Universidad Nacional de Ingeniería

Área de Conocimiento de Tecnología de la Información y Comunicación

Análisis de Viabilidad Para Monitorización de Variables en Aerogeneradores del Parque Eólico EOLO Mediante Microsoft Azure IoT

Trabajo Monográfico Para Optar Al Título de Ingeniero Electrónico

Elaborado por:

Br. Romel Abel Solís Flores
Carnet: 2015-0455U

Br. Juan José Jirón Aguilar
Carnet: 2015-1062U

Tutor:

Ing. Nathalia Azucena Gutiérrez Robleto

12 de marzo de 2026
Managua, Nicaragua

RESUMEN

La presente investigación surge a partir de una problemática identificada en el parque eólico EOLO, donde el personal de mantenimiento no siempre dispone de acceso inmediato a los datos operativos de los aerogeneradores. En la práctica, los técnicos dependen del personal del centro de control para obtener información sobre el estado de las turbinas, lo que puede generar retrasos en la toma de decisiones y afectar la eficiencia de las intervenciones técnicas. Esta situación resulta especialmente crítica cuando se requiere información antes, durante o después de una actividad de mantenimiento. Además, el sistema propuesto busca complementar las herramientas de supervisión existentes, sin sustituirlas, proporcionando al personal de mantenimiento un acceso más directo y oportuno a la información crítica. Esto permitirá mejorar la coordinación entre los diferentes equipos de trabajo, facilitar la identificación de fallas y optimizar la gestión del mantenimiento preventivo y correctivo.

Ante esta problemática, el trabajo propone analizar la viabilidad de implementar un sistema de monitoreo complementario basado en tecnologías de Internet de las Cosas (IoT), utilizando la plataforma Microsoft Azure como infraestructura principal. El objetivo central consiste en desarrollar un sistema que permita la supervisión remota de variables críticas de los aerogeneradores y que sea accesible desde dispositivos móviles por parte del personal de mantenimiento. De esta manera, se busca mejorar los procesos de diagnóstico, optimizar las intervenciones técnicas y reducir los tiempos de respuesta ante fallas o anomalías.

El desarrollo de un sistema de monitoreo de aerogeneradores basado en tecnologías IoT representa una alternativa viable para mejorar la gestión operativa en parques eólicos. La implementación de este tipo de soluciones tecnológicas puede contribuir significativamente a incrementar la eficiencia de los procesos de mantenimiento, reducir los tiempos de respuesta ante incidentes y fortalecer la toma de decisiones basada en datos. De esta manera, la investigación aporta una propuesta orientada a modernizar las herramientas de supervisión disponibles en el parque eólico EOLO, alineándose con las tendencias actuales de digitalización y automatización en el sector energético.

índice de Contenido

1. INTRODUCCIÓN 1
2. JUSTIFICACIÓN 2
3. OBJETIVOS 3
   3.1. General 3
   3.2. Específicos 3
4. MARCO TEÓRICO 4
   4.1. Energía Eólica 4
      4.1.1. Concepto de energía eólica 4
      4.1.2. Energía eólica en Nicaragua (contexto general) 4
   4.2. Aerogeneradores 4
      4.2.1. Definición y Funcionamiento 4
      4.2.2. Componentes Principales 6
      4.2.3. Variables Críticas en Aerogeneradores 12
      4.2.4. Importancia de medir variables en un aerogenerador 13
   4.3. Microsoft Azure 15
      4.3.1. ¿Qué es Microsft Azure? 15
      4.3.2. ¿Qué es Microsoft Azure IoT? 15
      4.3.3. Componentes de Arquitectura Azure IoT 15
      4.3.4. Visualización de datos y acceso móvil 16
      4.3.5. Ventajas de Azure IoT para el Monitoreo Industrial 16
5. DISEÑO METODOLÓGICO 18
   5.1. Enfoque del Proyecto 18
   5.2. Diseño del Proyecto 19
      Fase 1: Identificación de Requerimientos del Sistema 19
      Fase 2: Análisis Técnico 19
      Fase 3: Modelado del Sistema de Control 20
      Fase 4: Análisis Económico 20
   5.3. Técnicas y Métodos 20
   5.4. Materiales y Recursos 24
6. DESARROLLO DEL PROYECTO 25
   6.1. Descripción y Contexto General 25

6.2. Capítulo I: Identificación de Requerimientos 27
6.2.1. Análisis de la Situación Operativa Actual 27
6.2.2. Identificación de Sistemas "Ciegos" y Limitaciones de Hardware 27
6.2.3. Clasificación y Definición de Variables de Monitorización 28
6.2.4. Requerimientos Funcionales del Sistema 30
6.3. Capítulo II: Solución y Viabilidad Técnica 31
6.3.1. Selección y Especificación del Hardware 31
6.3.2. Diseño de la Arquitectura de Adquisición en Paralelo 32
6.3.3. Esquema de Conexión y Distribución en Gabinete 34
6.3.4. Conexión de Interfaz PLC-Router 34
6.3.4.1. Configuración de la Red de Área Local 35
6.3.4.2. Flujo de Datos y Gestión del Ancho de Banda 36
6.3.5. Estimación de Costos de Hardware 36
6.4. Capítulo III: Viabilidad Técnica Para La Integración PLC S7-1200-Azure IoT 37
6.4.1. Evaluación de Arquitecturas de Comunicación 38
6.4.2. Conclusión del Análisis Comparativo de Alternativas de Integración 44
6.5. Capítulo IV: Análisis Comparativo de Costos de la Arquitectura Propuesta 47
6.5.1. Comparativa de Costos de Implementación 47
6.5.2. Justificación de la Inversión en la Alternativa C 48
7. CONCLUSIONES 50
8. RECOMENDACIONES 52
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 53
10. ANEXOS 55

Índice de Tablas y Figuras

Tabla 1 Variables de Sistemas No Integrados al SCADA 27
Tabla 2 Variables Críticas Para Monitoreo 29
Tabla 3 Estimación de costos de hardware 36
Tabla 4 Estimación de costos de inversión por alternativa (Valores referenciales en USD) 47

Figura 1 Aerogenerador Modelo Gamesa G8X 5
Figura 2 Rotor y Palas de aerogenerador modelo Gamesa G8X 7
Figura 3 Eje Principal de aerogenerador modelo Gamesa G8X 7
Figura 4 Multiplicadora de aerogenerador modelo Gamesa G8X 8
Figura 5 Eje de Alta velocidad de aerogenerador modelo Gamesa G8X 9
Figura 6 Generador de aerogenerador modelo Gamesa G8X 9
Figura 7 Transformador aerogenerador modelo Gamesa G8X 10
Figura 8 Sistema de freno aerogenerador modelo Gamesa G8X 11
Figura 9 Sistema hidráulico de aerogenerador modelo Gamesa G8X 11
Figura 10 Sistema de orientación de aerogenerador modelo Gamesa G8X 12

1. INTRODUCCIÓN

La energía eólica en Nicaragua es un pilar fundamental en la generación energética a partir de fuentes de energías renovables, concentrada principalmente en el departamento de Rivas, gracias a su ubicación se aprovecha al máximo la alta incidencia del viento en las zonas cercanas al lago Cocibolca. En el país se cuenta con una capacidad instalada de 186.20 MW proveniente de cuatro parques eólicos (ENATREL, 2024) y gracias al desarrollo de diferentes proyectos se ha logrado que aproximadamente el 80% de la generación eléctrica provenga de fuentes renovables.

Como parte de la gestión de estos parques, es importante disponer de un sistema de monitoreo con el cual se tenga una supervisión constante de las variables y sensores que se encuentran instalados en cada turbina eólica; esto aporta muchos beneficios en cuanto a operatividad, rentabilidad y seguridad. Por lo cual, en términos generales, existe un área centralizada de operación y monitoreo donde operadores están 24/7 vigilando la correcta operación del parque e informando ante cualquier anomalía.

El presente trabajo responde una problemática identificada en el parque eólico “EOLO” a partir de necesidades y sugerencias del personal de mantenimiento. Este parque cuenta con un sistema SCADA e interfaces HMI para el monitoreo, control y operación; sin embargo, es importante que, además del personal de control y operaciones, también los técnicos de mantenimiento tengan acceso en todo momento a esta información desde su dispositivo móvil por dos razones principales: 1) El personal de control no siempre brinda respuesta inmediata cuando se le solicita información debido a que también atienden otros parques del corporativo. 2) El personal de mantenimiento requiere visualizar estos datos antes, durante y después de una intervención para un mejor seguimiento y garantizar mantenimientos más eficientes. En este sentido, este documento aborda una propuesta de solución ante dicha problemática. Se analiza la viabilidad para la implementación de un sistema de monitoreo de las principales variables que el técnico requiera visualizar, utilizando Microsoft Azure como plataforma IoT, mejorando los procesos de mantenimiento y obteniendo mayor eficiencia en la atención inmediata de avisos o averías.

2. JUSTIFICACIÓN

El monitoreo remoto y en tiempo real de variables en aerogeneradores es una práctica fundamental para la mejora de la eficiencia operativa y la optimización de los procesos de mantenimiento en parques eólicos. En la actualidad, diversos estudios han destacado los beneficios de la implementación de sistemas de monitoreo en la industria eólica, especialmente en términos de prevención de fallas y reducción de tiempos de inactividad.

La gestión operativa y de mantenimiento en el Parque Eólico EOLO enfrenta actualmente tres limitaciones críticas que restringen la eficiencia de las intervenciones en el campo. En primer lugar, se identifica una centralización en la supervisión que suprime la autonomía técnica del personal en el sitio; es decir, existe una dependencia estricta del Centro de Operaciones de la corporación radicado en Costa Rica para validar las acciones técnicas en las turbinas. Debido a que este personal gestiona múltiples parques de forma simultánea, el flujo de comunicación hacia el técnico experimenta retrasos significativos, imposibilitando la auditoría inmediata de las variables antes y después de cada intervención.

Así mismo, la planta experimenta el fenómeno de "islas tecnológicas" debido a la imposibilidad de modificar el código fuente y la lógica programada en los PLC originales de los aerogeneradores. El parque ha incorporado sistemas periféricos adicionales, sin embargo, los datos de estas tecnologías se encuentran completamente aislados del SCADA central. Esta fragmentación de la información impide el monitoreo de variables de seguridad y lubricación esenciales, obligando al personal a operar a ciegas frente a subsistemas críticos, lo que eleva el riesgo de fallas imprevistas y paros no programados.

La propuesta se fundamenta en analizar diferentes alternativas para una futura implementación basado en la arquitectura del Internet de las Cosas Industrial, utilizando la plataforma en la nube Microsoft Azure IoT. La investigación se concibe como un estudio de ingeniería conceptual que se delimita estrictamente al diseño, evaluación técnica y financiera de diferentes arquitecturas de monitorización.

3. OBJETIVOS

3.1. General

Realizar un análisis de viabilidad para visualizar las principales variables de los aerogeneradores del parque eólico EOLO, ubicado en Rivas, Nicaragua, mediante Microsoft Azure, optimizando los tiempos de respuesta y la autonomía técnica del personal en labores de mantenimiento.

3.2. Específicos

- Identificar los requerimientos y variables de monitorización en tiempo real que son esenciales para el personal de mantenimiento eólico.
- Analizar aspectos técnicos del sistema de monitoreo, evaluando confiabilidad, escalabilidad, consumo energético y condiciones ambientales.
- Realizar un análisis comparativo mediante la estimación de costos de implementación entre diferentes alternativas.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Energía Eólica

4.1.1. Concepto de energía eólica

La energía eólica es una fuente de energía renovable que se obtiene a partir de la energía que producen los aerogeneradores o las turbinas eólicas gracias a la fuerza del viento, convirtiendo la energía cinética del viento en energía mecánica y eléctrica. Es la más eficiente de todas las energías renovables, ya que su impacto ambiental es muy bajo si la comparamos con el resto de las energías.

Según Burgos (2019), en el aprovechamiento energético del viento, las máquinas eólicas permiten resolver, desde aplicaciones de pequeña potencia para bombeo de agua o electrificación rural (máquinas de pequeña potencia), hasta parques eólicos (instalaciones de gran potencia) conectados a la red eléctrica.

4.1.2. Energía eólica en Nicaragua (contexto general)

La matriz energética eólica de Nicaragua se concentra principalmente en el istmo de Rivas, con cuatro parques: Amayo, Eolo, Blue Power, Alba Vientos sumando alrededor de 186 MW, aportando significativamente a una matriz que busca ser más renovable, con la eólica representando entre un 10% y 25% de la generación total, y con planes de expansión a otras zonas como Jinotega y Estelí con apoyo de China para aumentar su capacidad y reducir dependencia fósil.

La energía eólica en el país representa una de las fuentes claves en la transición de Nicaragua hacia una matriz más limpia, junto con la geotérmica, hidroeléctrica y solar.

4.2. Aerogeneradores

4.2.1. Definición y Funcionamiento

Un aerogenerador (ver figura 4.2.1) es básicamente una máquina que transforma la energía del viento en energía eléctrica, siendo el dispositivo principal que se utiliza en los parques eólicos para producir electricidad de forma renovable. Es la evolución tecnológica de los antiguos molinos de viento, pero en lugar de moler grano, producen electricidad para hogares e industrias (Standford,2025).

Figura 4.2.1

Aerogenerador modelo Gamesa G8X



Nota. Adaptado de Manual de Mantenimiento Aerogenerador G8X, GAMESA

El funcionamiento de un aerogenerador sigue estos pasos fundamentales:

1. **Captación:** El viento hace girar las palas (aspas), que tienen un diseño aerodinámico similar al ala de un avión para aprovechar la fuerza del aire.
2. **Transmisión:** Las palas están unidas a un eje que gira a su misma velocidad (eje lento).
3. **Multiplicación:** Como el eje gira muy lento para generar electricidad eficiente, este se conecta a una caja multiplicadora que aumenta la velocidad de giro más de 100 veces.
4. **Generación:** Ese movimiento rápido llega al generador, donde se transforma la energía mecánica en energía eléctrica.
5. **Transformación:** La energía generada es elevada de media a alta tensión por un transformador principal ubicado dentro de la góndola del aerogenerador.
6. **Distribución:** La electricidad baja por cables por el interior de la torre hasta la subestación, que eleva la tensión para enviarla a la red eléctrica.
7. **Velocidad Nominal y Potencia Nominal (Rated Power**): Es el punto donde la turbina alcanza su máximo diseño. En la G8X. A 12 m/s, la turbina llega a sus 2.0 MW (2000 kW). Aunque el viento sople más fuerte, la turbina no producirá más de 2 MW para proteger el generador y la multiplicadora.

4.2.2. Componentes Principales

La información que se aborda en este apartado es de acuerdo con los manuales de mantenimiento del parque eólico EOLO, ya que el estudio de este trabajo se realizará en los aerogeneradores de este parque; por lo cual, los componentes que se mencionan son propiamente de este modelo de máquinas.

Los aerogeneradores de EOLO son del modelo Gamesa G8X-2.0 MW con tipo de rotor tripala a barlovento y producen una potencia nominal de 2 MW. La plataforma está formada por 4 modelos de aerogenerador con diámetros de rotor de 80m, 83m, 87m, y 90m, siendo el resto de los componentes mecánicos, eléctricos y de control comunes a todos ellos. Los diferentes modelos están diseñados para operar en diferentes condiciones de viento.

A continuación, se realizará una descripción de los principales componentes de los aerogeneradores de la plataforma Gamesa G8X-2.0 MW:

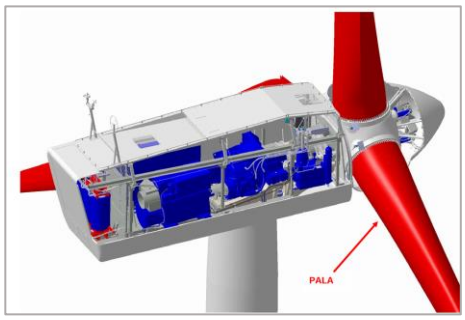
- ***El Rotor y las Palas***

Es la parte frontal del aerogenerador, encargada de capturar la energía cinética del viento.

a. ***Palas (Aspas):*** Fabricadas generalmente de fibra de vidrio o carbono. Tienen un diseño aerodinámico que genera sustentación para girar.
b. ***Buje (o Hub):*** Es la pieza central donde se unen las tres palas. Conecta el rotor con el eje principal.
c. ***Sistema de "Pitch" (Cambio de paso):*** Un mecanismo dentro del buje que gira las palas sobre su propio eje para ajustar el ángulo de ataque según la fuerza del viento.

Figura 4.2.2.1

Rotor y Palas de aerogenerador modelo Gamesa G8X



Nota. Adaptado de Manual de Mantenimiento Aerogenerador G8X,GAMESA

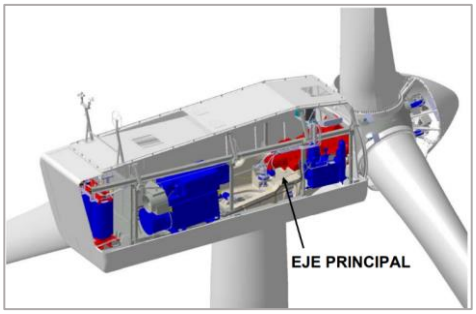
- ***Eje principal***

Conectado directamente al rotor, gira a la misma velocidad que las palas. La transmisión del par motor que provoca el viento sobre el rotor hasta la multiplicadora se realiza a través del eje principal.

El eje se une al buje mediante una brida atornillada y está apoyado sobre 2 rodamientos alojados en soportes fundidos. La unión con la entrada de baja velocidad de la multiplicadora se consigue con un collarín cónico de apriete que transmite el par por fricción.

Figura 4.2.2.2

Eje Principal de aerogenerador modelo Gamesa G8X



Nota. Adaptado de Manual de Mantenimiento Aerogenerador G8X GAMESA

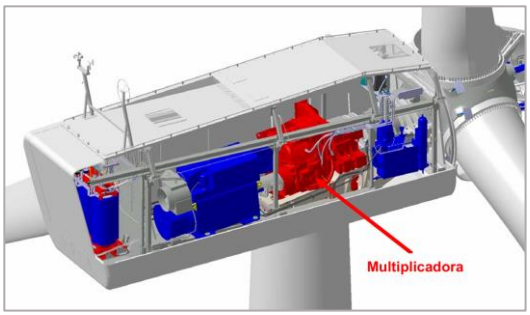
- ***Multiplicadora***

Un sistema de engranajes esencial que aumenta la velocidad de giro a 120 veces para que el generador pueda funcionar. La multiplicadora se compone de 3 etapas combinadas, una planetaria y dos de ejes paralelos. El dentado de la multiplicadora está diseñado para obtener una máxima eficiencia junto con un bajo nivel de emisión de ruido y vibraciones.

Como resultado de la relación de multiplicación, parte del par de entrada es absorbido por los brazos de reacción. Estos brazos de reacción fijan la multiplicadora al bastidor por medio de amortiguadores que minimizan la transmisión de vibraciones.

Figura 4.2.2.3

Multiplicadora de aerogenerador modelo Gamesa G8X



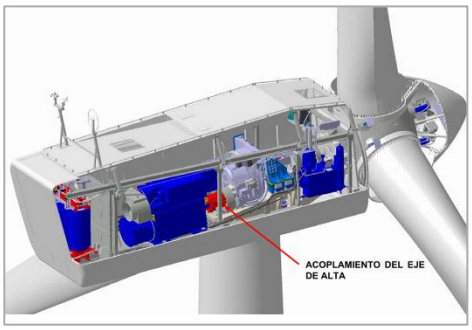
Nota. Adaptado de Manual de Mantenimiento Aerogenerador G8X,GAMESA

- ***Eje de Alta Velocidad***

Transmite el movimiento rápido desde la multiplicadora al generador, incluyendo un freno mecánico de emergencia. El eje de alta velocidad está unido al generador por medio de un acoplamiento flexible con limitador de par que evitas sobrecargas en la cadena de transmisión.

Figura 4.2.2.4

Eje de Alta velocidad de aerogenerador modelo Gamesa G8X



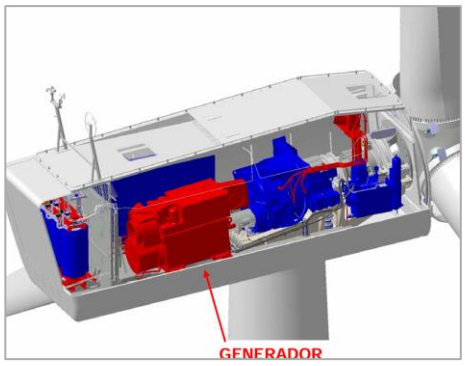
Nota. Adaptado de Manual de Mantenimiento Aerogenerador G8X,GAMESA

- ***Generador***

Es el componente eléctrico más importante, convierte la energía mecánica de rotación en corriente eléctrica alterna mediante campos magnéticos. El generador es del tipo asíncrono doblemente alimentado con 4 polos, rotor bobinado y anillos rozantes. Es altamente eficiente y está refrigerado por un intercambiador aire-aire. El sistema de control permite trabajar con velocidad variable mediante el control de la frecuencia de las intensidades del rotor.

Figura 4.2.2.5

Generador de aerogenerador modelo Gamesa G8X



Nota. Adaptado de Manual de Mantenimiento Aerogenerador G8X,GAMESA

Transformador

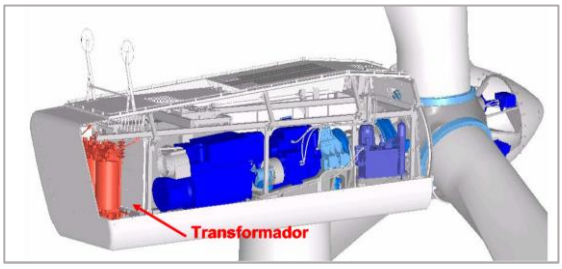
Ubicado en el interior de la góndola, eleva el voltaje de la electricidad generada para reducir pérdidas durante su transporte.

El transformador es del tipo trifásico, seco encapsulado, con diferentes opciones de tensión de salida entre 6,6kV y 34,5 kV, diferentes rangos de potencia aparente y está especialmente diseñado para aplicaciones eólicas.

Está situado en la parte trasera de la góndola en un compartimento separado por una pared metálica que lo aísla térmica y eléctricamente del resto de componentes de la góndola. Al ser del tipo seco, el riesgo de incendio es mínimo. Además, el transformador incluye todas las protecciones necesarias para evitar daños como detectores de arco y fusibles de protección.

Figura 4.2.2.6

Transformador aerogenerador modelo Gamesa G8X



Nota. Adaptado de Manual de Mantenimiento Aerogenerador G8X,GAMESA

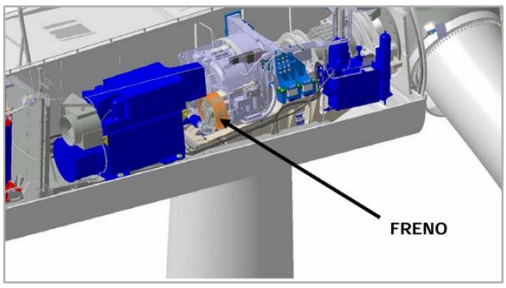
- ***Sistema de Freno***

El freno principal del aerogenerador es del tipo aerodinámico por puesta en bandera de las palas. Al ser el sistema de pitch independiente para cada una de las palas, se cuenta con un sistema de seguridad con triple redundancia.

El freno mecánico está compuesto por un freno de disco, hidráulicamente activado que se monta a la salida del eje de alta velocidad de la multiplicadora. Este freno mecánico se utiliza únicamente como freno de aparcamiento o en caso de aplicación de una seta de emergencia.

Figura 4.2.2.7

Sistema de freno aerogenerador modelo Gamesa G8X



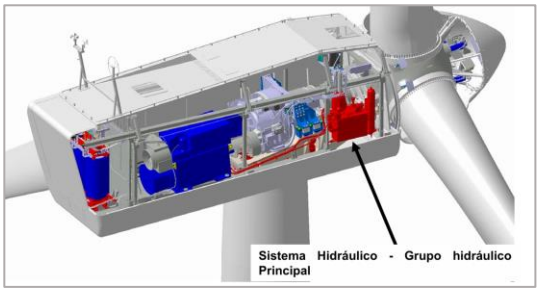
Nota. Adaptado de Manual de Mantenimiento Aerogenerador G8X, GAMESA

- ***Sistema hidráulico***

El sistema hidráulico proporciona aceite presurizado a los 3 actuadores independientes de pitch, al freno mecánico del eje de alta velocidad y al sistema de freno del sistema de orientación. Incorpora un sistema failsafe que asegura el nivel de presión y caudal de aceite necesarios en caso de ausencia de corriente para activar los cilindros de pitch de las palas, el freno de disco y el freno del sistema de orientación llevando al aerogenerador a un modo seguro.

Figura 4.2.2.8

Sistema hidráulico de aerogenerador modelo Gamesa G8X



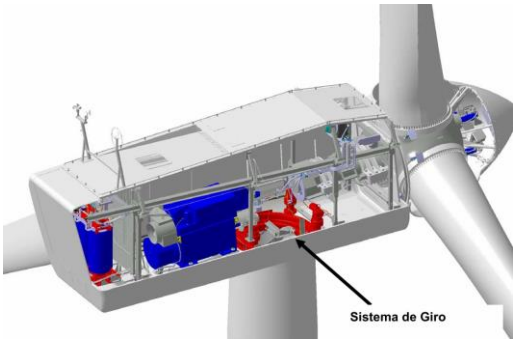
Nota. Adaptado de Manual de Mantenimiento Aerogenerador G8X, GAMESA

- ***Sistema de orientación Gamesa ActiveYaw***

El sistema de orientación Gamesa ActiveYaw permite el giro de la góndola alrededor del eje de la torre. Es del tipo activo y consiste en cuatro motorreductoras accionadas eléctricamente por el sistema de control del aerogenerador de acuerdo con la información recibida de los anemómetros y veletas colocados en la parte superior de la góndola. Los motores del sistema de orientación hacen girar los piñones del sistema de giro, los cuales engranan con los dientes de la corona de orientación montada en la parte superior de la torre produciendo el giro relativo entre nacelle y torre.

Figura 4.2.2.9

Sistema de orientación de aerogenerador modelo Gamesa G8X



Nota. Adaptado de Manual de Mantenimiento Aerogenerador G8X, GAMESA

4.2.3. Variables Críticas en Aerogeneradores

Existen diferentes tipos de sensores y sistema de medición que, en conjunto con el sistema de control, ayudan conocer el valor de muchas variables presentes en la turbina eólica. Los sensores son fundamentales para la medición de variables, el control del sistema y el mantenimiento predictivo. A continuación, se enumeran los más críticos:

- **Variables Ambientales:** Estas permiten caracterizar el recurso eólico y optimizar la operación. Los sensores que miden estas variables son el anemómetro (mide la velocidad del viento y se ubica en la parte superior externa de la góndola) y la Veleta (mide la dirección del viento, ubicada junto al anemómetro).

- **Variables Eléctricas:** Monitorean la generación y calidad de energía.

a) Sensores de voltaje

b) Sensores de corriente

c) Sensores de potencia y energía

Ubicación: generador, convertidores, tablero eléctrico.

- **Variables Mecánicas**: Supervisan el estado físico y estructural del aerogenerador.

a) Sensores de vibración: detectan desbalance, desgaste y fallas mecánicas.

   Se ubican principalmente en la multiplicadora, generador, rodamientos.

b) Sensores de temperatura: controlan el calentamiento de componentes. Se ubican en rodamientos, generador caja multiplicadora, eje, armarios eléctricos, etc. Ejemplo: PT100, PT1000 y termistores.

c) Sensores de velocidad de rotación: Miden las RPM del eje o generador.

d) Sensores del Sistema de Control**:** Son los que aseguran la operación automática del aerogenerador. Estos incluyen sensores de posición y ángulo de pitch de las palas, así como sensores de posición yaw (orientación de la góndola). Ejemplo: encoders absolutos o incrementales.

e) Sensores hidráulicos y de lubricación: Supervisan sistemas auxiliares e hidráulicos que corresponden al sistema yaw y pitch. Estos pueden ser sensores de presión y nivel de aceite.

4.2.4. Importancia de medir variables en un aerogenerador

La medición de variables en un aerogenerador va más allá de fines estadísticos y de reportes; es la base para extender el tiempo de vida de los componentes, la máquina sea rentable y funcione de forma autónoma. Con lo cual, trae consigo los siguientes beneficios.

- **Detección temprana de fallas**

La monitorización continua de variables mecánicas y eléctricas permite identificar anomalías antes de que se conviertan en fallas graves, como desgaste de rodamientos, desalineaciones o sobrecalentamientos, evitando paradas inesperadas.

- **Implementación de mantenimiento predictivo**

Al analizar tendencias de variables como vibración, temperatura y velocidad, es posible predecir fallas, programar intervenciones oportunas y reducir costos asociados al mantenimiento correctivo.

- **Incremento de la vida útil del aerogenerador**

La medición constante ayuda a operar el equipo dentro de rangos seguros, reduciendo esfuerzos mecánicos excesivos y retrasando el deterioro de componentes críticos como la caja multiplicadora y el generador.

- **Reducción de costos operativos**

Detectar problemas en etapas iniciales evita reparaciones mayores, disminuye tiempos de inactividad y reduce costos logísticos, especialmente importantes en parques eólicos ubicados en zonas remotas.

- **Mejora de la seguridad operacional**

La supervisión de variables estructurales y mecánicas contribuye a prevenir fallas catastróficas que puedan poner en riesgo al personal de operación y mantenimiento.

- **Integración con sistemas IoT**

La medición de variables es la base para sistemas IoT, que permiten monitoreo remoto, análisis en tiempo real y generación de alertas, mejorando la gestión integral del parque eólico.

- **Aumento de la disponibilidad del aerogenerador**

Al minimizar paradas no planificadas, se incrementa el factor de disponibilidad, lo que se traduce en mayor producción de energía y mejor rentabilidad del parque.

4.3. Microsoft Azure

4.3.1. ¿Qué es Microsft Azure?

Microsoft Azure es una plataforma de computación en la nube (Cloud Computing) que ofrece más de múltiples productos y servicios diseñados para ayudar a las organizaciones a construir, ejecutar y gestionar aplicaciones a través de una red global de centros de datos administrados por Microsoft (Arbentia, 2025).

En el contexto de esta investigación, Azure, además de ser un sitio donde guardar los datos, es una herramienta de procesamiento poderosa que permite convertir la telemetría de las turbinas en decisiones operativas.

4.3.2. ¿Qué es Microsoft Azure IoT?

Es un conjunto de servicios de plataforma (PaaS) y aplicaciones (SaaS) diseñados para conectar, supervisar y controlar miles de millones de activos de IoT (Dynatech, 2023). En el contexto industrial, permite que los dispositivos físicos, en este caso los sensores de un aerogenerador, envíen datos a la nube para su análisis y reciban comandos de vuelta para ajustar su funcionamiento.

4.3.3. Componentes de Arquitectura Azure IoT

1. Azure IoT Hub (El Núcleo)

Es el servicio central que actúa como un concentrador de mensajes bidireccional. Permite el envío de telemetría (datos de sensores) y que la nube envíe comandos (por ejemplo, "detener la turbina por alerta de tormenta").

2. Azure Digital Twins (Gemelos Digitales)

Es un servicio que permite crear modelos lógicos que replican estructuras físicas. En aerogeneradores se podría crear una réplica virtual de cada turbina que refleje no solo sus datos actuales, sino también sus relaciones con otros componentes (transformadores, red eléctrica) y su historial de desgaste.

3. Azure IoT Central (La Capa de Aplicación)

Es una plataforma de aplicaciones (SaaS) que simplifica la creación de soluciones IoT mediante plantillas preconfiguradas. Permite visualizar dashboards con

gráficos de potencia, velocidad y alertas de mantenimiento sin necesidad de programar toda la infraestructura desde cero.

4.3.4. Visualización de datos y acceso móvil

Una de las principales ventajas de Microsoft Azure IoT es la capacidad de visualizar datos en tiempo real mediante paneles interactivos accesibles desde cualquier lugar con conexión a internet. Estos paneles pueden ser personalizados para mostrar únicamente las variables relevantes para el personal de mantenimiento, facilitando la interpretación de la información y mejorando la eficiencia en las intervenciones técnicas.

El acceso a la información desde dispositivos móviles permite que los técnicos de mantenimiento puedan consultar el estado de los aerogeneradores antes, durante y después de una intervención, sin depender exclusivamente del personal de control o de las estaciones fijas de monitoreo. Esta característica responde directamente a las necesidades identificadas en el parque eólico EOLO.

4.3.5. Ventajas de Azure IoT para el Monitoreo Industrial

La utilización de Microsoft Azure IoT en sistemas de monitoreo industrial presenta múltiples ventajas, entre las cuales se destacan:

- ✓ ***Escalabilidad:*** permite aumentar el número de dispositivos conectados sin afectar el rendimiento del sistema.
- ✓ ***Alta disponibilidad y confiabilidad:*** fundamentales para infraestructuras críticas como los parques eólicos.
- ✓ ***Seguridad:*** Cuenta con mecanismos de autenticación, cifrado de datos y control de accesos.
- ✓ ***Integración:*** Se puede integrar a sistemas existentes, como SCADA y bases de datos industriales.
- ✓ ***Acceso remoto en tiempo real:*** esto mejora la capacidad de respuesta del personal de mantenimiento.

En consecuencia, Microsoft Azure IoT se presenta como una plataforma adecuada para evaluar la viabilidad de un sistema de monitoreo de variables en

aerogeneradores, alineándose con los requerimientos técnicos, operativos y económicos planteados en la presente investigación.

5. DISEÑO METODOLÓGICO

5.1. Enfoque del Proyecto

El enfoque de esta investigación es mixto ya que está basado en aspectos cuantitativos y cualitativos. Cuantitativo para medir variables técnicas como latencia, costos, precisión de sensores y cualitativo para entender la experiencia del usuario basado en las necesidades del personal de mantenimiento investigación

Exploratorio

La investigación, en primer lugar, es de tipo exploratorio ya que primeramente se observó e identificó una problemática en el sector eólico, sirviendo este tipo de investigación como pauta para realizar otros tipos de investigaciones

Documental

Dado que se ha investigado en diferentes fuentes bibliográficas lo que han hecho otros autores en esta misma área de interés y se han revisado guías y procedimientos para la monitorización de variables con azure, la investigación también es de tipo documental.

Aplicada

Es investigación aplicada porque se busca aplicar conocimientos, procedimientos y estrategias para resolver un problema práctico.

Población y Muestra

Población: Los aerogeneradores del parque eólico EOLO y el equipo técnico de mantenimiento.

Muestra: Se tomará como unidad de análisis un aerogenerador representativo para el diseño del sistema IoT preliminar.

5.2. Diseño del Proyecto

Este proyecto se estructura en cuatro fases principales, las cuales se detallan a continuación:

Fase 1: Identificación de Requerimientos del Sistema

En esta etapa se determina qué variables son críticas y de interés visualizar para el personal técnico.

Para esto se realizará una encuesta dirigida al personal de mantenimiento, quienes diariamente realizan labores de mantenimiento, siendo los principales beneficiados de este proyecto. Dicha encuesta se realizará mediante la herramienta "google form" y se dará acceso a los entrevistados a través de un enlace. Las preguntas se muestras en la sección 5.3, en el apartado "Técnicas y Métodos".

Fase 2: Análisis Técnico

El análisis de viabilidad técnica se desarrollará mediante un enfoque evaluativo, orientado a determinar la factibilidad de implementación del sistema propuesto, teniendo en cuenta criterios técnicos importantes, tales como: compatibilidad entre equipos, confiabilidad, escalabilidad y condiciones operativas. Dicho análisis se subdivide en las siguientes subfases:

Fase 2.1: Recolección de información técnica

- Revisión de fichas técnicas
- Análisis de manuales
- Especificaciones del fabricante
- Revisión bibliográfica

Fase 2.2: Análisis Técnico de Hardware

Selección del hardware ideal para el sistema de control y que se adapte mejor a las necesidades del proyecto.

Fase 2.3: Comparación Entre Diferentes Modos de Implementación

Se realizará análisis comparativo de alternativas tecnológicas que permitan la medición y control de las variables, así como la transmisión confiable, segura y escalable de los datos hacia la nube para determinar la opción más viable.

Fase 3: Modelado del Sistema de Control

En esta etapa se propondrá un modelo para la adquisición de datos de los sensores sin afectar el sistema de control ya existente. En esta fase se realizará:

- Diagrama de bloques de los principales componentes de control.
- Esquema de conexión y distribución de componentes en el gabinete de control.

Fase 4: Análisis Económico

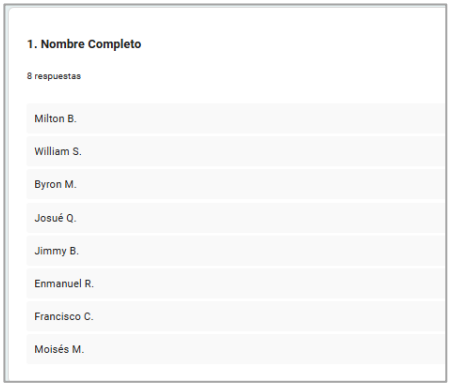
El análisis de viabilidad económica se desarrollará principalmente mediante un proceso de comparación de costos y beneficios entre diferentes alternativas de implementación asociados al proyecto. En este eso sentido, se derivan las siguientes etapas:

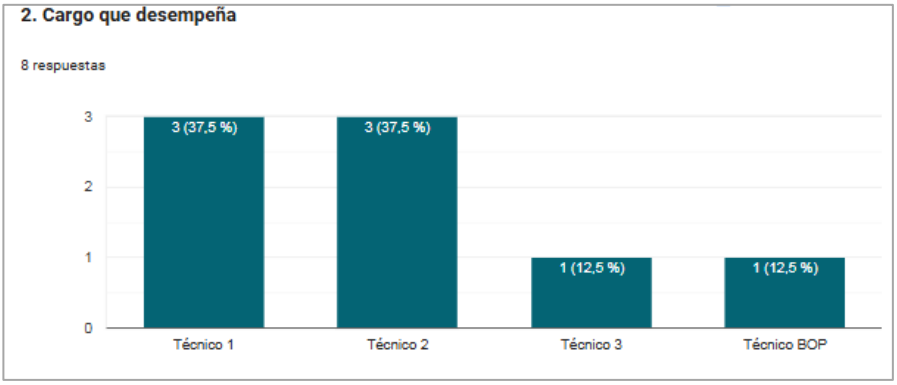
- Definición de alternativas de implementación
- Identificación de costos por alternativa
- Estimación de los beneficios por alternativa
- Elaboración de tabla comparativa

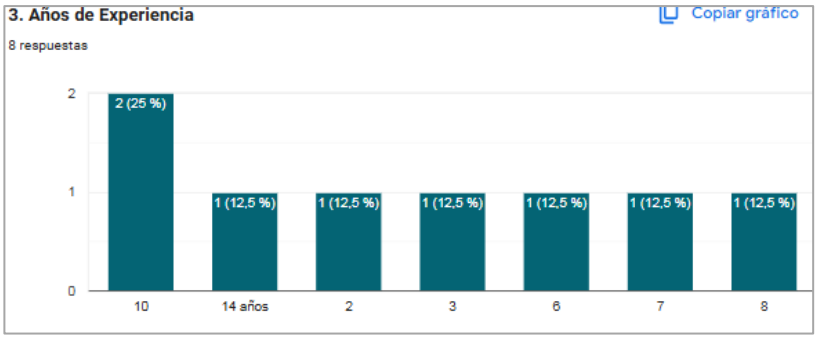
5.3. Técnicas y Métodos

Se realizará revisión de manuales técnicos disponibles en la empresa, fichas técnicas de equipos, artículos científicos, trabajos o tesis orientados en esta línea investigativa y documentación oficial de los fabricantes disponible en internet.

Para la fase 1, descrita anteriormente se realizó una encuesta al personal de mantenimiento, con el fin de conocer sus necesidades diarias en labores de mantenimiento. A continuación, se muestran los resultados de la encuesta:



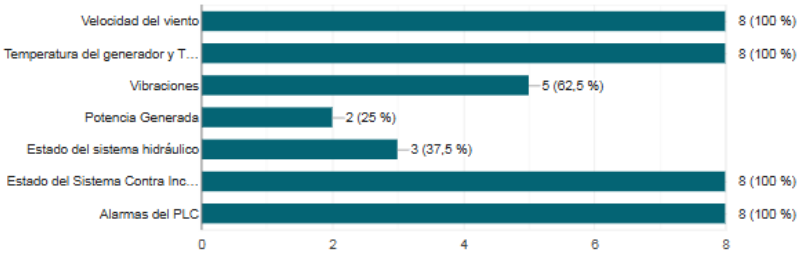




4. ¿Cuáles de las siguientes variables considera críticas para el monitoreo en tiempo real?

(Marque las que considere necesarias)

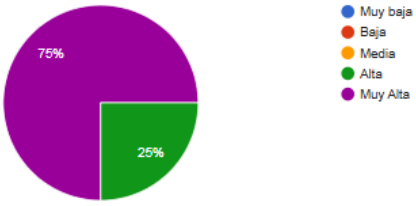
8 respuestas



5. Indique la importancia del acceso a herramientas para el monitoreo en tiempo real en su labor desde su propio dispositivo

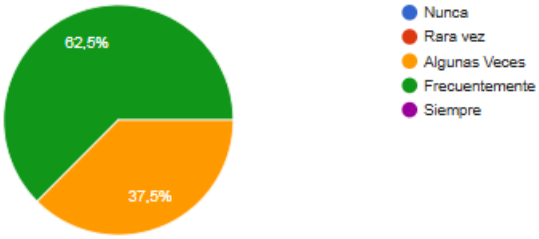
Copiar gráfico

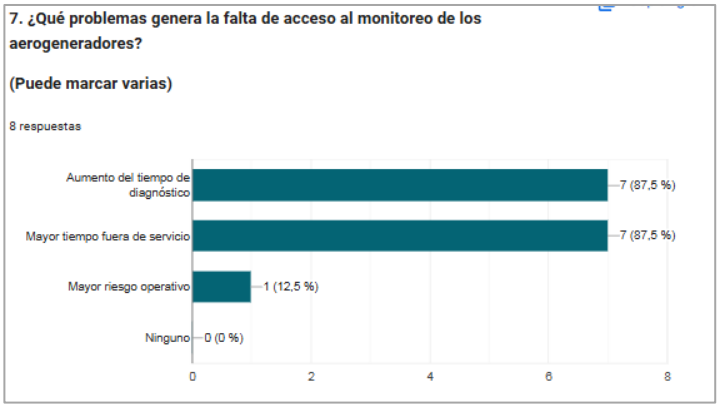
8 respuestas

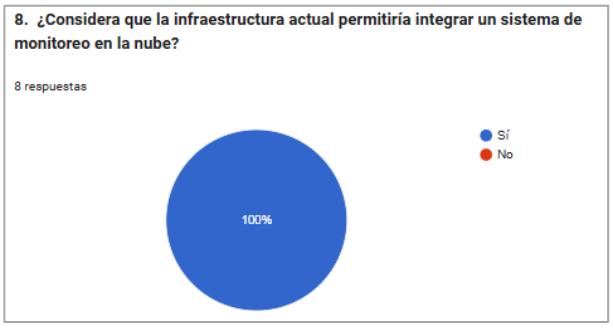


6. ¿Con qué frecuencia enfrenta retrasos por falta de información en tiempo real?

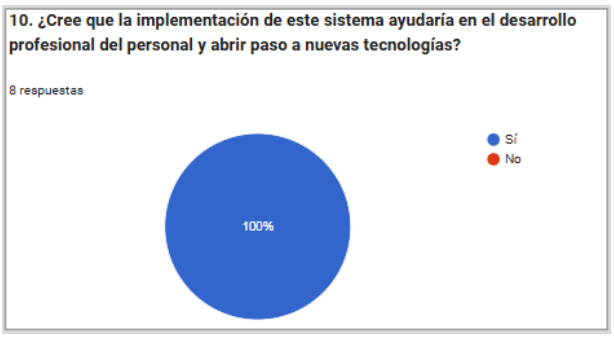
8 respuestas




7. ¿Qué problemas genera la falta de acceso al monitoreo de los aerogeneradores?
(Puede marcar varias)
8 respuestas
Aumento del tiempo de diagnóstico
7 (87,5 %)
Mayor tiempo fuera de servicio
7 (87,5 %)
Mayor riesgo operativo
1 (12,5 %)
Ninguno
0 (0 %)
0
2
4
6
8


8. ¿Considera que la infraestructura actual permitiría integrar un sistema de monitoreo en la nube?
8 respuestas
Sí
No
100%


9. ¿Considera que el monitoreo remoto reduciría los tiempos de respuesta ante fallas?
8 respuestas
Sí
No
100%


10. ¿Cree que la implementación de este sistema ayudaría en el desarrollo profesional del personal y abrir paso a nuevas tecnologías?
8 respuestas
Sí
No
100%

5.4. Materiales y Recursos

Para el desarrollo del presente análisis, se necesita una combinación de recursos que van desde el acceso a hardware de las turbinas hasta herramientas de software en la nube. Dado que este trabajo es un análisis de viabilidad, basta con identificarlos y, en algunos casos, simularlos.

Se requieren recursos de computación en la nube proporcionados por Microsoft Azure, herramientas de visualización de datos (Power BI) y el acceso a la infraestructura operativa del Parque Eólico EOLO. La viabilidad técnica se evaluará mediante el uso de hardware de referencia industrial compatible con los estándares de IoT actuales.

6. DESARROLLO DEL PROYECTO

6.1. Descripción y Contexto General

La presente propuesta basada en monitorización mediante Microsoft Azure IoT en el parque Eólico EOLO, se fundamenta en la necesidad de superar tres problemáticas críticas identificadas en la operación diaria del parque, las cuales limitan la autonomía técnica y la capacidad de supervisión preventiva. Estas se mencionan a continuación:

1. Descentralización de la Supervisión y Autonomía Técnica

Actualmente, existe una dependencia crítica del Centro de Operaciones de la corporación para la validación de intervenciones técnicas. Debido a que este centro gestiona múltiples parques de forma simultánea, el flujo de información hacia el técnico en campo no es inmediato.

Se propone una solución que otorgue autonomía al técnico, permitiéndole auditar el comportamiento de las variables críticas antes y después de una intervención directamente desde el aerogenerador, sin saturar ni depender de la disponibilidad del personal del Centro de Operaciones radicado en Costa Rica.

2. Análisis de Tendencias de Variables en un Determinado Tiempo

Muchas veces el técnico requiere realizar un seguimiento continuo de una variable específica en un intervalo de tiempo para evaluar su comportamiento después de un mantenimiento o corrección de averías.

La arquitectura en Azure facilitará la visualización de series temporales y tendencias históricas inmediatas, permitiendo diagnósticos más precisos sobre el rendimiento de componentes específicos bajo condiciones variables de carga y viento.

3. Integración de Sistemas Periféricos

El parque ha incorporado tecnologías de última generación, como sistemas de supresión de incendios y lubricación automática de rodamientos de pala y eje lento, que actualmente funcionan como "islas tecnológicas" debido a la imposibilidad de modificar el código fuente y la programación de los PLC originales de los

aerogeneradores, es decir estas variables de estos sistemas no están integradas al SCADA central.

Es importante destacar que el sistema de control actual de los aerogeneradores fue diseñado e implementado en el año 2006. Esta infraestructura, basada en hardware y PLCs de hace dos décadas, presenta dos limitaciones críticas que este proyecto busca resolver:

Incompatibilidad con Nuevas Tecnologías: Los controladores de 2006 carecen de las interfaces de comunicación modernas (como protocolos MQTT o integración nativa a la nube) necesarias para el Internet de las Cosas (IoT). Además, al ser sistemas con casi 20 años de antigüedad, el acceso a su programación y código fuente está restringido por el fabricante y por el riesgo que implica alterar una lógica de control ya obsoleta pero funcional para la operación del parque.

Integración de Sistemas Periféricos Modernos: Recientemente, se han incorporado sistemas de supresión de incendios y lubricación automática de última generación. Debido a la brecha tecnológica entre el sistema de control antiguo del aerogenerador y estos nuevos sistemas, no es posible integrarlos al SCADA principal.

Para evitar intervenir el hardware antiguo y mitigar riesgos operativos, el proyecto propone la instalación de un PLC secundario de arquitectura moderna. Este actuará de forma independiente y paralela al sistema original de la máquina, recolectando las señales de los sistemas de incendio y lubricación (temperaturas, estados de sensores de humo, niveles de grasa, presión, etc), así como otras variables críticas de interés enviándolas directamente a la nube de Azure IoT. De este modo, se logra una integración de datos sin alterar la programación crítica del fabricante del aerogenerador.

En este sentido, a continuación, se desarrollan las etapas en las cuales se describe y detalla el paso a paso de cómo se llevará a cabo este proyecto:

6.2. Capítulo I: Identificación de Requerimientos

6.2.1. Análisis de la Situación Operativa Actual

Tal como se mencionó en la sección anterior, existen algunas brechas operativas y de hardware que limitan la eficiencia y el buen mantenimiento del parque, tales como:

Dependencia del Centro de Control: Actualmente, el técnico en campo es "ciego" respecto a la telemetría en tiempo real. Para verificar si una reparación fue exitosa o para monitorear una variable antes de subir a la góndola, debe comunicarse vía telefónica con el Centro de Operaciones corporativo.

Saturación del Canal: Dado que el Centro de Operaciones gestiona otros parques de la corporación, existe un tiempo de espera que retrasa las intervenciones y aumenta el tiempo de inactividad del aerogenerador

6.2.2. Identificación de Sistemas "Ciegos" y Limitaciones de Hardware

En esta etapa se realizó un levantamiento de las variables de los sistemas que no están integrados al SCADA original diseñado en 2006. En la tabla 6.2.2 se describen estos sistemas con sus variables correspondientes:

Tabla 6.2.2.

Variables de Sistemas No Integrados al SCADA

Ubicación	Sistema	Variables	Tipo de Señal
Góndola	Supresor Contra Incendios en Puntos Críticos de la Nacelle	Temperaturas	Entrada Analógica
		Estado de sensores de Humo	Entrada Digital
Buje o Cono	Lubricador Automático de Rodamientos de Pala	Estado del sistema	Entrada Digital

Eje Lento	Lubricador Automático de Rodamientos de Eje Lento	Nivel de depósito de grasa	Entrada Digital
		Presión de la bomba	Entrada Digital
Generador	Lubricador Automático de Rodamientos de Eje Lento	Nivel de depósito de grasa	Entrada Digital
		Presión de la bomba	Entrada Digital

El sistema de Supresión de Incendios, instalado recientemente, cuenta con sensores de humo, temperatura y presión de agente extintor, pero sus señales terminan en un panel local en la nacelle (góndola) de la turbina.

El sistema de lubricación automática de rodamientos de eje lento inyecta grasa cada cierto tiempo (según parámetros configurados) y resulta de interés monitorear los niveles de grasa y ciclos de bombeo. Al no estar conectado al PLC principal, el técnico debe inspeccionarlo físicamente para saber si hay una falla de lubricación; o en algunas ocasiones el fallo se identifica hasta que se interviene ese aerogenerador por otra causa. Lo mismo sucede con el sistema lubricador de palas y generador.

Se documentó que el controlador actualmente instalado utiliza protocolos cerrados y memoria limitada, lo que impide la modificación de su código fuente para añadir estas nuevas variables; así como su escalabilidad a plataformas IoT. De igual manera no se cuenta con los permisos y el acceso para modificar la programación del mismo.

6.2.3. Clasificación y Definición de Variables de Monitorización

Es importante tener claro cuáles variables son las que se desean visualizar en el dashboard de Azure. Para determinar cuáles son las más críticas y de mayor interés se consideraron aquellas que aseguren la integridad y la correcta operación del aerogenerador; así como variables de control básicas. A continuación, se enumeran junto con las variables de los sistemas mencionados anteriormente:

Tabla 6.2.3.

Variables Críticas Para Monitoreo

Sistema/Origen	Variables	Tipo de Señal	Categoría
Supresor Contra Incendios en Puntos Críticos de la Nacelle	Temperaturas	Entrada Analógica	Seguridad
	Estado de sensores de Humo	Entrada Digital	Seguridad
Lubricador Automático de Rodamientos de Pala	Estado del sistema	Entrada Digital	Mantenimiento
Lubricador Automático de Rodamientos de Eje Lento	Nivel de depósito de grasa	Entrada Digital	Mantenimiento
	Presión de la bomba	Entrada Digital	Mantenimiento
Lubricador Automático de Rodamientos de Eje Lento	Nivel de depósito de grasa	Entrada Digital	Mantenimiento
	Presión de la bomba	Entrada Digital	Mantenimiento
PLC Original (Vía Paralelo)	Velocidad de viento	Entrada Analógica	Operación
PLC Original (Vía Paralelo)	Potencia Activa	Entrada Analógica	Operación
PLC Original (Vía Paralelo)	Presión Grupo Hidráulico	Entrada Analógica	Operación
PLC Original (Vía Paralelo)	Temp. Trafo Fase R	Entrada Analógica	Seguridad
PLC Original (Vía Paralelo)	Temp. Trafo Fase S	Entrada Analógica	Seguridad
PLC Original (Vía Paralelo)	Temp. Trafo Fase T	Entrada Analógica	Seguridad
PLC Original (Vía Paralelo)	Temp. Generador 1	Entrada Analógica	Seguridad

PLC Original (Vía Paralelo)	Temp. Generador 2	Entrada Analógica	Seguridad
PLC Original (Vía Paralelo)	Temp. Generador 3	Entrada Analógica	Seguridad
PLC Original (Vía Paralelo)	Temp. Aceite Gearbox	Entrada Analógica	Seguridad
PLC Original (Vía Paralelo)	Temp. Armario Control DFM	Entrada Analógica	Seguridad

6.2.4. Requerimientos Funcionales del Sistema

Basado en las necesidades del personal, según entrevistas realizadas a técnicos de mantenimiento se definen los requerimientos que el sistema propuesto debe cumplir:

- ***Accesibilidad Ubicua***: El sistema debe permitir la visualización de datos desde cualquier punto con cobertura de red, eliminando la dependencia del Centro de Operaciones.
- ***Seguimiento Temporal***: El sistema debe permitir al usuario seleccionar una variable (ej. temperatura) y observar su comportamiento gráfico en los últimos 30, 60 o 120 minutos.
- ***Notificación de Eventos Críticos:*** Por ejemplo, en caso de activación del sistema contra incendios, el sistema debe disparar una alerta "Push" inmediata al dispositivo móvil del técnico.
- ***Independencia de Control:*** La captura de datos no debe interferir con la lógica de control de generación del PLC originalmente instalado para garantizar la seguridad operativa.

6.3. Capítulo II: Solución y Viabilidad Técnica

En este capítulo se describe la fase de diseño de hardware y comunicaciones. Aquí se explica cómo se combina el sistema de control antiguo con la modernidad de Azure IoT sin causar un fallo en la generación.

6.3.1. Selección y Especificación del Hardware

Para cumplir con los objetivos de escalabilidad y confiabilidad en el entorno de Rivas, se ha seleccionado el PLC Siemens SIMATIC S7-1200 (CPU 1214C DC/DC/DC) (ver figura 6.3.1.1). Se propone este controlador ya que existe una librería oficial de Siemens llamada "Lazure" que permite al PLC conectarse directamente a Azure IoT Hub mediante el protocolo MQTT.

Figura 6.3.1.1.

PLC Siemens SIMATIC S7-1200



Nota. Tomada de https://bit.ly/4asKl5x

Por otra parte, ofrece muchas ventajas como su alta fiabilidad industrial y mucha documentación académica. Soporta Modbus TCP y MQTT para envío de datos hacia Azure.

En el apartado 6.2.3 se muestran las señales que serán monitoreadas. Se observa que se utilizarán 6 entradas digitales y 12 entradas analógicas. Este modelo de PLC trabajando por si solo se limita a ofrecer 2 entradas analógicas y 8 entradas digitales; sin embargo, existe la posibilidad de incorporar un módulo de expansión para disponer de más entradas analógicas. En este caso la opción ideal sería utilizar dos módulos SM 1231 AI 8 (ver figura 6.3.1.2), donde cada módulo proporciona 8 entradas

analógicas adicionales, con lo cual se dejan 4 entradas disponibles para expansiones futuras.

Figura 6.3.1.2.

Módulo de Expansión SM 1231 AI 8



Nota. Tomada de https://bit.ly/4kzpNNu

6.3.2. Diseño de la Arquitectura de Adquisición en Paralelo

Para no intervenir el código del PLC original y evitar riesgos de pérdida de garantía o fallos de seguridad, se implementará un esquema de aislamiento de señales.

En el caso de las señales analógicas como temperatura, viento o potencia se utilizarán aisladores de señal de doble salida. Esto permite que la señal original siga llegando al PLC original mientras una copia idéntica se envía al nuevo PLC Siemens para su envío a la nube.

Para un entorno industrial como un aerogenerador, donde la precisión y la fiabilidad son críticas, no es recomendable hacer un "puente" simple de cables, ya que esto alteraría la impedancia y la precisión de la señal. El modelo recomendado para aislar galvánicamente ambas señales es el MINI MCR-SL-UI-2I de Phoenix Contact, mostrado en la figura 6.3.2.1 Este recibe una señal de entrada (ej. 4-20 mA del sensor) y genera dos señales de salida independientes e aislada.

Figura 6.3.2.1.

MINI MCR-SL-UI-2I-NC – Acondicionador/duplicador de señal de entrada

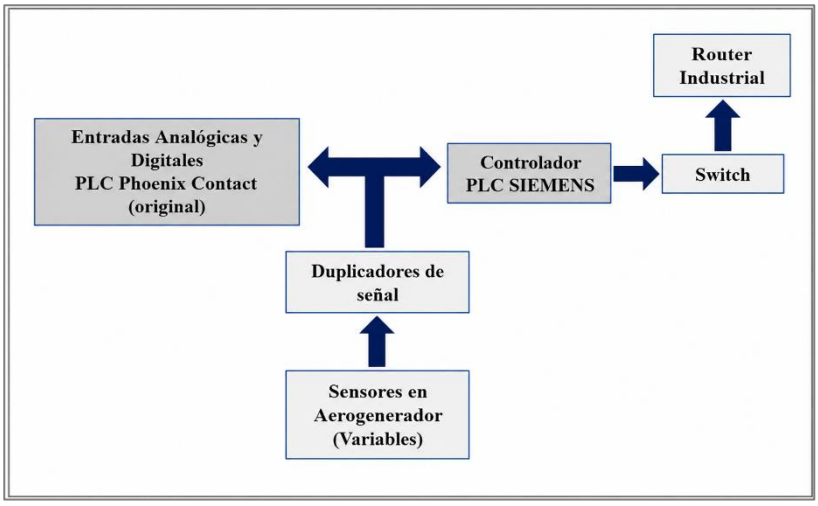


Nota. Tomada de https://bit.ly/4auzKqW

Por otra parte, para las señales digitales (ej. Sistema contra incendio y lubricación) dado que estos sistemas son nuevos y externos al control central, se utilizarán Bases de Relevadores de Acoplamiento. Para describir de una manera más gráfica a continuación se muestra un diagrama de bloques:

Figura 6.3.2.2.

Arquitectura de Adquisición en Paralelo (fuente propia)



6.3.3. Esquema de Conexión y Distribución en Gabinete

Se propone la instalación de un gabinete industrial con grado de protección IP66 dentro de la base de la góndola. El ordenamiento interno se define así:

1. ***Riel DIN Superior***:

- Magnetotérmico bipolar principal.
- Fuente de alimentación 230V AC/24V DC Siemens SITOP PSU100L (24V DC, 5A).
- PLC Siemens y sus dos módulos SM 1231.
- Borneras de distribución de 24V+ y 0V-

2. ***Riel DIN Central:***

    - 12 duplicadores de señal Phoenix Contact y las borneras de conexión de campo.
    - Bases de Relevadores de Acoplamiento para las señales digitales

3. ***Riel DIN Inferior:***

    - Bloques de terminales donde llegan físicamente todos los cables de los sensores de la turbina. Esto permite que el mantenimiento sea sencillo. Si falla un sensor, el técnico ide directamente en estas borneras sin tocar el PLC.

6.3.4. Conexión de Interfaz PLC-Router

Este apartado describe la integración del sistema de control con la red de datos del parque, asegurando que el flujo de información desde los duplicadores de señal llegue de forma eficiente al Router Industrial.

El router a utilizar es el Teltonika RUT240, comparando entre otras opciones en el mercado, este equipo aporta muchas prestaciones y ventajas las cuales soportan la selección de este modelo:

Figura 6.3.4

Router Industrial Teltonika RUT240



Nota. Tomada de https://bit.ly/4qC6RPz

1. Robustez Industrial: A diferencia de un router comercial o doméstico, el RUT240 está diseñado para entornos industriales hostiles como en este caso.

2. Facilidad de Integración con el PLC Siemens: Este router entiende protocolos como Modbus TCP y MQTT, lo que facilita la comunicación con el S7-1200. Así mismo, Ocupa muy poco espacio en el gabinete (menos que el PLC), lo que permite una distribución compacta sobrelos rieles.

3. Estándar de la Industria: Es un equipo ampliamente validado en proyectos de energía renovable a nivel mundial. Al proponerlo en este sistema, el diseño se apega a estándares internacionales de IoT.

6.3.4.1. Configuración de la Red de Área Local

La comunicación física entre el Siemens S7-1200 y el Router Teltonika RUT240 se realizará mediante un enlace Ethernet industrial

Se utilizará cable de par trenzado U/FTP Categoría 6A con blindaje metálico. Este blindaje es crítico dentro de la torre del aerogenerador para proteger los datos de las fuertes interferencias electromagnéticas (EMI) causadas por los cables de potencia.

El PLC se configura con una dirección IP estática dentro de la subred del router, lo que garantiza que este siempre pueda localizar al PLC sin depender de asignaciones dinámicas que podrían fallar tras un apagón.

6.3.4.2. Flujo de Datos y Gestión del Ancho de Banda

Para que las 12 señales analógicas y digitales se transmitan sin saturar el enlace, el PLC gestiona el tráfico de la siguiente manera:

En lugar de enviar un mensaje por cada sensor, el PLC agrupa las 12 lecturas analógicas (presión, temperatura, viento, etc.) y los estados digitales en un solo paquete de datos unificado.

El PLC se programa para enviar datos al router bajo dos premisas: Cada 5 segundos para mantener el historial actualizado y de forma inmediata si una señal sale de los rangos de seguridad parametrizados.

En cuanto a la gestión de la energía, tanto el PLC como el Router se alimentan de la misma fuente SITOP de 24V DC. Esto asegura que, al restablecerse la energía tras un fallo, ambos equipos arranquen simultáneamente, evitando errores de "Time-out" en la red.

6.3.5. Estimación de Costos de Hardware

Basado en la descripción de los componentes descritos anteriormente, a continuación se muestra una tabla con la estimación del costo de los mismos a partir de los precios mostrados en las páginas de los fabricantes:

Tabla 6.3.5

Estimación de costos de hardware

Componente	Fabricante	Costo estimado
PLC S7 1200	SIEMENS	$230
Módulo de Expansión SM 1231 AI 8	SIEMENS	$450
Duplicador de señal de entrada MINI MCR-SL-UI-2I-NC	PHOENIX CONTACT	$100
Router Industrial RUT240	TELTONIKA	$160
Total		**$940**

6.4. Capítulo III: Viabilidad Técnica Para La Integración PLC S7-1200-Azure IoT

Para la implementación de un sistema de monitorización de variables en turbinas eólica mediante Microsoft Azure IoT, es necesario definir el mecanismo de integración entre los controladores lógicos programables (PLC) Siemens S7-1200 y la plataforma en la nube.

El PLC S7-1200 constituye el elemento central de adquisición y control de variables críticas según necesidades expuestas en secciones anteriores. Sin embargo, estos controladores no están diseñados para conectarse de manera directa y nativa a plataformas cloud como Azure IoT Hub bajo esquemas modernos de comunicación segura (MQTT sobre TLS con autenticación basada en certificados).

En consecuencia, se requiere el análisis de alternativas tecnológicas que permitan la transmisión confiable, segura y escalable de los datos hacia la nube. La presente sección evalúa dichas alternativas desde una perspectiva técnica, con el objetivo de determinar la opción más viable para el contexto del Parque Eólico EOLO.

Cabe mencionar El PLC Siemens S7-1200 posee las siguientes capacidades relevantes para la integración:

- Comunicación Ethernet industrial mediante PROFINET.
- Soporte para Modbus TCP (cliente y/o servidor).
- Soporte para OPC UA (en versiones específicas de hardware y firmware).
- Capacidad limitada para implementación directa de protocolos MQTT con seguridad avanzada.

Estas características condicionan las posibles arquitecturas de integración, haciendo necesario el uso de dispositivos intermedios como gateways industriales para la conexión con Microsoft Azure IoT.

6.4.1. Evaluación de Arquitecturas de Comunicación

Para garantizar la transferencia de datos desde la parte de control, es decir, PLC S7-1200 hacia la capa de gestión en la nube (IT) como es Azure, se realizó un estudio comparativo de tres arquitecturas basadas en el controlador SIMATIC S7-1200 y el ecosistema Microsoft Azure IoT Hub.

Alternativa A: Comunicación Nativa vía MQTT (Librería LGF)

La comunicación nativa vía MQTT implica que el PLC actúe directamente como cliente MQTT y publique los datos de proceso hacia Microsoft Azure IoT Hub sin necesidad de un gateway intermedio. Esta arquitectura simplificaría la infraestructura, sin embargo, su viabilidad depende de las capacidades reales del controlador y de los requerimientos de seguridad de Azure.

Puede incluir ciertas ventajas, como integración directa en el PLC sin hardware extra mediante bloques LMQTT_Client oficiales, bajo costo solo con firmware actualizado y ejemplos disponibles de Siemens, además de comunicación bidireccional para telemetría. No obstante, este camino ofrece las siguientes desventajas:

- Alta complejidad de configuración.
- Limitaciones en gestión de certificados y seguridad avanzada.
- Riesgo de exponer directamente el PLC a redes externas.
- Menor escalabilidad.
- Posible impacto en rendimiento del PLC.
- No alineado con buenas prácticas de segmentación de redes industriales (modelo Purdue).

Aunque conceptualmente parece atractiva por la reducción de hardware intermedio, la comunicación nativa vía MQTT desde el PLC S7-1200 hacia Azure IoT presenta limitaciones significativas en cuanto a seguridad, gestión de certificados y alineación con arquitecturas industriales seguras.

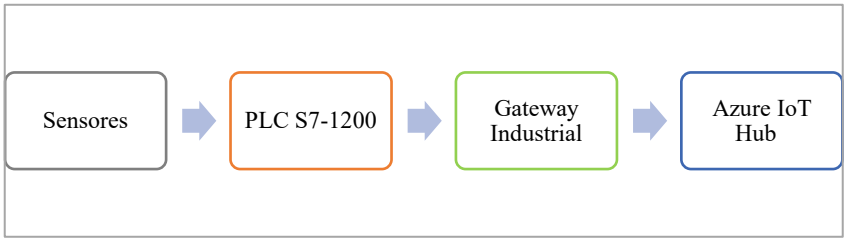
Alternativa B: Arquitectura basada en Gateway Industrial (OPC UA)

En este caso el PLC no se conecta directamente a internet. En lugar de eso, envía sus datos a un equipo intermedio industrial (gateway) que actúa como traductor y protector.

La estructura sería la que se muestra en la figura 6.3.1.b:

Figura 6.4.1.b

Arquitectura basada en Gateway Industrial (OPC UA).(Fuente propia).



En esta arquitectura, el PLC Siemens S7-1200 actúa como servidor OPC UA, exponiendo las variables de proceso relevantes del aerogenerador. Un gateway industrial ubicado dentro de la red operacional (OT) se encarga de:

- ✓ Leer las variables publicadas por el PLC.
- ✓ Estructurar la información.
- ✓ Aplicar mecanismos de cifrado y autenticación.
- ✓ Transmitir los datos hacia Microsoft Azure IoT Hub mediante protocolos seguros.

OPC Unified Architecture (OPC UA) es un estándar de comunicación industrial diseñado para el intercambio seguro y estructurado de información entre dispositivos y sistemas.

A diferencia de protocolos tradicionales que transmiten únicamente valores numéricos, OPC UA permite incorporar metadatos asociados a cada variable, tales como:

- Nombre de la variable.

- Tipo de dato.
- Unidad de medida.
- Estado de calidad del dato.
- Marca temporal (timestamp).

Esta capacidad de modelado estructurado facilita la integración con plataformas de análisis en la nube como Azure, permitiendo una interpretación contextual de los datos y mejorando su utilidad para aplicaciones de monitoreo avanzado y mantenimiento predictivo.

Adicionalmente, OPC UA incorpora mecanismos de seguridad basados en:

- ✓ Cifrado de extremo a extremo.
- ✓ Autenticación mediante certificados digitales.
- ✓ Control de acceso por roles.

Estas características lo convierten en un protocolo alineado con los requerimientos actuales de ciberseguridad industrial.

Desde el punto de vista técnico, esta alternativa presenta las siguientes ventajas:

- ✓ Alto nivel de seguridad basado en certificados digitales.
- ✓ Cumplimiento de buenas prácticas de segmentación de red industrial.
- ✓ Escalabilidad para integración futura con herramientas de analítica avanzada.
- ✓ Compatibilidad con arquitecturas de mantenimiento predictivo.
- ✓ Robustez adecuada para entornos industriales críticos.
- ✓ Capacidad de operación continua 24/7.

Estas características la hacen particularmente adecuada para infraestructuras energéticas, donde la disponibilidad operativa es importante.

Desventajas y Consideraciones

Si bien la arquitectura basada en gateway industrial con OPC UA e integración a Azure IoT Edge presenta un alto nivel de robustez y seguridad, su implementación implica ciertos desafíos técnicos, económicos y operativos que deben ser considerados dentro del análisis de viabilidad.

a) Mayor Inversión Inicial

- La implementación de esta alternativa requiere la adquisición de:
- Gateway industrial compatible con Azure IoT Edge.
- Licencias asociadas (según fabricante).
- Infraestructura de red segura.
- Posibles actualizaciones de firmware del PLC para habilitar OPC UA.

En comparación con soluciones más simples (por ejemplo, uso de PC estándar o conversores básicos), el costo inicial puede ser significativamente mayor. Esta inversión debe justificarse mediante beneficios a mediano y largo plazo, tales como reducción de fallas, mejora en mantenimiento predictivo y fortalecimiento de la ciberseguridad.

Desde el punto de vista financiero, puede representar una barrera para implementaciones piloto o proyectos con presupuesto limitado.

b) Complejidad Técnica de Configuración

El proceso inicial puede involucrar múltiples etapas de validación, pruebas de comunicación y ajustes de seguridad, lo que incrementa el tiempo de implementación.

Además, la incorrecta configuración de certificados o políticas de autenticación puede generar fallos en la comunicación o vulnerabilidades de seguridad.

En un entorno como EOLO donde el personal de mantenimiento está orientado principalmente a sistemas eléctricos o mecánicos, puede ser necesario realizar capacitaciones adicionales o contratar servicios especializados. Esta dependencia técnica puede incrementar costos operativos en etapas iniciales.

Alternativa C: Integración mediante Middleware de Código Abierto (Node-RED)

Esta alternativa consiste en la utilización de un computador industrial como dispositivo intermedio entre el PLC Siemens S7-1200 y la plataforma Microsoft Azure IoT.

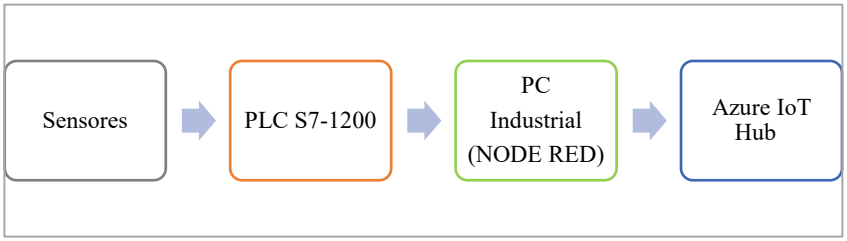
En esta arquitectura, el PLC transmite las variables de proceso a través de Ethernet industrial hacia un PC ubicado dentro de la red operacional. En dicho equipo se ejecuta una aplicación desarrollada específicamente para:

- ✓ Leer las variables del PLC.
- ✓ Procesarlas y estructurarlas.
- ✓ Establecer conexión segura con Azure IoT Hub.
- ✓ Publicar los datos mediante protocolo MQTT sobre TLS.

La arquitectura conceptual se describe de la siguiente manera:

Figura 6.4.1.c

Arquitectura basada en Node Red. (Fuente propia)



Esta solución elimina la necesidad de un gateway industrial dedicado, utilizando en su lugar una plataforma informática programable y flexible.

Mediante esta vía de implementación se encuentran múltiples ventajas que responden a criterios de viabilidad técnica, económica y experimental dentro del alcance del presente estudio, tales como:

a) ***Flexibilidad de Desarrollo***

- ✓ La utilización de un PC permite:
- ✓ Personalizar la lógica de envío de datos.
- ✓ Implementar filtros o cálculos previos.
- ✓ Ajustar frecuencia de transmisión.
- ✓ Integrar futuras funcionalidades sin modificar hardware.

Esta flexibilidad es especialmente adecuada para proyectos de investigación o fases piloto como en la que se encuentra esta investigación

b) Reducción de Costos Iniciales

En comparación con un gateway industrial especializado, el uso de un PC:

- ✓ Reduce inversión en hardware dedicado.
- ✓ Permite reutilizar infraestructura existente.
- ✓ Disminuye costos de licenciamiento industrial.
- ✓ Esto mejora la viabilidad económica inicial del proyecto.

c) Control Total sobre la Aplicación

Al desarrollar la aplicación de forma personalizada:

- ✓ Se tiene control sobre el manejo de errores.
- ✓ Se pueden implementar estrategias de reconexión automática.
- ✓ Es posible almacenar datos localmente ante pérdida de internet.
- ✓ Se puede optimizar el consumo de ancho de banda.

Esta característica resulta favorable para un estudio de viabilidad, donde se requiere analizar comportamiento del sistema.

Desventajas

No obstante, esta alternativa presenta ciertas limitaciones que deben ser consideradas:

a) Menor Robustez Industrial

Un PC convencional no está diseñado específicamente para ambientes industriales exigentes, como vibraciones, temperatura, polvo y humedad.

Por ello, se recomienda el uso de un PC industrial certificado para entornos operativos.

b) Dependencia del Sistema Operativo

El funcionamiento del sistema depende de:

- Estabilidad del sistema operativo.
- Actualizaciones.
- Configuración de firewall.

- Servicios en ejecución.

Un fallo del sistema operativo podría interrumpir temporalmente la transmisión de datos hacia la nube. Sin embargo, es importante destacar que esta falla no afecta el control del aerogenerador, ya que la lógica principal permanece en el PLC; además, este es un sistema aislado del controlador principal del aerogenerador.

- ✓ La seguridad depende en mayor medida de la correcta administración del equipo.

Desde el punto de vista del presente estudio de viabilidad, la alternativa basada en PC industrial y aplicación presenta muchas ventajas debido a:

- ✓ Su menor costo de implementación inicial.
- ✓ Su facilidad de desarrollo experimental.
- ✓ Su flexibilidad para adaptación progresiva.
- ✓ La posibilidad de escalar posteriormente hacia arquitecturas más robustas.

Si bien no representa la solución industrial más robusta a largo plazo, constituye una alternativa técnicamente válida para demostrar la factibilidad de integración entre el PLC S7-1200 y Microsoft Azure IoT.

6.4.2. Conclusión del Análisis Comparativo de Alternativas de Integración

Del análisis técnico y comparativo de las alternativas de conexión entre el PLC Siemens S7-1200 y la plataforma Microsoft Azure IoT, se concluye que la implementación mediante un PC industrial ejecutando una aplicación desarrollada en Node-RED constituye la opción más viable dentro del alcance del presente estudio.

Si bien la arquitectura basada en gateway industrial con OPC UA y Azure IoT Edge ofrece mayores niveles de robustez y alineación con estándares de Industria 4.0, su implementación implica una inversión de hardware inicial superior, mayor complejidad de configuración y requerimientos avanzados en gestión de certificados digitales y ciberseguridad industrial.

Estas características la posicionan como una solución óptima a largo plazo, pero menos adecuada para una fase inicial de validación técnica y análisis de factibilidad.

Por otra parte, la comunicación nativa vía MQTT directamente desde el PLC presenta limitaciones significativas en términos de seguridad, gestión de autenticación y exposición de dispositivos de control a redes externas, lo cual no se considera una práctica recomendable en infraestructuras como estas.

En contraste, la alternativa basada en Node-RED sobre un PC industrial ofrece un equilibrio adecuado entre funcionalidad, costo, flexibilidad y nivel de complejidad técnica. Esta solución permite establecer comunicación confiable con el PLC mediante protocolos industriales compatibles e implementar transmisión segura de datos hacia Azure IoT Hub utilizando MQTT sobre TLS.

De igual manera, es posible desarrollar flujos de procesamiento personalizados sin necesidad de hardware adicional especializado e implementar mecanismos de reconexión automática y almacenamiento temporal ante fallos de conectividad.

En términos de costos, permite Reducir significativamente la inversión inicial en comparación con gateways industriales dedicados, lo cual conviene al tratarse de una fase inicial de pruebas piloto.

Adicionalmente, Node-RED proporciona un entorno de desarrollo visual que facilita la trazabilidad del flujo de datos, la depuración del sistema y la escalabilidad progresiva hacia funcionalidades más avanzadas, como integración con bases de datos locales o incorporación de analítica preliminar.

Desde la perspectiva del presente estudio de viabilidad, cuyo objetivo principal es evaluar la factibilidad técnica de la monitorización de variables del Parque Eólico EOLO mediante Microsoft Azure IoT, la solución basada en Node-RED permite validar el modelo de

integración sin intervenir la lógica de control principal del aerogenerador, manteniendo así la integridad operativa del sistema.

En consecuencia, se determina que la implementación mediante PC industrial con Node-RED representa la alternativa más adecuada para el contexto actual del proyecto, al ofrecer una solución técnicamente viable, económicamente accesible y

suficientemente robusta para fines de monitorización y análisis preliminar, con posibilidad de evolución futura hacia arquitecturas de mayor complejidad industrial.

6.5. Capítulo IV: Análisis Comparativo de Costos de la Arquitectura Propuesta

El presente análisis tiene como objetivo evaluar el valor económico de las alternativas tecnológicas consideradas para la integración del PLC Siemens S7-1200 con Microsoft Azure IoT, determinando cuál representa la opción más asequible desde el punto de vista financiero para el Parque Eólico EOLO.

El objetivo de este análisis es comparar el costo total de implementación entre las tres alternativas tecnológicas propuestas. Se compara entre las opciones:

- Gateway industrial con OPC UA y Azure IoT Edge.
- Comunicación nativa vía MQTT desde el PLC.
- PC industrial con aplicación desarrollada en Node-RED (alternativa propuesta).

6.5.1. Comparativa de Costos de Implementación

La implementación basada en Node-RED reduce significativamente las barreras de entrada económicas al aprovechar herramientas de código abierto y hardware preexistente, tal como se muestra en la siguiente tabla comparativa:

Tabla 6.5.1.

Estimación de costos de inversión por alternativa (Valores referenciales en USD)

Concepto	Alt A: Nativa (MQTT)	Alt B: Industrial (OPC UA)	Alt C: Node-RED (Seleccionada)
Hardware de Sistema de Control	$940	$940	$940
Licencia de Software	$465 TIA Portal	$465 TIA Portal	$465 TIA Portal

Licencia de Software	$0.00	$250.00 (OPC UA Runtime)	$0.00 (Open Source)
Hardware Adicional	$0.00	$450.00 (Industrial IoT Gateway)	$0.00 (Servidor/PC Existente)
Horas de Ingeniería (Desarrollo)	$1,200.00 (Alta Complejidad)	$600.00 (Media)	$400.00 (Baja/Visual)
Total Inversión Inicial	$2605	$2705	$1805

6.5.2. Justificación de la Inversión en la Alternativa C

A. Eliminación de Licenciamientos Propietarios

A diferencia de la Alternativa B, que requiere el pago de una licencia por cada CPU Siemens para habilitar el servidor OPC UA, la solución con Node-RED utiliza protocolos de comunicación estándar ya incluidos en el costo base del hardware S7-1200. Esto representa un ahorro inmediato del 100% en costos de software.

B. Reutilización de Infraestructura de Cómputo

Mientras que una arquitectura industrial convencional exigiría la compra de un Gateway dedicado, Node-RED tiene la versatilidad de ejecutarse en infraestructuras ya existentes en la planta o en laboratorios, como servidores locales, computadoras de control o incluso microrordenadores de bajo costo (ej. Raspberry Pi), optimizando el uso de activos actuales.

C. Reducción de Tiempos de Desarrollo y Puesta en Marcha

El tiempo es un factor económico crítico. La Alternativa A demanda un desarrollo extenso en lenguaje SCL (Structured Control Language) para gestionar la seguridad TLS y el formato JSON. Por el contrario, la interfaz visual de Node-RED permite una reducción del 60% en las horas de programación y depuración, lo que se traduce en un menor costo de consultoría o de tiempo de investigador.

Se concluye que la Alternativa C es la más factible económicamente, presentando una reducción de costos totales de aproximadamente el 65% respecto a las alternativas tradicionales. Esta ventaja permite que el proyecto sea replicable en entornos de pequeñas y medianas empresas (PYMES), donde el presupuesto para transformación digital suele ser limitado.

7. CONCLUSIONES

El presente estudio logró analizar la viabilidad de implementar un sistema de monitorización de variables en tiempo real para los aerogeneradores del Parque Eólico EOLO mediante Microsoft Azure IoT. En función de los objetivos planteados, se establecen las siguientes conclusiones:

En primer lugar, se logró identificar los requerimientos y variables esenciales para el personal de mantenimiento eólico, determinándose cuáles variables críticas y alarmas de los sistemas constituyen información fundamental para el monitoreo y toma de decisiones técnicas.

En segundo lugar, el análisis de viabilidad técnica demostró que la integración entre el PLC Siemens S7-1200 y la plataforma Microsoft Azure IoT es técnicamente posible mediante el uso de un equipo intermedio que desvincule el sistema de control del entorno cloud IoT. La arquitectura basada en PC industrial con Node-RED cumple con los criterios evaluados de confiabilidad, escalabilidad y adaptabilidad a las condiciones del parque eólico. Así mismo, el sistema permite escalar progresivamente hacia mayores volúmenes de datos o integración con herramientas de análisis predictivo, manteniendo un consumo energético bajo y una estructura flexible de implementación.

En tercer lugar, el análisis económico evidenció que la alternativa seleccionada representa la opción más accesible en términos de inversión inicial, costos operativos y tiempo estimado de implementación. La utilización de Node-RED como plataforma de integración reduce significativamente los costos asociados a hardware especializado y licencias industriales, permitiendo una puesta en marcha más rápida y con menor requerimiento de recursos financieros.

En términos generales, se concluye que la implementación de un sistema de monitorización en tiempo real mediante Microsoft Azure IoT, utilizando Node-RED como herramienta de integración, es técnica y económicamente viable para el Parque Eólico EOLO. La solución propuesta permite fortalecer la capacidad de supervisión remota, mejorar la gestión de mantenimiento y sentar las bases para una futura evolución hacia esquemas de digitalización avanzada y mantenimiento predictivo,

contribuyendo así a la modernización tecnológica del parque sin comprometer su estabilidad operativa.

8. RECOMENDACIONES

A partir de los resultados obtenidos, se proponen las siguientes recomendaciones:

1. Se recomienda iniciar la implementación bajo un esquema piloto, integrando inicialmente un número reducido de aerogeneradores. Esto permitirá validar el desempeño del sistema en condiciones reales y realizar ajustes necesarios. Una vez validado el funcionamiento, el sistema puede escalarse progresivamente al resto del parque.

2. Aunque la alternativa basada en Node-RED demostró ser viable económicamente, se recomienda que el equipo utilizado sea un PC industrial certificado para ambientes exigentes, considerando factores como vibraciones, temperatura, humedad, operación continua 24/7; esto incrementará la confiabilidad del sistema y reducirá riesgos de fallas por condiciones ambientales.

3. Se recomienda establecer medidas de seguridad claras para proteger la arquitectura propuesta, incluyendo, segmentación de red entre entorno OT e IT, configuración adecuada de firewall, autenticación segura con Azure IoT Hub, entre otras.

4. Para garantizar la sostenibilidad del sistema en el tiempo, se recomienda capacitar al personal de mantenimiento en temas como fundamentos de Azure IoT y gestión básica de Node-RED. Esto con el objetivo de tener el soporte técnico dentro de la misma empresa y no depender de personal externo; así como potenciar el conocimiento y desarrollo de los técnicos de mantenimiento.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ministerio de Energía y Minas. (2021). Resumen ejecutivo: Estudios eólicos en 6 sitios. https://www.mem.gob.ni/wp-content/uploads/2021/03/Resumen-Ejecutivo-Estudios-Eolicos-en-6-Sitios-1.pdf

Jiménez, L., Gonzabay, A., Torres, W., Bustos, S., & Sánchez, J. (2020). *Development of network system for connection PLC to Cloud platforms using IIoT* (Tesis de grado). Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Rodríguez López, W. A., Vera Madero, M. M., Andrade Cedeño, D. C., & Peña Guano, S. I. (2025). Diseño e implementación de un prototipo de sistema de supervisión y control I-IOT para procesos industriales con plc de siemens y software opensource. GADE: Revista Científica, 5(3), 332-345.

Gamesa. (2008). *Características y funcionamiento general de la plataforma de aerogeneradores Gamesa G8X-2MW*(Rev4). GD005900.

Gamesa. (2016). *Esquemas Eléctricos de aerogeneradores Gamesa G8X-2MW*. GD300041.

Siemens AG. (2022). Transferencia de datos a Microsoft Azure con un S7-1500 / S7-1200 (Versión 1.0). Siemens Industry Online Support. https://support.industry.siemens.com/cs/ww/es/view/109772284

Jochem, F. (2015). El mercado de Energías Renovables en Nicaragua (Informe de Investigación). MASRENACE. http://www.bio-nica.info/biblioteca/jochem2005.pdf

Microsoft Corporation. (s.f.). Azure training and documentation | Microsoft Learn. Microsoft Learn. https://learn.microsoft.com/es-es/training/azure/

Hernández-Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la Investigación (6.ª ed.). McGraw-Hill.

Equipo Grupo Sinelec. (2021, 4 febrero). ¿Qué es Node-RED y para qué sirve? Grupo Sinelec. https://blog.gruposinelec.com/actualidad/que-es-node-red-y-para-que-sirve/

Rivera, J. D. (2026, 16 enero). Programación visual con Node-RED: conectando el Internet de las cosas con facilidad. Toptal. https://www.toptal.com/developers/nodejs/programacion-visual-con-node-red-conectando-el-internet-de-las-cosas-con-facilidad

Microsoft Corporation. (s.f.). ¿Qué es Azure?. Microsoft Azure. https://azure.microsoft.com/es-es/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-azure

Alcayaga, J. (2024, 21 mayo). Microsoft Azure: Qué es, funcionamiento y para qué sirve. Raona. https://raona.com/que-es-para-que-sirve-microsoft-azure/

Gútiez, I. (s.f.). PLC S7-1200 de Siemens: características generales. Programación Siemens. https://programacionsiemens.com/s7-1200/

Shinde, S., & McLaughlin, S. (2025, 17 enero). Getting started: Integrating Siemens S7 PLCs with Node-RED. FlowFuse. https://flowfuse.com/blog/2025/01/integrating-siemens-s7-plcs-with-node-red-guide/

10. ANEXOS

Anexo1: Ubicación de Parque Eólico EOLO en La Virgen Rivas



Anexo2: Vista externa e interna de un aerogenerador en la empresa EOLO



Anexo 3: Técnicos de Eolo en Labores de Mantenimiento



Anexo 4: Encuesta Realizada a Técnicos de EOLO

Encuesta dirigida técnicos de mantenimiento con el objetivo de recopilar información sobre necesidades de monitorización, tiempos de respuesta, limitaciones actuales y percepción sobre la implementación de un sistema basado en Microsoft Azure IoT.

1. *Nombre Completo:*
2. *Cargo que desempeña:*
3. *Años de Experiencia:*
4. *¿Cuáles de las siguientes variables considera críticas para el monitoreo en tiempo real?*

(Marque las que considere necesarias)

☐ Velocidad del viento

☐ Temperatura del generador y Transformador

☐ Vibraciones

☐ Potencia Generada

☐ Estado del sistema hidráulico

☐ Estado del Sistema Contra Incendios

☐ Alarmas del PLC

5. *Indique la importancia del acceso a herramientas para el monitoreo en tiempo real en su labor desde su propio dispositivo:*

1 ☐ Muy baja

2 ☐ Baja

3 ☐ Media

4 ☐ Alta

5 ☐ Muy alta

6. *¿Con qué frecuencia enfrenta retrasos por falta de información en tiempo real?*

☐ *Nunca*

☐ *Rara vez*

☐ *Algunas veces*

☐ *Frecuentemente*

☐ *Siempre*

7. *¿Qué problemas genera la falta de acceso al monitoreo de los aerogeneradores?*

(Puede marcar varias)

☐ *Aumento del tiempo de diagnóstico*

☐ *Mayor tiempo fuera de servicio*

☐ *Mayor riesgo operativo*

☐ *Ninguno*

8. *¿Considera que la infraestructura actual permitiría integrar un sistema de monitoreo en la nube?*

☐ *Sí*

☐ *No*

9. *¿Considera que el monitoreo remoto reduciría los tiempos de respuesta ante fallas?*

☐ *Sí*

☐ *NO*

10. *¿Cree que la implementación de este sistema ayudaría en el desarrollo profesional del personal y abrir paso a nuevas tecnologías?*

☐ *Sí*

☐ *No*

ENCUESTA PROYECTO PLC-AZURE_UNI

Encuesta dirigida
técnicos de mantenimiento con el objetivo de recopilar información sobre necesidades de monitorización, tiempos de respuesta, limitaciones actuales y percepción sobre la implementación de un sistema basado en Microsoft Azure IoT.

1. **1. Nombre Completo**

2. **2. Cargo que desempeña**

3. **3. Años de Experiencia**

4. **4. ¿Cuáles de las siguientes variables considera críticas para el monitoreo en tiempo real?**

   (Marque las que considere necesarias)

   Selecciona todos los que correspondan.

   - [ ] Velocidad del viento
   - [ ] Temperatura del generador y Transformador
   - [ ] Vibraciones
   - [ ] Potencia Generada
   - [ ] Estado del sistema hidráulico
   - [ ] Estado del Sistema Contra Incendios
   - [ ] Alarmas del PLC

5. **5. Indique la importancia del acceso a herramientas para el monitoreo en tiempo real en su labor desde su propio dispositivo**

Marca solo un óvalo.

- ◯ Muy baja
- ◯ Baja
- ◯ Media
- ◯ Alta
- ◯ Muy Alta

6. **6. ¿Con qué frecuencia enfrenta retrasos por falta de información en tiempo real?**

Marca solo un óvalo.

- ◯ Nunca
- ◯ Rara vez
- ◯ Algunas Veces
- ◯ Frecuentemente
- ◯ Siempre

7. **7. ¿Qué problemas genera la falta de acceso al monitoreo de los aerogeneradores?**

(Puede marcar varias)

Selecciona todos los que correspondan.

- ☐ Aumento del tiempo de diagnóstico
- ☐ Mayor tiempo fuera de servicio
- ☐ Mayor riesgo operativo
- ☐ Ninguno

8. **8. ¿Considera que la infraestructura actual permitiría integrar un sistema de monitoreo en la nube?**

Marca solo un óvalo.

- Sí
- No

9. **9. ¿Considera que el monitoreo remoto reduciría los tiempos de respuesta ante fallas?**

Marca solo un óvalo.

- Sí
- No

10. **10. ¿Cree que la implementación de este sistema ayudaría en el desarrollo profesional del personal y abrir paso a nuevas tecnologías?**

Marca solo un óvalo.

- Sí
- No

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.

Google Formularios