



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL
ESCUELA DE POSGRADOS "ESPOG"

MAESTRÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN
Resolución: RPC-SO-09-No.265-2021

PROYECTO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE MAGISTER

| |
|--|
| Título del proyecto: |
| Realidad aumentada para mantenimiento de equipos de bombeo en la industria del transporte de derivados del petróleo |
| Línea de Investigación: |
| Ciencias de la ingeniería aplicadas a la producción, sociedad y desarrollo sustentable |
| Campo amplio de conocimiento: |
| Ingeniería, ciencia, industria y mantenimiento |
| Autor: |
| Luis Andrés Laguna Erazo |
| Tutores: |
| PhD Maryory Urdaneta Herrera Mg. Wilmer Fabian Albarracín Guarochico |

Quito – Ecuador

2024

APROBACIÓN DEL TUTOR



Yo, PhD. Maryory Urdaneta Herrera, con C.I: 1759316126 en mi calidad de Tutor, del proyecto de investigación titulado: REALIDAD AUMENTADA PARA EL MANTENIMIENTO DE EQUIPOS DE BOMBEO EN LA INDUSTRIA DEL TRANSPORTE DE DERIVADOS DEL PETRÓLEO.

Elaborado por: LUIS ANDRÉS LAGUNA ERAZO, de C.I: 1717176760, estudiante de la Maestría: Electrónica y Automatización, de la **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL (UISRAEL)**, como parte de los requisitos sustanciales con fines de obtener el Título de Magister, me permito declarar que luego de haber orientado, analizado y revisado el trabajo de titulación, lo apruebo en todas sus partes.

Quito D.M., 30 de agosto de 2024



Firma

APROBACIÓN DEL TUTOR



Yo, Mg. Wilmer Fabian Albarracín Guarochico, con C.I: 1713341152 en mi calidad de Tutor, del proyecto de investigación titulado: REALIDAD AUMENTADA PARA EL MANTENIMIENTO DE EQUIPOS DE BOMBEO EN LA INDUSTRIA DEL TRANSPORTE DE DERIVADOS DEL PETRÓLEO.

Elaborado por: LUIS ANDRÉS LAGUNA ERAZO, de C.I: 1717176760, estudiante de la Maestría: Electrónica y Automatización, de la **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL (UISRAEL)**, como parte de los requisitos sustanciales con fines de obtener el Título de Magister, me permito declarar que luego de haber orientado, analizado y revisado el trabajo de titulación, lo apruebo en todas sus partes.

Quito D.M., 30 de agosto de 2024



Firma

DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE



Yo, LUIS ANDRÉS LAGUNA ERAZO con C.I: 1717176760, autor del proyecto de titulación denominado: APLICACIÓN DE REALIDAD AUMENTADA PARA MANTENIMIENTO DE EQUIPOS DE BOMBEO EN LA INDUSTRIA DEL TRANSPORTE DE DERIVADOS DEL PETRÓLEO, Previo a la obtención del título de **Magister en Electrónica y Automatización**.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar el respectivo trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica Israel los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor del trabajo de titulación, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital como parte del acervo bibliográfico de la Universidad Tecnológica Israel.
3. Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de prosperidad intelectual vigentes.

Quito D.M., 30 de agosto de 2024

Firma

Tabla de contenidos

| | |
|---|-----|
| APROBACIÓN DEL TUTOR | i |
| DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE | iii |
| INFORMACIÓN GENERAL | 1 |
| Contextualización del tema | 1 |
| Problema de investigación..... | 2 |
| Objetivo general | 4 |
| Objetivos específicos | 4 |
| Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos: | 4 |
| CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO | 6 |
| 1.1. Contextualización general del estado del arte | 6 |
| 1.2. Proceso investigativo metodológico | 11 |
| CAPÍTULO II: PROPUESTA..... | 13 |
| 2.1. Fundamentos teóricos aplicados | 13 |
| 2.1 Descripción de la propuesta | 18 |
| 2.2 Matriz de articulación de la propuesta..... | 25 |
| 2.3 Análisis de resultados. Presentación y discusión..... | 27 |
| CONCLUSIONES..... | 41 |
| RECOMENDACIONES..... | 42 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 43 |
| ANEXOS | 45 |

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Tags asignados a los sensores que monitorean condiciones del grupo de bombeo. | 22 |
| Tabla 2 Matriz de articulación de la aplicación de Realidad Aumentada. | 26 |
| Tabla 3 Tiempos de mantenimiento mecánico 2000 horas de bomba. | 33 |
| Tabla 4 Promedio de tiempos mantenimiento mecánico 2000 horas de bomba. | 33 |
| Tabla 5 Tiempos de mantenimiento eléctrico 2000 horas de bomba. | 34 |
| Tabla 6 Promedio de tiempos mantenimiento eléctrico 2000 horas de bomba. | 34 |
| Tabla 7 Tiempos de mantenimiento eléctrico 2000 horas de motor eléctrico. | 35 |
| Tabla 8 Promedio de tiempos mantenimiento eléctrico 2000 horas de motor eléctrico. | 35 |
| Tabla 9 Comparación de efectividad de mantenimientos del grupo de bombeo. | 36 |
| Tabla 10 Comparativa de resultados entre método tradicional y con utilización de RA. | 36 |
| Tabla 11 Resultados cualitativos en la utilización de la APK de RA. | 38 |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 Flujograma de la aplicación de Realidad Aumentada para mantenimiento..... | 21 |
| Figura 2 Flujograma de información, de la APK. De Realidad Aumentada..... | 21 |
| Figura 3: Arquitectura de consulta a base de datos SQL Server a través de API REST. | 24 |
| Figura 4: Pantalla de inicio APK Realidad Aumentada..... | 27 |
| Figura 5: Pantalla de información referente a opciones de mantenimiento. | 28 |
| Figura 6: Pantalla de información, referente a pasos para realizar mantenimiento..... | 28 |
| Figura 7 Ubicación de Imagen Target en el equipo de bombeo..... | 29 |
| Figura 8 Pantalla de información de acceso a monitoreo de datos. | 30 |
| Figura 9 Despliegue de información en 3D sobre el equipo (Realidad Aumentada)..... | 30 |
| Figura 10 Pantalla de información técnica disponible..... | 31 |
| Figura 11 Marcado de los pasos de mantenimiento que ya han sido realizados..... | 31 |
| Figura 12 Pantalla de ingreso al manual técnico del Motor..... | 32 |
| Figura 13 Manual de Mantenimiento de motor eléctrico..... | 32 |

INFORMACIÓN GENERAL

Contextualización del tema

La realidad aumentada es una tecnología que tiene su origen hace varios años, “A principios de los 90 se comienza a barajar un nuevo concepto que consiste en enriquecer la realidad con elementos virtuales e información mostrándola simultáneamente a través de las gafas o los dispositivos empleados.” sin embargo, es en la actualidad cuando se ve las ventajas y el aporte que puede dar a industria, pero, ¿qué es la realidad aumentada?, en una definición simplificada, podríamos decir que es superponer información, ya sea de forma gráfica, objetos 3D o textos sobre un entorno real en tercera dimensión, pudiendo interactuar con la fusión de lo tangible y la digital en tiempo real, y son justamente estas particularidades las que aprovecharemos para el desarrollo de nuestra investigación (Martínez y Navarro, 2019).

La industria dispone obligatoriamente de maquinaria, equipos e infraestructura para poder realizar su proceso productivo, y es obligatorio que esta maquinaria requiere mantener una fiabilidad óptima; Gómez (2008, p. 21) define el mantenimiento de la siguiente manera, “...el mantenimiento es mantener el correcto estado funcional de los equipos e instalaciones...” derivando dos tipos de mantenimiento como mínimos, Preventivo y correctivo, de aquí, realizamos una breve definición, de mantenimiento preventivo, al que se realiza de forma programada y donde todas sus actividades están predefinidas.

Por otro lado, el mantenimiento correctivo corresponde a las reparaciones que se realizan cuando el equipo deja de trabajar por algún daño crítico no planificado o fortuito.

Por la desactualización que hay en la industria ecuatoriana, la mayor cantidad de las tareas de mantenimiento son realizadas de forma empírica, esto quiere decir, basado en los conocimientos de varios años de experiencia que tiene el personal técnico de mantenimiento y con herramientas manuales y cuya tecnología data de hace 40 años.

La implementación de la Industria 4.0, está lejos de ser implementada en Ecuador, debido a su alto costo sobre todo en las pequeñas industrias y a que la mayoría de directivos no lo ven como una prioridad y como una oportunidad de mejora.

Las empresa públicas de Ecuador en su mayoría, tienen un déficit tecnológico considerable en lo referente a herramientas de punta para ejecutar tareas en mantenimiento y reparación de maquinaria y equipos, sus proceso se los lleva de manera manual, utilizando aún catálogos y manuales impresos, por lo que, no cuentan con información actualizada y esto conlleva a que se requiera de mayor tiempo

para realizar estas tareas, información desorganizada y deficiencia en la planificación, consecuentemente se eleva el gasto referente a mano de obra y los gastos administrativos.

Disponiendo en la actualidad de tantos avances tecnológicos y accesibles, por sus bajos costos y por disponibilidad libre de información, surge la necesidad de la tecnificación en los procesos de mantenimiento, en la industria ecuatoriana.

Esta investigación se llevará a cabo en una plataforma de bombeo del Poliducto ubicado en el oriente ecuatoriano, quien tiene la responsabilidad de transportar derivados del petróleo como Gasolina base, Diésel, GLP entre otros derivados, desde el Complejo Industrial Shushufindi a las terminales de Oyambaro y Beaterio en la ciudad de Quito, para llevar a cabo este objetivo, el Poliducto dispone de 4 estaciones, y cada estación dispone de grupos de bombeo, con operación continua, por más de 40 años, esta particularidad conlleva a que estos equipos constantemente se están averiando, por lo que es necesario realizar mantenimientos correctivos de forma constante.

En esta industria en particular, la industrialización a la tecnología 4.0, es complicada debido a la antigüedad de sus equipos y al alto costo que involucraría esta implementación.

Para nuestro objeto de estudio, un grupo de bombeo está conformado por un motor, ya sea a combustión interna (trabaja con derivados del petróleo como combustible) o un motor eléctrico; este motor está acoplado a una bomba hidráulica, que es la encargada de transportar un fluido de un punto a otro, a través de una tubería.

El departamento de mantenimiento, quien está encargado de esta área, está conformado por el jefe de mantenimiento, y bajo su dirección una rama para mantenimiento mecánico, otra para Instrumentación control y electricidad, el trabajo es en jornadas, ya que la operación es 24 horas, los 7 días de la semana, los 365 días del año.

La actividad de bombeo del Poliducto es muy importante para la economía del país, ya que se encarga de transportar hidrocarburos desde el Oriente Ecuatoriano hacia la capital del Ecuador, dentro de esta actividad, se resalta que los costos de mantenimiento están distribuidos principalmente entre repuestos y mano de obra, teniendo esta última, un costo significativo en la actividad productiva; por tanto, se debe acumular esfuerzos para optimizar, de la mejor manera este rubro, siendo la tecnología una herramienta fundamental para lograr este objetivo.

Problema de investigación

En la actualidad el departamento de mantenimiento del Poliducto, genera costos adicionales en horas extras por falta de personal y a causa de las tareas de mantenimiento preventivo que tiene lugar

en los grupos de bombeo principalmente, que por causa de su antigüedad, los mantenimientos preventivos son más frecuentes de lo normal, una de las dificultades más comunes son los manuales de mantenimiento, que al igual que los motores, son antiguos y la información se está deteriorando con el uso que se les da en el día a día.

Otra problemática en el departamento de mantenimiento, son los conocimientos, los mismos que están fundamentados en las habilidades empíricas de los técnicos que llevan trabajando aproximadamente 30 años, y hasta la fecha no ha sido posible la digitalización de estos conocimientos, considerando que este conocimiento tiene un valor intangible de la empresa, y que sería meritorio documentarlo.

Las estaciones de bombeo distribuidas a lo largo del Oriente ecuatoriano están dispuestas de la siguiente forma: la primera está ubicada en la ciudad de Shushufindi, la segunda en el cantón Quijos, la tercera está ubicada antes de la Y de Baeza y la última está en el sector de Papallacta, y para poder trasladarse entre las estaciones se demora un aproximado de 2 horas como mínimo, más en la actualidad por los problemas de vialidad que está atravesando la vía Quito Lago Agrio, incrementa este tiempo aproximadamente de 4 a 6 horas entre las estaciones más separadas; esto conlleva incremento en costos de transporte y tiempo perdido, incluso puede ocasionar pérdidas económicas por paros de operación, a causa de daños en los equipos de bombeo.

Para las tareas de mantenimiento correctivo, los técnicos tienen que trasladarse al lugar donde se encuentra el equipo dañado, evaluar el daño, realizar el pedido de repuestos, trasladar los repuestos de la bodega central a la estación donde se encuentra el equipo dañado y por último realizar la reparación; como puede apreciarse, existen muchos tiempos muertos y las tareas de mantenimiento son más prolongadas y costosas.

Ante estos antecedentes, se ve necesario implementar una herramienta tecnológica e interactiva, con la cual, el técnico pueda realizar el mantenimiento preventivo e incluso evaluar el daño del equipo, únicamente con enfocar el equipo a través del teléfono o una tableta, en la cual se encuentre instalada la aplicación, y consultar información técnica, incluso manuales de repuestos que sean necesarios, de este modo las tareas de mantenimiento y evaluación del daño se hace de manera más eficiente evitando pérdida de tiempo innecesarias.

Con esta herramienta el personal técnico, quien no necesariamente debe contar con amplia experiencia en conocimientos técnicos, puede realizar un mantenimiento preventivo eficiente, incluso diagnosticar fallas, con ayuda de la aplicación, con la cual, el técnico puede acceder a datos de sensores en tiempo real, optimizando la toma de decisiones.

Esto es muy importante, ya que la aplicación, no solo va a tener acceso de una base de datos de repuestos y problemas comunes, sino también a las lecturas de sensores de vibración, temperatura, medidores de voltaje entre otros, que se encuentran instalados en los equipos, estas lecturas son tomadas en tiempo real, con el equipo en funcionamiento.

Objetivo general

Desarrollo de una aplicación de realidad aumentada que asista en el mantenimiento preventivo de equipos de bombeo en un Poliducto.

Objetivos específicos

- Contextualizar procedimientos teóricos aplicados al mantenimiento de los equipos de bombeo, así como también la interfaz idónea para interactuar por medio del software de realidad aumentada con el técnico.
- Desarrollar una aplicación de realidad aumentada (RA) para asistir en la ejecución de mantenimiento de un equipo de bombeo, en la que se empleen “Image targets” ubicados en puntos estratégicos del equipo.
- Realizar pruebas de funcionamiento con el propósito de validar los resultados mediante parámetros como, tiempo optimizado en el mantenimiento del equipo, satisfacción del usuario y escalabilidad hacia otros equipos de tipo industrial.

Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos:

La investigación, aporta un beneficio económico en la población ecuatoriana, el transporte de hidrocarburos a través de poliductos no solo contribuye, significativamente al Producto Interno Bruto (PIB) del país, sino que también mitiga la escasez de gasolina y Gas Licuado de Petróleo (GLP) en los hogares, especialmente en la región de la sierra, donde se distribuyen estos derivados, otro sector favorecido, es la pequeña y la mediana industria, dado que ahora disponen de acceso a una avanzada aplicación tecnológica en desarrollo, diseñada para optimizar sus labores de mantenimiento a un costo accesible, asimismo, esta aplicación puede ser personalizada según las necesidades particulares de cada sector industrial, lo que les brinda mayores oportunidades de desarrollo y eficiencia

El uso de la aplicación conlleva beneficios económicos significativos al departamento de mantenimiento, al optimizar el trabajo, referente a mano de obra Técnica, en consecuencia se reduce tiempos de intervención, por ende una disminución de costos y la digitalización de los conocimientos técnicos que mejoran las labores de mantenimiento, para personal nuevo incorporado a la empresa, además, el personal técnico experimenta ventajas al disponer de información confiable y accesible de

manera inmediata, lo que mitiga el estrés laboral asociado con la gestión de información desordenada y la consulta de libros obsoletos y sucios, es destacable también, que los técnicos tienen la capacidad de retroalimentar la biblioteca digital de la aplicación, mediante la incorporación de nuevas técnicas y códigos de fallas que descubran en su trabajo diario

CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1. Contextualización general del estado del arte

La Cuarta Revolución Industrial, conocida también como Industria 4.0, por la mayoría de personas, es definida como la implementación de tecnologías avanzadas en los procesos productivos industriales, entre las tecnologías más comunes que se integran tenemos: la inteligencia artificial (IA), Big Data o el análisis de datos, el IoT o Internet de las Cosas, la computación en la nube y en la niebla, la robótica, la impresión 3D, entre otras.

La unión de estas tecnologías a la industria, crea entornos de producción inteligentes y altamente productivos y automatizados, entre los beneficios más importantes que se obtienen es una mayor eficiencia, flexibilidad y personalización en la producción, sin contar con la optimización de recursos en el mantenimiento, logística y abastecimientos, esto sin lugar a dudas genera un impacto significativo en la economía global, impulsando la innovación continua, un crecimiento económico y por ende la generación de nuevas plazas de empleo, que demandan conocimiento técnico científico, en una amplia gama de áreas industriales.

En los países desarrollados la implementación de esta industria, genera rentabilidad, ya que los productos fabricados o producidos tienen un costo más competitivo, en países subdesarrollados como por ejemplo Ecuador, implementar una industria 4.0 conlleva una alta inversión que no todos los empresarios están dispuestos a realizar.

Dentro del mantenimiento industrial en entornos subdesarrollados, como por ejemplo en Ecuador, se ha identificado áreas problemáticas como la baja infraestructura tecnológica, la escasez de capacitación especializada, la falta de acceso a recursos financieros y la limitada conectividad digital, las bajas seguridades ante ataques cibernéticos, entre otros.

El mantenimiento industrial es un área fundamental en toda industria, el cual lo conforman el mantenimiento correctivo, preventivo, predictivo, mantenimiento basado en la confiabilidad y el mantenimiento centrado en la condición entre otras técnicas, sin embargo, se considera a dos como principales de los cuales se dará una breve explicación.

El mantenimiento preventivo, conlleva realizar actividades planificadas de mantenimiento, esto con el objetivo de evitar fallos o averías inesperadas en los equipos y maquinaria, para esto es necesario inspecciones regulares, cambio de lubricación en tiempos determinados, limpieza y reemplazo de piezas desgastadas en tiempos definidos con antelación, y que se basan en experiencias y criterios del fabricante de acuerdo a ciclos de trabajo determinados en laboratorios.

El mantenimiento correctivo por otro lado, se realiza en respuesta a una falla en el equipo, que no permite continuar con su funcionamiento, por tanto, el fin es restablecer el equipo a su condición normal de funcionamiento, a la brevedad posible para minimizar los costos de producción que se pudieran generar (Boero, 2020, p. 102)

De hoy en adelante vamos a mencionar mucho el término realidad aumentada (RA) y la definimos como la tecnología que armoniza el mundo físico con elementos virtuales generados por computadora, o explicado de otra forma, superpone información digital, como objetos y textos 3D, imágenes, enlaces UR, videos, gráficos, entre otros formatos digitales sobre el entorno real, mediante la utilización de una computadora Tablet o teléfonos inteligentes que obligadamente dispongan de una cámara.

En la actualidad, no son muchos los estudios de casos sobre aplicaciones de AR en entornos industriales, sin embargo cada vez hay más investigaciones académicas relevantes sobre realidad aumentada y su aplicación en el mantenimiento de equipos, el desarrollo va direccionados a manuales de equipos, procedimientos de mantenimiento, asistencia remota, inspección de equipos, capacitación de personal técnico, entre otros, estos nuevos recursos y herramientas digitales, que proporcionan fiabilidad y eficiencia, en la implementación de la aplicación de AR en la industria.

Las herramientas de (RA) mencionadas, está transformando la forma de lleva a cabo el mantenimiento industrial, ofrecen una experiencia más interactiva, intuitiva y eficiente para el personal técnico de mantenimiento y operadores, un ejemplo de este desarrollo, es Vuforia Engine, desarrollado por la empresa PTC, la plataforma socializada, es líder en el área de la realidad aumentada, ofreciendo herramientas poderosas que aportan al desarrollo de aplicaciones de RA, específicamente refiriéndonos a Vuforia Engine, que está diseñada para aplicarse en el mantenimiento industrial utilizando realidad aumentada, y es así que en la actualidad se puede ver un uso creciente de la RA en entornos industriales, los avances en hardware y software influyen en el diseño y la implementación, también se aprecia una disminución en los costos, para aplicar esta tecnología en la industria.

Todo lo mencionado se centra en incrementar la eficiencia, productividad y mejorar la seguridad en el lugar de trabajo, la optimización de los procesos de mantenimiento, la reducción del tiempo de inactividad de la maquinaria, la mejora en la capacitación de personal y mejoramiento de la seguridad industrial, de este modo la presente investigación permitirá a la pequeña industria y emprendedores, tener acceso a una nueva tecnología como es la realidad aumentada, y sobre todo a un bajo costo, ya que el software empleado es gratuito y de libre acceso.

La realidad aumentada (AR), implementada en la industria, es hoy un referente de investigación y desarrollo constante, por cuanto, las tendencias y progresos en este campo, nos han contribuido con conocimientos actualizados, necesarios para abordar la problemática de la presente investigación.

Martínez (2019), propone que la transformación digital en la industria, va ligada a la industria 4.0, refiriéndose a la cuarta revolución industrial y la importancia de digitalizar el conocimiento, y es por esto que la experiencia del personal de mantenimiento de las grandes industrias se pierde al momento de a que los técnicos se jubilan o son separados de la empresa, por tanto es imperativo digitalizar este conocimiento y ponerlo a disposición del personal que ingresa a las áreas técnicas, de modo que este conocimiento forma parte del capital intangible de la empresa.

Desde hace algunos años, se comenzó a ver una utilidad de la AR, de modo que aporte a la ciencia y la tecnología, sin embargo aún estaba lejos el pensar que se podría utilizar esta tecnología, para mejorar la eficiencia y la precisión en las tareas de mantenimiento industrial, y es así que De la Torre y Martin (2013) propusieron la utilización de la Realidad aumentada en la educación, mediante la manipulación de objetos en 3D con una tableta táctil, en reemplazo de objetos físicos, obteniendo varias ventajas como un menor costo y eliminación del problema del transporte y el bodegaje

En términos de conocimiento más actualizado, investigaciones más recientes como las de Navarro et al. (2019) han explorado aplicaciones específicas de AR como Vuforia, Arkit y Arcore y del mismo modo profundiza la aplicación de la AR en el mantenimiento industrial utilizando tecnologías como Vuforia Engine y dispositivos móviles, estos estudios han demostrado la viabilidad y eficacia de la AR para mejorar el rendimiento y la precisión en tareas dedicadas al mantenimiento, entre las ventajas más significativas mencionadas por el autor, están la mejorar la eficiencia y la productividad, reducción de errores, mejorar la seguridad del usuario, reducir costos de capacitación, se requiere menos habilidades en los técnicos, y reducción de tiempos en los mantenimientos (Muñoz, 2022).

Además, en trabajos realizados por Pérez y Marquez (2022) han investigado soluciones específicas para problemas comunes en el entorno industrial, como el mantenimiento asistido y el mantenimiento en operaciones de planta, utilizado tecnologías de AR y dispositivos de realidad mixta (MR) para superponer información relevante, como diagramas de circuitos y manuales de equipos, directamente en el campo de visión del trabajador, lo que ha demostrado reducir el tiempo de paro y mejorar la eficiencia en la operación.

Dentro de nuestro proyecto, incluye la inclusión de IoT, para tener acceso en instantáneo a la información de censado del grupo de bombeo a ser intervenido, por tanto es relevante el conocimiento de las bases de datos; según Medina Serrano (2015) y Núñez (2023), las bases de datos

están organizadas en estructuras lógicas llamadas tablas, cada tabla contiene filas (también conocidas como registros) y columnas (conocidas como campos o atributos), las filas representan registros individuales de datos y las columnas representan atributos o características de esos registros, y para poder interactuar con las bases de datos, al cual se accede mediante lenguaje SQL (Structured Query Language), SQL corresponde a un lenguaje estándar utilizado para realizar operaciones como consulta, inserción, actualización como también eliminación de datos, por ejemplo, la consulta SELECT es una de las consultas más comunes en SQL Server, que permite recuperar datos de una o varias tablas de la base de datos según los criterios especificados, las consultas SELECT pueden incluir cláusulas adicionales como WHERE para filtrar filas, ORDER BY para ordenar los resultados y JOIN para combinar datos de múltiples tablas, en resumen, SQL Server proporciona un conjunto integral de herramientas y funcionalidades para consultar datos de manera eficiente, en un entorno de desarrollo integrado y con capacidad de optimización, por lo que podríamos concluir que SQL Server es una opción popular para la gestión de datos en una variedad de aplicaciones y entornos empresariales.

El programa Unity es un entorno de desarrollo utilizado en la creación de videojuegos y creación de contenido interactivo 2D, 3D, RV y RA, entre sus aplicaciones está la de crear aplicaciones que permiten a los usuarios visualizar objetos en 3D superpuestos en el mundo real, estas aplicaciones se utilizan en campos como el diseño de productos, arquitectura, medicina y la industria, por todo esto, Unity es una herramienta versátil utilizada en una variedad de aplicaciones de realidad aumentada, desde videojuegos hasta aplicaciones educativas y comerciales, por otro lado su capacidad para crear contenido interactivo y su soporte multiplataforma lo convierten en la mejor para el desarrollo de aplicaciones de RA según Ruelas (2019).

La realidad aumentada está en constante evolución evidenciando su importancia en la industria, generando mucho interés en su desarrollo, según Mora (2023 p. 62), "El desarrollo de apps de realidad aumentada en el ámbito industrial también está creciendo, ya que ayudan a mejorar la productividad de los ciclos de trabajo. Por ejemplo, algunas compañías están desarrollando aplicaciones que ayuden a los trabajadores de una cadena de montaje. De este modo, los empleados podrán obtener información adicional sobre las acciones que llevan a cabo.", En resumen, los conceptos y autores consultados en la perspectiva tecnológica incluyen modelos teóricos de AR, así como investigaciones recientes sobre aplicaciones específicas en el mantenimiento industrial, estos antecedentes proporcionan un sólido comienzo, para la producción de la aplicación de AR en el presente proyecto, ofreciendo alternativas tecnologías probadas y enfocadas hacia el mantenimiento industrial.

En la presente investigación fue necesario consultar trabajos similares encontrados en el repositorio de la UISAREL y otras instituciones, obteniendo los siguientes logros.

El autor Arequipa (2022) en su trabajo titulado "Sistema de realidad aumentada para mantenimiento correctivo industrial" describe la creación de una aplicación utilizando realidad aumentada específicamente diseñada con el objetivo de mejorar el procesos de mantenimiento de maquinaria en la industria, para resolver el problema utiliza Unity como plataforma de desarrollo y se integran modelos 3D de maquinaria industrial con información de mantenimiento y procedimientos en realidad aumentada, la aplicación de realidad aumentada facilita la identificación de partes de los tableros eléctricos, proporcionando información contextual sobre el mantenimiento, mejorando la eficiencia de los trabajos realizados, en relación con el trabajo actual, este trabajo es relevante ya que aborda el desarrollo de una APK utilizando realidad aumentada en el mantenimiento industrial, utilizando el Software Unity, el cual es gratuito, lo que proporciona ideas y enfoques técnicos que pueden ser útiles para el presente proyecto, cabe recalcar que en este proyecto no se realiza la consulta a una base de datos para tener acceso a variables de la máquina en tiempo real.

Según López (2022) en su trabajo titulado "Realidad aumentada para mantenimiento preventivo del sistema de control del grupo de generación de la central SAYMIRÍN " y el autor Cárdenas (2022), con el trabajo de titulación "Sistema de realidad aumentada para mantenimiento preventivo del sistema de generación en la central hidroeléctrica Sopladora", se centran en mejorar la eficiencia del mantenimiento preventivo de la industria, porque, se empleó la tecnología de realidad aumentada para superponer información relevante sobre los equipos y procedimientos de mantenimiento directamente en el entorno real, el software utilizado en los dos casos, fue la aplicación de EcoStruxure desarrollada por Schneider Electric, y el software Node-RED, para tener acceso a los datos de sensores del PLC asociado, Esta combinación permitió desarrollar una aplicación de realidad aumentada, que superpone datos virtuales sobre los componentes físicos de las dos empresas, mejorando así la precisión y la eficiencia de las tareas de mantenimiento preventivo, sin embargo, EcoStruxure es una aplicación ya desarrollada y de pago, por lo que en el presente proyecto que pretende un acceso gratuito a la implementación de RA en la pequeña industria, no podría ser aplica, sin embargo la interfaz gráfica de esta herramienta es muy intuitiva y versátil lo cual aportará a la interfaz de nuestro proyecto.

Las consultas realizadas, revelan varias perspectivas y orientaciones de la investigación que pueden contribuir significativamente a la toma de decisiones en la creación de una APK de realidad aumentada (AR) orientada al mantenimiento de grupos de bombeo.

Las investigaciones han demostrado de manera consistente, que el uso de la AR en el mantenimiento industrial puede mejorar la eficiencia operativa, reducir el tiempo de intervención del equipo, reducir costos y proporcionar asistencia en tiempo real a los técnicos de mantenimiento y

operadores, estos resultados respaldan la decisión de incorporar tecnologías de AR en este proyecto, teniendo como objetivo, optimizar los procesos de mantenimiento y mejorar la productividad en el entorno industrial de la pequeña y mediana industria.

La utilización de tecnologías y métodos identificados en los trabajos anteriores, como el uso aplicaciones desarrolladas en plataformas como Unity, que han demostrado ser efectivas en proyectos similares ofrecen una guía valiosa para la selección de esta herramienta, enfocado hacia la parte técnica en el desarrollo de la aplicación de AR.

En cuanto a los problemas no resueltos identificados en las investigaciones previas, existe una oportunidad para incorporar valor agregado o aportes adicionales al proyecto actual, por ejemplo, la integración de tecnología IoT en la aplicación de Unity, estos problemas no resueltos pueden servir como temas de investigación adicionales para el presente y futuros proyecto, permitiendo la exploración de soluciones innovadoras a la generación de conocimiento nuevo en el campo de la AR y el mantenimiento industrial de forma accesible a la pequeña y mediana industria.

1.2. Proceso investigativo metodológico

Esta investigación propone desarrollar una "Aplicación de Realidad Aumentada para Mantenimiento de Equipos de Bombeo en la Industria del Transporte de Derivados del Petróleo", la misma que sigue un enfoque principalmente cuantitativo, como se sugiere en la cita de Rasinger (2020), este enfoque se justifica por la característica principal de los datos que se obtienen los cuales son cuantitativos, y que se componen de información que puede ser, de una forma u otra, medible, teniendo como objetivos principales los beneficios económicos, disminución de tiempo, incremento de seguridad y mayor conocimiento técnico a disposición del personal técnico.

Por cuanto, los métodos teóricos y prácticos que se aplican, emplean diversas etapas, primero, se utiliza el método de análisis y síntesis, respaldado por la técnica de revisión bibliográfica, para examinar casos de estudio ya probados, tecnologías disponibles y actualizadas, evolución de soluciones tecnológicas y herramientas relevantes tanto gratuitas como de pago para su aplicación en la industria, para luego realizar la etapa de fundamentación, que implica la revisión específica de información técnica, recolección de datos y determinación de variables importantes del sistema, por último, en la etapa de diseño, se recurre principalmente al método de modelación para abstraer los sistemas de control automatizado y crear un modelo que se ajuste a la realidad física incluyendo el apoyo de expertos en áreas específicas (Baena 2017, p 41, 42)

Las técnicas respecto a la recolección de información, se basa en la revisión bibliográfica, la revisión de documentación técnica, la recolección de datos y el criterio y apoyo de expertos en casos específicos mediante entrevistas.

De una población de 14 grupos de bombeo, en todo el poliducto, la industria del transporte de derivados del petróleo, considerando a esto como la población objetivo, en este caso la para la muestra se seleccionó un grupo de bombeo eléctrico de la estación Osayacu, y sobre este equipo se implementará la aplicación de RA., para la selección, se empleó un muestreo estratificado para garantizar la representatividad de la muestra, ya que este equipo es idéntico a los demás grupos de bombeo y dispone de una mayor cantidad de sensores, en relación a los otros equipos.

En cuanto a la metodología de trabajo, se sigue un enfoque sistemático que abarca desde el análisis inicial hasta la implementación práctica, se destacan métodos como el análisis y síntesis, la revisión bibliográfica, la modelación y el método sistémico, cada uno aplicado en las etapas correspondientes del proyecto para alcanzar los objetivos establecidos.

El presente proyecto de titulación, siguió un enfoque de investigación cuantitativo, aplicando métodos teóricos y prácticos como el análisis y síntesis, la revisión bibliográfica, la modelación y el método sistémico, se utilizan diversas técnicas para recolectar información, y se sigue una metodología sistemática para implementar una aplicación de realidad aumentada en el mantenimiento de equipos de bombeo en la industria del transporte de derivados del petróleo.

CAPÍTULO II: PROPUESTA

2.1. Fundamentos teóricos aplicados

El objetivo del poliducto es transportar productos derivados del petróleo como gasolina base, Diesel premium, diésel 2, GLP entre otros derivados productos, para este transporte se utiliza cuatro estaciones de bombeo, y cada estación de bombeo se cuenta con tres grupos de bombeo y en otras estaciones hasta cuatro grupos de bombeo, el producto es transportado por una tubería de 6 in.

Los grupos de bombeo son de idénticas características, porque la aplicación será desarrollada para un grupo de bombeo.

Cada grupo de bombeo necesita de mantenimiento preventivo cada cierto tiempo, este tiempo está determinado por los requerimientos y manuales del fabricante; por la antigüedad de los equipos, se presentan de forma eventual, la necesidad de realizar mantenimientos del tipo correctivo.

Dentro de los mantenimientos preventivos se siguen procedimientos ya establecidos y que deben ser cumplidos de forma estricta, este tipo de mantenimiento son ejecutados en tiempos definidos con anterioridad y en una periodicidad establecida siguiendo los procedimientos que se encuentran debidamente documentados, esto permite mantener la buena salud de las instalaciones (Muñoz, 2022, p 12).

Por otro lado los mantenimiento correctivos, se presentan de forma eventual, sin embargo, Boero (2020, p 101), manifiesta que entre más sea la utilización de la maquinaria, mayor será la incidencia de los mantenimiento del tipo correctivo, este tipo de mantenimiento tiene la particularidad de que se desconoce el tiempo que llevará la intervención del equipo hasta que este sea habilitado, y esto depende de la experticia del técnico a cargo, por lo que entre más experiencia, menos tiempo de paro del equipo.

Descripción del grupo de bombeo eléctrico

Un grupo de bombeo es un conjunto de equipos conformado principalmente por un motor eléctrico, un acople flexible que cumple la función de transmitir la potencia del motor hacia elemento motriz en este caso una bomba, para nuestro caso de estudio, se detallan las características primordiales de los equipos mencionados:

Motor eléctrico:

TIPO: HXR 450LF2

AÑO DE FABRICACIÓN: 2016

FASES: 3 PHASES

POTENCIA DE SALIDA: 600 HP

VOLTAJE: 460 V.

CORRIENTE: 648 A.

FACTOR DE POTENCIA: 0,91

FRECUENCIA 60 Hz.

VELOCIDAD: 3582,9 RPM.

Bomba:

MODELO: DVMX 3X4X9 N/HH

CAUDAL: 350 GPM

T.D.H.: 4450 FT.

VELOCIDAD DE ROTACIÓN: 3400 RPM.

EFICIENCIA: 60,3%

POTENCIA: 562,4 HP

NÚMERO DE ETAPAS: 10 ETAPAS

Acople flexible:

MODELO: FLEXIBLE CON MEMBRANAS DE METAL.

POTENCIA A TRANSMITIR: 600 HP

Datos de mantenimiento preventivos del motor y la bomba

Para un correcto funcionamiento, del equipo, es necesario cumplir con los mantenimientos preventivos que recomienda el fabricante, para ello de acuerdo a las recomendaciones de fabricante GUINARD, la pericia de los técnicos y el tiempo de trabajo que llevan los equipos, se han normalizado los siguientes mantenimientos preventivos descritos a continuación:

- Mantenimiento mecánico 2000 horas de bomba.
- Mantenimiento Eléctrico 2000 horas de bomba.
- Mantenimiento Eléctrico 2000 horas de motor eléctrico.

Cada mantenimiento conlleva actividades a realizar de forma estricta por los técnicos asignados para estos mantenimientos, mediante órdenes de trabajo, dentro de estos procedimientos, se destaca la necesidad de consultar parámetros de funcionamiento del equipo, al comparar los parámetros de funcionamiento con los recomendados por el fabricante, el técnico puede hacer una evaluación acertada,

Elementos sensores que dispone el grupo de bombeo.

La disponibilidad de información técnica y datos censados de parámetros del equipo en tiempo real, facilita las tareas de mantenimiento, incluso acorta el tiempo de intervención del equipo: por lo que, se ha considerado los datos de los sensores que se detallan a continuación:

Sensores de bomba:

- 1.- Sensor de temperatura de caja de bomba.
- 2.- Sensor de temperatura del cojinete exterior de bomba.
- 3.- Sensor de temperatura del cojinete de empuje de bomba.
- 4.- Sensor de temperatura del cojinete interior de bomba.

Sensores de motor eléctrico:

- 1.- Sensor de temperatura bobinado fase 1A.
- 2.- Sensor de temperatura bobinado fase 1B.
- 3.- Sensor de temperatura bobinado fase 2A.
- 4.- Sensor de temperatura bobinado fase 2B.
- 5.- Sensor de temperatura bobinado fase 3A.
- 6.- Sensor de temperatura bobinado fase 3B.
- 7.- Sensor de temperatura de cojinete exterior de motor.
- 8.- Sensor de temperatura de cojinete interior de motor.
- 9.- Sensor de vibración cojinete exterior de motor.
- 10.- Sensor de vibración cojinete interior de motor.

Programa de desarrollo Unity

El programa Unity es un entorno de creación para videojuegos que en la actualidad es ampliamente utilizado, con este desarrollador es posible crear experiencias interactivas en 2 y 3D, realidad virtual (VR) y realidad aumentada (AR) principalmente, su lanzamiento fue en 2005, desde ese entonces, Unity ha evolucionado para convertirse en una plataforma para la producción de videojuegos y adicional a esto el desarrollo de aplicaciones en sectores de la educación, la arquitectura, y una de sus particularidades más potenciada es la de realidad aumentada (Unity Technologies, 2021).

Una de las ventajas de Unity, que justifica su amplia utilización, es la capacidad de soportar múltiples plataformas, lo que significa que una aplicación puede ser compilada para consolas, PC, teléfonos móviles, y dispositivos de realidad aumentada, como por ejemplo HoloLens y ARKit entre otros.

Unity es muy utilizado en aplicaciones de realidad aumentada, debido a su compatibilidad con varias plataformas, como ARCore desarrollado por Google y ARKit patentado por Apple.

El soporte que Unity brinda a la comunidad es sumamente amplio, ya que dispone de diversos recursos de aprendizaje, Unity Technologies, ha invertido significativamente en el soporte y la documentación, asegurando que los desarrolladores puedan acceder a tutoriales, foros y documentación técnica detallada para resolver problemas y aprender nuevas técnicas (Fletcher, 2020).

Vuforia

Vuforia es una herramienta muy reconocida y comúnmente utilizada para la concepción de herramientas con realidad aumentada (AR). Inicialmente lanzada en 2011, Vuforia permite a los desarrolladores crear experiencias interactivas que integran contenido digital con el mundo real mediante el reconocimiento y seguimiento de imágenes y objetos tridimensionales. Una de las principales ventajas de Vuforia es su compatibilidad con múltiples plataformas, incluyendo dispositivos móviles y gafas de realidad aumentada, lo que simplifica el desarrollo de aplicaciones que pueden desplegarse en una amplia gama de hardware (Perey, 2015).

Vuforia se destaca por su capacidad de reconocer una amplia variedad de objetos, incluyendo imágenes planas, objetos 3D, texto, y superficies planas, lo que le permite ofrecer experiencias de AR robustas y versátiles, además, Vuforia utiliza tecnologías avanzadas de visión por computadora para rastrear y superponer contenido digital en tiempo real, manteniendo la precisión y la estabilidad de las interacciones en AR, esto es particularmente importante en aplicaciones donde la precisión es crucial, como en la educación, la manufactura y el marketing (Vuforia, 2021).

Otra característica notable de Vuforia es su integración con Unity, lo que facilita enormemente el desarrollo de aplicaciones de AR, los desarrolladores pueden aprovechar las capacidades de Unity junto con las herramientas específicas de Vuforia, como Vuforia Engine, para crear experiencias AR inmersivas y altamente interactivas, la combinación de Unity y Vuforia permite a los desarrolladores utilizar una interfaz familiar mientras acceden a potentes características de AR, lo que resulta en una curva de aprendizaje más suave y en tiempos de desarrollo más cortos (Vuforia, 2021).

Vuforia también ofrece, servicios en la nube que asiste a las aplicaciones de AR para reconocer miles de imágenes sin necesidad de almacenar todos los datos localmente. Esto es particularmente útil para aplicaciones comerciales que requieren la gestión de grandes volúmenes de datos visuales, la plataforma continúa evolucionando, con mejoras constantes en la capacidad de reconocimiento, la estabilidad y la facilidad de uso, lo que la mantiene como una opción preferida para desarrolladores de AR en todo el mundo (Perey, 2015).

La implementación de realidad aumentada a través de Unity y Vuforia ofrece varias ventajas para la gestión del mantenimiento preventivo, primero, mejora la precisión y la rapidez con que los técnicos pueden acceder a la información crítica y realizar los procedimientos de mantenimiento (Boero, 2020).

Segundo, al proporcionar datos de sensores en tiempo real, la aplicación ayuda a prevenir fallos inesperados y a reducir el tiempo de inactividad del equipo (Muñoz, 2022), finalmente, la capacidad de Vuforia para reconocer múltiples tipos de objetos y su integración fluida con Unity permite un desarrollo eficiente y escalable de la aplicación, adaptable a diferentes escenarios y equipos (Vuforia, 2021).

Base de datos SQL Server

Dado que la aplicación requiere realizar consultas de parámetros de censado del grupo de bombeo como temperatura, vibración, entre otros, estos datos son gestionados mediante el sistema SCADA y almacenados en un servidor con una base de datos, la bases de datos SQL Server, es conocido como uno de los más potentes y ampliamente utilizados en el entorno empresarial, desarrollado por Microsoft, el cual permite almacenar y gestionar de manera eficiente, enormes volúmenes de data, mediante lenguaje T-SQL., según Medina (2015), SQL Server destaca por su flexibilidad y por ofrecer soluciones avanzadas para la administración de datos, optimizando consultas y facilitando la automatización de tareas críticas.

Aplicaciones Web con PHP

PHP se ha mantenido como uno de los lenguajes más utilizados para el desarrollo de aplicaciones web debido a su simplicidad, flexibilidad y capacidad para interactuar con bases de datos, según

Cerezo (2020), PHP sigue siendo la base de muchas aplicaciones web modernas, ya que permite a los desarrolladores generar contenido dinámico y ofrecer experiencias personalizadas a los usuarios. Además, PHP ha evolucionado para incluir características avanzadas, como la orientación a objetos, lo que permite la creación de sistemas más robustos y modulares, esta evolución ha sido apoyada por el amplio uso de frameworks como Laravel y Symfony, que simplifican el desarrollo de aplicaciones seguras y eficientes.

API REST y PHP

El desarrollo de API REST utilizando PHP fue la mejor elección en el desarrollo de la aplicación de RA., debido a la simplicidad y flexibilidad de su lenguaje de programación PHP, implementado en servicios web que los vuelve ligeros y eficientes, Según Hernández (2019), PHP ofrece un entorno robusto para crear APIs RESTful que permiten la comunicación entre aplicaciones mediante solicitudes HTTP, las APIs REST creadas con PHP pueden utilizarse para diversos fines, como la interacción entre aplicaciones web y móviles, la integración de sistemas distribuidos, o la comunicación con bases de datos externas en este caso con SQL Server, Su enfoque basado en recursos y su uso de métodos como GET, POST, PUT y DELETE facilitan el desarrollo de servicios web que siguen los principios de REST.

2.1 Descripción de la propuesta

Esta propuesta tiene el objetivo de desarrollar una aplicación móvil utilizando Unity y Vuforia para gestionar tareas de mantenimiento preventivo en un grupo de bombeo con motor eléctrico, el grupo de bombeo forma parte de un conjunto de equipos en el poliducto, que tiene como fin el transporte de productos derivados del petróleo, estos equipos requieren de un mantenimiento regular para asegurar su correcto funcionamiento y prevenir fallos que pudieran paralizar las operaciones.

Descripción de la Aplicación

La aplicación propuesta utilizará la realidad aumentada (AR) para asistir de manera eficiente y precisa, en las tareas de mantenimiento preventivo, mediante la integración de Vuforia con Unity, se desarrollará una interfaz que permitirá a los técnicos visualizar en tiempo real la información técnica del grupo de bombeo, acceder a procedimientos de mantenimiento detallados y monitorizar los datos de los sensores del equipo.

Funcionalidades Principales

Visualización de Información Técnica: Utilizando la capacidad de Vuforia en el reconocimiento de imágenes, así como también objetos 3D, la aplicación mostrará superposiciones de información

técnica del motor eléctrico y la bomba en el campo de visión del usuario, esto incluirá especificaciones del equipo, diagramas y procedimientos de mantenimiento.

Acceso a Datos de Sensores en Tiempo Real: La aplicación se conectará a los sensores instalados en el grupo de bombeo para proporcionar lecturas instantáneas de parámetros importantes como la temperatura de los cojinetes, la vibración del motor, y otros indicadores críticos, esta funcionalidad permitirá a los técnicos comparar los valores actuales con los recomendados por el fabricante y tomar decisiones informadas sobre la necesidad de mantenimiento.

Procedimientos de Mantenimiento: La aplicación incluirá guías paso a paso para la ejecución de los mantenimientos preventivos, basadas en las recomendaciones del fabricante, estas guías se presentarán en un formato interactivo que utilizará la AR para resaltar visualmente las áreas del equipo que requieren atención, asegurando que se sigan los procedimientos establecidos de manera estricta.

Desarrollo de la Aplicación Móvil

Esta aplicación se llevará a cabo utilizando el programa Unity y el motor de AR Vuforia Engine, la aplicación se diseñará para proporcionar una interfaz intuitiva y eficiente para la gestión del mantenimiento, con un enfoque en la integración de información en directo de sensores instalados en el grupo y la accesibilidad de la información técnica disponible.

Definición de Targets

Para definir los targets necesarios, para llevar a cabo un mantenimiento eficiente, primero se identificó los puntos críticos, así como también los sensores instalados en el grupo de bombeo que requieren ser monitoreados, a continuación, se define los mantenimientos preventivos que requiere ejecutar, de igual manera, los targets y los sensores relacionados al mantenimiento:

Mantenimiento mecánico 2000 horas de bomba centrífuga GUINARD

Incluye control de temperatura, revisión de cañerías y filtros ciclónicos, detección de fugas y limpieza de sellos mecánicos, entre otros, este mantenimiento requiere de la siguiente información:

- Target de caja de bomba (BOMBA GUINARD):
- Sensores: Sensor de temperatura de caja de bomba.
- Información de Mantenimiento.

Mantenimiento eléctrico 2000 horas bomba centrífuga GUINARD

Incluye desenergización del equipo, revisión de sensores de temperatura y pruebas de funcionamiento, para este mantenimiento, se requiere los siguientes targets, y datos de sensores:

- Target: cojinete interior de bomba (COJ-INT BOMBA):
- Sensores: Sensor de temperatura del cojinete interior de bomba.
- Target: cojinete exterior de bomba (COJ-EXT BOMBA):
- Sensores: Sensor de temperatura del cojinete exterior de bomba, Sensor de temperatura del cojinete de empuje de bomba.
- Información de Mantenimiento.

Mantenimiento 2000 horas motor eléctrico ABB.

Incluye chequeo de vibración de rodamientos, limpieza de ventilador y partes exteriores, chequeo de conexiones y pruebas de funcionamiento.

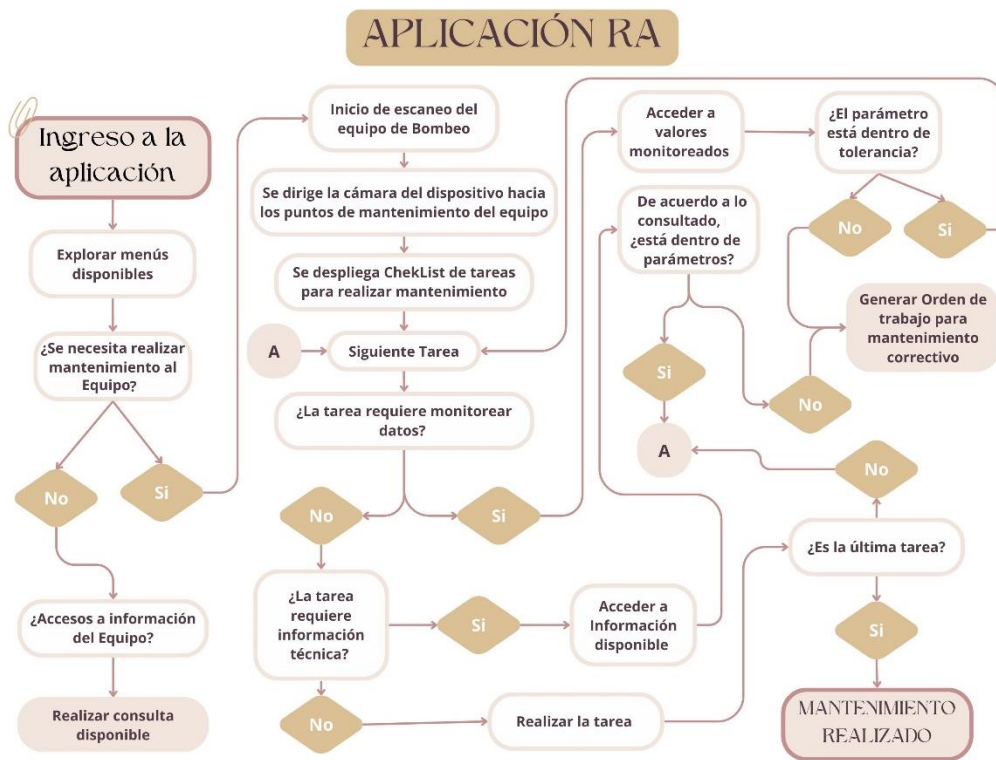
- Target de cojinete interior de motor (COJ-INTERIOR MOTOR):
- Sensores: Sensor de temperatura de cojinete interior de motor, Sensor de vibración de cojinete interior de motor.
- Target de cojinete exterior de motor (COJ-EXTERIOR MOTOR):
- Sensores: Sensor de temperatura de cojinete exterior de motor, Sensor de vibración de cojinete exterior de motor.
- Target de cuerpo de motor eléctrico (MOTOR ELÉCTRICO):
- Sensores: Sensores de temperatura en bobinados de las fases 1A, 1B, 2A, 2B, 3A, y 3B.
- Información de Mantenimiento:

a. Estructura general

El funcionamiento de la propuesta de realidad aumentada, se define en el diagrama de flujo plasmado en la **Figura 1**, en este esquema se especifica paso a paso las funciones principales de la aplicación, empezando en la pantalla de inicio, hasta lograr el objetivo, que en este caso es la culminación del mantenimiento.

Figura 1

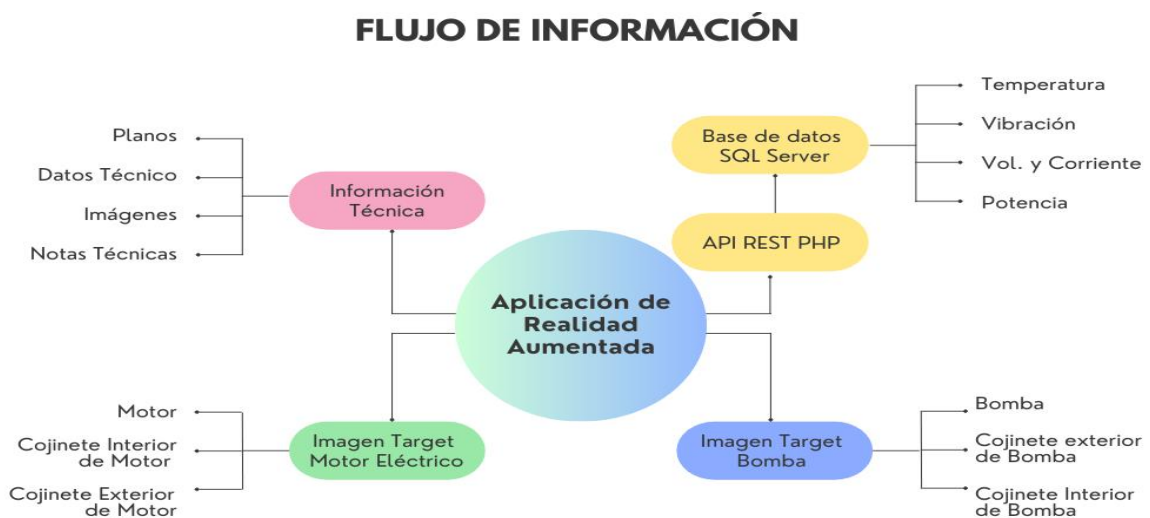
Flujograma de la aplicación de Realidad Aumentada para mantenimiento.



De manera general, la aplicación de realidad aumentada presenta información útil para el técnico, a través de una terminal inteligente, como puede ser un teléfono, una Tablet o visores de RA, de manera que el flujo de información está plasmado en la **Figura 2**, dependiendo de la imagen target que detecte la cámara, la aplicación visualizara la información disponible que necesita el técnico.

Figura 2

Diagrama de flujo de información, de la APK. De Realidad Aumentada.



b. Explicación del aporte

Esta aplicación, está diseñada con una pantalla de inicio que ofrece dos opciones principales: "EMPEZAR MANTENIMIENTO" e "INFORMACIÓN TÉCNICA", la primera opción permite al técnico realizar el mantenimiento preventivo directamente con la asistencia de la aplicación, siempre y cuando esté frente al equipo de bombeo y la cámara del dispositivo pueda escanear los targets colocados en el equipo, la segunda opción proporciona acceso a información técnica y manuales sin la necesidad de estar cerca del equipo.

Durante la ejecución del mantenimiento, la aplicación guía al técnico a través de pasos secuenciales utilizando realidad aumentada, que superponiendo información digital en 3D sobre el equipo, además, se incluye el monitoreo en tiempo real de los sensores del equipo, lo que permite al técnico verificar parámetros como velocidad, temperatura, entre otros, comparándolos con las recomendaciones del fabricante para asegurar que el equipo está operando dentro de los límites tolerables.

Este grupo de bombeo cuenta con 19 sensores distribuidos en los puntos críticos donde se requiere monitorear condiciones de funcionamiento, de modo que a cada punto de mantenimiento le corresponde monitorear solo los sensores que están asignados a ese mantenimiento en particular, en la **Tabla 1**, se desglosa los 19 sensores y los Tags, asignados a cada sensor.

Tabla 1

Tags asignados a los sensores que monitorean condiciones del grupo de bombeo.

| Nro. | NOMBRE DEL TAG | DESCRIPCIÓN |
|-------------|-----------------------|--|
| 1 | GEB4_B_VL_TCI | 1404 Valor Temp. Cojinete Interior (B) |
| 2 | GEB4_B_VL_TC | 1404 Valor Temp. Caja (B) |
| 3 | GEB4_B_VL_TCEM | 1404 Valor Temp. Cojinete Empuje (B) |
| 4 | GEB4_B_VL_TCE | 1404 Valor Temp. Cojinete Exterior (B) |
| 5 | GEB4_M_VL_TCE | 1404 Valor Temp. Cojinete Exterior (M) |
| 6 | GEB4_M_VL_TCI | 1404 Valor Temp. Cojinete Interior (M) |
| 7 | GEB4_M_VL_TBF1A | 1404 Valor Temp. Bobinados Fase 1A (M) |
| 8 | GEB4_M_VL_TBF1B | 1404 Valor Temp. Bobinados Fase 1B (M) |
| 9 | GEB4_M_VL_TBF2A | 1404 Valor Temp. Bobinados Fase 2A (M) |
| 10 | GEB4_M_VL_TBF2B | 1404 Valor Temp. Bobinados Fase 2B (M) |
| 11 | GEB4_M_VL_TBF3A | 1404 Valor Temp. Bobinados Fase 3A (M) |
| 12 | GEB4_M_VL_TBF3B | 1404 Valor Temp. Bobinados Fase 3B (M) |
| 13 | GEB4_M_VL_VSCE | 1405 Valor Vibración cojinete exterior (M) |
| 14 | GEB4_M_VL_VSCI | 1406 Valor Vibración cojinete interior (M) |
| 15 | GEB4_VL_RPM | 1404 Valor Velocidad Motor Eléctrico (M) |
| 16 | REP_VL_PF | 1404 Valor Factor de potencia |
| 17 | VRV_VL_VMT | 1404 Valor Voltaje Grupo Eléctrico |

| | | |
|----|------------|--|
| 18 | VRV_VL_CGE | 1404 Valor Corriente Grupo Eléctrico |
| 19 | VRV_VL_PGE | 1404 Valor Potencia Grupo Eléctrico |

A medida que el técnico avanza en el mantenimiento, la aplicación le permite marcar las tareas completadas para mantener un orden adecuado y evitar omisiones, si se detectan parámetros fuera de las tolerancias establecidas, se genera una orden de mantenimiento correctivo, la aplicación garantiza que la información desplegada sea específica para cada parte del equipo escaneada, evitando confusiones, además, el técnico puede acceder a manuales de mantenimiento en formato JPG y PDF para verificar detalles técnicos, asegurando que el mantenimiento se realice de manera precisa y eficiente, reduciendo el tiempo de intervención, en comparación con métodos tradicionales.

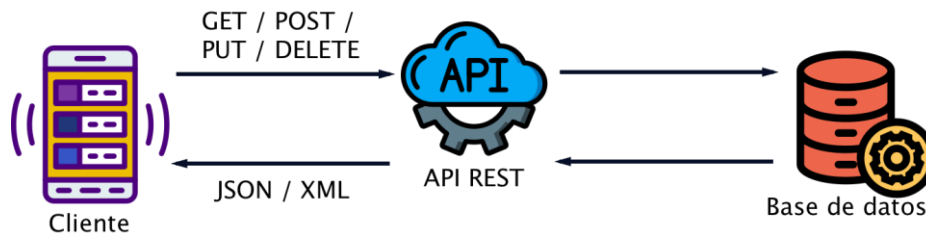
c. Estrategias y/o técnicas

El uso de la Realidad Aumentada, como herramienta tecnológica, para optimizar el mantenimiento preventivo de equipos de bombeo es clave y se centra en la creación de una aplicación adaptada a una necesidad de tecnificar la ejecución del mantenimiento, en esta caso, la plataforma Unity se convirtió en el motor principal de esta iniciativa, justificando su robustez en el manejo de gráficos 3D con una precisión aceptable y su facilidad para integrarse con Vuforia, cuya característica destacable es el reconocimiento de imagen targets, en entornos físicos, convirtiendo a Unity y Vuforia en una combinación acertada, que cumplió el objetivo esencial de sobreponer correctamente objetos 3D e información, sobre los componentes del equipo de bombeo.

Para optimizar la conectividad entre Unity y SQL Server en un entorno Android, a pesar de que Microsoft ofrece bibliotecas .NET para realizar consultas directas, se presentaron inconvenientes en la capa de transporte al compilar la aplicación para dispositivos Android, esto demandó la implementación de una solución alternativa para la gestión de los tags almacenados en el servidor que contiene la base de datos, para este fin, se desplegó un servicio web basado en una API REST desarrollada en PHP, alojada en un servidor local bajo XAMPP, lo que permitió establecer una conexión robusta y segura entre la aplicación y SQL Server como se plasma en la arquitectura de comunicación de la **Figura 3**, este enfoque asegura un canal de datos eficiente, cumpliendo con los requisitos de disponibilidad y confidencialidad de la información.

Figura 3

Arquitectura de consulta a base de datos SQL Server a través de API REST.



Nota: fuente dossetenta.com

El servidor local también actúa como repositorio de información técnica en formato PDF, esencial para las actividades de mantenimiento, lo que optimiza el acceso a datos voluminosos y detallados directamente desde la aplicación, esta estrategia evita la sobrecarga de la APK con archivos de gran tamaño, permitiendo que la aplicación acceda dinámicamente a documentación sin restricciones en cuanto al tamaño de los archivos, de esta manera, la única limitante es la capacidad de almacenamiento del servidor, garantizando un flujo de datos continuo y eficiente sin afectar el rendimiento de la aplicación o la integridad de la red.

Debido a las estrictas políticas de ciberseguridad de la empresa, la red SCADA opera en un entorno aislado del acceso a internet, protegido por firewalls administrados por el departamento de TICS., en consecuencia, la comunicación entre la aplicación de mantenimiento y la base de datos se realiza a través de la red interna LAN (*Local Area Network*) dentro del sistema SCADA.

Para habilitar la conectividad inalámbrica en los dispositivos móviles utilizados en las operaciones de mantenimiento con realidad aumentada, se implementó un punto de acceso mediante un enrutador Wi-Fi, lo cual facilitó la integración del dispositivo móvil con la red local LAN, garantizando el acceso a la base de datos SQL Server de manera eficiente y segura.

La estrategia como alternativa de solución a la problemática, se centra en aprovechar una nueva tecnología, para tecnificar un procedimiento de mantenimiento obsoleto mediante la realidad aumentada, esta tecnología que anteriormente estaba siendo utilizada para videojuegos y entretenimiento, es ahora utilizada a nivel industrial, asistiendo a un Técnico durante un proceso de mantenimiento, guiándolo y sobreponiendo información relevante, para ejecutar esta actividad de manera eficiente.

Durante las pruebas a realizarse el técnico deberá valorar esta nueva herramienta tecnológica, la cual es muy susceptible de mejoras constantes y de inclusión de más información relevante para mejorar el mantenimiento de equipos.

2.2 Matriz de articulación de la propuesta

A manera de resumen la articulación de la propuesta es implementar una aplicación para dispositivos móviles que asista en tareas de mantenimiento, mediante realidad aumentada, esta matriz está plasmada en la **Tabla 2**.

Tabla 2

Matriz de articulación de la aplicación de Realidad Aumentada.

| | Ejes o partes principales del proyecto | Breve descripción de los resultados de cada parte | Sustento teórico que se aplicó en la construcción del proyecto | Metodologías, herramientas técnicas y tecnológicas que se emplearon |
|----------|---|--|---|--|
| 1 | <p>Definición: Del Equipo para la implementación de la Realidad Aumentada. Del programa más adecuado para realizar la aplicación. De los puntos de mantenimiento sobre el equipo. De variables que requieren ser monitoreadas durante el mantenimiento. De información relevante y técnica que requiere el técnico para realizar el mantenimiento. De la interfaz idónea e intuitiva que interactúa con el técnico.</p> | <p>1.1. Análisis para selección de una muestra representativa y relevante. 1.2. Listar debilidades, fortalezas y accesibilidad gratuita, de los programas disponibles en el mercado 1.3. Análisis de información técnica de catálogos y programas de mantenimiento de equipos. 1.4. Determinar información y elementos necesarios para ingresar en la aplicación.</p> | <p>Mantenimiento industrial. Desarrollo de bases de datos Sistemas de comunicaciones</p> | <p>Tabulación en Excel y documentación en Word</p> |
| 2 | <p>Diseño: De la aplicación. Programación en Visual estudio. Consultas a bases de datos.</p> | <p>2.1. desarrollo de aplicación en Unity.</p> | <p>Realidad Aumentada Internet de las Cosas Comunicaciones Inalámbricas Consulta de bases de datos SQL Server Programación. Protocolos de seguridad</p> | <p>Computadora Unity Vuforia Microsoft Visual estudio Microsoft SQL Server</p> |
| 3 | <p>Implementación: Implementación de la aplicación desarrollada.</p> | <p>3.2. Pruebas de funcionamiento de la aplicación desarrollada.</p> | <p>Técnicas de mantenimiento industrial.</p> | <p>Tablet. Aplicación desarrollada.</p> |

2.3 Análisis de resultados. Presentación y discusión.

La aplicación de realidad aumentada, está compuesta de una pantalla de inicio, en la cual tenemos dos opciones principales, como se plasma en la **Figura 4**.

“**EMPEZAR MANTENIMIENTO**”, que es la opción donde se ejecuta directamente el mantenimiento preventivo con asistencia de la herramienta de realidad aumentada, en esta opción el técnico debe obligadamente estar frente al equipo de bombeo y debe interactuar con él, para realizar el mantenimiento preventivo, ya que para la asistencia la aplicación debe escanear con la cámara los targets dispuestos en el equipo, caso contrario, no se podrá tener acceso a la asistencia, por parte de la aplicación.

“**INFORMACIÓN TÉCNICA**”, Este es un menú en el cual el técnico puede realizar consultas sobre información técnica, manuales y valores de sensores que dispone el grupo de bombeo y a los cuales se puede tener acceso a través de la aplicación, en esta opción el técnico no necesariamente debe estar cerca del equipo de bombeo.

Figura 4:

Pantalla de inicio APK Realidad Aumentada.



En caso de que el técnico necesite realizar únicamente consultas, previo a realizar el mantenimiento, o por conocer el estado del equipo, tendrá acceso a la información que dispone la aplicación, como se plasma en las Figuras 5 y 6.

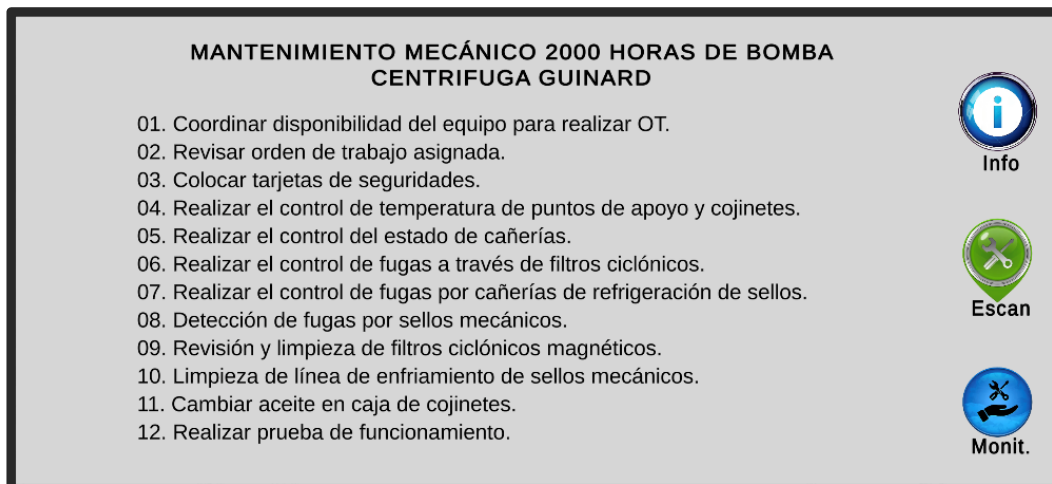
Figura 5:

Pantalla de información referente a opciones de mantenimiento.



Figura 6:

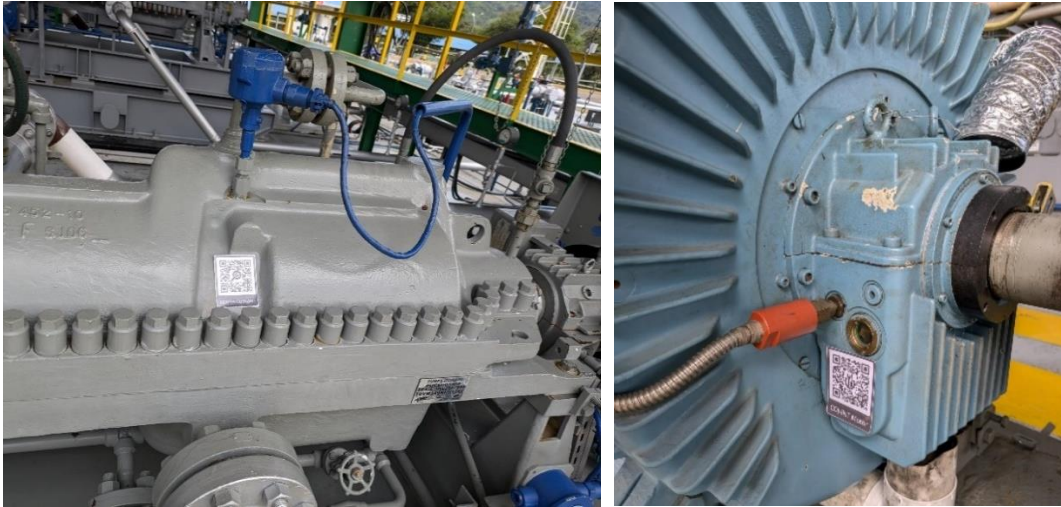
Pantalla de información, referente a pasos para realizar mantenimiento.



Como opción principal, tenemos el mantenimiento del Equipo, por cuanto, cuando el técnico necesite realizar el mantenimiento preventivo, necesariamente deberá estar frente al equipo, ya que será necesario que enfoque la cámara del dispositivo móvil que contiene instalada la aplicación, hacia los puntos de mantenimiento, ubicados estratégicamente en áreas visibles del equipo, estos puntos, susceptibles de ser intervenidos, se identificarán tal como se plasma en la **Figura 7.**

Figura 7

Ubicación de Imagen Target en el equipo de bombeo.



Nota. Imagen derecha: target sobre cojinete de motor eléctrico, imagen izquierda: target sobre caja de bomba.

A medida que el técnico se acerque a los puntos de mantenimiento, la aplicación lo guiará paso a paso de manera secuencial y ordenada, utilizando realidad aumentada, la cual superpondrá información digital en 3D, relevante directamente sobre el equipo visualizado a través de dispositivo móvil, facilitando el proceso, además, como parte del mantenimiento preventivo, la aplicación incluirá el monitoreo en tiempo real de los sensores instalados en el grupo de bombeo como se plasma en la **Figura 8**, el técnico podrá acceder a estos datos desde la aplicación, a través de accesos ubicados en el lado derecho de la pantallas, estos accesos se activan, dependiendo del punto de mantenimiento que se esté realizando, por ejemplo, para el punto de mantenimiento plasmado en la **Figura 9**, en el momento que la aplicación detecta la “Imagen Target” se despliega información técnica relevante de la bomba en un cuadro de dialogo del lado izquierdo y accesos del lado derecho que corresponden a Monitoreo, Actividades de mantenimiento e información técnica disponible, con la información desplegada, el técnico ejecuta el mantenimiento de manera eficiente y siguiendo un flujo continuo de acciones hasta completar el procedimiento, esto se puede observar en la **Figura 11**.

Figura 8

Pantalla de información de acceso a monitoreo de datos.



Algo muy importante es que la “Imagen target”, adicional a presentar punto de acceso a información técnica, indica los sensores disponibles en ese punto de mantenimiento y presenta en 3D, el valor de censado en ese momento o dicho de otra manera en tiempo real, en la **Figura 9**, se puede monitorear la temperatura que está marcando el sensor y del mismo modo hace referencia a la ubicación del sensor en el equipo.

Figura 9

Despliegue de información en 3D sobre el equipo (Realidad Aumentada).

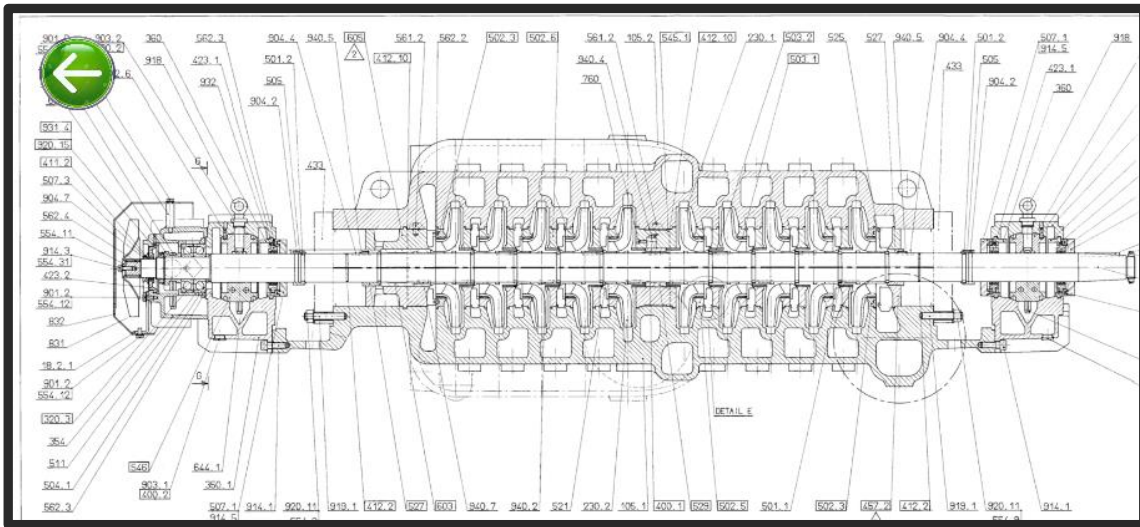


Cuando el técnico realiza la revisión de los parámetros monitoreados, los cuales pueden ser presión, temperatura, voltaje, vibración y potencia, entre otros, los compara con los parámetros de mantenimiento que recomienda el fabricante del equipo; si los parámetros medidos están dentro de tolerancia, el equipo se mantiene operativo y es momento de pasar a la siguiente

tarea de mantenimiento, del mismo modo cuando algo no está claro, el técnico puede realizar consultas técnicas como por ejemplo, planos, curvas de funcionamiento recomendaciones del fabricante entre otros datos, ilustrado en la **Figura 10**, esto con el propósito de realizar una correcta evaluación del equipo y del mismo modo, si el parámetro está dentro de tolerancia, el técnico deberá pasar a la siguiente tarea, hasta llegar a completar el mantenimiento (**Figura 11**).

Figura 10

Pantalla de información técnica disponible.




La aplicación permite al técnico ir marcando las tareas de mantenimiento que se van ejecutando, esto permite llevar un orden adecuado de las actividades y evitar tareas sin ejecutar, las tareas ejecutadas se pintan de color Azul, indicando que han sido realizadas (**Figura 11**).


Figura 11


Marcado de los pasos de mantenimiento que ya han sido realizados.

MANTENIMIENTO MECÁNICO 2000 HORAS DE BOMBA CENTRIFUGA GUINARD

01. Coordinar disponibilidad del equipo para realizar OT.
02. Revisar orden de trabajo asignada.
03. Colocar tarjetas de seguridades.
04. Realizar el control de temperatura de puntos de apoyo y cojinetes.
05. Realizar el control del estado de cañerías.
06. Realizar el control de fugas a través de filtros ciclónicos.
07. Realizar el control de fugas por cañerías de refrigeración de sellos.
08. Detección de fugas por sellos mecánicos.
09. Revisión y limpieza de filtros ciclónicos magnéticos.
10. Limpieza de línea de enfriamiento de sellos mecánicos.
11. Cambiar aceite en caja de cojinetes.
12. Realizar prueba de funcionamiento.


Info


Scan


Monit.

En caso de que algún parámetro se salga de las tolerancias determinadas en el manual de mantenimiento del fabricante, será necesario generar una orden para realizar un mantenimiento correctivo.

Todas las actividades realizadas por el técnico de mantenimiento con asistencia de la aplicación, garantizan la ejecución de un mantenimiento correctamente ejecutado y en un tiempo menor al desarrollado de manera tradicional.

Figura 12

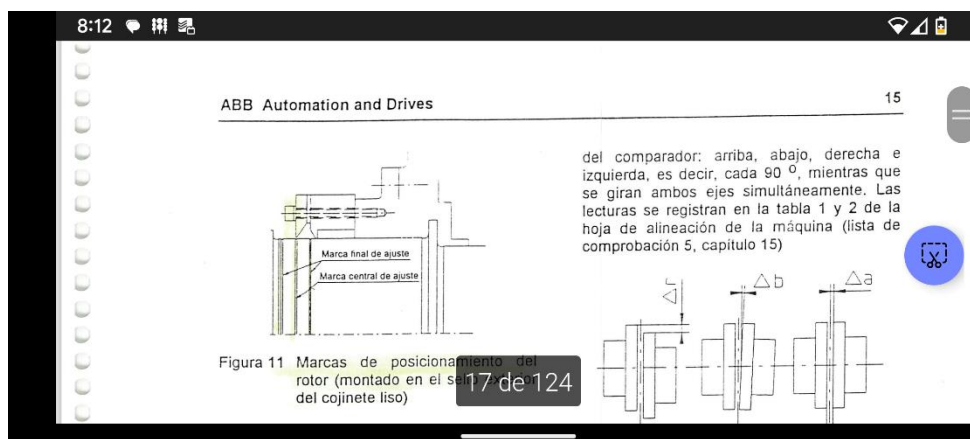
Pantalla de ingreso al manual técnico del Motor.



Cuando se requiera realizar un análisis más minucioso de un problema específico, el técnico puede acceder, desde la aplicación, mediante un enlace HTTP, a manuales de mantenimiento completos que pueden abarcar desde una hoja hasta cientos, que contengan información, como se plasma en la **Figura 12**, los manuales de mantenimiento se abren en formato PDF., lo cual permite navegar a través del documento con facilidad verificando tolerancias y recomendaciones del fabricante como se plasma en la **Figura 13**.

Figura 13

Manual de Mantenimiento de motor eléctrico.



Es importante señalar que cada punto de mantenimiento, le corresponde información específica, orientada a esa parte del equipo, es decir que la aplicación no permite equivocaciones en la información desplegada, o dicho de otra forma cuando se escanea los puntos de mantenimiento de la bomba, la información que se despliega es únicamente de la bomba, y lo mismo pasa para el motor eléctrico.

Posterior a realizar varias pruebas y prácticas con diferentes técnicos, la investigación arroja resultados significativos respecto al desarrollo e implementación de la herramienta de realidad aumentada, a continuación, se detallan los resultados obtenidos.

Tabla 3

Tiempos de mantenimiento mecánico 2000 horas de bomba.

| Mantenimiento mecánico 2000 horas de bomba. | | | |
|--|---------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| Prueba Nro. | Técnico Nro. | Método de mantenimiento | Tiempo de ejecución (minutos) |
| 1 | Técnico 1 | Tradicional | 345 |
| 2 | Técnico 1 | Utilizando RA. | 290 |
| 3 | Técnico 2 | Tradicional | 360 |
| 4 | Técnico 2 | Utilizando RA. | 300 |
| 5 | Técnico 3 | Tradicional | 360 |
| 6 | Técnico 3 | Utilizando RA. | 295 |

Para realizar una correcta evaluación de la nueva herramienta, es necesario tomar tiempos en los tres tipos de mantenimiento preventivos que se requieren que se realicen en el equipo de bombeo, para esto se selecciona a tres técnicos diferentes, los cuales realizarán el mantenimiento de manera tradicional y posterior a esto lo harán utilizando la herramienta de realidad aumentada.

Tabla 4

Promedio de tiempos mantenimiento mecánico 2000 horas de bomba.

| Promedio de tiempo de mantenimiento mecánico 2000 horas de bomba. | | |
|--|------------------------|----------------------------|
| Método utilizado | Tiempo promedio | Desviación estándar |
| Tradicional | 355 | 7,07 |
| Realidad Aumentada | 295 | 4,08 |

En la **Tabla 3**, **Tabla 5** y **Tabla 7**, se registran los tiempos que le tomó a cada técnico el realizar el mantenimiento de manera tradicional y utilizando la herramienta de realidad aumentada, el

registro se lo realizó en los tres mantenimientos que requiere el equipo y a cada mantenimiento le corresponde una tabla de recolección de datos.

Tabla 5

Tiempos de mantenimiento eléctrico 2000 horas de bomba.

| Mantenimiento eléctrico 2000 horas de bomba. | | | |
|---|---------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| Prueba Nro. | Técnico Nro. | Método de mantenimiento | Tiempo de ejecución (minutos) |
| 1 | Técnico 1 | Tradicional | 240 |
| 2 | Técnico 1 | Utilizando RA. | 180 |
| 3 | Técnico 2 | Tradicional | 220 |
| 4 | Técnico 2 | Utilizando RA. | 175 |
| 5 | Técnico 3 | Tradicional | 230 |
| 6 | Técnico 3 | Utilizando RA. | 160 |

Posterior a la recolección de datos, correspondió el cálculo de los tiempos promedios y de la desviación estándar, la cual se calculó para determinar la dispersión de los datos y compararlos entre los datos obtenidos con el método tradicional y utilizando la herramienta de realidad aumentada, esta tabulación está indicada en la **Tabla 4**, **Tabla 6** y en la **Tabla 8**. Por otro lado, podemos apreciar que existe una menor distribución de tiempos utilizando realidad aumentada en la ejecución de los mantenimientos mecánico de la bomba y mantenimiento eléctrico del motor, tal como se observa en la **Tabla 4** y la **Tabla 8**.

Tabla 8, del mismo modo cada tabla corresponde a cada tipo de mantenimiento realizado.

Tabla 6

Promedio de tiempos mantenimiento eléctrico 2000 horas de bomba.

| Promedio de tiempo de mantenimiento eléctrico 2000 horas de bomba. | | |
|---|------------------------|----------------------------|
| Método utilizado | Tiempo promedio | Desviación estándar |
| Tradicional | 230,00 | 8,16 |
| Realidad Aumentada | 171,67 | 8,50 |

Realizando una comparativa entre los resultados del mantenimiento mecánico y eléctrico de la bomba, podemos deducir que el tiempo que lleva hacer un mantenimiento eléctrico es menor al que lleva realizar un mantenimiento mecánico, del mismo equipo, en este caso de la bomba; ya que, comparando la **Tabla 4** y la **Tabla 6**, se llega a esta conclusión.

La desviación estándar es similar en el mantenimiento eléctrico de 2000 horas de la bomba, como se ilustra en la **Tabla 6**, esto quiere decir que no hay una distribución significativa de los

tiempos entre el mantenimiento realizado de manera tradicional y utilizando realidad aumentada.

Tabla 7

Tiempos de mantenimiento eléctrico 2000 horas de motor eléctrico.

| Mantenimiento eléctrico 2000 horas de Motor Eléctrico. | | | |
|---|---------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| Prueba Nro. | Técnico Nro. | Método de mantenimiento | Tiempo de ejecución (minutos) |
| 1 | Técnico 1 | Tradicional | 280 |
| 2 | Técnico 1 | Utilizando RA. | 195 |
| 3 | Técnico 2 | Tradicional | 250 |
| 4 | Técnico 2 | Utilizando RA. | 170 |
| 5 | Técnico 3 | Tradicional | 265 |
| 6 | Técnico 3 | Utilizando RA. | 180 |

Por otro lado, podemos apreciar que existe una menor distribución de tiempos utilizando realidad aumentada en la ejecución de los mantenimientos mecánico de la bomba y mantenimiento eléctrico del motor, tal como se observa en la Tabla 4 y la Tabla 8.

Tabla 8

Promedio de tiempos mantenimiento eléctrico 2000 horas de motor eléctrico.

| Promedio de tiempo de mantenimiento eléctrico 2000 horas de motor eléctrico. | | |
|---|------------------------|----------------------------|
| Método utilizado | Tiempo promedio | Desviación estándar |
| Tradicional | 265,00 | 12,25 |
| Realidad Aumentada | 181,67 | 10,27 |

Realizando un análisis de los tiempos tabulados en los tres tipos de mantenimientos propuestos en la **Tabla 9**, podemos concluir que cuando se utiliza la herramienta de realidad aumentada en el mantenimiento mecánico tenemos una disminución del tiempo de apenas el 16, 90%; esto puede deberse a que la mayoría de las actividades que conllevan realizar este mantenimiento, corresponden a trabajos manuales que el técnico debe realizarlas sin ayuda de la aplicación y solo tenemos una actividad en la cual se necesita realizar monitoreos de sensores, para lo cual la aplicación es muy útil.

Tabla 9

Comparación de efectividad de mantenimientos del grupo de bombeo.

| COMPARACIÓN DE EFECTIVIDAD | | | | |
|---|---------------------------|-------------------|----------------------------------|----------------------------|
| Variable | Método tradicional | Método RA. | Diferencia absoluta (min) | Diferencia relativa |
| Mantenimiento mecánico 2000 horas de bomba. | | | | |
| Tiempo promedio | 355 | 295,00 | 60,00 | 16,90% |
| Mantenimiento eléctrico 2000 horas de bomba. | | | | |
| Tiempo promedio | 230 | 171,67 | 58,33 | 25,36% |
| Mantenimiento eléctrico 2000 horas de motor eléctrico. | | | | |
| Tiempo promedio | 265 | 181,67 | 83,33 | 31,45% |
| Promedio | | | | 24,57% |

En la misma **Tabla 9**, se puede observar que existe una diferencia significativa en los mantenimientos eléctricos realizado a la bomba y al motor, siendo la más alta, la obtenida al momento de realizar un mantenimiento al motor eléctrico, en la cual existe un ahorro de 83 minutos, esto es más de una hora, en la intervención de este equipo, las causas son muy obvias, ya que dentro de las actividades que conlleva realizar este mantenimiento se encuentran monitorear 10 sensores presentes en el equipo y adicional cuatro parámetros como voltaje, potencia, factor de potencia y consumo de corriente, que pueden ser fácilmente consultados con la herramienta de realidad aumentada, esto permite una disminución del tiempo promedio de 31,45%.

En las pruebas realizadas, se observó una reducción promedio entre los tres mantenimientos de 24,57% que representa el tiempo de intervención de los técnicos en realizar los mantenimientos preventivos a todo el equipo, comparado con los métodos tradicionales, esto se traduce en una optimización considerable de los procesos de mantenimiento preventivo y en consecuencia la disminución de los costes inherentes a la mano de obra, además, se evidenció un aumento en la precisión al momento de realizar el mantenimiento, debido al acceso inmediato a la información técnica y a las lecturas en tiempo real de los sensores, que mejoraron la toma de decisiones, lo dicho se plasman en la **Tabla 10**.

Tabla 10

Comparativa de resultados entre método tradicional y con utilización de RA.

| Indicador | Método Tradicional | Con la Aplicación de RA |
|--|-------------------------------|--------------------------------|
| Tiempo total de mantenimiento (3 mantenimientos) | 850,00 (min) 14H10 (horas) | 648,33 (min) 10H48 (horas) |

| | | |
|---|------------|------------|
| Costo total por intervención (3 mantenimientos) | USD 159,37 | USD 121,56 |
|---|------------|------------|

Nota. El costo se calculó en base a la hora de mano de obra de un técnico en mantenimiento, que corresponde a 11,25 USD/hora.

La forma tradicional en la cual se llevaba esta actividad, dependía en gran medida de una experticia del técnico, la cual se ha convertido en un bien inmaterial de la empresa que no era posible documentar; pues ahora, con las nuevas tecnologías y en especial con la aplicación desarrollada de realidad aumentada, no es necesario que el técnico tenga una vasta experiencia para realizar un trabajo de calidad, pues ahora solo es necesario que el técnico tenga una formación acorde al área de mantenimiento a ejecutarse, para que se pueda realizar un buen mantenimiento, adicional se determina que la aplicación es susceptible de escalar a todos los equipos del poliducto y de cualquier industria.

Los resultados cuantitativos evidenciados (**Tabla 10**), son muy concluyentes, sin embargo, se pudo observar otros beneficios asociados al manejo de la aplicación, los cuales no pueden ser cuantificados, pero de igual manera aportan en gran medida, en la ejecución de las tareas de mantenimiento de equipos, estos beneficios se detallan en la **Tabla 11**.

Tabla 11*Resultados cualitativos en la utilización de la APK de RA.*

| Nro. | Descripción | Método Tradicional | Problemática | Con Aplicación de RA | Beneficio |
|-------------|--|---|--|---|--|
| 1 | Manejo de información técnica | Manejo de manuales impresos. | Los manuales impresos tienden a deteriorarse, por su utilización | Manejo de manuales digitalizados | Cada técnico tiene acceso a información clara y personal accediendo desde su móvil. |
| 2 | Tiempo en consulta de parámetros censados. | Consulta en el HMI del sistema SCADA. | Tiempo en trasladarse desde la sala de máquinas a la sala del sistema SCADA (de 15 a 20 mts. de distancia) | Datos monitoreados sobre el equipo en tiempo real. | Se elimina tiempo perdido y agiliza la toma de decisiones. Se facilita el trabajo para el técnico. |
| 3 | Experiencia del técnico. | Se requiere buena experiencia para realizar el Mantenimiento. | Solo los técnicos con experiencia podían realizar un mantenimiento eficiente. | Se requiere poca experiencia | Los técnicos menos experimentados, pueden realizar un mantenimiento eficiente. |
| 4 | Perdida de información técnica. | Un manual para varios técnicos y ubicados en estantes de manera desordenada | Por el mal uso de los manuales, no había información completa. Ocupan espacio. | Acceso instantáneo a información. | Información completa y disponible para el Mantenimiento, y se libera espacio de librerías. |
| 5 | Portabilidad y libre distribución. | Copias impresas de manuales para distribuir al personal. | Manejo de espacio físico no disponible. | Aplicación en formato (.apk o .exe). | La aplicación puede ser distribuida a todos los técnicos sin ninguna restricción y de manera rápida |
| 6 | Orden y Confiabilidad | Orden inadecuado y poca confiabilidad. | No existe un orden adecuado y la confiabilidad está limitada por la experiencia del técnico | Tareas ordenadas mediante Checklist e información técnica disponible. | La aplicación permite llevar un orden secuencial y la información técnica disponible mejora la toma de decisiones y por ende la confiabilidad. |

Interpretación de Resultados

Estos resultados confirman que la implementación de una herramienta de realidad aumentada en los procedimientos de mantenimiento puede mejorar significativamente la eficiencia operativa, en términos teóricos, los resultados obtenidos se alinean con el modelo de la Industria 4.0, que establece que la digitalización de procedimientos industriales mejora la productividad y reduce los errores humanos según Martínez (2019), las aplicaciones de RA, como se observó en esta investigación, son una herramienta poderosa para el acceso inmediato a información crítica, lo que reduce la dependencia del conocimiento empírico y mejora la precisión en la intervención técnica.

El aumento en la precisión del mantenimiento se debe a la capacidad de la aplicación para superponer información en 3D directamente sobre el equipo, lo que asegura que los técnicos sigan los procedimientos establecidos, obteniendo una reducción de tiempo y errores significativa.

Se evidencia un progreso considerable en el manejo de información técnica, dejando atrás manuales impresos, contribuyendo con la política de cero papeles y optimizando el espacio que antes era utilizado para librerías, con la implementación de la aplicación, los manuales y la información técnica es de libre distribución, y se puede copiar e instalar de manera inmediata, ya que no es pesada, debido a que los manuales reposan en un servidor y se puede acceder a esta información desde la aplicación instaladas en los teléfonos de los técnicos.

Sin embargo, durante el desarrollo y las pruebas surgieron limitaciones no resueltas, como la dependencia de una conexión a internet, debido a políticas de seguridad de la información de la empresa, esto ayudaría a acceder a información valiosa presente en línea, y a la comunicación entre dispositivos dedicados a mantenimiento dentro de la empresa, de manera que se pueda compartir información y experiencias de los técnicos, enriqueciendo la información de la aplicación no solo con catálogos del fabricante, sino también con experiencias de los técnicos, futuras investigaciones podrían centrarse en desarrollar soluciones que mitiguen estas limitaciones.

Durante el desarrollo de esta aplicación se presentó un inconveniente al conectar directamente la aplicación de Unity a la base de datos, específicamente a la base de datos SQL Server (Microsoft), por lo que fue necesario utilizar una aplicación (API REST) que realice la consulta y sea intermediaria entre el aplicación de RA y la base de datos, a pesar de que se utilizaron bibliotecas recomendadas por el soporte de Unity, no fue posible la consulta eficaz de

los datos, sobre todo cuando se copia una aplicación para la plataforma Android, por lo que se recomienda una investigación más específica en este tema.

CONCLUSIONES

Se logró contextualizar los fundamentos teóricos del mantenimiento de equipos de bombeo y se identificaron las características idóneas para el diseño de la interfaz de usuario en la aplicación de realidad aumentada, el enfoque metodológico permitió seleccionar de manera precisa los puntos críticos del equipo y la información técnica relevante para ser presentada mediante RA.

Se cumplió con éxito el desarrollo de una aplicación utilizando la tecnología de realidad aumentada y aplicarla en el mantenimiento de un equipo de bombeo, utilizando “Image targets” ubicados estratégicamente en el equipo, la aplicación permite la superposición de modelos 3D, diagramas interactivos, y datos en tiempo real, lo cual optimiza el proceso de mantenimiento preventivo, mejorando la precisión y reduciendo el tiempo de intervención del equipo.

Se validaron los resultados que se obtuvieron a través de pruebas de funcionamiento, los resultados reflejan una optimización en los tiempos de mantenimiento, un abaratamiento en la mano de obra, una reducción en tiempo de paro del equipo y un aumento en la satisfacción del usuario, además, la aplicación demostró ser escalable y adaptable para su implementación en otros equipos industriales, este proyecto abre la puerta a futuras aplicaciones en otros sectores industriales, enfocadas en la digitalización y optimización de procesos de mantenimiento.

Esta propuesta presenta una solución innovadora para la gestión de mantenimiento preventivo en un grupo de bombeo, utilizando las capacidades avanzadas de realidad aumentada ofrecidas por Unity y Vuforia, la aplicación no solo mejorará la eficiencia de los procedimientos de mantenimiento, sino que también garantizará un mejor monitoreo y una reducción en los costos operativos asociados con fallos no planificados.

RECOMENDACIONES

Dado el éxito alcanzado en el desarrollo de la herramienta de realidad aumentada para asistir en el mantenimiento de equipos de bombeo, se recomienda expandir la implementación de esta tecnología a otros equipos industriales con características similares, dentro de la empresa y en otras empresas de la pequeña y mediana industria debido a su bajo costo de implementación, a más de esto, la superposición de modelos 3D y datos en tiempo real, han optimizado significativamente los tiempos de intervención y han reducido costos operativos, lo cual respalda su escalabilidad y difusión.

Asimismo, se sugiere realizar una fase de capacitación intensiva del personal técnico en el uso de la aplicación, asegurando que todos los involucrados tengan acceso a los beneficios de la RA en sus procesos de mantenimiento, para futuras aplicaciones, es recomendable explorar la integración de tecnologías complementarias, como inteligencia artificial (AI), para un monitoreo más preciso y predictivo, lo que podría llevar a una mayor optimización de los procesos industriales, minimizando los tiempos en que los equipos están fuera de servicio por fallos no eventuales y maximizando la eficiencia operativa.

Finalmente, la estandarización de tecnologías similares y de acceso gratuito en más industrias, podría fomentar una mayor adopción de tecnologías de vanguardia, relacionadas con la Industria 4.0 en Ecuador, contribuyendo al avance tecnológico del país y mejorando la competitividad industrial a nivel global.

BIBLIOGRAFÍA

- Arequipa, E. (2022). *Sistema de realidad aumentada para mantenimiento correctivo industrial* [Tesis de maestría, Universidad Tecnológica Israel].
- Baena Paz, G. (2017). *Metodología de la investigación* (3ra ed., pp. 41-42). Grupo Editorial Patria. http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/metodologia%20de%20la%20investigacion.pdf
- Boero, C. (2020). *Mantenimiento industrial*. Jorge Sarmiento Editor - Universitas. Recuperado de <https://elibro.net/es/ereader/uisrael/172523?page=101>
- Cárdenas, M. (2022). *Sistema de realidad aumentada para mantenimiento preventivo del sistema de generación en la central hidroeléctrica Sopladora* [Tesis de maestría, Universidad Tecnológica Israel].
- Cerezo, M. (2020). *Desarrollo web con PHP y MySQL: Desde cero hasta proyectos reales*. Anaya Multimedia.
- De la Torre Cantero, J., Martín-Dorta, N., Saorín Pérez, J. L., Carbonell Carrera, C., & Contero González, M. (2013). Entorno de aprendizaje ubicuo con realidad aumentada y tabletas para estimular la comprensión del espacio tridimensional. *RED. Revista de Educación a Distancia*, (37), 1-17. <https://www.redalyc.org/pdf/547/54726040004.pdf>
- De Miguel-Pérez, A., Marquez-Romero, P., & Márquez-Sevillano, J. J. (2022, noviembre 22-24). Mantenimiento en la Industria 4.0 basado en realidad aumentada. En *XV Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica (XV Congreso Ibero-americano de Engenharia Mecânica)*, Madrid, España. http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:congresoCIBIM-2022UPMEspana-Admiguel/Abs_541_198199.pdf
- Fletcher, R. (2020). *Unity from Zero to Proficiency (Foundations)*. CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Hernández, L. (2019). *Desarrollo de servicios web RESTful con PHP y Slim: Construcción de APIs modernas y escalables*. Alfaomega.
- López, D. (2022). *Realidad aumentada para mantenimiento preventivo del sistema de control del grupo de generación de la central SAYMIRÍN* [Tesis de maestría, Universidad Tecnológica Israel].
- Martínez Aguiló, J. (2019). *Industria 4.0: la transformación digital en la industria*. Editorial UOC. Recuperado de <https://elibro.net/es/ereader/uisrael/113336?page=4>
- Medina Serrano, S. (2015). *SQL Server 2014: soluciones prácticas de administración*. RA-MA Editorial. Recuperado de <https://elibro.net/es/ereader/uisrael/106467?page=4>
- Medina Serrano, S. (2015). *SQL Server 2014: soluciones prácticas de administración*. Madrid, RA-MA Editorial. Recuperado de <https://elibro.net/es/ereader/uisrael/106467?page=25>
- Mora García, L. A. (2023). *Industria y logística 4.0* (1 ed.). RA-MA Editorial. Recuperado de <https://elibro.net/es/ereader/uisrael/248867?page=62>

- Muñoz García, S. D. (2022). *Mantenimiento preventivo de instalaciones caloríficas* (1 ed.). IC Editorial. Recuperado de <https://elibro.net/es/ereader/uisrael/223680?page=3>
- Navarro, F., Martínez, A., & Martínez, J. M. (2019). *Realidad virtual y realidad aumentada: desarrollo de aplicaciones*. Ediciones de la U. Recuperado de <https://elibro.net/es/ereader/uisrael/127127?page=4>
- Núñez, R. (2023). *Gestión de bases de datos* (1 ed.). RA-MA Editorial. Recuperado de <https://elibro.net/es/ereader/uisrael/235056?page=162>
- Perey, C. (2015). Vuforia: Augmented reality SDK for the masses. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 4(4), 50-54. <https://doi.org/10.1109/MCE.2015.2433051>
- Rasinger, S. M. (2020). *La investigación cuantitativa en Lingüística*. Ediciones Akal. Recuperado de <https://elibro.net/es/ereader/uisrael/169251?page=17>
- Ruelas, L. (2019). *Unity y C#: desarrollo de videojuegos*. Ediciones de la U. Recuperado de <https://elibro.net/es/ereader/uisrael/127122?page=12>
- Unity Technologies. (2021). *AR Foundation: Overview*. Unity Technologies. <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.arfoundation@4.0/manual/index.html>
- Unity Technologies. (2021). *Unity Manual: Overview*. Unity Technologies. <https://docs.unity3d.com/Manual/index.html>
- Vuforia. (2021). *Vuforia Engine: Features*. PTC Inc. <https://library.vuforia.com/features>

ANEXOS

ANEXO 1 CODIGO DE PROGRAMACIÓN PARA CONSULTA DE DATOS A API REST.

```
using UnityEngine;
using UnityEngine.UI;
using TMPro;
using System.Net.Http;
using System.Threading.Tasks;

public class ConsultaApiIndividual : MonoBehaviour
{
    private static readonly HttpClient client = new HttpClient(); // Instancia de HttpClient

    // URL base de la API PHP
    private string baseUrl = "http://172.25.136.145:8080/ApiUnity.php?tag=";

    // Objetos de texto para cada tag
    public TMP_Text resultadoTexto_GEB4_B_VL_TCI;
    public TMP_Text resultadoTexto_GEB4_B_VL_TC;
    public TMP_Text resultadoTexto_GEB4_B_VL_TCEM;
    public TMP_Text resultadoTexto_GEB4_B_VL_TCE;
    public TMP_Text resultadoTexto_GEB4_M_VL_TCE;
    public TMP_Text resultadoTexto_GEB4_M_VL_TCI;
    public TMP_Text resultadoTexto_GEB4_M_VL_TBF1A;
    public TMP_Text resultadoTexto_GEB4_M_VL_TBF1B;
    public TMP_Text resultadoTexto_GEB4_M_VL_TBF2A;
    public TMP_Text resultadoTexto_GEB4_M_VL_TBF2B;
    public TMP_Text resultadoTexto_GEB4_M_VL_TBF3A;
    public TMP_Text resultadoTexto_GEB4_M_VL_TBF3B;
    public TMP_Text resultadoTexto_GEB4_M_VL_VSCE;
    public TMP_Text resultadoTexto_GEB4_M_VL_VSCI;
    public TMP_Text resultadoTexto_GEB4_VL_RPM;
```

```

public TMP_Text resultadoTexto_REP_VL_PF;
public TMP_Text resultadoTexto_VRV_VL_VMT;
public TMP_Text resultadoTexto_VRV_VL_CGE;
public TMP_Text resultadoTexto_VRV_VL_PGE;
public TMP_Text resultadoTexto_GEB4_VL_PSUC;
public TMP_Text resultadoTexto_GEB4_VL_PDES;

// Métodos para cada tag
public async void Consulta_GEB4_B_VL_TCI()
{
    await HacerConsulta("GEB4_B_VL_TCI", resultadoTexto_GEB4_B_VL_TCI);
}

public async void Consulta_GEB4_B_VL_TC()
{
    await HacerConsulta("GEB4_B_VL_TC", resultadoTexto_GEB4_B_VL_TC);
}

public async void Consulta_GEB4_B_VL_TCEM()
{
    await HacerConsulta("GEB4_B_VL_TCEM", resultadoTexto_GEB4_B_VL_TCEM);
}

public async void Consulta_GEB4_B_VL_TCE()
{
    await HacerConsulta("GEB4_B_VL_TCE", resultadoTexto_GEB4_B_VL_TCE);
}

public async void Consulta_GEB4_M_VL_TCE()
{
    await HacerConsulta("GEB4_M_VL_TCE", resultadoTexto_GEB4_M_VL_TCE);
}

```

```
}
```

```
public async void Consulta_GEB4_M_VL_TCI()
```

```
{
```

```
    await HacerConsulta("GEB4_M_VL_TCI", resultadoTexto_GEB4_M_VL_TCI);
```

```
}
```

```
public async void Consulta_GEB4_M_VL_TBF1A()
```

```
{
```

```
    await HacerConsulta("GEB4_M_VL_TBF1A", resultadoTexto_GEB4_M_VL_TBF1A);
```

```
}
```

```
public async void Consulta_GEB4_M_VL_TBF1B()
```

```
{
```

```
    await HacerConsulta("GEB4_M_VL_TBF1B", resultadoTexto_GEB4_M_VL_TBF1B);
```

```
}
```

```
public async void Consulta_GEB4_M_VL_TBF2A()
```

```
{
```

```
    await HacerConsulta("GEB4_M_VL_TBF2A", resultadoTexto_GEB4_M_VL_TBF2A);
```

```
}
```

```
public async void Consulta_GEB4_M_VL_TBF2B()
```

```
{
```

```
    await HacerConsulta("GEB4_M_VL_TBF2B", resultadoTexto_GEB4_M_VL_TBF2B);
```

```
}
```

```
public async void Consulta_GEB4_M_VL_TBF3A()
```

```
{
```

```
    await HacerConsulta("GEB4_M_VL_TBF3A", resultadoTexto_GEB4_M_VL_TBF3A);
```

```
}
```

```
public async void Consulta_GEB4_M_VL_TBF3B()
{
    await HacerConsulta("GEB4_M_VL_TBF3B", resultadoTexto_GEB4_M_VL_TBF3B);
}
```

```
public async void Consulta_GEB4_M_VL_VSCE()
{
    await HacerConsulta("GEB4_M_VL_VSCE", resultadoTexto_GEB4_M_VL_VSCE);
}
```

```
public async void Consulta_GEB4_M_VL_VSCI()
{
    await HacerConsulta("GEB4_M_VL_VSCI", resultadoTexto_GEB4_M_VL_VSCI);
}
```

```
public async void Consulta_GEB4_VL_RPM()
{
    await HacerConsulta("GEB4_VL_RPM", resultadoTexto_GEB4_VL_RPM);
}
```

```
public async void Consulta_REP_VL_PF()
{
    await HacerConsulta("REP_VL_PF", resultadoTexto_REP_VL_PF);
}
```

```
public async void Consulta_VRV_VL_VMT()
{
    await HacerConsulta("VRV_VL_VMT", resultadoTexto_VRV_VL_VMT);
}
```

```

public async void Consulta_VRV_VL_CGE()
{
    await HacerConsulta("VRV_VL_CGE", resultadoTexto_VRV_VL_CGE);
}

public async void Consulta_VRV_VL_PGE()
{
    await HacerConsulta("VRV_VL_PGE", resultadoTexto_VRV_VL_PGE);
}

public async void Consulta_GEB4_VL_PSUC()
{
    await HacerConsulta("GEB4_VL_PSUC", resultadoTexto_GEB4_VL_PSUC);
}

public async void Consulta_GEB4_VL_PDES()
{
    await HacerConsulta("GEB4_VL_PDES", resultadoTexto_GEB4_VL_PDES);
}

// Método genérico para realizar la consulta
private async Task HacerConsulta(string tagName, TMP_Text resultadoTexto)
{
    string url = baseUrl + tagName;
    Debug.Log("Iniciando consulta para el tag: " + tagName);

    try
    {
        // Realizar la solicitud GET usando HttpClient
        HttpResponseMessage response = await client.GetAsync(url);
        Debug.Log("Respuesta del servidor recibida.");
    }
}

```



```

// Verificar si la solicitud fue exitosa
if (!response.IsSuccessStatusCode)
{
    Debug.LogError($"Error en la respuesta del servidor: {response.StatusCode}");
    resultadoTexto.text = $"Error: {response.StatusCode}";
    return;
}

// Leer la respuesta como texto
string responseText = await response.Content.ReadAsStringAsync();
Debug.Log($"Texto de la respuesta: {responseText}");

// Mostrar el resultado en el objeto de texto correspondiente
resultadoTexto.text = responseText;
}
catch (HttpRequestException e)
{
    Debug.LogError($"Error al realizar la consulta: {e.Message}");
    resultadoTexto.text = "Error: " + e.Message;
}
}
}

```

ANEXO 2 CODIGO DE PROGRAMACIÓN PHP PARA CONSULTA DE DATOS SQL SERVER.

```
<?php
header('Content-Type: application/json');

// Datos de conexión a la base de datos Microsoft SQL Server
$serverName = "sbuothisp1";
$database = "RuntimeOSM";
$username = "xxx";
$password = "xxx.xxx";

// Recibir el nombre del tag desde la solicitud GET
$tagName = isset($_GET['tag']) ? $_GET['tag'] : null;

if ($tagName) {
    // Conexión a la base de datos SQL Server
    $connectionInfo = array("Database" => $database, "UID" => $username, "PWD" =>
$password);
    $conn = sqlsrv_connect($serverName, $connectionInfo);

    if ($conn === false) {
        echo json_encode(array("error" => "Conexión fallida"));
        die(print_r(sqlsrv_errors(), true));
    }

    // Consulta SQL para el tag especificado
    $query = "
        SET QUOTED_IDENTIFIER OFF;
        SELECT TOP 1 [$tagName] FROM OPENQUERY(INSQL, '
            SELECT [$tagName]
            FROM WideHistory
            WHERE wwRetrievalMode = "Cyclic"

```

```

        AND wwCycleCount = 1
        AND wwQualityRule = "Extended"
        AND wwVersion = "Latest"
        AND DateTime >= DateAdd(mi,-5,GetDate())
        AND DateTime <= GetDate()'
    );
";

// Ejecutar la consulta
$stmt = sqlsrv_query($conn, $query);

if ($stmt === false) {
    echo json_encode(array("error" => "Error en la consulta"));
    die(print_r(sqlsrv_errors(), true));
}

// Leer los datos y devolver el resultado en JSON
if ($row = sqlsrv_fetch_array($stmt, SQLSRV_FETCH_ASSOC)) {
    echo json_encode(array("tag" => $tagName, "value" => $row[$tagName]));
} else {
    echo json_encode(array("error" => "No se encontraron datos para el tag: $tagName"));
}

// Cerrar la conexión
sqlsrv_free_stmt($stmt);
sqlsrv_close($conn);
} else {
    echo json_encode(array("error" => "Falta el parámetro 'tag' en la solicitud"));
}
?>

```