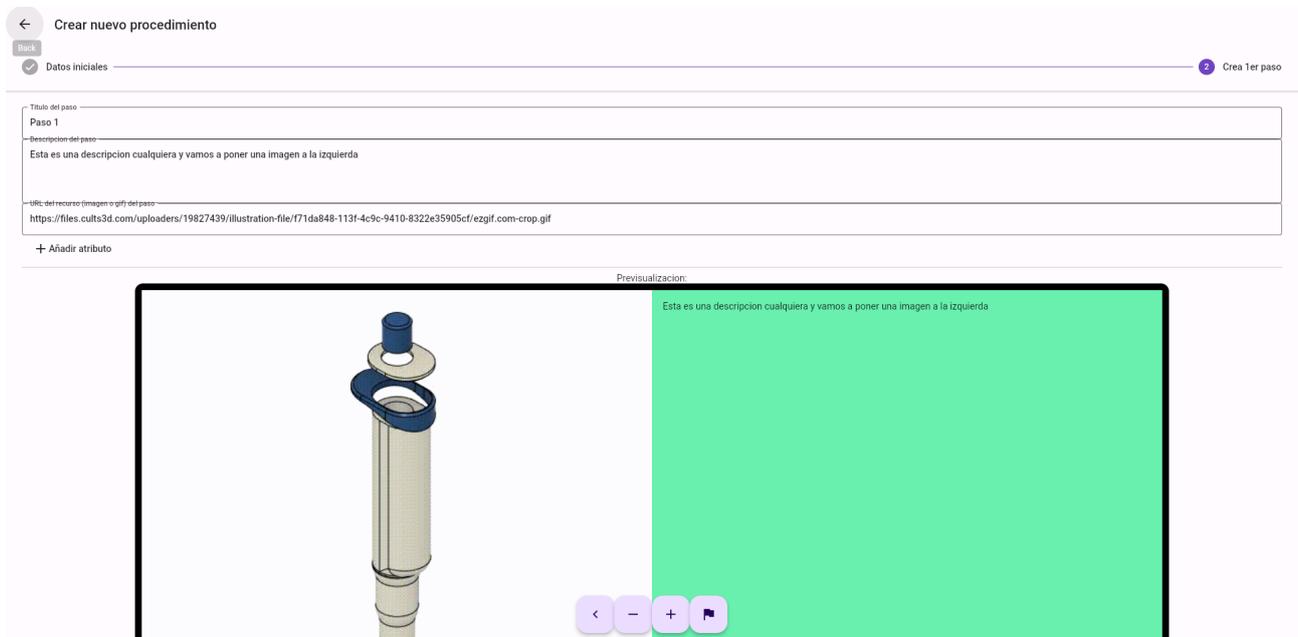


Figura B.11: Vista crear nuevo paso con modificaciones

Luego podemos añadir tantos atributos como queramos, y esto nos mostrará la vista de otra manera, dejando menos espacios en blanco.

APÉNDICE B. MANUAL DE USUARIO

← Crear nuevo procedimiento

✓ Datos iniciales 2 Crea 1er paso

Título del paso

Paso 1

Descripción del paso

Esta es una descripción cualquiera y vamos a poner una imagen a la izquierda

URL del recurso (imagen o gif del paso)

<https://files.cufts3d.com/uploaders/19827439/illustration-file/f71da848-113f-4c9c-9410-8322e35905cf/ezgif.com-crop.gif>

Nombre de la variable

Var1 Estadístico AVG

Nombre de la variable

Var2 Estadístico STDEV

+ Añadir atributo

Previsualización:

Esta es una descripción cualquiera y vamos a poner una imagen a la izquierda

Var1 no. 0.	Var2 no. 0.
Var1 no. 1.	Var2 no. 1.
Var1 no. 2.	Var2 no. 2.
Var1 no. 3.	Var2 no. 3.
Var1 no. 4.	Var2 no. 4.
	Var2 no. 5.

Figura B.12: Vista crear nuevo paso con modificaciones y atributos

Los botones inferiores son para moverse entre páginas, eliminar pasos extra, añadir nuevos pasos. Si te encuentras en el último paso, saldrá una bandera en el botón de moverse hacia el siguiente paso. Al pulsarlo, guardará el paso en el sistema y nos devolverá al menú principal, mostrándonos un aviso de que se ha almacenado correctamente.

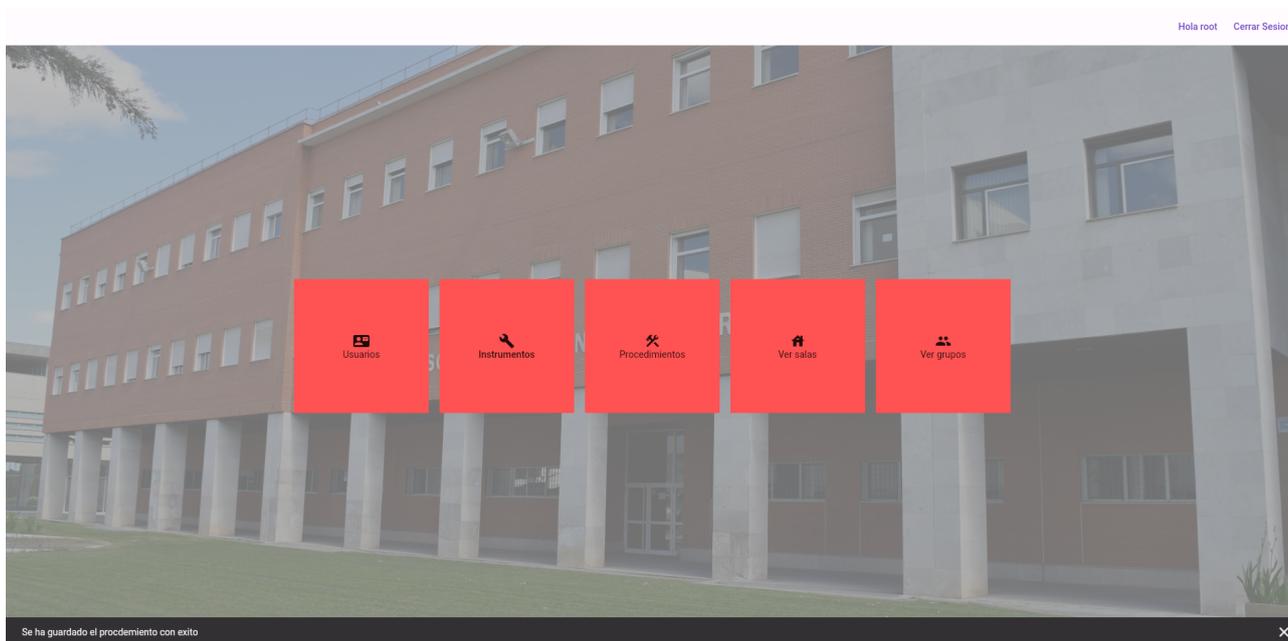


Figura B.13: Pantalla principal con la notificación de recurso guardado correctamente

Apéndice C

Enlaces del proyecto

A continuación dispondremos los enlaces del proyecto:

- Enlace al repositorio web del proyecto: <https://gitlab.inf.uva.es/danliza/proyecto-tfg>
- Enlace a la pagina web donde esta desplegado el proyecto: <http://157.88.125.199/>

Bibliografía

- [] *Firestore*. Firestore. URL: <https://firebase.google.com/?hl=es-419> (visitado 14-11-2022).
- [] *Flutter - Build apps for any screen*. URL: <https://flutter.dev/> (visitado 14-11-2022).
- [] *Free Tool Calibration Software | Gauge Calibration Management App*. GageList Gauge Calibration Software. URL: <https://gagelist.com/> (visitado 14-11-2022).
- [] *React – Una biblioteca de JavaScript para construir interfaces de usuario*. URL: <https://es.reactjs.org/> (visitado 14-11-2022).
- [] *Vue.js - The Progressive JavaScript Framework | Vue.js*. URL: <https://vuejs.org/> (visitado 14-11-2022).
- [Add02] Tom Addison. «Controlling Software Project Risks – an Empirical Study of Methods used by Experienced Project Managers.» En: (2002).
- [AE11] S. I. Ao e International Association of Engineers, eds. *The 2011 IAENG International Conference on Artificial Intelligence and Applications, the 2011 IAENG International Conference on Bioinformatics, the 2011 IAENG International Conference on Computer Science, the 2011 IAENG International Conference on Data Mining and Applications, the 2011 IAENG International Conference on Imaging Engineering, the 2011 IAENG International Conference on Communication Systems and Applications, the 2011 IAENG International Conference on Internet Computing and Web Services, the 2011 IAENG International Conference on Software Engineering*. International MultiConference of Engineers and Computer Scientists, IMECS 2011 : 16 - 18 March, 2011, the Royal Garden Hotel, Kowloon, Hong Kong / [Eds.: S. I. Ao ...] Vol. 1. Hong Kong: IAENG, 2011. 766 págs. ISBN: 978-988-18210-3-4.
- [Alb12] Pawel Albrecht. *VWR Signature Ergonomic High-Performance Pipettor*. Feb. de 2012. URL: [https://www.pipettesupplies.com/assets/1/7/VWR_EHP_Signature-User_Manual_2012_\(VWR\).pdf](https://www.pipettesupplies.com/assets/1/7/VWR_EHP_Signature-User_Manual_2012_(VWR).pdf) (visitado 23-06-2023).
- [And21] Andrea Sella. *Black's balance | Opinion*. Jul. de 2021. URL: <https://www.chemistryworld.com/opinion/blacks-balance/4013872.article> (visitado 08-07-2023).
- [Ang] Angular. *Angular*. URL: <https://angular.io/> (visitado 14-11-2022).
- [Arf72] Juan de Arfe y Villafañe. *Quilatador de la plata, oro y piedras*. Valladolid, España: Alonso y Diego Fernández de Córdoba, 1572. URL: <https://www.cervantesvirtual.com/obra/quilatador-de-la-plata-oro-y-piedras/> (visitado 08-07-2023).
- [BB44] James H. Bull y R. H. Bull. «Spring-Balance». US3752A (New York). Sep. de 1844. URL: [https://patents.google.com/patent/US3752A/en?q=\(%22spring+balances%22\)&before=priority:18600101&num=100&sort=new](https://patents.google.com/patent/US3752A/en?q=(%22spring+balances%22)&before=priority:18600101&num=100&sort=new) (visitado 09-07-2023).
- [Ben04] John P. Bentley. *Principles of Measurement Systems*. 4th edition. Harlow, Inglaterra, Reino Unido: Pearson Education, 19 de nov. de 2004. 528 págs. ISBN: 978-0-13-043028-1.

- [BG22] Clark Arthur Briggs y Edward David Gordon. «Weighing by substitution». En: *Technologic Papers of the Bureau of Standards* 16.208 (1922), págs. 177-192. DOI: [10.6028/nbst.6253](https://doi.org/10.6028/nbst.6253). URL: <http://dx.doi.org/10.6028/nbst.6253>.
- [Bio17] Biotix Inc. *The Biotix Guide to Pipetting*. 25 de ago. de 2017. URL: https://bitesizebio.com/wp-content/uploads/2017/11/2_Design_Guide-To-Pipetting.pdf (visitado 16-06-2023).
- [BIP+12] BIPM et al. *International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)*. JCGM 200:2012. Sèvres, Francia: Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM), 17 de feb. de 2012, pág. 108. URL: https://www.bipm.org/documents/20126/2071204/JCGM_200_2012.pdf/f0e1ad45-d337-bbeb-53a6-15fe649d0ff1 (visitado 12-05-2023).
- [BIP+14] BIPM et al. *Vocabulario Internacional de Metrología – Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (VIM)*. JCGM 200:2012. NIPO: 074-13-004-1. Tres Cantos, Madrid, España: Centro Español de Metrología (CEM), 8 de abr. de 2014, pág. 88. URL: <https://www.cem.es/sites/default/files/vim-cem-2012web.pdf> (visitado 12-05-2023).
- [Bui09] John Buie. «Evolution of the Pipette». En: *Lab Manager* 4.7 (29 de sep. de 2009), págs. 44-45. ISSN: 1931-3810. URL: <https://cdn.labmanager.com/assets/articleNo/20163/doc/37169/36618404-df62-4e0a-9d7c-2333e71b5c87-pipette-evolution.pdf> (visitado 14-05-2023).
- [Chr71] R. Christophe. «L'analyse volumétrique de 1790 à 1860: Caractéristiques et importance industrielle Évolution des instruments». En: *Revue d'histoire des sciences* 24.1 (1971). Publisher: Armand Colin, págs. 25-44. ISSN: 0151-4105. URL: <https://www.jstor.org/stable/24468285> (visitado 16-05-2023).
- [Cop22] Yannick Copin. *Double pesée*. Page Version ID: 191810027. Mar. de 2022. URL: https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Double_pes%C3%A9e&oldid=191810027 (visitado 09-07-2023).
- [Duv71] Clément Duval. «Du berthollimètre de Descroizilles à la sonde de Castaing». En: *Pure and Applied Chemistry* 25.4 (1 de ene. de 1971), págs. 695-708. ISSN: 1365-3075. DOI: [10.1351/pac197125040695](https://doi.org/10.1351/pac197125040695). URL: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1351/pac197125040695/html> (visitado 16-05-2023).
- [Epp15] Eppendorf Ibérica, S.L.U. *Catálogo 2015*. 10 de abr. de 2015. URL: http://www.laboquimia.es/pdf_catalogo/EPPENDORF_Catalogo_2015.pdf (visitado 08-06-2023).
- [EUR+15] EURAMET e.V. et al. *Guía para la calibración de instrumentos de pesaje de funcionamiento no automático*. EURAMET/cg-18/v4.0. Tres Cantos, Madrid, España: Centro Español de Metrología (CEM), nov. de 2015. URL: https://www.cem.es/sites/default/files/filesd6/euramet_cg-18_calibracionipfna.pdf (visitado 02-11-2022).
- [Fab23] Fabulabs S.p.A. *Salario Medio en España (Sueldos 2023)*. Jobted.es. 10 de jul. de 2023. URL: <https://www.jobted.es/salario> (visitado 10-07-2023).
- [FFF20] Ana Fuentes López, Isabel Fernández Segovia y Cristina Fuentes López. *Manejo de micropipetas*. 9 de jun. de 2020. URL: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/145895/Fuentes%3BFern%3Alndez%3BFuentes%20-%20Manejo%20de%20micropipetas.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (visitado 16-05-2023).
- [Flu] Fluke Corporation. *Calibration Software & Solutions by Fluke Calibration*. URL: <https://us.flukecal.com/products/calibration-software> (visitado 14-11-2022).

- [Fun19] Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT). *Pliego de condiciones jurídicas de la Fundación Española para la Ciencia y la tecnología, F.S.P. contrato sujeto a regulación armonizada mediante procedimiento abierto para la prestación de un servicio de servicio de asistencia técnica para el análisis, desarrollo software (mantenimiento evolutivo) e implantación de los sistemas de información de FECYT en las siguientes tecnologías: Drupal, ez-Publish, Share-Point y .NET, OJS, PHP-ADAS y Java-DNET: Condiciones específicas del contrato*. 7 de mar. de 2019. URL: https://mnhlicitaciones.com/wp-content/uploads/2019/03/DOC20190311104156PL2019_003_Pliego_Condiciones_especificas_de_contratacion.pdf (visitado 04-04-2023).
- [GAG] GAGetrak. *Calibration Management Software: Welcome to GAGetrak*. GAGetrak Calibration Management Software. URL: <https://gagetrak.com/> (visitado 14-11-2022).
- [GG74] Warren E. Gilson y Robert E. Gilson. «Adjustable pipette». Pat. estadounidense 3827305A (Madison, Wisconsin, USA.). W Gilson R Gilson. 6 de ago. de 1974. URL: <https://patents.google.com/patent/US3827305A/en> (visitado 14-05-2023).
- [Gil97] Warren E. Gilson. «Adjustable pipette». Pat. estadounidense 5650124A. Gilson; Warren E. 22 de jul. de 1997. URL: <https://patents.google.com/patent/US5650124A/en> (visitado 02-07-2023).
- [Gup12] S. V. Gupta. *Mass Metrology*. Vol. 155. Springer Series in Materials Science. Heidelberg, Alemania: Springer, 2012. ISBN: 978-3-642-23411-8. DOI: 10.1007/978-3-642-23412-5. URL: <https://link.springer.com/10.1007/978-3-642-23412-5> (visitado 09-07-2023).
- [IES18] IES Corporation. *Linearity Test*. QCS / IES Corporation. 2018. URL: <https://www.iescorp.com/troubleshooting-linearity/> (visitado 11-07-2023).
- [Int00] International Organization for Standardization. *Determination of uncertainty for volume measurements made using the gravimetric method*. ISO/TR 20461. Ginebra, Suiza: International Organization for Standardization (ISO), nov. de 2000. URL: <https://www.iso.org/standard/34183.html>.
- [Int09a] International Organization for Standardization. *Piston-operated volumetric apparatus - Part 2: Piston pipettes*. EN ISO 8655-2:2002. ISBN: 978-0-580-66189-1. Londres, Reino Unido: British Standards Institution, 30 de jun. de 2009. URL: <https://knowledge.bsigroup.com/products/piston-operated-volumetric-apparatus-piston-pipettes/standard>.
- [Int09b] International Organization for Standardization. *Piston-operated volumetric apparatus - Part 6: Gravimetric methods for the determination of measurement error*. EN ISO 8655-6:2002. ISBN: 978-0-580-66193-8. Londres, Reino Unido: British Standards Institution, 30 de jun. de 2009. URL: <https://knowledge.bsigroup.com/products/piston-operated-volumetric-apparatus-gravimetric-methods-for-the-determination-of-measurement-error/standard>.
- [Int09c] International Organization for Standardization. *Piston-operated volumetric apparatus - Part 7: Non-gravimetric methods for the assessment of equipment performance*. EN ISO 8655-7:2005. ISBN: 978-0-580-66194-5. Londres, Reino Unido: British Standards Institution, 30 de jun. de 2009. URL: <https://knowledge.bsigroup.com/products/piston-operated-volumetric-apparatus-non-gravimetric-methods-for-the-assessment-of-equipment-performance/standard>.

- [Int10] International Organization for Standardization. *Piston-operated volumetric apparatus - Part 1: Terminology, general requirements and user recommendations*. EN ISO 8655-1:2002. ISBN: 978-0-580-66188-4. Londres, Reino Unido: British Standards Institution, 30 de abr. de 2010. URL: <https://knowledge.bsigroup.com/products/piston-operated-volumetric-apparatus-terminology-general-requirements-and-user-recommendations/standard>.
- [JH92] Frank E. Jones y Georgia L. Harris. «ITS-90 Density of Water Formulation for Volumetric Standards Calibration». En: *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology* 97.3 (1992), págs. 335-340. ISSN: 1044-677X. DOI: [10.6028/jres.097.013](https://doi.org/10.6028/jres.097.013).
- [Kel75] George S. Kell. «Density, thermal expansivity, and compressibility of liquid water from 0.deg. to 150.deg.. Correlations and tables for atmospheric pressure and saturation reviewed and expressed on 1968 temperature scale». En: *Journal of Chemical & Engineering Data* 20.1 (1 de ene. de 1975). Publisher: American Chemical Society, págs. 97-105. ISSN: 0021-9568. DOI: [10.1021/je60064a005](https://doi.org/10.1021/je60064a005). URL: <https://doi.org/10.1021/je60064a005> (visitado 22-06-2023).
- [KER13] KERN & Sohn GmbH. *Manual de instrucciones – Balanza analítica KERN ABT*. Inf. téc. ABT-BA-s-1312. Balingen, Alemania, mar. de 2013. URL: <https://docs.rs-online.com/ff32/0900766b816869ab.pdf>.
- [Kha18] Françoise Khantine-Langlois. «120 ans avant celle de Mettler, la balance de Bochkoltz». En: *L'Actualité Chimique* 429 (mayo de 2018), págs. 50-52. ISSN: 0151-9093. URL: <https://new.societechimiquedefrance.fr/wp-content/uploads/2019/12/218-429-mai-p50-khantine-langlois-hd.pdf>.
- [Kli05] Martin Klingenberg. «When a common problem meets an ingenious mind». En: *EMBO reports* 6.9 (sep. de 2005). Publisher: John Wiley & Sons, Ltd, págs. 797-800. ISSN: 1469-221X. DOI: [10.1038/sj.embor.7400520](https://doi.org/10.1038/sj.embor.7400520). URL: <https://www.embopress.org/doi/full/10.1038/sj.embor.7400520> (visitado 13-05-2023).
- [Lab16] Lab Manager. *Evolution of the pipette*. 28 de ago. de 2016. URL: https://www.ispasturias.es/wp-content/uploads/2021/11/LM_EvolutionPipette-web-NS.pdf (visitado 14-05-2023).
- [Lab20] Laboratory Solutions from METTLER TOLEDO. *Rainin PipetteX from METTLER TOLEDO – Pipette Management Simplified*. Ago. de 2020. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=JV6LC6-OGJc> (visitado 28-10-2022).
- [Las05] Pedro Juan de Lastanosa. *Los veintiún libros de los ingenios y de las máquinas*. España, 1605. URL: <http://bdh.bne.es/bnearch/detalle/bdh0000099602>.
- [Lev36] Milton Levy. «Studies on enzymatic histochemistry. XVII. A micro kjeldahl estimation.» En: *Comptes rendus des Travaux du Laboratoire Carlsberg: Série chimique* 21.6 (1936), págs. 101-110. URL: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19361402884> (visitado 16-06-2023).
- [Man+17] María Jesús Mancho Duque et al. *Balanza en DICTER 2.0: Diccionario de la Ciencia y de la Técnica del Renacimiento*. ISBN: 978-84-9012-164-1. 2017. URL: <https://dicter.usal.es/lema/balanza> (visitado 08-07-2023).
- [Mar13] Cristina Martín Herrero. «El léxico de los ingenios y máquinas en el Renacimiento». <http://purl.org/dc/dcmitype/> Salamanca, España: Universidad de Salamanca, 2013. URL: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=82747> (visitado 08-07-2023).

- [Mar17] Jessica Denisse Marín Pérez. «Estimación de la incertidumbre en el proceso de calibración de una micropipeta mediante la guía para la expresión de la incertidumbre de medida (GUM).» Tesis doct. Ciudad de México, México: Instituto Politécnico Nacional, 7 de nov. de 2017. 111 págs. URL: <http://tesis.ipn.mx/xmlui/handle/123456789/24136> (visitado 30-06-2023).
- [Met] Metquay. *Calibration Management Software | Calibration Lab Management*. Metquay. URL: <https://www.metquay.com> (visitado 14-11-2022).
- [Met06] Mettler-Toledo AG. *Mettler Toledo - Balanzas analíticas XP Excellence Plus: Instrucciones de manejo*. 11780749C. Dic. de 2006. URL: https://www.mt.com/mt_ext_files/Editorial/Generic/8/XP_Analytical_BA_Editorial-Generic_1112329814926_files/XP-Analysen-BA-sp-11780749C.pdf (visitado 10-05-2023).
- [Met07] Mettler-Toledo AG. *Thermal Analysis Excellence - STAR System: The Future of Thermal Analysis*. ME-51724550. Greifensee, Suiza, jul. de 2007. URL: https://www.mt.com/mt_ext_files/Editorial/Generic/7/Excellence_competence_brochure_Editorial-Generic_1186146003822_files/51724550_TA_Kompetenz_Bro_E_1186146003822.pdf (visitado 10-07-2023).
- [Met19] Mettler-Toledo AG. *Weighing According to US Pharmacopeia - General Chapters 41 and 1251*. 30540114A. Greifensee, Suiza, sep. de 2019. URL: <https://edisciplinas.usp.br/mod/resource/view.php?id=4408782>.
- [Met93] Mettler-Toledo AG. *Mettler Toledo B balance line, AB/PB/SB: Operating instructions*. ME-705133. Feb. de 1993. URL: <https://www.uvm.edu/cosmolab/om/MettlerBbalance.pdf> (visitado 09-05-2023).
- [Mew15] Kyle Mew. *Learning Material Design*. Birmingham, Reino Unido: Packt Publishing, 29 de dic. de 2015. 186 págs. ISBN: 978-1-78528-981-1.
- [ML15] Alan S. Morris y Reza Langari. *Measurement and Instrumentation: Theory and Application*. 2.^a ed. Waltham, Massachusetts, USA: Elsevier Inc., 13 de ago. de 2015. ISBN: 978-0-12-801132-4.
- [Nat09] National Institute of Standards and Technology. *On-Wafer Calibration Software*. NIST. 5 de ago. de 2009. URL: <https://www.nist.gov/services-resources/software/wafer-calibration-software> (visitado 14-11-2022).
- [Nat20] National Institutes of Health (NIH). *Equal Arm Analytical Balances*. Jun. de 2020. URL: <https://history.nih.gov/display/history/Equal+Arm+Analytical+Balances> (visitado 08-07-2023).
- [New16] Valerie Neff Newitt. «Pipetting Guidelines Through History». En: *Advance for Medical Laboratory Professionals* (sep. de 2016), págs. 45-46. ISSN: 1088-5676. URL: <https://www.iaclld.com/UpFiles/Documents/295467701.pdf>.
- [Núñ67] Pedro Núñez. *Libro de algebra en arithmetica y geometria*. Anvers, Bélgica: Herederos de Arnoldo Birckman, 1567. URL: <https://www.cervantesvirtual.com/obra/libro-de-algebra-en-arithmetica-y-geometria/> (visitado 08-07-2023).
- [Obj12] Object Management Group (OMG). *Information technology - Object Management Group Unified Modeling Language (OMG UML), Superstructure*. Estándar internacional ISO/IEC 19505-2:2012. Ginebra, Suiza: International Organization for Standardization (ISO), International Electrotechnical Commission (IEC), 23 de mayo de 2012. URL: <https://www.omg.org/spec/UML/ISO/19505-2/PDF> (visitado 13-04-2023).
- [PB66] G. B. Phillips y S. P. Bailey. «Hazards of mouth pipetting». En: *The American Journal of Medical Technology* 32.2 (1966), págs. 127-129. ISSN: 0002-9335. URL: <https://cdn.labmanager.com/assets/articleNo/533/doc/982/bce46340-06ae-470f-8876-2a1led0c6f16-0bf6863aefa898b59024eced8204f2f53dac.pdf> (visitado 16-05-2023).

- [Pet21] Petrie Museum of Egyptian Archaeology, University College London. *Red limestone balance beam - UC16280*. Jun. de 2021. URL: <https://collections.ucl.ac.uk/Details/petrie/29559> (visitado 08-07-2023).
- [Pip21] Pipette Supplies, Inc. *How to Calibrate a VWR Ergonomic High Performance (EHP) Pipette*. Pipette Supplies. 5 de mayo de 2021. URL: <https://www.pipettesupplies.com/blog-vwr/how-to-adjust-the-calibration-vwr-ergonomic-high-performance-ehp-single-pipette/> (visitado 13-04-2023).
- [Rig50] George S. Riggs. «Mechanical pipette». Pat. estadounidense 2530909A. Samuel C Riggs Carl A Nisson. 21 de nov. de 1950. URL: <https://patents.google.com/patent/US2530909/en> (visitado 14-05-2023).
- [RJK14] Erich Robens, Shanath Amarasiri A. Jayaweera y Susanne Kiefer. *Balances: Instruments, Manufacturers, History*. Heidelberg, Alemania: Springer, 2014. 730 págs. ISBN: 978-3-642-36446-4. DOI: [10.1007/978-3-642-36447-1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-36447-1). URL: <https://link.springer.com/10.1007/978-3-642-36447-1> (visitado 08-07-2023).
- [San70] Colin John Sanderson. «Multiple droppers». Pat. estadounidense 3498342A. University of Queensland UQ. 3 de mar. de 1970. URL: <https://patents.google.com/patent/US3498342A/en> (visitado 17-06-2023).
- [Sar13] Sartorius Biohit Liquid Handling Oy. *Proline® pipette: User Manual*. 4002040. Helsinki, Finlandia, mar. de 2013. URL: [https://www.pipettesupplies.com/assets/1/7/Proline_Mechanical-User_Manual_2013_\(Biohit_Sartorius\).pdf](https://www.pipettesupplies.com/assets/1/7/Proline_Mechanical-User_Manual_2013_(Biohit_Sartorius).pdf) (visitado 22-06-2023).
- [Sar21] Sartorius Croatia. *myScal Calibration Software: Seamlessly smart laboratory solution for complete automation and digitization of calibration procedures*. Jun. de 2021. URL: <https://myscal.com/media/yphnebxg/myscal-software-catalogue.pdf> (visitado 22-11-2022).
- [Sch19] Nutsima Schnell. *Q&A with Mettler-Toledo*. ValidNMR. 15 de nov. de 2019. URL: <https://www.validnmr.com/2019/11/15/qa-with-mettler-toledo/> (visitado 11-07-2023).
- [Sch60] Heinrich Schnitger. «Vorrichtung zum schnellen und exakten Pipettieren kleiner Flüssigkeitsmengen». Pat. alemana 1090449B. Heinrich Schnitger. 6 de oct. de 1960. URL: <https://patents.google.com/patent/DE1090449B/nl> (visitado 14-05-2023).
- [Sch82] Randall M. Schoonover. «A Look at the Electronic Analytical Balance». En: *Analytical Chemistry* 54.8 (1 de jul. de 1982). Publisher: American Chemical Society, 973A-980A. ISSN: 0003-2700. DOI: [10.1021/ac00245a785](https://doi.org/10.1021/ac00245a785). URL: <https://doi.org/10.1021/ac00245a785> (visitado 10-07-2023).
- [Sci20] Science Museum Group. *Hydrostatic balance by Jesse Ramsden, London, 1785-1789*. Sep. de 2020. URL: <https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co12475/hydrostatic-balance-by-jesse-ramsden-london-1785-1789-scales-weighing-devices-analytical-balances-equal-arm-balances> (visitado 09-07-2023).
- [Sel20] Andrea Sella. *Fortin's barometer and balance*. Sep. de 2020. URL: <https://www.chemistryworld.com/opinion/fortins-barometer-and-balance/4012305.article> (visitado 09-07-2023).
- [Shi+14] Katsuhiko Shirono et al. «Evaluation of “method uncertainty” in the calibration of piston pipettes (micropipettes) using the gravimetric method in accordance with the procedure of ISO 8655-6». En: *Accreditation and Quality Assurance* 19.5 (1 de oct. de 2014), págs. 377-389. ISSN: 1432-0517. DOI: [10.1007/s00769-014-1075-2](https://doi.org/10.1007/s00769-014-1075-2). URL: <https://doi.org/10.1007/s00769-014-1075-2> (visitado 13-05-2023).

- [Spr] Spring. *Spring makes Java simple*. Spring. URL: <https://spring.io/> (visitado 14-11-2022).
- [Suo71] Osmo Antero Suovaniemi. «Sarjapipetti». Pat. FI44069C (Helsinki, Finlandia). 10 de ago. de 1971. URL: <https://patents.google.com/patent/FI44069C/en?inventor=Osmo+Antero+Suovaniemi&sort=old> (visitado 03-07-2023).
- [Suo73] Osmo Antero Suovaniemi. «Sarjapipetti». Pat. FI47460B (Helsinki, Finlandia). Labsystems OY. 31 de ago. de 1973. URL: <https://patents.google.com/patent/FI47460B/en> (visitado 21-06-2023).
- [VWR] VWR International, LLC. *Pipette calibration software, PICASO*. URL: <https://es.vwr.com/store/product/8669276/pipette-calibration-software-picaso> (visitado 28-10-2022).
- [Wik] WikiHow. *wikiHow: tutoriales en los que puedes confiar*. URL: <https://es.wikihow.com/Portada> (visitado 14-11-2022).
- [Wil08] Ruth Hendricks Willard. «Weights and Measures in Egypt». En: *Encyclopaedia of the History of Science, Technology, and Medicine in Non-Western Cultures*. Ed. por Helaine Selin. Dordrecht: Springer Netherlands, 2008, págs. 2244-2251. ISBN: 978-1-4020-4425-0. DOI: [10.1007/978-1-4020-4425-0_8933](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4425-0_8933). URL: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4425-0_8933 (visitado 08-07-2023).

