

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“SIMULACIÓN DE UNA APLICACIÓN DE REALIDAD
AUMENTADA PARA EL MANTENIMIENTO DE UN EQUIPO
MÉDICO”

EXAMEN COMPLEXIVO - COMPONENTE PRÁCTICO
INFORME PROFESIONAL

Previo a la obtención del Título de:

MAGISTER EN INGENIERÍA BIOMÉDICA

DIANA MARGARITA GARCÉS MONCAYO

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2024

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que han contribuido al desarrollo de este proyecto.

En primer lugar, agradezco a mis profesores por su guía, paciencia y apoyo constante a lo largo de este proceso. Su experiencia y conocimientos han sido fundamentales para llevar a cabo este proyecto.

A mi familia, por su amor incondicional, comprensión y motivación en los momentos más difíciles. Su apoyo ha sido mi principal fuente de fuerza y perseverancia.

A mis amigos y compañeros de estudios, quienes siempre estuvieron dispuestos a ofrecer su ayuda y compartir ideas valiosas. Sus consejos y compañía hicieron de esta experiencia algo mucho más llevadero y enriquecedor.

Agradezco también a los desarrolladores y la comunidad de MindAR y Glitch, cuyas herramientas y recursos abiertos han sido cruciales para la implementación técnica de este proyecto. Su trabajo y compromiso con el desarrollo de tecnologías accesibles y avanzadas han sido inspiradores.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a:

Mis padres, por su amor incondicional, sacrificios y apoyo inquebrantable a lo largo de todos estos años. Su ejemplo y esfuerzo han sido mi mayor inspiración.

Mis hermanas, por su constante ánimo y por estar siempre a mi lado en los buenos y malos momentos.

Mis amigos y compañeros de estudios, por compartir este viaje académico conmigo y hacer de esta experiencia algo memorable y enriquecedor.

A todos los maestros y mentores que, con su paciencia y sabiduría, han contribuido a mi formación académica y profesional.

Y a todas las personas que de alguna manera han sido parte de este proceso y me han apoyado en la realización de este sueño.

Gracias a todos por creer en mí y por ser una fuente constante de motivación y apoyo.

COMITÉ DE EVALUACIÓN

PhD. Federico Domínguez

MSc. Miguel Yapur

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Informe Profesional, me corresponde exclusivamente; y doy mi consentimiento para que la ESPOI realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

.....
Diana Margarita Garcés Moncayo

RESUMEN

El presente proyecto se centra en el desarrollo de una aplicación de realidad aumentada (RA) para el mantenimiento de equipos médicos, en este caso se utilizó una máquina de anestesia, la programación y configuración se realizó en plataformas de código abierto y para desarrolladores MindAR y Glitch. El objetivo principal es optimizar las tareas de mantenimiento al ofrecer una herramienta que facilite el reconocimiento de imágenes y la visualización de modelos 3D sobre equipos médicos específicos.

El proceso comienza con la carga de una imagen de referencia en MindAR, seguida de la integración de las bibliotecas necesarias para el funcionamiento de la aplicación. Posteriormente, en Glitch, se programan las características de la aplicación, como el enlace a los modelos 3D y las imágenes de destino, permitiendo que los usuarios visualicen instrucciones y elementos interactivos en tiempo real. Esta metodología ágil permite iteraciones rápidas y ajustes basados en el feedback del usuario.

Los resultados esperados incluyen una mejora en la precisión y eficiencia del mantenimiento, reducción de errores y un aumento en la capacidad de los técnicos no expertos para realizar tareas complejas. Se han planteado recomendaciones para futuras optimizaciones, como la mejora del algoritmo de reconocimiento de imágenes, la ampliación de la compatibilidad con diferentes dispositivos, y la exploración de tecnologías de realidad mixta para una experiencia más inmersiva.

Este proyecto representa un avance significativo en la aplicación de tecnologías emergentes en el campo del mantenimiento médico, contribuyendo a una gestión más eficiente, efectiva de los equipos y proponiendo un modelo que puede ser escalado en diferentes contextos de la biomedicina.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|----|
| AGRADECIMIENTOS..... | 2 |
| DEDICATORIA..... | 3 |
| COMITÉ DE EVALUACIÓN..... | 4 |
| | 4 |
| DECLARACIÓN EXPRESA..... | 5 |
| RESUMEN..... | 6 |
| INTRODUCCIÓN..... | 9 |
| CAPÍTULO 1..... | 11 |
| 1.1 ANTECEDENTES..... | 11 |
| 1.2 OBJETIVOS..... | 12 |
| 1.2.1 Objetivo Principal..... | 12 |
| 1.2.2 Objetivos específicos..... | 12 |
| 1.3 JUSTIFICACIÓN..... | 12 |
| 1.4 CONCEPTOS PRELIMINARES..... | 13 |
| 1.4.1 Realidad aumentada..... | 13 |
| 1.4.2 Mantenimiento preventivo..... | 13 |
| 1.4.3 Mantenimiento preventivo de equipos médicos..... | 14 |
| 1.4.4 Plataformas Web de realidad aumentada..... | 14 |
| 1.4.5 MindAR..... | 14 |
| 1.4.6 Glitch..... | 14 |
| 1.5 DESARROLLO..... | 15 |
| 1.5.1 Configuración Inicial en MindAR..... | 15 |
| 1.5.2 Configuración en la plataforma glitch..... | 18 |
| 1.5.3 Pruebas y validación..... | 24 |
| CAPÍTULO 2..... | 25 |
| 2.1 Solución encontrada..... | 25 |
| 2.2 Metodología..... | 25 |

| | |
|--|----|
| 2.3 Trabajos futuros..... | 26 |
| CAPITULO 3..... | 27 |
| 3.1 RESULTADOS..... | 27 |
| 3.1.1 Carga de imagen en MindAR..... | 27 |
| 3.1.2 Integración del código y carga de modelo 3D..... | 27 |
| 3.1.3 Validación del enlace y pruebas de funcionamiento..... | 27 |
| 3.1.4. Propuestas de mejora..... | 30 |
| 3.2 DISCUSIÓN..... | 31 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 33 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 34 |
| ANEXOS..... | 36 |
| anexo 1. Guía de mantenimiento preventivo de una máquina de anestesia. | 36 |

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento adecuado de los equipos médicos permite que los pacientes sean tratados y diagnosticados de manera correcta y oportuna, reduciendo así la mortalidad y los riesgos asociados a diagnósticos incorrectos o tardíos, por lo que contar con programas de mantenimiento planificados e implementados correctamente minimiza los errores de funcionamiento[1]. Por ello, es importante disponer de una guía de mantenimiento que facilite la correcta gestión del mantenimiento preventivo[2]. En los últimos años, tanto el mantenimiento preventivo como el correctivo aseguran que los equipos funcionen dentro de los parámetros establecidos por las normas y los valores recomendados por el fabricante[3].

Sin embargo, en la actualidad, el personal encargado del mantenimiento enfrenta una serie de desafíos y limitaciones. Entre ellos, se encuentran la falta de experiencia y conocimiento de sus componentes y partes, así como enfrentarse a nuevos equipos sin tener la capacitación necesaria para realizar un mantenimiento preventivo adecuado. Esto puede resultar en un uso ineficiente del tiempo y retrasos en el mantenimiento, afectando la operatividad y seguridad [4].

Para superar estas limitaciones y desafíos la realidad aumentada es una alternativa actual. Esta tecnología consiste en combinar vistas físicas y virtuales, mejorando o aumentando el entorno físico real al combinar información creada por computador[5]. Esto se consigue mediante la utilización de elementos visuales digitales, lo que permite una mejor comprensión y manejo de los equipos médicos, facilitando el mantenimiento y reduciendo errores[6].

Además, la realidad aumentada se ha aplicado en diversos campos, además de la medicina. En la educación, se ha utilizado como una tecnología que permite el uso de dispositivos manos libres para superponer imágenes y facilitar la interacción en tiempo real mediante reconocimiento de voz y gestos con las manos, mejorando así el aprendizaje[7]. En el ámbito militar, la realidad aumentada se emplea para simular campos de batalla complejos, realizar entrenamiento militar y planificar intervenciones[8]. En la industria tecnológica, desde la Industria 1.0 hasta el estado actual de la Industria 4.0, se ha descubierto que, al superponer instrucciones en componentes reales, la tasa de error en tareas de montaje se puede reducir hasta

en un 82%[9].

Los beneficios de la aplicación de la realidad aumentada en el mantenimiento de equipos médicos radican en el ahorro de tiempo y la reducción de errores. Sin embargo, el éxito del mantenimiento depende en gran medida de la experiencia de los técnicos. Si un técnico no tiene la experiencia adecuada, estos beneficios pueden verse comprometidos[10].

Por lo tanto, este proyecto se centra en la simulación de una aplicación de realidad aumentada para el mantenimiento de un equipo médico. Se explora los beneficios de esta tecnología, como la reducción del tiempo del mantenimiento preventivo. La simulación se desarrolla y evalúa mediante la programación en una plataforma web de realidad aumentada realizando pruebas y verificando su efectividad.

El impacto potencial de esta tecnología en la industria médica es significativo, y su implementación exitosa podría transformar las prácticas de mantenimiento preventivo. Además, este proyecto abre nuevas oportunidades para futuras investigaciones y el desarrollo continuo de la tecnología de realidad aumentada en diversos campos.

CAPÍTULO 1

1.1 ANTECEDENTES

Los investigadores Pinwang Zhao, Hongchao Wu, Xue Shi, Jing Li, Xiaojian Yi y Shulin Liu en su artículo científico denominado “Research on maintenance guiding system augmented reality” desarrollaron un prototipo de un sistema de mantenimiento e inducción basado en realidad aumentada, utilizando una torre de control remoto para el desmontaje y la manipulación. Los resultados mostraron que este sistema puede mejorar significativamente la eficiencia del mantenimiento de equipos complejos y el efecto de entrenamiento. Esto es de gran importancia para elevar el nivel de información y competencia en el manejo y mantenimiento de dichos equipos, facilitando un aprendizaje más efectivo y una reducción de errores en el proceso[2].

En el estudio “Design and development of intelligent operation and maintenance training system for substation based on augmented reality”, se describe un sistema avanzado de formación en operación y mantenimiento dirigido al personal de subestaciones eléctricas. Este sistema integra una plataforma de capacitación inteligente y un sistema de operación y mantenimiento avanzado. Utiliza la realidad aumentada para recrear escenarios realistas, proporcionando una experiencia inmersiva “panorámica” que mejora significativamente la eficacia y operatividad del proceso de capacitación[11].

En su artículo científico, K. Sabarinathan, N. Kanagasabapathy, V. D. Ambeth Kumar, P. K. Rishikesh, R. V. Priyadharshan y A. Abirami mencionan que la realidad aumentada aplicada al mantenimiento tiene como objetivo principal reducir el tiempo necesario para las operaciones de mantenimiento y que, mediante el uso de esta tecnología, los costos y el tiempo necesarios para el mantenimiento se reducen, mientras que la eficiencia del trabajo y la manejabilidad de las tareas aumentan[12].

El artículo científico “Augmented reality system based on hand gestures for remote” presenta un sistema de colaboración en tiempo real para asistencia remota, donde un asistente remoto utiliza gestos manuales basados en realidad aumentada móvil

para ayudar a un trabajador distante a realizar tareas manuales. Los resultados indican que los participantes generalmente consideraron el sistema propuesto como útil y fácil de usar[13].

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Principal

Simular una aplicación de realidad aumentada para el mantenimiento de un equipo médico.

1.2.2 Objetivos específicos

- Recopilar información de estudios previos y tecnologías existentes para la simulación de la aplicación de realidad aumentada en el mantenimiento de un equipo médico.
- Programar la simulación con el seguimiento de imágenes en plataformas web de realidad aumentada para una máquina de anestesia.
- Mostrar el funcionamiento de la simulación, validando su eficiencia y efectividad para mostrar un equipo en 3 dimensiones.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El mantenimiento correcto de los equipos médicos es esencial para corroborar la seguridad del paciente y la eficiencia operativa en cada uno de los ambientes médicos que requirieren el uso de equipos, la mala gestión en cuanto a mantenimientos preventivos y de rutina puede reflejar peligro en la vida de los pacientes e interrupción en la atención diaria de los centros de salud[14].

Los procedimientos actuales que se dan en cuanto a mantenimiento preventivo de equipos médicos enfrentan numerosos retos los cuales incluyen la complejidad técnica, la ausencia de capacitación continua para el personal de mantenimiento y el depender de manuales físicos que a menudo son difíciles de interpretar. Estas restricciones pueden llevar a diagnósticos y reparaciones ineficaces, aumentando el tiempo de inoperatividad de los equipos y el riesgo de errores humanos[15].

En este proyecto se utiliza la realidad aumentada ya que ofrece una solución innovadora a estos desafíos mejorando la precisión y eficiencia de los técnicos de

mantenimiento al proporcionar instrucciones visuales interactivas y guías paso a paso. Además, puede reducir significativamente el tiempo de inactividad de los equipos al acelerar el proceso de mantenimiento preventivo, también logra ser una herramienta de capacitación continua, proporcionando a los técnicos la información y el apoyo necesarios en tiempo real.

Este proyecto tiene el propósito de facilitar las prácticas de mantenimiento preventivo en la industria médica, estableciendo una forma de conocer el equipo en realidad aumentada y obtener una guía de mantenimiento preventivo básico para un técnico sin experiencia o personal que no está familiarizado con nuevos equipos. El éxito de este proyecto contribuirá al desarrollo de nuevas tecnologías y al avance del conocimiento en el campo de la realidad aumentada y su aplicación en la medicina.

La tecnología de realidad aumentada es cada vez más accesible y viable económicamente, lo que facilita su implementación en entornos médicos[16]. Una vez desarrollada la simulación de realidad aumentada puede ser mantenida y actualizada, proporcionando beneficios continuos tanto a las instalaciones médicas como a los técnicos de mantenimiento.

1.4 CONCEPTOS PRELIMINARES

1.4.1 Realidad aumentada

En [17] se define a la realidad aumentada como una tecnología emergente utilizada para integrar sistemas de mantenimiento inteligentes y predictivos, apoyando a los técnicos durante la ejecución de intervenciones de mantenimiento mediante la visualización y el monitoreo de datos en tiempo real, facilitando la detección temprana de fallas y la programación de intervenciones para mitigar dichas fallas en entornos de fabricación industrial, en [18] lo define como una tecnología que tiene el potencial de mejorar significativamente el rendimiento humano en las operaciones de mantenimiento, reparación y revisión al proporcionar procedimientos paso a paso basados en animación. La realidad aumentada permite la presentación de instrucciones, imágenes y ordenes en pantallas para el mantenimiento preventivo de equipos, en educación y distintas aplicaciones[19].

1.4.2 Mantenimiento preventivo

Estrategia de mantenimiento planificado que se basa en el análisis de confiabilidad y características de falla del equipo para garantizar la confiabilidad y el estado operativo del equipo. Este tipo de mantenimiento implica la utilización de datos de monitoreo de condición del equipo para predecir cambios en su estado operativo y tomar decisiones informadas sobre intervenciones de mantenimiento, asegurando así un funcionamiento óptimo y reduciendo los costos de mantenimiento[20].

1.4.3 Mantenimiento preventivo de equipos médicos

Etapa crucial del ciclo de vida de los equipos médicos que requiere una gestión y control adecuados, priorizando razonablemente las tareas de mantenimiento preventivo. Se desarrollo un marco integral que utiliza el despliegue de la Función de Calidad para identificar y priorizar los criterios más importantes que afectan el mantenimiento preventivo, generando un índice de prioridad para asegurar la confiabilidad y funcionalidad óptima de los equipos médicos[21].

1.4.4 Plataformas Web de realidad aumentada

Sistemas que facilitan la implementación de experiencias de realidad aumentada a través de navegadores, con aplicaciones en diversas áreas como visualización de productos, educación, publicidad, navegación, narración interactiva, y más. Estas plataformas, como Vectary, Blippar, Glitch, MindAR y World Cast AR, permiten el desarrollo e integración de contenido virtual, ofreciendo oportunidades para explorar y expandir el uso de tecnologías de realidad aumentada en contextos prácticos[22].

1.4.5 MindAR

MindAR es una biblioteca de realidad aumentada web de código abierto que admite seguimiento de imágenes y facial. Esta plataforma está en constante crecimiento gracias a las contribuciones de desarrolladores, dado que su naturaleza de código abierto fomenta la colaboración. Entre los beneficios de utilizar una plataforma web de código abierto se encuentra la colaboración entre desarrolladores, lo que permite un rápido aprendizaje e iteración, así como la posibilidad de crear nuevas aplicaciones y experiencias. Esta comunidad en expansión es un ejemplo de cómo avanzar hacia una experiencia web más abierta que beneficia a todos[23].

1.4.6 Glitch

Glitch es una plataforma web que permite a los usuarios crear, compartir y colaborar en aplicaciones web de manera sencilla. Es especialmente popular entre desarrolladores, diseñadores y educadores, ya que ofrece un entorno interactivo donde se pueden codificar proyectos en tiempo real, ver los cambios instantáneamente y colaborar con otros. Glitch proporciona herramientas para construir desde simples sitios web hasta aplicaciones más complejas, facilitando el aprendizaje y la creación de experiencias web abiertas[24].

1.5 DESARROLLO

El presente trabajo muestra una combinación de tecnologías que se han simulado en plataformas web de código abierto para la creación y seguimiento de imágenes de realidad aumentada en tiempo real. En la figura 1 se muestran las etapas del desarrollo propuesto, las cuales constan de tres partes principales que son: la configuración inicial en MindAR, la configuración en Glitch y finalmente pruebas y validación.

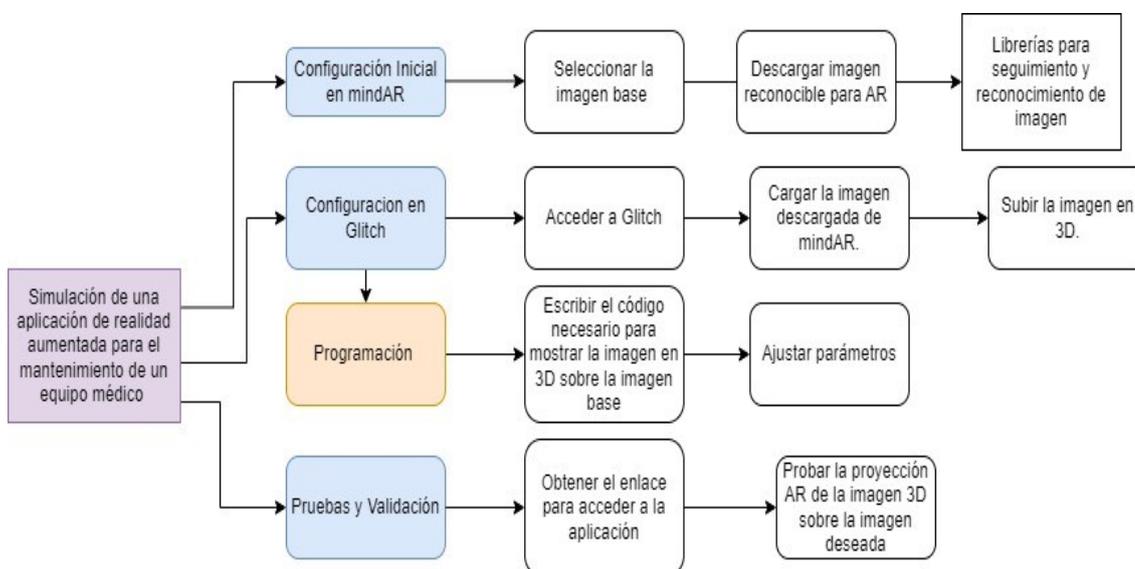


Figura 1. Etapas de la simulación de una aplicación de realidad aumentada para el mantenimiento de un equipo médico.

1.5.1 Configuración Inicial en MindAR

En esta etapa, se realizó la configuración necesaria para utilizar la plataforma

mindAR en el proyecto de realidad aumentada. MindAR es una herramienta de código abierto que permite el seguimiento de imágenes y seguimiento facial en aplicaciones web. Los pasos involucrados en esta etapa son los siguientes:

1.5.1.1 Instalación de Librerías

Para comenzar, es necesario incluir las librerías de mindAR y A-Frame en el proyecto. Esto se logra agregando los scripts que se muestran en el anexo 4 en el archivo HTML de la plataforma Glitch.

1.5.1.2 Carga de Imagen base

Se debe cargar la imagen que se utilizará como marcador de realidad aumentada en mindAR. Esta imagen sirvió como base para superponer el contenido virtual. La imagen cumplió con los requisitos de calidad y resolución adecuados para asegurar un correcto seguimiento de realidad aumentada.

En MindAR existe una herramienta que se denomina “Image Targets Compiler” que es un compilador que genera una nube de puntos de reconocimiento y para ello es recomendable utilizar imágenes con un bajo contraste. En la figura 3 se muestra la interfaz para cargar la imagen en MindAR.

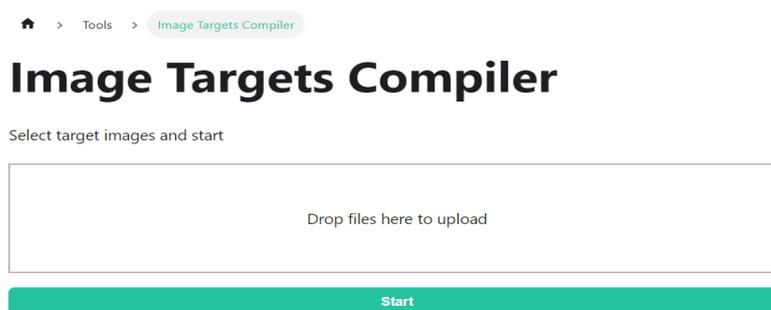


Figura 2. Interfaz de la herramienta “Image targets complier” de la plataforma mindAR

En ese compilador se inserta una imagen QR, la cual enlaza a la guía del mantenimiento preventivo del equipo médico que para este proyecto es una máquina de anestesia y que se visualizó en tres dimensiones.

1.5.1.3 Generación del Mapa de Características

MindAR analiza la imagen cargada y genera un mapa de características. Este mapa es utilizado por el sistema para identificar y rastrear la imagen en el entorno físico; una vez insertada la imagen se puede observar una nube de puntos de reconocimiento, es recomendable utilizar imágenes con un alto contraste como se muestra en la figura 4.

Compilador de objetivos de imagen

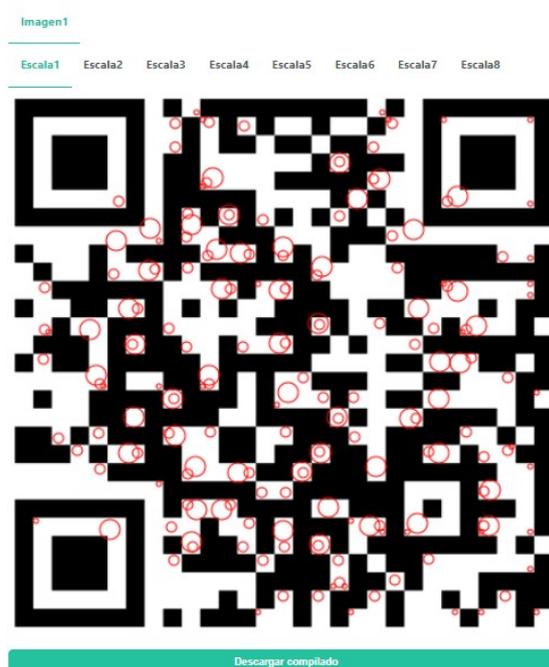


Figura 3. Nube de puntos de la imagen base para la simulación de realidad aumentada.

Al descargar se obtiene un archivo .mind el cuál sirvió para la configuración en la plataforma Glitch.

1.5.1.4 Integración de A-Frame

A-Frame es un framework para la creación de experiencias de realidad virtual y aumentada en la web. La integración de A-Frame con mindAR permite crear y manipular el equipo médico es decir la maquina de anestesia en 3D de manera

sencilla. Es necesario incluir la configuración básica de A-Frame en el HTML para la construcción de la escena de realidad aumentada.

1.5.1.5 Configuración del Escenario de realidad aumentada

Con la imagen de referencia y las librerías cargadas, se configuró el escenario de realidad aumentada. Esto incluye la definición de los elementos 3D que se superpondrán sobre la imagen base y la configuración de sus propiedades y comportamientos.

1.5.2 Configuración en la plataforma Glitch

En esta etapa, se describe la configuración del proyecto de realidad aumentada utilizando Glitch, una plataforma web colaborativa que permite a los desarrolladores crear y alojar aplicaciones web. La configuración de Glitch incluye la carga de la imagen base es decir el código QR detallado anteriormente, el modelo en 3D de la máquina de anestesia, y la programación necesaria para que la aplicación funcione correctamente. A continuación, se detallan los pasos y el código utilizado:

1.5.2.1 Creación del Proyecto en Glitch

Para la creación del proyecto se debe crear una cuenta e iniciar sesión, una vez que se tenga el usuario creado se debe seleccionar la opción “Basic website” y a continuación se crea un nuevo proyecto, como se muestran en la figura 5.

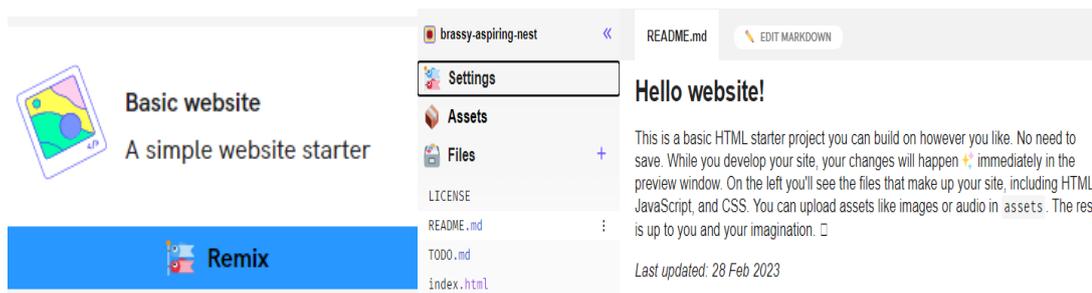


Figura 4. Interfaz de la plataforma Glitch

Se debe colocar un nombre al proyecto como se muestra en la figura 6.

Edit Project Details

PROJECT NAME

proyecto-diana-garces

DESCRIPTION

Your very own basic web page, ready for you to customize.

 Save

Cancel

Figura 5. Interfaz para editar el nombre del proyecto

1.5.2.2 Carga de archivos

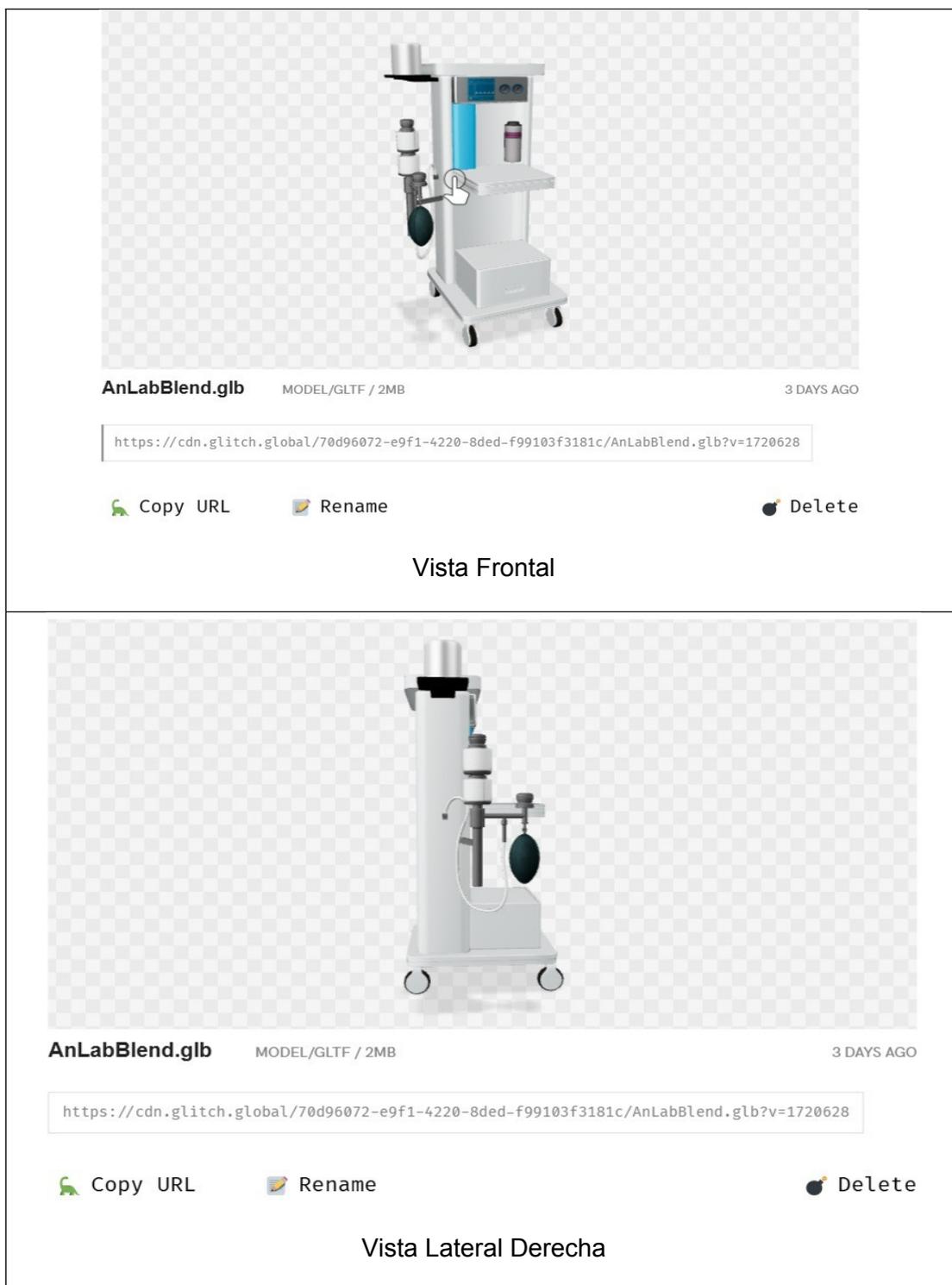
En este paso en la pestaña Assets se debe cargar el archivo .mind que se descarga de la plataforma MindAR y el archivo .glb que es archivo en 3D de la máquina de anestesia, como se puede ver en la figura 7.



Figura 6. Archivos cargados a la plataforma Glitch

El archivo de la máquina de anestesia debe tener una extensión .glb para cargarlo a la plataforma Glitch, en este caso es una imagen en 3D como se muestra en las imágenes de la tabla 1.

Tabla 1.
Mosaico de vistas de la máquina de anestesia en 3D



**AnLabBlend.glb**

MODEL/GLTF / 2MB

3 DAYS AGO

<https://cdn.glitch.global/70d96072-e9f1-4220-8ded-f99103f3181c/AnLabBlend.glb?v=1720628> Copy URL Rename Delete

Vista posterior

**AnLabBlend.glb**

MODEL/GLTF / 2MB

3 DAYS AGO

<https://cdn.glitch.global/70d96072-e9f1-4220-8ded-f99103f3181c/AnLabBlend.glb?v=1720628> Copy URL Rename Delete

Vista lateral izquierda

1.5.2.3 Incorporación de librería importadas de MindAR

Para iniciar la aplicación se deben incluir las librerías de MindAR y A-Frame en el archivo HTML mostradas en el Anexo 4 para utilizar sus funcionalidades.

1.5.2.4 Configuración de la escena de realidad aumentada.

Para configurar la escena de realidad aumentada se debe colocar la programación en el cuerpo del HTML utilizando A-Frame y MindAR, se debe definir la imagen base en este caso el código QR y el modelo 3D de la escena en este caso la máquina de anestesia. En el anexo 5, se muestra el código fuente de la programación realizada en la plataforma web Glitch.

Para programar el código fuente de la imagen base se utiliza la propiedad `mindar-image` seguido del link de la plataforma web glitch donde fue guardada la imagen, esta propiedad se encuentra dentro del cuerpo `<a-scene>` como se muestra en el anexo 5.

El modelo en 3D se encuentra adentro de la propiedad `<a-gltf-model>` donde se especifica posición, escala y rotación de la máquina de anestesia seguido del link de la plataforma web glitch donde fue guardada la imagen como se muestra en el anexo 5.

A continuación, se detallan los elementos HTML utilizados en la programación del código fuente:

<a-scene>: Define la escena de realidad aumentada. La propiedad `mindar-image` especifica la fuente de la imagen de referencia además permite crear una escena de trabajo, en esta codificación se agrega la imagen, utiliza un enlace generado en la misma plataforma.

<a-camera>: Define la cámara de la escena, deshabilitando los controles de movimiento, se incluyen parámetros como la posición.

<a-entity mindar-image-target="targetIndex: 0">: Define el objetivo de la imagen de referencia con el índice 0.

<a-gltf-model>: Inserta el modelo 3D en la escena, especificando su posición, escala, rotación y la fuente del archivo GLB, se utiliza el formato gltf, en la

programación.

<a-entity>: Propiedades para programar el marcador (código QR).

<script src=>: Son códigos relacionados a las librerías de trabajo, en este caso son las de imágenes y del frame, las cuales permiten trabajar con la cámara del dispositivo móvil creando un marco referencial.

1.5.2.5 Ejecución del código

Finalmente se comprueba que el código de programación fue correcto al compartir el link de Live site que genera la plataforma Glitch para acceder a la aplicación web.

Para el presente trabajo se accede desde un dispositivo móvil a un link (aplicación web) generado y se comprueba el correcto funcionamiento. En la figura 9 se observa la interfaz de Glitch para compartir el enlace generado.

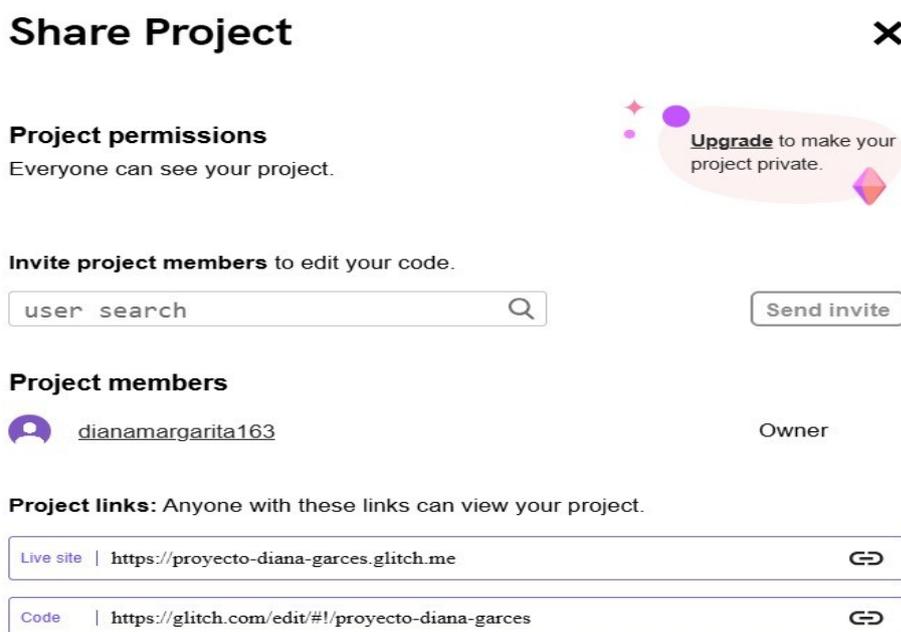


Figura 7. Interfaz de Glitch en la que se genera el link de Live site para acceder a la aplicación web

1.5.3 Pruebas y validación

Finalmente, al abrir el enlace generado en la plataforma se prueba la aplicación en

un dispositivo móvil compatible para verificar que la imagen base es reconocida y que el modelo 3D se proyecta correctamente sobre ella.

CAPÍTULO 2

2.1 Solución encontrada

Con el presente proyecto se demostró la efectividad de simular una aplicación de realidad aumentada para el mantenimiento de un equipo médico utilizando plataformas web de código abierto para desarrolladores, como mindAR y Glitch. La simulación de esta aplicación web facilita el mantenimiento preventivo para el personal sin experiencia o sin conocimiento específico sobre ciertos equipos médicos, proporcionando instrucciones visuales en tiempo real sobre el equipo, lo cual facilita la comprensión y guía en la ejecución de las tareas de mantenimiento preventivo.

Además, tener una guía de mantenimiento preventivo y el equipo en tiempo real en 3D permite que los técnicos identifiquen el equipo y sus componentes, disminuyendo así los errores en las operaciones de mantenimiento. Otra ventaja importante de la aplicación web de realidad aumentada es el ahorro de tiempo, ya que, si el técnico desconoce el equipo, se evita la necesidad de consultar manuales físicos o llamar al proveedor del equipo. Asimismo, la aplicación permite capacitar a nuevos técnicos más rápidamente.

2.2 Metodología

En el desarrollo de este proyecto, se utilizó la metodología ágil, caracterizada por la entrega rápida y continua de software. Este enfoque, divide el proyecto en pequeñas partes que se completan y entregan en plazos breves, conocidos como 'sprints'. Este método permite realizar modificaciones específicas sin afectar el proyecto en su totalidad. La metodología ágil, que surgió en la industria del desarrollo de software para abordar los retrasos asociados con los métodos tradicionales, mejora la eficiencia y la calidad del desarrollo. Mediante el uso de herramientas de código abierto como MindAR y Glitch, y la colaboración activa con la comunidad de desarrolladores, esta metodología facilita iteraciones rápidas y adaptaciones a nuevos desafíos, asegurando que el producto final se alinee estrechamente con las

expectativas y necesidades del usuario. Esta aproximación ágil proporciona una solución efectiva y eficiente para el mantenimiento de equipos médicos mediante realidad aumentada.

2.3 Trabajos futuros

Como trabajos futuros, se sugiere optimizar el algoritmo de reconocimiento de imágenes para mejorar su precisión y velocidad, incluso en condiciones de iluminación variable. Además, es importante garantizar la compatibilidad de la aplicación con una amplia gama de dispositivos, desde smartphones y tablets hasta gafas de realidad aumentada. Además, se puede investigar la integración de tecnologías de realidad mixta para proporcionar una experiencia aún más inmersiva y detallada.

Finalmente, se sugiere trabajar con las plataformas de Unity y Vuforia en futuros proyectos debido a su potencia y flexibilidad para crear aplicaciones de realidad aumentada avanzadas. Unity ofrece un motor de gráficos robusto y soporte multiplataforma, facilitando el desarrollo de experiencias interactivas para diversos dispositivos. La integración con Vuforia proporciona capacidades de reconocimiento y seguimiento precisas, esenciales para aplicaciones AR complejas, por lo que si se utilizan estas dos potentes herramientas se podría predecir un mantenimiento tanto preventivo como correctivo más avanzado.

CAPITULO 3

3.1 RESULTADOS

3.1.1 Carga de imagen en MindAR

La configuración inicial en MindAR se realizó con éxito, cargando la imagen base es decir la imagen del código QR de la guía de mantenimiento preventivo de la máquina de anestesia que será utilizada para la proyección de la realidad aumentada. Las librerías necesarias fueron integradas correctamente en el proyecto, permitiendo un entorno de desarrollo estable y funcional.

3.1.2 Integración del código y carga de modelo 3D

En la plataforma Glitch, se cargó el código HTML y se integraron las librerías necesarias para la implementación de la realidad aumentada. La imagen base y el modelo 3D que es la máquina de anestesia se cargaron exitosamente, permitiendo la visualización adecuada del objeto 3D sobre la imagen base.

3.1.3 Validación del enlace y pruebas de funcionamiento

Una vez finalizada la programación y cargado el contenido de imágenes, se generó un enlace de prueba en Glitch. Las pruebas iniciales mostraron que la imagen 3D se proyecta correctamente sobre la imagen de referencia además la aplicación demostró un rendimiento estable y una interacción fluida en diversas condiciones de prueba.

Para realizar las pruebas de la aplicación web se utilizaron los siguientes equipos:

- Smartphone Xiaomi Mi 9T Pro.
- Tablet Lenovo Tab M10 Plus 3rd plus 3ra generación.
- Link para acceder a la aplicación web.
- Guía de mantenimiento preventivo de la máquina de anestesia con código QR para mostrar la imagen de realidad aumentada en 3D.

Condiciones iniciales del entorno y los equipos:

- Aplicación web abierta en el smartphone.
- Carga de batería al menos 50% en el smartphone.
- Luz ambiental con claridad en el área del scanner de código QR.

Pasos que se siguieron para la ejecución de la aplicación de realidad aumentada:

1. Disponer de la guía del mantenimiento preventivo de la máquina de anestesia.
2. Acceder al link de la aplicación web: <https://proyecto-diana-garces.glitch.me/>
3. Acercar el smartphone al código QR presente en la guía de mantenimiento preventivo.
4. Observar la proyección de la máquina de anestesia en 3D.

Los resultados de la ejecución de la aplicación web se muestran en la tabla 2:

Tabla 2:

Pasos y resultados de la simulación de una aplicación de realidad aumentada de un equipo médico

| PASOS | RESULTADOS |
|-------|--|
| 1 |  <p>The image shows a smartphone screen displaying a QR code at the top. Below the QR code, the text reads 'Máquina de anestesia' followed by 'Características: Anestesia por inhalación y manejo respiratorio de adultos, niños y lactantes, con modos de ventilación.' Underneath, it says 'Mantenimiento Preventivo :'. There are three rows of instructions with corresponding images: 'Cambiar tubos de ventilación incluido el balón de ventilación manual' with an image of a green breathing tube; 'Cambiar recipiente y conductos de aspiración.' with an image of a green suction device; and 'Cambiar trampa de agua' with an image of a water trap. At the bottom, it says 'Desinfección superficial de la estación con desinfectantes de larga duración'.</p> |

| | |
|---|--|
| | <p>Guía de mantenimiento preventivo de la máquina de anestesia con el código QR a proyectar la realidad aumentada.</p> |
| 2 |  <p>Inicio de la aplicación de realidad aumentada en el smartphone Xiaomi mi 9t pro</p> |

3



Ejecución de la aplicación de realidad aumentada.



La aplicación fue probada en diversos dispositivos, incluyendo smartphones y tablets, como se puede observar en las figuras de la tabla 1, y se confirmó su compatibilidad. Además, se realizaron pruebas bajo diferentes condiciones de iluminación para evaluar la precisión y rapidez del algoritmo de reconocimiento de imágenes. Los resultados mostraron una alta precisión en el reconocimiento y proyección de imágenes, aunque se identificaron áreas de mejora en condiciones de iluminación extremadamente baja.

3.1.4. Propuestas de mejora

Los resultados obtenidos sugieren la necesidad de optimizar el algoritmo de reconocimiento de imágenes para mejorar su desempeño en condiciones de

iluminación variable. Además, se propone asegurar una mayor compatibilidad con una gama más amplia de dispositivos, incluyendo gafas de realidad aumentada. Finalmente, se sugiere investigar la integración de tecnologías de realidad mixta para proporcionar una experiencia aún más inmersiva y detallada, lo cual podría expandir significativamente las aplicaciones y beneficios de esta tecnología en el futuro.

Para mejorar la aplicación y abordar las limitaciones identificadas, se recomienda optimizar el algoritmo de reconocimiento de imágenes para funcionar de manera más precisa y rápida en condiciones de iluminación variable. También es esencial ampliar la compatibilidad de la aplicación para incluir una gama más amplia de dispositivos, desde smartphones y tablets hasta gafas de realidad aumentada. Además, investigar la integración de tecnologías de realidad mixta puede proporcionar una experiencia aún más inmersiva y detallada, beneficiando aún más a los usuarios en el campo del mantenimiento de equipos médicos.

3.2 DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este proyecto han demostrado que es posible utilizar MindAR y Glitch para desarrollar una aplicación de realidad aumentada efectiva para el mantenimiento de un equipo médico. La integración exitosa de la imagen de referencia (código QR) y el modelo 3D (máquina de anestesia), junto con la correcta proyección del modelo en condiciones de prueba, subraya la viabilidad de la tecnología de realidad aumentada para aplicaciones prácticas en el campo de la medicina.

Se identificaron varias limitaciones y una de las principales fue la variabilidad del rendimiento del algoritmo de reconocimiento de imágenes bajo diferentes condiciones de iluminación. Aunque el sistema funcionó bien en la mayoría de las condiciones, la precisión disminuyó notablemente en entornos de muy baja iluminación.

Este proyecto demuestra el potencial de las tecnologías de RA basadas en web para mejorar las prácticas de mantenimiento de equipos médicos. La posibilidad de visualizar modelos 3D interactivos directamente sobre el equipo real puede ayudar a los técnicos de mantenimiento a realizar sus tareas de manera más eficiente y

precisa. Además, la utilización de plataformas de código abierto como MindAR y Glitch facilita la accesibilidad y la colaboración, permitiendo a una amplia comunidad de desarrolladores contribuir a la mejora continua de la aplicación.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El proyecto ha alcanzado su objetivo principal de simular una aplicación de realidad aumentada para el mantenimiento de un equipo médico, específicamente una máquina de anestesia. A través de la recopilación de información de estudios previos y tecnologías existentes, se establecieron fundamentos sólidos que guiaron la implementación de la simulación. La programación del seguimiento de imágenes en plataformas web ha permitido crear una representación tridimensional efectiva del equipo, facilitando su comprensión. Las pruebas realizadas no solo validaron la eficiencia de la simulación, sino que también demostraron su efectividad como herramienta de capacitación, especialmente para personal con poca experiencia. En resumen, la realidad aumentada se presenta como un recurso innovador y valioso en el ámbito del mantenimiento médico, mejorando la formación y el desempeño del personal técnico.

Al utilizar esta tecnología el personal encargado de los mantenimientos no requiere estar en el sitio donde se encuentran los equipos médicos, si no que puede realizarlo de manera virtual. Sería especialmente útil en instalaciones de cuidado especial como por ejemplo un quirófano o la sala de terapia intensiva en donde se necesita un especial cuidado con la esterilización en todo el ambiente.

Al aplicar la realidad aumentada al mantenimiento de un equipo médico se puede emular la operatividad, ubicación y conexión de las distintas partes del mecanismo, consecuentemente se garantiza que en la puesta en marcha disminuyan los fallos y daños en el equipo.

Recomendaciones

Se recomienda optimizar el algoritmo de reconocimiento de imágenes para aumentar su precisión y velocidad, especialmente en condiciones de iluminación variable. Esto podría incluir el uso de técnicas avanzadas de procesamiento de imágenes y aprendizaje automático.

Realizar pruebas exhaustivas en una variedad de condiciones de iluminación y

entornos para garantizar la robustez y confiabilidad del sistema.

Investigar la integración de tecnologías de realidad mixta para proporcionar una experiencia aún más inmersiva y detallada. Esto puede incluir la combinación de elementos de realidad aumentada y realidad virtual.

Implementar programas de capacitación continua para el personal de mantenimiento, utilizando la aplicación de RA como herramienta de apoyo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] «Intelligent predictive maintenance control using augmented reality | IEEE Conference Publication | IEEE Xplore». Accedido: 12 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8815042>
- [2] P. Zhao, H. Wu, X. Shi, J. Li, X. Yi, y S. Liu, «Research on maintenance guiding system based on augmented reality», en *2019 International Conference on Sensing, Diagnostics, Prognostics, and Control (SDPC)*, Beijing, China: IEEE, ago. 2019, pp. 944-949. doi: 10.1109/SDPC.2019.00180.
- [3] C. Corciova, R. Fuior, D. Andritoi, y C. Luca, «Assessment of Medical Equipment Maintenance Management», 2022, pp. 1-15. doi: 10.5992/intechopen.1000210.
- [4] Blog, «5 Challenges Biomedical And Clinical Engineers Face Today», Revalize. Accedido: 11 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://revalizesoftware.com/5-challenges-biomedical-and-clinical-engineers-face-today/>
- [5] A. Cachada *et al.*, «Using AR Interfaces to Support Industrial Maintenance Procedures», en *IECON 2019 - 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, oct. 2019, pp. 3795-3800. doi: 10.1109/IECON.2019.8927815.
- [6] N. Acurio y E. Elizabeth, «Desafíos y oportunidades del empleo de la realidad aumentada en la salud, revisión sistemática».
- [7] M. Lorenz, S. Shandilya, S. Knopp, y P. Klimant, «Industrial Augmented Reality: Connecting Machine-, NC- and Sensor-Data to an AR Maintenance Support System», en *2021 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)*, mar. 2021, pp. 595-596. doi: 10.1109/VRW52623.2021.00180.
- [8] M. Gattullo *et al.*, «A Context-Aware Technical Information Manager for Presentation in Augmented Reality», en *2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, mar. 2019, pp. 939-940. doi: 10.1109/VR.2019.8798262.
- [9] N. Chhabhaiya, B. Patle, y P. Bhojane, «Virtual & Augmented Reality Applications: A Broader Perspective», *J. Data Sci. Intell. Syst.*, ene. 2024, doi: 10.47852/bonviewJDSIS32021064.
- [10] R. Palmarini, I. F. Del Amo, D. Ariansyah, S. Khan, J. A. Erkoyuncu, y R. Roy, «Fast Augmented Reality Authoring: Fast Creation of AR Step-by-Step Procedures for Maintenance Operations», *IEEE Access*, vol. 11, pp. 8407-8421, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3235871.
- [11] Y. Peng, G. Yu, W. Ni, Z. Lv, Y. Jiang, y J. Chen, «Design and development of intelligent operation and maintenance training system for substation based on augmented reality», en *2017 Chinese Automation Congress (CAC)*, Jinan: IEEE, oct. 2017, pp. 4765-4769. doi: 10.1109/CAC.2017.8243621.
- [12] K. Sabarinathan, N. Kanagasabapathy, V. D. Ambeth Kumar, P. K. Rishikesh, R. V. Priyadarshan, y A. Abirami, «Machine Maintenance Using Augmented Reality», en *2018 3rd International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES)*, oct. 2018, pp. 613-618. doi: 10.1109/CESYS.2018.8723900.
- [13] N. Zenati-Henda, A. Bellarbi, S. Benbelkacem, y M. Belhocine, «Augmented

- reality system based on hand gestures for remote maintenance», en *2014 International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS)*, abr. 2014, pp. 5-8. doi: 10.1109/ICMCS.2014.6911258.
- [14] «Augmented Reality in Telecom Industry: Concepts, Technologies and Applications | IEEE Conference Publication | IEEE Xplore». Accedido: 12 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9974393>
- [15] «Augmented Reality for Assistive Maintenance and Real-Time Failure Analysis in Industries | IEEE Conference Publication | IEEE Xplore». Accedido: 12 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9074846>
- [16] «Research on Technology and Standards of Augmented Reality-Based Auxiliary Maintenance | IEEE Conference Publication | IEEE Xplore». Accedido: 12 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8950829>
- [17] F. Alves *et al.*, «Deployment of a Smart and Predictive Maintenance System in an Industrial Case Study», en *2020 IEEE 29th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, jun. 2020, pp. 493-498. doi: 10.1109/ISIE45063.2020.9152441.
- [18] K. Chakal, M. Korkiakoski, H. Mehmood, T. Anagnostopoulos, P. Alavesa, y P. Kostakos, «Augmented Reality Integration for Real-Time Security and Maintenance in IoT-Enabled Smart Campuses», en *2023 IEEE 31st International Conference on Network Protocols (ICNP)*, oct. 2023, pp. 1-6. doi: 10.1109/ICNP59255.2023.10355580.
- [19] H.-H. Hsu y C.-Y. Chuang, «Application of Augmented Reality for Equipment Maintenance and Employee Training in Manufacturing Plant», en *2022 IEEE 4th Eurasia Conference on Biomedical Engineering, Healthcare and Sustainability (ECBIOS)*, may 2022, pp. 136-139. doi: 10.1109/ECBIOS54627.2022.9945026.
- [20] M. Zhao, H. Duan, y K. Sun, «Decision-Making Method for Preventive Maintenance of Medical X-Ray Equipment», en *2020 IEEE International Conference on Power, Intelligent Computing and Systems (ICPICS)*, jul. 2020, pp. 91-95. doi: 10.1109/ICPICS50287.2020.9202051.
- [21] N. Saleh y G. Balestra, «Comprehensive framework for preventive maintenance priority of medical equipment», en *2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, ago. 2015, pp. 1227-1230. doi: 10.1109/EMBC.2015.7318588.
- [22] K. McNally y H. Koviland, «A Web-Based Augmented Reality System», *ICST Trans. Scalable Inf. Syst.*, mar. 2024, doi: 10.4108/eetsis.5481.
- [23] «MindAR | mind-ar-js». Accedido: 12 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://hiukim.github.io/mind-ar-js-doc/>
- [24] «Glitch: The friendly community where everyone builds the web». Accedido: 12 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://glitch.com/>

ANEXOS

ANEXO 1. Guía de mantenimiento preventivo de una máquina de anestesia



Máquina de anestesia

Características: Anestesia por inhalación y manejo respiratorio de adultos, niños y lactantes, con modos de ventilación.

Mantenimiento Preventivo:

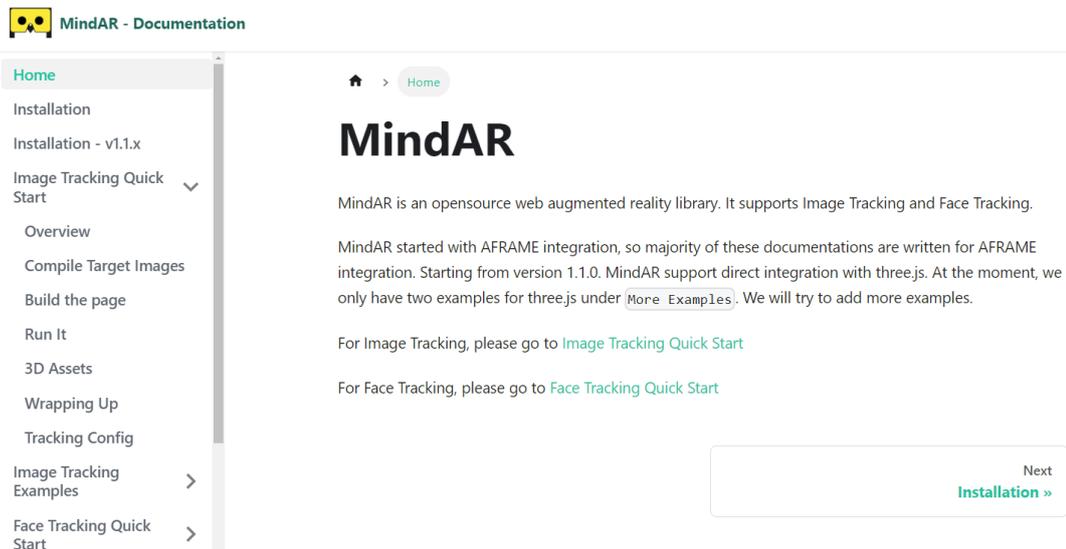
| | |
|--|--|
| Cambiar tubos de ventilación incluido el balón de ventilación manual |  |
| Cambiar recipiente y conductos de aspiración. |  |

Cambiar trampa de agua



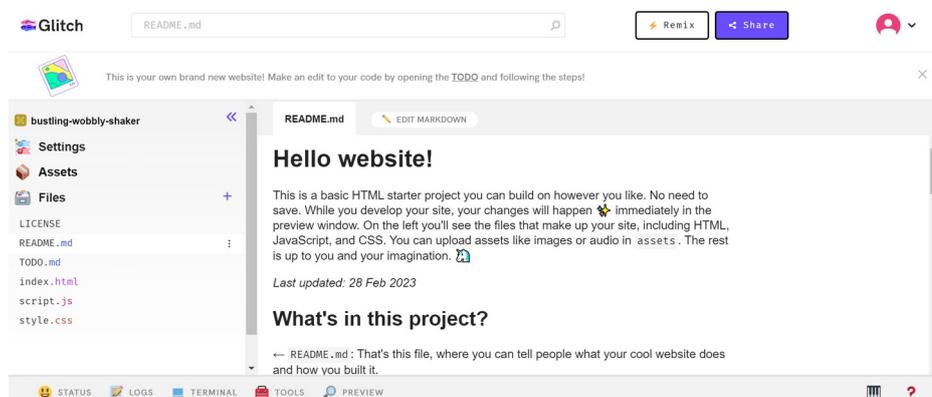
Desinfección superficial de la estación con desinfectantes de larga duración

ANEXO 2. Interfaz de la plataforma mindAR



The screenshot shows the MindAR - Documentation website. On the left is a navigation sidebar with links: Home, Installation, Installation - v1.1.x, Image Tracking Quick Start (expanded), Overview, Compile Target Images, Build the page, Run It, 3D Assets, Wrapping Up, Tracking Config, Image Tracking Examples, and Face Tracking Quick Start. The main content area features a large heading 'MindAR' and introductory text: 'MindAR is an opensource web augmented reality library. It supports Image Tracking and Face Tracking. MindAR started with AFRAME integration, so majority of these documentations are written for AFRAME integration. Starting from version 1.1.0. MindAR support direct integration with three.js. At the moment, we only have two examples for three.js under [More Examples](#). We will try to add more examples. For Image Tracking, please go to [Image Tracking Quick Start](#). For Face Tracking, please go to [Face Tracking Quick Start](#).' A 'Next Installation »' button is located at the bottom right.

ANEXO 3. Interfaz de la plataforma Glitch



The screenshot shows the Glitch platform interface. At the top, there's a search bar with 'README.md' and buttons for 'Remix' and 'Share'. Below is a notification: 'This is your own brand new website! Make an edit to your code by opening the TODO and following the steps!'. The main workspace shows a file explorer on the left with 'busting-wobbly-shaker' and 'Assets' folders, and a list of files including 'LICENSE', 'README.md', 'TODO.md', 'index.html', 'script.js', and 'style.css'. The main editor area displays the 'README.md' content: 'Hello website!', 'This is a basic HTML starter project you can build on however you like. No need to save. While you develop your site, your changes will happen immediately in the preview window. On the left you'll see the files that make up your site, including HTML, JavaScript, and CSS. You can upload assets like images or audio in `assets`. The rest is up to you and your imagination.', 'Last updated: 28 Feb 2023', and 'What's in this project?'. A status bar at the bottom includes 'STATUS', 'LOGS', 'TERMINAL', 'TOOLS', and 'PREVIEW'.

ANEXO 4. Librerías de MindAR y A-Frame

```
<script src= "https://cdn.jsdelivr.net/npm/mind-ar@1.1.4/dist/mindar-  
image.prod.js" ></script>  
<script src= "https://aframe.io/releases/1.2.0/aframe.min.js" ></script>  
<script src= "https://cdn.jsdelivr.net/npm/mind-ar@1.1.4/dist/mindar-  
image-aframe.prod.js" ></script>
```

ANEXO 5. Código fuente de la programación utilizada en la plataforma web Glitch.

```
<!DOCTYPE html>  
<html lang= "en" >  
  <head>  
    <script src= "https://cdn.jsdelivr.net/npm/mind-ar@1.1.4/dist/mindar-  
image.prod.js" ></script>  
    <script src= "https://aframe.io/releases/1.2.0/aframe.min.js" ></script>  
    <script src= "https://cdn.jsdelivr.net/npm/mind-ar@1.1.4/dist/mindar-  
image-aframe.prod.js" ></script>  
  </head>  
  <body>  
    <a -scene  
      mindar-image= "imageTargetSrc:https://cdn.glitch.global/2482249b-0c7c-  
4a3f-8563-19baff2a3d67/targets%20(3).mind?v=1720836983924;"  
      vr-mode-ui= "enabled:false"  
      device-orientation-permission-ui= "enabled:false" >  
      <a -camera position= "0 0 0" look-controls= "enabled:false"></a-came-  
ra>  
        <a -entity mindar-image-target= "targetIndex: 0" >  
<a -gltf-model  
position= "0 0 0.1"  
scale= "1 1 1"  
rotation= "0 180 0"  
src= "https://cdn.glitch.global/70d96072-e9f1-4220-8ded-f99103f3181c/AnLa-  
bBlend.glb?v=1720628466742" >  
< /a-gltf-model>  
< /a-entity>
```

```
    </a-scene>  
  </body>  
</html>
```