

## Metodología para Mejorar el Comisionamiento de Plantas Nuevas Integrando las Normas ISO 55000:2014 y ISO 14224:2016, Caso de Estudio: Plantas de Generación Eléctrica Solar Fotovoltaica y Eólica<sup>1</sup>

Edwin Adrián Correa Correa<sup>2</sup>, Carlos Jaime Franco Cardona<sup>3</sup>

### Resumen

El comisionamiento de plantas nuevas es una parte fundamental del proceso de producción energía, el objetivo de este artículo es presentar una metodología que permita Mejorar el Comisionamiento de las plantas eólicas y solares fotovoltaicas, para esto se tomaron las normas ISO 55000:2014 e ISO 14224:2016 y con esto se tiene como resultado una metodología de cuatro fases:

Fase 1: Norma ISO 14224 Taxonomía.

Fase 2: Norma ISO 31000 Criticidad.

Fase 3: Metodología RCM (Reliability Centred Maintenance).

Fase 4: Aportes de las fases a los requisitos de norma ISO 55001.

Se concluye que al aplicar esta metodología se mejora el comisionamiento de las plantas eólicas y solares fotovoltaicas.

**Palabras clave:** Mantenimiento, Energía eólica, Energía solar.

1 Artículo original breve derivado del trabajo de maestría: Metodología para mejorar el comisionamiento de plantas nuevas integrando las normas ISO 55000:2014 y ISO 14224:2016, caso de estudio: plantas de generación eléctrica solar fotovoltaica y eólica, de la Universidad Nacional de Colombia ejecutado entre septiembre 21 de 2018 y julio 15 de 2020, financiado por los autores.

2 Magíster en Ingeniería Sistemas Energéticos, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Especialista en formulación y evaluación de proyectos, Instituto Tecnológico Metropolitano, Profesional Empresas Públicas de Medellín E.S.P., correo: edcorreac@unal.edu.co / ORCID: 0000-0001-8396-1648.

3 Doctor en Ingeniería de Sistemas Energéticos, Universidad Nacional de Colombia Sede Colombia, Magíster en recursos hídricos, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, docente titular Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, correo: cjfranco@unal.edu.co / ORCID: 0000-0002-7750-857X.

**Autor para Correspondencia:** Edwin Adrián Correa Correa, E-mail: edcorreac@unal.edu.co

Recibido: 20/02/2021      Aceptado: 09/12/2021

\*Los autores declaran que no tienen conflicto de interés

## Methodology to Improve the Commissioning of New Plants Integrating the ISO 55000: 2014 and ISO 14224: 2016, Case Study: Solar Photovoltaic and Wind Power

### Abstract

The commissioning of new plants is a fundamental part of the energy production process, the objective of this article is to present a methodology that allows Improving the Commissioning of wind and solar photovoltaic plants, for this the ISO 55000: 2014 and ISO 14224 standards were

taken: 2016 and this results in a four-phase methodology:

Phase 1: ISO 14224 Taxonomy Standard.

Phase 2: ISO 31000 Standard Criticality.

Phase 3: RCM (Reliability Centred Maintenance) Methodology.

Phase 4: Contributions of the phases to the requirements of the ISO 55001 standard.

It is concluded that by applying this methodology the commissioning of wind and solar photovoltaic plants is improved.

**Keywords:** Maintenance, Wind energy, Solar energy.

---

## Metodologia para Melhorar o Comissionamento de Novas Plantas Integrando as Normas ISO 55000: 2014 e ISO 14224: 2016, Estudo de Caso: Plantas de Geração de Energia Solar Fotovoltaica e Eólica

### Resumo

O comissionamento de novas usinas é parte fundamental do processo de produção de energia, o objetivo deste artigo é apresentar uma metodologia que permita o Melhoria do Comissionamento de usinas eólicas e solares fotovoltaicas, para isso foram adotadas as normas ISO 55000:

2014 e ISO 14224: 2016 e isso resulta em uma metodologia de quatro fases:

Fase 1: Padrão de Taxonomia ISO 14224

Fase 2: Criticidade do padrão ISO 31000

Fase 3: Metodologia RCM (Manutenção Centrada em Confiabilidade)

Fase 4: Contribuições das fases aos requisitos da norma ISO 55001.

Conclui-se que com a aplicação desta metodologia melhora-se o comissionamento de usinas eólicas e solares fotovoltaicas.

**Palavras-chave:** Manutenção, Energia Eólica, Energia Solar.

## Introducción.

Las organizaciones en la actualidad buscan el mejoramiento continuo por medio de acciones que apalanquen su estrategia, para llegar a este punto pueden certificarse en alguna norma, bien sea por cumplir con la regulación o como iniciativa propia.

Lo anterior no es ajeno a la gestión de activos, certificado alcanzable con el cumplimiento de las normas ISO 50000, 50001 y 50002. La política de gestión involucra a todos los niveles de la organización, iniciando con el diseño y culminando con la desincorporación de activos, lo cual permite medir la vida útil de un activo.

Es por lo anterior que el comisionamiento entendido como las actividades y acciones que permiten realizar y asegurar una adecuada entrega y recepción de los proyectos, debe ser fortalecido dentro de la política de gestión de activos, en donde se establezcan reglas de negocio concisas y claras; las cuales proporcionen a los involucrados una hoja de ruta que permita el cumplimiento de los objetivos y su aporte a las estrategias o lineamientos establecidos por la organización (EPM, 2019).

El propósito de este artículo es entregar a los involucrados en la Gestión de Activos y en el comisionamiento de plantas eólicas y fotovoltaicas una metodología que con sus resultados aportan en el cumplimiento de los requisitos de la norma ISO 55001.

El artículo está organizado de la siguiente manera: en las secciones 2 y 3 se explican los fundamentos técnicos de los

generadores eólicos y fotovoltaicos, en la sección 4 se tratan en resumen las etapas del comisionamiento, en la sección 5 se indica la metodología utilizada para llegar a los resultados descritos en la sección 6.

## Objetivo

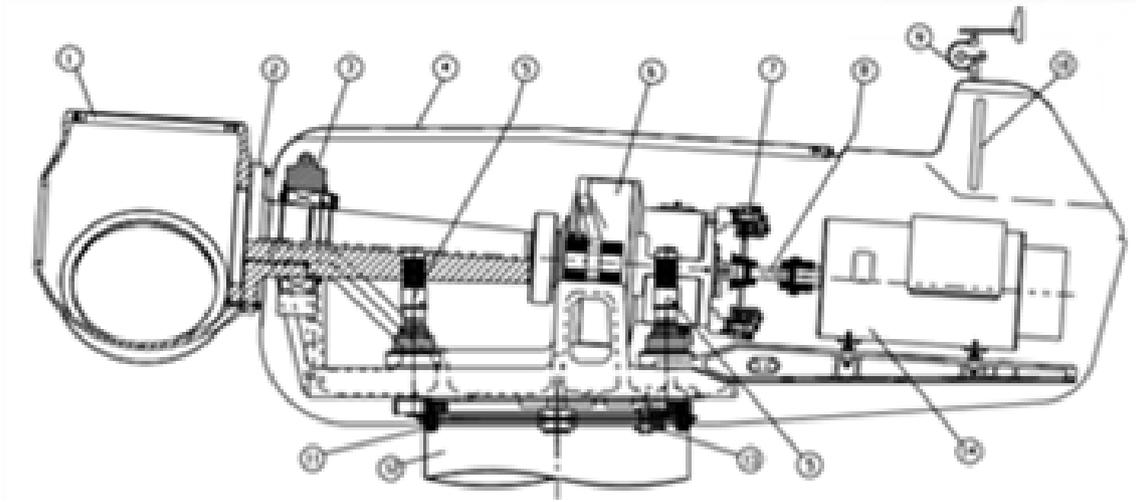
Establecer una metodología de aplicación de las normas ISO 55000:2014 e ISO 14224:2016 enfocada al mantenimiento de nuevos parques de energía solar fotovoltaica y eólica.

## Generación Eólica

- El viento es aire en movimiento, una forma indirecta de la energía solar. Este movimiento de las masas de aire se origina por diferencias de temperatura causadas por la radiación solar sobre la superficie terrestre (UPME, 2003).
- Cuando el aire se calienta su densidad se hace menor y sube, mientras que las capas frías descienden. Así se establece una doble corriente de aire, cuya velocidad es mayor mientras mayor sea la diferencia de temperatura entre las capas (UPME, 2003).

Componentes.

El esquema básico de un aerogenerador se muestra en la Figura 1, en el mercado se encuentran varios esquemas que en definitiva poseen en común los mismos elementos, en otras marcas se encuentran dos rodamientos principales, o en el caso de otras el diseño sin la caja multiplicadora.



**Figura 1.** Componentes básicos de un aerogenerador (Nordex 1998, 2003).

Fuente: Adaptada de Nordex. (1998,2003). Nordex N60, Technical description.

### ***Buje.***

En un aerogenerador, el buje es el componente que conecta las palas al eje principal, transmitiendo la potencia extraída del viento, e incluye los mecanismos de regulación del ángulo de paso (Nordex 1998, 2003).

### ***Eje principal o eje de baja velocidad.***

Conecta el buje del rotor al multiplicador (Nordex 1998, 2003).

### ***Rodamiento principal.***

Soporta el eje de baja velocidad (Nordex 1998, 2003).

### ***Góndola.***

Contiene los componentes clave del aerogenerador, incluyendo el multiplicador y el generador eléctrico. Además, protege todos los componentes ante las inclemencias del tiempo, a la vez que aísla acústicamente

el exterior del ruido generado por la máquina (Nordex 1998, 2003).

### ***Sistemas de orientación “Yaw”.***

El mecanismo de orientación de un aerogenerador es utilizado para girar el rotor de la turbina en contra del viento (Nordex 1998, 2003).

### ***Caja de cambio o multiplicadora.***

En el eje de transmisión se coloca a menudo un multiplicador de una o varias etapas entre el rotor que extrae la energía cinética del viento y la convierte en energía mecánica de rotación (Nordex 1998, 2003).

### ***Frenos.***

Casi todos los aerogeneradores incorporan frenos a lo largo del eje de transmisión como complemento al freno aerodinámico (Nordex 1998, 2003).

### ***Eje secundario o de alta velocidad.***

Permite el funcionamiento del generador eléctrico. Está equipado con un freno de disco de emergencia. (Nordex 1998, 2003).

#### ***Sensores.***

Veleta y anemómetro, Se utilizan para medir la velocidad y la dirección del viento. Las señales electrónicas del anemómetro son utilizadas por el controlador electrónico del aerogenerador para conectar o desconectar el aerogenerador tomando como referencia la velocidad del viento (Nordex 1998, 2003).

#### ***Sistemas de refrigeración.***

Los sistemas de refrigeración contienen un ventilador eléctrico utilizado para enfriar el generador eléctrico. Contiene una unidad refrigerante por aceite empleada para enfriar el aceite del multiplicador. Algunas turbinas tienen generadores refrigerados por agua (Nordex 1998, 2003).

#### ***Rodamiento mecanismo de orientación.***

Permite la orientación de la góndola (Nordex 1998, 2003).

#### ***Torre.***

La torre del aerogenerador soporta la góndola y el rotor (Nordex 1998, 2003).

#### ***Frenos mecanismo de orientación.***

Impiden el movimiento de la góndola “Yaw”, se inactivan en el momento que el sistema de orientación de góndola se activa (Nordex 1998, 2003).

#### ***Generador.***

El generador es la encargada de convertir la energía mecánica en energía eléctrica (Nordex 1998, 2003).

### **Generación solar fotovoltaica**

La luz del Sol se puede convertir directamente en electricidad mediante celdas solares, conocidas también como celdas fotovoltaicas, que son artefactos que utilizan materiales semiconductores (UPME, 2003).

#### **Componentes.**

En la Figura 2 se relacionan las zonas más importantes que componen una planta fotovoltaica.

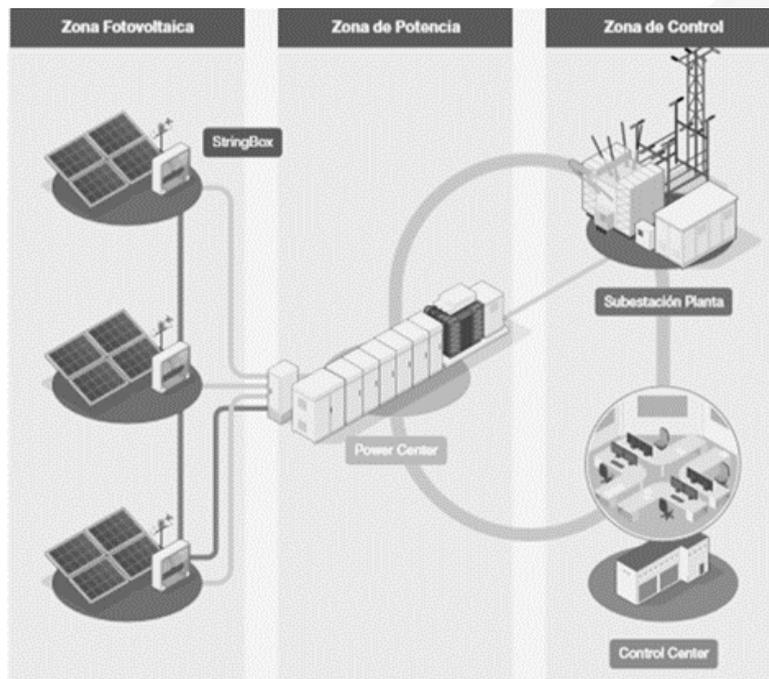


Figura 2. Componentes planta fotovoltaica (Circuitor, “s.f.”).

Fuente: Adaptado de circuitor.es

### ***Zona Fotovoltaica.***

La zona fotovoltaica es el primer nivel de medición, en ella se encuentran los equipos de medida de las cadenas de paneles (PV) comúnmente conocidas como Strings. Además, también se encuentran diferentes sensores para la determinación de las condiciones de trabajo de los paneles; como pueden ser los medidores de radiación solar, medidores de viento, seguidores solares (trackers) (Circuitor, “s.f.”).

### ***Zona de potencia.***

Los centros de potencia son habitáculos distribuidos por todo el parque que unifican los diferentes stringboxes a la entrada de un inversor, para convertir la corriente de estos de DC a AC, se instala un transformador de media tensión (Circuitor, “s.f.”).

### ***Zona de control.***

En el centro de control se monitorizan todos los parámetros para la correcta gestión de la planta fotovoltaica (Circuitor, “s.f.”).

Los anteriores componentes indicados en los capítulos 2 y 3 pertenecientes a plantas eólicas y fotovoltaicas son básicos y sirven como referencia para el caso de estudio, sin embargo, en el comisionamiento es donde se debe desarrollar la taxonomía y elección y los planes de mantenimiento con base en la estrategia de mantenimiento, en el siguiente capítulo se especifica brevemente las etapas del comisionamiento.

## Comisionamiento

Las actividades y acciones del comisionamiento se deben establecer previamente, además se debe conformar el equipo encargado de realizar estas actividades, el cual debe ser conformado por un grupo multidisciplinario que cuente con roles como: Operación & Mantenimiento, finanzas, desarrollo organizacional, gestión de activos, proyectos y cadena de suministro, El grupo tendrá responsabilidades de seguimiento y cumplimientos del plan de comisionamiento.

En las etapas formulación, ejecución y terminación se desarrollan actividades asociadas con el comisionamiento de los proyectos.

A continuación, se presentan las etapas del ciclo de vida del proyecto y se describen las actividades de comisionamiento que se desarrollan en cada una ellas:

### Etapa Identificación.

En términos generales, en la identificación se conceptualiza acerca del proyecto, qué se quiere hacer y de qué trata (EPM, 2019).

### Etapa Formulación.

Precisa con mayor detalle el proyecto, en cuanto a alcance, costo, tiempo, riesgos y valor agregado (EPM, 2019).

### Etapa Ejecución.

Consiste en la materialización de lo descrito en la formulación, EPM, 2019).

### *Fase Planeación de la ejecución.*

Formalización del inicio de la ejecución del proyecto a través del acta de constitución y la planificación detallada de todas las actividades necesarias para ejecutarlo (EPM, 2019).

### *Fase Diseño.*

Elaboración de ingeniería de detalle para cumplir con los entregables del proyecto (EPM, 2019).

### *Fase Desarrollo.*

Ejecución de los diseños de detalle a través de la construcción de obras civiles y montaje de equipos electromecánicos (EPM, 2019).

En esta fase se deben tener los siguientes entregables: Taxonomía, análisis de criticidad y planes de mantenimiento.

### *Fase Pruebas y Puesta en servicio.*

Verificación de la infraestructura para la entrega/recepción del proyecto, además se incluyen los protocolos de pruebas en los sistemas o equipos según lo requerido por el proyecto. (EPM, 2019).

### Etapa Terminación.

### *Fase Cierre.*

Control en el cumplimiento y calidad de los entregables pactados desde la planeación de la ejecución, así como el cierre formal de todas las actividades asociadas al proyecto (EPM, 2019).

El siguiente capítulo indica la metodología, la cual se encuentra elaborada en seguir cuatro (4) fases, cada fase toma como

referencia una norma o metodología así: fase 1 (ISO 14224), fase 2 (ISO 31000), fase 3 (RCM), Fase 4 (ISO 55001).

### Materiales y Métodos

La metodología se lleva a cabo en 4 fases:

Fase 1: Se obtiene la taxonomía de la planta, lo cual permite identificar los activos y la relación entre padre e hijo.

Fase 2: El análisis de criticidad permite clasificar a los activos con base en su índice de criticidad, lo cual es insumo para la fase 3.

Fase 3: En los activos con índice de criticidad “Muy alta”, se aplica el análisis RCM (Reliability Centred Maintenance).

Fase 4: Identificar a cuáles de los 27 requisitos de la norma ISO 55001 se aporta con el desarrollo de las fases 1, 2, 3.

Fase 1 Taxonomía.

- El propósito de la fase 1 es aplicar el numeral 8.2 de la norma ISO 14224:2026 “Taxonomía”, con esto se especifican los agrupadores en los niveles 1 a 5 los cuales corresponden al Uso/Ubicación y de activos de los niveles 6 al 9.

#### Taxonomía.

La taxonomía es una clasificación sistemática de ítems en grupos genéricos basados en factores posiblemente comunes a varios ítems (ubicación, uso, subdivisión de equipos, etc.) Una clasificación de datos relevantes a recolectar de conformidad con este Estándar Internacional está representada por una jerarquía como se muestra en la Figura 3 (ISO 14224:2016).

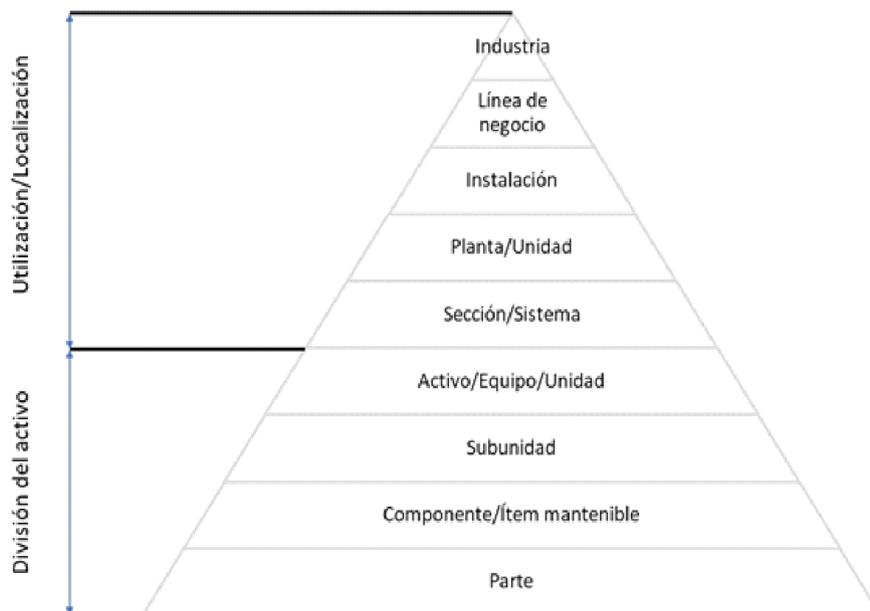


Figura 3. Clasificación de Taxonomía con niveles (ISO 14224:2016).

Fuente: adaptada de ISO 14224:2016.

Fase 2 Análisis de criticidad.

En esta fase se realiza el análisis de criticidad con base en las recomendaciones de la norma ISO 31000 “Gestión del riesgo norma”, el resultado final obtenido es la clasificación de los activos con base en el índice de criticidad (ID), para llegar a dicho resultado es necesario evaluar las siguientes variables previamente.

**Riesgo.**

Es la combinación de la probabilidad de ocurrencia de un evento (amenaza) y sus consecuencias, haciendo notar que estas pueden ser positivas o negativas y, en algunas circunstancias, el riesgo surge de la posibilidad de desviación de la ocurrencia del evento esperado (ISO 31000, 2011).

$$Riesgo = Probabilidad * Exposición * Consecuencia \quad (1)$$

**Objetos de impacto.**

Para el análisis de la criticidad se asociaron los siguientes objetos de impacto: Personas, ambiente, calidad, reputación, financiero. (EPM, 2018).

La severidad de los impactos está valorada numéricamente en un rango de 1 a 16 “matriz de riesgos” y se plasma según sea el caso resultante del análisis, siendo “1” el nivel

de consecuencia mínimo y “16” en nivel de consecuencia máximo (EPM, 2018).

**Matriz de criticidad.**

La matriz de criticidad por su parte es una herramienta utilizada para clasificar y visualizar la criticidad, mediante la definición de categorías de consecuencia y de su probabilidad Tabla 1 (EPM, 2018).

**Tabla 1.** Matriz de riesgo (EPM, 2018).

		Consecuencia				
Probabilidad		Mínima	Menor	Moderada	Mayor	Máxima
Muy alta	5					
Alta	4					
Media	3					
Baja	2					
Muy baja	1					
		1	2	4	8	16

Fuente: Adaptada de Guía metodológica para el análisis de criticidad de activos EPM.

En un eje horizontal se representa la probabilidad de las fallas y en el vertical los impactos o consecuencias en los cuales incurrirá el activo en estudio (EPM, 2018).

En la fase de evaluación de la probabilidad de falla se indica la cantidad de eventos o fallas potenciales que ha presentado o puede presentar el activo dentro de su tiempo de operación, dándole una calificación de uno a cinco, siendo 1 probabilidad de ocurrencia muy baja y 5 muy alta véase Tabla 2 (EPM, 2018).

**Tabla 2.** Probabilidad de falla (EPM, 2018).

Muy alta	Alta	Media	Baja	Muy baja
5	4	3	2	1

Fuente: Adaptada de Guía metodológica para el análisis de criticidad de activos EPM.

### Índice de criticidad (ID).

Adicionalmente se calcula el índice de criticidad, cuyo resultado está dado por la suma de la consecuencia alcanzada en cada objeto de impacto por el valor de la probabilidad promedio de ocurrencia de la falla. Esto permite jerarquizar los activos para priorizar la atención (EPM, 2018).

$$ID = \sum (Consecuencias\ c/u\ objetos\ impacto) * (Probabilidad\ x) \quad (2)$$

Con la aplicación de la metodología el resultado obtenido es la clasificación de criticidad de cada activo (EPM, 2018).

### Redundancia.

Los criterios para redundancia del activo se definen si estructuralmente el activo según la configuración del proceso cuenta con uno o más activos de respaldo; para esto se debe estipular el número de activos en paralelo y la capacidad de cada uno de estos (EPM, 2018).

La redundancia se debe clasificar usando los códigos de la Tabla 3 tomada de la norma estándar Norsok Z008 (Norsok, 2001).

**Tabla 3.** Redundancia (EPM, 2018).

Grado redundancia	Código
La unidad no puede sufrir falla, sin influenciar la función.	A
La unidad puede sufrir falla, sin influenciar la función.	B
Dos unidades pueden sufrir falla, sin influenciar la función.	C

Fuente: Adaptada de Guía metodológica para el análisis de criticidad de activos EPM.

Fase 3 Aplicar metodología RCM (Reliability Centred Maintenance).

La estrategia de mantenimiento debe ser aplicada de acuerdo con la política de Gestión de activos definida por cada organización, en el caso de no existir se toma el contexto de acuerdo con el tipo de planta.

Fase 4 aportes de las fases a los requisitos de la norma ISO 50001.

Es indispensable identificar a cuáles requisitos de la norma se aporta con los resultados de las fases 1, 2, 3, además la metodología debe estar alineada con la

política y lineamientos definidos en la Gestión de Activos en la organización.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en cada fase para los casos de estudio de un parque eólico y uno fotovoltaico.

### Resultados

#### Resultados Fases 1 y 2.

En las Tabla 4 y 5, se desarrolla la taxonomía del parque eólico y del parque fotovoltaico, respectivamente. Se presentan sus niveles tomando las recomendaciones de la ISO 14224, además se adiciona la criticidad de acuerdo con lo indicado en la Fase 2.

Dentro de la taxonomía del parque eólico los niveles 6 al 9 corresponden a la subdivisión de equipos, siendo los elementos mantenibles los indicados en el nivel 8, el siguiente nivel corresponde a “parte”, a este nivel se llevan aquellos elementos que sean indispensables detallar, esto depende de la relevancia que tenga la parte en el proceso, ya que puede ser que para una empresa de bombeo sea muy importante conocer el estado de los impeller de la motobomba, pero para una empresa de generación energía una bomba de características similares no tiene la misma relevancia en el proceso.

**Tabla 4.** Taxonomía y Criticidad parque eólico.

Taxonomía parque eólico		Criticidad			
Nivel	Descripción	$\Sigma$ Consecuencia	Probabilidad	Riesgo total	Criticidad
1	Energía Eléctrica				Nivel 1.
.2	Generación				Nivel 2.
..3	Parque Eólico				Nivel 3.
...4	Conversión				Nivel 4.
....5	Aerogenerador “n”				Nivel 5.
.....6	Rotor o Buje	5	1	5	Bajo
.....6	Góndola	6	1	6	Bajo
.....7	Eje principal o eje de baja velocidad	8	1	8	Bajo
.....7	Caja multiplicadora	15	5	75	Muy Alto
7	Generador	8	5	40	Alto
7	Eje Alta velocidad	6	1	6	Bajo
7	Rodamiento principal	8	4	32	Alto
7	Auxiliares Aerogenerador	6	2	12	Bajo
8	Tablero Fuerza	12	4	48	Alto

Taxonomía parque eólico			Criticidad		
Nivel	Descripción	$\Sigma$ Consecuencia	Probabilidad	Riesgo total	Criticidad
8	Sistema refrigeración	8	4	32	Alto
8	Frenos Generador	20	4	80	Muy Alto
8	Sistema hidráulico	8	4	32	Alto
8	Sistemas de orientación "Yaw"	8	5	40	Alto
9	Frenos mecanismo de orientación "Yaw"	20	4	80	Muy Alto
8	Control Superior	8	4	32	Alto
6	Torre	56	1	56	Alto
6	Base	5	4	20	Bajo
7	Interruptor principal	20	2	40	Muy Alto
7	Transformador servicios auxiliares aerogenerador	20	2	40	Muy Alto
7	Tablero fuerza	12	4	48	Alto
7	Control Inferior	8	4	32	Alto
5	Auxiliares Mecánicos Parque*	7	4	28	Bajo
5	Auxiliares Eléctricos Parque*	7	3	21	Bajo
6	Planta emergencia	8	4	32	Alto
6	Servicios auxiliares DC	20	4	80	Muy Alto
6	Servicios auxiliares AC	20	4	80	Muy Alto
6	Transformador servicios auxiliares parque	20	2	40	Muy Alto
5	Control, medida y protección Parque	6	2	12	Bajo
5	Instrumentación	5	1	5	Bajo
5	Obras Civiles Parque	41	1	41	Alto
4	Transformación		Nivel 4.		
5	Módulo transformación media tensión		Nivel 5.		
6	Transformador media tensión	20	2	40	Muy Alto
5	Baterías Ion-Litio	23	1	23	Alto
6	Celda media tensión	24	2	48	Muy Alto
6	Transformador Potencia	60	1	60	Alto
6	Subestación encapsulada	40	1	40	Alto
7	Bahías	21	1	21	Alto
7	Pórtico llegado	5	1	5	Bajo
4	Terrenos y servidumbres		Nivel 4.		

Fuente: Elaborada por el autor.

Tabla 5. Taxonomía y Criticidad parque fotovoltaico.

Taxonomía parque fotovoltaico			Criticidad		
Nivel	Descripción	$\Sigma$ Consecuencia	Probabilidad	Riesgo total	Criticidad
1	Energía Eléctrica		Nivel 1.		
.2	Generación		Nivel 2.		
..3	Parque Fotovoltaico		Nivel 3.		
...4	Conversión		Nivel 4.		
....5	Campo PV1	20	5	100	Muy Alto
.....6	String “n”	6	5	30	Medio
.....7	Panel “n”	5	5	25	Medio
.....6	Auxiliares Eléctricos		Nivel 6.		
.....7	Control	8	4	32	Alto
.....7	Caja Conexiones y protecciones	12	4	48	Alto
.....6	Auxiliares Mecánicos	5	1	5	Bajo
....5	Control y medida		Nivel 5.		
....6	Centro de control	20	4	80	Muy Alto
....6	Medida y comunicaciones	20	4	80	Muy Alto
....6	Estación Meteorológica	5	2	10	Bajo
...4	Transformación		Nivel 4.		
....5	Módulo Transformación “n”		Nivel 5.		
....6	Tablero DC	24	4	96	Muy Alto
....6	Tablero Inversores	24	4	96	Muy Alto
....6	Tablero AC	24	4	96	Muy Alto
.....7	Transformador	21	1	21	Alto
.....7	Switchgear	39	1	39	Alto
....5	Subestación	40	1	40	Alto
....6	Transformador	54	1	54	Alto
....6	Bahías	22	1	22	Alto
....6	Pórtico de Llegada	5	1	5	Bajo
.....6	Servicios Auxiliares AC		Nivel 6.		
.....7	Transformador	21	1	21	Alto
....6	Tablero medida	5	1	5	Bajo

Fuente: Elaborada por el autor.

Resultado Fase 3.

En las Tablas 6 y 7, se indican los resultados de RCM aplicado a los equipos con criticidad “Muy Alto”.

Los resultados obtenidos son la descripción de las tareas propuestas y la frecuencia inicial propuesta.

**Tabla 6.** RCM Parque eólico.

RCM Parque eólico		
Equipo	Descripción tarea	Frecuencia Inicial propuesta
Caja multiplicadora	<b>Semestral:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Realizar pruebas de vibraciones y ultrasonido.</li> <li>- Inspeccionar el nivel de aceite.</li> <li>- Realizar alineación del eje de baja (rodamiento-multiplicadora) y alta (multiplicadora-generador) con equipo láser.</li> <li>- Verificar torsión del eje de baja y alta al acople de la caja multiplicadora.</li> <li>- Verificar acoples de los ejes.</li> </ul>	Semestral y anual
	<b>Anual:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Realizar pruebas de vibraciones y ultrasonido.</li> <li>- Inspeccionar el nivel de aceite.</li> <li>- Inspeccionar contactos de piñones</li> <li>- Extracción de muestra de aceite.</li> <li>- Realizar alineación del eje de baja (rodamiento-multiplicadora) y alta (multiplicadora-generador) con equipo láser.</li> <li>- Verificar torsión del eje de baja y alta al acople de la caja multiplicadora.</li> <li>- Verificar acoples de los ejes.</li> <li>- Verificar torques de uniones atornilladas, tomando como referencia el manual del fabricante.</li> </ul>	
Frenos Generador Frenos mecanismo de orientación “Yaw”	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Medir espesor de las pastillas de frenos, registrar las medidas en formato homologado, verificar tolerancia mínima indicada por el fabricante.</li> <li>- Verificar tolerancia entre las pastillas y el disco, de igual modo con el sistema de sujeción, seguir las tolerancias indicadas por el fabricante.</li> <li>- Verificar disco de frenado, deformaciones, desgastes y coloración.</li> <li>- Lavar el sistema, con líquido recomendado por el fabricante.</li> <li>- Comprobar torque en tornillería en general.</li> <li>- Realizar prueba al sensor.</li> <li>- Verificar racores y conexiones que llegan del sistema hidráulico.</li> </ul>	Semestral y anual
Interruptor principal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tomar imágenes termográficas.</li> <li>- Realizar las siguientes pruebas:</li> <li>- Prueba resistencia de contactos.</li> <li>- Prueba de aislamiento.</li> <li>- Tiempos de cierre y apertura.</li> </ul>	Anual

RCM Parque eólico		
Equipo	Descripción tarea	Frecuencia Inicial propuesta
Transformador servicios auxiliares aerogenerador Transformador servicios auxiliares parque	<p>Se recomienda realizar las siguientes pruebas, sin embargo, esto depende de la capacidad del Transformador y de las necesidades que desee cubrir mantenimiento, además de la inversión en equipos de prueba que avale la empresa o en su defecto el estudio costo beneficio de tercerizar este tipo de servicios:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Relación de Transformación (TTR), referencia norma IEEE Std C57.12.90-2015, IEEE Std C57.152-2013.</li> <li>- Resistencia óhmica devanado, referencia norma IEEE Std 118-1978, IEEE Std 62.2-2004.</li> <li>- Impedancia de corto circuito, referencia norma IEEE Std C57.12.90-2015, IEEE Std C57.152-2013.</li> <li>- Corriente de excitación (balance magnético), referencia norma IEEE Std C57.12.90-2015.</li> <li>- Resistencia de aislamiento (IR), referencia norma IEEE Std 43-2013.</li> <li>- Índice de polarización (IP), referencia norma IEEE Std 43-2013.</li> <li>- Descargas Parciales.</li> </ul>	Anual
Servicios auxiliares DC y AC	Tomar imágenes termográficas a: Barraje y tablero.	Anual
Transformador módulo media tensión	<p>Se recomienda realizar las siguientes pruebas, sin embargo, esto depende de la capacidad del Transformador y de las necesidades que desee cubrir mantenimiento, además de la inversión en equipos de prueba que avale la empresa o en su defecto el estudio costo beneficio de tercerizar este tipo de servicios:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Factor de potencia y capacitancia, referencia norma IEEE Std C57.152-2013.</li> <li>- Análisis de respuesta en el barrido de la frecuencia (SFRA), referencia norma IEEE Std C57.149-2012.</li> <li>- Relación de Transformación (TTR), referencia norma IEEE Std C57.12.90-2015, IEEE Std C57.152-2013.</li> <li>- Resistencia óhmica devanado, referencia norma IEEE Std 118-1978, IEEE Std 62.2-2004.</li> <li>- Impedancia de corto circuito, referencia norma IEEE Std C57.12.90-2015, IEEE Std C57.152-2013.</li> <li>- Corriente de excitación (balance magnético), referencia norma IEEE Std C57.12.90-2015.</li> <li>- Resistencia de aislamiento (IR), referencia norma IEEE Std 43-2013.</li> <li>- Índice de polarización (IP), referencia norma IEEE Std 43-2013.</li> <li>- Toma de muestra de aceite para enviar a laboratorio para realizar cromatografía.</li> <li>- Toma de muestra de aceite para enviar a laboratorio para realizar Furanos.</li> </ul>	Anual
Celda media tensión S/E	- Tomar imágenes termográficas.	Anual

Fuente: Elaborada por el autor.

Es importante anotar que antes de la puesta en servicio de los transformadores se deben realizar las pruebas que permitan medir el estado del equipo luego del transporte y la instalación.

Se recomienda adicionalmente realizar las pruebas después del primer año de funcionamiento, luego evaluar el cambio de periodicidad.

**Tabla 7.** RCM Parque fotovoltaico

Equipo	Descripción tarea	Frecuencia Inicial propuesta
Campo PV1	Limpieza de los paneles, para esto se recomienda: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Limpieza por medio de operarios, o</li> <li>- Limpieza por medio de equipo (Robot).</li> </ul> Se debe realizar el análisis costo beneficio de ambas tareas.	Trimestral
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tomar imágenes termográficas a los paneles, (para esto se pueden manejar dos opciones: drone o con operarios).</li> <li>- Verificar Puesta a tierra verificar.</li> <li>- Verificar conexiones.</li> <li>- Verificar conexiones y estado de sulfatación.</li> <li>- Inspeccionar seguidores.</li> <li>- Realizar pruebas a los seguidores.</li> <li>- Inspeccionar la estructura soporte de los paneles.</li> </ul> <p><b>Nota: Se debe evaluar el costo beneficio en la termografía con drone o con operario, Para realizar esta tarea no todas las empresas tienen la misma necesidad o interés en inversión.</b></p>	Semestral y anual
Scada	Asignar tareas de mantenimiento correctivo	Ninguna
Medida y comunicaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tomar imágenes termográficas al tablero.</li> <li>- Realizar limpieza al tablero.</li> <li>- Cambiar filtro entrada aire.</li> <li>- Ajustar borneras.</li> <li>- Verificar el funcionamiento de los ventiladores.</li> </ul>	Semestral y anual
Tableros: Inversores, AC y DC.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tomar imágenes termográficas al tablero.</li> <li>- Verificar cableado de potencia y control.</li> <li>- Realizar limpieza al tablero.</li> <li>- Cambiar filtro entrada aire.</li> <li>- Ajustar borneras.</li> <li>- Verificar torque en cables de potencia.</li> <li>- Verificar el funcionamiento de los ventiladores.</li> <li>- Verificar soporte y anclajes.</li> <li>- Revisar estanqueidad.</li> <li>- Verificar puesta a tierra.</li> </ul>	Semestral y anual

Fuente: Elaborada por el autor

Resultado Fase 4.

El método de evaluación es de libre elección por parte de las organizaciones y depende del alcance de sus objetivos. En la fase 4 se indica para medir el grado de madurez la metodología desarrollada por el IAM (Institute of Asset Management).

Es fundamental identificar a cuáles requisitos de la norma ISO serie 55000 se aporta con los resultados de cada fase véase Tabla 9.

**Nivel madurez.**

El IAM (Institute of Asset Management), ha desarrollado una metodología de evaluación conocida como SAM (Self-Assessment Methodology) para que las organizaciones puedan medir su nivel de madurez en la gestión de activos, la cual se puede aplicar a cualquier tipo de organización (EPM, 2018a).

SAM permite a las organizaciones evaluar su capacidad a través de las 27 sub-cláusulas de la norma ISO 55001, especificación internacional que fue tomada como referencia y se puede ver en la Tabla 8 (EPM, 2018a).

**Tabla 8.** Requisitos ISO 55001.

Numeral	Descripción
<b>4</b>	<b>Contexto de la organización</b>
4,1	La comprensión de la organización y su contexto
4,2	La comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas
4,3	Determinar el alcance del sistema de gestión de activos
4,4	Sistema de Gestión de Activos
<b>5</b>	<b>Liderazgo</b>
5,1	Liderazgo y compromiso
5,2	Política
5,3	Roles, responsabilidades y autoridad en la organización
<b>6</b>	<b>Planificación</b>
6,1	Acciones para hacer frente a riesgos y oportunidades para el sistema de gestión de activos
6.2	Objetivos de gestión de activos y planificación para lograrlos
6.2.1	Objetivos de gestión de activos
6.2.2	Planificación para lograr los objetivos de gestión de activos
<b>7</b>	<b>Apoyo</b>
7,1	Recursos
7,2	Competencia
7,3	Toma de Conciencia

<b>Numeral</b>	<b>Descripción</b>
7,4	Comunicación
7,5	Requisitos de información
7.6	Información documentada
7.6.1	Generalidades
7.6.2	Redacción y actualización
7.6.3	Control de la información documentada
<b>8</b>	<b>Operación</b>
8,1	Planificación y control operativo
8,2	Gestión del cambio
8,3	Contrato a terceros
<b>9</b>	<b>Evaluación del desempeño</b>
9,1	Seguimiento, medición, análisis y evaluación
9,2	Auditoría interna
9,3	Revisión por la dirección
<b>10</b>	<b>Mejora</b>
10,1	No conformidad y acciones correctivas
10,2	Acción preventiva
10,3	Mejora continua

Fuente: Adaptada de norma ISO 55001

La metodología propone seis (6) grados de madurez de implementación de los requerimientos del estándar internacional tal como se muestra en la Figura 4.

Inocencia	Madurez nivel 0	La organización no ha reconocido la necesidades de este requisito o no hay necesidad de compromiso.
Conciencia	Madurez nivel 1	La organización ha identificado la necesidades de este requisito, pero no hay evidencia de progreso.
Desarrollo	Madurez nivel 2	La organización ha identificado los medios para la consecución sistemática y consistente en los requisitos y se puede demostrar que éstos están siendo implementados.
Competencia	Madurez nivel 3	La organización puede demostrar de forma sistemática y consistente el logro de requisitos establecidos en la norma ISO 55001.
Optimización	Madurez nivel 4	La organización puede demostrar que es la optimización sistemática en su práctica de gestión de activos, en consonancia con los objetivos de la organización y el contexto operativo.
Excelencia	Madurez nivel 5	La organización puede demostrar que emplea las prácticas líderes, y alcanza el máximo valor de la gestión de activos, en línea con los objetivos de la organización y el contexto operativa.

Figura 4. Grado madurez (The IAM, 2014).

Fuente: Adapted Institute of asset management

**Diagnóstico gestión de activos.**

El diagnóstico inicial y demás evaluaciones se realizarán con los 27 requisitos indicados en la Tabla 8, para lo cual se utilizará el

diagrama tipo radar, con esto se puede dimensionar con un comparativo entre años cual o cuales son las brechas de mayor atención ver Figura 5.

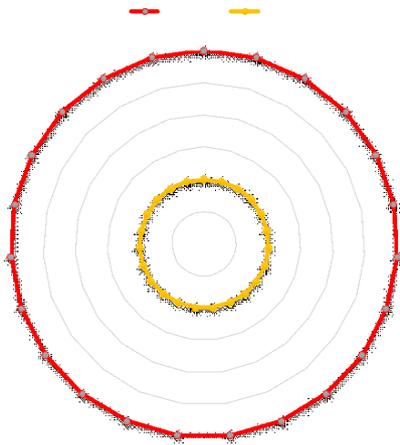


Figura 5. Diagrama tipo radar.

Fuente: Elaborada por el autor

De acuerdo con ISO 55001 Se requiere de un nivel 3 de madurez en todos los requisitos, para obtener la certificación.

**Aporte de las fases a los requisitos de la norma.**

En la tabla 9 se indican los numerales de la norma ISO 55001 a los cuales se hace aporte con los resultados obtenidos de cada fase.

**Tabla 9.** Aporte a los requisitos ISO 55001:2014.

Numeral norma ISO 55001	Aportes
<p>4.3. Determinar el alcance del Sistema de Gestión de Activos.</p> <p>La organización debe determinar el portafolio de activos cubierto por el alcance del sistema de Gestión de Activos. El alcance debe estar disponible como información documentada.</p>	<p>La taxonomía permite reconocer el portafolio de activos, los activos, sus límites e interdependencias, permitiendo definir el alcance del sistema de Gestión de Activos.</p>
<p>6.1. Acciones para hacer frente a riesgos y oportunidades para el sistema de gestión de activos.</p> <p>La organización debe determinar las acciones que son necesarias para abordar los riesgos.</p>	<p>El análisis de criticidad a nivel de activos permite determinar los criterios de evaluación de riesgos (probabilidad y consecuencia), definir una matriz de riesgos para la toma de decisiones y verificar la alineación con el enfoque de gestión de riesgos de la organización.</p>
<p>6.2.2. Planificación para lograr los objetivos de gestión de activos.</p> <p>La organización debe desarrollar un plan de Gestión de Activos con la definición de actividades y recursos que se aplicarán para lograr los objetivos de activos y consecuentemente, los objetivos de la organización.</p>	<p>Con un plan de gestión de activos la organización provee la guía para un activo individual o un portafolio, grupo o clase de activos.</p> <p>El plan debe contener:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Planes de inversión de capital (reparaciones mayores, renovación, reemplazo y mejora).</li> </ul> <p>Con la taxonomía se puede construir el mapa de reposición de activos con una planificación de corto, mediano y largo plazo, además es posible realizar el análisis de criticidad con la cual se obtiene la clasificación del riesgo en los activos y se determina cuáles activos tienen un potencial significativo para impactar el logro de los objetivos de gestión de activos, es decir se establece la criticidad en los activos y con esta se determinan prioridades en las inversiones de capital.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Planes de operación y mantenimiento.</li> </ul> <p>Al tener identificados los activos mediante la taxonomía, es posible definir los planes de mantenimiento con base en la criticidad de los activos. Adicionalmente esto también permite documentar las intervenciones preventivas, predictivas y correctivas en el nivel taxonómico en el que se realiza para darle cobertura al portafolio de activos con los planes de mantenimiento.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Planes financieros y de recursos.</li> </ul> <p>Con base en la identificación de los activos y su criticidad y condición es posible determinar las proyecciones financieras en el corto, mediano y largo plazo en reposición de activos y costos de mantenimiento.</p>

Numeral norma ISO 55001	Aportes
<p>7.5. Requisitos de Información.</p> <p>La organización debe determinar las necesidades de información relacionadas con sus activos, su gestión de activos y su sistema de gestión de activos.</p>	<p>La organización debe utilizar un enfoque sistémico para identificar la información de activos necesaria y establecer los repositorios adecuados de información.</p> <p>La organización además debe definir la necesidad de información y el nivel de detalle requerido y es responsable por definir el repositorio de esta. Con esto permite tener una integración de consultas entre base de datos, es decir, que se encuentre correspondencia entre la taxonomía de activos, la información financiera y no financiera, la criticidad y las intervenciones realizadas sobre los activos.</p> <p>A continuación, se indica información esencial para que sea posible la relación entre: taxonomía, finanzas, criticidad, operación y mantenimiento.</p> <p>La taxonomía permite:</p> <p>Recopilar información tal como: Propiedades técnicas y físicas de los activos (por ejemplo, atributos, propiedad, parámetros de diseños, información de los proveedores, ubicación física, condición, fechas de puesta en servicio).</p> <p>Proporcionar información financiera de los activos, por ejemplo, costo de origen, depreciación, valor de reemplazo de los activos, fecha de adquisición, reglas de capitalización, clasificación/jerarquía de los activos, análisis del costo del ciclo de vida, vidas útiles de activos, valor y cualquier pasivo residual.</p> <p>El análisis de criticidad permite:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Disponer de información para la gestión de riesgos, lo cual permite cuantificar y predecir los impactos sobre el logro de los objetivos de la gestión de activos.</li> </ul> <p>La estrategia de mantenimiento permite:</p> <p>Establecer actividades y frecuencias de intervenciones requeridas por los activos para su preservación y funcionamiento.</p> <p>Recopilar información de fallas históricas de los activos, fechas de intervenciones mejoras, reemplazos y necesidades de mantenimientos futuros.</p> <p>Recopilar costos de mantenimiento de acuerdo con las intervenciones.</p>
<p>8.1. Planificación y Control Operativo.</p> <p>La organización debe establecer procesos de planificación y control operacionales para apoyar la realización eficaz de las actividades contenidas dentro del plan de gestión de activos.</p>	<p>Se debe realizar control sobre los procesos para cumplir los requisitos e implementar las acciones determinadas en el plan de gestión de activos, para lo cual se deben establecer indicadores que permitan medir la efectividad del plan de gestión de activos.</p> <p>La taxonomía permite definir un control y seguimiento específico de:</p> <p>Planes de inversión de capital, reparaciones mayores, renovación, reemplazo y mejora.</p> <p>Planes de operación y mantenimiento.</p> <p>Planes financieros y de recursos.</p>

Numeral norma ISO 55001	Aportes
<p>9.1. Seguimiento, Medición, Análisis y Evaluación.</p> <p>La organización debe desarrollar procesos para posibilitar la medición, seguimiento, análisis y evaluación sistemática de los activos de la organización, del sistema de gestión de activos y de las actividades de gestión de activos.</p>	<p>Se deben realizar evaluación del desempeño del portafolio de activos y de los procesos de gestión de activos.</p> <p>Con la taxonomía y la criticidad de activos se pueden identificar las necesidades de evaluación del desempeño de los activos o portafolio de activos y definir la prioridad para el desarrollo y aplicación de modelos de salud de activos, así como indicadores de desempeño, para el portafolio de activos, sistemas de activos y los activos, incluyendo la efectividad de los planes de mantenimiento.</p>
<p>10.1. No Conformidad y Acciones Correctivas.</p> <p>La organización debería establecer planes y procesos para controlar las no conformidades y sus consecuencias asociadas, para minimizar cualquier efecto adverso para la organización y para las necesidades y expectativas de las partes interesadas.</p>	<p>Se deben establecer procesos para la investigación de no conformidades e incidentes relacionados con los activos.</p> <p>Con la taxonomía y criticidad se puede identificar a que activos y sobre cuales eventos, en función de la criticidad, es necesario realizar análisis de fallas.</p> <p>En cada activo se registran los eventos, estos pueden ser analizados para establecer no conformidades y su posterior análisis para minimizar efectos en el futuro.</p>
<p>10.2 Acciones preventivas.</p> <p>La organización debe establecer, implementar y mantener procesos para iniciar acciones preventivas o predictivas.</p>	<p>Para implementar las acciones se deben tener en cuenta los siguientes elementos:</p> <p>Utilización de fuentes de información adecuadas: en el comisionamiento es importante acceder a manuales, catálogos y fichas técnicas que permitan la construcción de los planes de mantenimiento y análisis RCM de los activos del portafolio.</p> <p>Identificación de cualquier falla potencial: con el análisis RCM (mantenimiento centrado en confiabilidad), se pueden identificar las fallas potenciales. Adicionalmente con el análisis RCM se puede indicar de manera preventiva mejoras en los diseños, dadas las condiciones operativas de los activos. Con lo anterior se minimizan los problemas antes del montaje y puesta en operación de los equipos.</p> <p>Con los planes de mantenimiento se definen actividades preventivas y predictivas aplicadas a los diferentes equipos del portafolio de activos.</p>
<p>10.3. Mejora Continua.</p> <p>La organización debería establecer, implementar y mantener procesos para la determinación de las oportunidades y la evaluación, priorización e implementación de acciones para lograr la mejora continua y realizar una revisión de su eficacia subsecuente.</p>	<p>La organización debe mejorar continuamente la pertinencia, la adecuación y la eficacia de su gestión de activos y de su sistema de gestión de activos.</p> <p>En la fase de desarrollo perteneciente a la etapa de ejecución, se realizan actividades asociadas con el comisionamiento de los proyectos, en las actividades de la fase de desarrollo se incluye la definición de información correspondiente a: la taxonomía de activos, la criticidad de activos y la estrategia de mantenimiento. Incluir estas actividades en el comisionamiento permite a la organización establecer, implementar y mantener los procesos con las acciones que permiten lograr la mejora continua y demostrar su compromiso con esta.</p>

Fuente: Elaborada por el autor.

## Conclusiones

Se recomienda realizar los análisis de criticidad por capacidad instalada de plantas o por tipo de tecnología, es decir analizar por separado a las plantas despachadas centralmente (mayor a 20 MW), las plantas no despachadas centralmente (menor a 20 MW) y las plantas con energías renovables no convencionales. Con esto se evita que no se de menor importancia a las plantas de menor capacidad.

La taxonomía se desarrolla de acuerdo con los intereses de cada empresa, lo cual hace posible encontrar en el medio empresas con negocios similares, sin embargo, la gestión de sus activos es diferente. Las normas con las cuales se desarrolla el presente documento son una guía, la interpretación o aplicación dependen de quienes las usen.

Las frecuencias de mantenimiento del RCM son recomendadas, por lo tanto, luego de poseer datos y tendencias de mantenimiento, se recomienda evaluar si para el análisis se puede aplicar PMO (optimización de planes de trabajo).

Los planes propuestos dependen de la inversión en tecnología que desee realizar la empresa, dado el alto costo de muchos de los equipos con los cuales se realizan algunas pruebas basadas en condición especificadas en el RCM, lo mismo sucede con tercerizar el servicio. Por lo anterior se recomienda evaluar el costo beneficio de algunas pruebas propuestas.

## Referencias

- Circuitor. (s.f). Solución integral para supervisión de planta fotovoltaicas. España, [http://docs.circuitor.com/docs/CT\\_SolPhotoSCADA\\_ES.pdf](http://docs.circuitor.com/docs/CT_SolPhotoSCADA_ES.pdf).
- Correa Correa, E.A. (2020). Metodología para mejorar el comisionamiento de plantas nuevas integrando las normas ISO 55000:2014 y ISO 14224:2016, caso de estudio: plantas de generación eléctrica solar fotovoltaica y eólica. (Maestría). Universidad Nacional de Colombia–Sede Medellín (Ant).
- Empresas Públicas de Medellín. (2019). “Manual para el comisionamiento de proyectos de infraestructura y mejora operacional” Recuperado de: [www.Mibitacora.epm.com.co](http://www.Mibitacora.epm.com.co).
- Empresas Públicas de Medellín. (2018). Guía metodológica para el análisis de criticidad de activos EPM recuperado de: <https://www.Mibitacora.epm.com.co>.
- Empresas Públicas de Medellín. (2018a). “Informe diagnóstico Gestión de Activos” recuperado de: [www.Mibitacora.epm.com.co](http://www.Mibitacora.epm.com.co).
- ISO 55000. (2014). ISO 55000:2014– Asset Management–Overview, principles, and terminology.
- ISO 55001. (2014). ISO 55001:2014–Asset management: Management systems Requirements
- ISO 55002. (2014). ISO 55001:2014–Asset management: Management systems

– Guidelines for the application of ISO 55001.

ISO14224. (2016). ISO14224:2016–Petroleum, petrochemical, and natural gas industries— Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment.

NTC ISO. (2011). NTC-ISO 31000. Gestión del riesgo. Principios y directrices. Retrieved from [https://sitios.ces.edu.co/Documentos/NTCISO31000\\_Gestion\\_del\\_riesgo.pdf](https://sitios.ces.edu.co/Documentos/NTCISO31000_Gestion_del_riesgo.pdf)

Nordex. (1998,2003). Nordex N60, Technical description. (pag 2-9).

NORSOK Z-008. (2001). Análisis de criticidad para propósitos de mantenimiento

UPME. (2003). Energías renovables: descripción, tecnologías y usos finales [archivo PDF], 1-47. Recuperado de <http://bdigital.upme.gov.co/handle/001/1260>.