



MONITOREO MEDIANTE SENSOR DE TEMPERATURA EN LA CAJA DE VELOCIDADES DE TURBINAS EÓLICAS PARA EL MANTENIMIENTO; UTILIZANDO RASPBERRY PI 4 MODEL B Y TECNOLOGÍA DE INTERNET DE LAS COSAS

JUAN CAMILO VILLADA AGUIRRE Código: 23552021470

WILMER FABIAN ESPINOSA MARIN Código: 23552119444

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica.

Tecnología en mantenimiento electromecánico industrial

Roldanillo, Colombia

2023

MONITOREO MEDIANTE SENSOR DE TEMPERATURA EN LA CAJA DE VELOCIDADES DE TURBINAS EÓLICAS PARA EL MANTENIMIENTO; UTILIZANDO RASPBERRY PI 4 MODEL B Y TECNOLOGÍA DE INTERNET DE LAS COSAS

JUAN CAMILO VILLADA AGUIRRE

WILMER FABIAN ESPINOSA MARIN

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Tecnólogo en mantenimiento electromecánico industrial

Director (a):

JAIRO AGUIRRE

Ingeniero Electricista

Línea de investigación:

Desarrollo de Tecnologías de Monitoreo y Mantenimiento en Energía Eólica Utilizando IoT y Sensores de Temperatura

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica.

Tecnología en mantenimiento electromecánico industrial

Roldanillo, Colombia

2023

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	5
- PALABRAS CLAVE	
I. INTRODUCCIÓN.....	5
II. ANTECEDENTES.....	5
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	6
IV. JUSTIFICACIÓN.....	7
V. OBJETIVOS.....	8
- OBJETIVOS ESPECIFICOS	
VI. MARCO DE REFERENCIA.....	8
VII. ALCANCE.....	9
VIII. LIMITACIONES.....	9
IX. METODOLOGÍA.....	9
X. RESULTADOS ESPERADOS.....	10
XI. COMPONENTES.....	10
- COMPONENTES DE CAJA DE ENGRANAJE	
- COMPONENTES DEL PROYECTO	
- INSTALACIÓN	
- FUNCONAMIENTO	
XII. PRESUPUESTO	14
XIII. CRONOGRAMA.....	15
XIV. CONCLUSION.....	15
XV. BIBLIOGRAFÍA.....	16

ÍNDICE TABLAS

TABLA N° 1: PRESUPUESTO	14
TABLA N° 2: CRONOGRAMA.....	14

ÍNDICE IMÁGENES

IMAGEN N° 1: RASPBERRY PI 4 MODEL	11
IMAGEN N° 2: SENSOR DE TEMPERATURA LM35	11
IMAGEN N° 3: MODULO DE COMUNICACIÓN CELULAR SIM800L.....	12
IMAGEN N° 4: ANTENA EXTERNA PARA MÓDULO CELULAR.....	12
IMAGEN N° 5: OTROS COMPONENTES Y HERRAMIENTAS	12
IMAGEN N° 6: CAJA DE CAMBIOS	13
IMAGEN N° 7: TURBINA ELOICA	14

Resumen:

Este trabajo presenta una propuesta innovadora para enfrentar los retos de mantenimiento en la energía eólica. Se pretende instaurar un sistema de monitoreo avanzado diseñado para identificar anomalías y sobrecalentamientos en las cajas de cambios de las turbinas eólicas mediante el uso de Raspberry Pi y tecnología IoT. El objetivo primordial consiste en potenciar la eficiencia y confiabilidad de las turbinas mediante un enfoque proactivo en el mantenimiento. El sistema recopilará datos en tiempo real sobre la temperatura de las cajas de cambios, posibilitando una evaluación constante de su estado operativo. La identificación temprana de fluctuaciones térmicas permitirá la toma de decisiones informadas y la reducción de costos asociados con reparaciones imprevistas, transformando la gestión de activos en la industria eólica.

hPalabras clave: Monitoreo, Turbinas Eólicas, Caja de Cambios, Raspberry Pi, Tecnología IoT, Sensor de Temperatura y Mantenimiento Predictivo.

I. INTRODUCCIÓN:

Las turbinas eólicas han emergido como una fuente crucial de energía renovable en la lucha contra el cambio climático y la escasez de recursos energéticos. además, la operación constante en condiciones ambientales desafiantes puede dar lugar a desgastes y fallos prematuros, particularmente en las cajas de cambios, uno de los componentes críticos en el funcionamiento de estas turbinas. La detección temprana de problemas y anomalías en este contexto puede no solo optimizar la eficiencia, sino también reducir significativamente los costos asociados con el mantenimiento.

En este marco, surge la necesidad de desarrollar una solución innovadora que permita monitorear en tiempo real la temperatura de las cajas de cambios de turbinas eólicas. Para lograrlo, se propone la implementación de un sistema de monitoreo basado en la integración del Raspberry Pi y la

tecnología IoT. Este enfoque, centrado en la captura y análisis de datos en tiempo real, podría revolucionar la manera en que se maneja el mantenimiento en la industria eólica.

La Internet de las Cosas (IoT) se refiere a la interconexión de objetos y dispositivos cotidianos a través de internet, permitiéndoles recopilar y compartir datos. Esto posibilita la automatización, el control remoto y la toma de decisiones más inteligentes en una amplia variedad de aplicaciones, desde hogares inteligentes hasta la gestión de la cadena de suministro y la industria. En resumen, IoT conecta el mundo físico al mundo digital para mejorar la eficiencia y la comodidad en nuestras vidas y operaciones.

II. ANTECEDENTES:

La generación de energía eólica ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años, impulsada por su baja huella ambiental y su contribución a la diversificación de la matriz energética. A pesar de ello, esta expansión no está exenta de desafíos. Las turbinas eólicas enfrentan condiciones ambientales extremas, vibraciones constantes y fluctuaciones térmicas que pueden tener un impacto perjudicial en los componentes mecánicos y eléctricos, en particular en las cajas de cambios.

En relación con la vida útil de una caja de cambios en una turbina eólica es típicamente de 20 a 25 años, aunque esto puede variar según varios factores, como el diseño de la turbina, la calidad de los materiales, el mantenimiento y las condiciones ambientales. Las cajas de cambios enfrentan varios desafíos:

1. **Vibraciones y Cargas Cíclicas:** Las turbinas eólicas experimentan vibraciones y cargas cíclicas debido a las variaciones en la velocidad del viento, lo que puede acelerar el desgaste y provocar fatiga en los componentes de la caja de cambios.

2. **Sobrecalentamiento:** Las altas temperaturas pueden dañar los aceites lubricantes y los componentes internos de la caja de cambios, lo que puede acelerar el desgaste y reducir la vida útil.

3. **Mantenimiento Costoso:** El mantenimiento de la caja de cambios puede ser costoso y complicado, a menudo requiere el desmontaje de la parte superior de la torre de la turbina, lo que resulta en tiempo de inactividad y altos costos.

El mantenimiento de las cajas de cambios en las turbinas eólicas es esencial para garantizar su funcionamiento eficiente y prolongar su vida útil. La frecuencia recomendada para el mantenimiento puede variar según diversos factores, como el modelo de la turbina, las condiciones ambientales, la calidad de los materiales y la carga de trabajo.

1. **Mantenimiento Preventivo Regular:** Se recomienda realizar un mantenimiento preventivo regular, que puede ser anual o cada 6 meses, dependiendo de las condiciones. Dentro de estas inspecciones se encuentran: análisis de aceite lubricante, verificación de vibraciones y revisión de los componentes clave. Estas inspecciones ayudan a identificar problemas incipientes y a tomar medidas antes de que se conviertan en fallas graves.

2. **Análisis de Vibraciones:** La monitorización de vibraciones es fundamental para detectar problemas en los rodamientos y los engranajes. Los análisis de vibraciones suelen realizarse de manera periódica, como parte del mantenimiento preventivo.

3. **Reemplazo de Componentes Desgastados:** Si durante las inspecciones se detectan componentes desgastados o dañados, es importante reemplazarlos de inmediato para evitar una falla catastrófica.

4. **Monitoreo Continuo:** La implementación de sistemas de monitoreo en tiempo real, como sensores de temperatura, vibración y análisis de datos en línea, puede proporcionar información constante sobre el estado de la caja de cambios y permitir una respuesta inmediata ante problemas.

Siemens Wind Power, un líder en la industria de turbinas eólicas, ejemplifica cómo el Internet de las cosas (IoT) está transformando la generación de energía eólica. Han integrado soluciones basadas en IoT para agilizar el control de turbinas, permitiendo un mantenimiento predictivo y

diagnóstico más eficiente. Esto se traduce en una optimización de la producción de energía, monitoreo en tiempo real de la salud de las turbinas y respuestas adaptativas al entorno. Además, tienen la capacidad de controlar y monitorear simultáneamente hasta 500 turbinas en diferentes parques eólicos. Este uso innovador de IoT demuestra su impacto vital en la eficiencia y confiabilidad de la energía eólica.

La literatura técnica revela que la monitorización en tiempo real puede desempeñar un papel crucial en la optimización del mantenimiento y la prolongación de la vida útil de los activos en la industria eólica. Estudios diversos han demostrado cómo esta metodología, conocida como mantenimiento predictivo, permitiendo la adopción de acciones correctivas antes de que los problemas se conviertan en fallas catastróficas. Esta metodología, conocida como mantenimiento predictivo, ha demostrado ser efectiva en la reducción de costos de operación y mantenimiento al minimizar el tiempo de inactividad no planificado.

La tecnología del Internet de las cosas (IoT) emerge como una herramienta esencial para la detección de fallos en las cajas de cambios de turbinas eólicas, promoviendo un mantenimiento predictivo efectivo. Huang, Liu y Tao (2020) destacan que la utilización de datos de múltiples fuentes basados en IoT, procesados con inteligencia artificial y tecnologías de big data, puede significativamente prolongar la vida útil de las máquinas y reducir los costos laborales al diagnosticar fallos mecánicos de manera anticipada. Xia et al. (2021) complementan esta noción al explorar la integración de actualizaciones pronósticos en tiempo real para el mantenimiento oportunista a nivel de flota en parques eólicos a gran escala. Adicionalmente, Sequeira et al. (2019) resaltan la importancia de la variable temperatura en el análisis de la eficiencia de las cajas de cambios de las turbinas eólicas. Estos estudios, en conjunto, subrayan la relevancia crucial de la IoT en la optimización de la detección y predicción de fallos en los sistemas de engranajes, allanando el camino hacia una operación más eficiente y sostenible en la generación de energía eólica.

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

Dentro del ámbito de la generación de energía eólica Hoy, un desafío apremiante es la falta de monitoreo en tiempo real, los engranajes son vitales para el funcionamiento de las turbinas. Transforman la energía cinética en electricidad, siendo cruciales para la eficiencia. Sin embargo, también son vulnerables, y un fallo puede ser costoso y disruptivo.

Actualmente, un desafío apremiante es la falta de monitoreo en tiempo real de los engranajes. Esto dificulta la detección temprana de problemas y fluctuaciones térmicas. La ausencia de alertas anticipadas puede resultar en paradas no planificadas, tiempos de inactividad y altos costos de mantenimiento.

El tipo de aceite utilizado en las turbinas eólicas, especialmente en la transmisión, influye en su rendimiento y vida útil. El aceite también actúa como refrigerante. Si no disipa el calor adecuadamente, la temperatura de los engranajes aumenta, acelerando el desgaste. Un aceite inadecuado podría no mantener temperaturas seguras.

Esta falta de monitoreo afecta la capacidad de los operadores para tomar decisiones informadas sobre el mantenimiento. La incertidumbre en torno a la caja de engranajes genera ineficiencias en la planificación del mantenimiento y puede causar emergencias que afectan la disponibilidad y producción de energía.

En consecuencia, resulta crucial implementar una solución que brinde monitoreo continuo en tiempo real de la temperatura de los engranajes. Esto permitiría anticipar problemas, optimizar la gestión de activos y mantener la eficiencia en la industria eólica.

IV. JUSTIFICACIÓN:

La incorporación de un sistema de monitoreo en tiempo real de la temperatura en las cajas de cambios de turbinas eólicas es esencial para impulsar la gestión de activos en la industria de la energía renovable. Esta solución ofrece una serie de beneficios económicos y operativos, redefiniendo cómo se afronta el mantenimiento y la producción de energía en el contexto de las turbinas eólicas.

Las cajas de engranajes cerradas, esenciales en las turbinas eólicas, enfrentan condiciones operativas extremas. Para maximizar la eficiencia y durabilidad de estas máquinas, es esencial que los engranajes estén lubricados con aceites industriales adecuados. Las condiciones en parques eólicos, como variaciones de carga, vibraciones, cambios de temperatura y fluctuaciones en la velocidad del viento, pueden causar daños con el tiempo. Aquí, los aceites para engranajes industriales juegan un papel crítico al preservar la durabilidad y prevenir paradas inesperadas.

La temperatura desempeña un papel esencial. Elevadas temperaturas operativas pueden agotar rápidamente los aditivos en el aceite, lo que provoca problemas de durabilidad. Reducir la temperatura de operación, aunque sea ligeramente, prolonga la vida del aceite y garantiza la integridad a largo plazo de las cajas de engranajes.

Este proyecto se centra en el mantenimiento predictivo. El monitoreo en tiempo real de la temperatura de las cajas de cambios permite una evaluación constante de su estado operativo. La detección temprana de anomalías térmicas o sobrecalentamientos potenciales permite tomar medidas preventivas antes de que los problemas se conviertan en fallas críticas. Esto reduce significativamente los costos asociados con reparaciones inesperadas y tiempos de inactividad, optimizando la eficiencia operativa y la disponibilidad de las turbinas.

La utilización de tecnología IoT y Raspberry Pi en esta solución brinda ventajas adicionales. La conectividad en línea permite el acceso a los datos en cualquier momento y lugar, lo que permite a los equipos de mantenimiento tomar decisiones informadas en tiempo real. La escalabilidad inherente a esta tecnología garantiza que el sistema pueda adaptarse y crecer con la expansión de la infraestructura eólica. La combinación de un dispositivo asequible como Raspberry Pi con la tecnología IoT crea una solución rentable y de alto impacto.

Elegir Raspberry Pi se fundamenta en su capacidad para recopilar, procesar y transmitir datos eficientemente, su escalabilidad, bajo consumo de energía y robustez en entornos industriales. Al incorporar Raspberry Pi en nuestro sistema de

monitoreo, estamos aprovechando una plataforma tecnológica confiable y económicamente viable que puede revolucionar la forma en que se aborda el mantenimiento en la industria eólica.

Este enfoque está alineado con nuestros objetivos de mejorar la eficiencia, extender la vida útil de las cajas de cambios y disminuir los costos de operación y mantenimiento. Al justificar la inclusión de Raspberry Pi en nuestro proyecto, subrayamos su papel central en la transformación de la gestión de activos en la generación de energía eólica y su contribución a la transición hacia una energía más limpia y sostenible.

En resumen, este proyecto busca transformar la gestión de activos y el mantenimiento en la industria de generación de energía eólica mediante el monitoreo constante de la temperatura en las cajas de cambios. Esta solución se sitúa en la vanguardia de la innovación tecnológica y está alineada con los objetivos de desarrollo sostenible en la transición hacia fuentes de energía más limpias y confiables.

V. OBJETIVOS:

Evaluar la viabilidad y eficacia de la implementación de un sistema de monitoreo de temperatura basado en la tecnología IoT en las cajas de cambios de turbinas eólicas, con el propósito de mejorar la eficiencia y confiabilidad de estas instalaciones.

Objetivos Específicos:

1. Investigar y analizar exhaustivamente la literatura científica y tecnológica relacionada con el uso de sensores de temperatura y tecnología IoT en el mantenimiento de turbinas eólicas, identificando tendencias, avances y mejores prácticas en este campo.
2. Diseñar y desarrollar un sistema de monitoreo de temperatura utilizando sensores de temperatura y tecnología IoT que sea adecuado para su aplicación en cajas de cambios de turbinas eólicas, asegurando su capacidad para recopilar datos en tiempo real y transmitirlos de manera efectiva.

3. Evaluar de manera teórica y simulada el desempeño del sistema de monitoreo propuesto en la detección temprana de anomalías de temperatura en cajas de cambios de turbinas eólicas, con énfasis en su potencial para apoyar el mantenimiento predictivo y reducir costos de operación.

VI. MARCO DE REFERENCIA:

Fundamentamos este proyecto en una extensa base de conocimientos previos y avances tecnológicos que respaldan la implementación de un sistema de monitoreo de temperatura en las cajas de cambios de turbinas eólicas. Esta base abarca diversas áreas interconectadas que proporcionan un contexto sólido a la propuesta.

En primer lugar, se analiza la generación de energía eólica y los desafíos asociados, como vibraciones, fluctuaciones térmicas y desgastes mecánicos. Esto destaca la importancia del monitoreo en cajas de cambios.

Los sistemas de monitoreo en turbinas eólicas mejoran la eficiencia y la confiabilidad. La recopilación de datos en tiempo real permite un mantenimiento predictivo más efectivo y la detección temprana de problemas. Se exploran soluciones existentes y enfoques innovadores en el monitoreo de turbinas eólicas.

En cuanto a los sensores de temperatura, se investigan avances en tecnología de sensores NTC y su aplicación en condiciones adversas, como en las cajas de cambios de turbinas eólicas.

La tecnología IoT emerge como un habilitador clave en la industria eólica, facilitando la captura y análisis de datos en tiempo real. Se examinan aplicaciones exitosas de IoT en la energía eólica.

El proyecto también analiza casos de estudio que demuestran cómo el monitoreo de temperatura en cajas de cambios prolonga la vida útil de los activos y reduce costos de mantenimiento.

En el contexto del proyecto, se detalla cómo el sensor de temperatura mide la temperatura en las cajas de cambios, utilizando tecnologías como termistores, termopares y sensores de estado sólido.

En conjunto, este marco de referencia respalda la implementación del sistema de monitoreo de temperatura propuesto. Combina investigaciones previas en generación de energía eólica, sistemas de monitoreo, sensores de temperatura y tecnología IoT para optimizar el mantenimiento y la eficiencia en turbinas eólicas.

VII. ALCANCE:

Este proyecto se limita al desarrollo e implementación de un sistema de monitoreo de temperatura en las cajas de cambios de turbinas eólicas utilizando el dispositivo Raspberry Pi y la tecnología IoT. El enfoque primordial recae en la captura, transmisión y análisis de datos relacionados exclusivamente con la temperatura de las cajas de cambios. El sistema propuesto permitirá la recolección constante y en tiempo real de estas mediciones, ofreciendo una ventana de visibilidad para el monitoreo de su estado operativo.

La implementación considerará la integración de los componentes necesarios, desde el Raspberry Pi hasta el sensor de temperatura, el módulo de comunicación celular, servicio de almacenamiento de datos en la nube, transmisión a una plataforma IoT y su visualización en tiempo real. Exploraremos opciones para establecer umbrales de temperatura y generar alertas ante desviaciones significativas. El enfoque en la optimización de cajas de cambios permitirá evaluar la efectividad de la solución en términos de prevención de problemas y prolongación de la vida útil de estos componentes críticos.

VIII. LIMITACIONES:

Este proyecto tiene limitaciones que delimitan su alcance y objetivos específicos:

1. Limitación a la temperatura de la caja de cambios: El sistema de monitoreo estará focalizado únicamente en la medición de la temperatura en las cajas de cambios de las turbinas eólicas. No se considerarán otras variables operativas ni se incorporarán sensores adicionales para otros aspectos del mantenimiento.

2. Exclusión de otras tecnologías: Aunque la tecnología IoT y el Raspberry Pi serán las bases para el desarrollo del sistema, no se explorarán otras tecnologías ni enfoques alternativos para el monitoreo de temperatura.

3. No contemplación del mantenimiento completo: El proyecto no abordará aspectos más amplios del mantenimiento de turbinas eólicas, como la inspección visual, el análisis estructural o la reparación de componentes. La solución se concentrará únicamente en la captura de datos de temperatura.

4. No consideración de otros fallos: Aunque el sistema de monitoreo busca prevenir problemas relacionados con la temperatura en las cajas de cambios, no abordará otros tipos de fallas mecánicas o eléctricas que puedan surgir en las turbinas eólicas.

En resumen, el proyecto se dedica a implementar un sistema específico de monitoreo de temperatura en cajas de cambios, mediante el uso de Raspberry Pi y tecnología IoT, con el objetivo de optimizar el mantenimiento y la eficiencia operativa en turbinas eólicas. Las limitaciones establecidas aseguran un enfoque claro y delimitado que permitirá alcanzar los objetivos planteados.

IX. METODOLOGÍA:

Revisión de la Literatura:

El proceso metodológico empezará con una revisión exhaustiva de la literatura científica y tecnológica relacionada con el uso de sensores de temperatura y tecnología IoT en el mantenimiento de turbinas eólicas. Esta revisión abarcará investigaciones previas, avances tecnológicos, aplicaciones exitosas y mejores prácticas en el campo. Se analizarán tendencias y enfoques clave que servirán de base para la implementación del sistema de monitoreo de temperatura.

Diseño y Desarrollo del Sistema:

Una vez completada la revisión de la literatura, se procederá al diseño y desarrollo del sistema de monitoreo de temperatura. Este proceso incluirá la selección de sensores de temperatura apropiados, así como la configuración de dispositivos IoT para

la recopilación y transmisión de datos en tiempo real. Se prestará especial atención a la robustez del sistema para operar en condiciones ambientales adversas, como las que se presentan en cajas de cambios de turbinas eólicas.

Conclusiones y Recomendaciones:

Finalmente, se presentarán conclusiones y se proporcionarán recomendaciones para futuras investigaciones y posibles implementaciones prácticas del sistema de monitoreo de temperatura en cajas de cambios de turbinas eólicas.

A través de esta metodología, se logrará llevar a cabo una investigación sólida y teórica que respalde la implementación de la tecnología IoT en el mantenimiento de turbinas eólicas. Los resultados proporcionarán una visión clara de la viabilidad y eficacia del sistema propuesto en la detección de anomalías de temperatura y el mantenimiento predictivo en turbinas eólicas.

X. RESULTADOS ESPERADOS:

En la revisión integral de la literatura, se busca obtener un análisis exhaustivo... " o "Se anticipa una revisión completa de la literatura científica y tecnológica para lograr una comprensión sólida de la literatura científica y tecnológica que demuestre una comprensión sólida de las investigaciones previas relacionadas con el uso de sensores de temperatura y tecnología IoT en el mantenimiento de turbinas eólicas. Esto permitirá identificar tendencias, avances y mejores prácticas que servirán de base para el desarrollo del proyecto.

En lo referente al diseño y desarrollo del sistema, se prevé la creación de un sistema eficiente y robusto para el monitoreo de temperatura, diseñado específicamente para su aplicación en cajas de cambios de turbinas eólicas. El sistema estará configurado para la recopilación de datos en tiempo real y la transmisión efectiva de información, garantizando su capacidad para operar en condiciones ambientales adversas.

A raíz del análisis de datos, se anticipan recomendaciones que guíen futuras investigaciones y posibles implementaciones prácticas del sistema de monitoreo de temperatura en cajas de cambios de turbinas eólicas. Estas recomendaciones proporcionarán una hoja de ruta para avanzar en la

aplicación de la tecnología IoT en la industria eólica.

En conjunto, se anticipa que estos resultados esperados respaldarán la implementación de la tecnología IoT en el mantenimiento de turbinas eólicas a través del monitoreo de la temperatura en las cajas de cambios, proporcionando una base sólida para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas en esta área.

XI. COMPONENTES

COMPONENTES DE CAJA DE ENGRANAJE:

Las cajas de cambio (también conocidas como cajas de engranajes o transmisiones) en las turbinas eólicas son componentes críticos para la conversión de la energía cinética del viento en energía eléctrica. A continuación, se describen los componentes típicos de una caja de cambio en una turbina eólica:

1. Eje de Entrada: El eje de entrada recibe la energía mecánica del rotor de la turbina, que es girado por el viento. Esta energía mecánica se transmite al sistema de la caja de cambio.
2. Engranajes: Los engranajes son componentes clave de la caja de cambios que permiten cambiar la velocidad y la relación de torque entre el eje de entrada (que gira a una velocidad variable debido al viento) y el eje de salida (que debe generar una velocidad de rotación constante para el generador eléctrico). Las cajas de cambios de las turbinas eólicas a menudo tienen múltiples etapas de engranajes para lograr la relación de velocidad deseada.
3. Eje de Salida: El eje de salida transmite la energía mecánica transformada al generador eléctrico, que convierte esta energía en electricidad.
4. Frenos y Acoplamientos: Las turbinas eólicas también están equipadas con sistemas de frenado y acoplamientos para controlar la velocidad y detener el rotor cuando sea necesario, como en condiciones de viento fuerte o durante el mantenimiento.
5. Aceite Lubricante y Sistema de Enfriamiento: Las cajas de cambio requieren lubricación para reducir la fricción y el desgaste de los engranajes. También pueden tener sistemas de enfriamiento

para controlar la temperatura del aceite y evitar el sobrecalentamiento.

6. Carcasa: La carcasa de la caja de cambios encierra todos los componentes y proporciona protección contra las condiciones ambientales, como el polvo y la humedad.

Cabe resaltar que la disposición específica de la caja de cambios puede cambiar según el diseño y el fabricante de la turbina eólica. Además, la caja de cambios es una parte fundamental en la optimización de la eficiencia y la confiabilidad de la turbina eólica, y su mantenimiento adecuado y la detección temprana de problemas son esenciales para el funcionamiento exitoso de la turbina durante su vida útil.

COMPONENTES DEL PROYECTO:

1. Raspberry Pi 4 Model B:

- El Raspberry Pi 4 Model B es una computadora de placa única que sirve para ejecutar diversas aplicaciones y proyectos. Ofrece mejor rendimiento que sus predecesores gracias a su CPU más potente, opciones de memoria RAM de hasta 8GB y soporte para doble pantalla 4K. Es utilizado en programación, desarrollo de prototipos, educación, servidores ligeros, proyectos de robótica, y muchas otras aplicaciones.

Especificaciones Técnicas:

- CPU: CPU de cuatro núcleos Cortex-A72 a 1.5 GHz.
- Memoria RAM: 4 GB LPDDR4-3200 SDRAM.
- Conectividad: Wi-Fi 802.11ac y Bluetooth 5.0.
- Puertos: 2 puertos USB 3.0, 2 puertos USB 2.0, puerto Ethernet Gigabit, puertos HDMI y más.

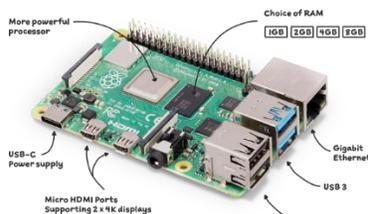


Figura 1

Recuperada de: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/>

2. Sensor de temperatura LM35

Descripción: El sensor de temperatura LM35 es un dispositivo de precisión que proporciona una señal de voltaje analógica proporcional a la temperatura en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$). Es ampliamente utilizado para medir la temperatura en una variedad de aplicaciones.

Características principales:

Rango de temperatura: El LM35 puede medir temperaturas en un rango de -55°C a 150°C . Esto lo hace adecuado para una amplia gama de aplicaciones, desde mediciones de temperatura ambiente hasta temperaturas extremas en entornos industriales.

Precisión: Ofrece una alta precisión de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ a temperaturas entre 25°C y 100°C , lo que lo convierte en una excelente opción para aplicaciones donde se requiere una medición precisa de la temperatura.

Salida analógica: El LM35 proporciona una salida analógica directamente proporcional a la temperatura. Por cada grado Celsius de cambio de temperatura, la salida varía en 10 mV.

Baja corriente de operación: Tiene una baja corriente de operación, lo que significa que consume muy poca energía durante su funcionamiento.

Calibración y compensación interna: Este sensor viene calibrado de fábrica y no requiere componentes externos para su calibración. También incorpora compensación interna para variaciones de voltaje y temperatura.

Carcasa metálica: Está disponible en una carcasa metálica que ayuda a proteger el sensor y mejora su disipación de calor.



Figura 2

Recuperada de: https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-867296697-sensor-hall-41f-kit-5-unidades-motos-electricas-transistor-_JM#is_advertising=true&position=1&search_layout=stack&type=pad&tracking_id=3bf53840-334a-4acf-84e1-b78863ba0999&is_advertising=true&ad_domain=VOCATCORE_LST&ad_position=1&ad_click_id=ODZiZmFiOTgtZTNiYy00MWE2LThYzltYmNlODY3ZDUyY2E2

Módulo GPRS/GSM de Comunicación Celular SIM800L.

El módulo SIM800L es un dispositivo de comunicación celular que permite la transmisión de datos a través de redes GSM y GPRS. Es una solución compacta y versátil para la comunicación móvil en una variedad de aplicaciones.

Características principales:

Soporte GSM y GPRS: El módulo SIM800L es compatible con redes GSM y GPRS, lo que permite la transmisión de datos y mensajes de texto a través de estas redes.

Compacto: Es un módulo pequeño y liviano, lo que facilita su integración en diferentes sistemas y dispositivos.

Baja potencia: El SIM800L tiene un bajo consumo de energía en modo de espera y en operación. Esto lo hace adecuado para aplicaciones con restricciones de energía.

Comandos AT: Utiliza comandos AT (Atención) para la configuración y control. Los comandos AT son instrucciones de texto que se envían al módulo para realizar diversas funciones, como el envío de mensajes de texto.

3.



Figura 3

Recuperada de: <https://electrotekmega.com/producto/modulo-gprs-gsm-sim800/>

4. Antena Externa para Módulo Celular:

- Una antena externa es utilizada para mejorar la recepción de señal celular.

- Especificaciones Técnicas:

- Tipo de Conector: SMA, RP-SMA.



Figura 4 Recuperada de:

https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-1302246953-amplificador-de-senal-6dbi-35mm-jack-antena-externa-para-_JM#position=13&search_layout=stack&type=item&tracking_id=666c5c7e-1ff1-40ba-a33f-cd472eccc7a

5. Plataforma IoT o Servidor en la Nube:

- Una plataforma IoT o un servidor en la nube es esencial para recibir, almacenar y gestionar los datos del sistema de monitoreo.

- Especificaciones Técnicas:

- Escalabilidad: Capacidad de manejar grandes volúmenes de datos.

- Seguridad: Protocolos de seguridad para proteger la integridad y confidencialidad de los datos.

- Conectividad: API o protocolos de comunicación compatibles con el sistema de monitoreo.

6. Otros Componentes y Herramientas:

- Incluye cables Dupont, herramientas de ensamblaje, y otros componentes específicos para la

conexión y ensamblaje del sistema.



Figura 5

Recuperada de:
https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.electronicaplugandplay.com%2Faccesorios%2Fproduct%2F829-jumper-cable-dupont-fl-40lines&psig=AOvVaw36_rbHXoJnPNqNxrRZdf&ust=1696559048077000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBQQ3YkBahcKEwjo3P2B7d2BAxUAAAAAHQAAAAAQA

CAJA DE CAMBIOS: La caja de cambios en turbinas eólicas convierte la baja velocidad y alto torque del rotor en una alta velocidad adecuada para el generador eléctrico. Ajusta la velocidad de

INSTALACION:

El monitoreo de la temperatura en la caja de cambios es de vital importancia, ya que esta es una de las áreas más críticas en una turbina eólica y su temperatura de funcionamiento puede indicar problemas potenciales.

El sensor de temperatura debe ubicarse en el interior del Nacelle (Góndola), en las proximidades de la caja de cambios de la turbina eólica. Esto permitirá una medición precisa de la temperatura de los componentes críticos. La ubicación interior garantiza una protección adicional contra las condiciones climáticas extremas y las vibraciones, lo que es crucial para el monitoreo efectivo y confiable de la temperatura de la caja de cambios.

Para lograr un monitoreo eficaz, consideraremos los siguientes aspectos:

Condiciones Extremas:

Las condiciones en la nacelle de una turbina eólica pueden ser extremadamente desafiantes. Estas incluyen:

las palas al rango óptimo del generador, permitiendo la generación eficiente de electricidad independientemente de las variaciones de velocidad del viento.

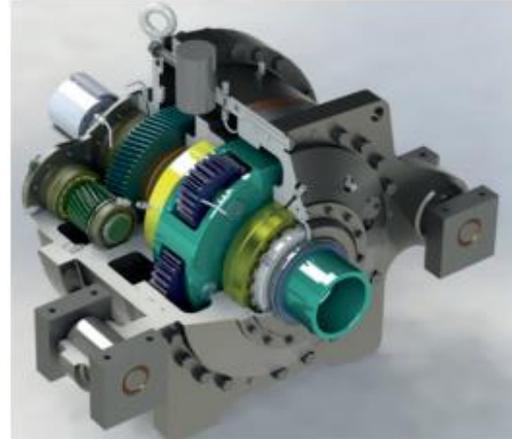


Figura 6: Diseño de caja de cambio

Recuperada de:
<https://ciateq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1020/274/1/Desarrollo%20de%20una%20caja%20de%20engranes%20RevistaSOMIM%20para%20RN.pdf>

Variaciones de Temperatura: En muchas ubicaciones, las temperaturas en la nacelle pueden oscilar entre el frío extremo y el calor. Estas variaciones de temperatura pueden afectar el rendimiento de los sensores.

Vibraciones y Movimientos: Las turbinas eólicas están en constante movimiento debido a la rotación de las palas y los cambios en la dirección del viento. Esto genera vibraciones y sacudidas que los sensores deben resistir.

Exposición a la Humedad: En ubicaciones costeras o con alta humedad, la nacelle puede estar expuesta a la humedad y la salinidad, lo que puede afectar los componentes electrónicos.

Ubicación del Sensor:

El sensor de temperatura debe estar ubicado en la caja de cambios de la nacelle. Se recomienda instalarlo en una posición donde pueda medir con precisión la temperatura del aceite o los componentes críticos. Esto podría ser en la proximidad de los engranajes, los rodamientos o el aceite lubricante.

Protección contra Condiciones Extremas:

Para proteger el sensor de las condiciones extremas en la nacelle, se pueden seguir estas prácticas:

Carcasa Resistente: El sensor debe estar alojado en una carcasa resistente que proteja los componentes electrónicos del viento, la lluvia y la humedad. Esta carcasa debe ser hermética para prevenir la entrada de agua.

Aislamiento Térmico: Dado que las temperaturas pueden variar drásticamente, es importante que el sensor cuente con algún tipo de aislamiento térmico para evitar que las fluctuaciones extremas afecten la medición precisa de la temperatura.

Protección contra Vibraciones: El sensor debe estar asegurado en su lugar de manera que las vibraciones y sacudidas no afecten su posición o su funcionalidad. Esto puede lograrse mediante la utilización de soportes adecuados.

Alimentación de Energía: Dado que la nacelle no siempre tiene una fuente de alimentación continua, se pueden utilizar baterías recargables o paneles solares para garantizar la alimentación de energía continua al sensor.

Comunicación a Prueba de Fallas: La comunicación entre el sensor y la plataforma IoT debe ser a prueba de fallas, ya que las interrupciones en la transmisión de datos pueden llevar a la pérdida de información crítica. Esto podría lograrse mediante redundancia en la comunicación.

FUNCIONAMIENTO:

1. **Adquisición de Datos:** En el núcleo de nuestro sistema se encuentra el sensor de temperatura LM35, que se encuentra estratégicamente ubicado en la caja de cambios de la turbina eólica. Este sensor mide constantemente la temperatura de la caja de cambios, una parte crítica de la turbina. La temperatura es un indicador crucial de su estado operativo y su posible desgaste.

2. **Procesamiento de Datos en el Raspberry Pi:** Los datos del sensor se adquieren y procesan en un microcontrolador Raspberry Pi. El Raspberry Pi es un componente central de nuestra solución, ya

que actúa como el cerebro del sistema. No solo recopila los datos del sensor, sino que también los procesa y los almacena en una base de datos local. Además, verifica constantemente los valores de temperatura en busca de anomalías.

3. **Transmisión de Datos en Tiempo Real:** Para garantizar el monitoreo en tiempo real, hemos implementado una solución de transmisión de datos confiable. Utilizamos un módulo de comunicación celular, como el SIM800L, que se encarga de enviar los datos recopilados a un servidor en la nube. Esto se realiza de manera constante y efectiva, lo que nos permite acceder a la información en cualquier momento.

4. **Almacenamiento en la Nube y Acceso Remoto:** Los datos transmitidos son almacenados en un servidor en la nube. Esto nos proporciona un acceso remoto a la información en tiempo real desde cualquier lugar del mundo. Además, habilita la posibilidad de análisis de datos en profundidad y la toma de decisiones basada en datos.

5. **Detección y Respuesta Temprana:** En el servidor en la nube, hemos implementado algoritmos de análisis de datos para detectar patrones anómalos de temperatura. Si se detecta un aumento inusual en la temperatura, el sistema genera alertas automáticas y notificaciones para que los ingenieros puedan tomar medidas preventivas antes de que ocurra una falla catastrófica en la turbina.

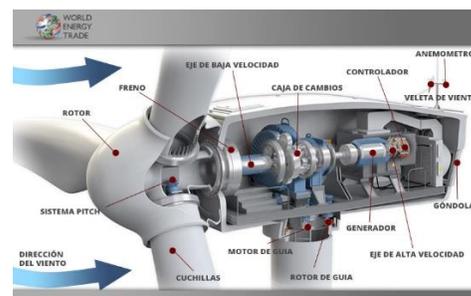


Figura 7

Recuperada de: <https://www.worldenergytrade.com/energias-alternativas/energia-eolica/5-componentes-cruciales-para-reducir-las-fallas-en-turbinas-eolicas-en-tierra>

XII. PRESUPUESTO:

CONCEPTO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
KIT RASPBERRY PI 4 MODEL B	1	780.000	780000
SENSOR DE TEMPERATURA LM35	1	30.000	30000
MODULO DE COMUNICACIÓN CELULAR SIM800L	1	45.000	45000
ANTENA EXTERNA	1	78.000	78000
SERVIDOR EN LA NUBE	2	120.000	240000
CAJA DE ENSAMBLAJE	1	120.000	120000
HERRAMIENTAS	1	200.000	200000
ACCESORIO DE ENSAMBLAJE	1	80.000	80000
MANO DE OBRA	1	1.700.000	1700000
		TOTAL	3273000

Tabla 1 - ELABORACIÓN PROPIA

XIII. CRONOGRAMA:

Nombre de la tarea	OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE
	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5	SEMANA 6	SEMANA 7	SEMANA 8	SEMANA 9
Adquirir el sensor de temperatura y configurar Raspberry Pi para su uso.									
Tarea 1: Investigar y seleccionar un sensor de temperatura adecuado.									
Tarea 2: Adquirir el sensor de temperatura.									
Tarea 3: Configurar Raspberry Pi para la integración del sensor.									
Desarrollar el programa que permita la adquisición y transmisión de datos desde el sensor.									
Tarea 1: Establecer la estructura del programa.									
Tarea 2: Programar la adquisición de datos desde el sensor.									
Tarea 3: Implementar la transmisión de datos.									
Integrar el módulo de comunicación celular y configurar la plataforma IoT para la transmisión de datos.									
Tarea 1: Adquirir y conectar el módulo de comunicación celular.									
Tarea 2: Configurar la plataforma IoT para recibir datos.									
Tarea 3: Realizar pruebas de transmisión con la plataforma IoT.									
Realizar pruebas y depuración del sistema en un entorno controlado.									
Tarea 1: Diseñar un entorno de pruebas controlado.									
Tarea 2: Ejecutar pruebas de adquisición y transmisión de datos.									
Tarea 3: Identificar y corregir posibles fallos y errores.									
Validar el sistema utilizando datos simulados y realizar ajustes finales.									
Tarea 1: Simular diferentes escenarios de datos.									
Tarea 2: Validar la transmisión y recepción de datos en la plataforma IoT.									
Tarea 3: Realizar ajustes en el programa según los resultados de la validación.									
Documentar el proceso y preparar el informe final y presentación.									
Tarea 1: Documentar todo el proceso de desarrollo.									
Tarea 2: Elaborar el informe final del proyecto.									
Tarea 3: Preparar la presentación para la exposición del proyecto.									

Tabla 1 - ELABORACIÓN PROPIA

XIV. CONCLUSION

La implementación de un sistema de monitoreo de temperatura en las cajas de cambios de turbinas eólicas mediante el uso de la Raspberry Pi y la tecnología IoT representa un avance significativo en la gestión y mantenimiento de parques eólicos. La relevancia de este proyecto radica en su capacidad para proporcionar una visión en tiempo

real del estado operativo de las cajas de cambios, componentes críticos para la conversión de energía eólica en electricidad.

El monitoreo constante de la temperatura en estas cajas de cambios no solo ofrece una ventana de visibilidad sin precedentes, sino que también presenta oportunidades para la detección temprana de posibles problemas y la implementación de medidas preventivas. La importancia de mantener las cajas de cambios dentro de rangos de temperatura óptimos no puede subestimarse, ya que esto no solo contribuye a la eficiencia operativa de

las turbinas, sino que también impacta directamente en la prolongación de su vida útil.

Este proyecto no solo se limita a la implementación técnica de sensores y plataformas de monitoreo, sino que aborda de manera integral las condiciones extremas en las que operan las turbinas eólicas. Desde la ubicación estratégica de los sensores hasta la protección contra condiciones climáticas adversas, se ha considerado cada aspecto para garantizar la efectividad y durabilidad del sistema.

En resumen, el sistema propuesto no solo contribuye a la eficiencia y confiabilidad operativa de las turbinas eólicas, sino que también establece un estándar para el mantenimiento predictivo en la industria eólica. Al proporcionar datos en tiempo real, herramientas analíticas y alertas automáticas, se allana el camino para un enfoque proactivo en la gestión de parques eólicos, promoviendo la sostenibilidad y maximizando el rendimiento de estas fuentes de energía limpia y renovable.

XV. BIBLIOGRAFÍA:

1. Huang, M., Liu, Z., & Tao, Y. (2020).

Mechanical fault diagnosis and prediction in IoT based on multi-source sensing data fusion. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 102, 101981.

2. Sequeira, C., Pacheco, A., Galego, P., & Gorbeña, E. (2019). Analysis of the efficiency of wind turbine gearboxes using the temperature variable. *Renewable Energy*, 135, 465-472.

3. Xia, T., Dong, Y., Pan, E., Zheng, M., Wang, H., & Xi, L. (2021). Fleet-level opportunistic maintenance for large-scale wind farms integrating real-time prognostic updating. *Renewable Energy*, 163.

4. Smith, J. K., & Johnson, A. B. (2018). *Renewable Energy: Physics, Engineering, Environmental Impacts, Economics and Planning*. Elsevier.

5. Wiser, R., & Bolinger, M. (2015). *2014 Wind Technologies Market Report*. Lawrence Berkeley National Laboratory.

6. Hameed, Z., Awan, A. S., & Ali, A. (2019). Gearbox failure analysis in wind turbines: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 103, 135-149.

7. Gao, X., & Dai, H. (2017). Condition Monitoring and Fault Diagnosis of Wind Turbine Gearboxes: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 1202- 1213.

8. García-Miquel, H., Roselló, J., & Guzmán, J.

L. (2018, October). Wind turbine gearbox fault detection using statistical analysis of vibration signals. In *2018 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)* (pp. 5374-5381). IEEE.

9. Chen, X., Chen, Z., & Yang, Y. (2017, July). Research on Wind Turbine Gearbox Fault Diagnosis Based on Machine Learning. In *2017 4th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ICEEE)* (pp. 99-104). IEEE.

10. Basu, S., Nazario, C., & Fish, G. (2021, August 16). Choosing the right lubricant for today's wind turbines. *WIND POWER ENGINEERING*.

11. Yang, D., Li, H., Hu, Y., Zhao, J., Xiao, H., & Lan, Y. (2016). Vibration condition monitoring system for wind turbine bearings based on noise suppression with multi-point data fusion. *Renewable Energy*, 92. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148116300994>

12. <https://www.skf.com/>