



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 MAGÍSTER

Título del proyecto:
Operación y monitoreo de variables críticas de un motor eléctrico usando realidad aumentada
Línea de Investigación:
Ciencias de la ingeniería aplicadas a la producción, sociedad y desarrollo sustentable
Campo amplio de conocimiento:
Ingeniería, industria y construcción
Autor/a:
Cesar Starky Merino Martínez
Tutor/a:
PhD.Maryory Urdaneta Mg. Wilmer Albarracín

Quito – Ecuador

2025

APROBACIÓN DEL TUTOR



Yo, Maryory Urdaneta Herrera con C.I: 1759316126 en mi calidad de Tutor del proyecto de investigación titulado: Operación y monitoreo de variables críticas de un motor eléctrico usando realidad aumentada.

Elaborado por: Cesar Starky Merino Martínez de C.I: 0922671359, 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., 28 febrero de 2025

Firma

DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE



Yo, Cesar Starky Merino Martinez con C.I: 0922671359, autor/a del proyecto de titulación denominado: Operación y monitoreo de variables críticas de un motor eléctrico usando realidad aumentada. 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., 28 febrero de 2025

Firma

Tabla de contenidos

APROBACIÓN DEL TUTOR	2
DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE	3
INFORMACIÓN GENERAL	7
Contextualización del tema	7
Problema de investigación	8
Objetivo general	9
Objetivos específicos	9
Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos:	9
CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	11
1.1 Contextualización general del estado del arte	11
1.2 Proceso investigativo metodológico	12
CAPÍTULO II: PROPUESTA	15
2.1 Fundamentos teóricos aplicados	15
2.2 Descripción de la propuesta	17
2.3 Matriz de articulación de la propuesta	20
2.4 Análisis de resultados. Presentación y discusión	21
CONCLUSIONES	29
RECOMENDACIONES	30
BIBLIOGRAFÍA	31
ANEXOS	32

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Matriz de articulación</i>	19
Tabla 2. <i>Resultados de medición del motor eléctrico</i>	25

Índice de figuras

Figura 1. <i>Diagrama de funcionamiento</i>	17
Figura 2. <i>Características técnicas del motor de prueba</i>	20
Figura 3. <i>Variador de frecuencia</i>	20
Figura 4. <i>Modelo virtual del motor en Unity</i>	21
Figura 5. <i>Configuración de parámetros del variador de frecuencia</i>	21
Figura 6. <i>Speed reference</i>	22
Figura 7. <i>Conexión de elementos</i>	23
Figura 8. <i>Prueba de conexión con el servidor</i>	23
Figura 9. <i>Prueba de publicación de los tópicos</i>	24
Figura 10. <i>Envío de consigna de velocidad</i>	24
Figura 11. <i>Datos de corriente, voltaje, torque y potencia del motor</i>	25
Figura 12. <i>Análisis de variables del motor eléctrico</i>	28

INFORMACIÓN GENERAL

Contextualización del tema

En el sector de la industria existe mucha variedad en lo que se refiere a máquinas industriales ya sean estas del tipo: mecánico, eléctrico o electrónico, las cuales son sujetas a mantenimiento debido a la enorme cantidad de trabajo que realizan, el desgaste que sufren sus partes internas y la fiabilidad que requieren para poder desarrollar de manera eficiente y segura los trabajos.

Ante esto se han creado diferentes tecnologías, ya sea para optimizar el funcionamiento de dichas máquinas o a su vez para anticiparse a un problema que se pueda generar en las mismas, sin duda estos sistemas de monitoreo requieren de una lectura continua de las variables físicas de interés para poder diagnosticar el estado, entre estas pueden estar: la temperatura, la velocidad, la presión, la vibración y si estas máquinas son eléctricas parámetros como: corriente, voltaje, frecuencia, entre otros.

Específicamente se enfoca en la industria del transporte y distribución de derivados de petróleo donde el eje principal se centra en el bombeo de producto que permite el envío del mismo desde un lugar a otro, a través de poliductos que recorren grandes cantidades de distancia con el objetivo de depositar el combustible en los terminales de almacenamiento, para luego ser distribuido a tanqueros y así abastecer las gasolineras a nivel nacional. Es claro que el factor común dentro de toda esta cadena de valor es precisamente las máquinas que hacen esto posible para este caso en específico quienes generan toda esta fuerza son las bombas que a su vez son controladas por los motores eléctricos y es ahí donde se fundamenta nuestro estudio.

El terminal de productos limpios de Petroecuador estación Pascuales posee alrededor de 12 islas de despacho de combustible cada una con dos brazos de carga para poder despachar de manera simultánea 24 tanqueros, y para que esto sea posible se hace uso de 24 motores eléctricos de aproximadamente 40 HP de potencia produciendo un flujo nominal de 400 GPM en cada brazo. Conjuntamente 12 operadores de isla se encargan de verificar todas las seguridades y de realizar el despacho de producto a través de computadores de flujo que permiten de manera automatizada realizar el llenado de los tanqueros.

Por lo que sin duda el monitoreo constante de los motores eléctricos en las horas de funcionamiento del terminal generalmente 12 horas al día, es indispensable para realizar un mantenimiento basado en condiciones y parámetros eléctricos pues son equipos que requieren mantener alta disponibilidad para abastecer la demanda.

Problema de investigación

En el ámbito industrial, garantizar el monitoreo de las variables de los motores eléctricos es fundamental para optimizar el desempeño y prevenir posibles fallos que puedan afectar la producción. En sectores estratégicos, como la distribución de combustibles, la operatividad ininterrumpida de estos equipos es vital para evitar retrasos y pérdidas económicas. Un ejemplo de esto es el Terminal de Productos Limpios de Petroecuador, situado en la parroquia Pascuales, que cuenta con 24 motores eléctricos de 40 HP cada uno, responsables de garantizar un flujo continuo de 400 GPM por cada brazo de carga. Sin embargo, las técnicas convencionales que se utilizan para monitorear estos dispositivos se basan en interfaces como HMI o SCADA, lo que restringen el acceso a la información y dificulta la rapidez en la respuesta ante eventuales irregularidades.

El principal problema señalado es la ausencia de un sistema de monitoreo avanzado que facilite una interacción más directa y en tiempo real con la información importante del motor. En este momento, los operadores y personal de mantenimiento dependen de equipos fijos para leer parámetros como voltaje, corriente y temperatura, lo que puede ser complicado en situaciones que exigen una respuesta rápida. La falta de una herramienta visual e interactiva dificulta la identificación temprana de fallos, lo que afecta negativamente la eficiencia en la toma de decisiones y eleva la posibilidad de llevar a cabo mantenimientos correctivos en lugar de preventivos.

A la misma vez, la falta de una visualización gráfica y en tiempo real del estado de los motores complica la tarea de los técnicos y operadores para identificar de manera sencilla posibles fallos o desgastes en el sistema. Los métodos de monitoreo actuales demandan una presencia física en las estaciones de control, lo que restringe la supervisión remota y aumenta la dependencia en cuanto a la disponibilidad del personal en el lugar. Como resultado, cualquier anomalía que pase inadvertida podría resultar en fallos considerables, aumentando tanto el tiempo de inactividad de los equipos como los gastos operativos asociados al mantenimiento.

Si esta situación continua, las industrias que se basan en motores eléctricos seguirán teniendo problemas para manejar sus operaciones de manera eficiente. La ausencia de un sistema de seguimiento mejorado podría resultar en un aumento de los gastos en reparaciones, periodos de inactividad más prolongados y, al final, una caída en la productividad general de la empresa.

Por lo tanto, es esencial crear un sistema de vigilancia basado en realidad aumentada que permita una supervisión interactiva y en tiempo real de los motores eléctricos. Al combinar sensores de medición, protocolos de comunicación de Internet Industrial de las Cosas y una

interfaz gráfica accesible en dispositivos móviles, se podrá aumentar notablemente la rapidez con la que se responda a posibles fallos, optimizando así el mantenimiento predictivo y disminuyendo los costos operativos. Esta estrategia brindara a los operadores y técnicos una herramienta innovadora para observar el estado de los motores sin necesidad de depender de los métodos tradicionales de monitoreo.

Objetivo general

Operar y monitorear las variables críticas de un motor eléctrico usando realidad aumentada.

Objetivos específicos

- Establecer el contexto de las bases teóricas relacionadas con el seguimiento de variables esenciales en motores eléctricos y la aplicación de la realidad aumentada como un recurso de supervisión en escenarios industriales.
- Determinar los protocolos de comunicación y los dispositivos necesarios para la adquisición, transmisión y monitoreo de datos en tiempo real desde el motor eléctrico hacia una plataforma digital.
- Diseñar una aplicación basada en realidad aumentada utilizando la plataforma Unity, que permita la visualización interactiva de un motor eléctrico en un entorno virtual, junto con la presentación de sus variables operativas en tiempo real.
- Implementar un sistema de monitoreo que integre sensores de medición, protocolos IoT y una interfaz gráfica en dispositivos móviles, garantizando la operatividad del motor eléctrico mediante el análisis continuo de sus parámetros críticos.
- Realizar pruebas de funcionamiento para validar el sistema de monitoreo.

Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos:

La realidad aumentada se ha abierto camino en múltiples aplicaciones para mejorar la experiencia del usuario con su interacción en el mundo real y virtual, sin duda esto ha mejorado de sobremanera el nivel de aprendizaje y concentración del usuario en aplicaciones cuyo enfoque se desarrolla en base al despliegue de información y visualización de objetos virtuales para actividades de monitoreo o de capacitación.

En este caso el presente proyecto representa un aporte significativo tanto en lo referente a la realidad virtual en dispositivos móviles, así como en la elaboración de un gemelo digital con características iguales al activo de valor a representar en la realidad virtual.

Todo esto en conjunto representa un aporte en diferentes aspectos como son:

- Observar el objeto de manera virtual, con tamaño igual al real a través de un activador en este caso un código QR sin necesidad de estar presente en la ubicación real del activo.
- Realizar un monitoreo real de variables eléctricas de interés al obtener directamente los datos de un SCADA en tiempo real y poder visualizarlo en un dispositivo móvil.

Estos dos puntos representan una enorme facilidad tanto para operadores como para personal de mantenimiento en sus diferentes labores como check list y para observar alguna anomalía del equipo sin la necesidad de estar en el SCADA o HMI de planta para poder observar el fenómeno. Algo que ayudaría enormemente en identificar tempranamente una condición de fallo y avanzar ya sea para el cuidado del activo como para realizar un mantenimiento basado en condición y no solo preventivo o correctivo que genera grandes pérdidas económicas por la paralización.

CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1 Contextualización general del estado del arte

El monitoreo eficiente de motores eléctricos en entornos industriales es un reto fundamental para optimizar el rendimiento y prevenir fallos inesperados. La demanda de obtener información en tiempo real sobre variables esenciales como el voltaje, corriente y la temperatura ha llevado a investigar nuevas tecnologías, entre las cuales destaca la realidad aumentada. Este trabajo de investigación se centra en el diseño, desarrollo e implementación de un sistema de utilice realidad aumentada para facilitar la visualización interactiva y el monitoreo de motores eléctricos. Con el fin de establecer una base sólida, se han revisado múltiples fuentes, que incluyen artículos científicos, proyectos de titulación y conferencias especializadas de los últimos cinco años. El énfasis se ha puesto en estudios que integran la realidad aumentada con sistemas de automatización y mantenimiento predictivo. Esta investigación se enmarca dentro de las iniciativas de la industria 4.0, analizando las tendencias hacia la digitalización de procesos industriales y el efecto de la interacción entre humanos y maquinas en la toma de decisiones.

Numerosos estudios recientes han demostrado el valor de la Realidad Aumentada (RA) en la mejora del aprendizaje técnico y en la supervisión de sistemas complejos. Cárdenas Yáñez y Gavilanes López (2024) aplicaron RA en la formación sobre motores de combistion interna en el Instituto Superior Universitario Cotopaxi, logrando avances significativos en la comprensión teórica y la participación de los estudiantes. Por otro lado, García Escobedo (2015) creó un sistema de RA para el mantenimiento de máquinas industriales de cinco ejes, empleando interfaces que ayudaron a reducir los tiempos de inactividad. Asimismo, Cortés Caballero (2020) diseñaron un manual de RA para dispositivos Android en el Instituto Politécnico Nacional, lo que permitió a los alumnos interactuar con modelos 3D de motores, facilitando la comprensión de los ciclos termodinámicos. En el ámbito de control de sistemas, Naranjo Robalino (2024) incorporo RA para supervisar el brazo robótico UFACTORY Lite 6, demostrando la aplicabilidad de esta tecnología en el sector industrial. Estos estudios avalan la eficacia de la RA tanto en contextos académicos como industriales, estableciendo bases sólidas para su uso en la supervisión de motores eléctricos

En el repositorio de la Universidad Tecnológica Israel (UISRAEL) se hallan investigaciones que han explorado el uso de la realidad aumentada en varios ámbitos. Miño Flores (2020) elaboro una APP móvil fundamentada en RA para enseñar teoría electromagnética, utilizando Unity y Vuforia para mostrar fenómenos físicos en instante real. Similarmente, Oyasa Sepa (2019)

desarrollo un manual didáctico interactivo para la educación en electricidad automotriz, utilizando RA para mejorar la comprensión de circuitos eléctricos. Ambas investigaciones demostraron un aumento en la motivación y en la retención del aprendizaje entre los alumnos. En un ámbito más industrial, Hernández (2018) aplicó la realidad aumentada para la simulación digital en el control numérico computarizado, alcanzando una disminución en el tiempo de aprendizaje de los operadores. Estos estudios destacan un vasto campo de aplicación de la realidad aumentada tanto en el ámbito educativo como en el industrial, actuando como base para la investigación actual.

El examen de investigaciones anteriores permite reconocer tendencias tecnológicas fundamentales y establecer planes para la aplicación de la realidad aumentada en el seguimiento de motores eléctricos. Se ha comprobado que la realidad aumentada no solo enriquece la visualización de datos en tiempo real, sino que también mejora la colaboración entre los operadores y los sistemas de control. No obstante, aún existen retos asociados a la capacidad de la tecnología para adaptarse a entornos industriales, la compatibilidad con sistemas de automatización ya existentes y la formación del personal. En este contexto, esta investigación aportará una perspectiva innovadora para la supervisión de motores eléctricos a través de la realidad aumentada, incorporando sensores y protocolos de comunicación de IIoT para asegurar una interacción efectiva y una toma de decisiones más exacta en el mantenimiento predictivo.

1.1. Proceso investigativo metodológico

El estudio presente se sitúa dentro de una investigación aplicada con un enfoque experimental, dado que tiene como objetivo la creación de un sistema novedoso para el monitoreo de motores eléctricos mediante el uso de realidad aumentada. Se basa en la indagación de tecnologías emergentes para mejorar y visibilizar procesos industriales, con una especial atención en comprobar su efectividad en situaciones reales.

Se utilizaron enfoques tanto teóricos como prácticos, fusionando un examen minucioso y completo de la literatura científica con la realización de experimentos en condiciones controladas. Entre los enfoques teóricos se encuentran el análisis de documentos y la comparación de investigaciones anteriores, mientras que los enfoques prácticos consisten en la creación del prototipo en Unity 3D y la medición de rendimiento en un motor eléctrico real.

Al tratarse de un desarrollo de software la mayor parte del proyecto se ha optado por usar la metodología de SCRUM la cual se compone de fases, roles los cuales permiten establecer y ejecutar un proyecto.

La primera fase es la Planificación. - para este caso es importante definir que el principal objetivo es la elaboración y desarrollo de una aplicación para Android con Unity que permita desplegar realidad aumentada de un motor eléctrico con información útil y en tiempo real de las variables eléctricas como son, velocidad, corriente, voltaje.

Como segunda fase es la ejecución: dicha etapa está conformada por varios Sprints que son los siguientes:

Sprint 1.- Conexión de todos los dispositivos que forman parte del lazo de comunicación y de control. – Conexión de alimentación principal del motor, variador, controlador, cableado RJ-45 hacia computadora con software Node Red.

Sprint 2.- Establecer comunicación entre el variador y el controlador. – Configurar el entorno de desarrollo e implementar la programación en el lenguaje adecuado para la lectura de datos del variador a través del controlador.

Sprint 3.- Desarrollo de interfaz y vincular el motor de realidad aumentada Vuforia a Unity. - Instalación del software Unity conjuntamente con la vinculación de cuenta para poder usar la librería de Vuforia y establecer el activador QR para la visualización de realidad aumentada. Además del desarrollo de la interfaz gráfica en un modelo en 3D de realidad para la visualización de las variables.

Sprint 4.- Desarrollo del programa de Node red para la recepción de datos de controlador y el envío de datos a Unity. – Importar las diferentes librerías de Node red tanto para el manejo de comunicación serial como para el tratamiento de datos y uso del protocolo MQTT para envío de datos hacia Unity. (Programación en Json)

Sprint 5.- Desarrollo de la programación de Visual Basic para suscripción de tópicos en Unity. - Se realiza la programación en visual Basic para modificación de la librería MQTT y poder suscribir y asociar de manera gráfica que valores y en donde se van a mostrar las diferentes suscripciones a tópicos de las variables de Node red.

Como tercera fase se encuentra la etapa de control y monitorización. – para este caso hemos designado un periodo de dos semanas por cada uno de los Sprint y sus respectivas pruebas que validan el funcionamiento y avance.

Evento Sprint 1.- Arranque del motor eléctrico de manera local con el variador de frecuencia ubicando un setpoint dentro de los valores nominales del motor.

Evento Sprint 2.- Leer los valores en consola de Controlador de las variables enviadas por el variador de velocidad.

Evento Sprint 3.- Despliegue de realidad aumentada en el simulador de Unity con la interfaz deseada y el objeto en 3D

Evento Sprint 4.- Obtención de valores en consola en Node red y estado de la publicación de tópicos en MQTT.

Evento Sprint 5.- Revisión de la programación de la librería MQTT y suscripción a tópicos de node red estableciendo el bróker, puerto y variables.

Finalmente, como última etapa de la metodología se tiene la revisión y adaptación. -

Para esta fase el proyecto pasa de la implementación a las mejoras sustanciales lo que quiere decir que una vez probada la realidad aumentada en modo simulador y ejecutada como archivo .apk para dispositivos Android se realizará la siguiente evaluación:

- Resolución en un teléfono Android para verificar su correcta ubicación y pixelado de la cámara al detectar y mostrar la pantalla.
- Tamaño del activo con realidad aumentada para verificar el adecuado tamaño del objeto.
- Revisión de la interfaz, geometría y que tan intuitiva es la visualización de los parámetros del motor eléctricos.
- Contraste de los datos de las variables en tiempo real con los medidos en node red.

Todo esto con la finalidad de encontrar mejoras a tomar en cuenta antes de la presentación final del proyecto.

CAPÍTULO II: PROPUESTA

2.1 Fundamentos teóricos aplicados

La investigación se fundamenta en diversas disciplinas científicas y tecnológicas, entre ellas la automatización industrial, la visión por computador, la inteligencia artificial y el Internet Industrial de las Cosas (IIoT). Estas áreas permiten el desarrollo de sistemas inteligentes capaces de recopilar, analizar y visualizar información en tiempo real. Específicamente, la presente investigación actual principalmente se enfoca en la aplicación y desarrollo de realidad aumentada (RA) para el monitoreo y supervisión de motores eléctricos, integrando sensores de medición, plataformas de visualización interactiva y tecnologías IoT.

El principal enfoque tecnológico que tiene el presente proyecto es la de disponer de un gemelo digital de un motor eléctrico, es decir que se permita la visualización virtual del mismo con las mismas características al motor real, tomando en cuenta la medición de variables físicas de interés del activo que permitan supervisar su rendimiento en tiempo real.

Para esto se hace uso de diferentes conceptos asociados para el despliegue de realidad aumentada, para el uso de protocolos de comunicación de IoT, y para la programación de pasarelas que permitan la comunicación de sistemas dedicados como PLC con plataformas para dispositivos móviles.

1. Descripción del motor eléctrico

Como se mencionó anteriormente el activo a considerar es el motor eléctrico, el cual posee características técnicas específicas para este caso se trata de un motor jaula de ardilla con un voltaje de alimentación de 480V, una potencia nominal de 40 HP haciendo uso de un variador de frecuencia para un arranque controlado con una rampa de 25 segundos hasta llegar a su set point de velocidad el cual se establece por el usuario.

1.1. Elementos de control propuestos para la automatización del motor eléctrico

1.1.1 PLC Control Logix 5574 de Allen Bradley

Este equipo permite la interacción entre el sistema dedicado para el control industrial de la marca Allen Bradley con el variador de frecuencia, el cual controla el arranque y operación del motor eléctrico, su comunicación se da en protocolo Ethernet IP donde se recibe el dato tipo real de consigna y valor de velocidad para luego ser transmitido este dato al software Node-red el cual está conectado en línea con el PLC.

1.1.2 Variador Powerflex Allen Bradley

Este dispositivo es quien controla la frecuencia inyectada al motor y con ello la velocidad, pudiendo configurar tiempos de aceleración desaceleración siempre situados bajo una consigna o set point la cual es establecida en este caso por el controlador principal.

1.1.3 Dispositivo móvil para (Android)

Android es un sistema operativo para dispositivos móviles de código abierto desarrollado por Google, basado en el núcleo de Linux gestionando el dispositivo, que permite la ejecución de aplicaciones interactivas y conectividad con múltiples dispositivos a través de tecnologías como Wi-Fi, Bluetooth, MQTT y Modbus.

Su arquitectura modular y compatibilidad con plataformas de desarrollo como Unity 3D, Vuforia y ARCore lo convierten en una opción ideal y apropiada para la implementación de aplicaciones de realidad aumentada.

2. Aplicación móvil

2.1. Desarrollo en Node-red

Node-RED es una herramienta y plataforma de programación que se basa en un enfoque de desarrollo por flujo. Su propósito es facilitar la integración y automatización de sistemas a través de la conexión de dispositivos, servicios y API. Este proyecto, creado por IBM, está construido sobre JavaScript y Node.js, lo que posibilita la creación de aplicaciones mediante una interfaz gráfica que es fácil de usar. Su aplicación es muy valorada en áreas como el Internet Industrial de las Cosas (IIoT), la automatización industrial y los sistemas de monitoreo a distancia.

2.2 Desarrollo en Unity con vuforia

Unity es una plataforma de desarrollo de videojuegos que se destaca por su uso en la creación de entornos tridimensionales. Se emplea comúnmente para la elaboración de aplicaciones interactivas, así como para simulaciones que involucran realidad virtual y realidad aumentada. Es una plataforma versátil que permite a los desarrolladores

crear contenido inmersivo utilizando múltiples herramientas de diseño, físicas avanzadas e integración con inteligencia artificial y bases de datos.

2.2 Descripción de la propuesta

a. Estructura general

Nivel 0 de campo compuesto por el motor eléctrico.

Nivel 1 de control compuesto por el controlador lógico programable y variador de velocidad.

Nivel 2 de supervisión compuesto por Dashboard desarrollado con Node-RED y broker MQTT.

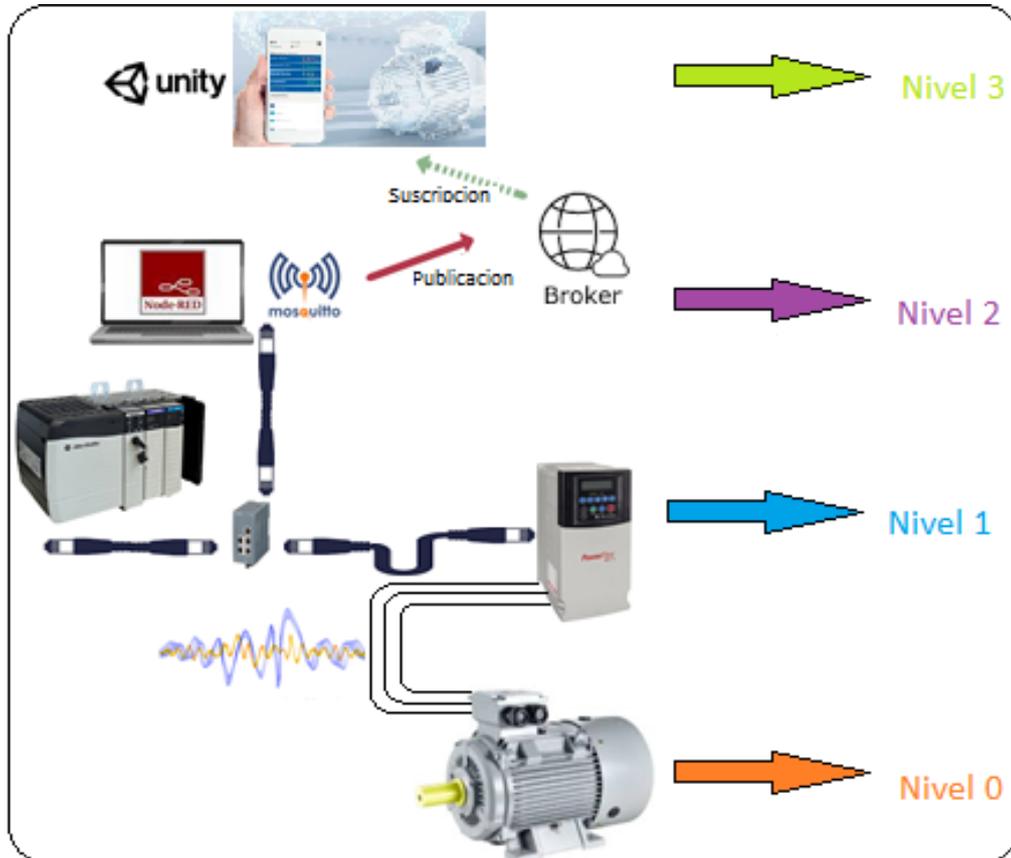
Nivel 3 de gestión compuesto con una aplicación en Android con Unity.

El PLC ControlLogix 5574 envía datos a Node-RED este los publica en Mosquitto (MQTT bróker), la app en Android con Unity suscribe los datos de MQTT y los muestra en un modelo 3D de realidad. El usuario puede interactuar con el motor virtual, visualizar variables y recibir alertas.

La implementación del presente proyecto de manera gráfica se la puede representar de acuerdo con la Figura 1.

Figura 1.

Diagrama de funcionamiento



b. Explicación del aporte

Este proyecto incluye actividades interactivas gracias a la realidad aumentada, lo que posibilita la supervisión en tiempo real de un motor eléctrico y sus variables clave. Esta forma de interactividad resulta fundamental para facilitar la comprensión y la toma de decisiones en procesos industriales, ya que ofrece una representación visual intuitiva de los datos recopilados vinculados al motor.

Para llevar a cabo la implementación del sistema, se utilizarán varios recursos tecnológicos que mejoran la experiencia del usuario. Entre estos, se resaltan: variador de frecuencia y un PLC para la recolección de datos, Node-RED para el procesamiento y envío de información, Unity junto con Vuforia para la visualización en realidad aumentada, y dispositivos Android como plataforma de acceso al sistema. Todos estos componentes colaboran de manera conjunta para asegurar una supervisión efectiva del motor eléctrico.

Las actividades de evaluación sugeridas abarcan la ejecución de pruebas de usabilidad del sistema con expertos en automatización industrial. Se evaluará la precisión de los datos que se monitorean, la efectividad de la visualización en realidad aumentada y la facilidad de uso del sistema en situaciones reales. Los resultados derivados de estas pruebas permitirán corroborar la eficacia del sistema en contextos industriales.

Las acciones enfocadas en el desarrollo del conocimiento abarcan la elaboración de modelos tridimensionales interactivos del motor eléctrico. Estas herramientas ayudarán a perfeccionar la supervisión, el mantenimiento predictivo y la optimización de recursos en la administración industrial de motores eléctricos.

c. Estrategias y/o técnicas

Para llevar a cabo la implementación y la integración del sistema, se utilizaron herramientas tecnológicas fundamentales, como Unity junto con Vuforia para la visualización en realidad aumentada, Node_RED para la recolección, gestión y análisis de datos, variador de frecuencia y PLC para captar las variables operativas del motor. Unity con Vuforia ofrece una interfaz que es inmersiva y adaptable a dispositivos móviles Android, permitiendo superponer información en el entorno real. Node_RED facilita la conexión con la aplicación utilizando protocolos como MQTT y Modbus, garantizando así una transmisión de datos eficaz. Estas herramientas fueron elegidas por su compatibilidad, flexibilidad y capacidad para mejorar la interactividad del sistema propuesto.

2.3 Matriz de articulación de la propuesta

En la Tabla 1, la matriz se sintetiza la articulación del producto realizado con los sustentos teóricos, metodológicos, estratégicos-técnicos y tecnológicos empleados.

Tabla 1.

Matriz de articulación

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 Definición de los elementos electrónicos, de control y de comunicación.	1.1. Identificación de los sensores de temperatura, voltaje y corriente. 1.2. Evaluación de la factibilidad de comunicación IoT para la transmisión de datos. 1.3. Comparación de herramientas de visualización en realidad aumentada.	Inteligencia Artificial, Internet Industrial de las Cosas (IIoT), Comunicaciones Inalámbricas, Visión por Computador y Machine Learning.	Unity con Vuforia para RA, Node-RED para gestión de datos, sensores IoT para adquisición de datos.
2 Diseño del sistema de monitoreo basado en Realidad aumentada	2.1. Desarrollo de la aplicación en Unity para la visualización interactiva.	Programación de PLC, variador de frecuencia con comunicaciones IoT y realidad aumentada.	Unity con Vuforia para la aplicación, MQTT y Modbus para la transmisión de datos, bases de datos y almacenamiento en la nube.
3 Implementación de pruebas del sistema	3.1. Configuración de sensores en el motor eléctrico. 3.2 Análisis de latencia en la transmisión de datos. Pruebas de usabilidad y validación del sistema con operarios	Análisis de datos en tiempo real Automatización Industrial Seguridad en Comunicaciones.	Node-RED para procesamiento de datos, Unity con Vuforia para RA, MQTT para la comunicación, pruebas de usabilidad con usuarios expertos.

2.4 Análisis de resultados. Presentación y discusión.

Para realizar las pruebas del proyecto se utilizó el motor eléctrico permitiendo evaluar su rendimiento sin carga conociendo su funcionamiento correctamente del motor de la Figura 2.

Figura 2.

Características técnicas del motor de prueba



Además, se utilizó el variador de frecuencia incrementando progresivamente su velocidad con el PowerFlex 400 de la Figura 3.

Figura 3.

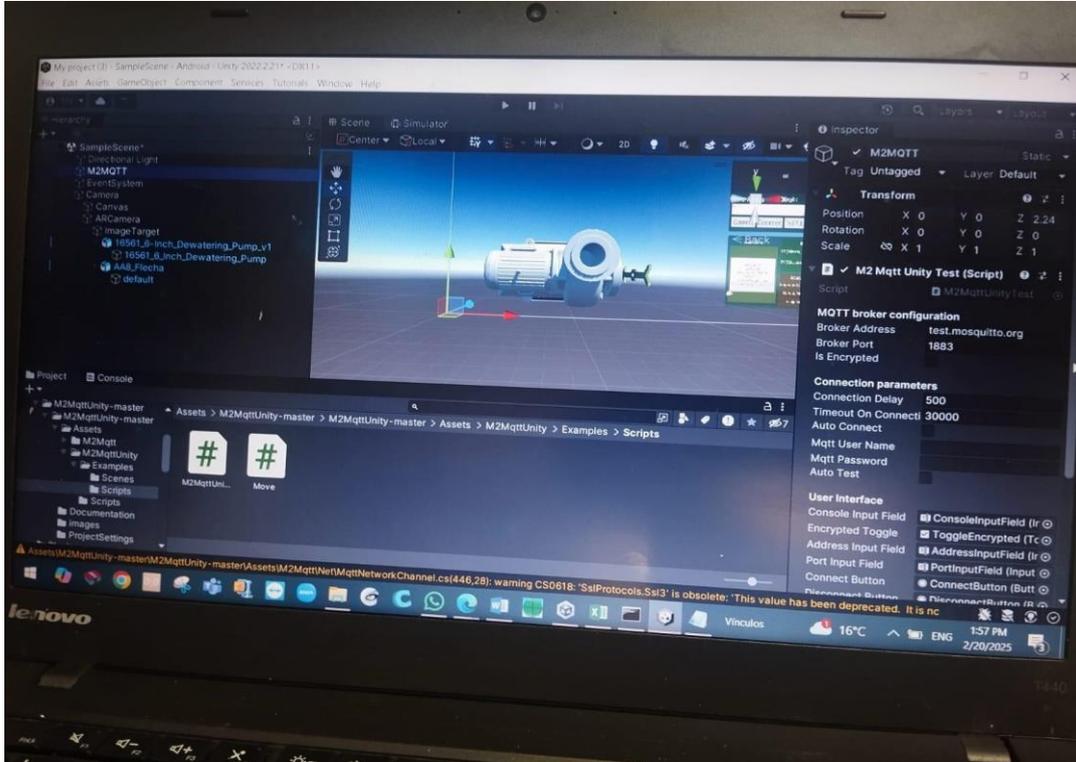
Variador de frecuencia



Se obtuvo un modelo virtual de motor en Unity como se observa en la Figura 4.

Figura 4.

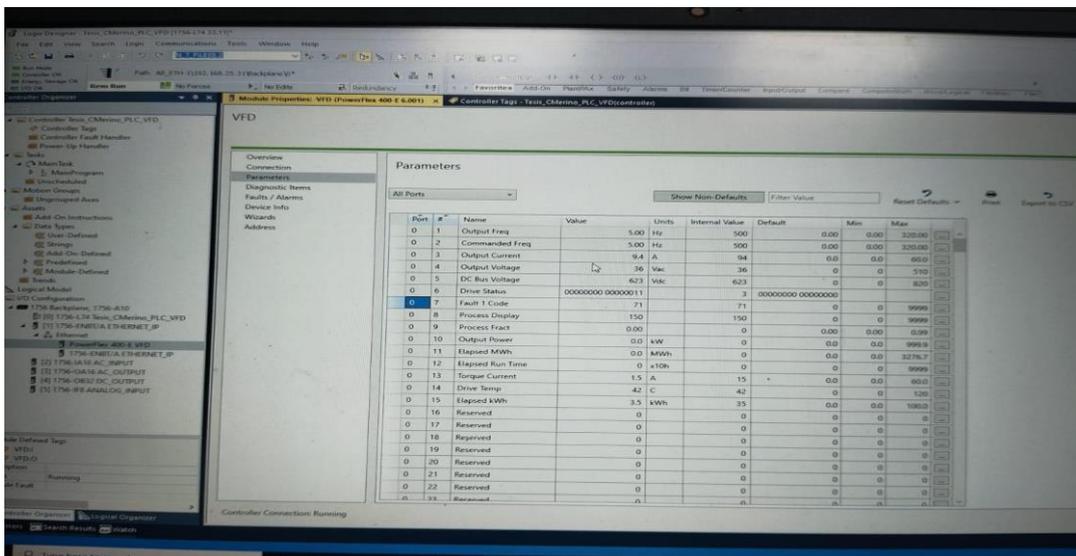
Modelo virtual del motor en Unity



Se configuraron los parámetros básicos de la placa del motor eléctrico en el variador de frecuencia con el Software Logix Designer como se observa en la Figura 5.

Figura 5.

Configuración de parámetros del variador de frecuencia



Se configura la velocidad de referencia vía puerto de comunicación como se muestra en la Figura 6.

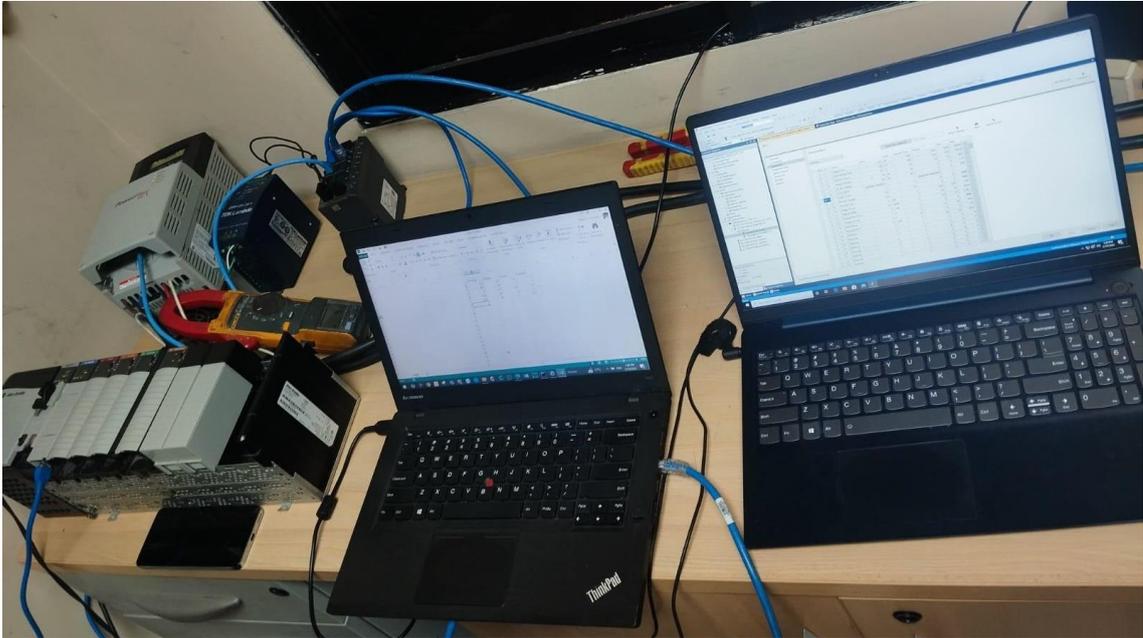
Figura 6.

Speed reference

Port #	Name	Value	Units	Internal Value	Default	Min
0 29	Reserved	0		0	0	0
0 30	Reserved	0		0	0	0
0 31	Motor NP Volts	460	Vac	460	460	
0 32	Motor NP Hertz	60	Hz	60	60	
0 33	Motor OL Current	27.0	A	27.0	30.0	
0 34	Minimum Freq	0.0	Hz	0	0.0	
0 35	Maximum Freq	60.0	Hz	600	60.0	
0 36	Start Source	2-W Lvl Sens		3	2-W Lvl Sens	
0 37	Stop Mode	Coast CF		1	Coast CF	
0 38	Speed Reference	Analog In 1		5	Analog In 1	
0 39	Accel Time 1	20.00	Sec	2000	20.00	
0 40	Decel Time 1	20.00	Sec	2000	20.00	
0 41	Reset To Defaults	Ready/Idle		0	Ready/Idle	
0 42	Auto Mode	Hnd-Off-Auto		1	Hnd-Off-Auto	
0 43	Motor OL Ret	Disabled		0	Disabled	
0 44	Reserved	0		0	0	
0 45	Reserved	0		0	0	
0 46	Reserved	0		0	0	
0 47	Reserved	0		0	0	
0 48	Reserved	0		0	0	
0 49	Reserved	0		0	0	
0 50	Reserved	0		0	0	
0 51	Distal In 1 Sel	Distal		1	Distal	

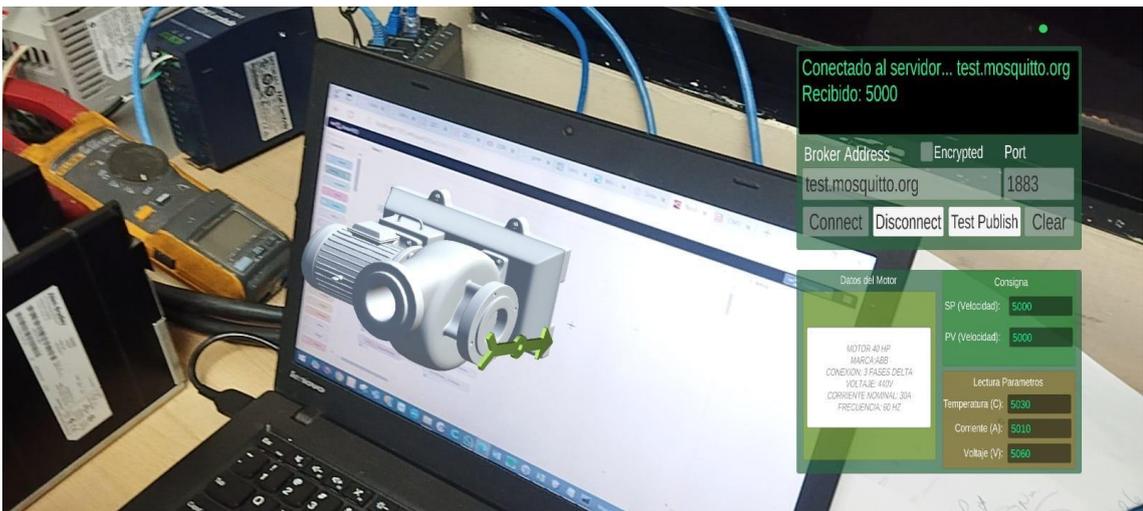
Se realizó la integración de los elementos del proyecto (Variador, PLC, Node-RED y la App en Android con Unity), de acuerdo con la Figura 7.

Figura 7.
Conexión de elementos



Se verifica la conexión del servidor test.mosquito.org como se observa en la Figura 8.

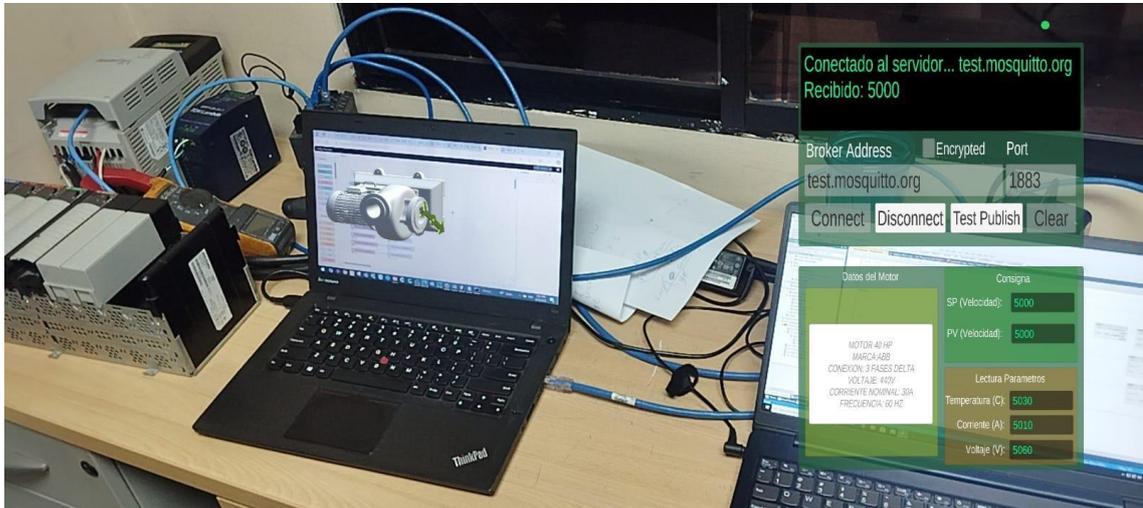
Figura 8.
Prueba de conexión con el servidor



Se verifica la publicación de los tópicos como se observa en la Figura 9.

Figura 9.

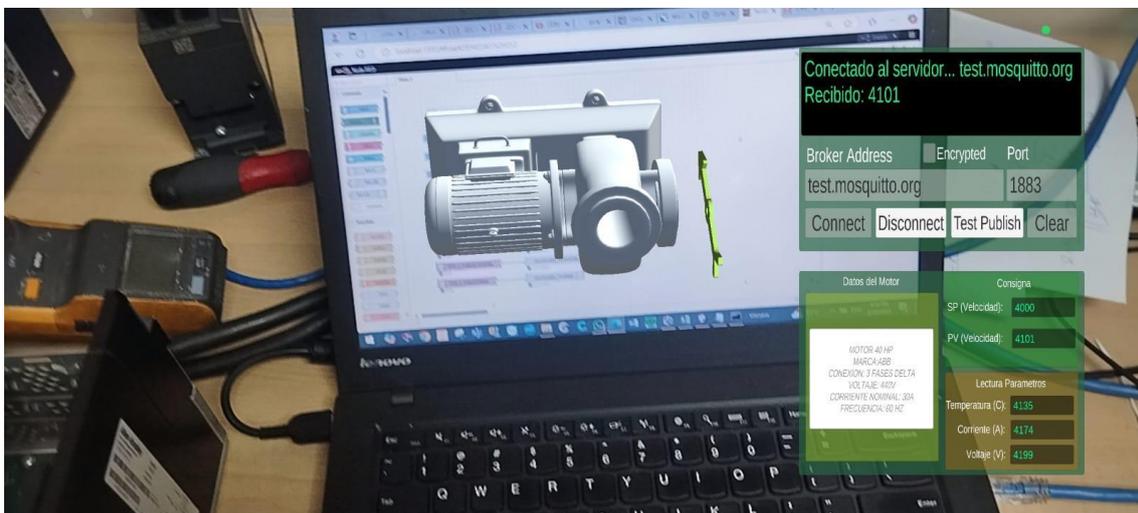
Prueba de publicación de los tópicos



En la interfaz de usuario se incluye los datos del motor y se configura la consigna de velocidad del motor de acuerdo con la Figura 10.

Figura 10.

Envío de consigna de velocidad



Para realizar las pruebas de conexiones de los elementos se recopilaron los datos del motor que se muestra en la Figura 11.

Figura 11.

Datos de corriente, voltaje, torque y potencia del motor

	corriente	voltaje	torque	potencia
1	7.7	10	3.7	0
2	8.6	16	3	0
3	9	22	2.4	0.1
4	9.2	29	2	0.1
5	9.4	36	1.5	0.1
6	9.4	42	1.3	0.1

El análisis de resultados se basa en la recopilación de datos obtenidos durante las pruebas del sistema de monitoreo con realidad aumentada aplicado a un motor eléctrico. En la Tabla 6 se presentan los valores registrados de corriente, voltaje, torque y potencia en seis pruebas realizadas:

Tabla 2.

Resultados de medición del motor eléctrico

Prueba	Corriente (A)	Voltaje (V)	Torque (Nm)	Potencia (kW)
1	7.7	10	3.7	0
2	8.6	16	3	0
3	9	22	2.4	0.1
4	9.2	29	2	0.1
5	9.4	36	1.5	0.1
6	9.4	42	1.3	0.1

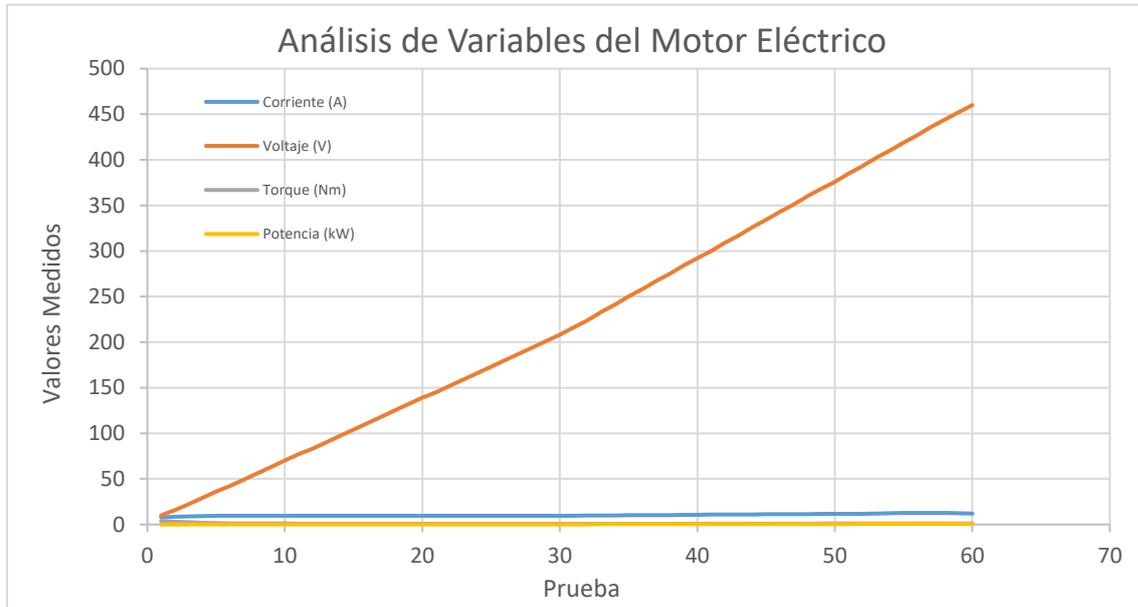
7	9.5	49	1.2	0.1
8	9.5	56	1.1	0.1
9	9.5	63	1	0.1
10	9.5	70	1	0.1
11	9.5	77	0.9	0.1
12	9.5	83	0.9	0.1
13	9.5	90	0.8	0.1
14	9.5	97	0.8	0.1
15	9.5	104	0.8	0.1
16	9.5	111	0.8	0.1
17	9.5	118	0.8	0.1
18	9.5	125	0.8	0.1
19	9.5	132	0.8	0.1
20	9.5	139	0.8	0.1
21	9.5	145	0.7	0.2
22	9.5	152	0.7	0.2
23	9.5	159	0.7	0.2
24	9.5	166	0.7	0.2
25	9.5	173	0.7	0.2
26	9.5	180	0.7	0.2
27	9.5	187	0.7	0.2
28	9.5	194	0.7	0.2
29	9.5	201	0.7	0.2
30	9.5	208	0.7	0.2
31	9.6	216	0.7	0.2
32	9.8	224	0.7	0.2
33	9.9	233	0.7	0.3
34	10	241	0.7	0.3
35	10.1	250	0.8	0.3
36	10.2	258	0.8	0.3
37	10.3	267	0.8	0.3
38	10.4	275	0.8	0.4
39	10.5	284	0.8	0.4

40	10.7	292	0.8	0.4
41	10.8	300	0.8	0.4
42	10.9	309	0.9	0.4
43	11	317	0.9	0.5
44	11	326	0.9	0.5
45	11.2	334	0.9	0.5
46	11.3	343	0.9	0.5
47	11.3	351	0.9	0.5
48	11.4	360	0.9	0.6
49	11.5	368	1	0.6
50	11.6	376	1	0.6
51	11.7	385	1	0.6
52	11.7	393	1	0.7
53	12	402	1	0.7
54	12.4	410	1	0.7
55	12.6	419	1.1	0.8
56	12.6	427	1.1	0.8
57	12.7	436	1.1	0.8
58	12.6	444	1.1	0.8
59	12.4	452	1.1	0.8
60	12.1	460	1.1	0.8

A partir de estos resultados, se generó la Figura 12 comparativa que muestra la evolución de cada una de las variables monitoreadas en función de las pruebas realizadas. Se observa una tendencia creciente en la corriente y el voltaje a medida que se incrementan las condiciones de carga del motor, mientras que el torque muestra una disminución progresiva debido a la compensación del control del sistema. La potencia, por su parte, mantiene valores bajos y estables, indicando una eficiencia operativa adecuada dentro de los parámetros del sistema de monitoreo.

Figura 12.

Análisis de variables del motor eléctrico



Desde la perspectiva teórica, estos resultados concuerdan con los modelos existentes de comportamiento electromecánico de motores eléctricos, donde el aumento del voltaje suele acompañarse de un incremento en la corriente absorbida, mientras que la potencia y el torque se ajustan según la demanda de carga. En comparación con estudios previos, como el de Cárdenas Yáñez y Gavilanes López (2024) sobre la aplicación de realidad aumentada en el aprendizaje de motores, se evidencia que la representación visual de los datos en tiempo real mejora significativamente la interpretación y análisis de los parámetros críticos.

Uno de los hallazgos más significativos de esta investigación es la efectividad de la realidad aumentada como una herramienta para el monitoreo en la industria. La capacidad de observar variables en tiempo real a través de una interfaz accesible simplifica la supervisión de motores sin requerir acceso físico directo a los instrumentos de medición. Sin embargo, se encontraron algunas limitaciones, incluyendo la demora en la transmisión de datos durante periodos de alta demanda y la necesidad de mantener una conexión confiable a la red de comunicación IIoT.

Para investigaciones futuras, es aconsejable perfeccionar el manejo de datos en la nube a fin de aumentar el rendimiento y la rapidez de respuesta del sistema. También se sugiere investigar la incorporación de modelos predictivos de mantenimiento fundamentados en inteligencia artificial para prever posibles fallos en el motor eléctrico. Estas mejoras facilitarían un aumento en la confiabilidad y eficiencia del sistema, ofreciendo una herramienta aún más sólida para la administración de equipos electromecánicos en contextos industriales.

CONCLUSIONES

La formulación de este proyecto posibilitó la contextualización y el examen de los conceptos teóricos vinculados a la supervisión de motores eléctricos utilizando la realidad aumentada. Se concluyó que la integración de los equipos, con protocolos de comunicación y plataformas de visualización en realidad aumentada, mejora la comprensión de las variables operativas en tiempo real, lo que optimiza la vigilancia y el mantenimiento de los equipos industriales.

Respecto al diseño del sistema de supervisión, se logró establecer una arquitectura operativa que une el variador de frecuencia con el PLC con una interfaz interactiva de realidad aumentada. La combinación de tecnologías como Node_RED, MQTT y Unity con Vuforia facilitó el manejo efectivo de datos, asegurando una visualización en tiempo real con baja latencia. Esto respalda el uso del sistema en entornos industriales que exigen exactitud y rapidez en la toma de decisiones para su implementación.

En relación con la puesta en marcha del sistema, las pruebas efectuadas demostraron que el monitoreo mediante realidad aumentada potencia de manera notable la supervisión de motores eléctricos, al ofrecer una representación visual nítida y fácil de entender de los datos operativos. Asimismo, la estabilidad del sistema se mantuvo en rangos óptimos, con una baja latencia en la actualización de las variables vigiladas, lo que ratifica la eficacia de la arquitectura sugerida.

Finalmente, en lo que respecta a la validación del impacto del sistema, se concluyó que la aplicación de la realidad aumentada en el monitoreo industrial es una innovación con un significativo potencial de uso en diversas áreas productivas. La interacción directa con los modelos tridimensionales y la incorporación de datos en tiempo real simplifican el proceso de toma de decisiones en el mantenimiento predictivo, lo que contribuye a mejorar la eficiencia operativa y a disminuir el tiempo de inactividad de las máquinas. No obstante, se sugiere realizar optimizaciones futuras en aspectos como la velocidad de procesamiento y la compatibilidad de otros dispositivos industriales para potenciar aún más la efectividad del sistema.

RECOMENDACIONES

Dado que la realidad aumentada se ha mostrado como una herramienta efectiva para la supervisión de motores eléctricos en entornos industriales, se sugiere explorar más a fondo en investigaciones futuras el efecto que tiene el aprendizaje automático en la mejora de los procesos operativos y el mantenimiento predictivo. La incorporación de algoritmos de aprendizaje automático podría potenciar tanto la capacidad de anticipar fallos como la optimización del consumo energético del sistema.

Respecto al diseño del sistema, se recomienda investigar nuevas plataformas de desarrollo que puedan elevar y optimizar la eficiencia en el manejo de los datos. Tecnologías innovadoras como WebXR podrían presentar una opción para la visualización en varios dispositivos sin requerir aplicaciones nativas, lo que ampliaría la accesibilidad de sistema a diversos entornos industriales.

En relación con la puesta en marcha del sistema, se sugiere llevar a cabo pruebas en situaciones de mayor complejidad operativa con el fin de analizar cómo se comporta el monitoreo bajo condiciones de carga cambiantes y en entornos desfavorables. Asimismo, la adición de sensores de vibración y temperatura facilitaría la ampliación del ámbito de supervisión del motor eléctrico, al tiempo que contribuiría a una mayor exactitud en la información recopilada.

Por último, con el fin de asegurar una difusión más amplia y una mejor socialización de los resultados obtenidos, se propone la organización de talleres y seminarios dirigidos a profesionales del ámbito industrial, enfocados en la aplicación de la realidad aumentada para el monitoreo de sistemas electromecánicos. Asimismo, la publicación de estudios en revistas especializadas ayudaría a aumentar el impacto tanto académico como práctico de la investigación, fomentando así la integración de estas tecnologías en el sector industrial.

BIBLIOGRAFÍA

Cárdenas Yáñez, Y., & Gavilanes López, L. (2024). Aplicación de realidad aumentada en la enseñanza de motores de combustión interna. Instituto Superior Universitario Cotopaxi.

García Escobedo, R. (2015). Uso de realidad aumentada para el mantenimiento de maquinaria industrial de cinco ejes. Universidad de Montemorelos.

Cortés Caballero, J., et al. (2020). Desarrollo de un manual de RA para dispositivos Android en ingeniería automotriz. Instituto Politécnico Nacional.

Naranjo Robalino, J. E. (2024). Sistema de realidad aumentada para el control del brazo robótico UFACTORY Lite 6. Universidad Tecnológica Israel.

Miño Flores, C. E. (2020). Aplicación de realidad aumentada para la enseñanza de teoría electromagnética. Universidad Tecnológica Israel.

Oyasa Sepa, F. N. (2019). Guía didáctica interactiva basada en realidad aumentada para electricidad automotriz. Instituto Superior Tecnológico ISMAC.

Hernández, A. (2018). Realidad aumentada y simulación computarizada en el control numérico computarizado (CNC). Instituto Tecnológico Superior "José Chiriboga Grijalva".

ANEXOS

CÓDIGO QR



ANEXO 1

CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DE NODE-RED

```
[
  {
    "id": "ab9047a37e3088c4",
    "type": "tab",
    "label": "Tesis",
    "disabled": false,
    "info": "",
    "env": []
  },
  {
    "id": "a70f6d77c8f11ad2",
    "type": "eth-ip out",
    "z": "ab9047a37e3088c4",
    "endpoint": "cb4ef759ac39f444",
    "variable": "VFD:O.Start",
    "program": "",
    "name": "",
    "x": 550,
    "y": 160,
    "wires": []
  },
  {
    "id": "0774aa66adb3a805",
    "type": "inject",
    "z": "ab9047a37e3088c4",
    "name": "",
    "props": [
      {
        "p": "payload"
```

```

    }
  ],
  "repeat": "",
  "crontab": "",
  "once": false,
  "onceDelay": 0.1,
  "topic": "",
  "payload": "false",
  "payloadType": "bool",
  "x": 370,
  "y": 180,
  "wires": [
    [
      "a70f6d77c8f11ad2"
    ]
  ]
},
{
  "id": "d74a8c2f16308ca3",
  "type": "eth-ip out",
  "z": "ab9047a37e3088c4",
  "endpoint": "357804190608db9d",
  "variable": "VFD:O.FreqCommand",
  "program": "",
  "name": "",
  "x": 580,
  "y": 340,
  "wires": []
},
{
  "id": "31ab0c19e2253a6f",

```

```

"type": "inject",
"z": "ab9047a37e3088c4",
"name": "",
"props": [
  {
    "p": "payload"
  }
],
"repeat": "",
"crontab": "",
"once": false,
"onceDelay": 0.1,
"topic": "",
"payload": "4000",
"payloadType": "num",
"x": 370,
"y": 380,
"wires": [
  [
    "d74a8c2f16308ca3",
    "7880ac08af23bbfa"
  ]
]
},
{
  "id": "581fd35020fc3056",
  "type": "eth-ip in",
  "z": "ab9047a37e3088c4",
  "endpoint": "53f6fe0e98315e0a",
  "mode": "single",
  "variable": "VFD_I_OutputFreq",

```

```
"program": "",
"name": "",
"x": 390,
"y": 520,
"wires": [
  [
    "6aacc56ce9894a38"
  ]
]
},
{
  "id": "80b79010f63427eb",
  "type": "eth-ip out",
  "z": "ab9047a37e3088c4",
  "endpoint": "a7d32d07c7e3bcd2",
  "variable": "VFD:O.Stop",
  "program": "",
  "name": "",
  "x": 550,
  "y": 240,
  "wires": []
},
{
  "id": "cfa71b9a6e6789d3",
  "type": "inject",
  "z": "ab9047a37e3088c4",
  "name": "",
  "props": [
    {
      "p": "payload"
    }
  ]
}
```

```

    ],
    "repeat": "",
    "crontab": "",
    "once": false,
    "onceDelay": 0.1,
    "topic": "",
    "payload": "true",
    "payloadType": "bool",
    "x": 370,
    "y": 260,
    "wires": [
      [
        "80b79010f63427eb"
      ]
    ]
  },
  {
    "id": "a86b9825736d1932",
    "type": "comment",
    "z": "ab9047a37e3088c4",
    "name": "DATOS_DASHBOARD",
    "info": "",
    "x": 460,
    "y": 60,
    "wires": []
  },
  {
    "id": "737e86a417d77747",
    "type": "comment",
    "z": "ab9047a37e3088c4",
    "name": "Comando Start",

```

```
"info": "",
"x": 820,
"y": 160,
"wires": []
},
{
  "id": "d75695a41f1ec506",
  "type": "comment",
  "z": "ab9047a37e3088c4",
  "name": "Comando Stop",
  "info": "",
  "x": 820,
  "y": 240,
  "wires": []
},
{
  "id": "aabaee292f305044",
  "type": "comment",
  "z": "ab9047a37e3088c4",
  "name": "Set: Frecuencia",
  "info": "",
  "x": 820,
  "y": 340,
  "wires": []
},
{
  "id": "1f389420ef7a634f",
  "type": "comment",
  "z": "ab9047a37e3088c4",
  "name": "CONEXION MQTT PARA UNITY 3D",
  "info": "",
```

```
"x": 740,
"y": 400,
"wires": []
},
{
  "id": "7880ac08af23bbfa",
  "type": "mqtt out",
  "z": "ab9047a37e3088c4",
  "name": "",
  "topic": "mcc/motor_1/SP_velocidad",
  "qos": "0",
  "retain": "",
  "respTopic": "",
  "contentType": "",
  "userProps": "",
  "correl": "",
  "expiry": "",
  "broker": "67a6776b7bae47e1",
  "x": 720,
  "y": 460,
  "wires": []
},
{
  "id": "6aacc56ce9894a38",
  "type": "mqtt out",
  "z": "ab9047a37e3088c4",
  "name": "",
  "topic": "mcc/motor_1/PV_velocidad",
  "qos": "0",
  "retain": "",
  "respTopic": "",
```

```
"contentType": "",
"userProps": "",
"correl": "",
"expiry": "",
"broker": "67a6776b7bae47e1",
"x": 720,
"y": 520,
"wires": []
},
{
  "id": "c212ed3ce643c31d",
  "type": "mqtt out",
  "z": "ab9047a37e3088c4",
  "name": "",
  "topic": "mcc/motor_1/torque",
  "qos": "0",
  "retain": "",
  "respTopic": "",
  "contentType": "",
  "userProps": "",
  "correl": "",
  "expiry": "",
  "broker": "67a6776b7bae47e1",
  "x": 700,
  "y": 580,
  "wires": []
},
{
  "id": "8a720e2dfb1f8ab6",
  "type": "mqtt out",
  "z": "ab9047a37e3088c4",
```

```
"name": "",
"topic": "mcc/motor_1/corriente",
"qos": "0",
"retain": "",
"respTopic": "",
"contentType": "",
"userProps": "",
"correl": "",
"expiry": "",
"broker": "67a6776b7bae47e1",
"x": 710,
"y": 640,
"wires": []
},
{
  "id": "2495446a57f5d9f2",
  "type": "mqtt out",
  "z": "ab9047a37e3088c4",
  "name": "",
  "topic": "mcc/motor_1/voltaje",
  "qos": "0",
  "retain": "",
  "respTopic": "",
  "contentType": "",
  "userProps": "",
  "correl": "",
  "expiry": "",
  "broker": "67a6776b7bae47e1",
  "x": 700,
  "y": 700,
  "wires": []
```

```

},
{
  "id": "5a4b73d8d2c64235",
  "type": "comment",
  "z": "ab9047a37e3088c4",
  "name": "VARIABLES PLC",
  "info": "",
  "x": 380,
  "y": 440,
  "wires": []
},
{
  "id": "d32752c99ea67442",
  "type": "eth-ip in",
  "z": "ab9047a37e3088c4",
  "endpoint": "4d534506e270d689",
  "mode": "single",
  "variable": "VFD_I_OutputTorque",
  "program": "",
  "name": "",
  "x": 400,
  "y": 580,
  "wires": [
    [
      "c212ed3ce643c31d"
    ]
  ]
},
{
  "id": "0f6232ddfe02f21c",
  "type": "eth-ip in",

```

```

    "z": "ab9047a37e3088c4",
    "endpoint": "7f1d12a996b1d53c",
    "mode": "single",
    "variable": "VFD_I_OutputCorriente",
    "program": "",
    "name": "",
    "x": 410,
    "y": 640,
    "wires": [
      [
        "8a720e2dfb1f8ab6"
      ]
    ]
  },
  {
    "id": "0a782141a76aca78",
    "type": "eth-ip in",
    "z": "ab9047a37e3088c4",
    "endpoint": "cb1863532ceb410f",
    "mode": "single",
    "variable": "VFD_I_OutputVoltaje",
    "program": "",
    "name": "",
    "x": 400,
    "y": 700,
    "wires": [
      [
        "2495446a57f5d9f2"
      ]
    ]
  },
}

```

```
{
  "id": "0be648d767a21b51",
  "type": "ui_switch",
  "z": "ab9047a37e3088c4",
  "name": "",
  "label": "Start",
  "tooltip": "",
  "group": "cb4af426a6d4c3dc",
  "order": 0,
  "width": 0,
  "height": 0,
  "passthru": true,
  "decouple": "false",
  "topic": "topic",
  "topicType": "msg",
  "style": "",
  "onvalue": "true",
  "onvalueType": "bool",
  "onicon": "",
  "oncolor": "",
  "offvalue": "false",
  "offvalueType": "bool",
  "officon": "",
  "offcolor": "",
  "animate": false,
  "className": "",
  "x": 370,
  "y": 140,
  "wires": [
    [
      "a70f6d77c8f11ad2"
```

```
    ]
  ]
},
{
  "id": "53d8a787deb4665c",
  "type": "ui_switch",
  "z": "ab9047a37e3088c4",
  "name": "",
  "label": "Stop",
  "tooltip": "",
  "group": "cb4af426a6d4c3dc",
  "order": 2,
  "width": 0,
  "height": 0,
  "passthru": true,
  "decouple": "false",
  "topic": "topic",
  "topicType": "msg",
  "style": "",
  "onvalue": "false",
  "onvalueType": "bool",
  "onicon": "",
  "oncolor": "",
  "offvalue": "true",
  "offvalueType": "bool",
  "officon": "",
  "offcolor": "",
  "animate": false,
  "className": "",
  "x": 370,
  "y": 220,
```

```
"wires": [
  [
    "80b79010f63427eb"
  ]
]
},
{
  "id": "f622bf437eda56b6",
  "type": "ui_numeric",
  "z": "ab9047a37e3088c4",
  "name": "",
  "label": "Referencia",
  "tooltip": "",
  "group": "cb4af426a6d4c3dc",
  "order": 1,
  "width": 0,
  "height": 0,
  "wrap": false,
  "passthru": true,
  "topic": "topic",
  "topicType": "msg",
  "format": "{{value}}",
  "min": 0,
  "max": "6000",
  "step": 1,
  "className": "",
  "x": 370,
  "y": 300,
  "wires": [
    [
      "d74a8c2f16308ca3",
```

```
        "7d4f842fa9e39cf4"
    ]
]
},
{
    "id": "7d4f842fa9e39cf4",
    "type": "ui_slider",
    "z": "ab9047a37e3088c4",
    "name": "",
    "label": "Referencia",
    "tooltip": "",
    "group": "cb4af426a6d4c3dc",
    "order": 3,
    "width": 0,
    "height": 0,
    "passthru": true,
    "outs": "all",
    "topic": "topic",
    "topicType": "msg",
    "min": 0,
    "max": "6000",
    "step": 1,
    "className": "",
    "x": 210,
    "y": 360,
    "wires": [
        [
            "f622bf437eda56b6"
        ]
    ]
},
```

```

{
  "id": "cb4ef759ac39f444",
  "type": "eth-ip endpoint",
  "address": "192.168.25.31",
  "slot": "0",
  "cycletime": "500",
  "name": "",
  "vartable": {
    "": {
      "VFD:O.Start": {
        "type": "BOOL"
      }
    }
  }
},
{
  "id": "357804190608db9d",
  "type": "eth-ip endpoint",
  "address": "192.168.25.31",
  "slot": "0",
  "cycletime": "500",
  "name": "",
  "vartable": {
    "": {
      "VFD:O.FreqCommand": {
        "type": "INT"
      }
    }
  }
},
{

```

```

    "id": "53f6fe0e98315e0a",
    "type": "eth-ip endpoint",
    "address": "192.168.25.31",
    "slot": "0",
    "cycletime": "500",
    "name": "",
    "vartable": {
      "": {
        "VFD_I_OutputFreq": {
          "type": "INT"
        }
      }
    },
    {
      "id": "a7d32d07c7e3bcd2",
      "type": "eth-ip endpoint",
      "address": "192.168.25.31",
      "slot": "0",
      "cycletime": "500",
      "name": "",
      "vartable": {
        "": {
          "VFD:O.Stop": {
            "type": "BOOL"
          }
        }
      }
    },
    {
      "id": "67a6776b7bae47e1",

```

```
"type": "mqtt-broker",
"name": "test.mosquitto.org",
"broker": "test.mosquitto.org",
"port": "1883",
"clientId": "",
"autoConnect": true,
"usetls": false,
"protocolVersion": "4",
"keepalive": "60",
"cleansession": true,
"autoUnsubscribe": true,
"birthTopic": "",
"birthQos": "0",
"birthPayload": "",
"birthMsg": {},
"closeTopic": "",
"closeQos": "0",
"closePayload": "",
"closeMsg": {},
"willTopic": "",
"willQos": "0",
"willPayload": "",
"willMsg": {},
"userProps": "",
"sessionExpiry": ""
},
{
  "id": "4d534506e270d689",
  "type": "eth-ip endpoint",
  "address": "192.168.25.31",
  "slot": "0",
```

```

    "cycletime": "500",
    "name": "",
    "varTable": {
      "": {
        "VFD_I_OutputTorque": {
          "type": "INT"
        }
      }
    }
  },
  {
    "id": "7f1d12a996b1d53c",
    "type": "eth-ip endpoint",
    "address": "192.168.25.31",
    "slot": "0",
    "cycletime": "500",
    "name": "",
    "varTable": {
      "": {
        "VFD_I_OutputCorriente": {
          "type": "INT"
        }
      }
    }
  },
  {
    "id": "cb1863532ceb410f",
    "type": "eth-ip endpoint",
    "address": "192.168.25.31",
    "slot": "0",
    "cycletime": "500",

```

```
"name": "",
"variable": {
  "": {
    "VFD_I_OutputVoltaje": {
      "type": "INT"
    }
  }
},
{
  "id": "cb4af426a6d4c3dc",
  "type": "ui_group",
  "name": "Default",
  "tab": "dc0667a083c38595",
  "order": 1,
  "disp": true,
  "width": 6,
  "collapse": false,
  "className": ""
},
{
  "id": "dc0667a083c38595",
  "type": "ui_tab",
  "name": "Home",
  "icon": "dashboard",
  "disabled": false,
  "hidden": false
}
]
```

ANEXO 2

CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DE UNITY

/*

The MIT License (MIT)

Copyright (c) 2018 Giovanni Paolo Viganò'

Permission is hereby granted, free of charge, to any person obtaining a copy of this software and associated documentation files (the "Software"), to deal in the Software without restriction, including without limitation the rights to use, copy, modify, merge, publish, distribute, sublicense, and/or sell copies of the Software, and to permit persons to whom the Software is furnished to do so, subject to the following conditions:

The above copyright notice and this permission notice shall be included in all copies or substantial portions of the Software.

THE SOFTWARE IS PROVIDED "AS IS", WITHOUT WARRANTY OF ANY KIND, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO THE WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE AND NONINFRINGEMENT. IN NO EVENT SHALL THE AUTHORS OR COPYRIGHT HOLDERS BE LIABLE FOR ANY CLAIM, DAMAGES OR OTHER LIABILITY, WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT, TORT OR OTHERWISE, ARISING FROM, OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE SOFTWARE OR THE USE OR OTHER DEALINGS IN THE SOFTWARE.

*/

using System;

using System.Collections;

using System.Collections.Generic;

using UnityEngine;

using UnityEngine.UI;

```

using uPLibrary.Networking.M2Mqtt;
using uPLibrary.Networking.M2Mqtt.Messages;
using M2MqttUnity;

/// <summary>
/// Examples for the M2MQTT library (https://github.com/eclipse/paho.mqtt.m2mqtt),
/// </summary>
namespace M2MqttUnity.Examples
{
    /// <summary>
    /// Script for testing M2MQTT with a Unity UI
    /// </summary>
    public class M2MqttUnityTest : M2MqttUnityClient
    {
        [Tooltip("Set this to true to perform a testing cycle automatically on startup")]
        public bool autoTest = false;
        [Header("User Interface")]
        /// Buttons and text inputs (PANEL_COM)
        public InputField consoleInputField;
        public Toggle encryptedToggle;
        public InputField addressInputField;
        public InputField portInputField;
        public Button connectButton;
        public Button disconnectButton;
        public Button testPublishButton;
        public Button clearButton;
        /// Text inputs (PANEL_2_VAR)
        public InputField SP_VelocidadInputField;
        public InputField PV_VelocidadInputfield;
        /// Text inputs (PANEL_2_VAR)
        public InputField TorqueInputField;
    }
}

```

```

public InputField CorienteInputfield;

public InputField VoltajeInputfield;

// Sending for arrow movement

private List<string> eventMessages = new List<string>();
private bool updateUI = false;

public void TestPublish()
{
    client.Publish("M2MQTT_Unity/test", System.Text.Encoding.UTF8.GetBytes("Test
message"), MqttMsgBase.QOS_LEVEL_EXACTLY_ONCE, false);

    Debug.Log("Mensaje de prueba publicado");
    AddUiMessage("Mensaje de prueba publicado.");
}

public void SetBrokerAddress(string brokerAddress)
{
    if (addressInputField && !updateUI)
    {
        this.brokerAddress = brokerAddress;
    }
}

public void SetBrokerPort(string brokerPort)
{
    if (portInputField && !updateUI)
    {
        int.TryParse(brokerPort, out this.brokerPort);
    }
}

```

```

public void SetEncrypted(bool isEncrypted)
{
    this.isEncrypted = isEncrypted;
}

public void SetUiMessage(string msg)
{
    if (consoleInputField != null)
    {
        consoleInputField.text = msg;
        updateUI = true;
    }
}

public void AddUiMessage(string msg)
{
    if (consoleInputField != null)
    {
        consoleInputField.text = ("Conectado al servidor... " + brokerAddress + "\n"+msg);
        updateUI = true;
    }
}

protected override void OnConnecting()
{
    base.OnConnecting();

    SetUiMessage("Conectando al servidor... " + brokerAddress + ":" + brokerPort.ToString()
+ "... \n");
}

```

```

protected override void OnConnected()
{
    base.OnConnected();

    SetUiMessage("Conectado al servidor... " + brokerAddress + "\n");

    if (autoTest)
    {
        TestPublish();
    }
}

protected override void SubscribeTopics()
{
    client.Subscribe(new string[] { "M2MQTT_Unity/test" }, new byte[] {
MqttMsgBase.QOS_LEVEL_EXACTLY_ONCE });

    client.Subscribe(new string[] { "mcc/motor_1/SP_velocidad" }, new byte[] {
MqttMsgBase.QOS_LEVEL_EXACTLY_ONCE });

    client.Subscribe(new string[] { "mcc/motor_1/PV_velocidad" }, new byte[] {
MqttMsgBase.QOS_LEVEL_EXACTLY_ONCE });

    client.Subscribe(new string[] { "mcc/motor_1/torque" }, new byte[] {
MqttMsgBase.QOS_LEVEL_EXACTLY_ONCE });

    client.Subscribe(new string[] { "mcc/motor_1/corriente" }, new byte[] {
MqttMsgBase.QOS_LEVEL_EXACTLY_ONCE });

    client.Subscribe(new string[] { "mcc/motor_1/voltaje" }, new byte[] {
MqttMsgBase.QOS_LEVEL_EXACTLY_ONCE });
}

protected override void UnsubscribeTopics()
{
    client.Unsubscribe(new string[] { "M2MQTT_Unity/test" });
}

```

```
protected override void OnConnectionFailed(string errorMessage)
```

```
{  
    AddUiMessage("Conecccion Fallida! " + errorMessage);  
}
```

```
protected override void OnDisconnected()
```

```
{  
    AddUiMessage("Desconectado...");  
}
```

```
protected override void OnConnectionLost()
```

```
{  
    AddUiMessage("Conexion perdida!");  
}
```

```
private void UpdateUI()
```

```
{  
    if (client == null)  
    {  
        if (connectButton != null)  
        {  
            connectButton.interactable = true;  
            disconnectButton.interactable = false;  
            testPublishButton.interactable = false;  
        }  
    }  
    else  
    {  
        if (testPublishButton != null)  
        {  
            testPublishButton.interactable = client.IsConnected;  
        }  
    }  
}
```

```

    }
    if (disconnectButton != null)
    {
        disconnectButton.interactable = client.IsConnected;
    }
    if (connectButton != null)
    {
        connectButton.interactable = !client.IsConnected;
    }
}
if (addressInputField != null && connectButton != null)
{
    addressInputField.interactable = connectButton.interactable;
    addressInputField.text = brokerAddress;
}
if (portInputField != null && connectButton != null)
{
    portInputField.interactable = connectButton.interactable;
    portInputField.text = brokerPort.ToString();
}
if (encryptedToggle != null && connectButton != null)
{
    encryptedToggle.interactable = connectButton.interactable;
    encryptedToggle.isOn = isEncrypted;
}
if (clearButton != null && connectButton != null)
{
    clearButton.interactable = connectButton.interactable;
}
updateUI = false;
}

```

```

protected override void Start()
{
    SetUiMessage("Listo...");
    SP_VelocidadInputField.text = "...";
    PV_VelocidadInputfield.text = "...";
    TorqueInputField.text = "...";
    CorienteInputfield.text = "...";
    VoltajeInputfield.text = "...";
    updateUI = true;
    base.Start();
}

```

```

protected override void DecodeMessage(string topic, byte[] message)
{
    string msg = System.Text.Encoding.UTF8.GetString(message);
    Debug.Log("Recibido: " + msg);
    StoreMessage(msg);
    if (topic == "M2MQTT_Unity/test")
    {
        if (autoTest)
        {
            autoTest = false;
            Disconnect();
        }
    }
    if (topic == "mcc/motor_1/SP_velocidad")
    {
        SP_VelocidadInputField.text = msg;
        updateUI = true;
    }
}

```

```

if (topic == "mcc/motor_1/PV_velocidad")
{
    PV_VelocidadInputfield.text = msg;
    updateUI = true;
}
if (topic == "mcc/motor_1/torque")
{
    TorqueInputField.text = msg;
    updateUI = true;
}
if (topic == "mcc/motor_1/corriente")
{
    CorienteInputfield.text = msg;
    updateUI = true;
}
if (topic == "mcc/motor_1/voltaje")
{
    VoltajeInputfield.text = msg;
    updateUI = true;
}
}

```

```

private void StoreMessage(string eventMsg)
{
    eventMessages.Add(eventMsg);
}

```

```

private void ProcessMessage(string msg)
{
    AddUiMessage("Recibido: " + msg);
}

```

```
protected override void Update()
{
    base.Update(); // call ProcessMqttEvents()

    if (eventMessages.Count > 0)
    {
        foreach (string msg in eventMessages)
        {
            ProcessMessage(msg);
        }
        eventMessages.Clear();
    }
    if (updateUI)
    {
        UpdateUI();
    }
}
```

```
private void OnDestroy()
{
    Disconnect();
}
```

```
private void OnValidate()
{
    if (autoTest)
    {
        autoConnect = true;
    }
}
```

}

}