

Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia

Tecnológica

Maestría en Electrónica y Automatización mención Redes Industriales

**Modelo de una propuesta de mantenimiento eólico para el
entrenamiento virtual en la formación de nuevos profesionales
con un enfoque a la industria**

Autor : Ing. Christian Andrés Carvajal Martínez

Director: Ing. Mario Polibio Jiménez León Msc.

Latacunga, Julio de 2022

CÓDIGO: GDI.3.1.004

VERSIÓN: 1.0



Agenda

- Antecedentes
- Justificación
- Objetivos
- Metodología de la Investigación
- Desarrollo
- Resultados
- Conclusiones y Recomendaciones

Antecedentes

El empleo y acceso de las energías alternas en la sociedad y en el sector económico para la producción de energía actualmente es muy necesario y primordial.

El desarrollo agroindustrial, el crecimiento de los países y las mejoras en la calidad de vida han originado que la demanda de energía haya tenido un crecimiento exponencial en los últimos 10 años.

Actualmente, los aerogeneradores modernos tienen un alto nivel de desarrollo tecnológico. Factores como el tamaño y el rendimiento del sistema, hacen que la carga sobre los componentes individuales del sistema también aumente. Por esta razón se deben desarrollar conceptos de mantenimiento y operación, que puedan aumentar el ciclo de vida operacional de la turbina y de forma paralela pueda reducir los costos para el operador



Justificación – Problema - Alcance

Justificación

Desarrollo de Investigaciones en temas de Electrónica y Automatización

Competencias de Energías Alternativas con procesos en la industria 4.0



Uso de software de simulación virtual basados en un modelo de estrategia



Justificación –Problema -Alcance

Problema

Demanda de Consumo de
Energía

Riesgos Laborales

Falta de experiencia de
Personal



Justificación – Problema - Alcance

Importancia

Entrenamiento Virtual

Capacitación De Personal

Reducción en indicadores



Objetivos

Objetivo General

Generar una estrategia de mantenimiento de un aerogenerador de eje horizontal para simular el mantenimiento eólico, orientado al entrenamiento en la formación de nuevos profesionales ligados a la industria 4.0



Objetivos

Objetivos Específicos.

- Recolectar información necesaria e importante sobre las estrategias de mantenimiento actual y tradicional de aerogeneradores en sectores de América y Europa que dominan el mercado de energías alternativas.
- Elaborar el modelo de propuesta de mantenimiento eólico basado en las prioritarias actividades de mantenimiento en las principales partes de una turbina eólica.
- Crear en el software de simulación eólico las tareas de entrenamiento virtual de acuerdo al modelo de propuesta de actividades y componentes de mantenimiento del aerogenerador.
- Implementar y desarrollar en el software cada una de las prácticas de entrenamiento virtual basadas en el modelo de propuesta.
- Establecer una comparación de indicadores con igual o mejores resultados entre el modelo de propuesta de mantenimiento eólico con respecto a las tradicionales.



Categorización de las variables de investigación

- **Variable Independiente:** Modelo de una propuesta de mantenimiento eólico.
- **Variable Dependiente:** Entrenamiento virtual en la formación de nuevos profesionales

ligados a la industria 4.0



METODOLOGÍA

DESARROLLO ITERATIVO E INCREMENTAL

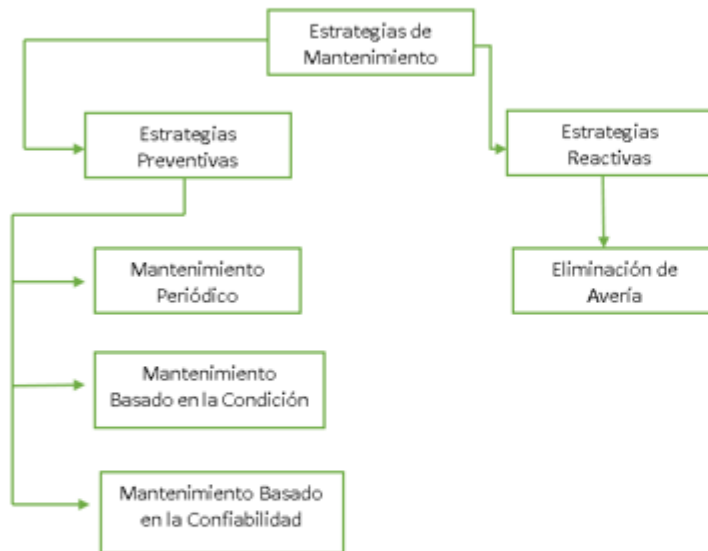
Fase de Formación	Fase de Desarrollo	Fase de Integración
<ul style="list-style-type: none">• Investigación y estudio de herramientas	<ul style="list-style-type: none">• Modelo de propuesta de mantenimiento• Instalación de Material y creación de tareas de mantenimiento	<ul style="list-style-type: none">• Integración final del material• Implementación y pruebas



Metodología de la Investigación

I Análisis de Estrategias Tradicionales

1 Estrategias de Mantenimiento



2 Análisis de Fallas

- Fallo Estructural
- Fallo Eléctrico
- Fallo Mecánico
- Fallo de Control
- Fallo de Aislamiento
- Fallo Térmico
- Ataque Mecánico
- Fallo de Rodamiento
- Fallo de Material
- Fallo de la Junta
- Contaminación
- Bloqueo

3 Necesidades

- Enfoque 4.0
- Tecnología



Metodología de la Investigación

II Mejora Continua

4 Capacitación

- Conocimiento en operación y mantenimiento de aerogeneradores que posee actualmente el personal
- Grado de experiencia del profesional del sector eólico

5 Beneficios del TPM

Beneficios en Función a la Organización

- Calidad de ambiente de trabajo y comunicación entre los trabajadores del sector eólico.
- Control en las operaciones de mantenimiento del aerogenerador
- Incremento moral en los trabajadores de la empresa de mantenimiento eólico.

Beneficios en Función de la Seguridad

- Cuidado del medio ambiente con las operaciones de mantenimiento eólico
- Disminución de accidentes laborales en el mantenimiento en la altura de la torre.
- Mantenimiento de componentes bajo el cumplimiento de normas de seguridad

Beneficios en Función de la Productividad

- Fomento en la competitividad de la planta del aerogenerador.
- Satisfacción en el trabajo de operación y mantenimiento eólico con la manipulación de herramientas y materiales
- Reducción en los costos de mantenimiento de los componentes eólicos
- Incremento en la capacidad de solventar fallas en los equipos eólicos

6 Entrenamiento Virtual



Metodología de la Investigación

III Sustentación de Mantenimiento

7 Estrategia de Mantenimiento



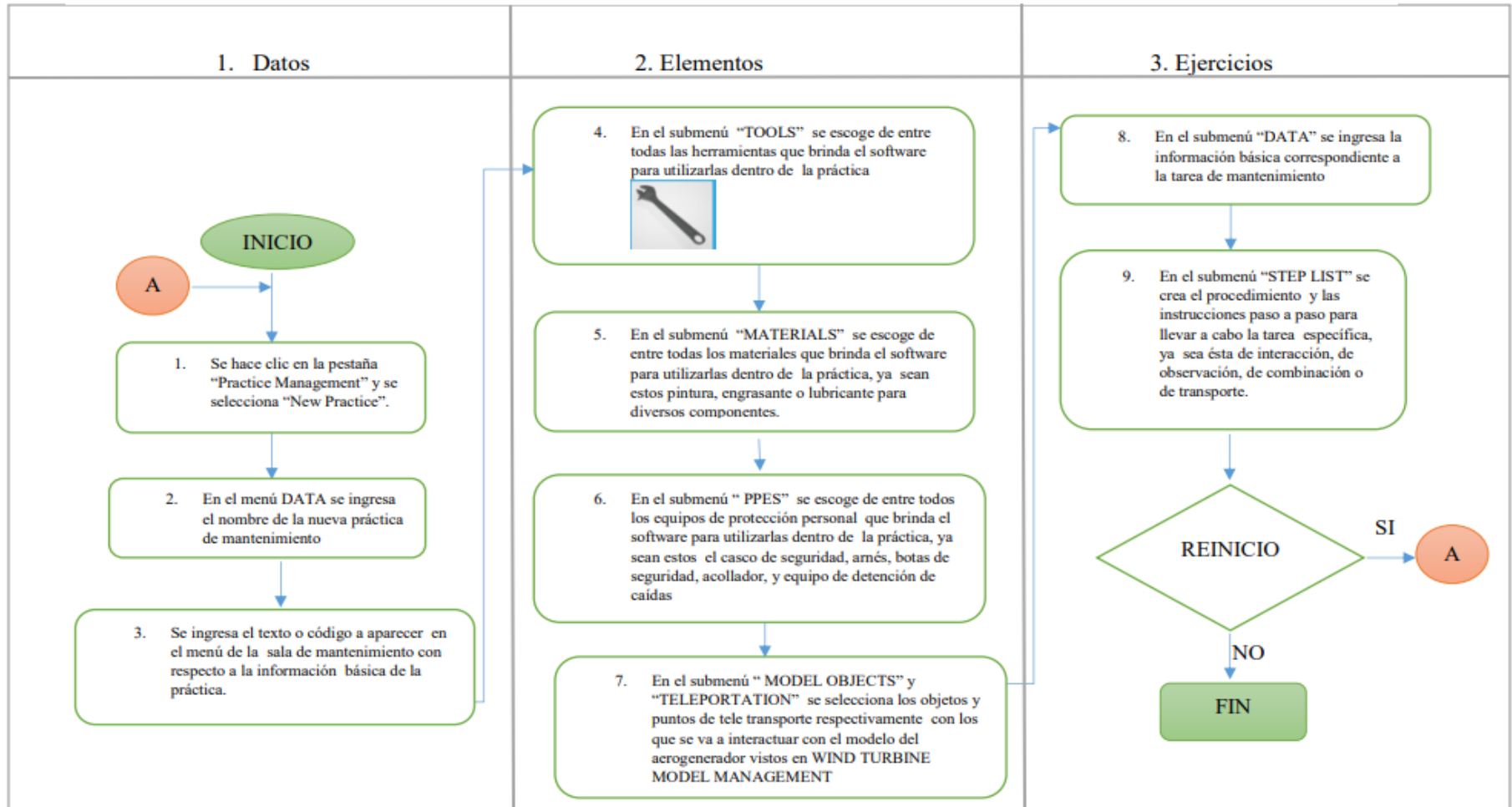
8 Programación de tareas de mantenimiento basados en la estrategia de mantenimiento en los principales componentes.

- Sistema de Frenado
- Mecanismo de orientación de palas
- Torre
- Multiplicadora
- Generador
- Rotor (Buje y Palas)
- Transmisión Mecánica

9 Ejecución de tareas de mantenimiento



Desarrollo



Desarrollo

Sistema de Frenado

1. Instrucciones Preliminares
2. Exploración y Equipamiento

INICIO

A

Paro de Aerogenerador

1. Ir al punto de acceso al aerogenerador
2. Abrir Puerta
3. Ingresar al Aerogenerador
4. En el menú PPES equiparse con: Arnés, Botas de Seguridad, Casco de Seguridad, Acollador y equipo de detención de caídas
5. Realizar la secuencia correcta para el paro que consiste en tocar el botón rojo , botón verde , botón negro y el botón grande respectivamente



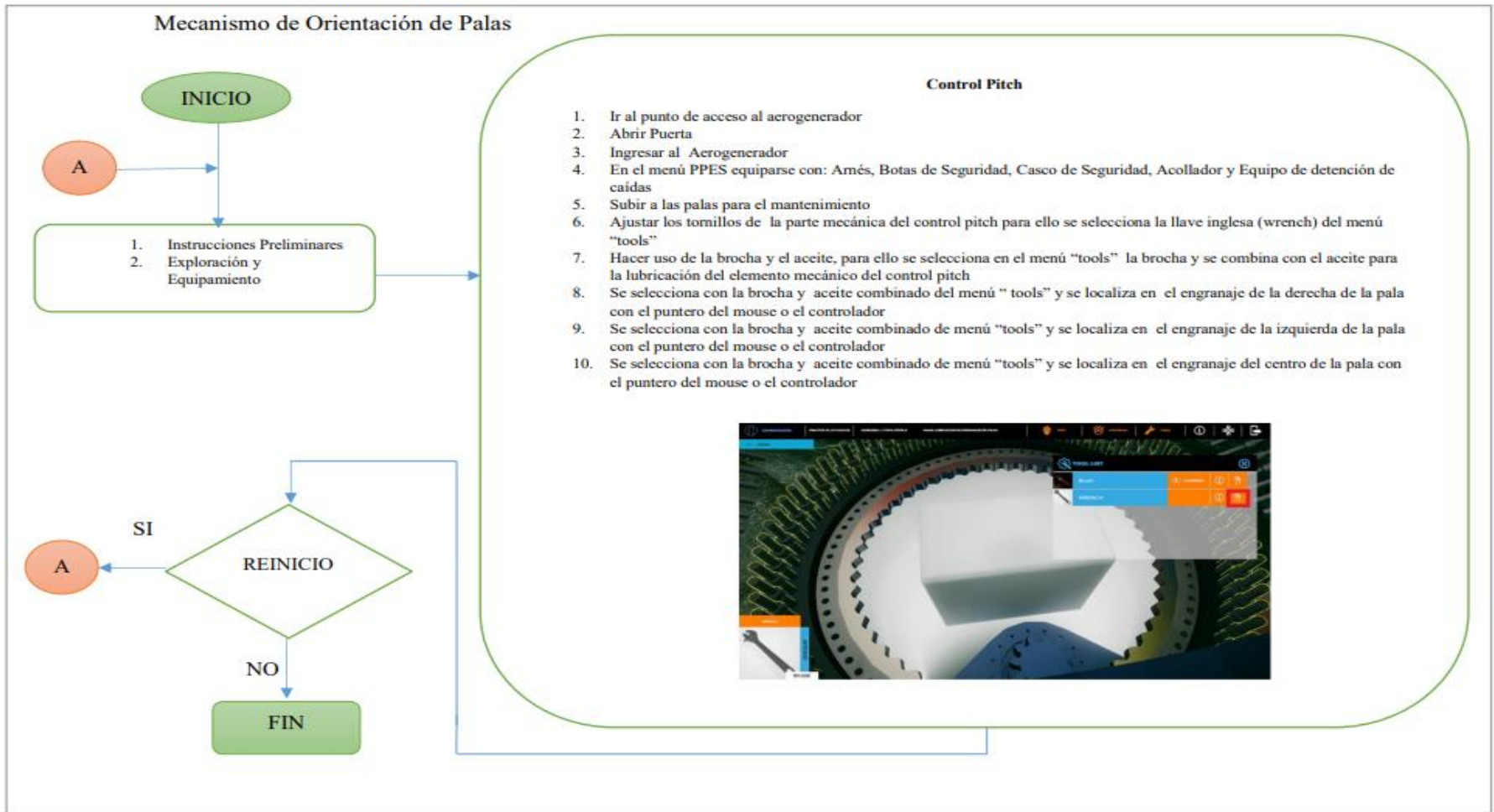
Programación Control Yaw, Eje Lento y Rotor

6. Desplazarse hasta las escaleras para subir a la góndola
7. En el menú TOOLS combine la computadora con el cable rj45, una vez combinado seleccione el interruptor de la pared
8. Verificar estado de acoplamiento buje - eje lento
9. Seleccione el programa "carrusel 75%" de la lista de parámetros en el menú "tools" para reducir la velocidad del rotor
10. Hacer clic sobre el eje lento para verificar su estado
11. Seleccionar el programa "full park brake" de la lista de parámetros del menú "tools" para detener por completo el rotor y aplicarlo después en la computadora
12. Seleccionar el programa "90° yaw" de la lista de parámetros del menú "tools" para el control de giro circular de la turbina y aplicarlo en la computadora

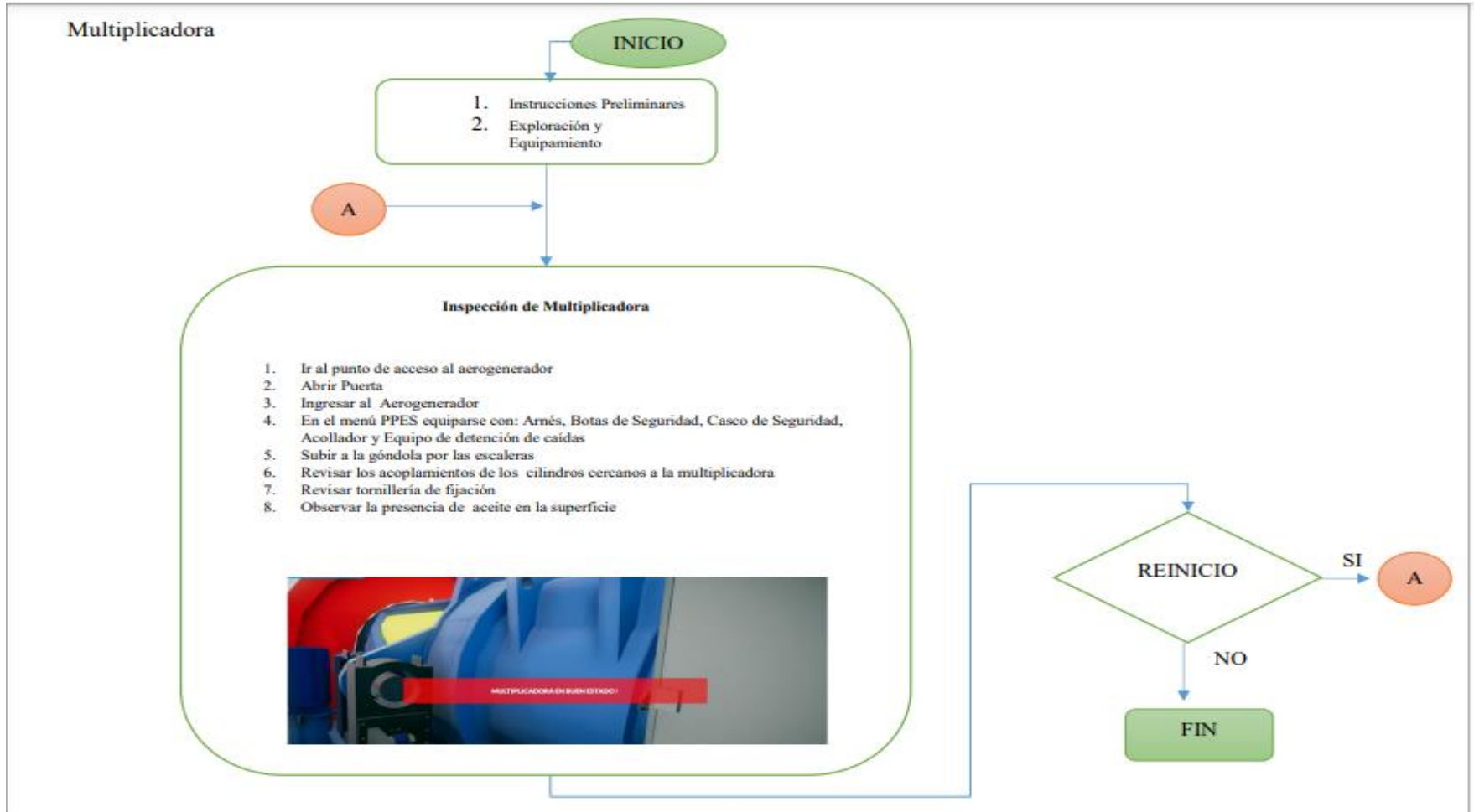


Desarrollo

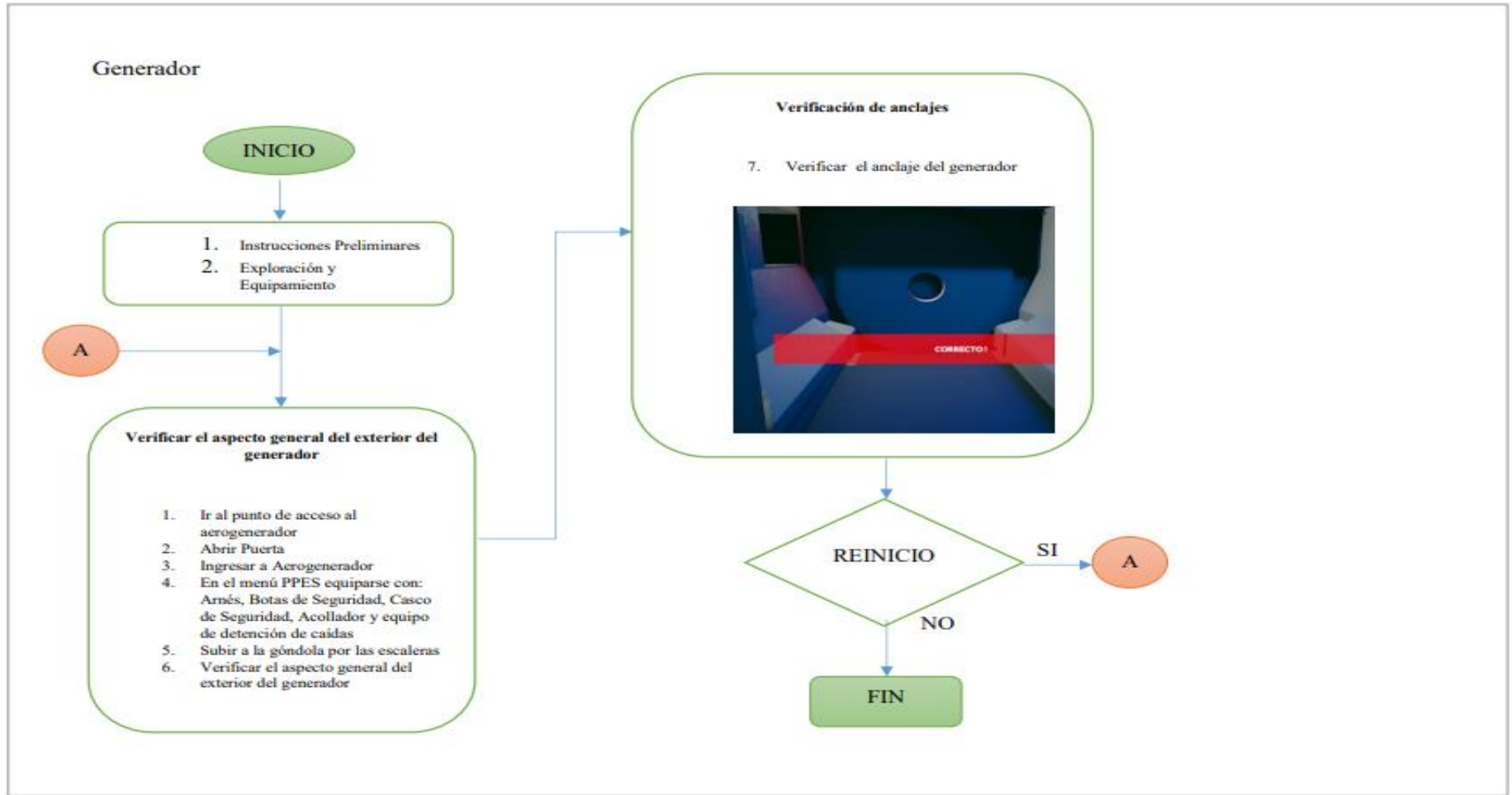
Mecanismo de Orientación de Palas



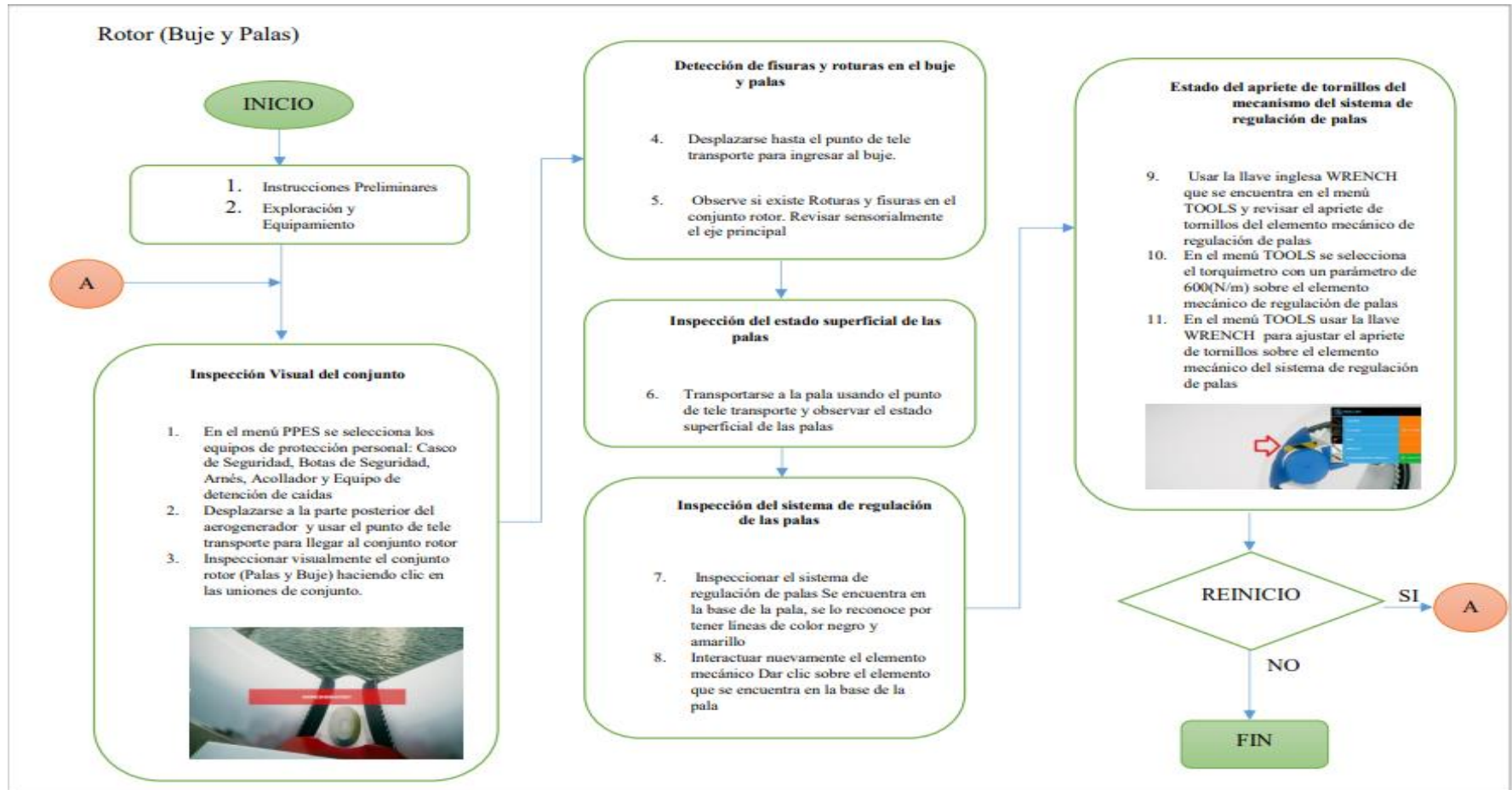
Desarrollo



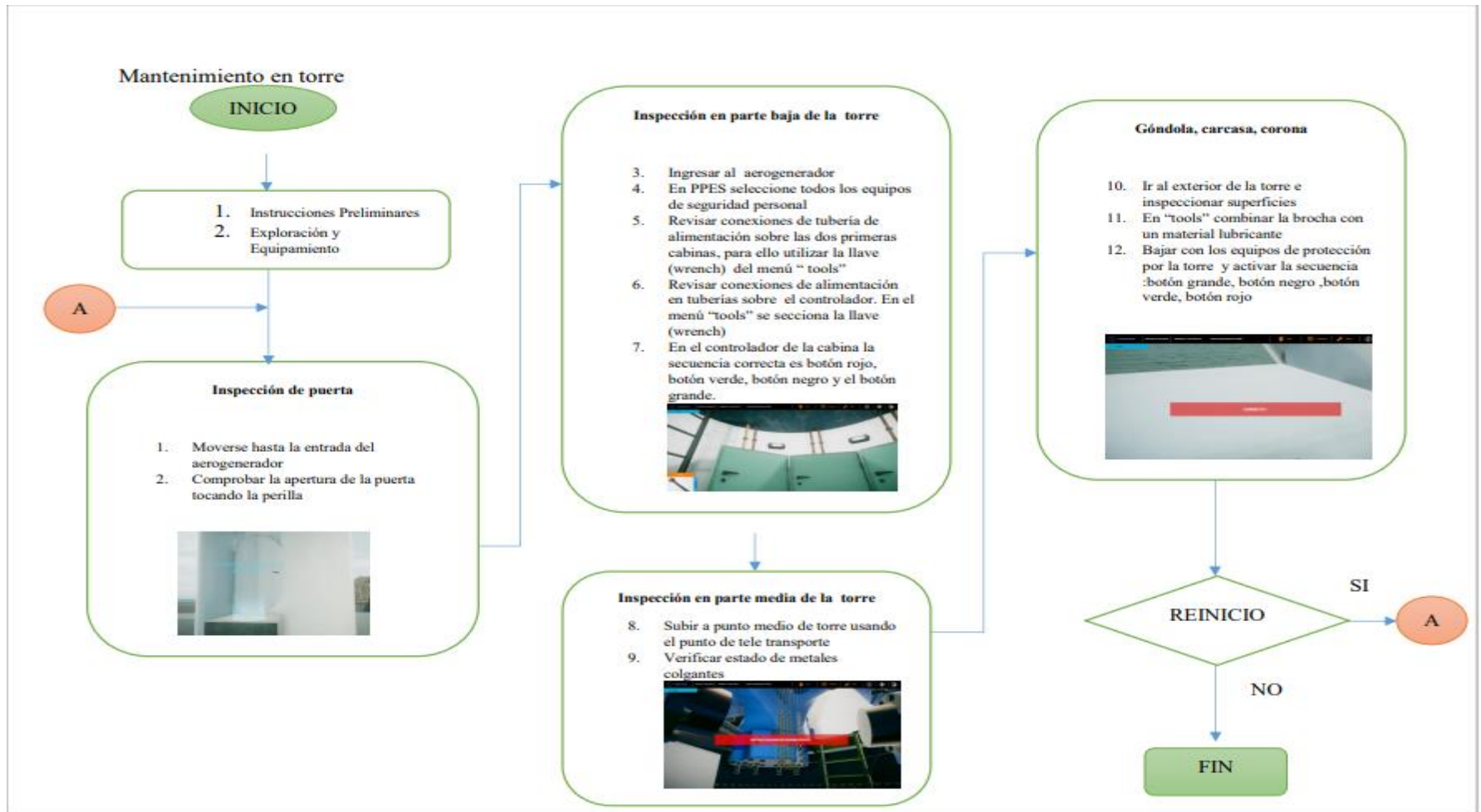
Desarrollo



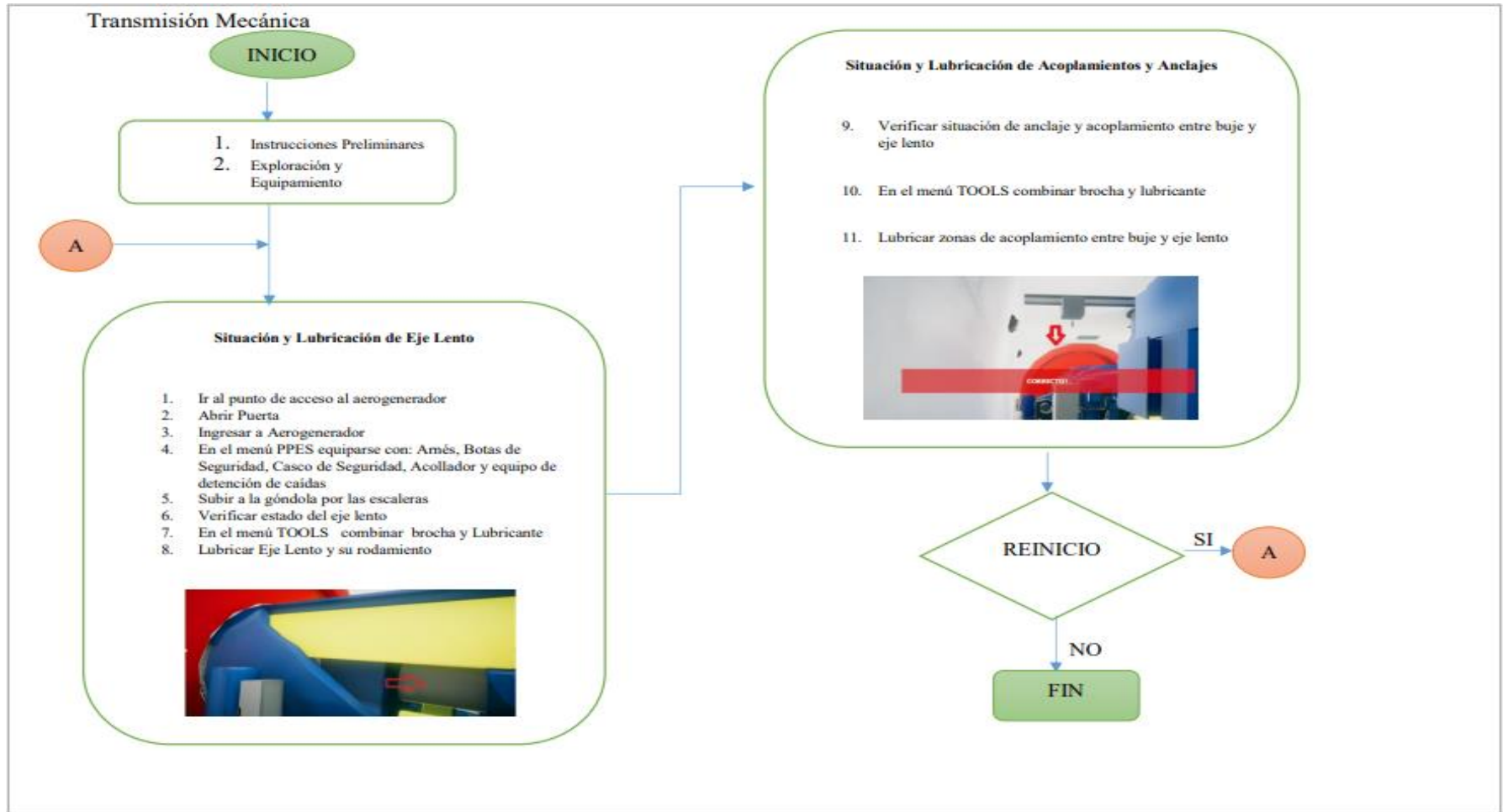
Desarrollo



Desarrollo



Desarrollo



Resultados

Costos

Descripción	Estrategias Tradicionales Inversión en Capacitación (USD)	Modelo de Propuesta Inversión en Capacitación (USD)	Ahorro (USD)
1er año	18714.1	16800	1914.1
2do año	18714.1	4800	13914.1



Resultados

Costos

Descripción	Estrategias Tradicionales Inversión en Capacitación (USD)	Modelo de Propuesta Inversión en Capacitación (USD)	Ahorro (USD)
1er año	18714.1	16800	1914.1
2do año	18714.1	4800	13914.1



Resultados

Desgaste

Estrategias Tradicionales	Modelo de Propuesta
Los efectos de corrosión, erosión, rayos afectan a componentes como las palas, el buje, el interior de la torre, entre otros.	Los fenómenos físicos de una u otra forma van a seguir desgastando a los componentes externos e internos del aerogenerador.
El componente del aerogenerador se desarma un sinnúmero de veces hasta que el personal técnico de mantenimiento quede totalmente capacitado.	El componente del aerogenerador se desarma menos veces porque el usuario ya tiene una experiencia virtual.



Resultados

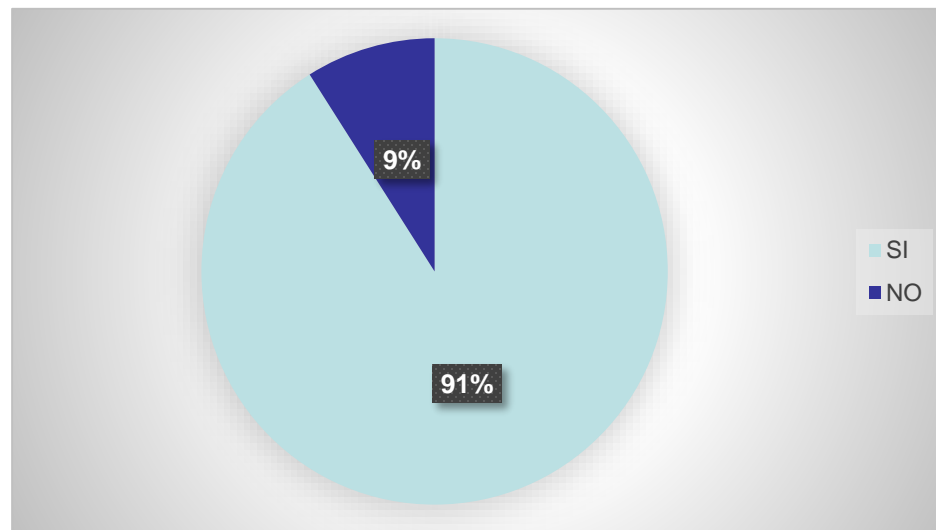
Tiempo en Tareas de Mantenimiento

Estrategias Tradicionales	Modelo de Propuesta
De acuerdo al protocolo IRIM 202410 el tiempo empleado en la inspección de cada aerogenerador oscila entre las 4 y 8 horas.	Los tiempos en la inspección de cada aerogenerador estiman 3 horas



Resultados

Promedio de aceptación
de los encuestados del
modelo de propuesta



Conclusiones

- Se recolectó información necesaria e importante sobre las estrategias de mantenimiento actual y tradicional de aerogeneradores en sectores de América y Europa que dominan el mercado de energías alternativas, en donde se evidenció que el mantenimiento en tecnologías offshore se encuentran en evolución; mientras que las tecnologías onshore están dominadas por las estrategias preventivas como el mantenimiento periódico, el mantenimiento basado en la condición, el mantenimiento basado en la confiabilidad y estrategias reactivas como la eliminación de averías que representan el 60% de los daños del aerogenerador presentes en el sistema mecánico como engranajes y cojinetes, ya sea por la rotura o el desgaste del material.



Conclusiones

- Se elaboró un modelo de propuesta de mantenimiento eólico que tiene una estructura basada en el mantenimiento productivo total (TPM), y que aprovecha los beneficios de la mejora continua bajo el enfoque de la Industria 4.0 en el entrenamiento virtual de las tareas de mantenimiento en los principales componentes del aerogenerador con el uso de un software de simulación “Simulwind” que satisface la necesidad formativa en la capacitación de nuevos profesionales ligados al sector de operación eólica.



Conclusiones

- Se creó bajo el lenguaje de Marcado de Hipertexto (HTML) en el software de simulación eólico las prácticas de entrenamiento virtual de acuerdo al modelo de propuesta de actividades y componentes de mantenimiento del aerogenerador. Las prácticas que se crearon en el software fueron correspondientes a las tareas de mantenimiento en: sistema de frenado del eje rápido, control del rotor orientado en la dirección del viento (Yaw Control), tareas en el mecanismo de orientación de palas (Pitch Control), en la góndola, en la carcasa, tareas en el mantenimiento en torre, tareas en la multiplicadora, en el generador, rotor (buje y palas) y tareas en la transmisión mecánica (ejes, acoplamientos).



Conclusiones

- Se implementó y desarrolló en el software cada una de las prácticas basadas en el modelo de propuesta, con las cuales el usuario accede al entrenamiento virtual en su capacitación con las tareas de mantenimiento correspondientes a los principales componentes del aerogenerador.



Conclusiones

- Se estableció una comparación de indicadores con igual o mejores resultados entre el modelo de propuesta de mantenimiento eólico con respecto a las tradicionales. Así por ejemplo en el primer año del total de 18714.1 USD en costos de capacitación en la operación y mantenimiento de aerogeneradores en las estrategias tradicionales se reducen a 16800 USD equivalente a un ahorro del 10.22 % con el modelo de propuesta, y para el segundo año se reduce a 4800 USD equivalente a un ahorro del 74.35 %.



Conclusiones

- El desgaste en los componentes del aerogenerador con el modelo de propuesta se prevé que se reduzca, considerando que los elementos se desarmen menos veces porque el usuario ya tiene una experiencia virtual con la manipulación de herramientas y materiales. Esto supone también que a lo largo de la vida útil del aerogenerador sean menos los cambios de los juegos y repuestos que conforman los componentes del aerogenerador.



Conclusiones

- El tiempo en la tarea de mantenimiento con el modelo de propuesta en la inspección de cada aerogenerador se establece en 3 horas, lo cual implica que es menor al tiempo en el mantenimiento de las estrategias tradicionales que bajo el Protocolo IRIM 202410 suponen un intervalo entre 4 a 8 horas. .



Conclusiones

- Bajo la encuesta de validación del proyecto se evidenció un promedio del 91% de los encuestados que aceptan el sistema de entrenamiento virtual, considerando que bajo el procedimiento aplicado, el usuario adquiere altos niveles de preparación y experiencia en el manejo de herramientas en aerogeneradores. Paralelamente los encuestados indicaron el aumento de la seguridad laboral e integral de los trabajadores frente a situaciones de riesgo con respecto a estrategias tradicionales.



Conclusiones

- Con el enfoque a la industria 4.0 los beneficios analizados indican el trabajo eficiente, colectivo y común de la empresa. Técnicamente se aprovecha el rendimiento máximo de los equipos con el programa de simulación virtual que permite la capacitación del personal técnico de mantenimiento en aerogeneradores para intervenir en el equipo y establecer óptimas condiciones de funcionamiento de los componentes del aerogenerador.



Conclusiones

- Simulwind es una herramienta de entrenamiento para la sostenibilidad de los parques eólicos que se seleccionó por la viabilidad de los costos de adquisición (software libre) y que permite al usuario aprovechar el modelo 3D de aerogenerador tripala de eje horizontal propio del simulador..



RECOMENDACIONES

- En la realización de las prácticas en Simulwind considerar aspectos y características de los objetos del modelo 3D de aerogenerador que faciliten la interacción de sus propiedades para la programación y creación de las tareas.

Se recomienda en trabajos futuros realizar una comparación de indicadores en la implementación que presenten los resultados de tareas entre Simulwind y nuevos softwares de entrenamiento virtual en aerogeneradores que se encuentren disponibles en la red considerando nuevas estrategias de mantenimiento y otros equipos de realidad virtual



GRACIAS



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA