

Diseño de un Aplicativo Instruccional de Realidad Aumentada Para la Asistencia en la  
Capacitación y Desarrollo de Actividades de Mantenimiento Preventivo

Jesús David Galvis Carvajal y Juan Sebastian Carrillo Rangel

Trabajo de Grado Para Optar al Título de Ingeniero Mecánico

Director

German Orlando Romero Suárez

Magíster en Innovación y Diseño

Codirector

Diego Fernando Villegas Bermúdez

Doctor en Ingeniería Mecánica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2026

### **Dedicatoria**

Quiero dedicar este proyecto a mi padre y a mi madre por sus enseñanzas, tiempo, paciencia, amor y valores que me han brindado a lo largo de toda mi vida.

A mis amigos Gustavo, Karen, Andrea y Carlos, por su apoyo incondicional y los momentos que compartimos llenos de felicidad y cariño.

A mis profesores por su guía en mi camino profesional.

*Jesús David Galvis Carvajal*

A mis padres y a mi hermano, a quienes agradezco profundamente por su amor incondicional, su apoyo constante y la confianza que siempre han depositado en mí. Gracias por acompañarme en cada etapa de este camino y por estar presentes a lo largo de mi vida.

A todas aquellas personas que, mediante un consejo, una conversación o una palabra de motivación, contribuyeron a hacer de mi paso por la universidad una experiencia más amena, enriquecedora y significativa.

*Juan Sebastian Carrillo Rangel*

### **Agradecimientos**

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a nuestro director, German Orlando Romero Suarez, y a nuestro codirector, Diego Fernando Villegas Bermúdez, por su valiosa orientación, paciencia, constante disposición y compromiso a lo largo del desarrollo de este proyecto. Asimismo, manifestamos nuestra gratitud al cuerpo docente y al personal de la Escuela de Ingeniería Mecánica por su acompañamiento y apoyo durante toda nuestra formación académica. Finalmente, agradecemos a la Universidad Industrial de Santander por brindarnos un espacio de crecimiento personal, académico y profesional, así como las herramientas y oportunidades que hicieron posible nuestra consolidación como futuros ingenieros.

## Tabla de contenido

|                                                                       | <b>Pág.</b> |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------|
| Introducción .....                                                    | 18          |
| 1. Objetivos .....                                                    | 19          |
| 1.1. Objetivo general .....                                           | 19          |
| 1.2. Objetivos específicos .....                                      | 19          |
| 2. Marco teórico .....                                                | 20          |
| 2.1. Mantenimiento industrial .....                                   | 20          |
| 2.1.1. Mantenimiento correctivo .....                                 | 21          |
| 2.1.2. Mantenimiento preventivo .....                                 | 22          |
| 2.1.2.1. Enfoques del mantenimiento preventivo .....                  | 22          |
| 2.2. La información en entornos de mantenimiento .....                | 22          |
| 2.2.1. Gestión de la información .....                                | 25          |
| 2.2.2. Flujo de la información .....                                  | 25          |
| 2.2.3. Tipos de información en mantenimiento .....                    | 26          |
| 2.2.4. Gestión del conocimiento .....                                 | 26          |
| 2.2.5. Sistema de gestión de conocimiento .....                       | 27          |
| 2.3. Modelos 3D y su integración con la realidad aumentada .....      | 27          |
| 2.3.1. Representación geométrica .....                                | 28          |
| 2.3.2. Herramientas para modelado 3D .....                            | 28          |
| 2.3.3. Formatos de modelos 3D para su uso en realidad aumentada ..... | 29          |
| 2.3.4. Tipos de realidad aumentada .....                              | 30          |
| 3. Definición de requerimientos y restricciones .....                 | 32          |
| 3.1. Análisis cualitativo .....                                       | 32          |
| 3.2. Identificación de patrones .....                                 | 32          |
| 3.3. Categorización y codificación .....                              | 33          |
| 3.4. Uso de software de análisis cualitativo .....                    | 36          |



|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.5. Creación de redes semánticas.....                                                     | 36 |
| 3.5.1. Redes semánticas de los paneles .....                                               | 37 |
| 3.5.1.1. Panel de cronograma de eventos .....                                              | 37 |
| 3.5.1.2. Panel de recursos multimedia .....                                                | 38 |
| 3.5.1.3. Panel de inventario.....                                                          | 38 |
| 3.5.1.4. Panel de realización de procedimientos.....                                       | 39 |
| 3.5.1.5. Panel de lista de procedimientos .....                                            | 40 |
| 3.5.1.6. Panel de información técnica .....                                                | 41 |
| 3.5.2. Red de situaciones problemáticas .....                                              | 41 |
| 3.6. Co-ocurrencia de datos.....                                                           | 42 |
| 3.6.1. Diagramas Sankey .....                                                              | 42 |
| 3.6.1.1. Diagrama de densidad de las funcionalidades .....                                 | 43 |
| 3.6.1.2. Diagrama de densidad de los paneles .....                                         | 43 |
| 3.6.1.3. Diagrama de co-ocurrencia entre aspectos y funcionalidades de mantenimiento ..... | 44 |
| 3.6.1.4. Diagrama de co-ocurrencia entre paneles y funcionalidades .....                   | 45 |
| 3.7. Requerimientos de la aplicación.....                                                  | 46 |
| 3.7.1. Panel para la gestión de la información técnica de los equipos .....                | 46 |
| 3.7.2. Panel para la ejecución de procedimientos .....                                     | 47 |
| 3.7.3. Panel de escáner de códigos QR.....                                                 | 47 |
| 3.7.4. Panel de cronograma de eventos .....                                                | 48 |
| 3.8. Requerimientos no funcionales .....                                                   | 48 |
| 4. Desarrollo del aplicativo de realidad aumentada para mantenimiento.....                 | 50 |
| 4.1. Especificación del entorno tecnológico .....                                          | 50 |
| 4.1.1. Lenguaje de programación y framework.....                                           | 50 |
| 4.1.2. Motor y librerías de realidad aumentada.....                                        | 50 |
| 4.1.3. Interfaz de usuario .....                                                           | 50 |
| 4.2. Arquitectura del software .....                                                       | 50 |

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.3. Diseño de la lógica de negocio y subsistemas .....                          | 51 |
| 4.3.1. Descomposición modular del sistema.....                                   | 51 |
| 4.3.1.1. Paquete de núcleo .....                                                 | 51 |
| 4.3.1.2. Paquete de escáner .....                                                | 52 |
| 4.3.1.3. Paquete de máquinas.....                                                | 52 |
| 4.3.1.4. Paquete de herramientas .....                                           | 52 |
| 4.3.1.5. Paquete de cronograma .....                                             | 52 |
| 4.3.2. Flujo de navegación del aplicativo .....                                  | 52 |
| 4.3.2.1. Árboles de navegación anidados .....                                    | 53 |
| 4.4. Arquitectura del sistema de bases de datos .....                            | 54 |
| 4.4.1. Tablas de entidades simples .....                                         | 54 |
| 4.4.1.1. Entidades de información técnica. ....                                  | 54 |
| 4.4.1.2. Entidades de realidad aumentada.....                                    | 55 |
| 4.4.1.3. Entidades de procesos de mantenimiento. ....                            | 55 |
| 4.4.1.4. Entidades de catálogo. ....                                             | 55 |
| 4.4.1.5. Entidad de cronograma. ....                                             | 55 |
| 4.4.2. Tablas de entidades compuestas .....                                      | 55 |
| 4.4.2.1. Entidad de referencia para edición de modelos 3D en una operación. .... | 55 |
| 4.4.3. Modelo de relaciones .....                                                | 56 |
| 4.4.3.1. Relaciones de la entidad de máquinas.....                               | 56 |
| 4.4.3.2. Relaciones de la cadena jerárquica de mantenimiento. ....               | 56 |
| 4.4.3.3. Relación pivote entre operaciones y modelos 3D.....                     | 57 |
| 4.5. Herramientas de modelado paramétrico .....                                  | 57 |
| 4.6. Herramientas de exportación en glTF .....                                   | 57 |
| 4.7. Formatos de los archivos.....                                               | 58 |
| 4.8. Descomposición de marcadores .....                                          | 58 |
| 4.9. Escena de realidad aumentada .....                                          | 59 |

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| 4.9.1. Sistema de coordenadas de la escena .....                 | 60 |
| 4.10. Nodos de la escena .....                                   | 61 |
| 4.10.1. Sistema de colores .....                                 | 61 |
| 4.10.2. Sistema de coordenadas de los nodos .....                | 62 |
| 4.10.3. Clase base de los nodos .....                            | 64 |
| 4.10.4. Nodos de asistencia visual .....                         | 64 |
| 4.10.4.1. Nodos geométricos.....                                 | 65 |
| 4.10.4.2. Nodo de control de transformación visual. ....         | 66 |
| 4.10.4.3. Nodo de marcador.....                                  | 66 |
| 4.10.4.3.1. Nodo de plano.....                                   | 67 |
| 4.10.4.4. Nodo de caja.....                                      | 68 |
| 4.10.4.5. Nodo de eje.....                                       | 69 |
| 4.10.5. Nodos de escena tridimensionales.....                    | 70 |
| 4.10.5.1. Nodo de modelo.....                                    | 70 |
| 4.10.5.1.1. Nodo de renderizable. ....                           | 71 |
| 4.10.6. Nodos de jerarquía espacial .....                        | 71 |
| 4.10.6.1. Nodo de cámara de realidad aumentada.....              | 72 |
| 4.10.6.2. Nodo de origen. ....                                   | 73 |
| 4.10.6.3. Nodo de contenedor. ....                               | 73 |
| 4.10.6.4. Nodo de pivote. ....                                   | 74 |
| 4.10.7. Sesión de realidad aumentada .....                       | 75 |
| 4.10.7.1. Configuración inicial.....                             | 76 |
| 4.11. Diseño de las interfaces gráficas.....                     | 76 |
| 4.11.1. Diseño de los componentes comunes .....                  | 77 |
| 4.11.2. Diseño de las pantallas de la navegación principal ..... | 77 |
| 4.11.2.1. La pantalla de escáner .....                           | 77 |
| 4.11.2.2. La pantalla de máquinas .....                          | 78 |

|                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.11.2.3. La pantalla de herramientas .....                                         | 79  |
| 4.11.2.4. La pantalla de eventos .....                                              | 80  |
| 4.11.3. Diseño de las pantallas de información técnica.....                         | 81  |
| 4.11.3.1. La pantalla de especificaciones.....                                      | 81  |
| 4.11.3.2. La pantalla de documentación.....                                         | 82  |
| 4.11.3.3. La pantalla de actividades de mantenimiento .....                         | 83  |
| 4.11.4. Diseño de las pantallas de configuración previa de realidad aumentada ..... | 84  |
| 4.11.4.1. Pantalla de marcadores .....                                              | 85  |
| 4.11.4.2. Pantalla de calibración de modelos 3D .....                               | 86  |
| 4.11.4.3. Pantalla de editor de actividades de mantenimiento.....                   | 88  |
| 4.11.5. Diseño de la pantalla final de sesión de realidad aumentada.....            | 94  |
| 4.12. Secuencias de los procedimientos de configuración .....                       | 96  |
| 4.12.1. Secuencia para la calibración de modelos 3D .....                           | 96  |
| 4.12.2. Secuencia para la edición de una actividad de mantenimiento .....           | 97  |
| 5. Pruebas de la aplicación.....                                                    | 99  |
| 5.1. Equipo de pruebas.....                                                         | 99  |
| 5.1.1. Modelo 3D .....                                                              | 100 |
| 5.2. Pruebas de rendimiento .....                                                   | 101 |
| 5.2.1. Dispositivos de prueba.....                                                  | 101 |
| 5.2.2. Pruebas de tiempo de inicio (Startup).....                                   | 102 |
| 5.2.2.1. Cold Start (Arranque en frío).....                                         | 103 |
| 5.2.2.2. Warm Start (Arranque semicaliente).....                                    | 103 |
| 5.2.2.3. Hot Start (Arranque en caliente) .....                                     | 104 |
| 5.2.3. Pruebas de navegación entre pantallas .....                                  | 105 |
| 5.2.3.1. Navegación hacia la sesión de realidad aumentada.....                      | 106 |
| 5.2.3.2. Navegación hacia la pantalla de calibración .....                          | 106 |
| 5.2.3.3. Navegación hacia el editor de actividades .....                            | 107 |

|                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.3. Pruebas de funcionamiento de las pantallas .....                                      | 108 |
| 5.3.1. Funcionamiento de las pantallas de información técnica .....                        | 108 |
| 5.3.1.1. Pantalla de especificaciones .....                                                | 108 |
| 5.3.1.2. Pantalla de documentación .....                                                   | 109 |
| 5.3.1.3. Pantalla de actividades de mantenimiento .....                                    | 110 |
| 5.3.2. Funcionamiento de las pantallas de configuración previa de realidad aumentada ..... | 111 |
| 5.3.2.1. Pantalla de marcadores .....                                                      | 111 |
| 5.3.2.2. Pantalla de calibración de modelos 3D .....                                       | 111 |
| 5.3.2.3. Pantalla de editor de actividades de mantenimiento.....                           | 113 |
| 5.3.3. Funcionamiento de la pantalla final de sesión de realidad aumentada.....            | 116 |
| 6. Conclusiones.....                                                                       | 118 |
| 7. Recomendaciones .....                                                                   | 120 |
| Referencias bibliográficas .....                                                           | 122 |
| Apéndices .....                                                                            | 126 |

**Lista de tablas**

|                                                                                         | <b>Pág.</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Tabla 1. Datos de mantenimiento .....                                                   | 23          |
| Tabla 2. Alternativas de software de diseño paramétrico .....                           | 29          |
| Tabla 3. Tipos de realidad aumentada .....                                              | 30          |
| Tabla 4. Operaciones disponibles para la creación de animaciones de mantenimiento ..... | 94          |
| Tabla 5. Características del equipo de prueba .....                                     | 99          |
| Tabla 6. Especificaciones técnicas de los dispositivos de prueba .....                  | 101         |

# **Lista de figuras**

|                                                                                                | <b>Pág.</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Figura 1. Estructura conceptual del proyecto .....                                             | 20          |
| Figura 2. Categorías del mantenimiento .....                                                   | 21          |
| Figura 3. Categorización de los códigos para análisis cualitativo .....                        | 35          |
| Figura 4. Relaciones por defecto de ATLAS.ti .....                                             | 36          |
| Figura 5. Conectores de relación propuestos .....                                              | 37          |
| Figura 6. Relaciones semánticas del panel de cronograma .....                                  | 38          |
| Figura 7. Relaciones semánticas del panel de recursos multimedia .....                         | 38          |
| Figura 8. Relaciones semánticas del panel de inventario.....                                   | 39          |
| Figura 9. Relaciones semánticas del panel de realización de procedimientos .....               | 40          |
| Figura 10. Relaciones semánticas del panel de lista de procedimientos .....                    | 40          |
| Figura 11. Relaciones semánticas del panel de información técnica.....                         | 41          |
| Figura 12. Relaciones semánticas de las situaciones problemáticas .....                        | 42          |
| Figura 13. Densidad de las funcionalidades del aplicativo resaltadas por los encuestados ..... | 43          |
| Figura 14. Densidad de los paneles del aplicativo de mantenimiento .....                       | 44          |
| Figura 15. Co-ocurrencia entre funcionalidades y aspectos de mantenimiento .....               | 45          |
| Figura 16. Co-ocurrencia entre los paneles propuestos y funcionalidades de mantenimiento...    | 46          |
| Figura 17. Subsistemas del aplicativo .....                                                    | 51          |
| Figura 18. Secciones de navegación .....                                                       | 53          |
| Figura 19. Árbol de navegación anidado de máquinas .....                                       | 54          |
| Figura 20. Relaciones generales de una máquina .....                                           | 56          |
| Figura 21. Relaciones para un proceso de mantenimiento .....                                   | 57          |
| Figura 22. Relaciones de entidades de edición de procesos de mantenimiento .....               | 57          |
| Figura 23. Marcadores de la máquina .....                                                      | 59          |
| Figura 24. Sistema de coordenadas de dispositivos.....                                         | 60          |

|                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 25. Sistema de coordenadas de la escena virtual de realidad aumentada contra el dispositivo físico ..... | 61 |
| Figura 26. Sistema de colores de los modelos .....                                                              | 62 |
| Figura 27. Sistema de coordenadas global contra el local de un modelo .....                                     | 63 |
| Figura 28. Herencia de la clase base .....                                                                      | 64 |
| Figura 29. Nodos de asistencia visual y sus composiciones .....                                                 | 65 |
| Figura 30. Nodos geométricos .....                                                                              | 65 |
| Figura 31. Nodo de control de transformación visual .....                                                       | 66 |
| Figura 32. Clases heredadas del nodo marcador .....                                                             | 66 |
| Figura 33. Nodo de marcador .....                                                                               | 67 |
| Figura 34. Estados del nodo de marcador mediante planos .....                                                   | 68 |
| Figura 35. Nodo de caja de selección.....                                                                       | 69 |
| Figura 36. Nodos de eje .....                                                                                   | 70 |
| Figura 37. Nodo de modelo .....                                                                                 | 71 |
| Figura 38. Jerarquía completa de nodos .....                                                                    | 72 |
| Figura 39. Nodo de cámara de realidad aumentada.....                                                            | 73 |
| Figura 40. Nodos contenedores de modelos .....                                                                  | 74 |
| Figura 41. Nodos pivotes de renderizables de un modelo .....                                                    | 75 |
| Figura 42. Pantalla de escáner de marcadores .....                                                              | 78 |
| Figura 43. Pantalla de listado de máquinas.....                                                                 | 79 |
| Figura 44. Pantalla de listado de herramientas .....                                                            | 80 |
| Figura 45. Pantalla de cronograma de eventos .....                                                              | 81 |
| Figura 46. Pantalla de especificaciones .....                                                                   | 82 |
| Figura 47. Pantalla de documentos .....                                                                         | 83 |
| Figura 48. Pantalla de actividades de mantenimiento .....                                                       | 84 |
| Figura 49. Pantalla de marcadores.....                                                                          | 85 |
| Figura 50. Pantalla de calibración de modelos 3D.....                                                           | 86 |



|                                                                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 51. Controles para calibración de modelos 3D.....                                                                     | 88  |
| Figura 52. Pantalla de editor de actividades de mantenimiento .....                                                          | 89  |
| Figura 53. Panel de listado de submodelos 3D.....                                                                            | 90  |
| Figura 54. Panel de listado de pasos y operaciones.....                                                                      | 91  |
| Figura 55. Diálogo de creación y edición de pasos .....                                                                      | 92  |
| Figura 56. Controles para la configuración de animaciones en una operación .....                                             | 93  |
| Figura 57. Pantalla de sesión de realidad aumentada .....                                                                    | 95  |
| Figura 58. Secuencia para la calibración de un modelo 3D .....                                                               | 97  |
| Figura 59. Secuencia para la edición de pasos y operaciones de una actividad .....                                           | 98  |
| Figura 60. Software de modelado paramétrico 3D .....                                                                         | 101 |
| Figura 61. Comparación de tiempo de inicio en frío (Cold Startup) por dispositivo.....                                       | 103 |
| Figura 62. Comparación de tiempo de inicio en templado (Warm Startup) por dispositivo .....                                  | 104 |
| Figura 63. Comparación de tiempo de inicio en caliente (Hot Startup) por dispositivo .....                                   | 105 |
| Figura 64. Duración del fotograma en la transición y apertura de la sesión de RA por percentil<br>y dispositivo .....        | 106 |
| Figura 65. Duración del fotograma en la transición y apertura de la calibración de RA por<br>percentil y dispositivo .....   | 107 |
| Figura 66. Duración del fotograma en la transición y apertura del editor de actividades por<br>percentil y dispositivo ..... | 108 |
| Figura 67. Funcionamiento de la pantalla de especificaciones de una máquina.....                                             | 109 |
| Figura 68. Funcionamiento de la pantalla de documentación .....                                                              | 110 |
| Figura 69. Funcionamiento de la pantalla de actividades de mantenimiento .....                                               | 110 |
| Figura 70. Funcionamiento de la pantalla de marcadores .....                                                                 | 111 |
| Figura 71. Funcionamiento de la detección de marcadores en pantallas de realidad aumentada                                   | 112 |
| Figura 72. Funcionamiento de la pantalla de calibración.....                                                                 | 113 |
| Figura 73. Funcionamiento del panel de creación de pasos .....                                                               | 114 |
| Figura 74. Funcionamiento del panel de editor de operaciones .....                                                           | 115 |

|                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 75. Funcionamiento de la pantalla de sesión de realidad aumentada ..... | 117 |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----|

**Lista de apéndices**

|                                                                                               | <b>Pág.</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Apéndice A. Preguntas para análisis cualitativo .....                                         | 126         |
| Apéndice B. Código del árbol de navegación principal .....                                    | 128         |
| Apéndice C. Entidades de identificación y especificaciones técnicas de la máquina .....       | 129         |
| Apéndice D. Entidades de identificación y especificaciones técnicas del motor eléctrico ..... | 130         |
| Apéndice E. Entidad de documentos técnicos vinculados a una máquina .....                     | 131         |
| Apéndice F. Entidades de marcadores y modelos 3D para realidad aumentada .....                | 132         |
| Apéndice G. Entidades de actividades, pasos y operaciones de mantenimiento .....              | 133         |
| Apéndice H. Entidad de catálogo de herramientas de mantenimiento .....                        | 134         |
| Apéndice I. Entidad de eventos y cronograma de mantenimiento .....                            | 135         |
| Apéndice J. Entidad pivote para la referencia de partes de modelos 3D en operaciones .....    | 136         |
| Apéndice K. Configuración de la sesión de realidad aumentada .....                            | 137         |
| Apéndice L. Código fuente de la aplicación .....                                              | 138         |
| Apéndice M. Componentes comunes de la aplicación.....                                         | 139         |
| Apéndice N. Tarjetas temáticas de la máquina .....                                            | 140         |
| Apéndice Ñ. Tarjetas temáticas del motor.....                                                 | 141         |
| Apéndice O. Prueba de tiempo de inicio del dispositivo OPPO Reno14 F .....                    | 142         |
| Apéndice P. Prueba de tiempo de inicio del dispositivo Motorola Moto g15 .....                | 143         |
| Apéndice Q. Prueba de tiempo de inicio del dispositivo Redmi Note 10 Pro .....                | 144         |
| Apéndice R. Prueba de rendimiento de navegación del dispositivo Motorola Moto g15 .....       | 145         |
| Apéndice S. Prueba de rendimiento de navegación del dispositivo Oppo Reno 14F.....            | 146         |
| Apéndice T. Prueba de rendimiento de navegación del dispositivo Redmi Note 10 pro .....       | 147         |

## Resumen

**Título:** Diseño de un Aplicativo Instruccional de Realidad Aumentada Para la Asistencia en la Capacitación y Desarrollo de Actividades de Mantenimiento Preventivo\*

**Autores:** Jesús David Galvis Carvajal y Juan Sebastian Carrillo Rangel\*\*

**Palabras clave:** Realidad Aumentada, Mantenimiento Preventivo, Gestión de Información, Marcadores QR, ARSceneView, Guías Visuales, Animaciones 3D

**Descripción:** En el presente proyecto se diseñó un aplicativo móvil de realidad aumentada orientado a la capacitación y al soporte en la ejecución de procedimientos de mantenimiento preventivo. El desarrollo inició con la identificación de requerimientos mediante una revisión bibliográfica y un análisis cualitativo de entrevistas realizadas a profesionales con experiencia en mantenimiento, cuyos resultados permitieron establecer las funcionalidades y características principales del sistema. Posteriormente, se desarrolló una aplicación para dispositivos Android empleando Kotlin, Jetpack Compose y la librería SceneView, incorporando módulos para la gestión de información técnica, consulta de documentación, programación de actividades, lectura de marcadores QR y visualización de modelos tridimensionales con guías secuenciales en realidad aumentada. La arquitectura del software fue estructurada con un modelo de gestión de estados basado en MVI, favoreciendo la organización y escalabilidad del sistema. Finalmente, se realizaron pruebas de funcionamiento y rendimiento utilizando un compresor de aire como caso de aplicación, evaluando aspectos relacionados con el inicio del aplicativo, la navegación entre pantallas y la correcta ejecución de las funcionalidades de realidad aumentada. Los resultados obtenidos evidencian el potencial de la realidad aumentada como herramienta de apoyo para la capacitación y la ejecución de actividades de mantenimiento preventivo.

---

\*Trabajo de Grado

\*\*Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Ingeniería Mecánica.

Director: German Orlando Romero Suárez, Magíster en Innovación y Diseño.

Codirector: Diego Fernando Villegas Bermúdez, Doctor en Ingeniería Mecánica.

### Abstract

**Title:** Design of an Augmented Reality Instructional Application for Assisting Training and the Execution of Preventive Maintenance Activities\*

**Authors:** Jesús David Galvis Carvajal and Juan Sebastian Carrillo Rangel\*\*

**Keywords:** Augmented Reality, Preventive Maintenance, Information Management, QR Markers, ARSceneView, Visual Guides, 3D Animations

**Description:** This project involved the design of an augmented reality mobile application aimed at supporting training and the execution of preventive maintenance procedures. The development process began with the identification of system requirements through a literature review and a qualitative analysis of interviews conducted with professionals experienced in industrial maintenance. The findings served as the basis for defining the application's main functionalities and features. Subsequently, an Android application was developed using Kotlin, Jetpack Compose, and the SceneView library, incorporating modules for technical information management, documentation access, activity scheduling, QR marker recognition, and the visualization of three-dimensional models with sequential augmented reality guidance. The software architecture was structured following a Model–View–Intent (MVI) state management pattern, promoting organization and scalability. Finally, functionality and performance tests were conducted using an air compressor as the application case study, evaluating application startup, screen navigation, and the correct execution of the augmented reality features. The results demonstrate the potential of augmented reality as a tool for supporting both training and the execution of preventive maintenance activities.

---

\*Degree Work

\*\*Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Mechanical Engineering.  
Director: German Orlando Romero Suárez, Master in Innovation and Design.  
Co-Director: Diego Fernando Villegas Bermúdez, Doctor in Mechanical Engineering.

## Introducción

En la actualidad las industrias se han encaminado hacia un entorno más automatizado e interconectado, donde enfrentan “el desafío constante de mejorar la eficiencia y la confiabilidad de sus operaciones” (Álvarez Brito et al., 2024, p. 64). Uno de los departamentos más relevantes en las industrias es el de mantenimiento, donde este ha decidido evolucionar desde los métodos tradicionales y menos proactivos a unos más enfocados en la planificación y prevención asistidos por las nuevas tecnologías. Sin embargo, esto “generalmente se logra mediante una combinación personalizada de software, prácticas y personal que se enfoca en lograr dichos objetivos” (Fundación Chile, 2021, p. 12). Con este enfoque, surge la realidad aumentada “como una tecnología disruptiva con el potencial de transformar la supervisión y el mantenimiento de equipos y procesos industriales” (Álvarez Brito et al., 2024, p. 64), cuya funcionalidad básica consiste en crear enlaces, directos o provocados por la interacción del usuario con el dispositivo, entre el mundo real y la información generada por un dispositivo o información electrónica (Arenas et al., 2022).

La adopción tecnológica ha traído consigo un nuevo concepto conocido como “Realidad Aumentada Industrial” (IAR), la cual se refiere a la implementación de sistemas de RA en entornos de fabricación para ayudar a respaldar los procesos industriales (Bondin & Zammit, 2022). La aplicación de la realidad aumentada en el ámbito del mantenimiento industrial trae consigo beneficios tales como “...la reducción de tiempos de formación, la facilitación de tareas de mantenimiento, el acceso inmediato a información crítica y la disminución de riesgos laborales” (Álvarez Brito et al., 2024, p. 76). Por ello, es esencial que el desarrollo de una herramienta con esta tecnología cumpla con un enfoque de practicidad para complementar el entorno laboral de los usuarios facilitando sus procesos de formación mediante un aprendizaje interactivo.

## **1. Objetivos**

### **1.1. Objetivo general**

Diseñar un aplicativo móvil de guías visuales instruccionales, con el uso de la realidad aumentada, como asistente en la capacitación de técnicos y el desarrollo en tareas de mantenimiento preventivo.

### **1.2. Objetivos específicos**

Definir los requerimientos y restricciones asociados al desarrollo de un aplicativo de realidad aumentada enfocado en el mantenimiento preventivo, basándose en los conocimientos descritos por manuales y normas, para establecer las características funcionales y no funcionales de la aplicación.

Desarrollar el software de realidad aumentada del aplicativo, con base en sus características de funcionamiento y el uso de marcadores de posicionamiento de objetos, que faciliten la superposición de elementos digitales en tiempo real mediante el uso de la cámara del dispositivo.

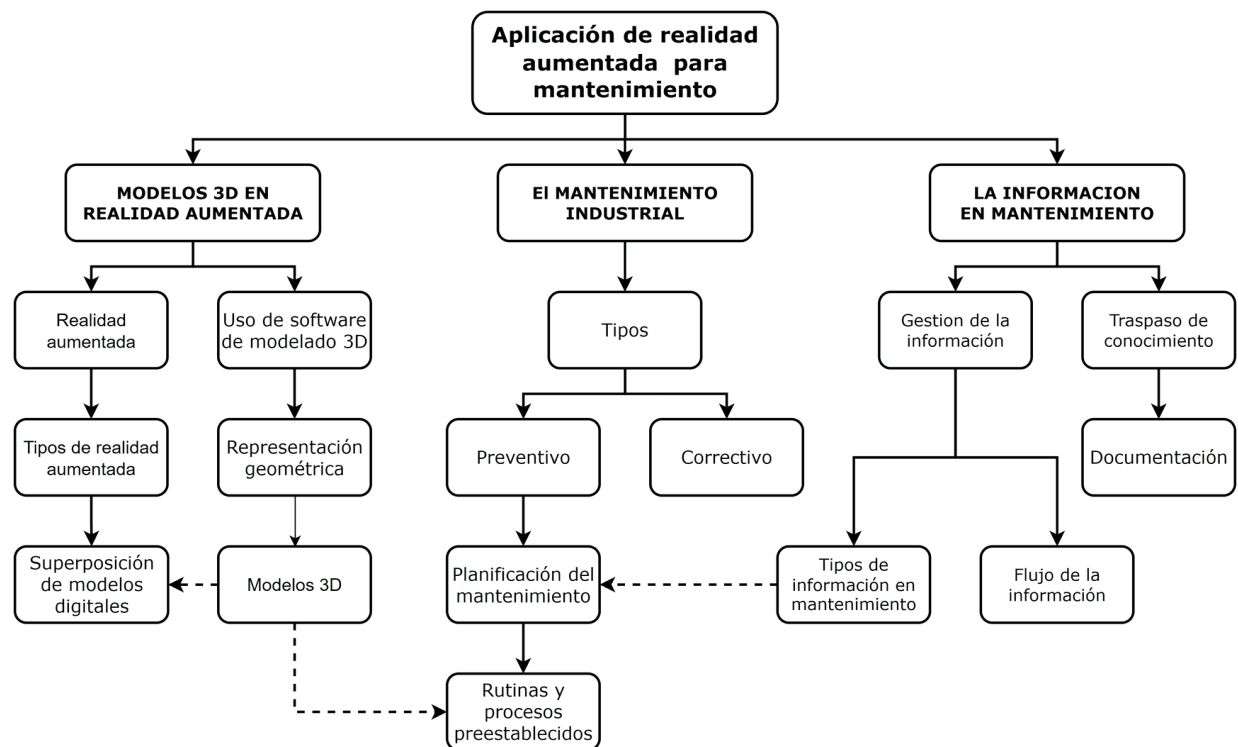
Evaluar el uso del aplicativo en un compresor de aire de 3HP ubicado en el laboratorio de potencia fluida de la escuela de ingeniería mecánica de la Universidad Industrial de Santander, verificando mediante la visualización interactiva de guías y documentación, su desempeño como herramienta de apoyo en el aprendizaje de actividades de mantenimiento preventivo.

## 2. Marco teórico

El presente proyecto tiene como objetivo principal un desarrollo tecnológico aplicado al campo del mantenimiento industrial. Lo anterior implica la combinación de varios conceptos que sirven como guía, tanto para el proceso de diseño como para la comprensión del alcance del mismo. A continuación, se presenta un esquema de la estructura conceptual sobre la cual se elaboró el marco teórico y, en consecuencia, se llevó a cabo el ya mencionado desarrollo tecnológico:

**Figura 1**

*Estructura conceptual del proyecto*



### 2.1. Mantenimiento industrial

El mantenimiento industrial constituye una función fundamental dentro de la gestión de los sistemas productivos de las empresas, ya que permite asegurar aspectos como la disponibilidad, confiabilidad y seguridad de los equipos e instalaciones a lo largo del tiempo. La normativa de la Unión Europea define al mantenimiento como la “combinación de todas las acciones técnicas,

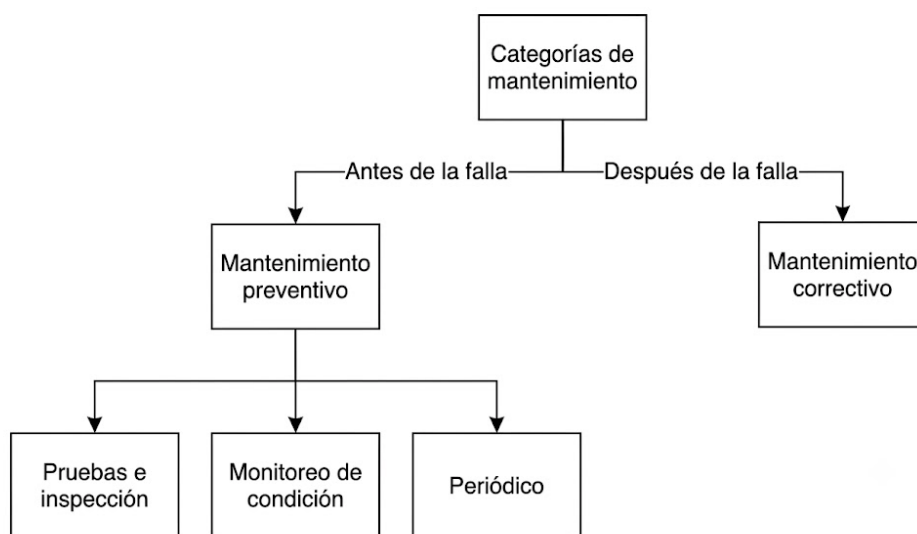


administrativas y de gestión realizadas durante el ciclo de vida de un elemento, destinadas a conservar o a devolverlo a un estado en el que pueda desempeñar la función requerida” (Asociación Española de Normalización, 2018, p. 6).

El mantenimiento se puede clasificar según si se actúa previa o posteriormente al evento de una falla de un equipo. En la Figura 2 se muestra el esquema de dicha clasificación, con los nombres con los que se conocen a estas formas de abordar las acciones de mantención:

**Figura 2**

*Categorías del mantenimiento*



*Nota. Adaptado de Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment (p. 28), por International Organization for Standardization, 2006. Traducción de los autores.*

### **2.1.1. Mantenimiento correctivo**

El mantenimiento correctivo, también denominado como mantenimiento básico, es la metodología de llevar a cabo actividades en el momento en el que las propiedades o activos de la empresa dejan de realizar el servicio para el que fueron diseñados, es decir cuando se da la detección del evento de falla (Medrano Márquez et al., 2017).

Trabajar con el enfoque reactivo que implica esta metodología trae consigo la aparición de pérdidas debido a las paradas de producción, dado que la mano de obra se encontrará inactiva a la

vez que se generan retrasos en el cumplimiento de los programas. (Gallará & Pontelli, 2020).

### **2.1.2. Mantenimiento preventivo**

El mantenimiento preventivo se define con base en el periodo de tiempo previo a que ocurra la falla de un equipo, disminuyendo acciones correctivas que comprometen la disponibilidad de estos. Básicamente, el mantenimiento preventivo “consiste en programar inspecciones y revisiones a los equipos o máquinas, apoyándose en el conocimiento de estas con base en la experiencia de los ingenieros o técnicos, así también como el historial de la máquina” (Toledo Martínez, 2018, p. 12).

**2.1.2.1. Enfoques del mantenimiento preventivo** La International Business Machines (s.f.) en su página web desglosa el mantenimiento preventivo en los siguientes cuatro tipos o enfoques para el planteamiento de rutinas o intervenciones:

- Mantenimiento preventivo según su uso.
- Mantenimiento preventivo según plazo o calendario.
- Mantenimiento predictivo.
- Mantenimiento prescriptivo.

## **2.2. La información en entornos de mantenimiento**

La información se puede definir como el conjunto de datos que permiten conocer mejor el entorno de una empresa y con estos se disminuye la incertidumbre a la vez que se favorece la toma de decisiones acertadas, (Lapiedra et al., 2021). De acuerdo con Asociación Española de Normalización y Certificación (2016), el registro de datos generado tras la ejecución de actividades de mantenimiento constituye una herramienta de valor para el ingeniero de mantenimiento y el responsable de confiabilidad, particularmente en la estimación de la disponibilidad de los equipos. Entre los datos más relevantes que conviene registrar por cada máquina, se encuentran los listados en la Tabla 1.

**Tabla 1**
*Datos de mantenimiento*

| <b>Categoría de los datos</b> | <b>Datos a ser registrados</b>        | <b>Descripción</b>                                                                       |
|-------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Identificación                | Registro de mantenimiento             | Identificación única del mantenimiento                                                   |
|                               | Ubicación e identificación del equipo | p. ej. Etiqueta de identificación física                                                 |
|                               | Registro de fallas                    | El correspondiente registro de identificación de falla                                   |
| Datos de mantenimiento        | Fecha del mantenimiento               | Fecha cuando la actividad de mantenimiento fue realizada o planificada (Fecha de inicio) |
|                               | Ubicación e identificación del equipo | p. ej. Etiqueta de identificación física                                                 |
|                               | Categoría del mantenimiento           | Categoría principal (correctivo, preventivo)                                             |
|                               | Prioridad del mantenimiento           | Prioridad alta, media o baja                                                             |
|                               | Intervalo (mantenimiento planificado) | Calendario o intervalo operativo                                                         |
|                               | Actividad de mantenimiento            | Descripción de la actividad de mantenimiento                                             |

*Continúa en la siguiente página*

(Continuación de la tabla 1)

| <b>Categoría de los datos</b> | <b>Datos a ser registrados</b>                     | <b>Descripción</b>                                                                         |
|-------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
|                               | Impacto del mantenimiento en operaciones en planta | Cero, parcial o total                                                                      |
|                               | Sub-unidad mantenida                               | Nombre de la sub-unidad mantenida (puede omitirse para el mantenimiento preventivo)        |
|                               | Componentes o elementos mantenidos                 | Especificar el componente o elemento que fue mantenido                                     |
|                               | Localización de piezas de recambio                 | Disponibilidad de piezas de recambios (p. ej. local/distante, fabricante)                  |
| Recursos de mantenimiento     | Horas-hombre de mantenimiento por disciplina       | Horas-hombre de mantenimiento por disciplina (mecánica, eléctrica, instrumentación, otros) |
|                               | Horas-hombre de mantenimiento totales              | Horas-hombre de mantenimiento totales                                                      |
|                               | Recursos para equipos de mantenimiento             | p. ej. recipiente para la intervención, grúa                                               |
| Tiempos de mantenimiento      | Tiempo de mantenimiento activo                     | Tiempo de duración para que el mantenimiento activo sea realizado en el equipo             |

Continúa en la siguiente página

(Continuación de la tabla 1)

| Categoría de los datos | Datos a ser registrados               | Descripción                                                                                                                      |
|------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                        | Tiempo muerto                         | Tiempo de duración durante el cual un elemento está en inactividad                                                               |
|                        | Problemas o retrasos de mantenimiento | Causas de tiempos de inactividad prolongados, p. ej. logísticas, climáticas, andamiaje, falta de repuestos, retraso del personal |
| Observaciones          | Información adicional                 | Proporcionar más detalles, si están disponibles, en la actividad de mantenimiento y recursos usados                              |

*Nota.* Adaptado de *Industrias del petróleo, petroquímicas y del gas natural. Recogida e intercambio de datos de mantenimiento y fiabilidad de los equipos* (p. 44), por Asociación Española de Normalización y Certificación, 2016, AENOR. Traducción de los autores.

### 2.2.1. Gestión de la información

Font Graupera et al. (2014) describen que la gestión de Información abarca un conjunto de acciones dirigidas a recolectar información que cubra criterios de calidad, pertinencia, oportunidad y costo apropiados de acuerdo a las demandas del usuario; siendo fundamental el uso de las tecnologías de la información y las comunicaciones. Se tiene como objetivo ordenar y emplear la información, que provenga de fuentes tanto internas como externas, con el fin de simplificar su operación, aprendizaje y adaptación a los cambios del entorno.

### 2.2.2. Flujo de la información

Uno de los aspectos que incide directamente en la gestión de la información en entornos de mantenimiento es la estructura organizacional bajo la cual se concibe la empresa. La información manejada de forma centralizada tiene ventajas en su capacitación, manipulación y uso, además de disminuir las inconsistencias. Por su parte, “la descentralización permite adaptar las necesidades del usuario, por lo tanto, motiva al usuario, facilita el reparto de las tareas y multiplica la eficacia de las funciones directivas” (Arribas Urrutia, 2000, p. 3). Ben-Daya et al. (2009, p. 7) señalan que

en empresas de gran magnitud lo ideal es la estructura descentralizada, siendo la centralización lo recomendado para el caso de empresas de menor tamaño.

### ***2.2.3. Tipos de información en mantenimiento***

Complementario a los datos presentados en la Tabla 1, se presentan otras fuentes que respaldan y adicionan algunos puntos a considerar respecto al sistema de información de mantenimiento. Según la Comisión Venezolana de Normas Industriales (1993) se describe a un sistema de información como “un conjunto de procedimientos interrelacionados, formales o informales, que permite la captura, procesamiento y flujo de información requerida en cada uno de los niveles de la organización” (p. 10), presentando procedimientos que contiene un sistema genérico de información de mantenimiento, los cuales contienen: codificación de los objetos de mantenimiento, registro de objetos de mantenimiento, instrucciones técnicas del mantenimiento, procedimiento de ejecución y programación del mantenimiento.

### ***2.2.4. Gestión del conocimiento***

En el contexto organizacional, el conocimiento representa uno de los activos más valiosos con los que cuenta una empresa, pues a diferencia de otros recursos, no se agota con su uso sino que se enriquece con la práctica y la experiencia acumulada. Su naturaleza es compleja y multidimensional, y como señalan Davenport y Prusak (1998), puede entenderse como una mezcla de experiencia enmarcada, valores, información contextual y visión experta que proporciona un marco para evaluar e incorporar nuevas experiencias e información; y que en las organizaciones no reside únicamente en documentos o repositorios, sino también en rutinas, procesos, prácticas y normas organizativas.

El reconocer al conocimiento como un elemento vivo, distribuido y propio del recurso humano dentro de las organizaciones, es precisamente lo que genera la necesidad de gestionarlo de manera estratégica, dando lugar así al concepto de gestión del conocimiento. La gestión del conocimiento se define como “un enfoque y un conjunto de prácticas empresariales diseñadas para identificar, capturar, organizar, almacenar, compartir y aplicar el conocimiento dentro de una organización.” (Ramos Castillo et al., 2024, p. 3). Su alcance, sin embargo, va más allá de la simple

administración de información, ya que implica la articulación de procesos, personas y tecnologías para favorecer la creación y el aprovechamiento del conocimiento. En este sentido, la gestión del conocimiento puede entenderse como un proceso que integra el tratamiento de datos e información mediante las tecnologías de la información con las capacidades humanas de creatividad, innovación, trabajo colaborativo y construcción de una visión compartida (Malhotra, 2005).

### ***2.2.5. Sistema de gestión de conocimiento***

Según el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (2019) se dan pautas para desarrollar un sistema eficaz de gestión del conocimiento con el cual las empresas perciban una nueva fuente de generación de valor. Dentro de los puntos de la generación del conocimiento aparece la retención del conocimiento, definida como la capacidad de salvaguardar a la organización contra la pérdida de conocimiento. Asimismo se hacen anotaciones respecto a la protección del conocimiento en relación a las posibles rotaciones o variaciones del personal, además de tener la información documentada y respaldada.

También se hace énfasis en la necesidad de incluir actividades y comportamientos para la transferencia de conocimientos listando cuatro ítems, siendo uno de ellos denominado la combinación donde se busca “sintetizar, conservar, formalizar, estructurar o clasificar el conocimiento codificado, haciendo que este sea accesible y fácil de encontrar” (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2019, p. 7). Con lo anterior, se identifican puntos de convergencia entre la gestión del conocimiento en mantenimiento y el planteamiento de soluciones tecnológicas como la realidad aumentada, reconociendo el papel de las tecnologías como apoyo a dicha gestión.

## **2.3. Modelos 3D y su integración con la realidad aumentada**

El modelado 3D constituye una base fundamental para el desarrollo de experiencias de realidad aumentada. Se trata de una representación tridimensional de un objeto mediante software especializado cuyo proceso inicia desde la adquisición de datos y culmina con un modelo virtual visualmente interactivo a través de una computadora (Ghuge, 2023).

La importancia de los modelos 3D radica en su capacidad para enriquecer la interacción y la inmersión dentro de entornos virtuales y aumentados. En este sentido, Ghuge (2023) señala

que los objetos 3D son cruciales para la creación de experiencias inmersivas en aplicaciones como el turismo virtual, las simulaciones de entrenamiento y la narración interactiva. Dado que estos modelos suelen emplearse como elementos digitales superpuestos al entorno real, resulta necesario comprender el concepto de realidad aumentada. Bajo esta perspectiva, Arenas et al. (2022) describe la realidad aumentada como una tecnología capaz de complementar el entorno físico del usuario mediante la incorporación, en tiempo real, de información digital superpuesta.

### ***2.3.1. Representación geométrica***

La geometría de un objeto puede describirse mediante dos grandes tipos de representación: implícita y explícita. Dentro de las representaciones explícitas se distinguen, a su vez, las paramétricas y las no paramétricas. Las primeras abarcan tanto formas primitivas como líneas, círculos, planos, esferas, cilindros o figuras cuadráticas como formas más complejas, entre las que se encuentran las curvas de Bezier, B-splines y NURBS (Pătrăucean et al., 2015). Las representaciones no paramétricas, por su parte, se emplean en casos donde las formas paramétricas resultan insuficientes, siendo ejemplos característicos las nubes de puntos y las mallas poligonales (Fougerolle et al., 2005; Pătrăucean et al., 2015).

### ***2.3.2. Herramientas para modelado 3D***

Los modelos paramétricos se crean a partir de un software especializado, que brinda herramientas de diseño paramétricas y técnicas de modelado procedural que permiten a los diseñadores la definición de parámetros, reglas y algoritmos (Ghuge, 2023). Algunas de las alternativas más populares en el mercado de diseño paramétrico se presentan en la Tabla 2, donde se destacan tanto soluciones comerciales con distintos modelos de suscripción como alternativas gratuitas y de código abierto.



**Tabla 2***Alternativas de software de diseño paramétrico*

| <b>Software</b> | <b>Organización</b>               | <b>Modelo de negocio</b>                                               |
|-----------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| AutoCAD         | Autodesk                          | Suscripción mensual (\$260/mes) o anual (\$2 095/año)                  |
| Solid Edge      | Siemens                           | Suscripción mensual (\$75/mes)                                         |
| SOLIDWORKS      | Dassault Systèmes                 | Suscripción anual (\$2 620–\$4 716/año) o licencia perpetua            |
| Fusion 360      | Autodesk                          | Suscripción mensual (\$85/mes) o anual (\$680/año)                     |
| Onshape         | PTC                               | Suscripción anual (\$1 500/año); plan gratuito con documentos públicos |
| Inventor        | Autodesk                          | Suscripción mensual o anual (incluida en Autodesk AEC Collection)      |
| FreeCAD         | FreeCAD Project Association (FPA) | Gratuito y de código abierto (LGPL)                                    |

*Nota.* Precios de licencia correspondientes al año 2025 según las páginas oficiales de cada fabricante.

### **2.3.3. Formatos de modelos 3D para su uso en realidad aumentada**

Para un uso eficiente de los recursos que ofrece un dispositivo móvil tales como: Smartphones, Tablets, o visores de realidad mixta; es necesario el uso de un formato basado en mallas (Mesh), la cual tal como dice Ghuge (2023), es una colección de vértices, ejes y caras, que definen la forma del objeto 3D, donde se incluyen diferentes tipos de mallas tales como: mallas poligonales, NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines) y superficies de subdivisión.

En el contexto de una aplicación de realidad aumentada, la carga dinámica de modelos resulta indispensable para permitir al usuario interactuar con los objetos del entorno, ya sea cargándolos,

seleccionándolos o eliminándolos en tiempo real. Para ello, formatos como .glTF (Graphics Library Transmission Format) y su variante binaria .glb ofrecen una solución eficiente, al estructurar los modelos en una jerarquía de nodos, clasificados en nodos padre e hijos, que pueden representar objetos como mallas, máscaras y cámaras. A su vez, estas mallas pueden referenciar materiales asociados a texturas e imágenes. Para la exportación de modelos en estos formatos, incluyendo animaciones por fotogramas clave que permiten la locomoción procedural de partes, se destacan las siguientes alternativas:

- El uso de las características de realidad extendida de SolidWorks, que se incluyen a partir de la versión estándar 2019, donde se pueden transformar las animaciones de estudios de movimiento en secuencias de fotogramas clave glTF.
- El uso del software de modelado Blender, el cual trabaja directamente con secuencias de fotogramas y tiene como posibilidad la exportación de estas en formato glTF, como alternativa gratuita y de código abierto.

#### 2.3.4. Tipos de realidad aumentada

La realidad aumentada es agrupada en dos categorías basadas por su funcionalidad al momento de su activación, una categoría define la inicialización por medio de activadores y la otra es basada en la visualización o contexto del entorno (Edwards-Stewart et al., 2016). Estas categorías poseen diferentes tipos o métodos de activación sintetizados en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Tipos de realidad aumentada*

| Categoría       | Tipo                            | Características                                   |
|-----------------|---------------------------------|---------------------------------------------------|
| Por activadores | 1a. Basado en marcadores: Sobre | El marcador en papel activa la realidad aumentada |
|                 | papel                           |                                                   |

*Continúa en la siguiente página*

*(Continuación de la tabla 3)*

| <b>Categoría</b>   | <b>Tipo</b>                            | <b>Características</b>                                                                                                                |
|--------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                    | 1b. Basado en marcadores:<br>Objetos   | Varios objetos pueden convertirse en marcadores                                                                                       |
|                    | 2. Basada en la localización           | Superposición de información digital en un mapa o vista de cámara en vivo. El GPS puede activar estímulos                             |
|                    | 3. Aumentación dinámica                | Aumentación con posible reconocimiento de objetos y seguimiento de movimiento                                                         |
|                    | 4. Aumentación compleja                | Vista de aumentación dinámica y extracción de información de Internet basado en la ubicación, marcadores o reconocimiento de objetos. |
| Basado en la vista | 5. Aumentación indirecta               | Imagen del mundo real aumentada de forma inteligente                                                                                  |
|                    | 6. Aumentación digital no especificada | Aumento de la vista de cualquier cámara independientemente de la ubicación                                                            |

*Nota.* Adaptado de *Classifying different types of augmented reality technology* (p. 3), por Edwards-Stewart et al., 2016, Annual Review of CyberTherapy and Telemedicine. Traducción de los autores.

### **3. Definición de requerimientos y restricciones**

En este capítulo se describe la metodología seguida para definir la dirección y estructura del desarrollo del aplicativo. Partiendo de una revisión de la literatura enfocada principalmente al mantenimiento preventivo y a los aspectos relacionados al manejo de la información, se planteó una entrevista que fue contestada por personas involucradas en el campo del mantenimiento, a la cual se le realizó un análisis cualitativo con el fin de concretar las secciones a incluir en la aplicación y las funcionalidades ofrecidas al usuario.

#### **3.1. Análisis cualitativo**

Se optó por un enfoque cualitativo para llevar a cabo una investigación que resultara en la obtención de características y funcionalidades a incluir en un aplicativo que asista en la gestión de información y desarrollo de actividades de mantenimiento. Este enfoque se caracteriza por su flexibilidad y la exploración de percepciones, acciones y sentimientos de participantes mediante entrevistas, análisis de contenido, observaciones o grupos focales (Barroga et al., 2023).

#### **3.2. Identificación de patrones**

Para el análisis de datos cualitativos se desarrolló una entrevista (Apéndice A) orientada a recopilar datos y conceptos aportados por personas vinculadas profesionalmente al mantenimiento industrial, quienes participaron de manera voluntaria. El propósito fue identificar características a incluir en el aplicativo móvil de realidad aumentada y en la gestión de la información para el mantenimiento preventivo. La información obtenida fue sometida a un proceso sistemático de codificación, categorización y síntesis, que permitió no solo identificar patrones recurrentes, sino también revelar particularidades relevantes para el desarrollo del aplicativo.

Las entrevistas fueron registradas y sus respuestas anonimizadas antes del análisis, siendo empleadas exclusivamente con fines académicos. En ellas, se buscó que los participantes respondieran a partir de su experiencia en el área de mantenimiento, su familiaridad con las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) y la realidad aumentada, así como de su conocimiento sobre deficiencias organizacionales y conceptos asociados al mantenimiento preventivo. El estudio

se limitó a la recopilación de opiniones técnicas, sin intervención alguna sobre los participantes ni recolección de datos personales sensibles.

### 3.3. Categorización y codificación

Se generó un conjunto de categorías a las cuales se les relacionarían posteriormente frases o citas de la transcripción de las entrevistas buscando con esto clasificar y organizar la información para facilitar la identificación de patrones y vínculos conceptuales. Rodríguez Sabiote et al. (2005) mencionan que este proceso de categorización se puede realizar mediante un enfoque deductivo, con base en categorías establecidas previamente a la lectura del material; un enfoque inductivo, donde las categorías están establecidas a partir de la lectura y examen del material; o aplicando ambos (enfoque mixto). Para el desarrollo del análisis se consideró la generación de las categorías después de realizar la lectura del texto.

Para lograr enlazar o relacionar lo expresado en las entrevistas se enumeraron categorías, subcategorías y palabras clave, las cuales identifican una determinada frase de interés dentro del cuerpo de texto de las transcripciones, para así poder conectar las diferentes citas de los entrevistados a un tema específico, encontrando similitudes o repeticiones en algunos términos. Las categorías generadas fueron las siguientes:

- **Perfil del entrevistado:** Reúne información relacionada con la experiencia en el área del mantenimiento de los entrevistados, los conocimientos desarrollados a partir de esa experiencia y la familiaridad que tienen con herramientas tecnológicas en dicho contexto.
- **Mantenimiento preventivo:** Comprende conceptos y conocimientos asociados al mantenimiento preventivo mencionados por los entrevistados y respaldados por la literatura consultada.
- **Defectos organizacionales:** En esta categoría se incluyen las problemáticas asociadas al mantenimiento de equipos que los entrevistados señalaron, destacando aquellas en las que la incorporación de nuevas tecnologías, como la realidad aumentada, podría representar una mejora.
- **Aplicativo de realidad aumentada:** En esta categoría se hace referencia a la información

asociada con los paneles y funcionalidades de un aplicativo de realidad aumentada para mantenimiento preventivo, así como los desafíos para su implementación.

**Figura 3**
*Categorización de los códigos para análisis cualitativo*

| CATEGORIA                        | SUBCATEGORIA                 | PALABRAS CLAVE                                           |
|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------------|
| PERFIL DEL ENCUESTADO            | Experiencia en Mantenimiento | Experiencia en Ejecución                                 |
|                                  |                              | Experiencia en Formación                                 |
|                                  |                              | Experiencia en Planificación                             |
|                                  |                              | Experiencia en Supervisión                               |
| MANTENIMIENTO PREVENTIVO         | Conceptos                    | Criticidad                                               |
|                                  |                              | Disponibilidad                                           |
|                                  |                              | Fiabilidad                                               |
|                                  |                              | Mantenibilidad                                           |
|                                  |                              | Presupuesto                                              |
|                                  |                              | Vida Útil                                                |
|                                  | Aspectos                     | Calidad de Procesos                                      |
|                                  |                              | Capacitación del Personal                                |
|                                  |                              | Diagnostico de Fallas                                    |
|                                  |                              | Eficiencia                                               |
|                                  |                              | Estandarización de Procesos                              |
|                                  |                              | Gestión de Información                                   |
|                                  |                              | Gestión de inventarios                                   |
|                                  |                              | Orden                                                    |
|                                  |                              | Planificación                                            |
|                                  |                              | Reducción de Errores                                     |
|                                  |                              | Seguimiento                                              |
|                                  |                              | Seguridad de Ejecución                                   |
|                                  |                              | Tiempo                                                   |
| DEFECTOS ORGANIZACIONALES        | Situaciones Problemáticas    | Falta de Capacitación                                    |
|                                  |                              | Falta de Comunicación Entre Departamentos                |
|                                  |                              | Falta de Disponibilidad de los Equipos o Máquinas        |
|                                  |                              | Falta de Gestión de Información                          |
|                                  |                              | Falta de Gestión de inventarios                          |
|                                  |                              | Falta de Gestión de recursos                             |
|                                  |                              | Falta de Gestión de Solicitudes                          |
|                                  |                              | Falta de Implementación de Nuevas Tecnologías            |
|                                  |                              | Falta de Implementación del Mantenimiento Preventivo     |
|                                  |                              | Falta de Información de Seguimiento                      |
|                                  |                              | Falta de Información Técnica                             |
|                                  |                              | Falta de Personal                                        |
|                                  |                              | Falta de Planificación                                   |
|                                  |                              | Falta de Procedimientos Estandarizados                   |
|                                  |                              | Falta de Software de Gestión                             |
|                                  |                              | Falta de Software Especializado                          |
| APLICATIVO DE REALIDAD AUMENTADA | Paneles                      | Panel de Cronograma de Eventos                           |
|                                  |                              | Panel de Hoja de Vida                                    |
|                                  |                              | Panel de Información Técnica                             |
|                                  |                              | Panel de Inventarios o Stock                             |
|                                  |                              | Panel de Lista de Procedimientos                         |
|                                  |                              | Panel de Ordenes de Trabajo                              |
|                                  |                              | Panel de Realización de Procedimientos                   |
|                                  |                              | Panel de Recursos Multimedia                             |
|                                  | Funcionalidades              | Acceso y gestión de Información de Seguimiento           |
|                                  |                              | Acceso y gestión de Información Técnica                  |
|                                  |                              | Consulta de Información de Existencias                   |
|                                  |                              | Disponibilidad Fuera de Red                              |
|                                  |                              | Generación de un Historial o Registro                    |
|                                  |                              | Gestión de Recursos Multimedia                           |
|                                  |                              | Gestión de Solicitudes                                   |
|                                  |                              | Gestión Según Roles y Niveles                            |
|                                  |                              | Interacción con Objetos 3D                               |
|                                  |                              | Interacción con recursos multimedia                      |
|                                  |                              | Presentación de Procedimientos como una Secuencia        |
|                                  |                              | Programación de Fechas y Notificaciones                  |
|                                  |                              | Validación de Responsabilidad por Parte del Usuario      |
|                                  |                              | Validación de Tareas Mediante Lista de Chequeo o Control |
|                                  |                              | Visualización de Puntos Críticos                         |

### 3.4. Uso de software de análisis cualitativo

Para llevar a cabo la codificación de las citas se empleó el software de análisis cualitativo ATLAS.ti. Inicialmente, se realizó una lectura exploratoria de las respuestas con el propósito de identificar segmentos de texto relevantes y asignarles códigos, tanto predefinidos en función de los objetivos del estudio como incorporados durante el proceso de análisis cuando fue necesario.

En el análisis cualitativo es común que una misma cita sea asociada con múltiples códigos, ya que un mismo fragmento puede abordar diferentes conceptos de interés. Esta asignación simultánea da lugar a la coocurrencia de códigos, cuya exploración permite identificar patrones de asociación entre las categorías definidas durante el proceso de codificación.

A partir de esta información, se generaron recursos gráficos, como gráficos de coocurrencia y redes de relaciones entre códigos, que facilitaron la interpretación de los vínculos existentes entre las categorías analizadas. Estos recursos contribuyen a identificar tendencias y asociaciones presentes en las respuestas de los participantes, apoyando la interpretación de los resultados obtenidos.

### 3.5. Creación de redes semánticas

A partir de los códigos obtenidos durante el análisis cualitativo, se generaron redes semánticas para cada uno de los paneles identificados en las entrevistas. Estas estructuras presentan un patrón característico que permite vincular diversos nodos y representar cómo se interrelacionan varios conceptos (Pérez Porto & Gardey, 2022).

El software utilizado ofrece siete tipos de relaciones conceptuales por defecto (Figura 4), para facilitar la visualización de las relaciones entre diversos códigos.

**Figura 4**

*Relaciones por defecto de ATLAS.ti*

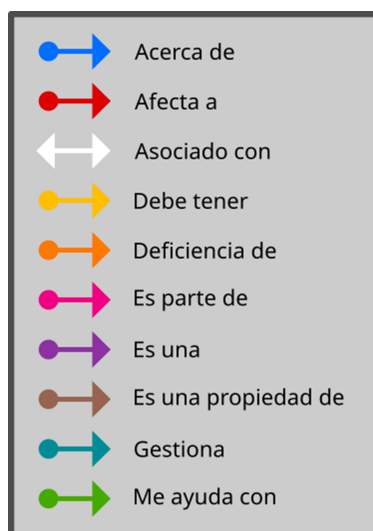
| Nombre ▲         | Uso | Estilo | Ancho | Diseño | Corto | Símbolo | Propiedad formal |
|------------------|-----|--------|-------|--------|-------|---------|------------------|
| contradicts      | 0   | ↔      | 1     | ↑      | A     | <>      | Simétrico        |
| is a             | 0   | →      | 2     | ↑      | O     | isa     | Transitiva       |
| is a property of | 0   | →      | 1     | ↑      | P     | *}      | Asimétrica       |
| is associated... | 0   | ↔      | 1     | ↑      | R     | ==      | Simétrico        |
| is cause of      | 0   | →      | 1     | ↑      | N     | =>      | Transitiva       |
| is part of       | 0   | →      | 1     | ↑      | G     | []      | Transitiva       |
| noname           | 0   | ↔      | 1     | ↑      |       |         | Simétrico        |



Sin embargo, se propusieron conectores personalizados (Figura 5) para representar con mayor precisión las relaciones entre los códigos, las funcionalidades propuestas y los aspectos del mantenimiento preventivo asociados a cada panel, con el fin de explorar su integración en el aplicativo de realidad aumentada.

**Figura 5**

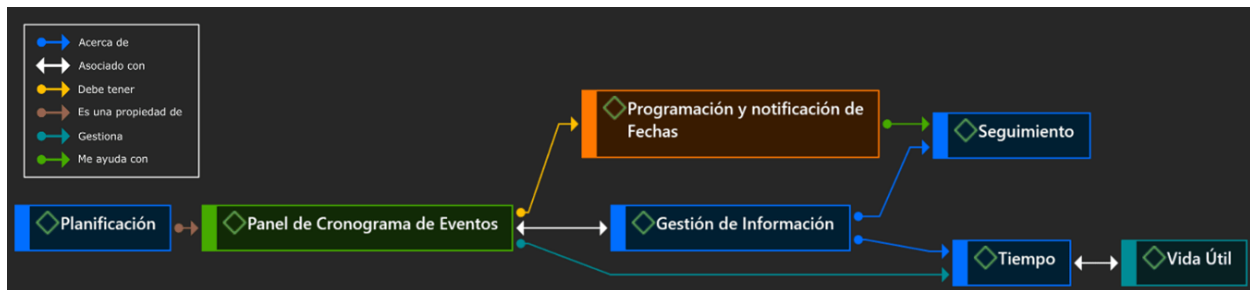
*Conectores de relación propuestos*



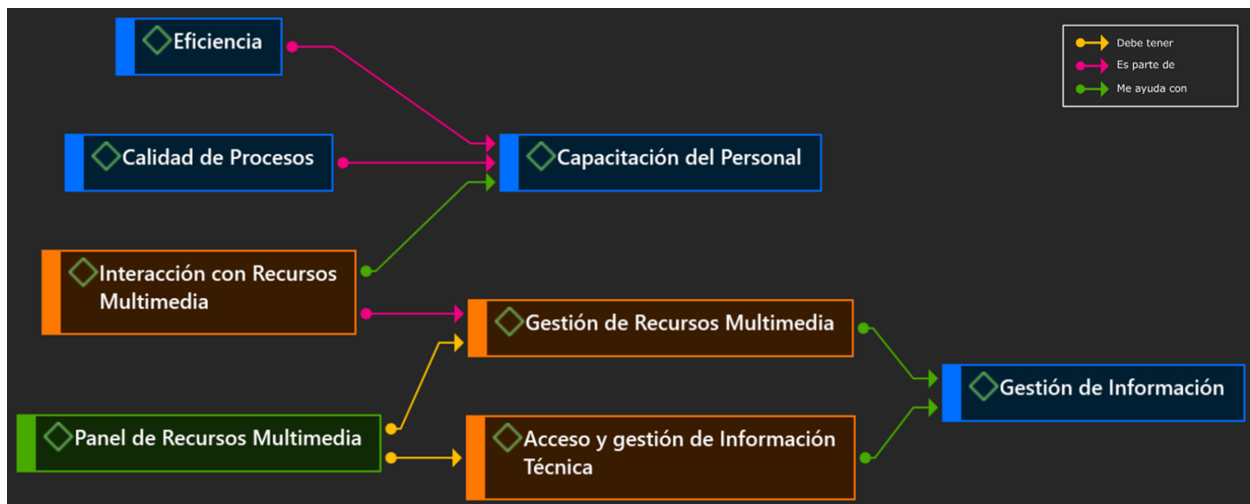
### **3.5.1. Redes semánticas de los paneles**

Con base en la codificación de las entrevistas, se elaboraron diagramas de redes semánticas que exponen la relación entre los paneles y las funcionalidades del aplicativo. Dichas redes, además, evidencian las conexiones entre las funcionalidades y la codificación de los distintos aspectos y conceptos de mantenimiento identificados en la red, especificando su tipo de relación para cada caso.

**3.5.1.1. Panel de cronograma de eventos** La red semántica mostrada en la Figura 6, muestra un panel que tiene su implicación en la gestión y control de los tiempos de mantenimiento, siendo la planificación una propiedad del mismo. Los entrevistados destacaron aspectos como la programación de fechas, así como notificación de las mismas. En cuanto a los conceptos de mantenimiento preventivo, la gestión de las intervenciones se asoció directamente con el concepto de la vida útil de los equipos.

**Figura 6**
*Relaciones semánticas del panel de cronograma*


**3.5.1.2. Panel de recursos multimedia** En la Figura 7, se presenta la red semántica para un panel que cubre el aspecto de gestión de información en cuanto a manuales, fichas técnicas y demás documentos asociados a los equipos y procesos de mantenimiento. Lo anterior es descrito como una ayuda para la capacitación del personal que realizará las diversas tareas de mantenimiento, al permitir al usuario, el acceso a información que favorece a la familiarización con los equipos así como a una mejora en la realización de los procedimientos.

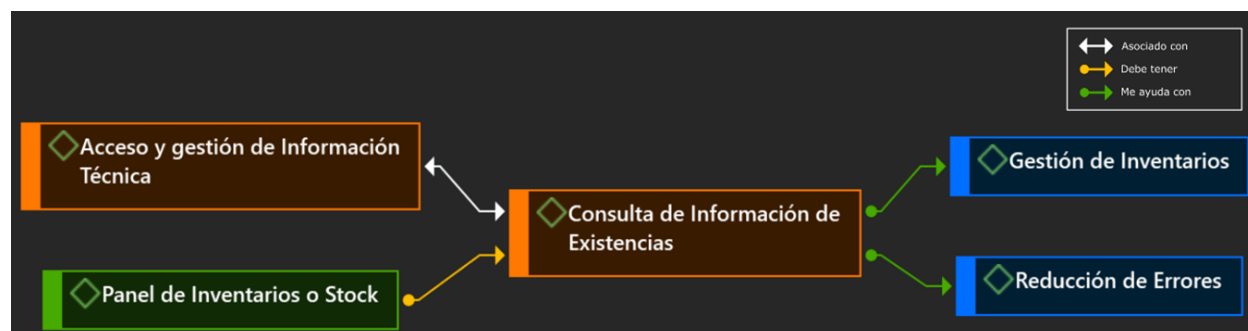
**Figura 7**
*Relaciones semánticas del panel de recursos multimedia*


**3.5.1.3. Panel de inventario** La red semántica presentada en la Figura 8 corresponde al Panel de Inventario, cuyo propósito principal es incorporar al aplicativo funcionalidades para la gestión de existencias de insumos antes y después de las intervenciones de mantenimiento, con el fin de facilitar el control de su disponibilidad y reducir posibles errores en su registro o conteo. De

igual modo, se plantea la posibilidad de acceder a las características y especificaciones técnicas de los elementos registrados, permitiendo complementar la información necesaria para la planificación y ejecución de las actividades de mantenimiento.

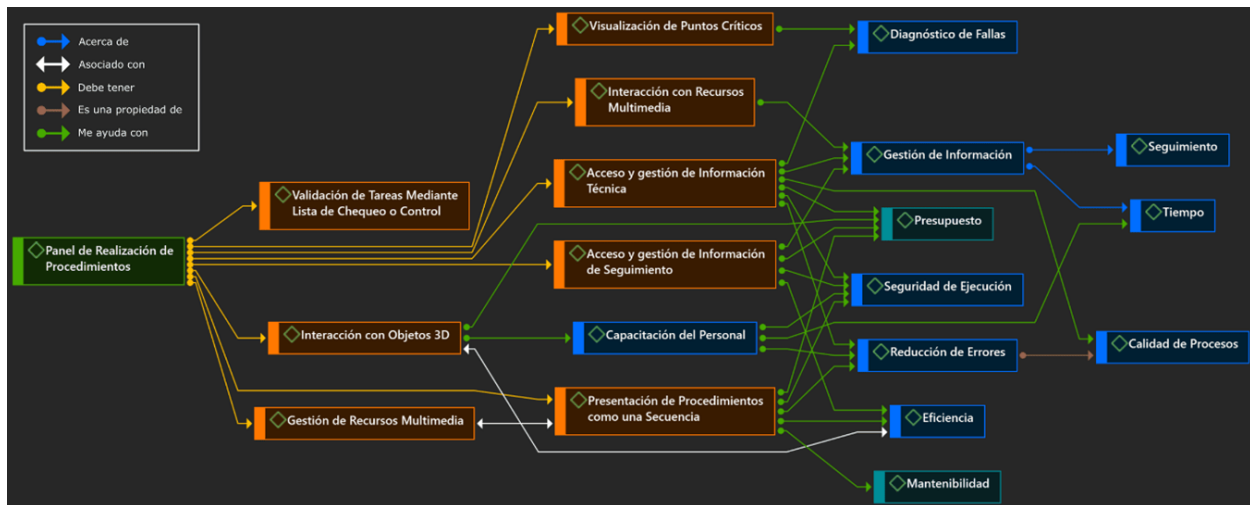
**Figura 8**

*Relaciones semánticas del panel de inventario*

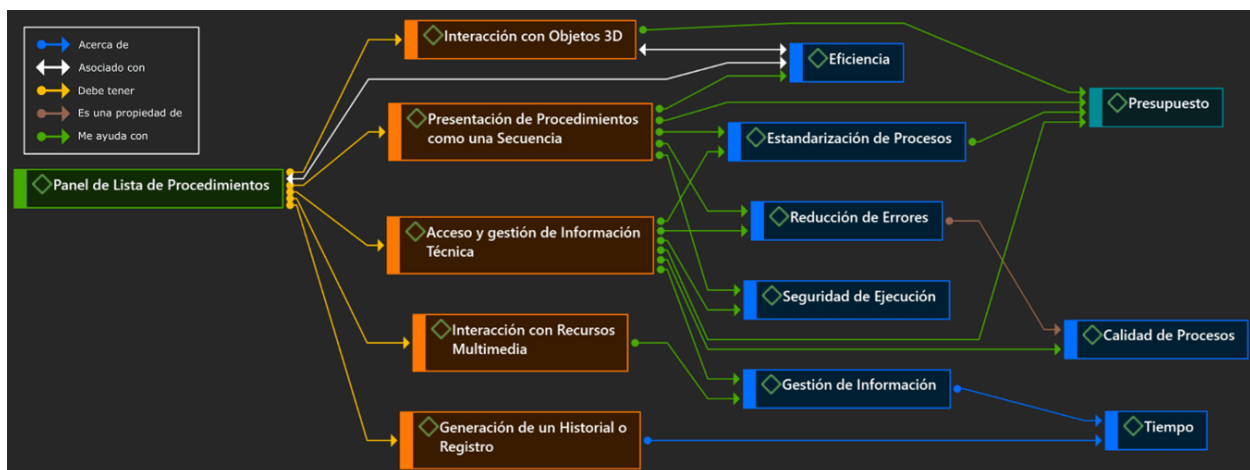


**3.5.1.4. Panel de realización de procedimientos** La red semántica de la Figura 9 evidencia relaciones entre diferentes elementos asociados al apoyo visual, acceso a información y asistencia durante la ejecución de tareas de mantenimiento preventivo. Entre las conexiones más destacadas se encuentran la interacción con objetos 3D, la presentación secuencial de procedimientos y la validación de tareas mediante listas de chequeo, características relacionadas con la comprensión de actividades y la reducción de errores durante la ejecución.

Asimismo, conceptos como el acceso a información técnica y de seguimiento se vinculan con aspectos como la seguridad de ejecución, la eficiencia, el control de actividades y la calidad de los procesos. En conjunto, las relaciones identificadas sugieren que las herramientas basadas en realidad aumentada pueden funcionar no solo como apoyo visual, sino también como soporte integral para la gestión y ejecución del mantenimiento preventivo.

**Figura 9**
*Relaciones semánticas del panel de realización de procedimientos*


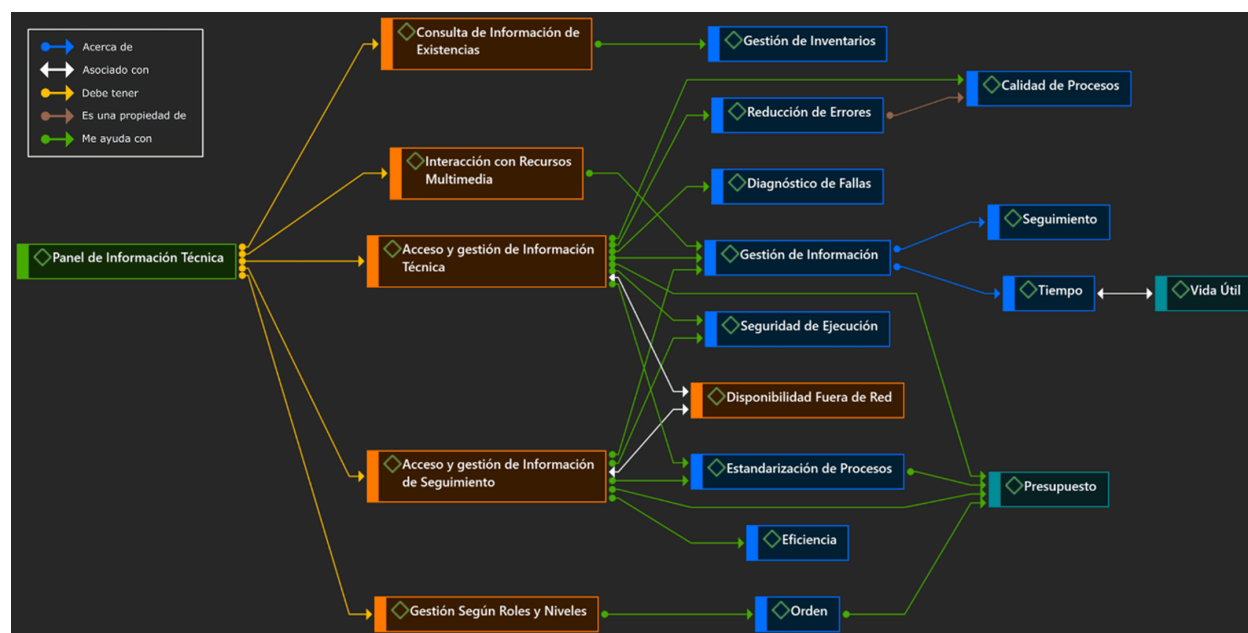
**3.5.1.5. Panel de lista de procedimientos** Para este panel se obtuvo una red semántica que conecta cinco funcionalidades con aspectos de mantenimiento, tal y como se observa en la Figura 10. Se destaca la presentación de una lista de instrucciones que organiza los procedimientos en una secuencia estructurada, lo cual coincide con el establecimiento de la estandarización para realizar las rutinas de mantenimiento de mayor calidad, que a su vez derive en una disminución de los errores de ejecución.

**Figura 10**
*Relaciones semánticas del panel de lista de procedimientos*


**3.5.1.6. Panel de información técnica** El panel representado en esta red semántica (Figura 11) integra cinco funcionalidades, entre las cuales destaca el acceso y la gestión de distintos tipos de información bajo condiciones de conectividad limitada, ofreciendo una solución a una necesidad práctica identificada en los contextos de trabajo descritos por los entrevistados. Asimismo, se resalta la posibilidad de interactuar con diversos recursos multimedia dentro del aplicativo, los cuales facilitan la gestión de la información y se vinculan con los conceptos de seguimiento y tiempo, elementos esenciales para cualquier tipo de intervención.

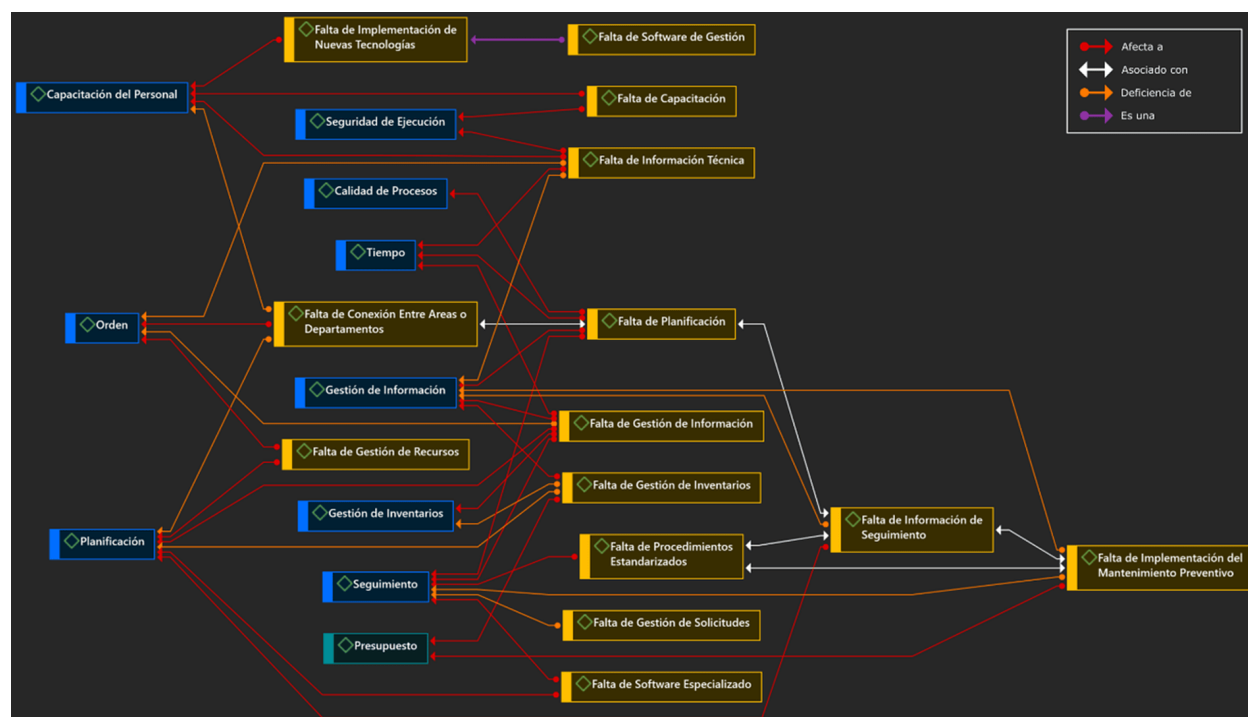
**Figura 11**

*Relaciones semánticas del panel de información técnica*



### 3.5.2. Red de situaciones problemáticas

En la Figura 12 Se muestra una red semántica generada a partir de la codificación de las citas, la cual refleja diversas situaciones problemáticas señaladas por los entrevistados, las cuales se identifican como causas o consecuencias de la ausencia de un determinado aspecto del mantenimiento. Esta representación evidencia la relevancia de dichos aspectos dentro de una organización, destacando cómo su omisión puede generar dificultades y afectaciones en los procesos de gestión y operación.

**Figura 12**
*Relaciones semánticas de las situaciones problemáticas*


### 3.6. Co-ocurrencia de datos

Uno de los elementos analizados, como complemento de las conexiones conceptuales representadas en las redes semánticas, fue la coocurrencia. Este concepto hace referencia a la aparición simultánea de dos o más códigos dentro de una porción de texto predefinida (Escalante Gómez, 2009). A través de este análisis se buscó destacar la aparición de determinados códigos con mayor presencia, así como las relaciones establecidas entre ellos, resaltando aquellas coocurrencias que se presentaron con mayor frecuencia en las citas obtenidas de las entrevistas.

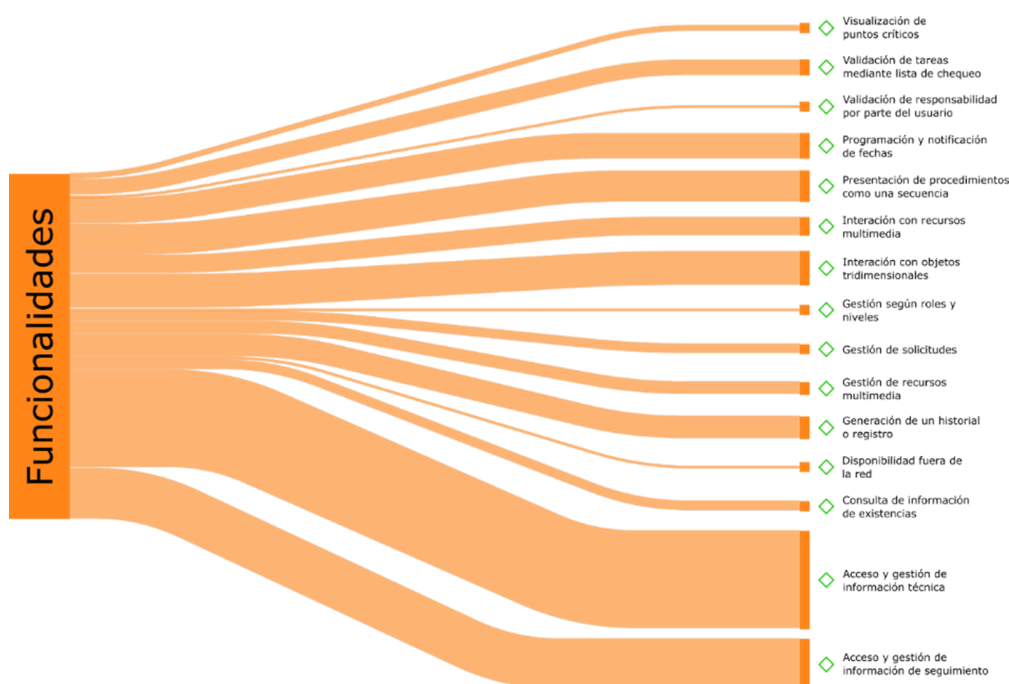
#### 3.6.1. Diagramas Sankey

Para visualizar las relaciones más relevantes en cuanto a su coocurrencia, es decir con base en su densidad, se optó por el uso de diagramas Sankey. Estos diagramas ilustran por medio de caminos las relaciones entre entidades, permitiendo visualizar la proporción de un código o concepto en relación con otros (Hecker, s.f.). A continuación se presentan los diagramas Sankey obtenidos:

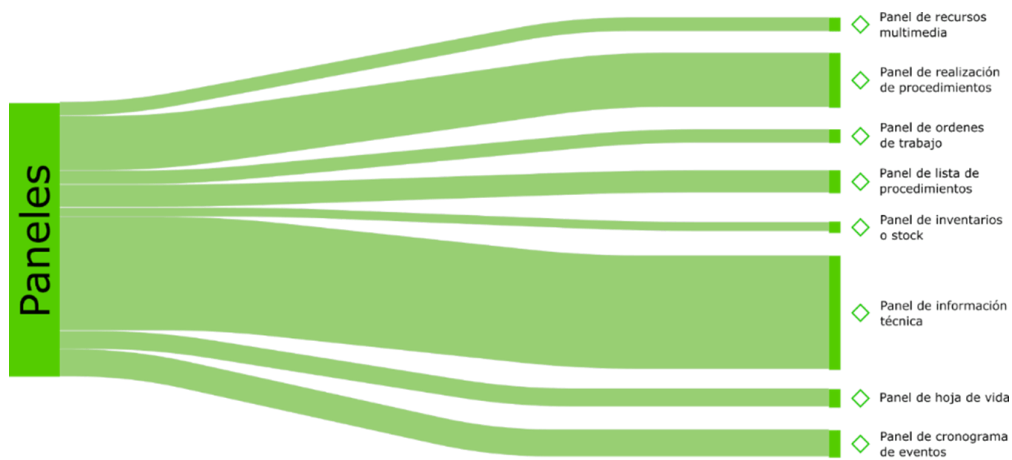
**3.6.1.1. Diagrama de densidad de las funcionalidades** Las funcionalidades son aquellas prestaciones que se le dan al usuario y que van incluidas dentro de los distintos paneles o secciones gráficas del aplicativo. En la Figura 13 se muestran las funcionalidades identificadas en el proceso de categorización y la relevancia que los entrevistados les dieron, basada en la cantidad de menciones. Las más destacadas fueron el acceso y gestión de la información técnica, acceso y gestión de información de seguimiento, interacción con objetos 3D y presentación de procedimientos como una secuencia.

**Figura 13**

*Densidad de las funcionalidades del aplicativo resaltadas por los encuestados*

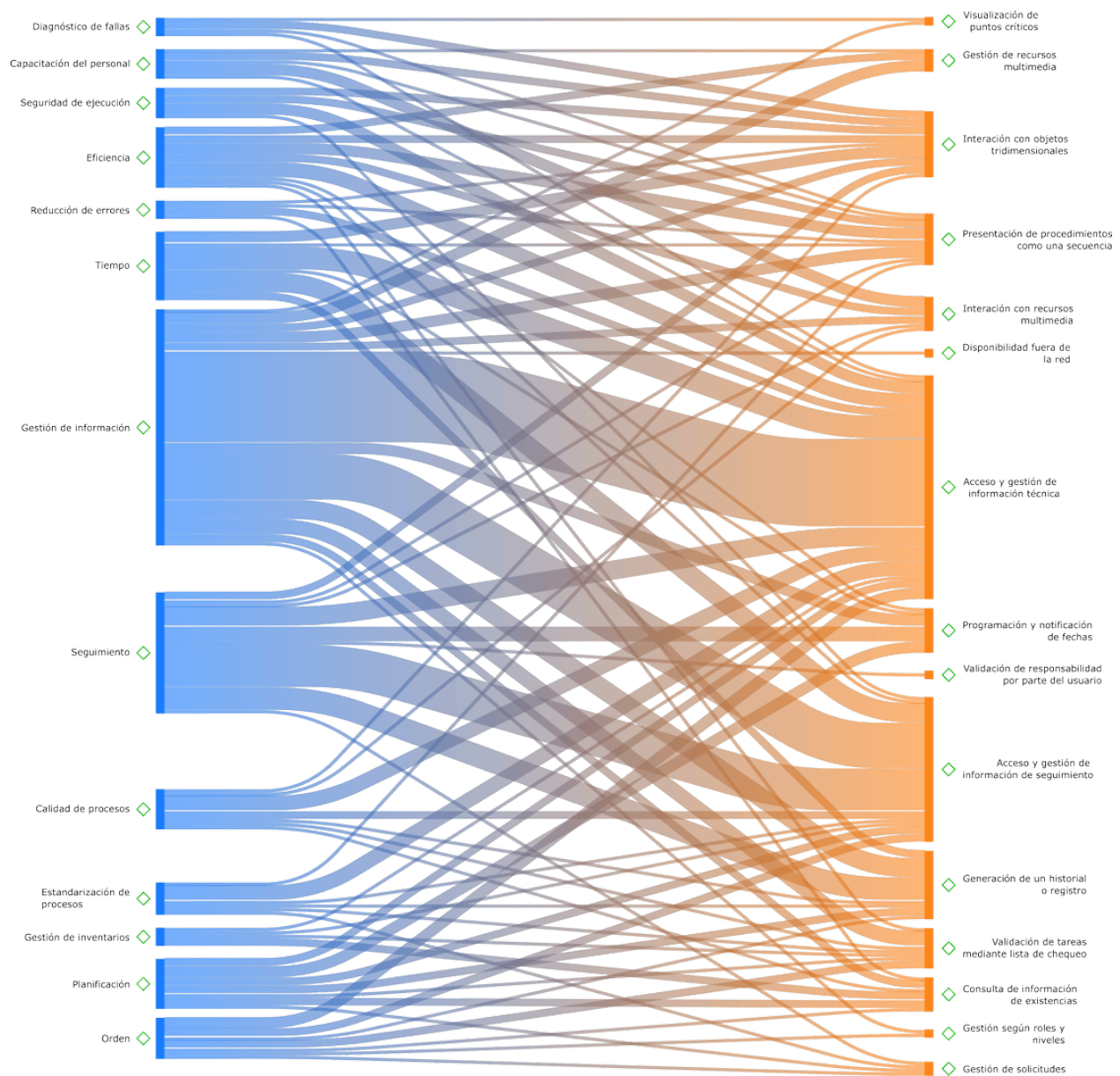


**3.6.1.2. Diagrama de densidad de los paneles** En el diagrama de la Figura 14 se identifican las propuestas de las secciones gráficas que pueden ser incorporadas en el aplicativo identificadas en las citas, donde se observa una alta mención al panel de información técnica prevaleciendo la importancia de los aspectos de gestión de información técnica específica de los ítems mantenibles y del mismo modo se observa una gran densidad al panel de realización de procedimientos y el de lista de procedimientos, siendo estos una guía en el desarrollo de las distintas intervenciones de mantenimiento con el uso de realidad aumentada.

**Figura 14***Densidad de los paneles del aplicativo de mantenimiento*

**3.6.1.3. Diagrama de co-ocurrencia entre aspectos y funcionalidades de mantenimiento** Este diagrama, ilustrado en la Figura 15, muestra la relación entre las funcionalidades (representadas en naranja) y los distintos aspectos del mantenimiento (en azul), donde se observa un patrón de convergencia que reúne múltiples aspectos de mantenimiento en una misma funcionalidad, lo cual podría indicar que dicha funcionalidad es un elemento central para el diseño y la experiencia de los usuarios, al ser considerado desde diferentes puntos.

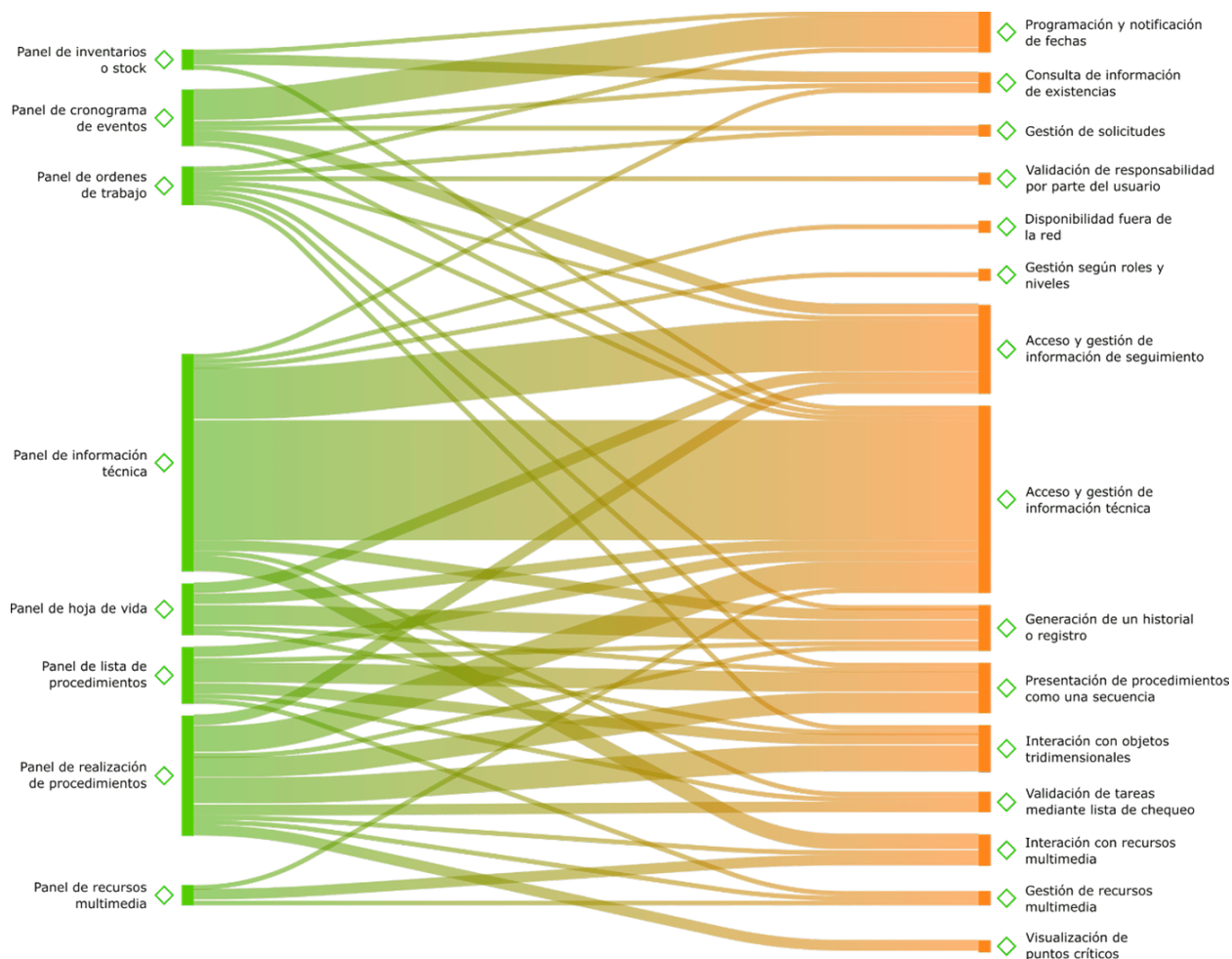


**Figura 15***Co-ocurrencia entre funcionalidades y aspectos de mantenimiento*

**3.6.1.4. Diagrama de co-ocurrencia entre paneles y funcionalidades** El diagrama de Sankey de la Figura 16 muestra las conexiones entre los paneles propuestos en las entrevistas (representados en verde) y las funcionalidades (en naranja). En dicho diagrama, se observa un patrón de divergencia en el que los paneles de mayor densidad se vinculan con múltiples funcionalidades, lo cual podría indicar que estas son secciones relevantes para ser incorporadas en el desarrollo de la aplicación de realidad aumentada.

**Figura 16**

*Co-ocurrencia entre los paneles propuestos y funcionalidades de mantenimiento*



### 3.7. Requerimientos de la aplicación

A partir del análisis cualitativo de las entrevistas, en conjunto con los lineamientos de las normas revisadas en el marco teórico, se establecieron los requerimientos funcionales, materializados en los paneles que conformarán la interfaz de la aplicación de realidad aumentada.

#### 3.7.1. Panel para la gestión de la información técnica de los equipos

Este panel permite almacenar y gestionar la información técnica correspondiente a los equipos o ítems sujetos a mantenimiento. Con el propósito de facilitar la identificación precisa de cada equipo dentro de la aplicación, y de acuerdo con los fundamentos teóricos establecidos, se registrarán los siguientes datos:

- Código del equipo.
- Nombre.
- Tipo de máquina.
- Ubicación.
- Marca.
- Modelo.
- Número de serie.
- Año de fabricación.
- Precio inicial.
- Fecha de adquisición.
- Observaciones generales.
- Datos del motor.
- Imagen identificativa.

### ***3.7.2. Panel para la ejecución de procedimientos***

Esta sección opera como una guía para la realización asistida de las diversas actividades de mantenimiento mediante el uso de realidad aumentada, donde se definieron las siguientes funcionalidades principales:

- Gestión de archivos multimedia, tales como imágenes y modelos 3D.
- Interacción con recursos multimedia dentro de un entorno de realidad aumentada.
- Presentación de procedimientos en un formato secuencial, estructurado por pasos y operaciones.

### ***3.7.3. Panel de escáner de códigos QR***

Este panel proporciona al usuario una interfaz basada en la cámara del dispositivo móvil, habilitada para la detección de marcadores y la posterior redirección en el sistema. Su objetivo es permitir el escaneo de los códigos QR para agilizar el acceso a los detalles y a las actividades de mantenimiento en realidad aumentada de cada máquina. Dada su importancia en el flujo de interacción, se estableció como la pantalla principal de la aplicación.

### 3.7.4. *Panel de cronograma de eventos*

En este panel, el usuario tiene la capacidad de registrar anotaciones relacionadas con las fechas de las intervenciones de mantenimiento, facilitando el control y cumplimiento de su periodicidad. Adicionalmente, se integra un sistema de notificaciones para alertar sobre la proximidad de las tareas programadas, contribuyendo a una mejor organización del tiempo. Con base en la revisión teórica, los datos principales a registrar y presentar son:

- Nombre del evento de mantenimiento.
- Descripción de la actividad.
- Categoría del mantenimiento.
- Fechas de intervención.
- Intervalos o recurrencia de la actividad.

### 3.8. **Requerimientos no funcionales**

Como requerimientos no funcionales se establecieron las siguientes restricciones y condiciones para el desarrollo del aplicativo de realidad aumentada.

1. **Compatibilidad del sistema operativo:** La aplicación deberá ser compatible con dispositivos que ejecuten Android 9 o versiones superiores.
2. **Independencia de red:** La aplicación deberá operar sin conexión a Internet durante la ejecución de sus funcionalidades, garantizando la disponibilidad local de los recursos necesarios.
3. **Reconocimiento espacial:** La aplicación deberá implementar el reconocimiento de marcadores físicos mediante rastreo de imágenes para el despliegue de los elementos de realidad aumentada, sin depender de modelos de aprendizaje automático.
4. **Compatibilidad tridimensional:** La aplicación deberá admitir exclusivamente modelos tridimensionales en formato binario glTF (.glb) para su carga y visualización.
5. **Soporte multimedia:** La aplicación deberá admitir únicamente imágenes estáticas como recursos bidimensionales, excluyendo el procesamiento y reproducción de contenido audiovisual.

6. **Usabilidad:** La interfaz de usuario deberá ser consistente, intuitiva y de fácil utilización para técnicos con conocimientos básicos en el manejo de dispositivos móviles.

#### **4. Desarrollo del aplicativo de realidad aumentada para mantenimiento**

Esta fase comprende el diseño e implementación del aplicativo móvil de realidad aumentada, el cual integra modelos 3D de la máquina junto con información técnica de mantenimiento, presentados a través de una interfaz gráfica intuitiva que facilita la interacción del usuario.

##### **4.1. Especificación del entorno tecnológico**

El aplicativo fue desarrollado para la plataforma Android usando el entorno de desarrollo integrado (IDE), Android Studio, como solución oficial y óptima para la codificación y testeo de esta tecnología de realidad aumentada.

###### ***4.1.1. Lenguaje de programación y framework***

Se hizo uso del lenguaje oficial de la plataforma Android, Kotlin, por su implementación directa con el framework declarativo de Jetpack Compose y su gestión de estados mediante StateFlows y corrutinas para manejar adecuadamente de forma asíncrona la carga e interacción con los modelos 3D.

###### ***4.1.2. Motor y librerías de realidad aumentada***

Se implementa el motor de renderizado 3D Filament, gracias a su alta eficiencia en dispositivos Android y diseño de menor tamaño, mediante la implementación de la librería de SceneView, que adapta el antiguo SDK de SceneForm creado por Google para la gestión de una escena 3D de realidad aumentada.

###### ***4.1.3. Interfaz de usuario***

La interfaz fue construida usando como base las directrices de Material Design 3, con una capa de personalización que abarca el esquema de colores, tipografías, espaciados, formas y disposición de los componentes.

##### **4.2. Arquitectura del software**

A partir del entorno tecnológico, se diseñó la arquitectura de software mediante el patrón de arquitectura MVVM (*Model-View-ViewModel*), permitiendo separar la lógica de presentación, la interfaz de usuario y el acceso a datos mediante clases intermediarias encargadas de administrar

el estado expuesto a la vista.

Adicionalmente, para la gestión de estados e interacción de interfaces construidas con Jetpack Compose, se implementó un flujo de arquitectura basado en el patrón MVI (*Model-View-Intent*), utilizando estados inmutables y eventos de intención para representar de forma reactiva las acciones del usuario y los cambios de la interfaz dentro del aplicativo.

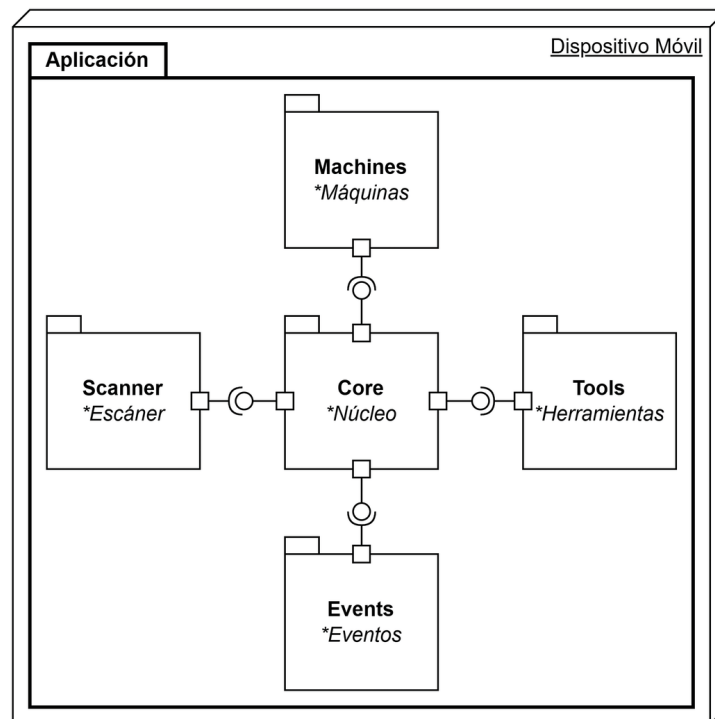
### 4.3. Diseño de la lógica de negocio y subsistemas

#### 4.3.1. Descomposición modular del sistema

A partir de los requerimientos establecidos mediante las entrevistas y los referentes bibliográficos, el aplicativo fue estructurado en subsistemas, también conocidos como paquetes. Lo anterior se muestra en la Figura 17.

**Figura 17**

*Subsistemas del aplicativo*



**4.3.1.1. Paquete de núcleo** Contiene la lógica y las definiciones transversales del aplicativo: el flujo de navegación entre pantallas, la declaración de la base de datos local, y los estilos compartidos entre subsistemas, incluyendo tipografías, colores, formas y utilidades comunes.

**4.3.1.2. Paquete de escáner** Agrupa la lógica y los componentes gráficos correspondientes a la sección de escáner, la cual implementa una previsualización de cámara en tiempo real para la lectura de marcadores, agilizando el acceso a la información de una máquina sin necesidad de realizar una navegación manual.

**4.3.1.3. Paquete de máquinas** Gestiona la lógica y los componentes gráficos de la sección de máquinas, abarcando la administración de información técnica, documentos PDF, marcadores, modelos 3D, lista de proveedores y actividades de mantenimiento con realidad aumentada.

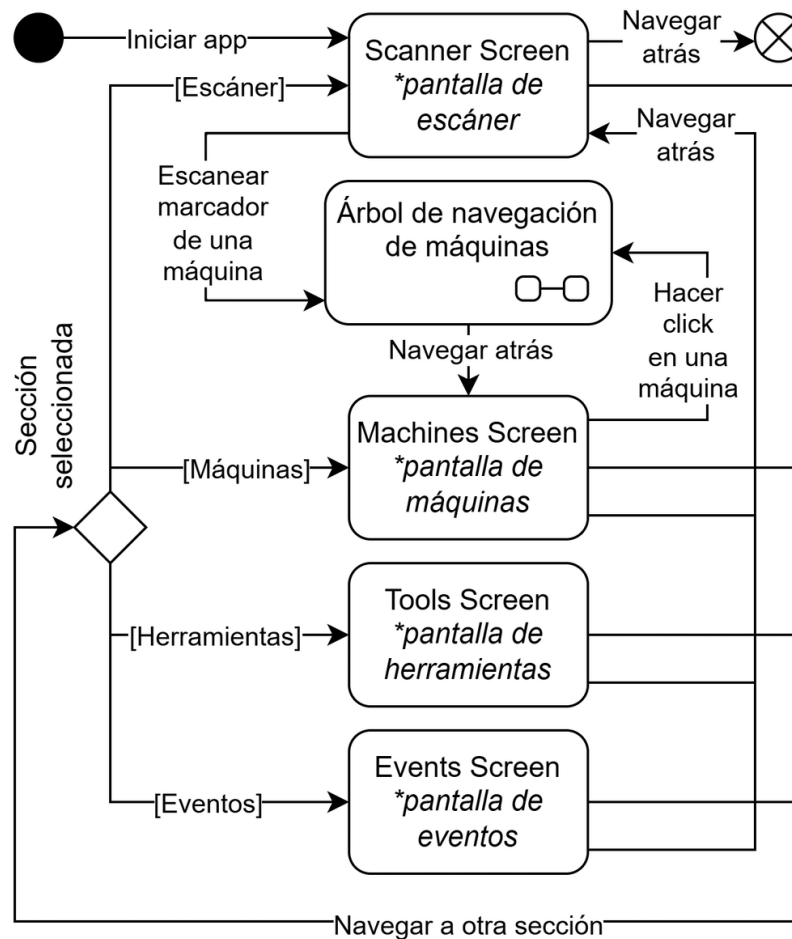
**4.3.1.4. Paquete de herramientas** Agrupa la lógica y los componentes gráficos de la sección de herramientas, centralizando la disponibilidad de los instrumentos que pueden ser requeridos durante las actividades de mantenimiento vinculadas a las máquinas gestionadas en el subsistema de máquinas.

**4.3.1.5. Paquete de cronograma** Concentra la lógica y los componentes gráficos de la sección de cronograma, encargándose de la programación de eventos de mantenimiento y la gestión de notificaciones asociadas, donde dichos eventos corresponden a las actividades de mantenimiento vinculadas a las máquinas gestionadas en el subsistema de máquinas.

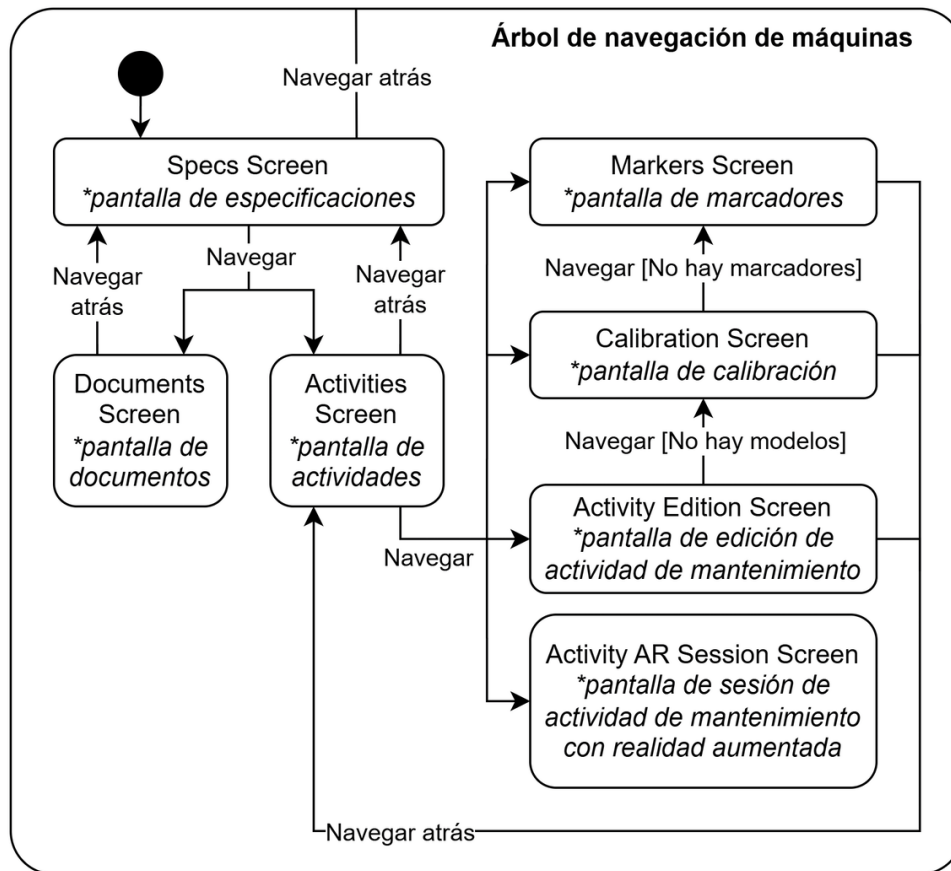
#### ***4.3.2. Flujo de navegación del aplicativo***

La organización de los destinos del aplicativo se basa en un sistema de enrutamiento encargado de gestionar el flujo de navegación entre las diferentes secciones, controlando el acceso y la presentación de pantallas y componentes. Este sistema se representa mediante un árbol de navegación que define la jerarquía entre los destinos del aplicativo en la Figura 18.



**Figura 18***Secciones de navegación*

**4.3.2.1. Árboles de navegación anidados** A partir de la jerarquía principal, la sección de máquinas, al ser la única que cuenta con más de una pantalla, se define su propio árbol de navegación anidado, donde se administra de forma independiente su navegación interna, simplificando la comprensión del flujo principal (ver Figura 19).

**Figura 19**
*Árbol de navegación anidado de máquinas*


#### 4.4. Arquitectura del sistema de bases de datos

El diseño de la base de datos se fundamenta en SQLite mediante el uso de la librería Room para Android, estructurándose en tablas de entidades simples y tablas de entidades compuestas según la naturaleza de los datos almacenados.

##### 4.4.1. Tablas de entidades simples

Las tablas de entidades simples almacenan los datos individuales de un objeto en específico, agrupándose según su propósito funcional.

**4.4.1.1. Entidades de información técnica.** Almacenan los datos de identificación y especificaciones técnicas de la máquina y su motor eléctrico (ver Apéndices C y D). Cada equipo organiza su información en dos tablas: una destinada a la identidad y otro a las especificaciones

técnicas, dado el volumen de atributos que cada una contiene. Adicionalmente, se incluye una entidad para los documentos PDF vinculados a cada máquina (ver Apéndice E).

**4.4.1.2. Entidades de realidad aumentada.** Almacenan los datos de los elementos aumentados vinculados a cada máquina, los marcadores físicos que activan la experiencia de realidad aumentada y los modelos 3D superpuestos (ver Apéndice F). La entidad de marcador incluye un desplazamiento (offset) que define su posición relativa respecto a un nodo de origen. Dicho nodo actúa como referencia común para alinear los modelos dentro de una escena. De manera similar, la entidad de modelo también posee un desplazamiento relativo al nodo de origen.

**4.4.1.3. Entidades de procesos de mantenimiento.** Conforman una estructura secuencial que almacena la información sobre los procedimientos de mantenimiento asociados a cada máquina (ver Apéndice G).

**4.4.1.4. Entidades de catálogo.** Almacenan datos reutilizables de alcance global, sin vínculo directo a una máquina en particular. En este caso, corresponden al catálogo de herramientas disponibles durante las actividades de mantenimiento, cada una con representación visual vectorial según su tipo (ver Apéndice H).

**4.4.1.5. Entidad de cronograma.** Almacena los eventos de mantenimiento programados, cada uno vinculado a una actividad específica dentro del subsistema de máquinas. Gestiona tanto la recurrencia como la programación temporal de dichos eventos (ver Apéndice I).

#### ***4.4.2. Tablas de entidades compuestas***

Las tablas de entidades compuestas almacenan los registros de relaciones entre múltiples entidades, consolidando las llaves primarias (PK) de las entidades relacionadas para representar asociaciones de tipo muchos a muchos (N:N).

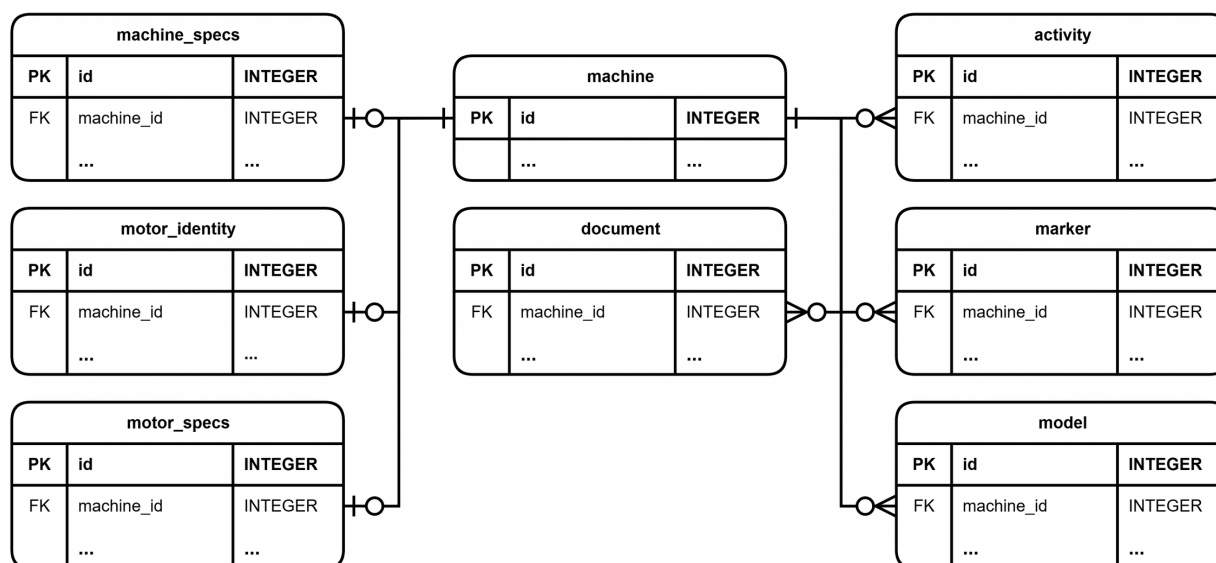
**4.4.2.1. Entidad de referencia para edición de modelos 3D en una operación.** Almacena la referencia de las partes de un modelo 3D asociadas a una operación de mantenimiento específica, actuando como tabla pivote entre la entidad de operación y la entidad de modelo (ver Apéndice J).

#### 4.4.3. Modelo de relaciones

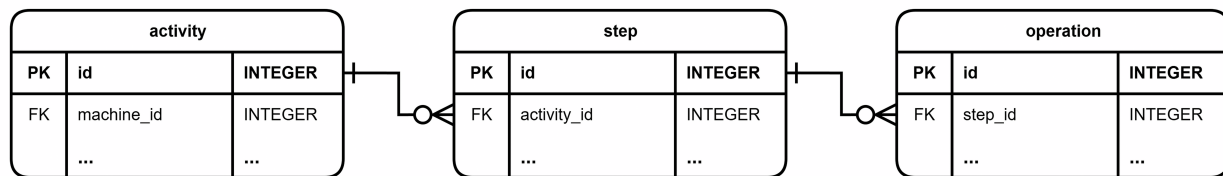
**4.4.3.1. Relaciones de la entidad de máquinas.** La entidad de máquinas constituye el punto central del modelo relacional, la cual vincula entidades que almacenan datos técnicos, especificaciones y referencias a múltiples tareas. Estas relaciones se basan en llaves primarias (PK) y llaves foráneas (FK), siendo comúnmente de tipo uno a uno (1:1) o uno a muchos (1:N), como se muestra en la Figura 20.

**Figura 20**

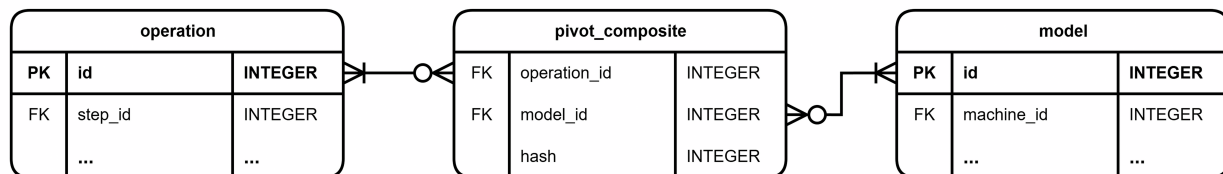
*Relaciones generales de una máquina*



**4.4.3.2. Relaciones de la cadena jerárquica de mantenimiento.** Para el mantenimiento de una máquina se conforma una cadena jerárquica que estructura los procedimientos: una actividad agrupa una serie de pasos ordenados que contiene un título, descripción y una imagen ilustrativa, mientras que cada paso contiene varias operaciones, las cuales definen las animaciones 3D ejecutadas sobre las partes individuales de un modelo durante la experiencia de realidad aumentada, como se muestra en la Figura 21.

**Figura 21***Relaciones para un proceso de mantenimiento*

**4.4.3.3. Relación pivote entre operaciones y modelos 3D.** La edición de un proceso de mantenimiento requiere almacenar de forma independiente la referencia de cada subparte o submodelo de un modelo 3D, entendidas como las partes individuales sobre las cuales se aplica la animación definida por una operación. Para ello, se emplea una entidad pivote que se relaciona de forma muchos a muchos (N:N) entre la entidad de operación y la entidad de modelo, como se muestra en la Figura 22.

**Figura 22***Relaciones de entidades de edición de procesos de mantenimiento*

## 4.5. Herramientas de modelado paramétrico

Para la construcción del modelo de prueba y sus componentes mecánicos, se utilizaron herramientas CAD (diseño asistido por computadora), específicamente OnShape y SolidWorks. Estas herramientas permitieron realizar el modelado paramétrico de las piezas, así como el ensamblaje de componentes, necesario para la posterior generación de animaciones aplicadas en la experiencia de realidad aumentada.

## 4.6. Herramientas de exportación en glTF

Para la exportación de los modelos tridimensionales se utilizó Blender como herramienta de procesamiento y generación de archivos en formato .glb bajo el estándar glTF. Su uso permitió mantener la unicidad en los nombres de cada pieza o submodelo durante el proceso de exportación,

característica necesaria para la generación de identificadores hash asociados a las partes individuales de cada modelo 3D.

#### **4.7. Formatos de los archivos**

Para garantizar la compatibilidad con las herramientas utilizadas y con el motor de renderizado de la aplicación, se usó el formato de transmisión de biblioteca de gráficos (.glTF) en su versión binaria (.glb), mientras que los formatos compatibles de imágenes fueron: .png, .jpeg, .jpg, .tiff y .webp.

#### **4.8. Descomposición de marcadores**

Los marcadores utilizados en el aplicativo fueron diseñados con base en códigos QR, generados y exportados directamente desde la propia aplicación. Cada marcador está asociado a una máquina y posición específica, permitiendo un número ilimitado de marcadores por máquina registrada.

Estructuralmente, cada marcador consiste en un rectángulo con un margen externo que organiza dos zonas: la parte superior contiene el código QR y la parte inferior su decodificación en texto, siguiendo la nomenclatura  $MxPy$ , donde  $M$  indica la máquina con su identificador numérico y  $P$  indica la posición con su índice correspondiente, permitiendo distinguir múltiples marcadores asociados a una misma máquina (ver Figura 23). Por ejemplo,  $M1P1$  corresponde al primer marcador de la máquina con identificador 1 y posición con índice 1.

**Figura 23***Marcadores de la máquina*

#### 4.9. Escena de realidad aumentada

La escena de realidad aumentada fue implementada mediante la librería SceneView para Android, la cual integra el motor de renderizado Filament junto con el kit de desarrollo ARCore de Google. Esta combinación permitió administrar el renderizado de modelos tridimensionales, el seguimiento espacial del dispositivo y el posicionamiento dinámico de contenido virtual durante las sesiones de realidad aumentada.

De acuerdo con Google (2025), ARCore proporciona tres capacidades principales utilizadas durante la implementación de la escena:

1. **Seguimiento de movimiento:** permite identificar y rastrear puntos característicos del entorno, estimando la posición y orientación del dispositivo en tiempo real, mediante visión computacional y sensores inerciales.
2. **Comprensión del entorno:** permite la detección de superficies horizontales, verticales e inclinadas.
3. **Estimación de luz:** permite aproximar las condiciones de iluminación del entorno para mejorar la integración visual de modelos renderizados.

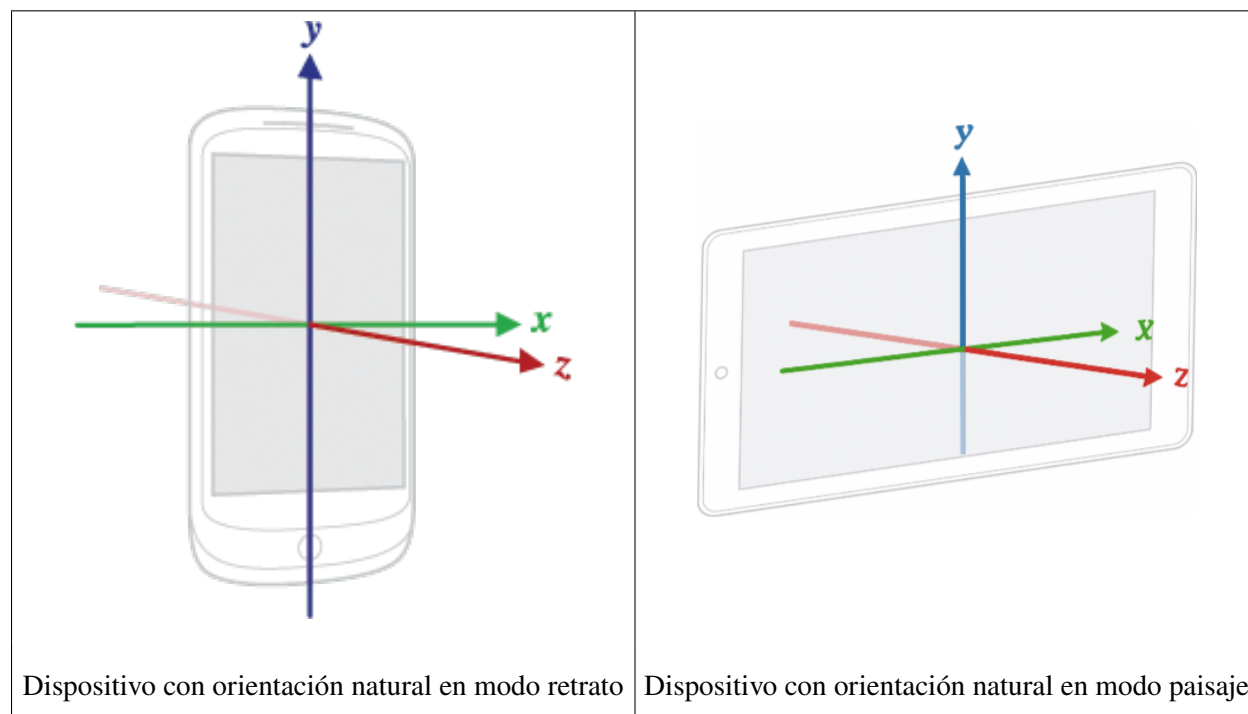
#### 4.9.1. Sistema de coordenadas de la escena

Durante la implementación de la escena de realidad aumentada fue necesario trabajar con el sistema de coordenadas utilizado por ARCore y los dispositivos Android para garantizar el posicionamiento correcto de los modelos tridimensionales. Este sistema corresponde a un esquema de coordenadas de mano derecha definido respecto a la orientación natural de la pantalla del dispositivo (ver Figura 24).

Dentro de este sistema, el eje X se extiende horizontalmente hacia la derecha de la pantalla, el eje Y verticalmente hacia arriba y el eje Z perpendicular al plano de la pantalla en dirección al usuario.

**Figura 24**

*Sistema de coordenadas de dispositivos*



*Nota. Extraído de Información general de sensores, por Google, 2026, Android Developers.*

*[https://developer.android.com/develop/sensors-and-location/sensors/sensors\\_overview?hl=es](https://developer.android.com/develop/sensors-and-location/sensors/sensors_overview?hl=es)*

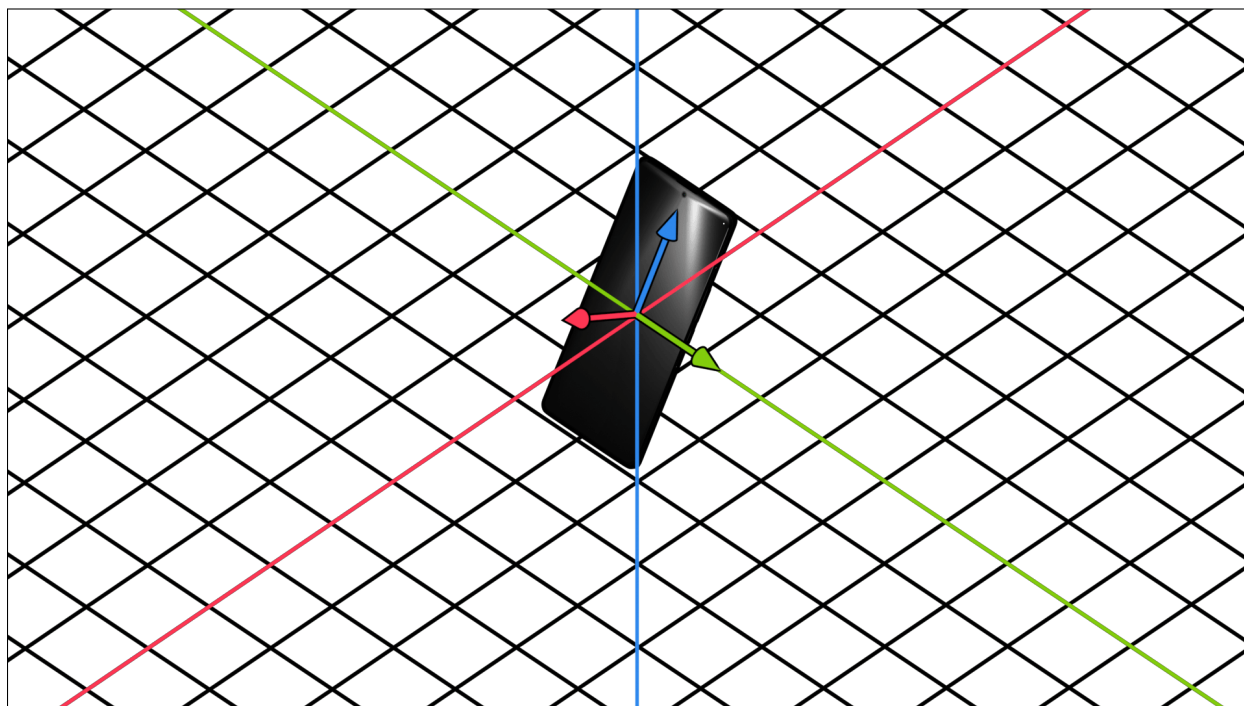
Durante las pruebas de posicionamiento se observó que la orientación física del dispositivo no altera la definición de los ejes del sistema de coordenadas. Esto permitió mantener la alineación



vertical de los modelos respecto al suelo al iniciar sesiones de realidad aumentada, independientemente de la dirección hacia la cual estuviera orientada la cámara, como se muestra en la Figura 25.

**Figura 25**

*Sistema de coordenadas de la escena virtual de realidad aumentada contra el dispositivo físico*



#### **4.10. Nodos de la escena**

La escena de realidad aumentada fue implementada mediante una arquitectura jerárquica de nodos encargada de administrar transformaciones espaciales, renderizado y manipulación de modelos tridimensionales. Esta estructura combinó nodos proporcionados por SceneView y AR-Core junto a nodos personalizados, los cuales fueron desarrollados para resolver limitaciones de posicionamiento, selección y edición de submodelos dentro de la escena.

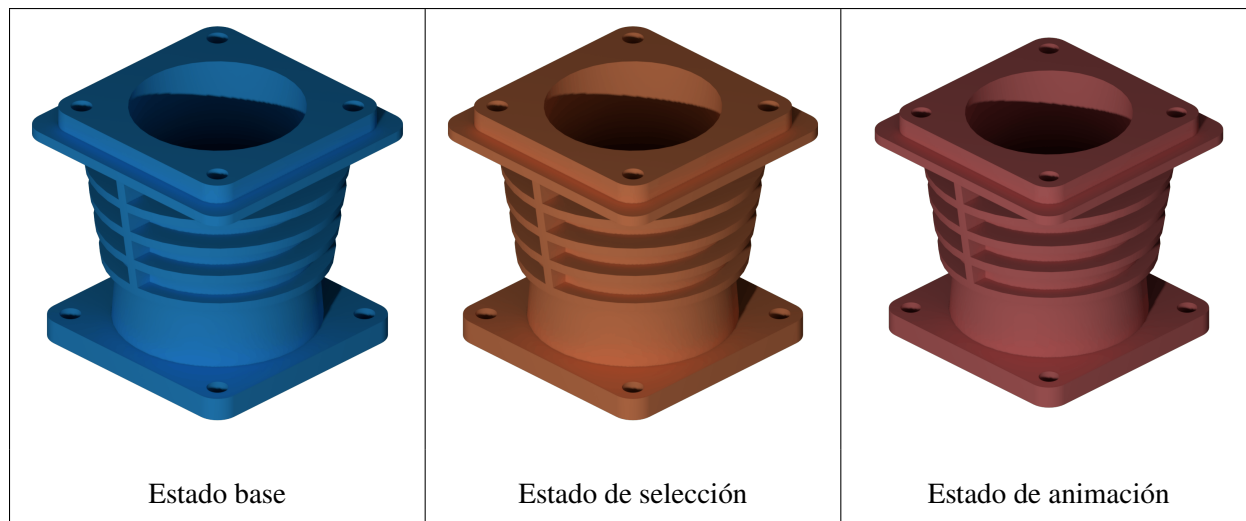
##### **4.10.1. Sistema de colores**

Se implementó un sistema de colores para representar los diferentes estados de los modelos tridimensionales durante la edición de actividades y su interacción en las animaciones. Como se muestra en la Figura 26, este sistema reemplaza todo material definido originalmente en los archivos *.glb*, garantizando una representación visual uniforme y consistente de los estados de los modelos,

independientemente de la máquina o del material asignado durante su proceso de modelado CAD.

**Figura 26**

*Sistema de colores de los modelos*

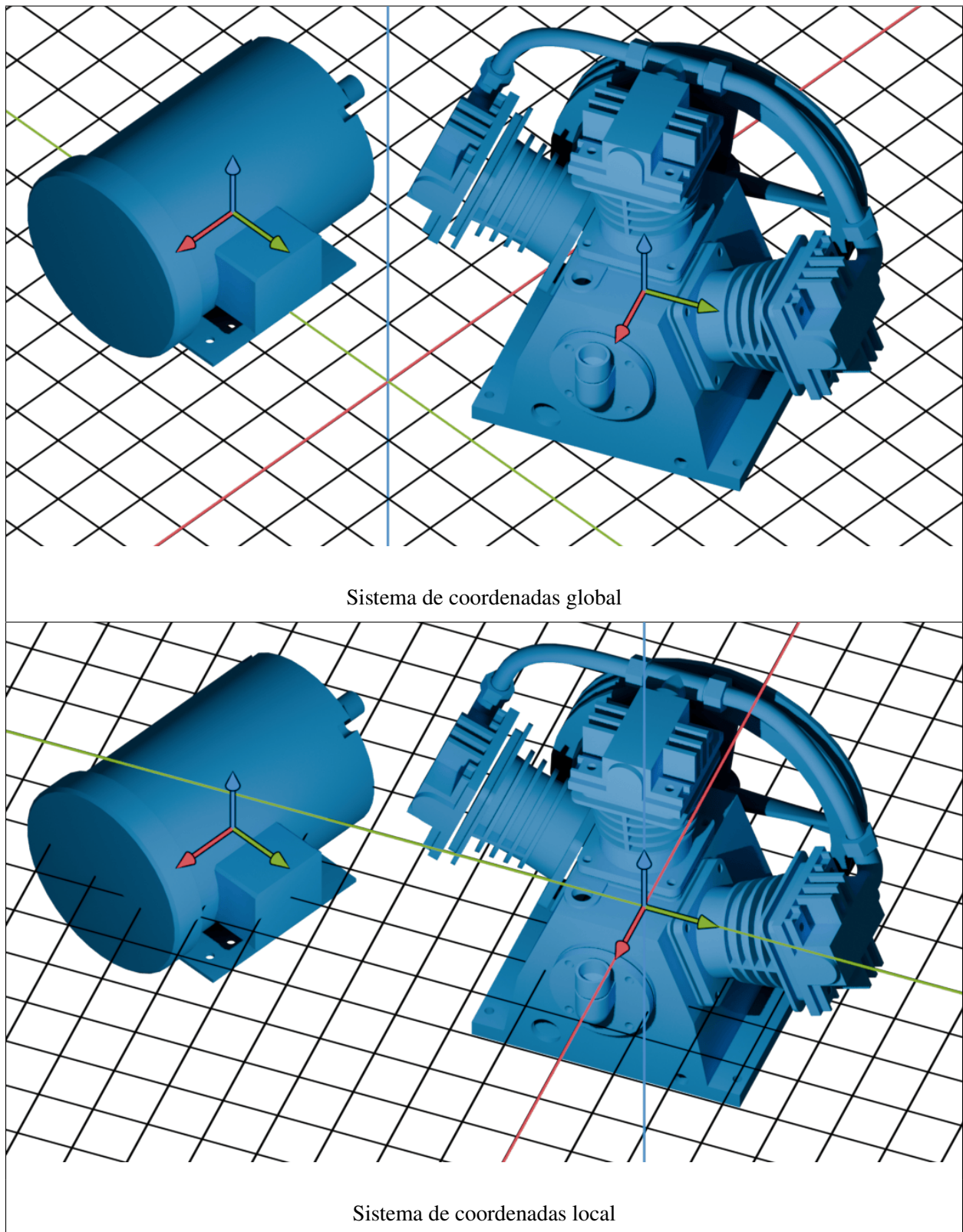


#### **4.10.2. Sistema de coordenadas de los nodos**

El sistema de coordenadas global corresponde al espacio de referencia principal de la escena de realidad aumentada, sobre el cual se determina la posición absoluta de todos los elementos. En contraste, cada nodo define sus transformaciones de posición, rotación y escala mediante un sistema de coordenadas local, establecido con respecto a su nodo padre dentro de la jerarquía de la escena. Esta organización permitió conservar las relaciones espaciales entre nodos padre e hijo, de manera que las transformaciones aplicadas a un nodo padre se propagaran automáticamente a sus descendientes, mientras que los ajustes individuales pudieran realizarse modificando únicamente las coordenadas locales de cada nodo. La representación de los sistemas de coordenadas global y local se muestra en las Figura 27.

**Figura 27**

*Sistema de coordenadas global contra el local de un modelo*

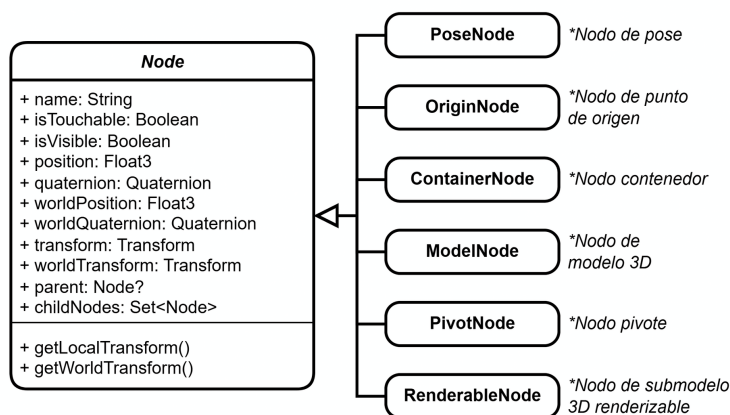


#### 4.10.3. Clase base de los nodos

Para la implementación de la jerarquía de nodos se utilizó inicialmente una clase base encargada de proporcionar propiedades comunes de transformación, interacción y renderizado. A partir de esta estructura se desarrollaron nodos especializados orientados al seguimiento espacial, manipulación de modelos y asistencia visual dentro de la escena de realidad aumentada, como puede observarse en el diagrama de la Figura 28.

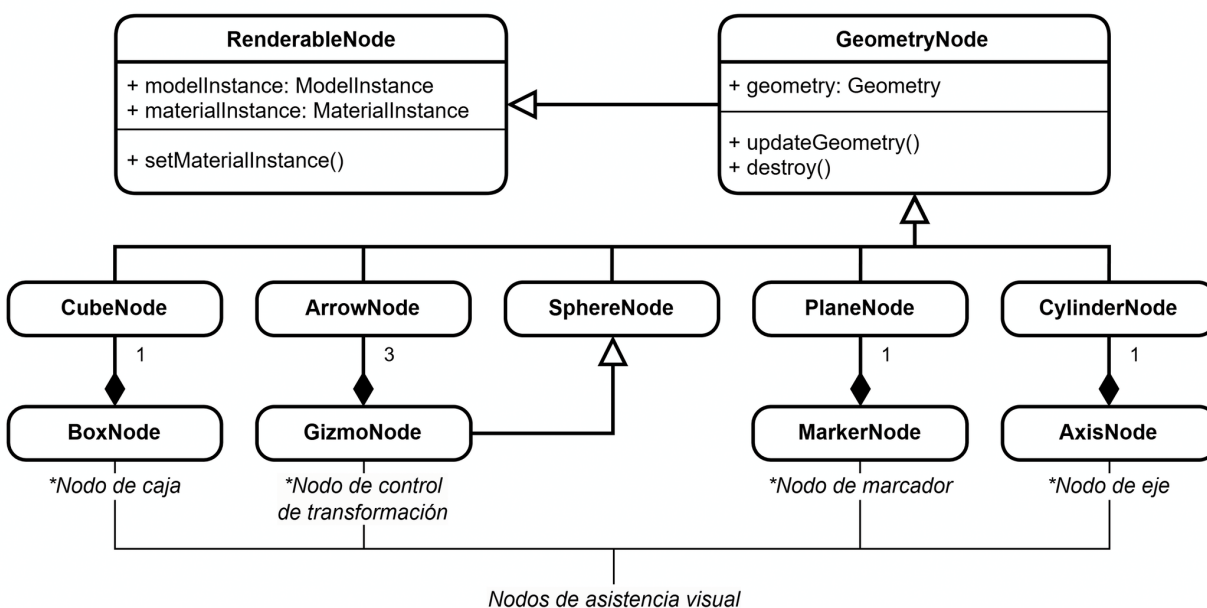
**Figura 28**

*Herencia de la clase base*

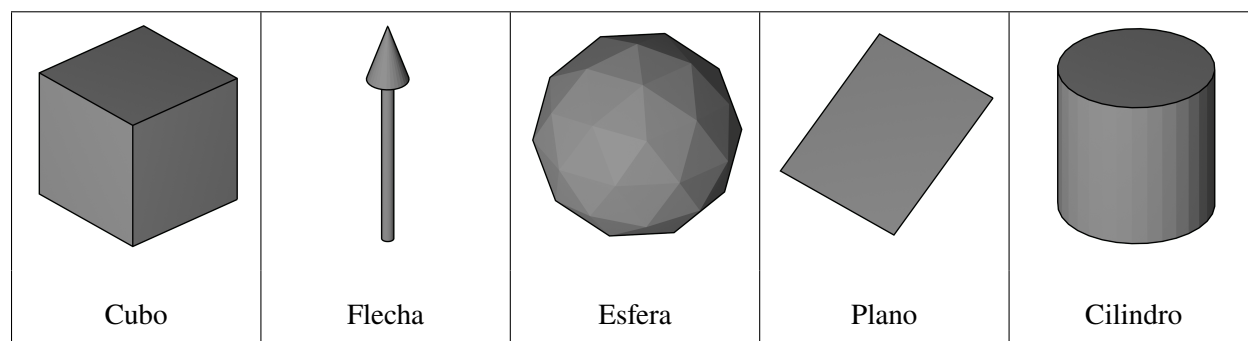


#### 4.10.4. Nodos de asistencia visual

Como parte de la interacción con los modelos tridimensionales, se implementaron nodos geométricos auxiliares utilizados para la representación visual de herramientas de edición y asistencia espacial. Estos nodos permitieron desarrollar elementos interactivos como ejes, cajas de selección, controles de transformación visual y marcadores visuales, como se muestra en la Figura 29.

**Figura 29***Nodos de asistencia visual y sus composiciones*

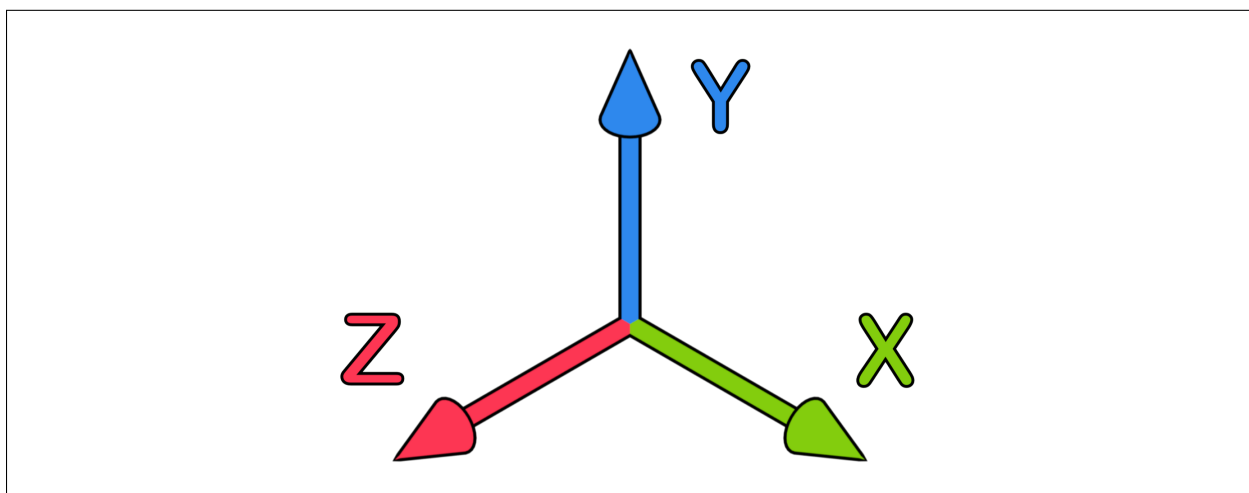
**4.10.4.1. Nodos geométricos** Representaron la base para la construcción de los nodos de asistencia visual dentro de la escena de realidad aumentada. Están compuestos por un conjunto de mallas (*meshes*) formadas mediante primitivas geométricas como puntos, líneas y triángulos. Cada primitiva almacena información propia de geometría, incluyendo vértices, normales, coordenadas UV y materiales asociados. Estos se tratan de figuras tridimensionales simples como cubos, flechas, esferas, planos y cilindros, como se muestra en la Figura 30.

**Figura 30***Nodos geométricos*

**4.10.4.2. Nodo de control de transformación visual.** También denominado *gizmo* o manipulador de transformación, fue implementado como una herramienta de asistencia visual que representa los ejes de transformación de un objeto tridimensional mediante tres flechas finitas orientadas en el sentido positivo de los ejes X, Y y Z, utilizada durante la edición de animaciones o posición de los nodos de escena tridimensionales (ver Figura 31).

**Figura 31**

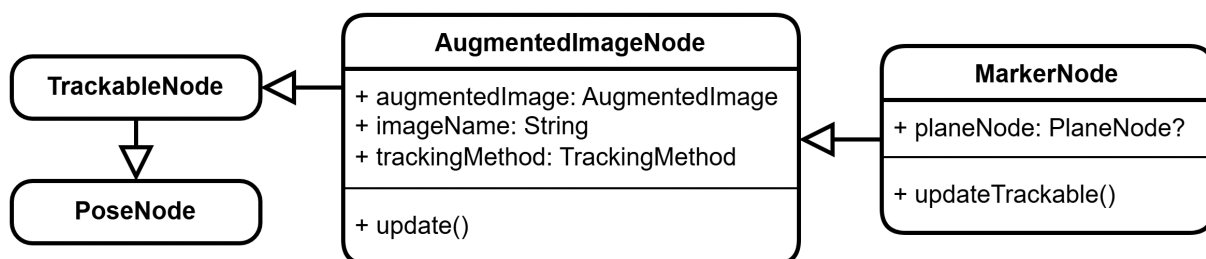
*Nodo de control de transformación visual*



**4.10.4.3. Nodo de marcador.** Equivalente a un objetivo rastreable dentro de una sesión de realidad aumentada, implementa una clase encargada de administrar el seguimiento espacial de imágenes aumentadas detectadas mediante la cámara del dispositivo (ver Figura 32).

**Figura 32**

*Clases heredadas del nodo marcador*

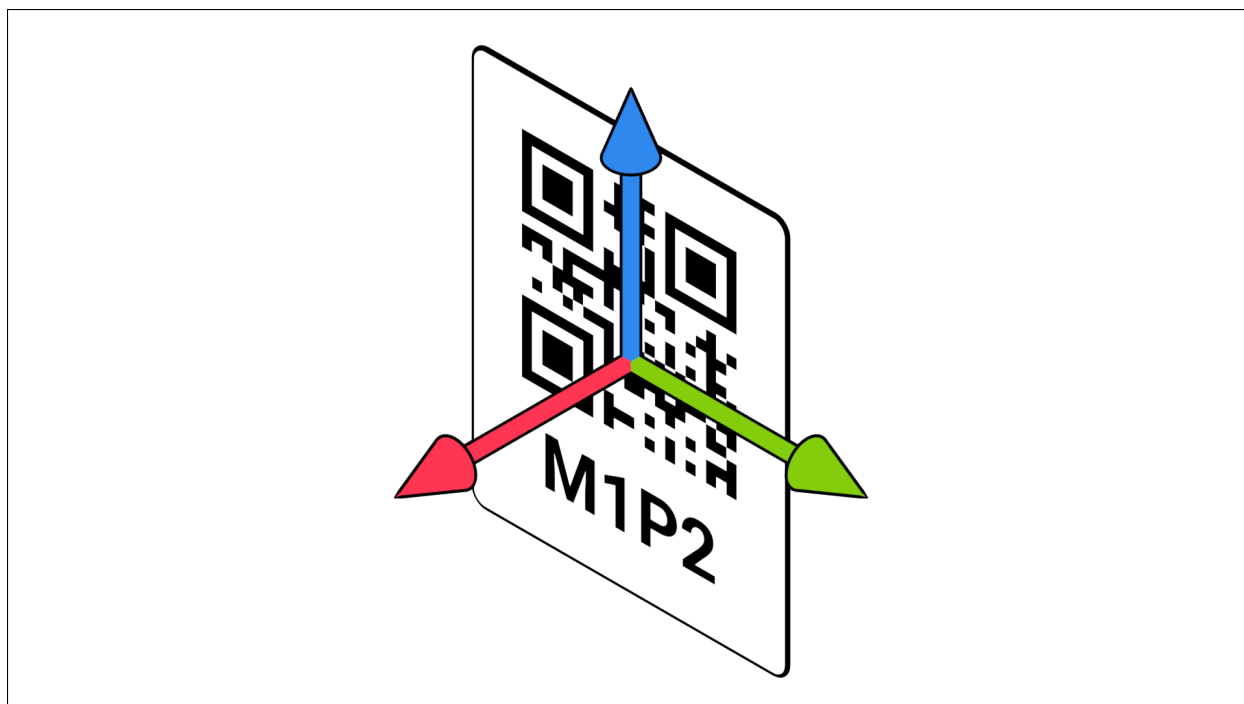




Este comportamiento permite obtener la transformación asociada a un marcador físico detectado dentro de la escena (ver Figura 33) y utilizarla posteriormente para el reposicionamiento dinámico de modelos tridimensionales durante las sesiones de realidad aumentada.

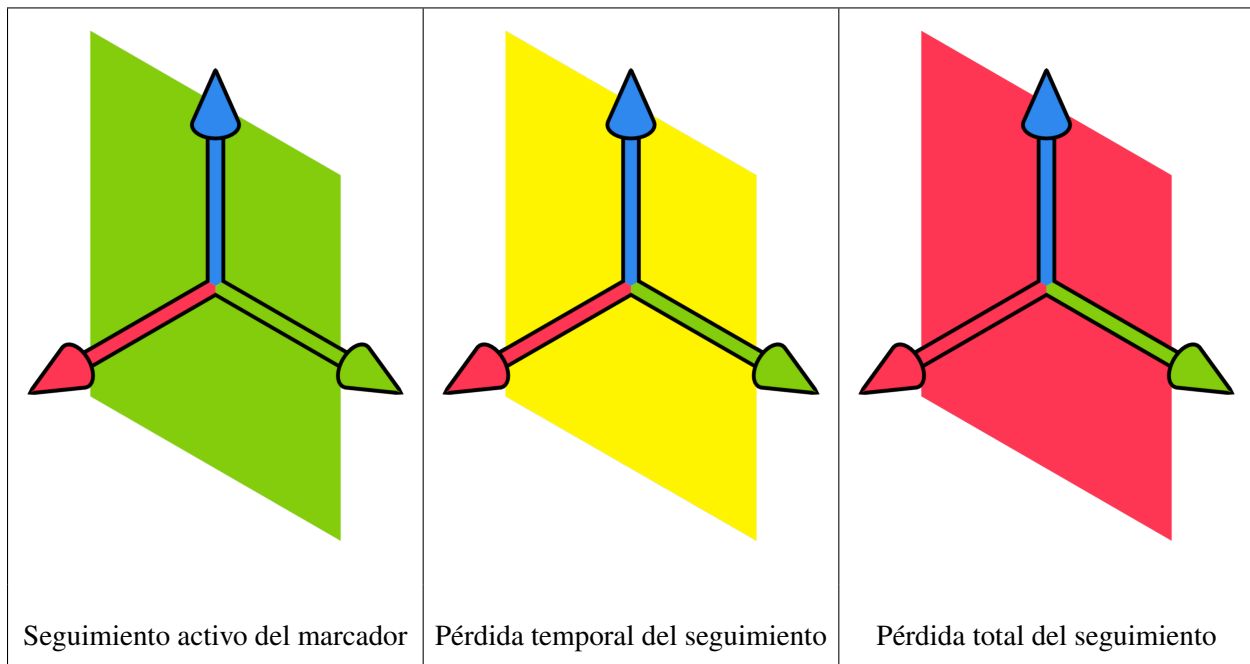
**Figura 33**

*Nodo de marcador*



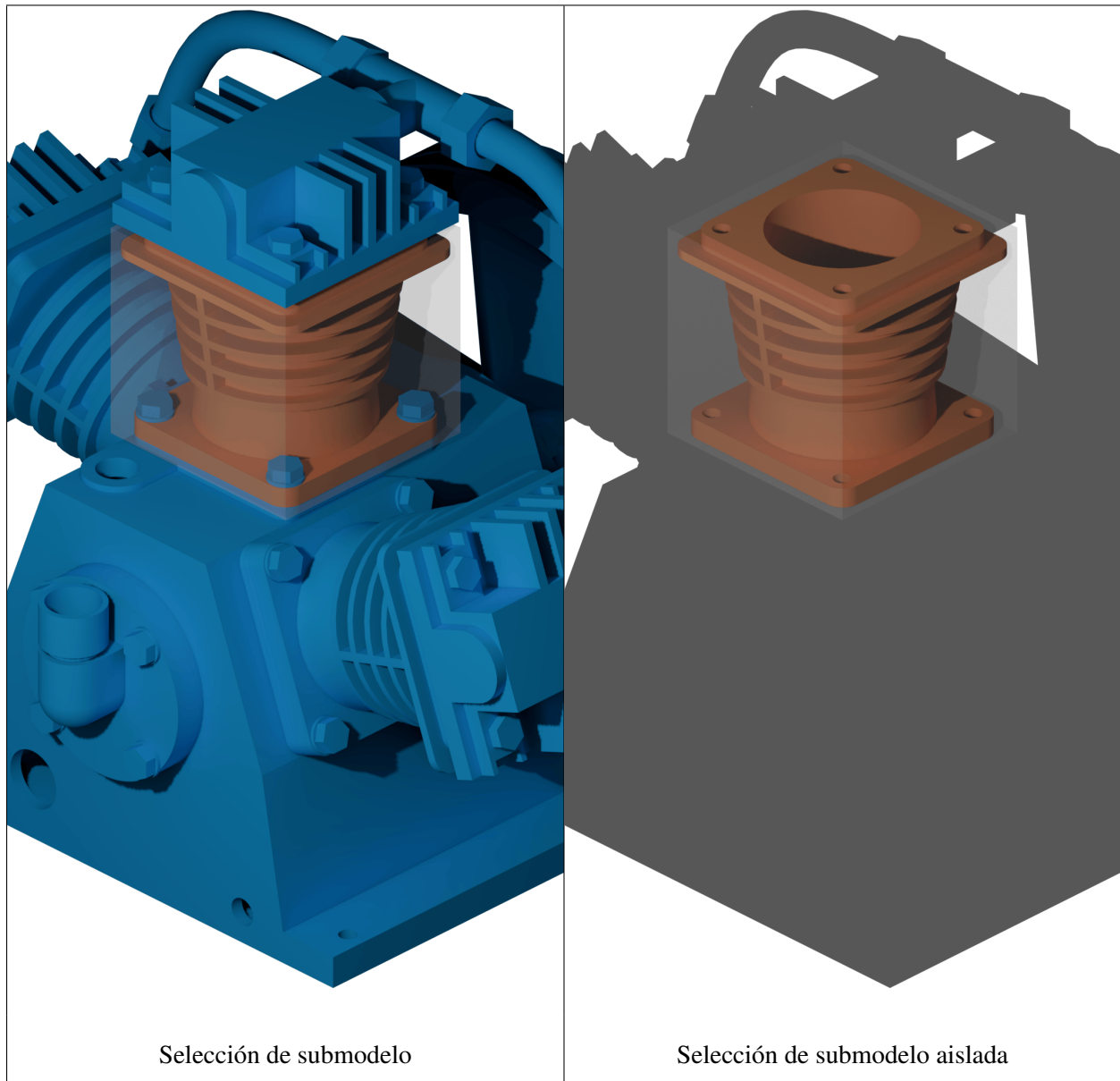
*Nota.* La imagen sólo ilustra la transformación detectada de un marcador físico, este nodo no añade un nodo de control de transformación (*gizmo*).

**4.10.4.3.1. Nodo de plano.** Representa una geometría plana superpuesta al nodo de marcador, utilizado como representación visual del estado de seguimiento de una imagen aumentada detectada mediante la cámara del dispositivo. Usa un esquema de materiales basado en colores: verde para indicar seguimiento activo del marcador, amarillo para indicar pérdida temporal de seguimiento conservando la última posición detectada y rojo para indicar pérdida total tanto del seguimiento como de la última posición registrada del marcador (ver Figura 34).

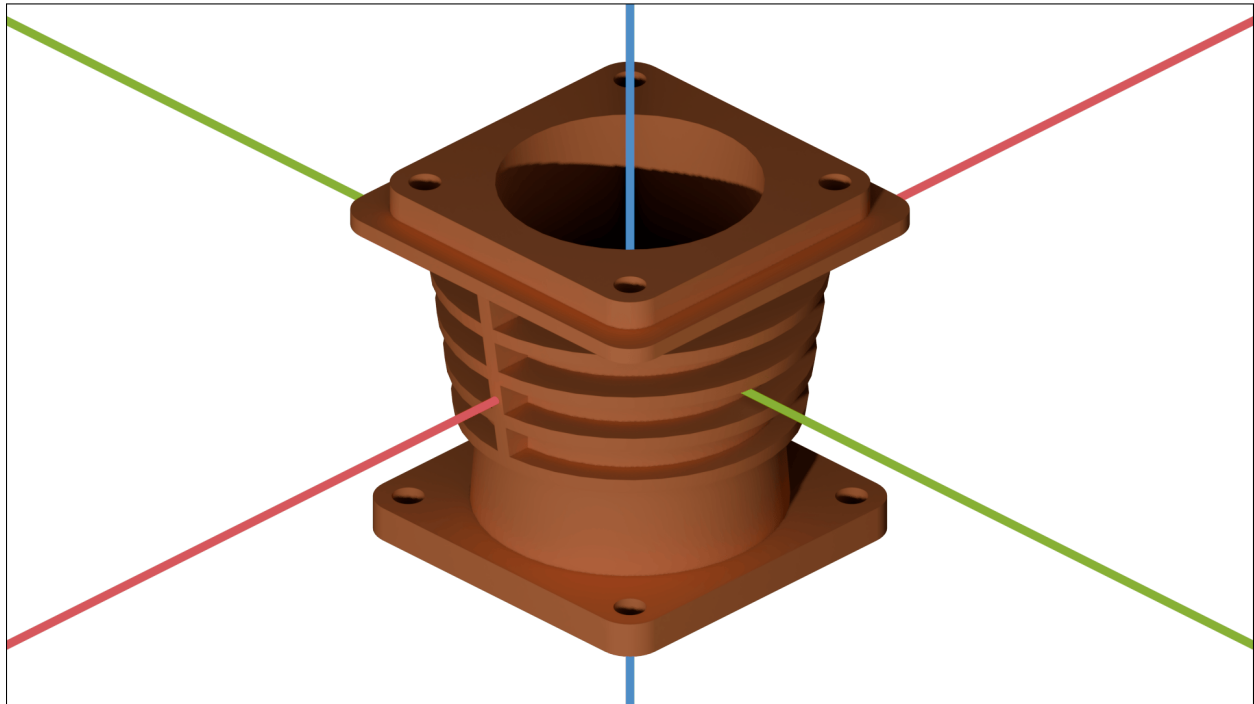
**Figura 34***Estados del nodo de marcador mediante planos*

**4.10.4.4. Nodo de caja.** También conocido como caja delimitadora, corresponde a la representación visual de selección de submodelos tridimensionales mediante un nodo geométrico de caja que envuelve y delimita el elemento seleccionado dentro de la escena de realidad aumentada (ver Figura 35).



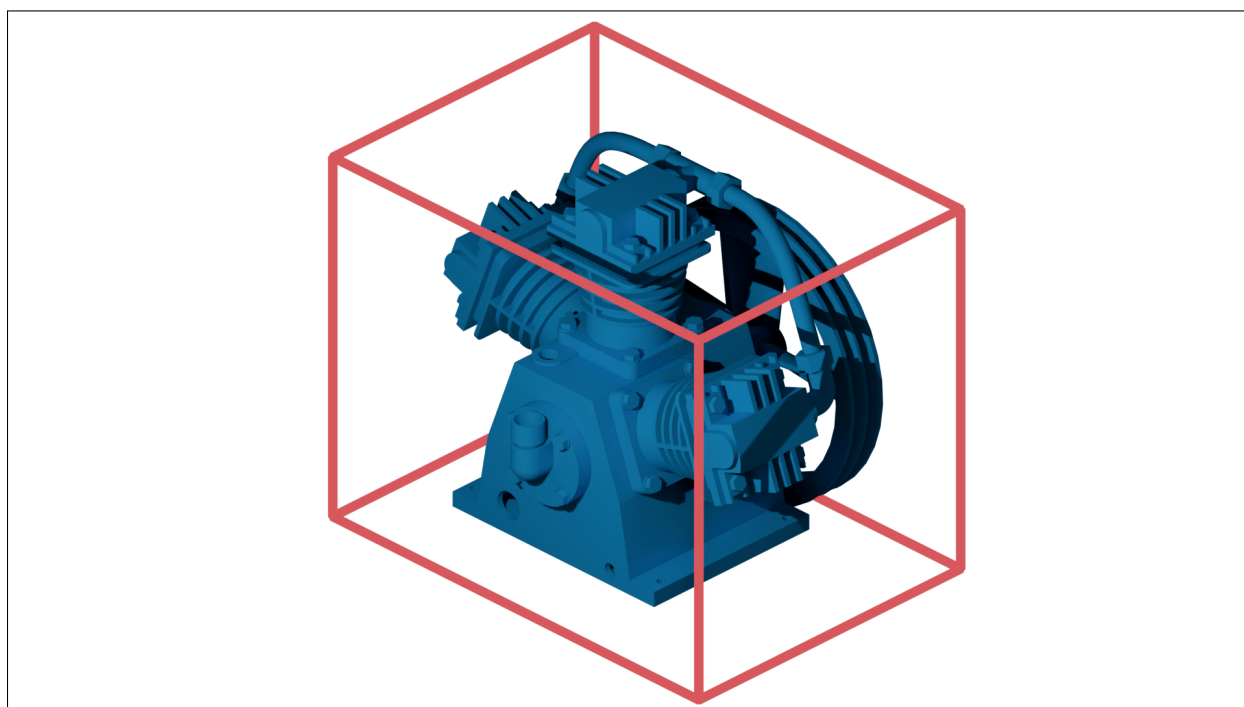
**Figura 35***Nodo de caja de selección*

**4.10.4.5. Nodo de eje.** Implementado como guía visual de transformación que representa espacialmente uno de los ejes X, Y o Z (ver Figura 36). Utilizados durante la manipulación de posición de modelos tridimensionales.

**Figura 36***Nodos de eje***4.10.5. Nodos de escena tridimensionales.**

Los nodos de escena representan el contenido visual tridimensional cargado desde archivos con formato *.glb*.

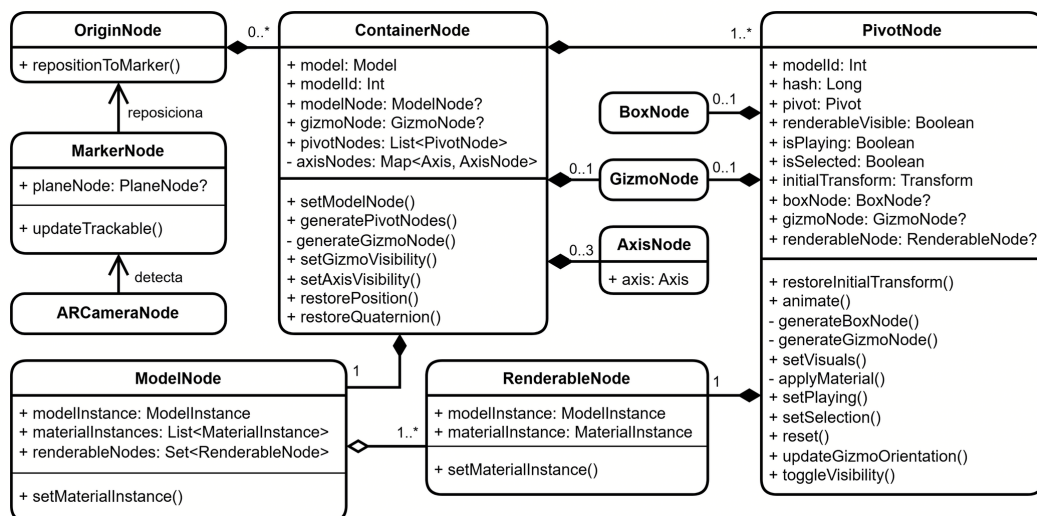
**4.10.5.1. Nodo de modelo.** Representa un modelo 3D con sus partes en su totalidad (ver Figura 37) cargado desde un archivo con formato *.glb*. Este nodo mantiene una referencia a los objetos de sus partes renderizables a través de la propiedad *renderableNodes*.

**Figura 37***Nodo de modelo*

**4.10.5.1.1. Nodo de renderizable.** Representa una malla renderizable individual (submodelo) extraída de un nodo de modelo, correspondiente a un *renderableNode* identificable dentro del archivo *.glb*, al cual se le pueden asignar texturas y materiales de forma individual. Al iniciar la escena es reparentado desde el nodo de modelo a un nodo dedicado a la corrección espacial, permitiendo su manipulación, aplicación de materiales y animación de forma independiente. Sin embargo este preserva el vínculo desde su nodo padre mediante la propiedad de *renderableNodes*.

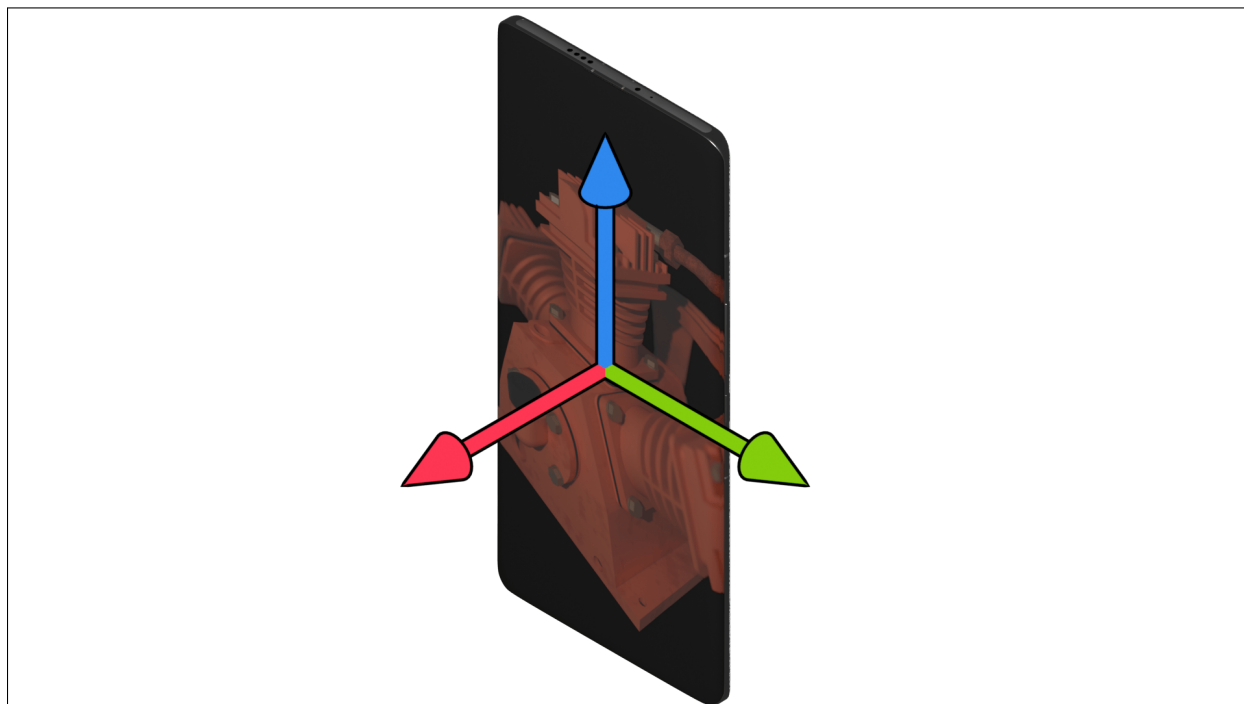
#### **4.10.6. Nodos de jerarquía espacial**

Los nodos de jerarquía espacial estructuran la organización de los modelos tridimensionales dentro de la escena mediante una cadena de parentesco: el nodo de origen agrupa los contenedores del modelo, cada contenedor corrige el centro espacial del modelo y agrupa sus pivotes, y cada pivote corrige el centro espacial de un renderizable individual. Esta jerarquía permite tanto el reposicionamiento en bloque de todos los modelos insertados en la escena de realidad aumentada mediante un marcador, como la manipulación independiente de cada renderizable (ver Figura 38).

**Figura 38***Jerarquía completa de nodos*

Cada nodo mantiene una transformación local relativa a su nodo padre, permitiendo construir estructuras espaciales jerárquicas y conservar relaciones de posición y orientación entre los distintos elementos de la escena.

**4.10.6.1. Nodo de cámara de realidad aumentada.** Representa una cámara virtual desde la cual se observa la perspectiva de la escena de realidad aumentada. Su posición y rotación están ligadas al movimiento físico del dispositivo en el mundo real, controladas por ARCore, siendo la vista principal donde se renderiza la escena tridimensional (ver Figura 39).

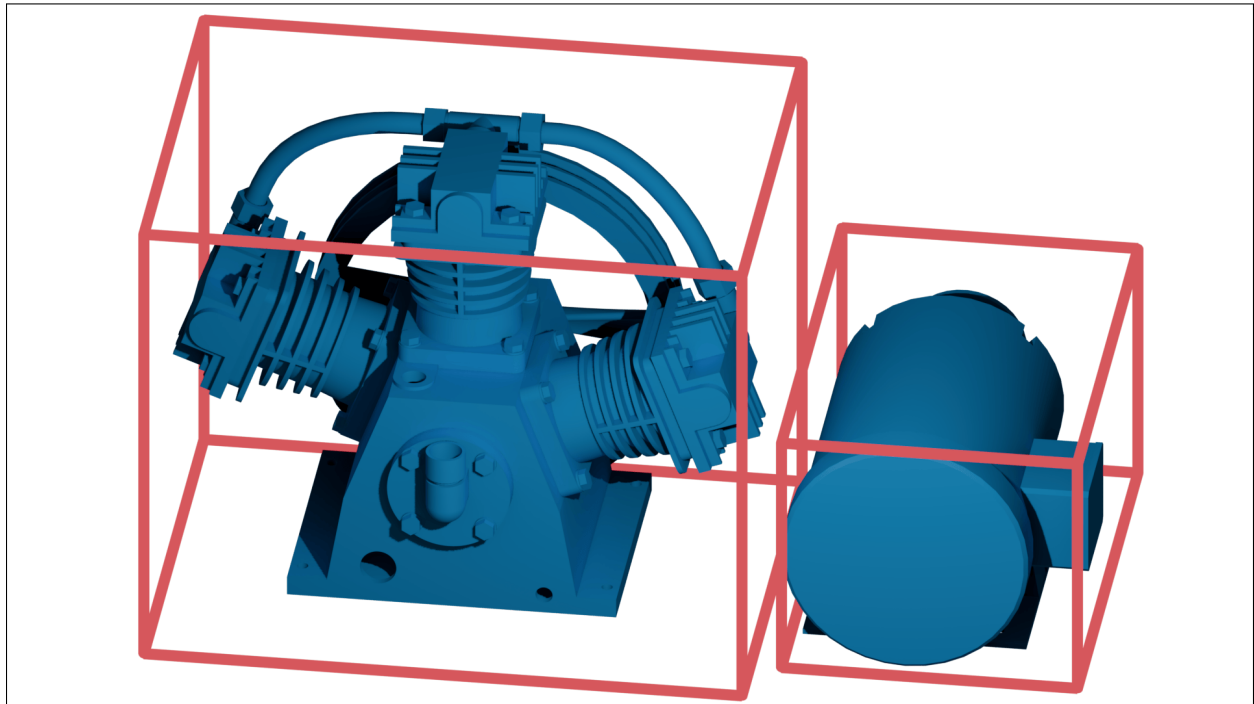
**Figura 39***Nodo de cámara de realidad aumentada*

**4.10.6.2. Nodo de origen.** Actúa como raíz de la jerarquía de los modelos en la escena, agrupando nodos de contenedor como hijos directos, permitiendo el reposicionamiento en bloque de sus descendientes a partir del desplazamiento calibrado respecto a un nodo de marcador almacenado en la base de datos.

**4.10.6.3. Nodo de contenedor.** Contiene únicamente un nodo de modelo como hijo directo (ver Figura 40), corrigiendo el centro espacial real del modelo cuando el origen geométrico exportado no coincide con el centro visual de la malla, y agrupando todos sus nodos de pivote hijos. Adicionalmente, permite anexar bajo demanda nodos de asistencia visual desde su centro corregido: un nodo de control de transformación visual (*gizmo*) y hasta tres nodos de eje independientes, uno por cada eje X, Y y Z.

**Figura 40**

*Nodos contenedores de modelos*

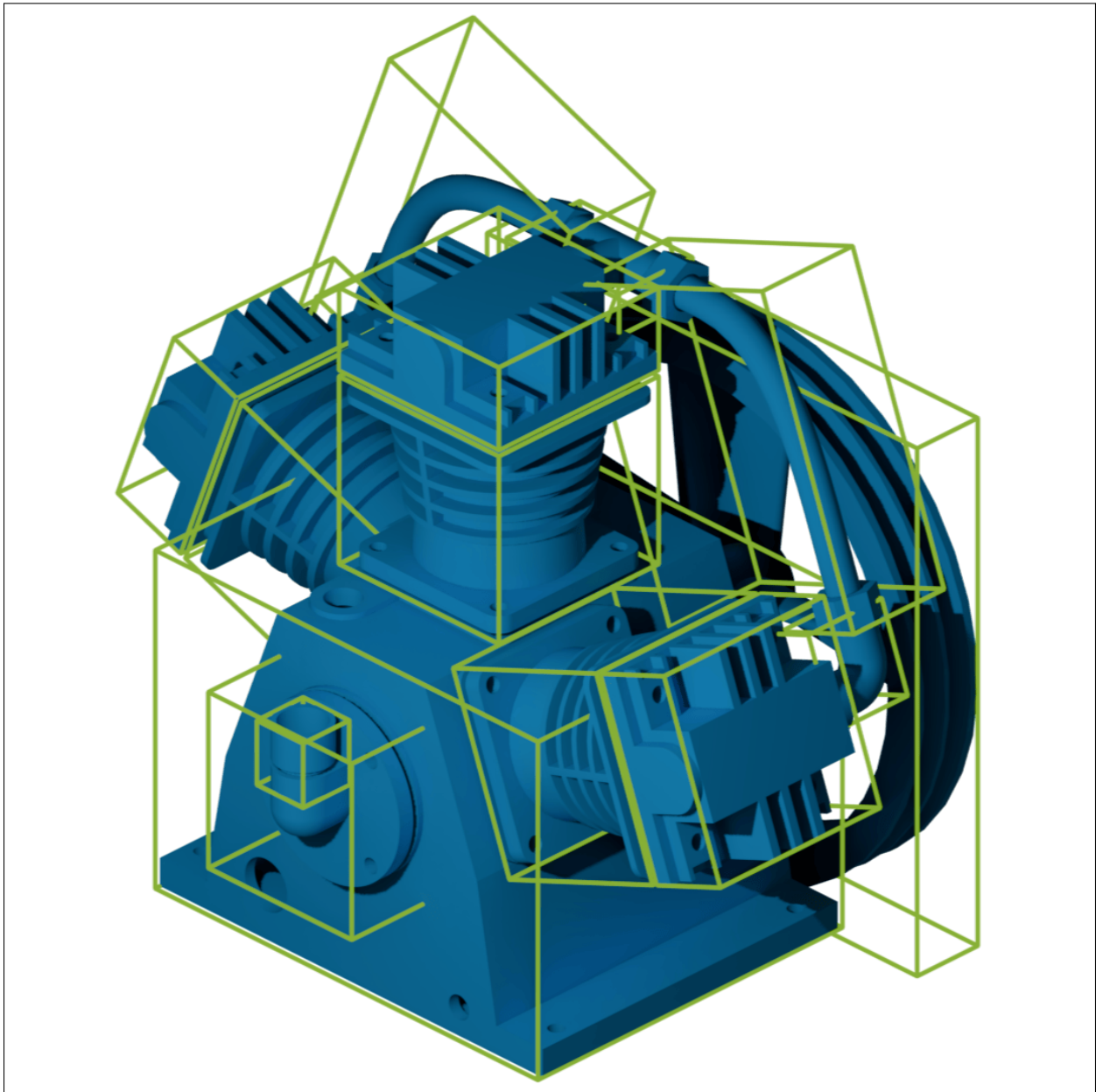


*Nota.* Cada modelo es cargado de un archivo .glb diferente

**4.10.6.4. Nodo de pivote.** Contiene únicamente un nodo renderizable o submodelo como hijo directo (ver Figura 41), cumpliendo una función análoga al nodo de contenedor sobre cada renderizable individual. Es hijo del nodo de contenedor correspondiente a su modelo. De igual forma, permite anexar bajo demanda un nodo de control de transformación visual (*gizmo*) y un nodo de caja delimitadora, ambos anclados desde el centro corregido del renderizable.

**Figura 41**

*Nodos pivotes de renderizables de un modelo*



*Nota.* Se utiliza una versión simplificada del modelo con un número reducido de submodelos para ilustrar con mayor claridad la estructura de nodos pivote.

#### **4.10.7. Sesión de realidad aumentada**

Una sesión de ARCore es la clase encargada de gestionar el ciclo de vida y el estado del sistema de realidad aumentada. Este proceso comprende desde la configuración e inicialización

del entorno, hasta su ejecución activa, etapa en la cual se llevan a cabo las tareas de detección e interacción.

**4.10.7.1. Configuración inicial.** La configuración inicial define los parámetros que controlan la experiencia antes de iniciar el procesamiento de la escena de realidad aumentada. En este proyecto la configuración inicial se establece mediante el bloque de código del Apéndice K, el cual ajusta los siguientes parámetros:

1. Enfoque automático: Activado para que la cámara mantenga la nitidez sin intervención del usuario.
2. Estimación de luz: Desactivada porque la aplicación utiliza principalmente materiales que no interactúan con la luz o tienen un sombreado estilo cartoon en donde la iluminación real tiene un impacto limitado y controlado.
3. Ubicación instantánea: Desactivada con el fin de evitar estimaciones geométricas preliminares imprecisas y priorizar el procesamiento en los algoritmos principales de la aplicación.
4. Modo de profundidad: Habilitado si el dispositivo es compatible, para obtener un mapa de profundidad más preciso.
5. Búsqueda de planos: Activada para brindar una mejor experiencia de usuario (UX). Permitiendo visualizar una nube de puntos, confirmando visualmente que ARCore está funcionando.

#### **4.11. Diseño de las interfaces gráficas**

El diseño de la interfaz gráfica se desarrolló con el objetivo de proporcionar una experiencia de usuario consistente, intuitiva y adaptada a las necesidades identificadas durante la fase de requerimientos y restricciones. Para ello, se definió un sistema de diseño basado en componentes reutilizables y patrones de interacción uniformes, buscando mantener una apariencia homogénea en toda la aplicación, facilitar la navegación y simplificar la incorporación de nuevas funcionalidades.

La interfaz del aplicativo está conformada por un conjunto de pantallas organizadas según el flujo de navegación de la Figura 18. Asimismo, incorpora componentes reutilizables que mantienen la consistencia visual y funcional entre las diferentes secciones del sistema. El código fuente puede



consultarse en el Apéndice L. En los siguientes apartados se describen los principales componentes de la interfaz y la organización de las pantallas que conforman el aplicativo.

#### ***4.11.1. Diseño de los componentes comunes***

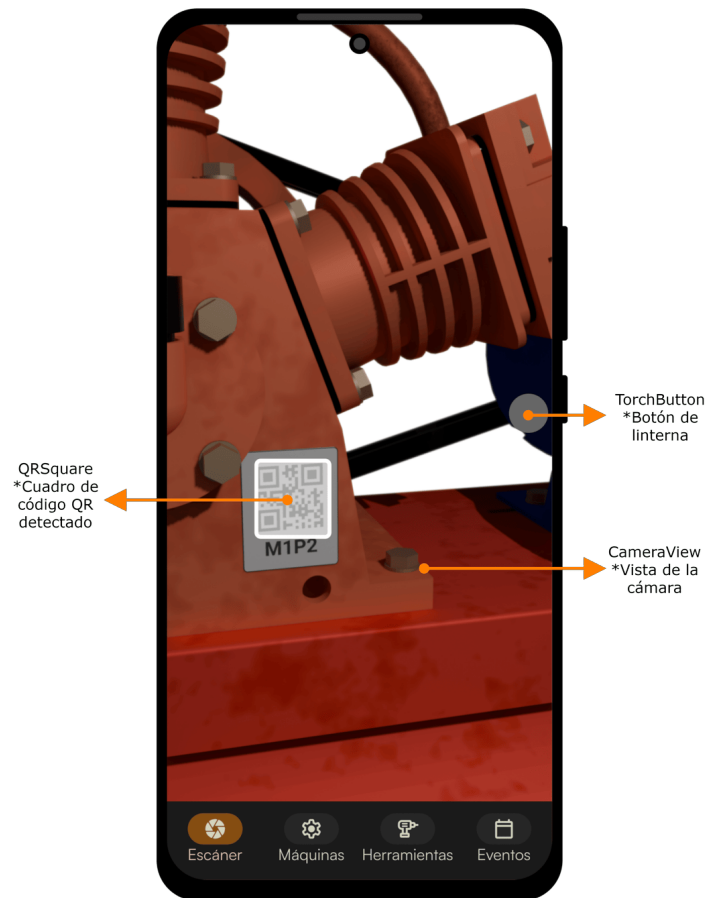
Con el propósito de mantener la consistencia visual y funcional del aplicativo, se definió un conjunto de componentes reutilizables empleados en múltiples pantallas. Estos componentes fueron diseñados siguiendo una misma línea gráfica, permitiendo un comportamiento uniforme durante la interacción del usuario.

Entre los componentes desarrollados se encuentran botones con iconografía, tarjetas con imagen principal para representar recursos relevantes, barras superiores para navegación, barras superiores con función de búsqueda integrada, controles de filtrado para la organización de contenidos y botones con indicadores numéricos utilizados para mostrar cantidades o estados de determinados elementos (ver Apéndice M). La reutilización de estos componentes facilita el mantenimiento de la interfaz y mejora la experiencia de uso al conservar patrones de interacción familiares para el usuario.

#### ***4.11.2. Diseño de las pantallas de la navegación principal***

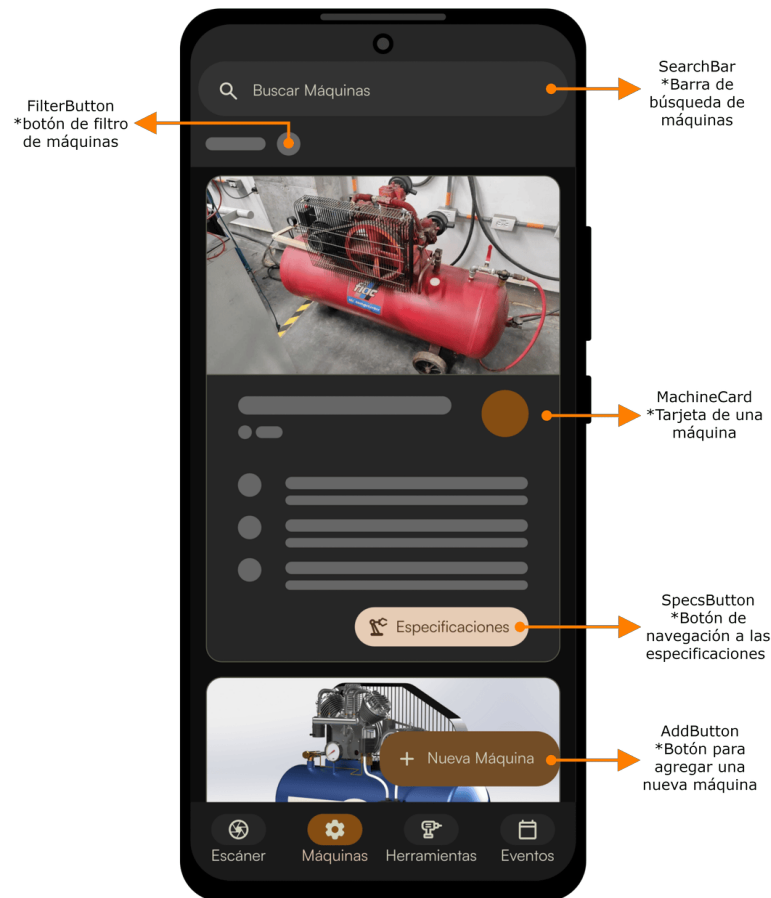
Las pantallas de la navegación principal constituyen el punto de acceso a las funcionalidades más importantes de la aplicación. Su diseño prioriza el acceso rápido a las funciones de mayor frecuencia de uso, permitiendo al usuario desplazarse de forma intuitiva entre los diferentes módulos del sistema mediante una estructura de navegación consistente.

**4.11.2.1. La pantalla de escáner** permite acceder a la información de una máquina mediante el reconocimiento de uno de sus marcadores físicos. Para ello, la interfaz prioriza el uso de la cámara del dispositivo y presenta únicamente los controles necesarios para iniciar el proceso de detección, reduciendo los elementos visuales que puedan interferir durante la captura.

**Figura 42***Pantalla de escáner de marcadores*

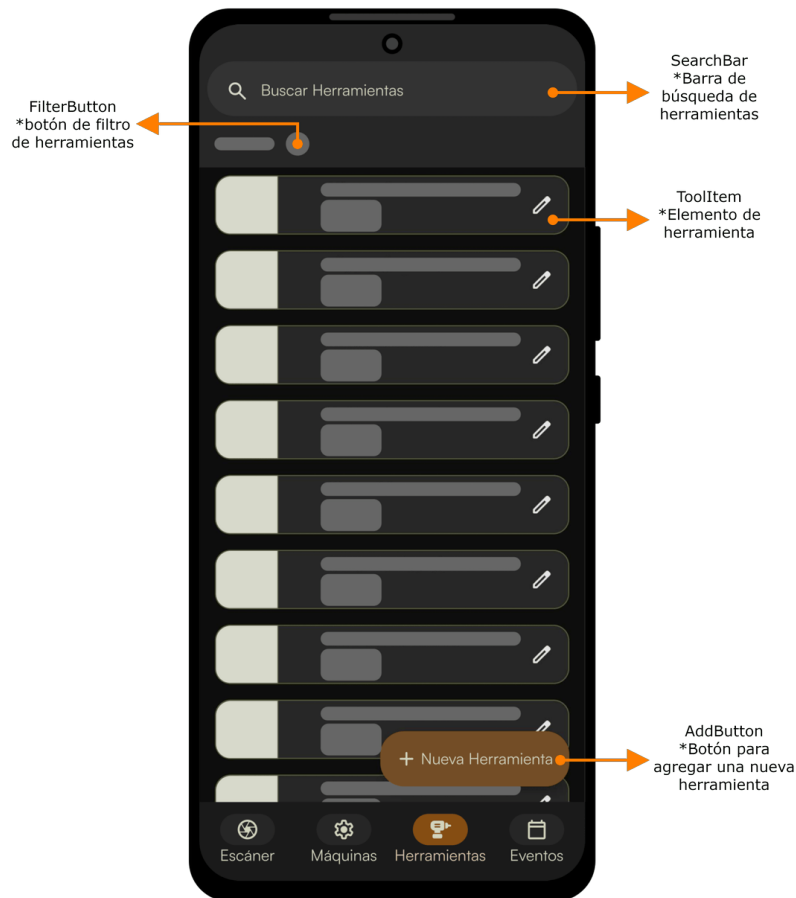
Como se observa en la Figura 42, una vez detectado el marcador, el usuario puede acceder a la información de la máquina seleccionando el cuadro de reconocimiento que se superpone sobre el código QR identificado.

**4.11.2.2. La pantalla de máquinas** reúne el listado de equipos registrados dentro del sistema, permitiendo al usuario localizar rápidamente una máquina específica.

**Figura 43***Pantalla de listado de máquinas*

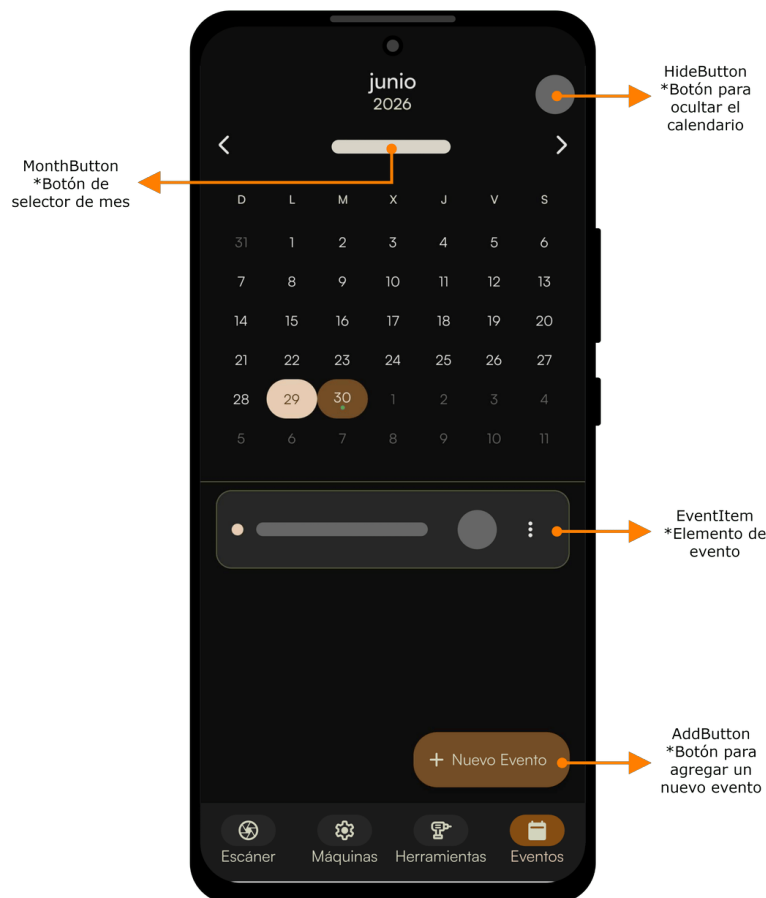
La Figura 43 muestra una interfaz organizada mediante tarjetas que representan cada equipo, complementadas con herramientas de búsqueda y filtrado que facilitan la exploración del inventario de máquinas.

**4.11.2.3. La pantalla de herramientas** permite administrar las herramientas disponibles para el usuario dentro del aplicativo, las cuales podrán asociarse posteriormente a las operaciones definidas en las actividades de mantenimiento.

**Figura 44***Pantalla de listado de herramientas*

Como se aprecia en la Figura 44, la interfaz organiza las herramientas registradas en un listado que facilita su consulta y administración antes de ser utilizadas durante la configuración de las actividades.

**4.11.2.4. La pantalla de eventos** centraliza las actividades programadas y el historial de intervenciones realizadas sobre las máquinas registradas en el sistema.

**Figura 45***Pantalla de cronograma de eventos*

La Figura 45 presenta una interfaz orientada al seguimiento cronológico de los eventos, permitiendo consultar de forma rápida la información asociada a cada actividad registrada.

#### **4.11.3. Diseño de las pantallas de información técnica**

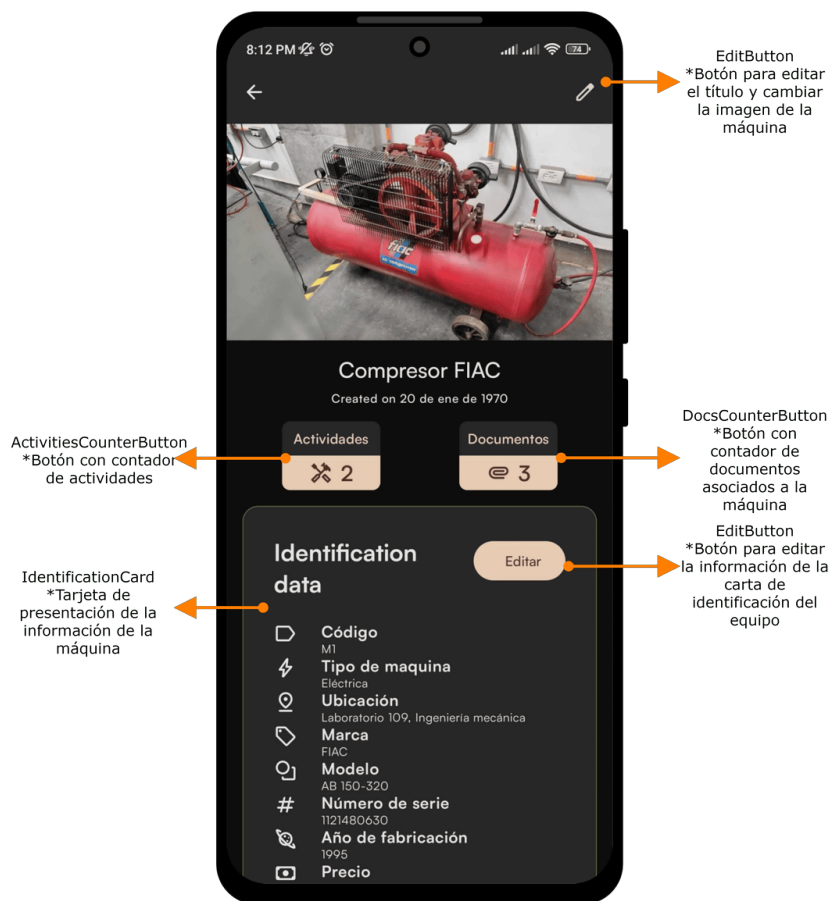
Las pantallas de consulta de información concentran los diferentes recursos asociados a cada máquina registrada en el sistema. Este grupo está conformado por las pantallas de especificaciones, documentación y actividades de mantenimiento. Aunque cada una presenta un contenido diferente, comparten una distribución similar de los elementos de interfaz, favoreciendo una experiencia de usuario consistente.

**4.11.3.1. La pantalla de especificaciones** concentra la información técnica correspondiente a la máquina seleccionada, permitiendo consultar sus principales características de manera

organizada, incorporando una imagen principal del equipo cuando esta se encuentra disponible para facilitar su identificación.

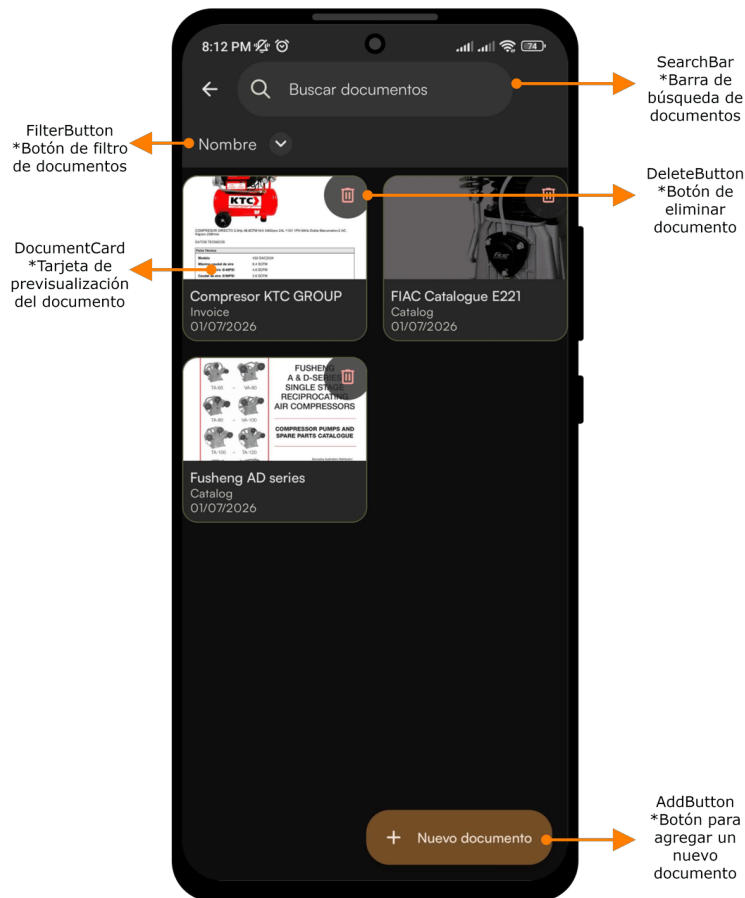
**Figura 46**

*Pantalla de especificaciones*



Como se observa en la Figura 46, la información se presenta mediante tarjetas temáticas presentes en los Apéndices N y Ñ.

**4.11.3.2. La pantalla de documentación** permite consultar los documentos PDF asociados a una máquina específica, centralizando manuales, instructivos u otros archivos técnicos relevantes para el proceso de mantenimiento.

**Figura 47**
*Pantalla de documentos*


Como se aprecia en la Figura 47, los documentos se presentan en forma de malla, permitiendo acceder rápidamente a cada archivo para su consulta desde el propio dispositivo móvil.

**4.11.3.3. La pantalla de actividades de mantenimiento** reúne las diferentes actividades registradas para la máquina seleccionada, constituyendo el punto de acceso a los procedimientos de realidad aumentada.

**Figura 48***Pantalla de actividades de mantenimiento*

Como se muestra en la Figura 48, las actividades se presentan en un listado organizado que facilita su consulta y selección. Desde esta pantalla el usuario puede identificar el procedimiento de mantenimiento que desea ejecutar antes de iniciar la correspondiente sesión de realidad aumentada.

#### **4.11.4. Diseño de las pantallas de configuración previa de realidad aumentada**

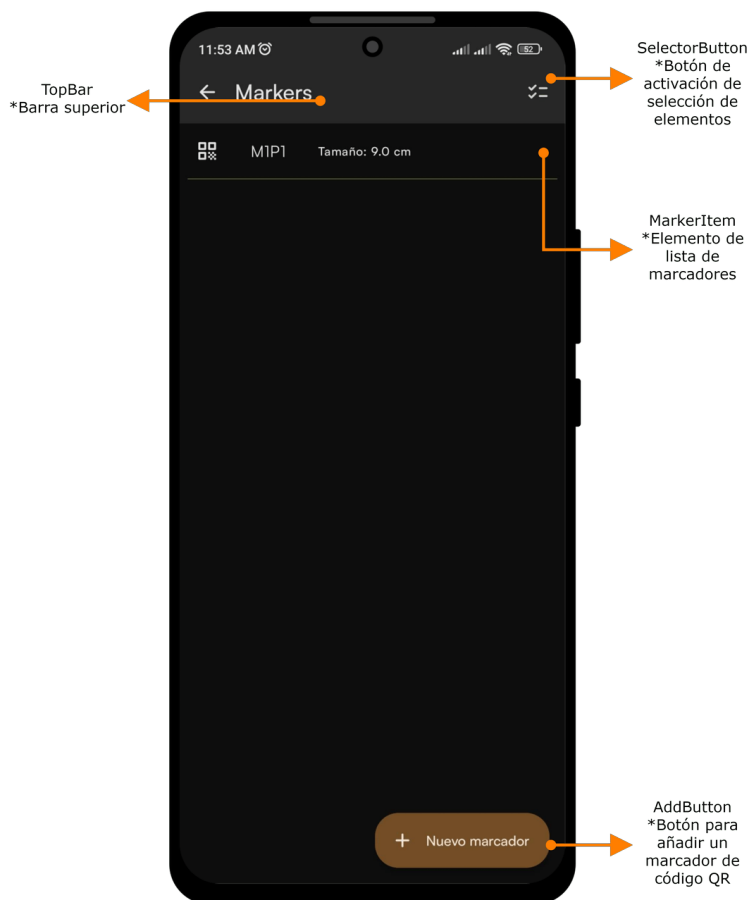
La configuración de las escenas de realidad aumentada se realiza mediante un flujo compuesto por tres pantallas principales, las cuales permiten preparar todos los elementos necesarios antes de ejecutar una sesión de mantenimiento asistida. Este flujo comprende la creación de marcadores, la calibración de los modelos tridimensionales y la definición de las actividades de mantenimiento que posteriormente serán visualizadas durante la experiencia de realidad aumentada.



**4.11.4.1. Pantalla de marcadores** El proceso de configuración de una escena de realidad aumentada inicia con la creación de los marcadores que servirán como referencia espacial para cada máquina. Para ello, el aplicativo incorpora la pantalla de marcadores, la cual permite generar y administrar los códigos QR asociados a los diferentes equipos.

**Figura 49**

*Pantalla de marcadores*



Como se observa en la Figura 49, la interfaz presenta el listado de marcadores registrados y proporciona las opciones necesarias para crear nuevos marcadores o administrar los existentes. Además, incorpora una función para exportarlos conjuntamente en un único archivo PDF, facilitando su impresión o laminación para su utilización en el entorno real.

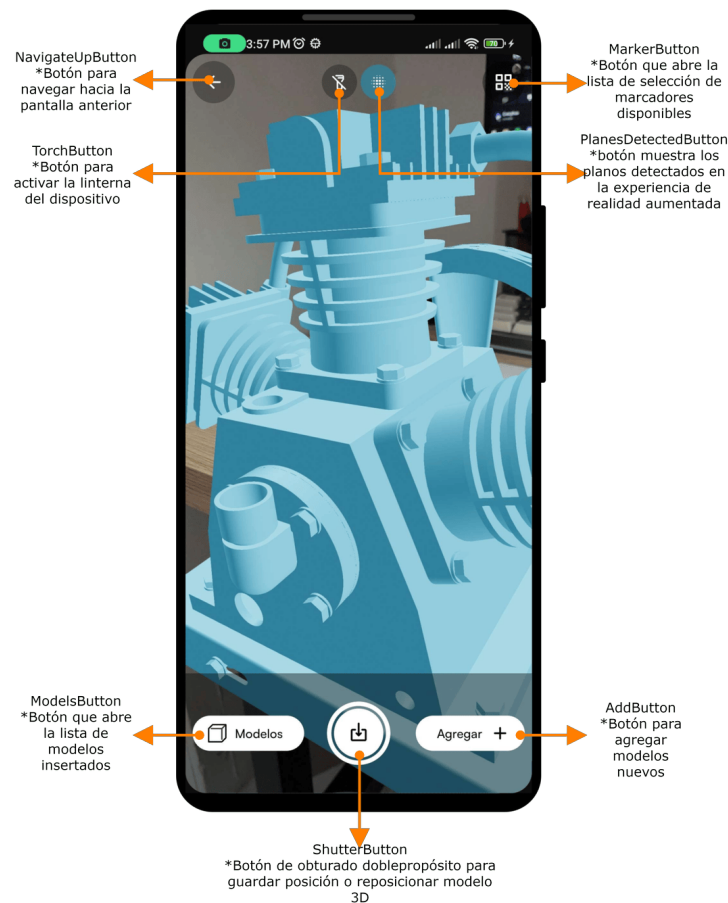
Una vez impresos, estos marcadores actúan como referencia para el posicionamiento y seguimiento de los modelos tridimensionales durante las sesiones de realidad aumentada, consti-

tuyendo el punto de partida para el proceso de calibración descrito a continuación.

**4.11.4.2. Pantalla de calibración de modelos 3D** Después de crear los marcadores, el usuario continúa con la calibración de los modelos tridimensionales mediante la pantalla de calibración, donde se define la posición y orientación que tendrán los modelos con respecto al marcador físico seleccionado.

**Figura 50**

*Pantalla de calibración de modelos 3D*



Como se aprecia en la Figura 50, la interfaz incorpora un selector de marcadores, herramientas para la inserción de modelos en formato **.glb**, un menú destinado al reposicionamiento de los modelos 3D y un botón de obturador con doble funcionalidad. Una pulsación simple permite guardar la posición actual de los modelos, mientras que al mantenerlo presionado se reposicionan tomando como referencia el marcador activo de la escena.

Antes de habilitar las funciones de edición, el usuario debe escanear el marcador físico mediante la cámara del dispositivo. Cuando el reconocimiento se realiza correctamente, la aplicación proyecta un nodo de plano virtual sobre el marcador para indicar el estado del seguimiento visto en la Figura 34.

Una vez detectado el marcador, se habilitan las herramientas de edición. El usuario puede insertar modelos tridimensionales y ajustar su posición y orientación respecto al marcador seleccionado, estableciendo la configuración espacial que será utilizada posteriormente durante la ejecución de la experiencia de realidad aumentada.

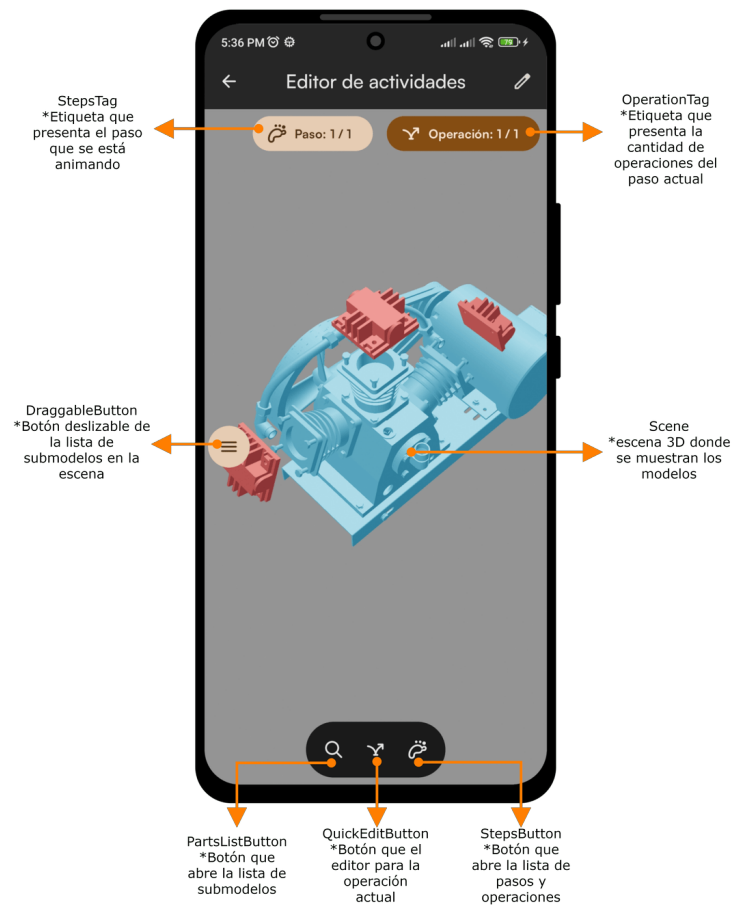
Los controles de reposicionamiento de modelos, ilustrados en la Figura 51, se encuentran en un panel inferior expandible que organiza cinco categorías de botones. La primera permite seleccionar el modo de transformación, ya sea posición u orientación; la segunda define la unidad de medida correspondiente al modo seleccionado; la tercera permite restaurar los valores predeterminados; la cuarta está compuesta por un conjunto de ruedas o deslizadores con una resolución máxima de una unidad de medida; y la quinta consiste en un botón para eliminar el modelo seleccionado. Al interactuar con los deslizadores, se activan los nodos de eje ilustrados en la Figura 36, los cuales proporcionan al usuario una guía visual sobre la dirección en la que puede desplazarse el modelo 3D.

**Figura 51***Controles para calibración de modelos 3D*

**4.11.4.3. Pantalla de editor de actividades de mantenimiento** Una vez finalizada la calibración de los modelos, el usuario procede a definir las actividades de mantenimiento mediante la pantalla del editor de actividades. A diferencia de las interfaces de realidad aumentada, esta pantalla no incorpora una vista de cámara, ya que está orientada exclusivamente a la creación y edición de las animaciones que compondrán cada procedimiento de mantenimiento.

**Figura 52**

*Pantalla de editor de actividades de mantenimiento*

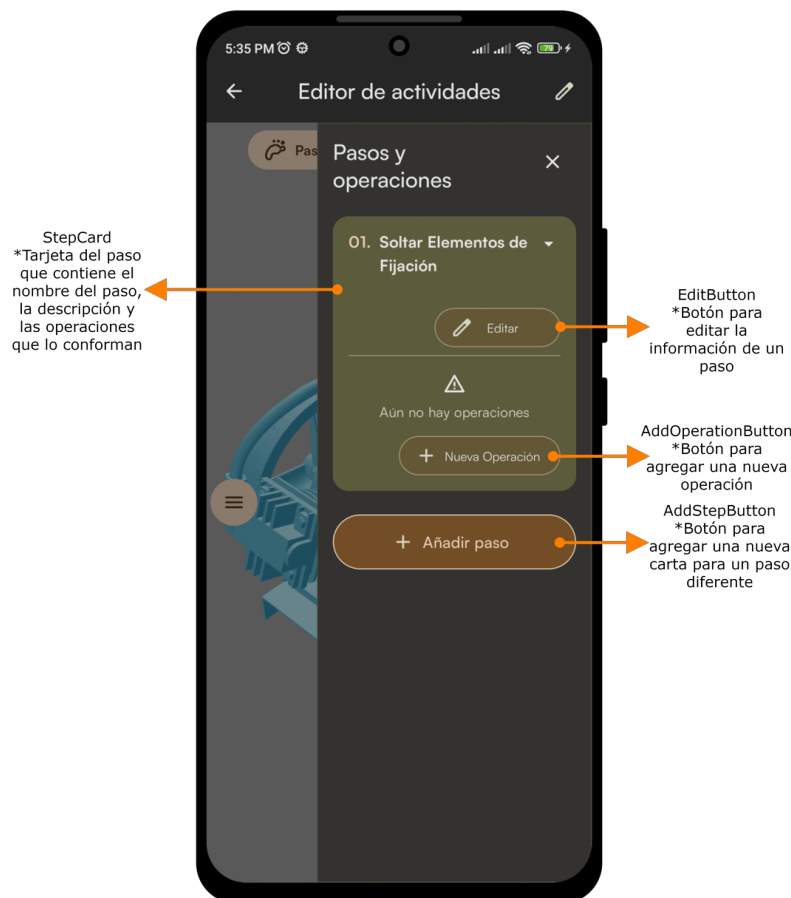


Como se observa en la Figura 52, la interfaz integra diferentes paneles destinados a facilitar la edición de las actividades. Entre ellos se encuentran el listado de submodelos (Figura 53), que permite mostrar u ocultar las distintas piezas del modelo tridimensional, y el editor de pasos y operaciones (Figura 54), donde se construye la secuencia completa de mantenimiento.

**Figura 53**

*Panel de listado de submodelos 3D*



**Figura 54***Panel de listado de pasos y operaciones*

Cada actividad se organiza en una serie de pasos, los cuales pueden contener una o varias operaciones encargadas de definir las animaciones de los submodelos seleccionados. Para ello el usuario deberá primero crear los pasos mediante el diálogo mostrado en la Figura 55, que habilitará la creación de operaciones que incorpora un panel inferior expandible, ilustrado en la Figura 56, donde se seleccionará cuales submodelos serán animados de forma conjunta mediante su tipo de operación: punto a punto, cilíndrica, junta y tornillo, cada una diseñada para representar diferentes comportamientos mecánicos.

**Figura 55**

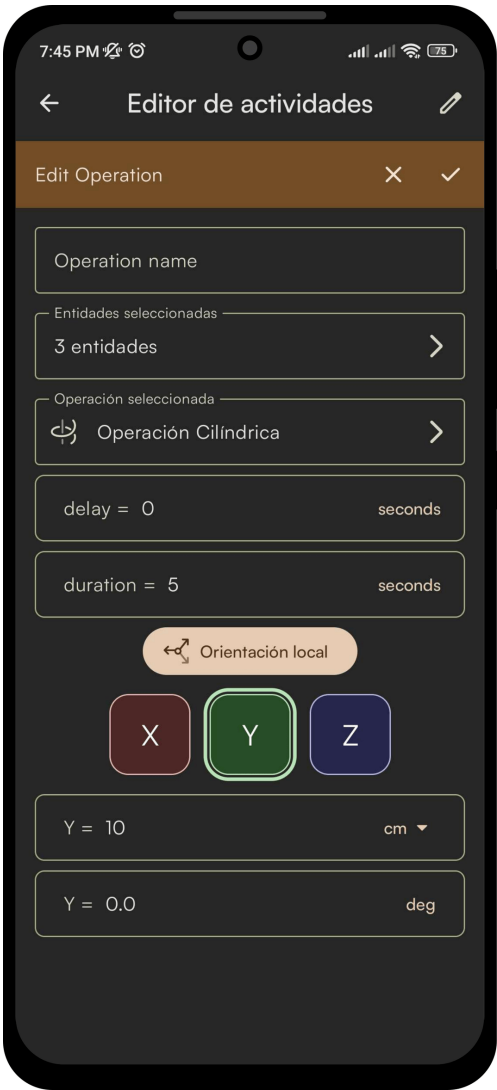
*Diálogo de creación y edición de pasos*





Figura 56

Controles para la configuración de animaciones en una operación



La Tabla 4 resume las características de cada una de las operaciones, indicando los grados de libertad que implementan y una descripción general de su comportamiento durante la construcción de las animaciones.

**Tabla 4***Operaciones disponibles para la creación de animaciones de mantenimiento*

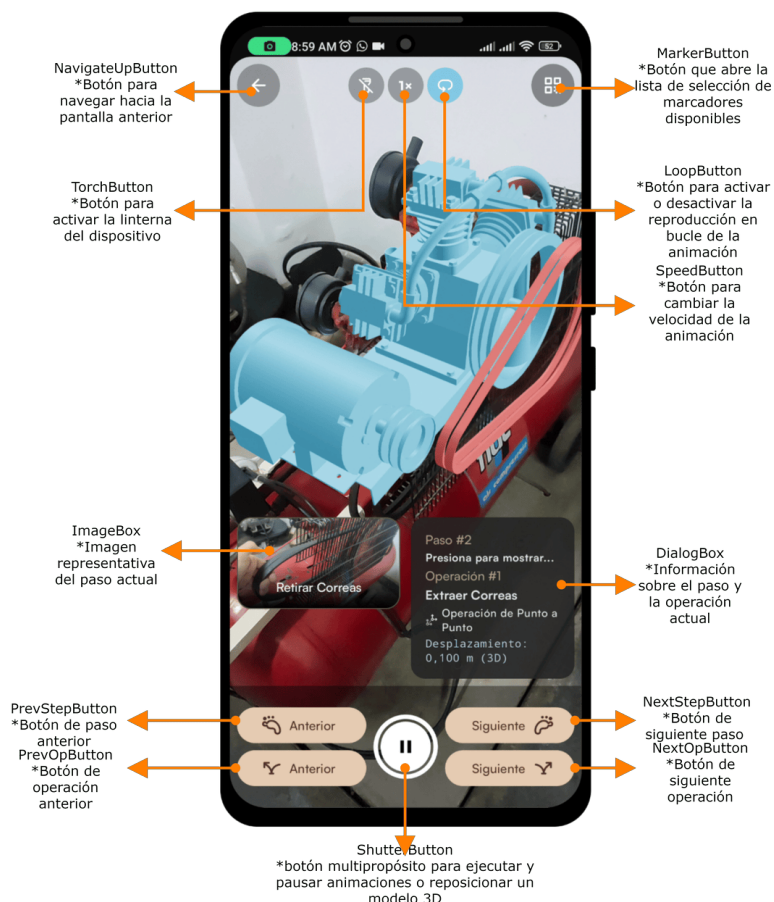
| <b>Operación</b> | <b>Grados de libertad</b> | <b>Descripción</b>                                                                                                                                                               |
|------------------|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Punto a punto    | 6 GDL                     | Permite definir una posición y orientación finales para un submodelo tridimensional.                                                                                             |
| Cilíndrica       | 2 GDL                     | Describe un desplazamiento a lo largo de una dirección determinada y una rotación final sobre ese mismo eje.                                                                     |
| Junta            | 3 GDL                     | Permite modificar únicamente la orientación del submodelo mediante tres grados de libertad rotacionales, manteniendo como referencia la posición final de la operación anterior. |
| Tornillo         | 2 GDL                     | Representa un movimiento helicoidal definido por un eje de desplazamiento y un número de revoluciones alrededor de dicho eje.                                                    |

*Nota.* En todas las operaciones, la posición inicial corresponde a la posición final de la operación anterior o, en ausencia de una operación previa, a la posición original del modelo tridimensional.

Mediante la combinación de estas operaciones, el usuario puede construir secuencias completas de mantenimiento que posteriormente serán reproducidas durante la sesión de realidad aumentada, permitiendo representar de manera visual los procedimientos que deben ejecutarse sobre la máquina real.

#### **4.11.5. Diseño de la pantalla final de sesión de realidad aumentada**

La pantalla de sesión de realidad aumentada constituye la interfaz utilizada durante la ejecución de las actividades de mantenimiento previamente configuradas. Su diseño busca integrar los modelos tridimensionales con el entorno físico del usuario, permitiendo visualizar de forma guiada cada uno de los pasos definidos durante la etapa de configuración.

**Figura 57***Pantalla de sesión de realidad aumentada*

Como se observa en la Figura 57, la interfaz incorpora una vista de cámara sobre la cual se superponen los modelos tridimensionales y los distintos paneles informativos necesarios para asistir al usuario durante la intervención. Al igual que la pantalla de calibración, implementa un botón de obturador con doble funcionalidad: una pulsación simple reproduce o pausa las animaciones correspondientes a la operación actual, mientras que al mantenerlo presionado se reposicionan los modelos 3D tomando como referencia el marcador activo.

Los demás controles permiten navegar entre los diferentes pasos de la actividad, mientras que los paneles informativos muestran la descripción e imagen correspondiente a cada uno de ellos. De esta manera, el usuario puede seguir secuencialmente el procedimiento de mantenimiento, visualizando sobre la máquina real las animaciones y la información necesaria para ejecutar cada

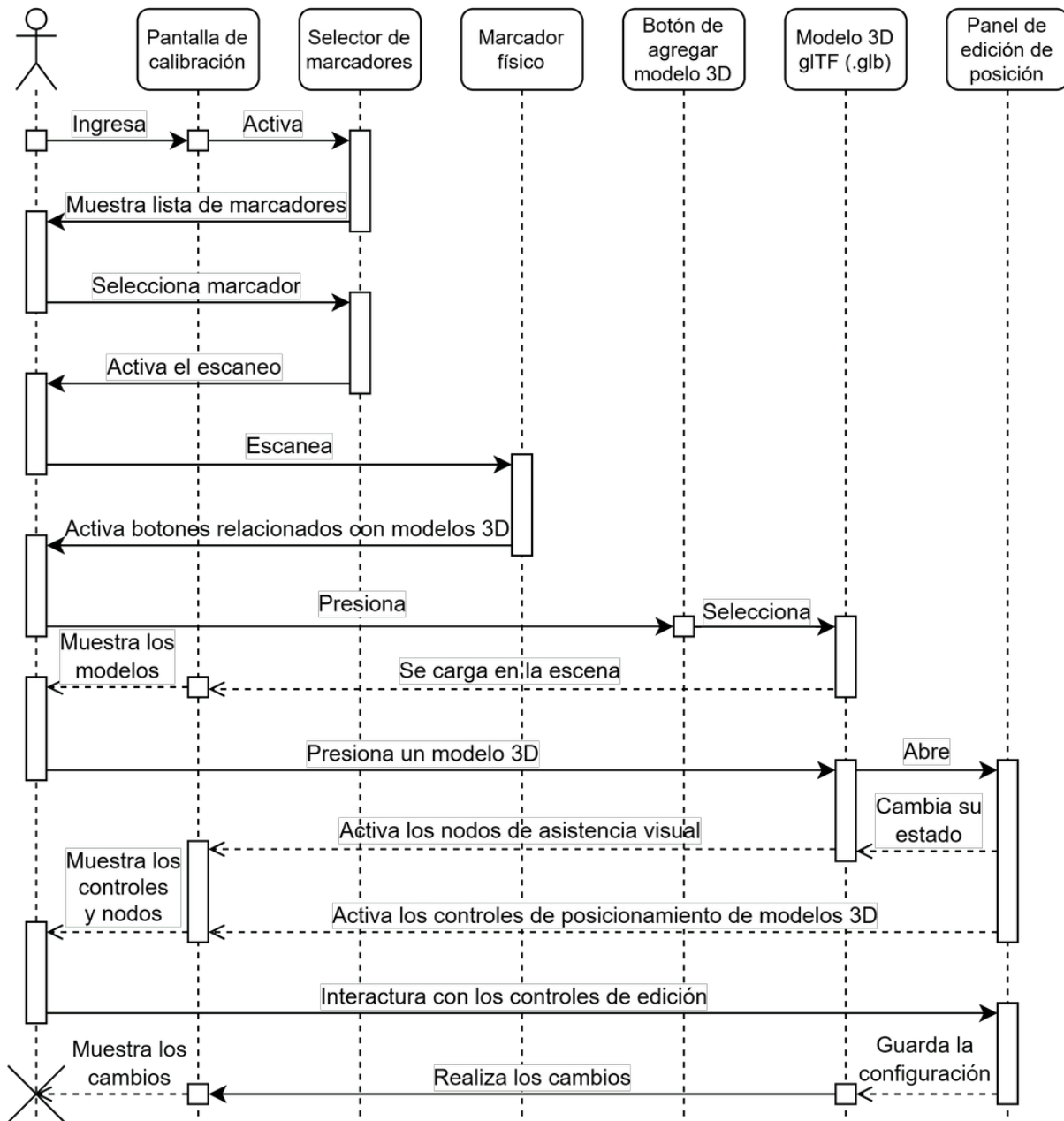
operación.

#### **4.12. Secuencias de los procedimientos de configuración**

Mediante el lenguaje de modelado visual UML, se elaboraron los diagramas que representan la interacción del usuario con las pantallas que componen la configuración previa con la realidad aumentada. Estos diagramas emplean barras de activación dentro de la línea de vida del usuario, las cuales representan el tiempo requerido para la ejecución de una tarea de forma conceptual.

##### ***4.12.1. Secuencia para la calibración de modelos 3D***

La secuencia ilustrada en la Figura 58, muestra el procedimiento que sigue un usuario en la interacción con la pantalla de calibración, donde se insertan modelos 3D que posteriormente se alinearán de forma relativa a un marcador físico por medio del uso de controles de posición y nodos de guías visuales.

**Figura 58**
*Secuencia para la calibración de un modelo 3D*


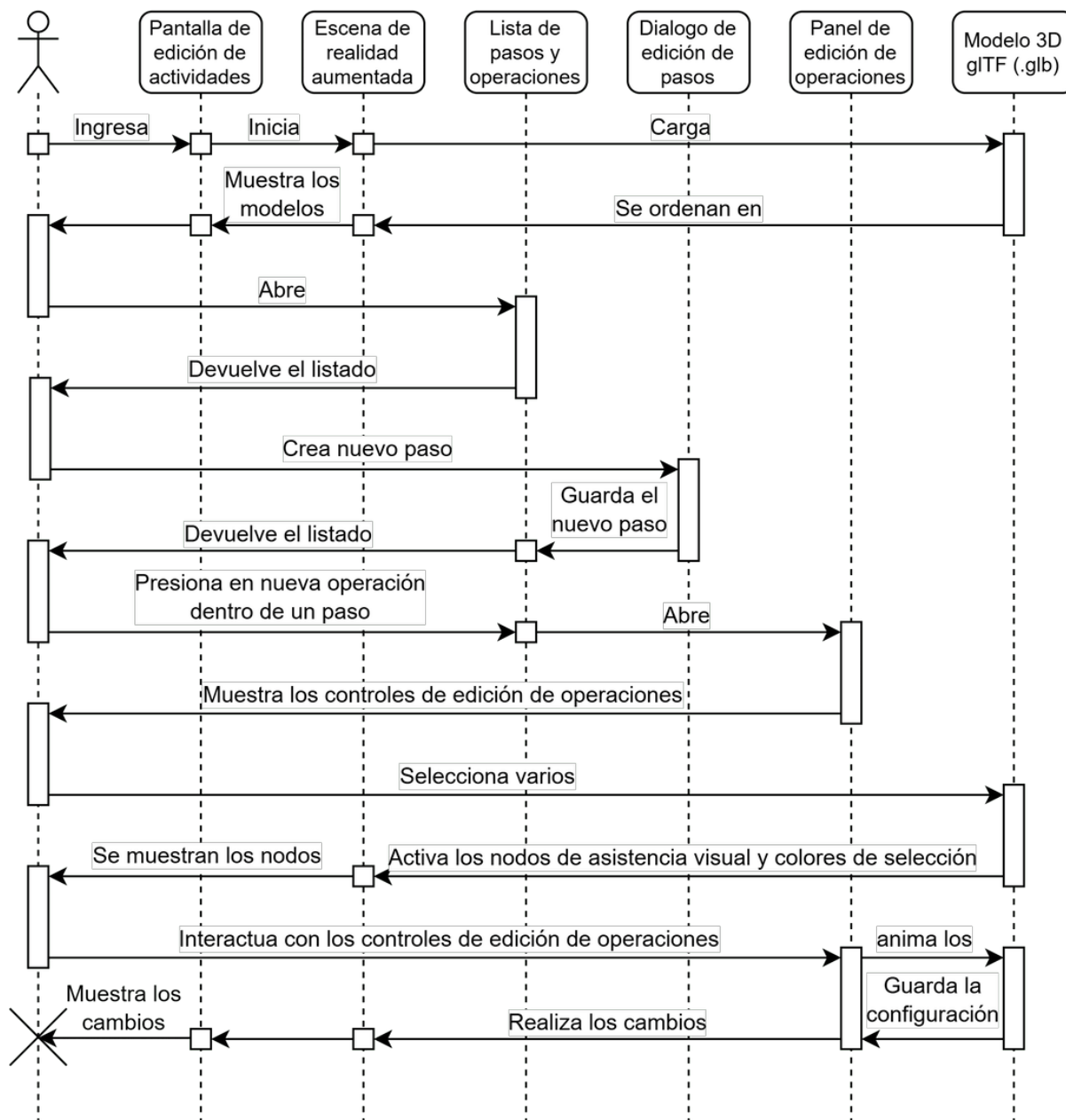
#### 4.12.2. Secuencia para la edición de una actividad de mantenimiento

La secuencia presentada en la Figura 59 describe el procedimiento que sigue el usuario para crear una actividad de mantenimiento y definir los pasos y operaciones que la conforman. Durante este proceso es posible seleccionar los submodelos involucrados y establecer los parámetros

necesarios para construir las animaciones que posteriormente serán reproducidas durante la sesión de realidad aumentada.

**Figura 59**

*Secuencia para la edición de pasos y operaciones de una actividad*



## 5. Pruebas de la aplicación

### 5.1. Equipo de pruebas

El equipo seleccionado para las pruebas del aplicativo es un compresor de aire industrial marca FIAC, modelo AB 150-320, ubicado en el Laboratorio 109 de la escuela de Ingeniería Mecánica. Este laboratorio presenta condiciones de iluminación adecuadas para el correcto funcionamiento del aplicativo de realidad aumentada, factor indispensable para la detección fiable de marcadores mediante la cámara del dispositivo. El equipo fue utilizado como objeto de referencia para el modelado tridimensional, permitiendo verificar el correcto funcionamiento de las animaciones sobre modelos reales dentro del aplicativo.

**Tabla 5**

*Características del equipo de prueba*

| Criterio                   | Detalle del Equipo                   |
|----------------------------|--------------------------------------|
| Tipo de Equipo             | Compresor de aire industrial         |
| Marca                      | FIAC                                 |
| Modelo                     | AB 150-320                           |
| Año de Fabricación         | 1995                                 |
| Ubicación Física           | Laboratorio 109, Ingeniería Mecánica |
| Área de Aplicación         | Laboratorio de potencia fluida       |
| Dimensiones (Al × An × Pr) | 1060 mm × 1360 mm × 540 mm           |
| Peso                       | 90 kg                                |
| Marca del Motor            | LEESON                               |
| Modelo del Motor           | C145T34DB2D                          |
| Potencia del Motor         | 3 HP                                 |

### **5.1.1. Modelo 3D**

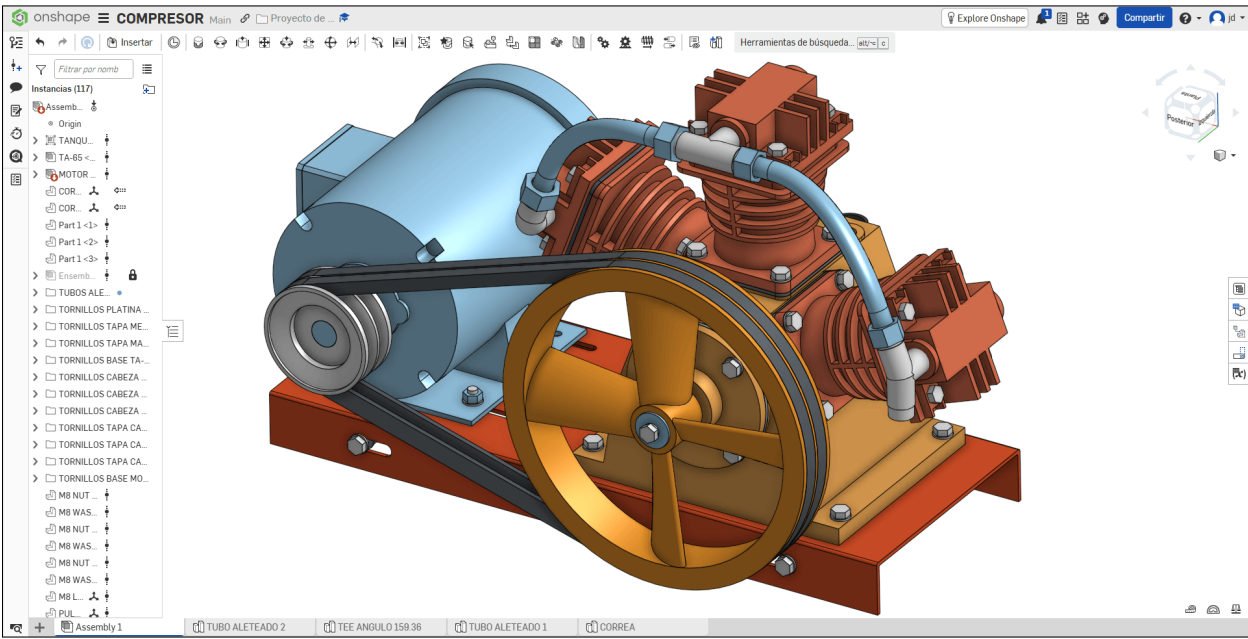
El modelo tridimensional fue construido completamente desde cero de forma manual. Se realizaron dos sesiones de medición sobre el equipo físico ubicado en el Laboratorio 109 de la escuela de Ingeniería Mecánica, empleando pie de rey digital, cinta métrica, flexómetro y goniómetro como instrumentos de medición directa. Adicionalmente, se consultaron los catálogos oficiales de los fabricantes, los cuales aportaron especificaciones dimensionales de los cabezales y del motor eléctrico. Para el caso particular de las poleas, las mediciones se complementaron con la referencia de las correas de transmisión, dado que el perfil de las correas define directamente la geometría de la cavidad de las poleas.

Para el desarrollo del modelo tridimensional se empleó principalmente OnShape como software de modelado, debido a su capacidad de trabajo colaborativo en tiempo real (ver Figura 60). Complementariamente, se utilizó SolidWorks a través de su catálogo ToolBox para la obtención de modelos normalizados de elementos de fijación, los cuales fueron exportados e insertados en OnShape, incluyendo arandelas, pernos, tuercas, abrazaderas, cojinetes de fricción, anillos, bulones y rodamientos.



Figura 60

Software de modelado paramétrico 3D



5.2. Pruebas de rendimiento

5.2.1. Dispositivos de prueba

Con el fin de evaluar el funcionamiento del aplicativo en diferentes condiciones de hardware, las pruebas se realizaron en tres dispositivos Android correspondientes a las gamas baja, media y alta. En todos los casos, la tasa de refresco de la pantalla se configuró a 60 Hz para mantener las mismas condiciones durante la ejecución de las pruebas.

La Tabla 6 presenta las principales especificaciones técnicas de los dispositivos utilizados para la evaluación del aplicativo.

Tabla 6

Especificaciones técnicas de los dispositivos de prueba

| Marca    | Modelo   | SoC                | Núcleos       | RAM  | Android |
|----------|----------|--------------------|---------------|------|---------|
| Motorola | Moto G15 | Mediatek Helio G81 | Octa-core 2.0 | 4 GB | 15      |
|          |          | Extreme (12 nm)    | GHz           |      |         |

Continúa en la siguiente página

(Continuación de la Tabla 6)

| Marca  | Modelo            | SoC                    | Núcleos       | RAM   | Android |
|--------|-------------------|------------------------|---------------|-------|---------|
| Xiaomi | Redmi Note 10 Pro | Snapdragon 732G (8 nm) | Octa-core 2.3 | 8 GB  | 13      |
|        | M2101K6G          |                        | GHz           |       |         |
| OPPO   | Reno14 F          | Snapdragon 6 Gen 1 (4  | Octa-core 2.2 | 12 GB | 15      |
|        | CPH2743           | nm)                    | GHz           |       |         |

*Nota.* Especificaciones técnicas obtenidas de los metadatos de ejecución generados por la herramienta Macrobenchmark de Jetpack y de las fichas técnicas oficiales de cada fabricante.

### 5.2.2. Pruebas de tiempo de inicio (Startup)

El tiempo de inicio de una aplicación constituye uno de los principales indicadores de la experiencia de uso, ya que corresponde al tiempo que transcurre desde que el usuario solicita la apertura del aplicativo hasta que este se encuentra disponible para su utilización. Para evaluar este comportamiento, se realizaron pruebas en tres escenarios de arranque que representan diferentes estados del aplicativo dentro del sistema operativo Android.

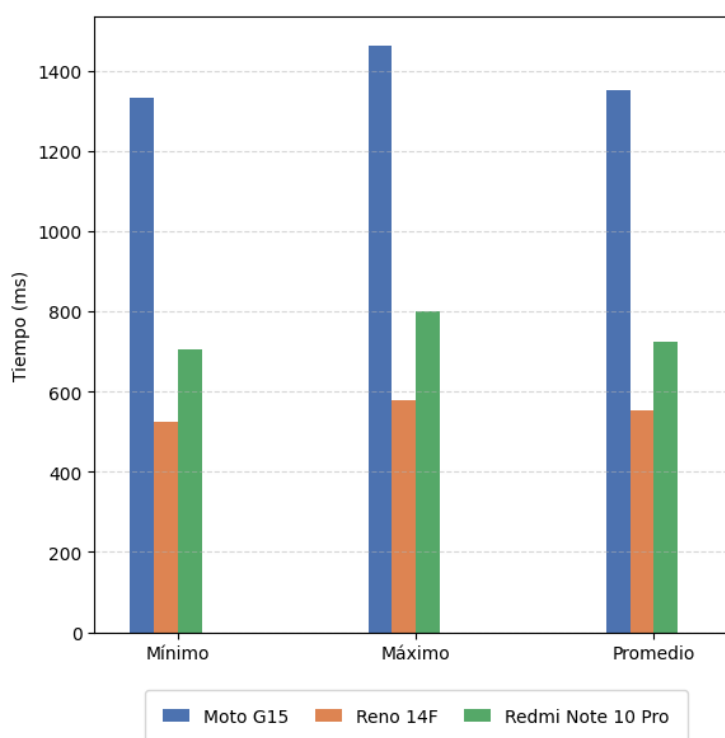
De acuerdo con las recomendaciones de Android Vitals, un tiempo de inicio en frío igual o superior a 5 segundos se considera excesivo y puede afectar negativamente la experiencia del usuario (Google, 2026). En este sentido, los tiempos de inicio obtenidos para el aplicativo se mantuvieron por debajo de este umbral en todos los dispositivos evaluados, evidenciando un desempeño adecuado durante el arranque de la aplicación.

Para cada uno de estos tres escenarios, se ejecutaron diez iteraciones por dispositivo utilizando la herramienta *Macrobenchmark* de Jetpack, registrando el tiempo total de inicio en milisegundos (ms) mediante la métrica *StartupTimingMetric*. A partir de las mediciones obtenidas se calcularon los valores de tiempo mínimo, máximo y promedio, mediante un gráfico de barras que contrasta el rendimiento de inicio entre los tres dispositivos evaluados. Los datos crudos correspondientes a cada una de las ejecuciones realizadas para los dispositivos OPPO Reno14 F, Xiaomi Redmi Note 10 Pro y Motorola Moto G15 se presentan en los Apéndices O, Q y P, respectivamente.

**5.2.2.1. Cold Start (Arranque en frío)** Este escenario ocurre cuando el proceso de la aplicación no se encuentra en memoria y el sistema operativo debe inicializarlo completamente. En consecuencia, representa el caso de mayor tiempo de inicio, ya que requiere crear el proceso, cargar los recursos principales e iniciar la actividad inicial del aplicativo. Los resultados obtenidos para este escenario se presentan en la Figura 61.

**Figura 61**

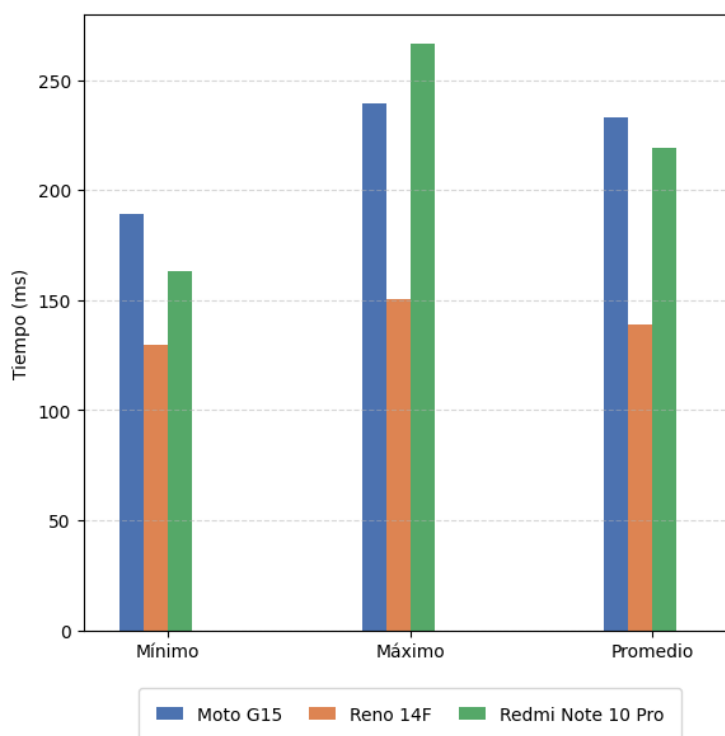
*Comparación de tiempo de inicio en frío (Cold Startup) por dispositivo*



**5.2.2.2. Warm Start (Arranque semicaliente)** Corresponde al escenario en el que el proceso del aplicativo permanece activo en memoria, pero la actividad principal debe reconstruirse antes de mostrarse nuevamente al usuario. Debido a que el proceso ya existe, el tiempo de inicio es menor que en un arranque en frío. La comparación entre los dispositivos evaluados para este tipo de arranque se presenta en la Figura 62.

**Figura 62**

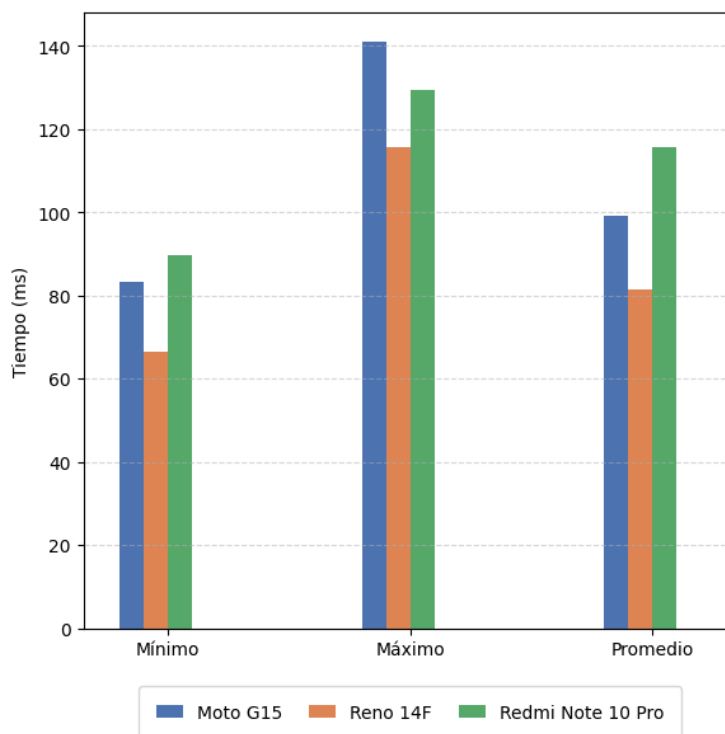
*Comparación de tiempo de inicio en templado (Warm Startup) por dispositivo*



**5.2.2.3. Hot Start (Arranque en caliente)** En este caso, tanto el proceso como la actividad permanecen residentes en memoria, por lo que el sistema únicamente devuelve la aplicación al primer plano. Este escenario representa el menor tiempo de inicio y corresponde a situaciones en las que el usuario cambia temporalmente de aplicación y regresa inmediatamente al aplicativo. Los resultados de esta prueba se muestran en la Figura 63.

**Figura 63**

*Comparación de tiempo de inicio en caliente (Hot Startup) por dispositivo*



### 5.2.3. Pruebas de navegación entre pantallas

Con el propósito de evaluar el comportamiento del aplicativo durante la navegación, se analizaron tres recorridos distintos desde la pantalla principal hasta las interfaces relacionadas con la configuración y ejecución de las actividades de realidad aumentada. Estas pruebas permiten comparar el desempeño del aplicativo en dispositivos con diferentes capacidades de hardware durante la carga y transición entre pantallas.

Para este análisis se empleó como métrica de la herramienta *Macrobenchmark* la duración de cuadro (*Frame Duration*) con 10 iteraciones, la cual corresponde al tiempo, medido en milisegundos (ms), que requiere la CPU para procesar y renderizar cada cuadro durante la navegación entre pantallas. Los resultados se presentan mediante los percentiles P50, P90, P95 y P99, permitiendo comparar tanto el comportamiento habitual de la navegación como aquellos casos en los que se presentan los mayores tiempos de procesamiento.

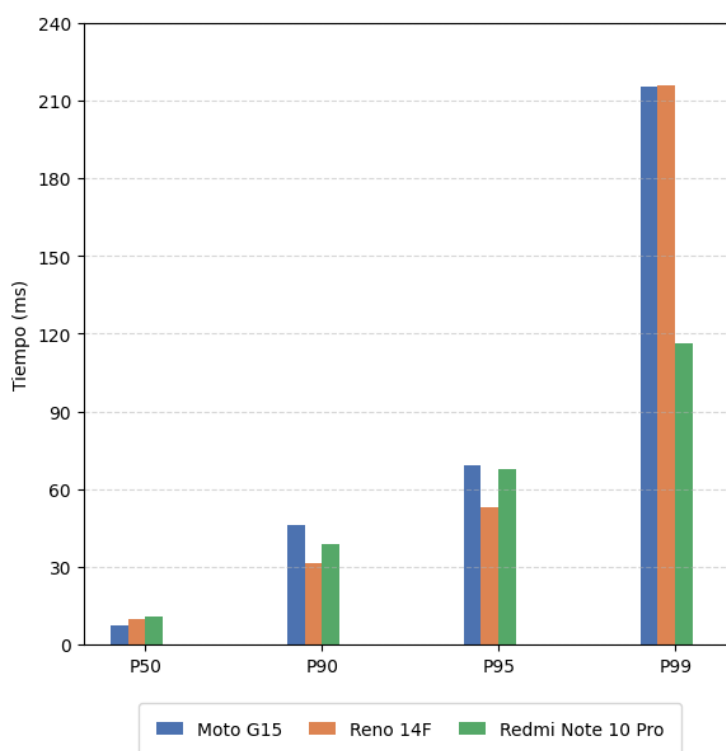
Los valores correspondientes a los percentiles P50, P90, P95 y P99 de cada recorrido se

presentan en los Apéndices T, R y S para los dispositivos Motorola Moto G15, Xiaomi Redmi Note 10 Pro y OPPO Reno14 F, respectivamente. En los tres dispositivos evaluados, la mediana (P50) de la duración de cuadro se mantuvo por debajo del umbral de 16,6 ms asociado a una frecuencia de actualización de 60 Hz en todos los recorridos de navegación, lo que evidencia un comportamiento fluido durante la navegación en condiciones normales de uso.

**5.2.3.1. Navegación hacia la sesión de realidad aumentada** La primera prueba corresponde al recorrido desde la pantalla principal hasta la sesión de realidad aumentada. Los resultados obtenidos para los tres dispositivos se presentan en la Figura 64.

**Figura 64**

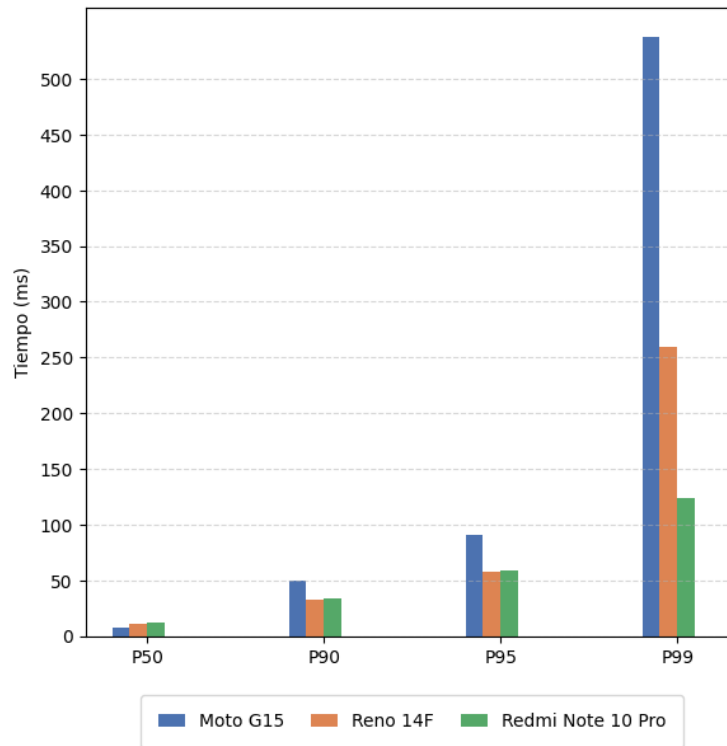
*Duración del fotograma en la transición y apertura de la sesión de RA por percentil y dispositivo*



**5.2.3.2. Navegación hacia la pantalla de calibración** La segunda prueba evalúa la navegación desde la pantalla principal hasta la interfaz de calibración de modelos 3D. La comparación entre los dispositivos evaluados se presenta en la Figura 65.

**Figura 65**

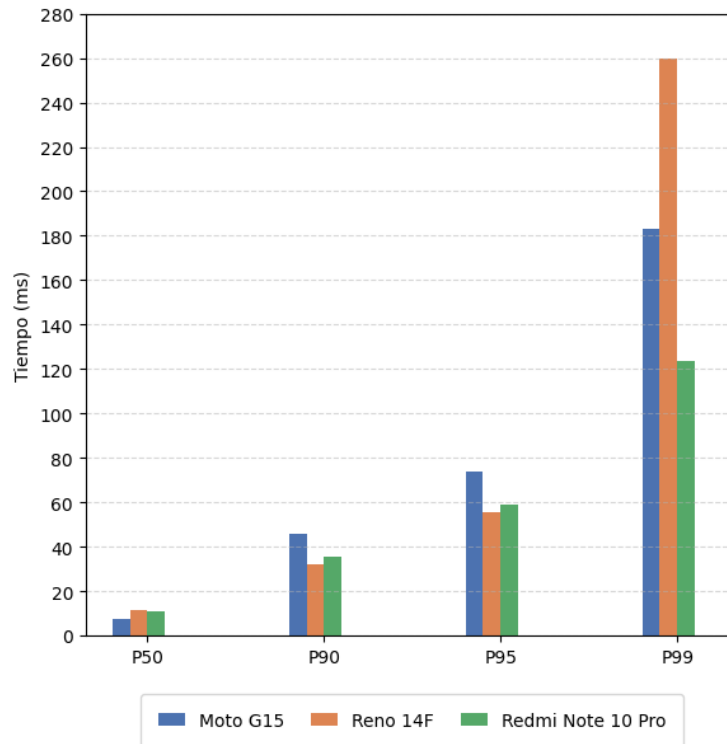
*Duración del fotograma en la transición y apertura de la calibración de RA por percentil y dispositivo*



**5.2.3.3. Navegación hacia el editor de actividades** La última prueba analiza el recorrido desde la pantalla principal hasta el editor de actividades de mantenimiento, donde se configuran los pasos y operaciones asociados a cada procedimiento. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 66.

**Figura 66**

*Duración del fotograma en la transición y apertura del editor de actividades por percentil y dispositivo*



### 5.3. Pruebas de funcionamiento de las pantallas

Con el propósito de verificar el correcto funcionamiento de las interfaces desarrolladas, se realizó una prueba de concepto sobre las pantallas que conforman el aplicativo. Estas pruebas permitieron comprobar la implementación de las funcionalidades previstas durante el diseño, validando la interacción con los diferentes componentes de la interfaz y el flujo del sistema ante las acciones realizadas.

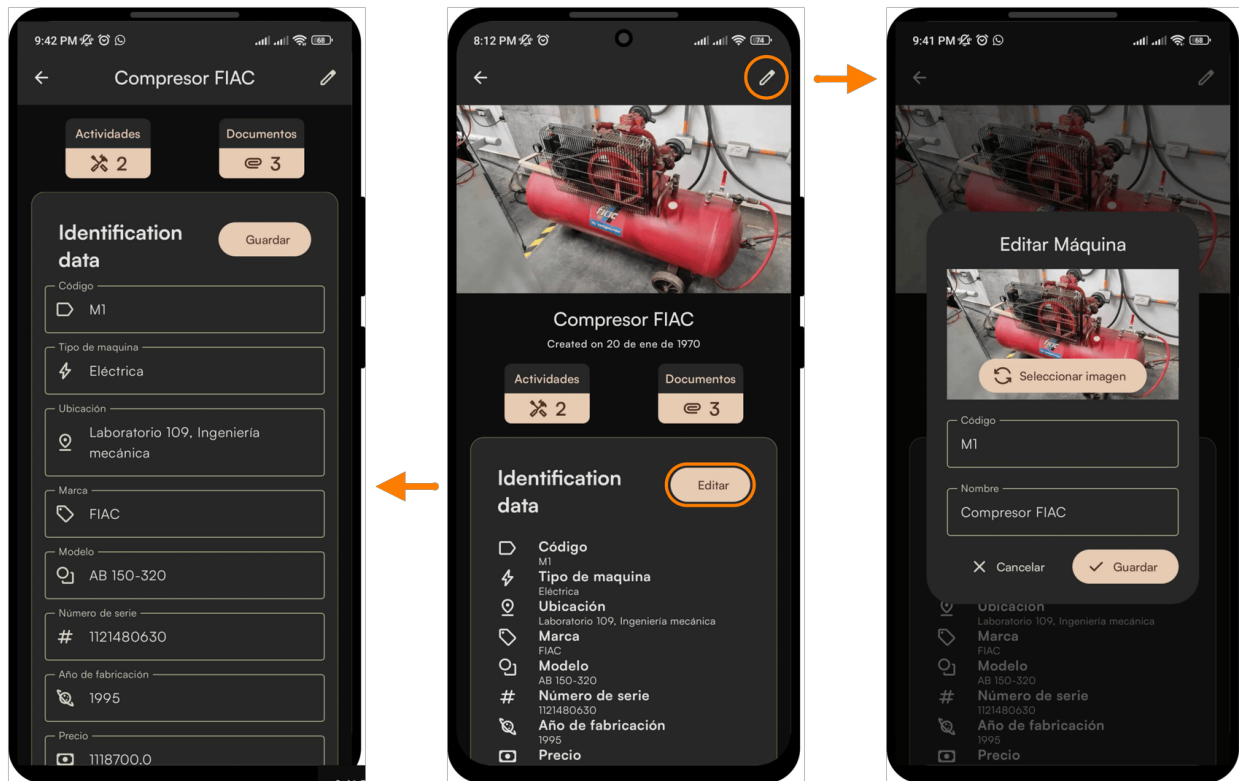
#### 5.3.1. Funcionamiento de las pantallas de información técnica

**5.3.1.1. Pantalla de especificaciones** En la Figura 67 se muestra la capacidad de las tarjetas temáticas de la pantalla para editar su información mediante campos de texto, además de poder intercambiar la imagen de la propia máquina mediante el diálogo de edición.

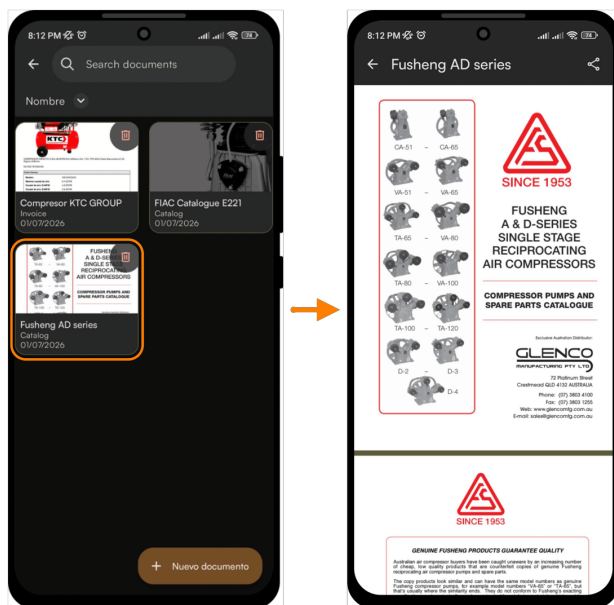


**Figura 67**

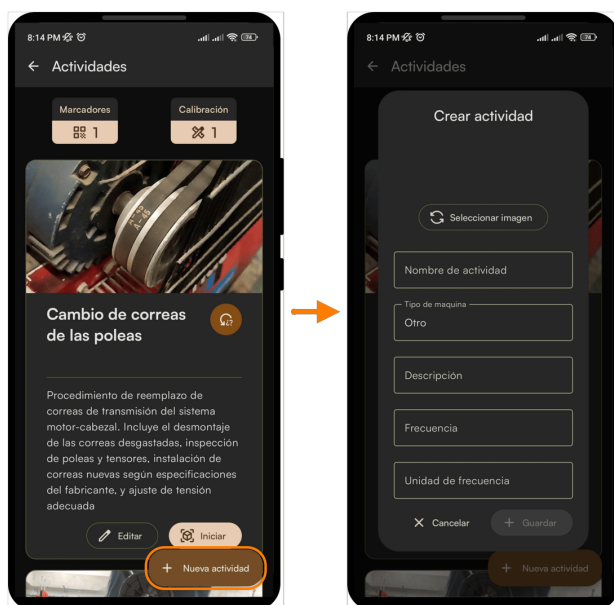
*Funcionamiento de la pantalla de especificaciones de una máquina*



**5.3.1.2. Pantalla de documentación** En la Figura 68 se presenta la capacidad de la pantalla de mostrar diversos documentos insertados por el usuario y consultar su contenido mediante el visor integrado de PDFs.

**Figura 68***Funcionamiento de la pantalla de documentación*

**5.3.1.3. Pantalla de actividades de mantenimiento** En la Figura 69 se muestra mediante el diálogo de actividades la capacidad de crear una nueva actividad de mantenimiento.

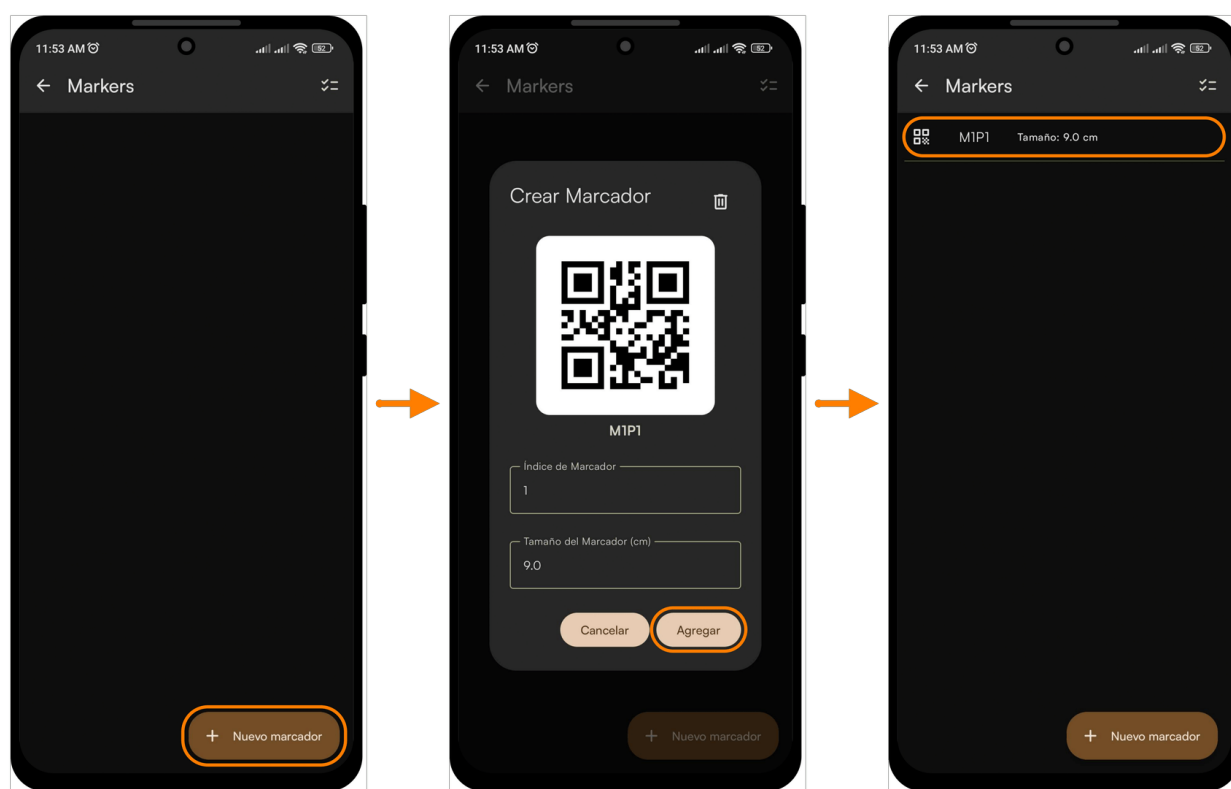
**Figura 69***Funcionamiento de la pantalla de actividades de mantenimiento*

### 5.3.2. Funcionamiento de las pantallas de configuración previa de realidad aumentada

**5.3.2.1. Pantalla de marcadores** En la Figura 70 se presenta el procedimiento para la creación de marcadores desde la interfaz correspondiente. Durante esta prueba se verifica que el aplicativo permita generar nuevos marcadores de manera consecutiva, asignando un código QR único a cada uno y evitando la duplicidad de identificadores.

**Figura 70**

*Funcionamiento de la pantalla de marcadores*



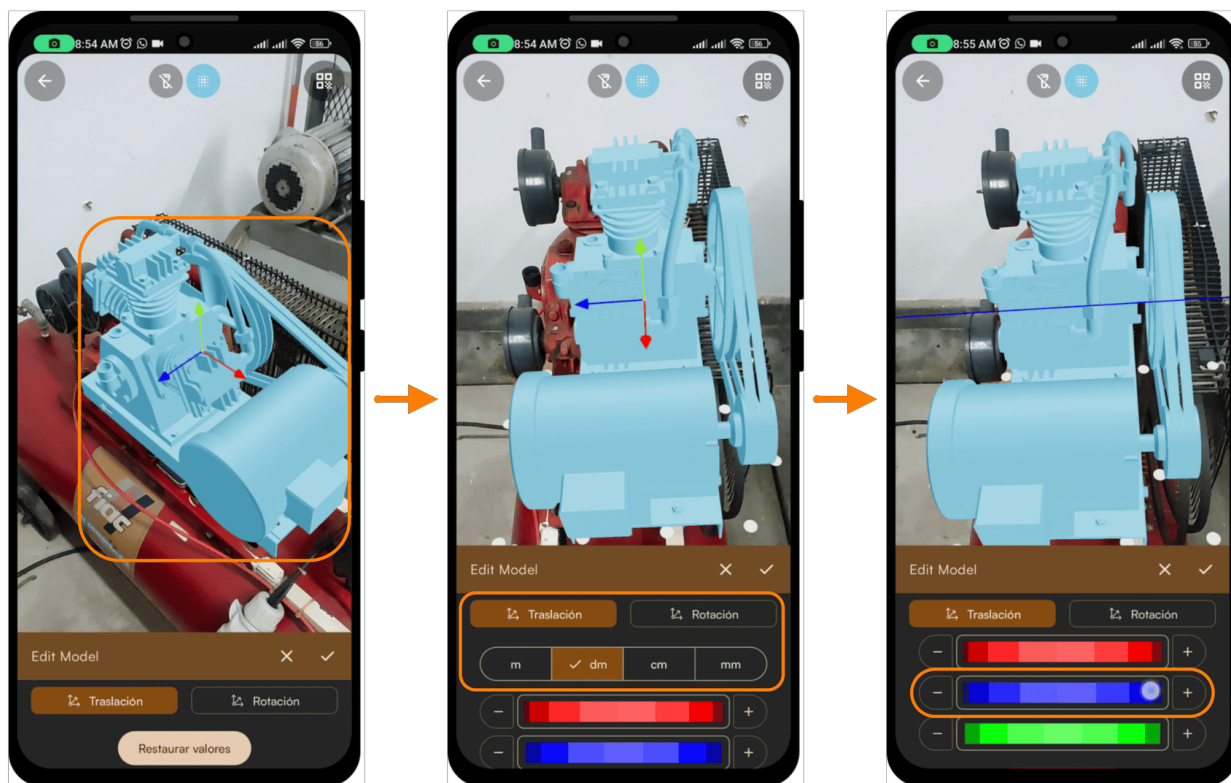
**5.3.2.2. Pantalla de calibración de modelos 3D** Tanto el proceso de calibración como la sesión de realidad aumentada asistida comienzan con la detección de un marcador basado en un código QR. Como se observa en la Figura 71, el usuario debe seleccionar previamente uno de los marcadores registrados para que el aplicativo pueda reconocer la imagen real e iniciar la experiencia de realidad aumentada.

**Figura 71**

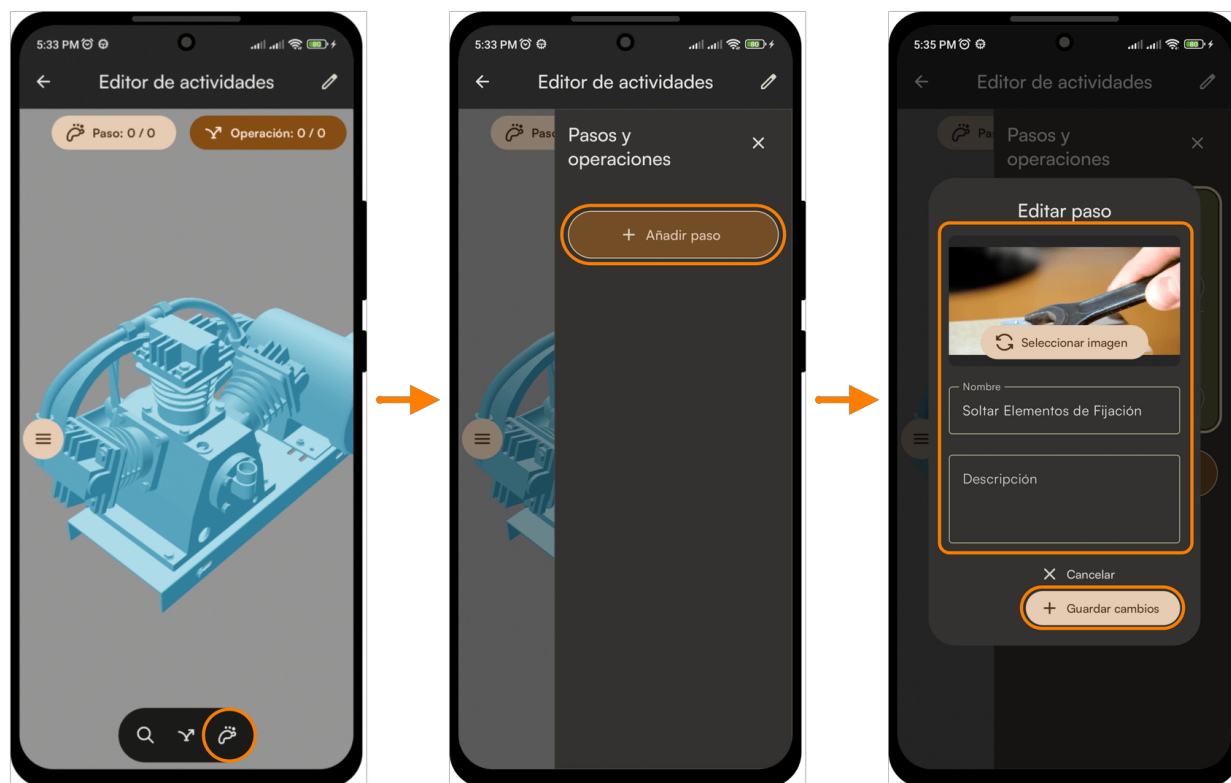
*Funcionamiento de la detección de marcadores en pantallas de realidad aumentada*



Una vez que el marcador ha sido detectado correctamente, se habilitan las funciones de calibración de modelos. A partir de ese momento, se seleccionó un modelo 3D y, mediante los controles de reposicionamiento, se ajustó su ubicación y orientación de acuerdo con la posición real de la máquina (ver Figura 72).

**Figura 72***Funcionamiento de la pantalla de calibración*

**5.3.2.3. Pantalla de editor de actividades de mantenimiento** La Figura 73 presenta el procedimiento para crear un paso dentro de una actividad de mantenimiento. En la parte inferior de la pantalla de edición de actividades se oprime el botón con ícono de “pasos” que permite observar los pasos existentes y crear uno nuevo en la opción “añadir paso”. Al oprimir, se abre un cuadro de diálogo donde asignar una imagen, nombre y descripción del paso correspondiente, habilitando posteriormente la configuración de animaciones mediante la creación de una nueva operación.

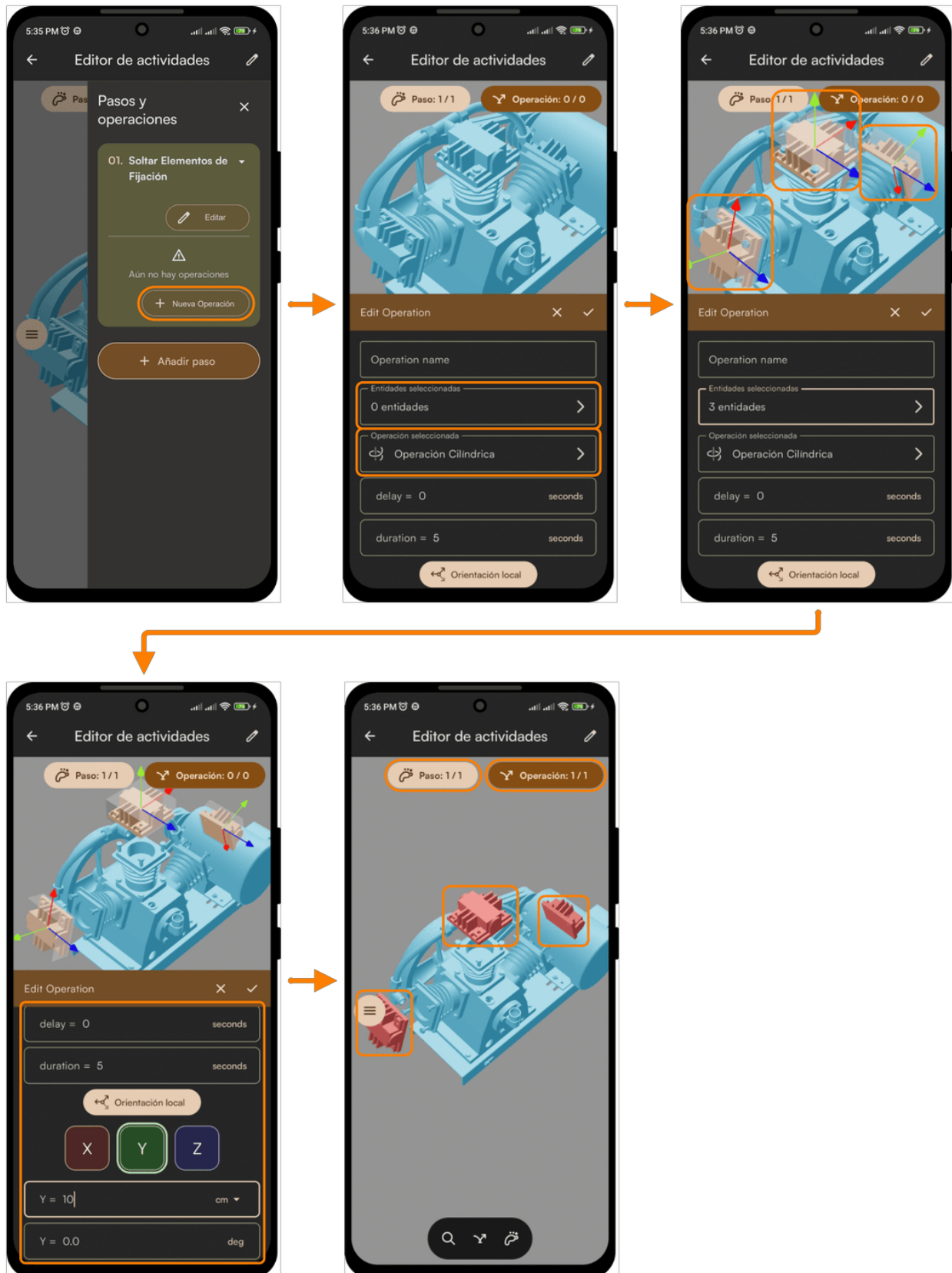
**Figura 73***Funcionamiento del panel de creación de pasos*

Una vez creado el paso, el usuario puede definir las operaciones que describen el movimiento de los submodelos 3D. Como se muestra en la Figura 74, se seleccionan las partes que participarán en la animación, junto a su tipo de operación (ver Tabla 4), el cual habilita diferentes casillas de parámetros para configurar el movimiento que ejecutará cada entidad del modelo tridimensional.



**Figura 74**

*Funcionamiento del panel de editor de operaciones*



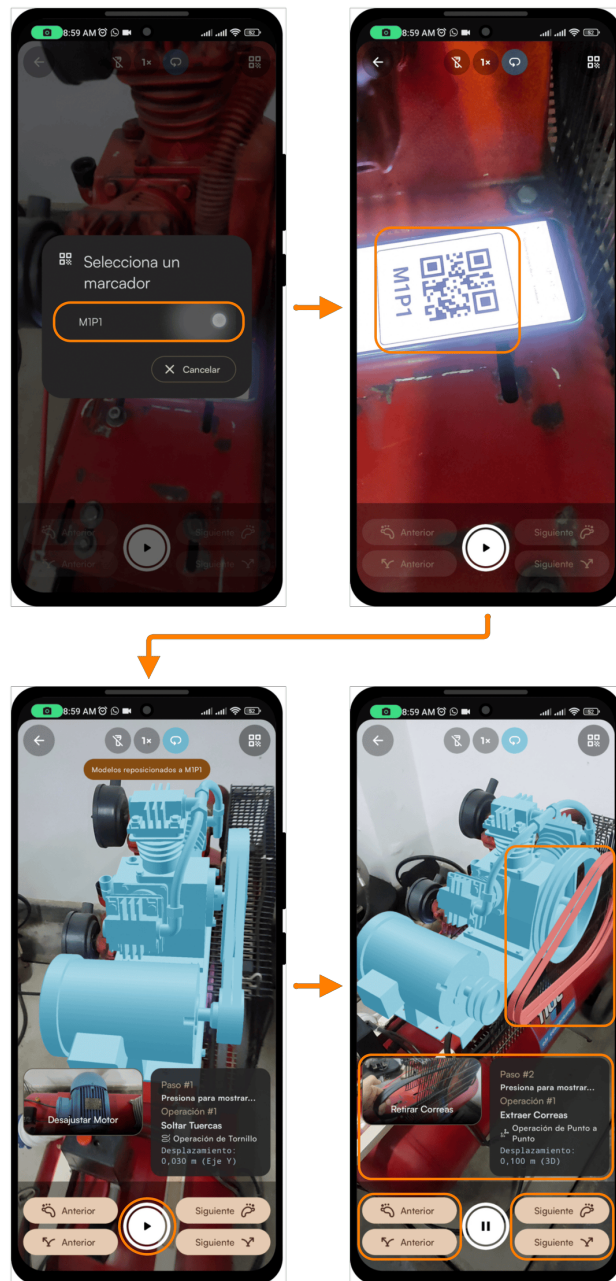
### ***5.3.3. Funcionamiento de la pantalla final de sesión de realidad aumentada***

En el procedimiento de la pantalla de sesión de realidad aumentada, Figura 75, se selecciona el marcador asociado a la máquina y se escanea el código QR correspondiente para iniciar la experiencia. Cuando el marcador es detectado correctamente, se habilitan los controles para navegar entre los diferentes pasos del procedimiento, así como el botón de obturador, que permite reproducir, pausar y reanudar las animaciones previamente configuradas.



**Figura 75**

*Funcionamiento de la pantalla de sesión de realidad aumentada*



## 6. Conclusiones

Se identificaron los requerimientos funcionales y no funcionales necesarios para el desarrollo de un aplicativo de realidad aumentada orientado al mantenimiento preventivo mediante la revisión de literatura, normas técnicas y el concepto brindado por personas con experiencia en el campo del mantenimiento. Este proceso permitió definir una solución alineada con las necesidades en contextos donde se trabaja bajo la metodología del mantenimiento preventivo, estableciendo criterios para el diseño de la interfaz, la gestión de la información técnica y la integración de experiencias de realidad aumentada.

Se diseñó un aplicativo móvil que integra la consulta de información técnica, la gestión de documentos, uso de modelos tridimensionales y la ejecución de procedimientos de mantenimiento mediante realidad aumentada. Se desarrolló una estructura que permitió integrar estas funcionalidades en una plataforma única, con una organización por módulos facilitando su adaptación y futura ampliación.

La evaluación realizada sobre el compresor de aire de 3 HP permitió verificar el funcionamiento del aplicativo para un caso de visualización de una rutina de mantenimiento. Las pruebas confirmaron la correcta creación de marcadores, la calibración de modelos 3D, configuración de actividades y la reproducción de las guías visuales, evidenciando su potencial operativo como herramienta de visualización guiada de actividades de mantenimiento preventivo, facilitando la comprensión y el seguimiento del procedimiento a realizar, cuya validación con usuarios se plantea como trabajo futuro.

La realización de pruebas en dispositivos móviles de diferentes gamas evidenció que el aplicativo puede ejecutarse correctamente en equipos compatibles con la tecnología de realidad aumentada. Aunque se observaron diferencias en los tiempos de inicio y navegación entre dispositivos, el comportamiento obtenido fue consistente con las capacidades de procesamiento de cada uno, permitiendo el funcionamiento de las principales características implementadas sin la generación de errores o cierres inesperados del aplicativo.

Las herramientas que permiten configurar procedimientos de mantenimiento completos mediante la creación de marcadores, la calibración de modelos tridimensionales y la definición de secuencias de operaciones, convierten al aplicativo en una plataforma configurable para la generación de nuevas guías visuales, ampliando significativamente su potencial para diferentes tipos de equipos en diversos contextos industriales.

## 7. Recomendaciones

Validar el aplicativo en un entorno industrial real, involucrando personal de mantenimiento durante la ejecución de actividades preventivas. Esto permitiría evaluar variables como la usabilidad, la aceptación por parte de los usuarios, la reducción de tiempos de intervención y el impacto en la calidad de los procedimientos, midiendo el efecto sobre el aprendizaje mediante instrumentos estandarizados como cuestionarios pre y post capacitación o la escala de usabilidad SUS.

Comparar el enfoque basado en marcadores QR con otros métodos de activación de realidad aumentada, como el reconocimiento de objetos, superficies o el posicionamiento manual de modelos, con el fin de determinar cuál ofrece mejores resultados según el tipo de maquinaria y las condiciones del entorno.

Ampliar la evaluación incorporando diferentes tipos de dispositivos móviles y escenarios de iluminación, distancia y oclusión, para analizar el comportamiento del sistema bajo condiciones más cercanas a las encontradas en aplicaciones industriales.

Explorar la incorporación de indicadores propios de la ingeniería de mantenimiento, tales como MTTR, MTBF, disponibilidad operacional o modelos de predicción de fallas, con el propósito de complementar la asistencia visual con herramientas de apoyo a la toma de decisiones.

Incorporar un sistema híbrido de almacenamiento que permita sincronizar la información con un servidor cuando exista conectividad y mantener el funcionamiento sin conexión mediante almacenamiento local, garantizando la disponibilidad de la información en entornos industriales.

Implementar un sistema de usuarios y roles que diferencie las funciones de administradores, supervisores y ejecutores de mantenimiento, restringiendo la modificación de información técnica únicamente al personal autorizado.

Agregar comandos de voz para consultar o editar la información técnica de los equipos de mantenimiento, cuando el operario utilice elementos de protección personal que le dificulten la manipulación del dispositivo.

Ampliar el soporte para diferentes tipos de marcadores o técnicas de seguimiento distintas

a los códigos QR, permitiendo adaptar el sistema a diversos escenarios industriales.

Hacer uso de las características de realidad extendida de SolidWorks para la exportación de los modelos en el estándar glTF reduciendo el tiempo requerido para preparar nuevos modelos tridimensionales.

### Referencias bibliográficas

- Álvarez Brito, B. M., Muñoz Macías, G. E., Mero Briones, H. N., & Muñoz Macías, C. M. (2024). Realidad aumentada aplicada en la supervisión, mantenimiento de equipos y procesos industriales [edición especial]. *CONNECTIVIDAD*, 5(2), 63-78. <https://doi.org/10.37431/conectividad.v5i2.130>
- Arenas, F., Collota, M., Pau, G., & Termine, F. (2022). An overview of augmented reality. *Computers*, 11(2), 28. <https://doi.org/10.3390/computers11020028>
- Arribas Urrutia, A. (2000). ¿Centralizar o descentralizar los sistemas de información en la empresa? *Revista Latina de Comunicación Social*, 31, 153-165. <https://doi.org/10.12795/Ambitos.2000.i03-04.12>
- Asociación Española de Normalización. (2018). *Mantenimiento. Terminología del mantenimiento* (Norma UNE-EN 13306:2017). UNE. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0060338>
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2016). *Industrias del petróleo, petroquímicas y del gas natural. Recogida e intercambio de datos de mantenimiento y fiabilidad de los equipos (ISO 14224:2016)* (Norma UNE-EN ISO 14224:2016). AENOR. <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-iso-14224-2016-n0057422>
- Barroga, E., Matanguihan, G. J., Furuta, A., Arima, M., Tsuchiya, S., Kawahara, C., Takamiya, Y., & Izumi, M. (2023). Conducting and writing quantitative and qualitative research. *Journal of Korean Medical Science*, 38(37), e291. <https://doi.org/10.3346/jkms.2023.38.e291>
- Ben-Daya, M., Duffuaa, S. O., Raouf, A., Knezevic, J., & Ait-Kadi, D. (Eds.). (2009, August 6). *Handbook of maintenance management and engineering* (1st ed.). Springer London. <https://doi.org/10.1007/978-1-84882-472-0>
- Bondin, A., & Zammit, J. P. (2022). A new age for plant maintenance: Making use of augmented reality to improve maintenance of production assets. *2022 IEEE International Conference*

- on Technology Management, Operations and Decisions (ICTMOD)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICTMOD55867.2022.10041879>
- Comisión Venezolana de Normas Industriales. (1993). *Mantenimiento: Definiciones* (Norma COVENIN 3049-93). Comisión Venezolana de Normas Industriales.
- Davenport, T., & Prusak, L. (1998). *Working knowledge: How organizations manage what they know*. Harvard Business School Press.
- Edwards-Stewart, A., Hoyt, T., & Reger, G. (2016). Classifying different types of augmented reality technology. *Annual Review of CyberTherapy and Telemedicine*, 14, 199–202. [https://www.researchgate.net/publication/315701832\\_Classifying\\_different\\_types\\_of\\_augmented\\_reality\\_technology](https://www.researchgate.net/publication/315701832_Classifying_different_types_of_augmented_reality_technology)
- Escalante Gómez, E. (2009). Una nota metodológica sobre los análisis cualitativos. El análisis de las relaciones entre los elementos: El análisis de las frecuencias y co-ocurrencias. *Theoria*, 18(1), 57-67. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=29911857006>
- Font Graupera, E. M., Lazcano Herrera, C., & Ruiz González, M. d. l. A. (2014). La gestión estratégica de la información en las organizaciones: Una propuesta metodológica. *Revista Uniandes Episteme*, 1(1), 54-63. <https://revista.uniandes.edu.ec/ojs/index.php/EPISTEME/article/view/15>
- Fougerolle, Y. D., Gribok, A., Foufou, S., Truchetet, F., & Abidi, M. A. (2005). Boolean operations with implicit and parametric representation of primitives using R-functions. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 11(5), 529–539. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2005.72>
- Fundación Chile. (2021, mayo). *Fuerza laboral de mantenimiento en la industria chilena: Estudio sobre características y evolución tecnológica* (Informe técnico). Fundación Chile. <https://fch.cl/publicacion/fuerza-laboral-de-mantenimiento-en-la-industria-chilena-estudio-sobre-caracteristicas-y-evolucion-tecnologica/>
- Gallará, I., & Pontelli, D. (2020). *Mantenimiento industrial*. Jorge Sarmiento Editor - Universitas.

- Ghuge, G. D. (2023). 3d modelling: A review. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, 614. <https://doi.org/10.48175/IJARST-14377>
- Google. (2025). *Descripción general de ARCore y los entornos de desarrollo compatibles*. Consultado el 26 de julio de 2025, desde <https://developers.google.com/ar/develop>
- Google. (2026). *Tiempo de inicio de la app*. Consultado el 10 de junio de 2026, desde <https://developer.android.com/topic/performance/vitals/launch-time?hl=es>
- Hecker, J. (s.f.). *Herramientas de visualización de datos*. ATLAS.ti. Consultado el 24 de mayo de 2026, desde <https://atlasti.com/es/research-hub/herramientas-de-visualizacion-de-datos>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2019). *Sistemas de gestión del conocimiento: Requisitos* (Norma NTC-ISO 30401:2019). ICONTEC. <https://tienda.icontec.org/sectores/servicios-organizacion-de-la-empresa-gestion-y-calidad-administracion-transporte-sociologia/organizacion-y-gestion-administrativa-sistemas-de-gestion/administracion-del-recurso-humano/gp-sistemas-de-gestion-del-conocimiento-requisitos-ntc-iso3040>
- International Business Machines. (s.f.). *¿Qué es el mantenimiento preventivo?* Consultado el 24 de septiembre de 2024, desde <https://www.ibm.com/es-es/topics/what-is-preventive-maintenance>
- Lapiedra, R., Forés, B., Puig-Denia, A., & Martínez-Cháfer, L. (2021). *Introducción a la gestión de sistemas de información en las empresas*. Publicacions de la Universitat Jaume I. <https://doi.org/10.6035/Sapientia178>
- Malhotra, Y. (2005). Integrating knowledge management technologies in organizational business processes: Getting real time enterprises to deliver real business performance. *Journal of Knowledge Management*, 9(1), 7–28. <https://www.brint.com/km/RealTime.htm>
- Medrano Márquez, J. Á., González Ajuech, V. L., & Díaz de León Santiago, V. M. (2017). *Mantenimiento: Técnicas y aplicaciones industriales*. Grupo Editorial Patria.



- Pătrăucean, V., Armeni, I., Nahangi, M., Yeung, J., Brilakis, I., & Haas, C. (2015). State of research in automatic as-built modelling. *Advanced Engineering Informatics*, 29(2), 162–171. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2015.01.001>
- Pérez Porto, J., & Gardey, A. (2022, 23 de septiembre). *Red semántica: Qué es, utilidad, definición y concepto*. Consultado el 16 de febrero de 2025, desde <https://definicion.de/red-semantica/>
- Ramos Castillo, M. A., García Álvarez, A. D., Martínez Prats, G., & Vázquez Vidal, V. (2024). Gestión del conocimiento: estrategias para la adquisición, gestión y transferencia de conocimientos en las organizaciones. *Publicaciones e Investigación*, 18(1). <https://doi.org/10.22490/25394088.7588>
- Rodríguez Sabiote, C., Lorenzo Quiles, O., & Herrera Torres, L. (2005). Teoría y práctica del análisis de datos cualitativos: Proceso general y criterios de calidad. *Revista Internacional de Ciencias Sociales y Humanidades, SOCIOTAM*, 15(2), 133-154. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=65415209>
- Toledo Martínez, M. (2018, 1 de agosto). *Libro de mantenimiento*. Tecnológico Nacional de México. <https://rinacional.tecnm.mx/jspui/handle/TecNM/4771>

## **Apéndices**

### **Apéndice A**

#### **Preguntas para análisis cualitativo**

1. ¿En qué contextos ha desempeñado actividades como formación, planificación, ejecución o supervisión de mantenimiento preventivo?
2. ¿Cuáles considera que son los conceptos o conocimientos de mantenimiento preventivo más relevantes que ha aplicado o presenciado?
3. ¿Cuál es su experiencia con el uso de tecnologías de la industria 4.0 y en qué ámbito del mantenimiento ha presenciado la aplicación de las mismas?
4. ¿Conoce o es partícipe de algún caso de uso de la tecnología de realidad aumentada en el mantenimiento?
5. ¿Qué situaciones problemáticas ha experimentado o identificado que se relacionan con el mantenimiento preventivo que pueden mejorarse?
6. ¿Qué aspectos del mantenimiento preventivo considera que se pueden mejorar con la implementación de alguna tecnología de la información y comunicación?
7. ¿Qué ventajas percibe en permitir que los operarios de mantenimiento gestionen la información en un dispositivo móvil como tablet o smartphone?
8. ¿Cómo afectaría la inclusión de dispositivos móviles al flujo de trabajo de los operarios en un proceso de mantenimiento preventivo?
9. ¿Qué tipo de información le resultaría más relevante tener en tiempo real durante una intervención de mantenimiento?
10. ¿Cómo considera que podría ayudar una herramienta basada en realidad aumentada en la reducción de errores de ejecución de los distintos procesos de mantenimiento?
11. ¿Qué funcionalidades considera que traerán beneficios en el uso de la realidad aumentada a la asistencia del mantenimiento preventivo y cuáles serían sus beneficios?

12. ¿Qué aspectos considera usted que se mejoran con la aplicación de la realidad aumentada en el mantenimiento industrial?
13. ¿Cuáles son los mayores retos que se anticipan en la capacitación de personal para el uso de herramientas de realidad aumentada y de gestión de la información en dispositivos móviles?
14. ¿Considera que el uso de la realidad aumentada puede ayudar en la capacitación del personal en tareas de mantenimiento, en favor de disminuir los tiempos de dichas capacitaciones y mejorar el tiempo de asimilación de dichas rutinas o procesos?

**Apéndice B****Código del árbol de navegación principal**

```
@Composable
fun AppNavHost(
    appState: AppState,
    modifier: Modifier,
) {
    NavHost(
        startDestination = ScannerGraph,
        navController = appState.navHostController,
        modifier = modifier
    ) {
        scannerNavGraph(appState)
        machinesNavGraph(appState)
        toolsNavGraph(appState)
        eventsNavGraph(appState)
    }
}
```

Apéndice C

Entidades de identificación y especificaciones técnicas de la máquina

| machine |                  |         | machine_specs |                  |         |
|---------|------------------|---------|---------------|------------------|---------|
| PK      | id               | INTEGER | PK            | id               | INTEGER |
|         | code             | TEXT    | FK            | machine_id       | INTEGER |
|         | name             | TEXT    |               | service_capacity | TEXT    |
|         | type             | INTEGER |               | speed            | TEXT    |
|         | location         | TEXT    |               | lubricant        | TEXT    |
|         | brand            | TEXT    |               | power_supply     | TEXT    |
|         | model            | TEXT    |               | weight           | TEXT    |
|         | serial           | TEXT    |               | height           | TEXT    |
|         | fabrication_year | INTEGER |               | lenght           | TEXT    |
|         | price            | REAL    |               | widht            | TEXT    |
|         | acquisition_date | INTEGER |               | job_desc         | TEXT    |
|         | image_uri        | TEXT    |               | hours_per_day    | INTEGER |
|         | created_at       | INTEGER |               | room_temp        | TEXT    |
|         | modified_at      | INTEGER |               | aditional_desc   | TEXT    |
|         |                  |         |               | created_at       | INTEGER |
|         |                  |         |               | modified_at      | INTEGER |

## Apéndice D

### Entidades de identificación y especificaciones técnicas del motor eléctrico

| motor_identity |                     |         |
|----------------|---------------------|---------|
| PK             | id                  | INTEGER |
| FK             | machine_id          | INTEGER |
|                | brand               | TEXT    |
|                | model               | TEXT    |
|                | serial_number       | TEXT    |
|                | product_number      | TEXT    |
|                | fabrication_country | TEXT    |
|                | standards           | TEXT    |
|                | fabrication_year    | INTEGER |
|                | price               | REAL    |
|                | acquisition_date    | INTEGER |
|                | image_uri           | TEXT    |
|                | created_at          | INTEGER |
|                | modified_at         | INTEGER |

| motor_specs |                    |         |
|-------------|--------------------|---------|
| PK          | id                 | INTEGER |
| FK          | machine_id         | INTEGER |
|             | eff_class          | TEXT    |
|             | phase_number       | INTEGER |
|             | nominal_power      | REAL    |
|             | frequency          | REAL    |
|             | rpm                | INTEGER |
|             | rpm_range          | TEXT    |
|             | nominal_voltage    | TEXT    |
|             | nominal_current    | TEXT    |
|             | service_factor     | REAL    |
|             | power_factor       | REAL    |
|             | duty               | TEXT    |
|             | room_temp          | REAL    |
|             | energy_eff         | REAL    |
|             | max_altitude       | INTEGER |
|             | ingress_protection | TEXT    |
|             | mounting_type      | TEXT    |
|             | frame_type         | TEXT    |
|             | cooling_method     | TEXT    |
|             | drive_end          | TEXT    |
|             | non_drive_end      | TEXT    |
|             | insulation_class   | TEXT    |
|             | insulation_temp    | REAL    |
|             | weight             | REAL    |
|             | created_at         | INTEGER |
|             | modified_at        | INTEGER |

Apéndice E

Entidad de documentos técnicos vinculados a una máquina

| document |             |         |
|----------|-------------|---------|
| PK       | id          | INTEGER |
|          | machine_id  | INTEGER |
|          | category    | INTEGER |
|          | name        | TEXT    |
|          | preview_uri | TEXT    |
|          | file_uri    | TEXT    |
|          | created_at  | INTEGER |

**Apéndice F****Entidades de marcadores y modelos 3D para realidad aumentada**

| marker |                  |         |
|--------|------------------|---------|
| PK     | id               | INTEGER |
| FK     | machine_id       | INTEGER |
|        | index            | INTEGER |
|        | image_uri        | TEXT    |
|        | size_centimeters | REAL    |
|        | calibrated       | INTEGER |
|        | origin_offset_vx | REAL    |
|        | origin_offset_vy | REAL    |
|        | origin_offset_vz | REAL    |
|        | origin_offset_qx | REAL    |
|        | origin_offset_qy | REAL    |
|        | origin_offset_qz | REAL    |
|        | origin_offset_qw | REAL    |

| model |            |         |
|-------|------------|---------|
| PK    | id         | INTEGER |
| FK    | machine_id | INTEGER |
|       | name       | TEXT    |
|       | glb_uri    | TEXT    |
|       | calibrated | INTEGER |
|       | offset_vx  | REAL    |
|       | offset_vy  | REAL    |
|       | offset_vz  | REAL    |
|       | offset_qx  | REAL    |
|       | offset_qy  | REAL    |
|       | offset_qz  | REAL    |
|       | offset_qw  | REAL    |



Apéndice G

Entidades de actividades, pasos y operaciones de mantenimiento

| activity |                |         |
|----------|----------------|---------|
| PK       | id             | INTEGER |
| FK       | machine_id     | INTEGER |
|          | name           | TEXT    |
|          | type           | INTEGER |
|          | description    | TEXT    |
|          | frequency      | INTEGER |
|          | frequency_unit | TEXT    |
|          | image_uri      | TEXT    |
|          | created_at     | INTEGER |
|          | modified_at    | INTEGER |

| step |             |         |
|------|-------------|---------|
| PK   | id          | INTEGER |
| FK   | activity_id | INTEGER |
|      | order       | INTEGER |
|      | title       | TEXT    |
|      | dscription  | TEXT    |
|      | image_uri   | TEXT    |

| operation |           |         |
|-----------|-----------|---------|
| PK        | id        | INTEGER |
| FK        | step_id   | INTEGER |
|           | order     | INTEGER |
|           | title     | TEXT    |
|           | type      | INTEGER |
|           | delay     | REAL    |
|           | duration  | REAL    |
|           | axis      | INTEGER |
|           | turns     | REAL    |
|           | global    | INTEGER |
|           | offset_vx | REAL    |
|           | offset_vy | REAL    |
|           | offset_vz | REAL    |
|           | offset_qx | REAL    |
|           | offset_qy | REAL    |
|           | offset_qz | REAL    |
|           | offset_qw | REAL    |

Apéndice H

Entidad de catálogo de herramientas de mantenimiento

| tool |                  |         |
|------|------------------|---------|
| PK   | id               | INTEGER |
|      | type             | INTEGER |
|      | name             | TEXT    |
|      | code             | TEXT    |
|      | body_media_uri   | TEXT    |
|      | symbol_media_uri | TEXT    |

Apéndice I

Entidad de eventos y cronograma de mantenimiento

| event |                 |         |
|-------|-----------------|---------|
| PK    | id              | INTEGER |
|       | activity_id     | INTEGER |
|       | title           | TEXT    |
|       | description     | TEXT    |
|       | date            | TEXT    |
|       | recurrent       | INTEGER |
|       | quantity        | INTEGER |
|       | recurrence_unit | INTEGER |

Apéndice J

Entidad pivote para la referencia de partes de modelos 3D en operaciones

| pivot_composite |              |         |
|-----------------|--------------|---------|
| FK              | operation_id | INTEGER |
| FK              | model_id     | INTEGER |
|                 | hash         | INTEGER |

## Apéndice K

### Configuración de la sesión de realidad aumentada

```
fun configureARSession(  
    session: Session,  
    config: Config  
) {  
    config.apply {  
        setFocusMode(Config.FocusMode.AUTO)  
        setLightEstimationMode(Config.LightEstimationMode.DISABLED)  
        setInstantPlacementMode(Config.InstantPlacementMode.DISABLED)  
        planeFindingMode = Config.PlaneFindingMode.  
            HORIZONTAL_AND_VERTICAL  
        setDepthMode(  
            when (session.isDepthModeSupported(Config.DepthMode.  
                AUTOMATIC)) {  
                true -> Config.DepthMode.AUTOMATIC  
                else -> Config.DepthMode.DISABLED  
            }  
        )  
    }  
}
```

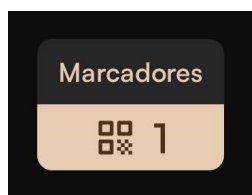
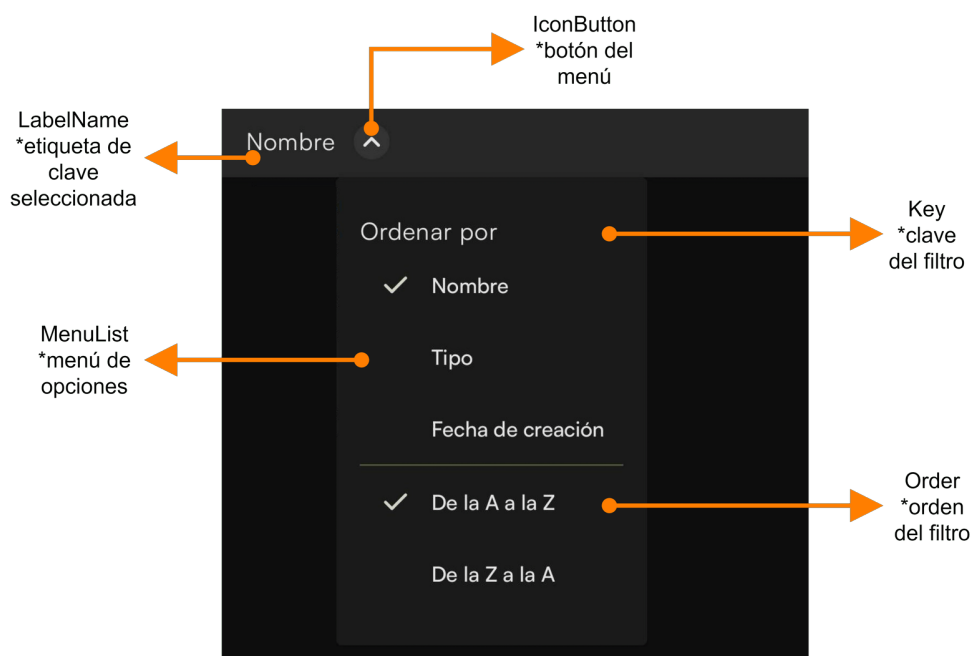
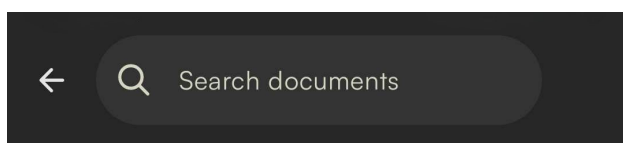
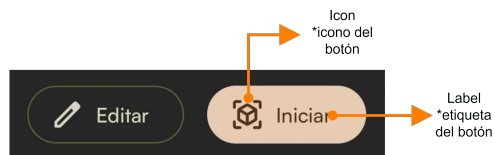
## **Apéndice L**

### **Código fuente de la aplicación**

ARAssistant App: <https://github.com/jssdvv/ar-assistant-app>.

## Apéndice M

### Componentes comunes de la aplicación



## Apéndice N

### Tarjetas temáticas de la máquina

#### Identification data

Editar

-  **Código**  
M1
-  **Tipo de maquina**  
Eléctrica
-  **Ubicación**  
Laboratorio 109, Ingeniería mecánica
-  **Marca**  
FIAC
-  **Modelo**  
AB 150-320
-  **Número de serie**  
1121480630
-  **Año de fabricación**  
1995
-  **Precio**  
1118700.0
-  **Fecha de adquisición**  
1 de abr de 1998

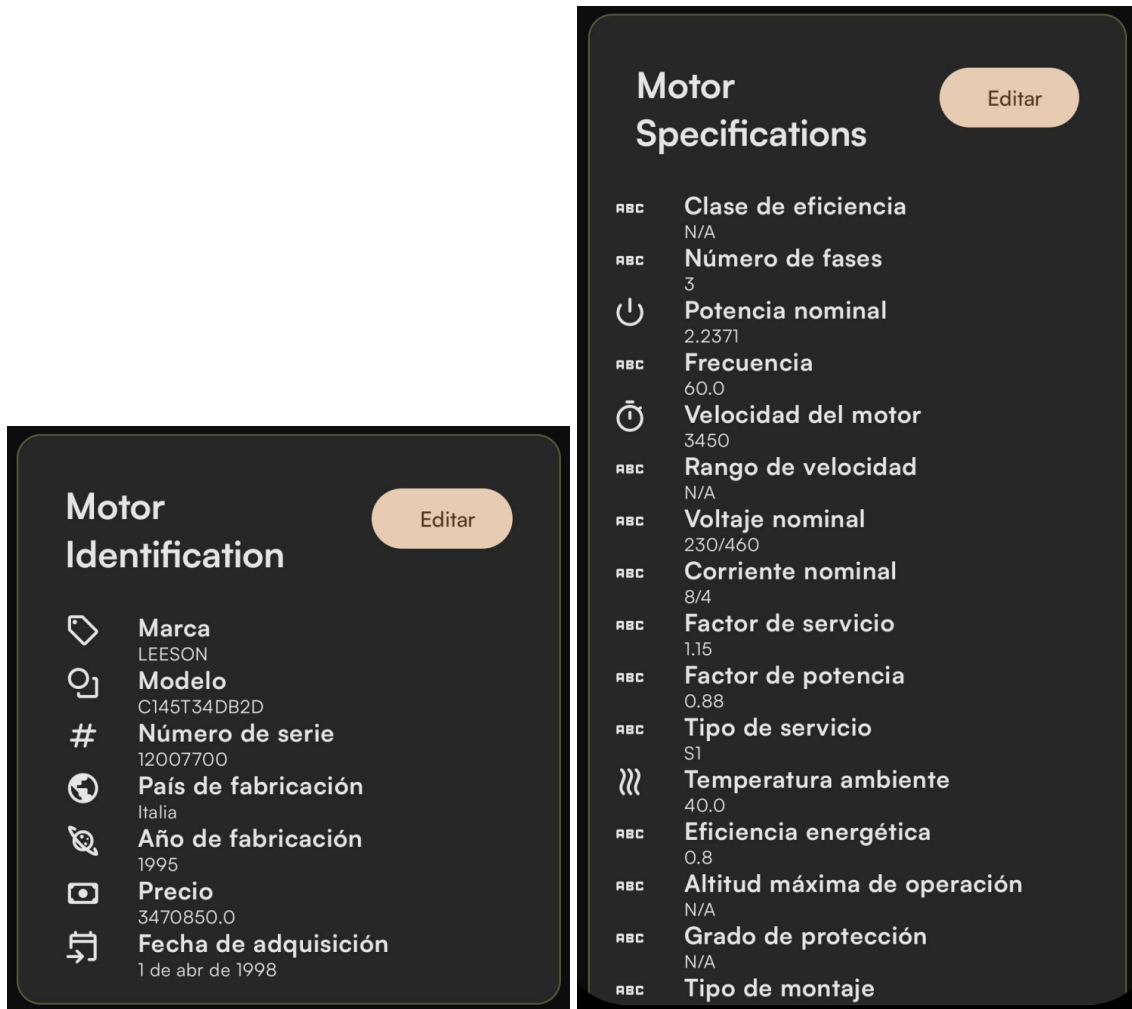
#### Machine Specifications

Editar

-  **Descripción del trabajo**  
Comprime aire para los bancos neumáticos del laboratorio de potencia fluida
-  **Capacidad de servicio**  
350 l/min
-  **Velocidad de la máquina**  
900 RPM
-  **Lubricante**  
SAE 15W-40
-  **Fuente de alimentación**  
Eléctrica
-  **Peso**  
90 kg
-  **Alto**  
1060 mm
-  **Ancho**  
540 mm
-  **Largo**  
1360 mm
-  **Horas por día**  
6
-  **Temperatura**  
32 Celcius
-  **Descripción adicional**  
N/A



## Tarjetas temáticas del motor



### Apéndice O

#### Prueba de tiempo de inicio del dispositivo OPPO Reno14 F

| Ejecución       | Cold (ms)      | Warm (ms)      | Hot (ms)       |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1               | 564.707        | 129.632        | 70.506         |
| 2               | 571.967        | 132.825        | 72.973         |
| 3               | 578.422        | 137.089        | 82.002         |
| 4               | 554.463        | 149.008        | 75.405         |
| 5               | 553.572        | 138.082        | 66.514         |
| 6               | 566.430        | 150.180        | 115.690        |
| 7               | 540.535        | 139.944        | 93.610         |
| 8               | 525.174        | 147.246        | 98.469         |
| 9               | 544.075        | 138.205        | 81.142         |
| 10              | 543.717        | 139.022        | 102.725        |
| <b>Promedio</b> | <b>554.306</b> | <b>140.123</b> | <b>85.904</b>  |
| <b>Mínimo</b>   | <b>525.174</b> | <b>129.632</b> | <b>66.514</b>  |
| <b>Máximo</b>   | <b>578.422</b> | <b>150.180</b> | <b>115.690</b> |

**Apéndice P****Prueba de tiempo de inicio del dispositivo Motorola Moto g15**

| <b>Ejecución</b> | <b>Cold (ms)</b> | <b>Warm (ms)</b> | <b>Hot (ms)</b> |
|------------------|------------------|------------------|-----------------|
| 1                | 1345.890         | 239.430          | 98.932          |
| 2                | 1344.428         | 238.811          | 97.014          |
| 3                | 1462.025         | 206.183          | 140.940         |
| 4                | 1366.207         | 233.238          | 99.302          |
| 5                | 1348.010         | 188.982          | 89.805          |
| 6                | 1403.137         | 198.134          | 101.732         |
| 7                | 1358.621         | 237.179          | 125.639         |
| 8                | 1335.045         | 190.202          | 83.393          |
| 9                | 1355.838         | 225.663          | 99.957          |
| 10               | 1333.539         | 208.856          | 94.247          |
| <b>Promedio</b>  | <b>1365.274</b>  | <b>216.668</b>   | <b>103.096</b>  |
| <b>Mínimo</b>    | <b>1333.539</b>  | <b>188.982</b>   | <b>83.393</b>   |
| <b>Máximo</b>    | <b>1462.025</b>  | <b>239.430</b>   | <b>140.940</b>  |

### Apéndice Q

#### Prueba de tiempo de inicio del dispositivo Redmi Note 10 Pro

| Ejecución       | Cold (ms)      | Warm (ms)      | Hot (ms)       |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1               | 722.690        | 266.296        | 129.473        |
| 2               | 716.456        | 163.058        | 91.554         |
| 3               | 704.664        | 222.943        | 89.606         |
| 4               | 724.162        | 234.678        | 100.506        |
| 5               | 728.408        | 227.304        | 121.707        |
| 6               | 704.182        | 220.843        | 106.789        |
| 7               | 727.491        | 183.908        | 117.287        |
| 8               | 733.730        | 217.064        | 123.492        |
| 9               | 708.549        | 194.186        | 120.731        |
| 10              | 799.314        | 190.069        | 113.886        |
| <b>Promedio</b> | <b>726.965</b> | <b>212.035</b> | <b>111.503</b> |
| <b>Mínimo</b>   | <b>704.182</b> | <b>163.058</b> | <b>89.606</b>  |
| <b>Máximo</b>   | <b>799.314</b> | <b>266.296</b> | <b>129.473</b> |

**Apéndice R****Prueba de rendimiento de navegación del dispositivo Motorola Moto g15**

| <b>Percentil</b> | <b>Navegación a calibración</b> | <b>Navegación a sesión RA</b> | <b>Navegación a editor de actividades</b> |
|------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------|
| P50              | 7.246462                        | 7.516462                      | 7.637269                                  |
| P90              | 49.981461                       | 46.306577                     | 45.809331                                 |
| P95              | 90.457692                       | 69.386558                     | 73.799750                                 |
| P99              | 537.262847                      | 215.126485                    | 183.320014                                |

**Apéndice S****Prueba de rendimiento de navegación del dispositivo Oppo Reno 14F**

| <b>Percentil</b> | <b>Navegación a calibración</b> | <b>Navegación a sesión RA</b> | <b>Navegación a editor de actividades</b> |
|------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------|
| P50              | 11.442240                       | 9.737996                      | 11.600104                                 |
| P90              | 32.129802                       | 31.571755                     | 32.028646                                 |
| P95              | 58.206229                       | 53.090377                     | 55.330464                                 |
| P99              | 259.169067                      | 215.914236                    | 259.805379                                |

**Apéndice T****Prueba de rendimiento de navegación del dispositivo Redmi Note 10 pro**

| <b>Percentil</b> | <b>Navegación a calibración</b> | <b>Navegación a sesión RA</b> | <b>Navegación a editor de actividades</b> |
|------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------|
| P50              | 11.752448                       | 10.993437                     | 10.879323                                 |
| P90              | 33.273177                       | 38.623406                     | 35.249323                                 |
| P95              | 58.883849                       | 67.634719                     | 58.707063                                 |
| P99              | 124.230579                      | 116.415503                    | 123.773773                                |