

ELABORACIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA  
115kV/13,2-13,8kV GERDAU DIACO - PLANTA TUTA

CRISTIAN CAMILO BALAGUERA CRISTANCHO



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA  
DUITAMA, BOYACÁ  
2022

ELABORACIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA  
115kV/13,2-13,8kV GERDAU DIACO - PLANTA TUTA

CRISTIAN CAMILO BALAGUERA CRISTANCHO

Proyecto de grado en la modalidad de práctica empresarial presentado  
como requisito para optar al título de:

INGENIERO ELECTROMECAÁNICO

DIRECTOR

MSc. ORLANDO DIAZ PARRA

INGENIERO MECÁNICO

DOCENTE UNIVERSITARIO UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y  
TECNOLÓGICA DE COLOMBIA

REPRESENTANTE LEGAL MR PROYECTOS Y GESTIÓN

EISENHOWER MIGUEL MARTINEZ ROA

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

DUITAMA, BOYACÁ

2022

## NOTA DE ACEPTACIÓN

Aprobado por el comité curricular en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia para optar al título de Ingeniero Electromecánico.

---

Firma del presidente del Jurado

ING.

---

Firma del Jurado

ING.

---

Firma del Jurado

ING.

Duitama, 06 de Diciembre del 2022

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco primero a Dios por haberme permitido contar con salud, entendimiento y perseverancia durante mi vida universitaria, por guiarme, ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme experiencias llenas de aprendizaje y felicidad.

Le doy gracias a mis Padres por su apoyo permanente, su amor infinito, por sus consejos, los valores inculcados y reflejados a través de su ejemplo, siendo ellos mi mayor motivación de superación y agradezco a la vida por permitirme compartir este logro a su lado.

A mi pareja, gracias por ser mi compañía incondicional y mi complemento durante este tiempo y quién me ha brindado el motor más grande que tengo en la vida, mi hijo, por quién con todo el amor del mundo trato de superarme día a día y ser mejor persona.

A mis hermanos quienes han sido parte fundamental en mi academia y en general en mi vida, ellos representan la unión y la fraternidad; a mi hermana que ya no está en esta vida terrenal, pero que es un ángel que está conmigo acompañándome y guiándome en todo instante.

Gracias a MR Proyectos y Gestión por abrirme sus puertas, por la confianza puesta en mis conocimientos, por permitirme desarrollar mi trabajo de grado y aportar a su organización.

A mis profesores, en especial el director de este proyecto, a compañeros, amigos y cada una de las personas que hicieron parte de mi proceso académico y personal a lo largo de este tiempo y que han aportado de algún u otro modo a mi aprendizaje como profesional y cómo persona.

## CONTENIDO

1.	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	15
2.	JUSTIFICACIÓN.....	17
3.	OBJETIVOS .....	19
3.1	Objetivo general .....	19
3.2	Objetivos específicos.....	19
4.	MARCO CONCEPTUAL .....	20
4.1	Empresa MR Proyectos y Gestión.....	20
4.2	Mantenimiento.....	21
4.3	Mantenimiento Eléctrico en Subestaciones .....	24
4.4	Gestión de Activos .....	30
5.	METODOLOGÍA .....	32
5.1	Alcance .....	32
5.2	Enfoque.....	32
5.3	Población .....	33
5.4	Instrumentos .....	33
5.4.1	Encuesta preliminar .....	33
5.4.2	Encuesta diagnóstica - Cultura y gestión del Mantenimiento Gerdau Diaco .....	34
5.4.3	Capacitaciones teóricas presenciales.....	39
5.4.4	Capacitación en campo.....	39
6.	ESTUDIO DE FALLAS FRECUENTES EN SUBESTACIONES.....	41
7.	NORMATIVIDAD USADA .....	43
7.1	Normatividad general .....	43
7.2	Normatividad específica .....	43
7.2.1	Normatividad para pruebas a transformadores de potencia.....	43
7.2.2	Normatividad para pruebas a interruptores de potencia.....	44
7.2.3	Normatividad para pruebas a seccionadores de potencia .....	44
7.2.4	Normatividad para pruebas a transformadores de corriente.....	45
7.2.5	Normas para pruebas a transformadores de tensión .....	45
7.2.6	Normatividad para pruebas a DPS y relés .....	45
8.	PLAN DE MANTENIMIENTO SUB. 115KV/13,2-13,8KV GERDAU DIACO .....	46
8.1	Mantenimiento Predictivo Subestación 115kV/13,2-13,8kV Gerdau Diaco .....	46

8.1.1	Mantenimiento predictivo a Transformadores de Potencia.....	47
8.1.2	Mantenimiento predictivo a interruptores de potencia .....	48
8.1.3	Mantenimiento predictivo a seccionadores de potencia .....	49
8.1.4	Mantenimiento predictivo a transformadores de corriente .....	50
8.1.5	Mantenimiento predictivo a transformadores de potencial.....	51
8.1.6	Mantenimiento predictivo a descargadores de sobretensión DPS.....	52
8.1.7	Mantenimiento predictivo a malla de puesta a tierra .....	53
8.1.8	Mantenimiento predictivo a barrajes y cables desnudos .....	54
8.1.9	Mantenimiento predictivo a bancos de condensadores.....	55
8.1.10	Mantenimiento predictivo a reactores de potencia .....	55
8.1.11	Mantenimiento predictivo a bancos de baterías .....	56
8.1.12	Formatos de Mantenimiento Predictivo Subestación 115kV/13,2-13,8kV .....	57
8.2	Mantenimiento Preventivo Subestación 115kV/13,2-13,8kV Gerdau Diaco.....	58
8.2.1	Mantenimiento preventivo a transformadores de potencia .....	59
8.2.2	Mantenimiento preventivo a interruptores de potencia .....	62
8.2.3	Mantenimiento preventivo a seccionadores de potencia .....	63
8.2.4	Mantenimiento preventivo a transformadores de corriente.....	64
8.2.5	Mantenimiento preventivo a transformadores de potencial .....	66
8.2.6	Mantenimiento preventivo a descargadores de sobretensión DPS .....	67
8.2.7	Mantenimiento preventivo a malla de puesta a tierra de subestación.....	68
8.2.8	Mantenimiento preventivo a barrajes y cables desnudos .....	69
8.2.9	Mantenimiento preventivo a bancos de condensadores.....	70
8.2.10	Mantenimiento preventivo a reactores de potencia .....	71
8.2.11	Mantenimiento preventivo a bancos de baterías .....	73
8.2.12	Formatos de Mantenimiento Preventivo Subestación 115kV/13,2-13,8kV .....	74
8.3	Mantenimiento Correctivo Subestación 115kv/13,2-13,8kv Gerdau Diaco.....	75
8.3.1	Mantenimiento correctivo a transformadores de potencia .....	76
8.3.2	Mantenimiento correctivo a interruptores de potencia .....	76
8.3.3	Mantenimiento correctivo a seccionadores de potencia .....	77
8.3.4	Mantenimiento correctivo a transformadores de corriente.....	77
8.3.5	Mantenimiento correctivo a transformadores de potencial .....	78
8.3.6	Mantenimiento correctivo a descargadores de sobretensión DPS .....	78
8.3.7	Mantenimiento correctivo a malla de puesta a tierra .....	79
8.3.8	Mantenimiento correctivo a barrajes y conectores .....	79
8.3.9	Mantenimiento correctivo a bancos de condensadores.....	80

8.3.10	Mantenimiento correctivo a reactores de potencia .....	80
8.3.11	Mantenimiento correctivo a bancos de baterías .....	80
8.3.12	Formatos de Mantenimiento Correctivo Subestación 115kV/13,2-13,8kV .....	81
8.4	Mantenimiento Productivo Total Subestación 115kV/13,2-13,8kV .....	82
9	RESULTADOS ESTADISTICOS .....	97
9.1	Análisis de la Encuesta “Propuestas para implementar en jornadas prácticas y Estrategia de Mantenimiento Gerdau Diaco” .....	97
9.2	Resultados de la encuesta diagnóstica – Cultura y gestión del mantenimiento ....	102
9.2.1	Análisis de resultados por pregunta de encuesta diagnóstica, aplicada a personal de la Subestación 115kV/13,2-13,8kV.....	102
9.2.2	Análisis de resultados de Encuesta diagnóstica bajo método de caracterización .....	122
9.3	Resultados de las Capacitaciones Teóricas .....	127
9.4	Resultados de las Capacitaciones Prácticas .....	128
10	ESTRATEGIA PARA IMPLEMENTACION DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE LA SUBESTACIÓN.....	131
10.1	Evolución Necesaria para la gestión de Activos .....	131
10.2	Beneficios de la gestión de Activos .....	132
10.3	Estrategia de Gestión de Información.....	133
10.4	Batería de indicadores para Gestión de Activos .....	133
11	CONCLUSIONES .....	138
12	RECOMENDACIONES .....	140
13	BIBLIOGRAFÍA .....	141

## TABLA DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1</b> MR Proyectos y Gestión .....	20
<b>Ilustración 2</b> Subestación Eléctrica 115kV/13,2-13,8kV.....	25
<b>Ilustración 3</b> Etapas de ciclo de vida de un activo .....	31
<b>Ilustración 4</b> Ejemplo de formato de Actividades de Mantenimiento Predictivo.....	58
<b>Ilustración 5</b> Ejemplo de formato de Actividades de Mantenimiento Preventivo .....	75
<b>Ilustración 6</b> Ejemplo de formato de Actividades de Mantenimiento Correctivo.....	82
<b>Ilustración 7</b> Ciclo PHVA o ciclo Deming. ....	90
<b>Ilustración 8</b> Diagrama del círculo de mejora.....	90
<b>Ilustración 9</b> Diagrama identificación Causa – Raíz.....	91
<b>Ilustración 10</b> Diagrama de selección de acción correctiva permanente.....	92
<b>Ilustración 11</b> Diagrama de implementación de acción correctiva permanente.....	93
<b>Ilustración 12</b> Diagrama de verificación de acciones correctivas para prevenir reincidencias.....	94
<b>Ilustración 13</b> Equipos y lugares de preferencia. Encuesta preliminar Gerdau Diaco. ....	97
<b>Ilustración 14</b> Procedimientos seguros propuestos. Encuesta preliminar Gerdau Diaco.	98
<b>Ilustración 15</b> Aspectos propuestos para el plan de mantenimiento. Encuesta preliminar Gerdau Diaco.....	99
<b>Ilustración 16</b> Temáticas de capacitación propuestas. Encuesta preliminar Gerdau Diaco. .....	100
<b>Ilustración 17</b> Nube de palabras. Encuesta preliminar Gerdau Diaco.....	101
<b>Ilustración 18</b> Autorización de manejo de datos Gerdau Diaco .....	103
<b>Ilustración 19.</b> Nivel Jerárquico.....	103
<b>Ilustración 20</b> Antigüedad de trabajadores .....	103
<b>Ilustración 21</b> Misión Orientada al Mtto .....	104
<b>Ilustración 22</b> Conocimiento de rol y responsabilidad.....	104
<b>Ilustración 23</b> Autonomía para realizar tareas .....	105
<b>Ilustración 24</b> Confianza de Pares y Superiores.....	105
<b>Ilustración 25</b> Capacitación sobre nuevos equipos y actualizaciones.....	105
<b>Ilustración 26</b> Maniobras y protocolos .....	106
<b>Ilustración 27</b> Relación del trabajo con la organización .....	106
<b>Ilustración 28</b> Información detallada.....	106
<b>Ilustración 29</b> Comunicación entre Personal .....	107
<b>Ilustración 30</b> Planificación Grupal.....	107
<b>Ilustración 31</b> Conocimiento de tareas y responsabilidades .....	108
<b>Ilustración 32</b> Escucha de Opiniones .....	108
<b>Ilustración 33</b> Toma de Decisiones de acuerdo al nivel de información.....	108
<b>Ilustración 34</b> Acceso a conocimiento adicional .....	109
<b>Ilustración 35</b> Disposición para tareas asignadas.....	109
<b>Ilustración 36</b> Impacto positivo en el grupo .....	110
<b>Ilustración 37</b> Delegar la autoridad.....	110
<b>Ilustración 38</b> Problemas por falta de habilidades .....	110
<b>Ilustración 39</b> Conjunto de valores Claros .....	111
<b>Ilustración 40</b> Trabajo en unificación de desacuerdos .....	111
<b>Ilustración 41</b> Sencillez de coordinación de proyectos .....	112
<b>Ilustración 42</b> Perspectiva en común de trabajadores .....	112
<b>Ilustración 43</b> Flexibilidad y Cambio.....	112



<b>Ilustración 44</b>	<i>Cooperación de áreas en los cambios</i>	113
<b>Ilustración 45</b>	<i>Evaluación de desempeño</i>	113
<b>Ilustración 46</b>	<i>Conducción por parte de dirección</i>	114
<b>Ilustración 47</b>	<i>Coherencia de los líderes</i>	114
<b>Ilustración 48</b>	<i>Trabajo en equipo</i>	114
<b>Ilustración 49</b>	<i>Comodidad con pares y superiores</i>	115
<b>Ilustración 50</b>	<i>Ambiente laboral</i>	115
<b>Ilustración 51</b>	<i>Planificación del Mantenimiento operacional</i>	116
<b>Ilustración 52</b>	<i>Alcance de trabajo a realizar</i>	116
<b>Ilustración 53</b>	<i>Identificación de la secuencia de tareas</i>	116
<b>Ilustración 54</b>	<i>Identificación de Procedimientos</i>	117
<b>Ilustración 55</b>	<i>Identificación, evaluación y control de peligros</i>	117
<b>Ilustración 56</b>	<i>identificación de riesgos</i>	118
<b>Ilustración 57</b>	<i>Medidas para mitigar y eliminar riesgos</i>	118
<b>Ilustración 58</b>	<i>identificación de recursos para el trabajo</i>	118
<b>Ilustración 59</b>	<i>Roles y responsabilidades de cada tarea</i>	119
<b>Ilustración 60</b>	<i>Conocimiento de formatos</i>	119
<b>Ilustración 61</b>	<i>Diligenciamiento de formatos e informes</i>	120
<b>Ilustración 62</b>	<i>Pereza en diligenciamiento</i>	120
<b>Ilustración 63</b>	<i>Nube de ideas- Encuesta diagnóstica de Cultura y Gestión</i>	121
<b>Ilustración 64</b>	<i>Porción de Diagnostico de gestión (anexo N°4)-Encuesta diagnóstica</i>	123
<b>Ilustración 65</b>	<i>Programa de Capacitación</i>	128
<b>Ilustración 66</b>	<i>Impacto de capacitación Práctica</i>	129
<b>Ilustración 67</b>	<i>Evolución de la Gestión de Activos</i>	131
<b>Ilustración 68</b>	<i>Indicadores de Gestión</i>	137

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Pilar No. 1 Filosofía de la gestión, subgrupos y principios básicos. ....	36
<b>Tabla 2</b> Pilar No. 2 Dinámica organizacional, subgrupos y principios básicos. ....	37
<b>Tabla 3</b> Pilar No. 3 Gestión del mantenimiento, subgrupo y principios básicos.....	38
<b>Tabla 4</b> Normatividad de pruebas a transformadores de potencia. ....	44
<b>Tabla 5</b> Normatividad para pruebas a interruptores de potencia.....	44
<b>Tabla 6</b> Normatividad para pruebas a seccionadores de potencia.....	45
<b>Tabla 7</b> Normatividad para pruebas a transformadores de corriente .....	45
<b>Tabla 8</b> Normatividad para pruebas a transformadores de tensión.....	45
<b>Tabla 9</b> Normatividad para pruebas a DPS y Relés.....	45
<b>Tabla 10</b> Actividades de mantenimiento predictivo a Transformadores de potencia - Gerdau Diaco. ....	47
<b>Tabla 11</b> Periodicidad de actividades de mantenimiento predictivo a transformadores de potencia - Gerdau Diaco. ....	48
<b>Tabla 12</b> Actividades de mantenimiento predictivo a interruptores de potencia - Gerdau Diaco. ....	48
<b>Tabla 13</b> Periodicidad de actividades de mantenimiento predictivo a interruptores de potencia - Gerdau Diaco.....	49
<b>Tabla 14</b> Actividades de mantenimiento predictivo a seccionadores de potencia - Gerdau Diaco .....	49
<b>Tabla 15</b> Periodicidad de actividades de mantenimiento predictivo a seccionadores de potencia - Gerdau Diaco.....	50
<b>Tabla 16</b> Actividades de mantenimiento predictivo a transformadores de corriente - Gerdau Diaco. ....	50
<b>Tabla 17</b> Periodicidad de actividades de mantenimiento predictivo a transformadores de corriente - Gerdau Diaco.....	51
<b>Tabla 18</b> Actividades de mantenimiento predictivo a transformadores de potencial - Gerdau Diaco. ....	51
<b>Tabla 19</b> Periodicidad de actividades de mantenimiento predictivo a transformadores de potencial - Gerdau Diaco. ....	52
<b>Tabla 20</b> Actividades de mantenimiento predictivo a descargadores de sobretensión - Gerdau Diaco.....	52
<b>Tabla 21</b> Periodicidad de las actividades de mantenimiento predictivo a descargadores de sobretensión - Gerdau Diaco. ....	53
<b>Tabla 22</b> Actividades de mantenimiento predictivo a malla de puesta a tierra - Gerdau Diaco. ....	53
<b>Tabla 23</b> Periodicidad actividades de mantenimiento predictivo a malla de puesta a tierra - Gerdau Diaco.....	54
<b>Tabla 24</b> Actividades de mantenimiento predictivo a barrajes y cables desnudos - Gerdau Diaco .....	54
<b>Tabla 25</b> Periodicidad de actividades de mantenimiento predictivo a barrajes y cables desnudos – Gerdau Diaco. ....	54
<b>Tabla 26</b> Actividades de mantenimiento predictivo a bancos de condensadores Gerdau Diaco. ....	55
<b>Tabla 27</b> Periodicidad de actividades de mantenimiento predictivo de bancos de condensadores Gerdau Diaco. ....	55

<b>Tabla 28</b> Actividades de mantenimiento predictivo a reactores de potencia - Gerdau Diaco. .....	56
<b>Tabla 29</b> Periodicidad de actividades de mantenimiento predictivo a reactores de potencia - Gerdau Diaco. ....	56
<b>Tabla 30</b> Actividades de mantenimiento predictivo a bancos de baterías - Gerdau Diaco. .....	57
<b>Tabla 31</b> Periodicidad de actividades de mantenimiento predictivo a bancos de baterías	57
<b>Tabla 32</b> Actividades de mantenimiento preventivo a transformadores de potencia - Gerdau Diaco. ....	60
<b>Tabla 33</b> Periodicidad de las actividades de mantenimiento preventivo a transformadores de potencia – Gerdau Diaco. ....	61
<b>Tabla 34</b> Actividades de mantenimiento preventivo a interruptores de potencia - Gerdau Diaco. ....	62
<b>Tabla 35</b> Periodicidad de las actividades de mantenimiento preventivo a interruptores de potencia en Gerdau Diaco. ....	62
<b>Tabla 36</b> Actividades de mantenimiento preventivo a seccionadores de potencia - Gerdau Diaco .....	63
<b>Tabla 37</b> Periodicidad de actividades de mantenimiento a seccionadores de potencia – Gerdau Diaco.....	64
<b>Tabla 38</b> Actividades de mantenimiento preventivo a transformadores de corriente - Gerdau Diaco. ....	65
<b>Tabla 39</b> Periodicidad de las actividades de mantenimiento a transformadores de corriente – Gerdau Diaco.....	65
<b>Tabla 40</b> Actividades de mantenimiento preventivo a transformadores de potencial - Gerdau Diaco. ....	66
<b>Tabla 41</b> Periodicidad de actividades de mantenimiento preventivo a transformadores de potencial - Gerdau Diaco. ....	66
<b>Tabla 42</b> Actividades de mantenimiento preventivo a descargadores de sobretensión DPS - Gerdau Diaco. ....	67
<b>Tabla 43</b> Periodicidad de actividades de mantenimiento preventivo a descargadores de sobretensión - Gerdau Diaco. ....	68
<b>Tabla 44</b> Actividades de mantenimiento preventivo a malla de puesta a tierra - Gerdau Diaco. ....	68
<b>Tabla 45</b> Periodicidad de las actividades de mantenimiento preventivo a la malla de puesta a tierra - Gerdau Diaco. ....	69
<b>Tabla 46</b> Actividades de mantenimiento preventivo a barrajes y cables desnudos - Gerdau Diaco .....	69
<b>Tabla 47</b> Periodicidad de actividades de mantenimiento preventivo a barrajes y cables desnudos - Gerdau Diaco. ....	70
<b>Tabla 48</b> Actividades de mantenimiento preventivo a bancos de condensadores - Gerdau Diaco. ....	70
<b>Tabla 49</b> Periodicidad de actividades de mantenimiento preventivo a bancos de condensadores - Gerdau Diaco. ....	71
<b>Tabla 50</b> Actividades de mantenimiento preventivo a reactores de potencia - Gerdau Diaco. .....	72
<b>Tabla 51</b> Periodicidad de actividades de mantenimiento preventivo a reactores de potencia - Gerdau Diaco. ....	72

<b>Tabla 52</b> Actividades de mantenimiento preventivo a bancos de baterías - Gerdau Diaco. .....	73
<b>Tabla 53</b> Periodicidad de actividades de mantenimiento preventivo a bancos de baterías - Gerdau Diaco.....	74
<b>Tabla 54</b> Actividades de mantenimiento correctivo a transformadores de potencia - Gerdau Diacó. ....	76
<b>Tabla 55</b> Actividades de mantenimiento correctivo a interruptores de potencia - Gerdau Diacó. ....	77
<b>Tabla 56</b> Actividades de mantenimiento correctivo a seccionadores de potencia - Gerdau Diacó. ....	77
<b>Tabla 57</b> Actividades de mantenimiento correctivo a transformadores de corriente - Gerdau Diacó. ....	78
<b>Tabla 58</b> Actividades de mantenimiento correctivo a transformadores de potencial - Gerdau Diacó. ....	78
<b>Tabla 59</b> Actividades de mantenimiento correctivo a descargadores de sobretensión - Gerdau Diaco.....	78
<b>Tabla 60</b> Actividades de mantenimiento correctivo a malla de puesta a tierra - Gerdau Diaco. .....	79
<b>Tabla 61</b> Actividades de mantenimiento correctivo a barrajes y conectores - Gerdau Diaco. .....	79
<b>Tabla 62</b> Actividades de mantenimiento correctivo a bancos de condensadores - Gerdau Diacó .....	80
<b>Tabla 63</b> Actividades de mantenimiento correctivo a reactores de potencia - Gerdau Diaco. .....	80
<b>Tabla 64</b> Actividades de mantenimiento correctivo a bancos de baterías - Gerdau Diaco. .....	81
<b>Tabla 65</b> Matriz de Evaluación .....	123
<b>Tabla 66</b> Diagnostico de gestión- Porcentajes de Madurez Mantto Subestación .....	124
<b>Tabla 67</b> Resumen Batería de Indicadores.....	133

## **ANEXOS**

**Anexo 1.** Formato Encuesta Preliminar

**Anexo 2.** Formato Encuesta Diagnóstica

**Anexo 3.** Instrumento Estadístico de Caracterización

**Anexo 4.** Presentación de Capacitación

**Anexo 5.** Formatos de Actividades de Plan de Mantenimiento

**Anexo 6.** Evidencia Fotográfica

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, en las empresas se hace necesario identificar, gestionar y minimizar los riesgos, ya sean financieros, operacionales, estratégicos y/o de cumplimiento, lo que hace relevante analizar los factores de carácter interno o externo que generan cualquier tipo de riesgo. Mediante este análisis se ha logrado que en las organizaciones que presentan mayor riesgo en la Gerencia de su Mantenimiento, puedan minimizar notablemente el impacto en los procesos de las mismas, convirtiéndose su gestión en parte fundamental del funcionamiento de la empresa, evitando que este aspecto se convierta en una función crítica para la Corporación y para sus indicadores de rendimiento.

El mantenimiento es una herramienta usada ampliamente en distintas áreas de las empresas. Del correcto funcionamiento de la subestación, objeto de estudio, depende la continuidad en la alimentación de equipos, herramientas y locaciones de Gerdau Diaco Planta Tuta, los cuales son parte integral de la cadena de producción de dicha organización. Para garantizar que esta línea productiva se mantenga en funcionamiento y cumpla con las metas propuestas, se requiere diagnosticar la gestión de mantenimiento que se tiene, y se aplica en la subestación, determinando así, el grado de cultura de mantenimiento de la organización con la intención de generar un plan de mantenimiento encaminado al incremento de la disponibilidad de la maquinaria y equipo de producción, así como beneficio económico para la empresa.

Por lo anterior, se hace necesario la elaboración de un plan de mantenimiento en la subestación Eléctrica 115kV/13,2-13,8kV de la empresa Gerdau Diaco en la planta Tuta, para asegurar la continuidad en el suministro de energía eléctrica para los equipos y/o locaciones dependientes de dicha subestación, evitando cortes inesperados o salidas de producción no programadas. En general, se busca la no desviación de los objetivos de productividad, confiabilidad, calidad, disponibilidad de equipos y el control respectivo de costos para lograr los estándares requeridos por la industria y el mercado, optimizando la vida útil de los componentes y obteniendo la capacidad de pronosticar riesgo de fallas y garantizar la estabilidad de procesos que involucren a la subestación.

## 1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El propósito del plan de mantenimiento a diseñar para la subestación 115kV/13,2-13,8kV de Gerdau Diaco planta Tuta es brindar a la organización una herramienta de soporte técnico y administrativo para la realización de actividades de mantenimiento, con el fin de disminuir los riesgos a los que está expuesto el talento humano operativo de la subestación, brindar claridad sobre las actividades y procedimientos de intervención de los activos que hacen parte de la subestación y disminuir las probabilidades de falla e interrupción de la operación de planta, siendo una solución para la organización en términos de conocimiento, entrenamiento, planeación y disminución de costos asociados.

El plan de mantenimiento se desarrolla con el fin de minimizar fallas comunes, paradas no programadas, accidentes e incidentes presentados a través del tiempo en la subestación. Según información precedente, hay evidencia de fallas en aislamiento ocasionado por sobre tensiones debido a descargas atmosféricas directas o indirectas que generan corrientes de fallas, además, se presenta este deterioro en el aislamiento por envejecimiento y falta de mantenimiento de puesta a tierra y aisladores como tal en los interruptores de potencia, lo que ha generado un par de paradas de emergencia en Gerdau Diaco.

Hay evidencia de una serie de fallas en la subestación las cuales han provocado pérdida de tiempo y por consiguiente pérdidas de dinero a la empresa. Se destacan algunas como lo son: falla en un interruptor de potencia que inició al parecer con una falla menor al perder gas SF<sub>6</sub>; falla en una boquilla debido al desgaste del aislamiento que conllevó a detener la producción; falta de inspección en las válvulas de sobre presión y sobre flujo; fallas en cambiadores de derivaciones con carga generando fallas en el circuito de control, por motivo de flojedad de conexiones, etc.

Todos estos inconvenientes generalmente desencadenan en una falla mayor, por lo que se hace necesaria la implementación de dicho plan para mitigar este tipo de fallas. También se logrará evitar incidentes con el personal, ya que hay evidencia de un par de sucesos de pequeña magnitud e incidencia. Aunque no se han presentado accidentes con lesiones, se han presentado situaciones en la cual se ha puesto en peligro la integridad de las personas, destacando que la empresa es la primera interesada en evitar este tipo de riesgos para su equipo técnico y la afectación de línea de producción e instalaciones.

Con el plan de mantenimiento se busca encontrar el conjunto de tareas adecuadas que se puedan realizar, en dicha instalación o locación, con el fin de cumplir con objetivos, como lo son el incremento en la disponibilidad y la fiabilidad y la disminución del coste. El objetivo principal es el de maximizar la vida útil de la instalación y sus componentes, preservando la salud y la integridad de su personal. En diferentes reuniones, se ha analizado que el mantenimiento que actualmente se le realiza a la subestación es aceptable, pero es necesario realizarle mejoras innovadoras y metódicas para encaminarlo en un mantenimiento de clase mundial.

El reconocimiento de la subestación y el interactuar con los encargados del área de mantenimiento de la misma, funciona como estrategia de mantenimiento para detectar las causas de falla. Es sabido que los componentes pueden fallar debido a diferentes causas y cada causa obedece a fenómenos como desgaste, error humano, influencia ambiental, o fenómenos repentinos que pueden hacer que se degrade o suspenda el cumplimiento de sus funciones. Para la subestación se debe generar una visión hacia un sistema futuro de Gestión de activos físicos, al ser un campo emergente de la administración, puede ayudar a señalar las bases para mejorar la toma de decisiones sobre la maquinaria e instalaciones a lo largo del ciclo de vida.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> MARQUEZ FIDEL. Evaluación de la Gestión de activos a partir de la ISO 55 000. [Documento PDF]. Consideraciones teóricas. (2015). 109 pág. Santa Clara. Universidad Central Marta Abreu de las Villas



## 2. JUSTIFICACIÓN

Para tener éxito, hoy en día las empresas deben identificar los riesgos de sus organizaciones, ya sean operacionales, financieros, estratégicos y de cumplimiento, lo que hace relevante analizar los factores de carácter interno o externo que generan estos riesgos. Es pertinente afirmar que al no tener en cuenta dichos riesgos o factores, sea por desconocimiento o por falta de cultura en el mantenimiento en las organizaciones, se corre mayor riesgo en la gerencia de activos, convirtiéndose su gestión en una función que minimiza la criticidad en los procesos. Por lo tanto, se requiere diagnosticar la gestión de mantenimiento para determinar el grado de excelencia de la organización.

Gerdau Diaco ha evidenciado la necesidad de la creación de un plan de mantenimiento debido a una serie de inconvenientes que se han presentado en la subestación a lo largo del tiempo, por causa de la falta de mantenimiento de los componentes electromecánicos y civiles que conforman la misma. Según información recolectada, hay evidencia de fallas en la subestación en diferentes componentes como lo son: en puntos calientes, fallas en terminales y premoldeados de cableado y algunas veces bloqueo de interruptor por lo cual no permite su cierre.

También por medio de información de personal que labora a diario en la subestación, se ha podido evidenciar que las fallas más frecuentes que se presentan allí, son las que presentan los puntos calientes y justamente las fallas en terminales y premoldeados. Adicionalmente se ha indagado, obteniendo como dato cero accidentes e información relevante como lo es la de dos salidas de funcionamiento imprevistas: uno ocurrido en el mes de octubre del año 2021, por un lapso de tiempo de 8 horas, por falla en un seccionador de la subestación; el otro se dio en el mes de abril del año 2022, a causa del daño en un aislador el cual provocó la salida repentina no programada, durante 3 horas, dejando como resultado pérdidas económicas considerables para la organización.

Debido a estas problemáticas que se han venido presentando, se hace necesario un plan de mantenimiento que se ejecute con éxito, convirtiéndose en un proceso clave para optimizar los recursos, reducir costes y garantizar la continuidad de fabricación de la empresa. Por lo tanto, se pretende definir unos objetivos claros que puedan ser alcanzados en el tiempo estipulado, persiguiendo así minimizar tiempos de parada de producción y reducción de costes por averías; al mismo tiempo, aprovechar para definir unos indicadores de mantenimiento más concretos que nos permitan monitorear si estamos en un buen camino.

Debemos tener claridad acerca de los operarios disponibles, así como sus especialidades y formaciones. Esto se puede hacer mediante recolección de información sobre el personal y la creación de un conjunto de intervenciones u operaciones a realizar en periodos establecidos, que serán lanzados cuando llegue su momento. Este conjunto o agrupación de operaciones según la frecuencia temporal o bien por alguna otra variable se suelen denominar gamas o rutinas de mantenimiento. Para que las tareas sean ejecutadas a tiempo, es importante ajustar alertas que nos avisen previamente de las fechas de vencimiento de cada operación.

Es necesario que todas las intervenciones, ya sean predictivas, preventivas o correctivas, queden documentadas. Esto se realiza mediante órdenes de trabajo que cada operario deberá cumplimentar dejando constancia de que el trabajo previamente planificado ha sido resuelto satisfactoriamente. Se debe conocer las especificación y recomendaciones de los fabricantes, así como los plazos de garantía. Habitualmente en los manuales que se realizan, se suministran datos del fabricante de los equipos y todas las reglas de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo necesarias para definir la frecuencia de las operaciones del plan de mantenimiento.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un plan de mantenimiento para la subestación 115kV/13,2-13,8 kV de Gerdau Diaco planta Tuta, con el fin de generar un control de las intervenciones a los componentes electromecánicos y las obras civiles de la subestación incluyendo una estrategia con indicadores que conduzcan a una gestión de activos.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diagnosticar el estado de la cultura y de la gestión del mantenimiento en la subestación con el fin de plantear las recomendaciones necesarias para la implementación de un plan de mantenimiento.
- Estudiar la normatividad vigente de transformadores y los diferentes componentes de la subestación y las fallas frecuentes de los mismos, para determinar y desarrollar las herramientas necesarias de mantenimiento y determinación de los componentes más críticos.
- Realizar formatos los cuales se empleen para análisis, recepción y gestión de información, incluyendo la información de empresas externas que realicen mantenimiento a la subestación 115kV/13,2-13,8 kV de Gerdau Diaco planta Tuta, para que los trabajos sean realizados en armonía con el plan de mantenimiento a desarrollar.
- Capacitar al talento operativo y administrativo de la subestación en gerenciamiento de riesgos, planificación de la seguridad en el trabajo y mantenimiento de equipos de la subestación, mediante actividades teórico-prácticas que afiancen sus competencias y se alineen con la estrategia de mantenimiento a implementar.
- Analizar el estado de realización de la gestión de activos en la subestación y proponer una estrategia de implementación a mediano plazo.

## 4. MARCO CONCEPTUAL

### 4.1 Empresa MR Proyectos y Gestión

MR Proyectos y Gestión S.A.S., es una empresa Boyacense con alcance Nacional que presta servicios en distintas áreas de ingeniería, en campos como la transmisión, distribución, el mantenimiento y uso final de energía eléctrica, entre otras.

#### *Ilustración 1 MR Proyectos y Gestión*



*Fuente: MR Proyectos y Gestión archivos<sup>2</sup>*

La compañía se esmera en el cumplimiento total de la promesa de valor, nos centramos en el entendimiento de las necesidades de nuestros clientes, junto con el establecimiento de soluciones adecuadas, que permitan formar relaciones comerciales a largo plazo; la calidad de nuestros servicios, productos y el cumplimiento garantizado a toda prueba. Es una empresa que ofrece servicios especializados en Ingeniería con funciones específicas denotadas a continuación:

#### **En el área de Transmisión:**

*Diseño, Gerencia de Proyectos, Interventoría y Certificación de conformidad.*  
Gerencia de Proyectos e Interventoría.

- Diseño de Líneas de Transmisión con Software Especializado.
- Inspección y Certificación de Conformidad con RETIE-RETILAP.

*Mantenimiento Preventivo, Predictivo*

- Inspecciones exhaustivas con equipos detectores de campo eléctrico, para diagnóstico de aisladores.
- Inspecciones: exhaustivas con equipos de Termografía y Ultrasonido.

---

<sup>2</sup> MR PROYECTOS Y GESTIÓN SAS- Trabajamos con calidez y cumplimiento a toda prueba- Miguel Martínez-2019-Tunja

## En el área de Transformación

### *Pruebas de diagnóstico y Certificación de conformidad.*

- Ingenierías Básicas y de Detalle Eléctrica, Electromecánica, Control y Protección, Civil.
- Implementación de Sistemas de Automatización de Subestaciones.
- Comisionamiento de Subestaciones, Pruebas Diagnósticas a Sistemas de Control y Protección y estudios de Coordinación de Protecciones.
- Elaboración e Implementación de Manuales de Operación y Mantenimiento.
- Inspección y Certificación de Conformidad con RETIE-RETILAP.

## En el área de Distribución

### *Diseño, Construcción y Certificación de Conformidad*

- Gerencia de Proyectos e Interventoría.
- Diseño de Redes de Distribución con Software Especializado.
- Construcción de Redes de Distribución en BT, 13,8 kV, 34,5 kV.
- Montaje de Subestaciones de 13,8 kV, 34,5 kV.

### *Consultorías*

En cualquier área de la Operación y Planeamiento de Sistemas Eléctricos, Ingenierías Básicas y de Detalle, Automatización, Coordinación de Protecciones, Análisis Organizacionales y de Impactos Regulatorios.

## 4.2 Mantenimiento

El mantenimiento se define como la función empresarial en la cual se supervisa el control del estado de las instalaciones de todo tipo, tanto las productivas como las auxiliares y de servicios. “En ese sentido se puede decir que el mantenimiento es el conjunto de acciones necesarias para conservar o restablecer un sistema en un estado que permita garantizar su funcionamiento a un coste mínimo. Conforme con la anterior definición se deducen distintas actividades:

- Prevenir y/o corregir averías.
- Cuantificar y/o evaluar el estado de las instalaciones.
- Aspecto económico (costos).<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> NAVARRO DIAZ, Juan. Técnicas de Mantenimiento Industrial. Calpe Institute technology, 2004 p.1

## **Mantenimiento predictivo**

Cuando se quiere tener una idea de la probabilidad de falla de un equipo a futuro se utilizan técnicas predictivas que consisten básicamente en llevar un análisis cuidadoso de las inspecciones y los datos de las pruebas a cada equipo en particular. Los datos obtenidos se analizan estadísticamente según la periodicidad del mantenimiento para lograr predecir una falla. Las técnicas que se utilizan en el campo de subestaciones eléctricas son las termográficas y de ultrasonido.

Gracias al mantenimiento predictivo se puede alargar la vida útil de un equipo o elemento hasta un punto máximo. A partir de este punto se establece un tiempo pertinente para realizar un mantenimiento preventivo o correctivo antes de que falle, por ejemplo, si en una inspección termográfica se encuentra un leve incremento de temperatura en un conector, a los tres meses en otra inspección, aumenta la temperatura del conector y así sucesivamente en cada inspección, es el ingeniero a cargo de las inspecciones quien analiza todos los valores estadísticamente e intenta predecir mediante una gráfica cuando dicho elemento podría fallar. Luego se considera un tiempo oportuno para hacer la corrección de la falla con anterioridad. De esta forma se alarga la vida útil del elemento, se reducen las paradas y los costos a futuro de intervenciones o correctivos en un plan de mantenimiento.<sup>4</sup>

## **Mantenimiento preventivo**

Este mantenimiento también es denominado “mantenimiento planificado”, tiene lugar antes de que ocurra una falla o avería, se efectúa bajo condiciones controladas sin la existencia de algún error en el sistema. Se realiza con base a la experiencia y pericia del personal a cargo, el cual es el encargado de determinar el momento necesario para llevar a cabo dicho procedimiento; el fabricante también puede estipular el momento adecuado a través de los manuales técnicos. Presenta las siguientes características:

- Se realiza en un momento en que no se está produciendo, por lo que se aprovecha las horas ociosas de la planta.
- Se lleva a cabo siguiendo un programa previamente elaborado donde se detalla el procedimiento a seguir, y las actividades a realizar, a fin de tener las herramientas y repuestos necesarios “a la mano”.

---

<sup>4</sup> ALBARADO DUVÁN, Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo de los equipos críticos de las principales subestaciones de la empresa de energía de BOYACÁ S.A. E.S.P. aplicado por la empresa Asistencia Técnica Industrial Ltda. [Monografía]. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia-Ingeniería Electromecánica. (2017).

- Cuenta con una fecha programada, además de un tiempo de inicio y de terminación preestablecido y aprobado por la directiva de la empresa.
- Está destinado a un área en particular y a ciertos equipos específicamente. Aunque también se puede llevar a cabo un mantenimiento generalizado de todos los componentes de la planta.
- Permite a la empresa contar con un historial de todos los equipos, además brinda la posibilidad de actualizar la información técnica de los equipos.
- Permite contar con un presupuesto aprobado por la directiva.<sup>5</sup>

### **Mantenimiento correctivo.**

Este mantenimiento también es denominado “mantenimiento reactivo”, tiene lugar luego que ocurre una falla o avería, es decir, solo actuará cuando se presenta un error en el sistema. En este caso si no se produce ninguna falla, el mantenimiento será nulo, por lo que se tendrá que esperar hasta que se presente el desperfecto para recién tomar medidas de corrección de errores.

Este mantenimiento trae consigo las siguientes consecuencias:

- Paradas no previstas en el proceso productivo, disminuyendo las horas operativas.
- Afecta las cadenas productivas, es decir, que los ciclos productivos posteriores se verán parados a la espera de la corrección de la etapa anterior.
- Presenta costos por reparación y repuestos no presupuestados, por lo que se dará el caso que por falta de recursos económicos no se podrán comprar los repuestos en el momento deseado.
- La planificación del tiempo que estará el sistema fuera de operación no es predecible.<sup>5</sup>

### **TPM**

El TPM es un sistema de gestión que evita todo tipo de pérdidas durante la vida entera del sistema de producción, maximizando su eficacia e involucrando a todos los departamentos y a todo el personal desde operadores hasta la alta dirección, y orientando sus acciones apoyándose en las actividades en pequeños grupos. <sup>6</sup>

---

<sup>5</sup> Ibid. Pag 19

<sup>6</sup> FERNANDEZ EDGAR. Gestión de Mantenimiento: Lean Maintenance y TPM.[Trabajo Fin de Máster].Universidad De Oviedo. (2018). ESCUELA SUPERIOR DE LA MARINA CIVIL DE GIJÓN

En contra del enfoque tradicional del mantenimiento, en el que unas personas se encargan de “producir” y otras de “reparar” cuando hay averías, el TPM aboga por la implicación continua de toda la plantilla en el cuidado, limpieza y mantenimiento preventivos, logrando de esta forma que no se lleguen a producir averías, accidentes o defectos. Esto quiere decir que se considera que no existe nadie mejor que el operario para conocer el funcionamiento del equipo, ya que este convive y trabaja diariamente con la maquina/s por lo que llega a conocerla muy profundamente.

El TPM es una nueva dirección para la producción. El TPM, que organiza a todos los empleados desde la alta dirección hasta los trabajadores de la línea de producción, es un sistema de mantenimiento del equipo a nivel de compañía que puede apoyar las instalaciones de producción más sofisticadas.<sup>7</sup>

### **4.3 Mantenimiento Eléctrico en Subestaciones**

Para que el sistema de transformación de energía eléctrica funcione en las industrias, se mantenga en condiciones adecuadas y comprenda por completo la planeación de dicho sistema, es necesario conocer la función de cada una de sus partes y el lugar que estas ocupan en el sistema general. Actualmente la técnica de mantenimiento debe necesariamente desarrollarse bajo el concepto de reducir los tiempos de intervención sobre el equipo, con el fin de obtener la menor indisponibilidad para el servicio.<sup>4</sup>

#### **4.3.1. Gestión Integral del Mantenimiento**

La gestión es un proceso sistemático para la correcta disposición de recursos, que debe asegurar el constante y adecuado desempeño de los bienes y activos administrados.

Cualquier gestión que se realice en mantenimiento se basa en asegurar la confiabilidad en los equipos, sistemas y máquinas de una manera sistemática, segura y al menor costo posible. Existen gestiones que se rigen por elementos modernos en la aplicación del mantenimiento (mantenimiento preventivo, predictivo, etc.) y se pueden realizar labores de mantenimiento siguiendo procedimientos muy básicos y simples. No obstante, la correcta disposición de toda esa información y aplicación de procedimientos claros y bien definidos hace que el personal desarrolle

---

<sup>7</sup> FERNADEZ EDGAR. Gestión de Mantenimiento: Lean Maintenance y TPM.[Trabajo Fin de Máster].Universidad De Oviedo. (2018). ESCUELA SUPERIOR DE LA MARINA CIVIL DE GIJÓN



una labor de manera consistente respetando los estándares previamente definidos, obteniendo así resultados de gran calidad.<sup>8</sup>

### 4.3.2 Subestaciones

Las subestaciones eléctricas se pueden definir como una de las partes primordiales que intervienen en el proceso de generación-consumo de energía eléctrica. Una subestación eléctrica es un conjunto de elementos o dispositivos que permiten cambiar las características de energía eléctrica (tensión, corriente, frecuencia, etc.), tipo corriente alterna a corriente directa, o bien, conservarla dentro de ciertas características.

*Ilustración 2 Subestación Eléctrica 115kV/13,2-13,8kV*



*Fuente: Empresa Gerdau Diaco- Planta Tuta*

El Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE, presenta la siguiente definición: “Una subestación eléctrica es un conjunto único de instalaciones, equipos eléctricos y obras complementarias, destinado a la transferencia de energía eléctrica, mediante la transformación de potencia.”<sup>7</sup>

Con el fin de facilitar la distribución y el transporte de la energía eléctrica, se utilizan las subestaciones eléctricas, ya que su principal labor es la de modificar y establecer los niveles de tensión de una infraestructura eléctrica, en donde su equipo principal o el alma de estos equipos es el transformador.

---

<sup>8</sup> RETIE. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE. Colombia, 30 de Agosto 2013. Pág. 31

Hay un tipo de subestación eléctrica, que por lo general es la más grande e importante y se le denomina elevadora que está situada en las inmediaciones de las centrales generadoras de energía eléctrica, y su función es elevar el nivel de tensión, hasta 115, 230 o 500 kV antes de entregar la energía a la red de transporte.

Las subestaciones eléctricas reductoras, reducen el nivel de tensión hasta valores que oscilan, habitualmente entre 13.8 y 34.5 kV y entregan la energía a la red de distribución. Posteriormente, los centros de transformación reducen los niveles de tensión hasta valores comerciales (baja tensión) aptos para el consumo doméstico e industrial, típicamente 120, 440 V.

### **4.3.3 Principales elementos de las subestaciones**

Una subestación cuenta con un amplio número de componentes y equipos que ayudan a controlar y mejorar el servicio de energía eléctrica, unos con más importancia que otros, pero todos con el mismo fin.

#### **- Transformadores de Potencia**

Los transformadores se utilizan para cambiar el voltaje de un nivel a otro, para regular el nivel de tensión, y para controlar el flujo de kilovoltios-amperios reactivos en el sistema de potencia. Los transformadores de potencia instalados en subestaciones de transmisión de Boyacá normalmente operan a tensiones en el rango de 115.000 a 230.000 voltios.<sup>9</sup>

#### **- Interruptores de Potencia**

Es un elemento de corte, cuya maniobra se puede hacer de forma local o remota, para condiciones de carga o de sobre intensidad, siendo este el único elemento capaz de actuar en estas condiciones.

Por sí solo no tiene la capacidad de actuar, por el contrario, sobre él operan las unidades de control y las de protección. Para esto cuenta con juegos de entradas y salidas para las señales de control y protección. Para que se dé una apertura o cierre cuenta con dos bobinas o resortes que se cargan, ya sea por accionamiento de un motor eléctrico o por un sistema neumático o hidráulico, y luego transmiten esta energía al elemento móvil de corte.

---

<sup>9</sup> SHOEMAKER; James E. Mack: Lineman's and Cableman's Handbook, Twelfth Edition. Substations, Chapter (McGraw-Hill Professional, 2012), AccessEngineering - Base de datos, UPTC

Para poder operar con carga, necesita de una cámara de extinción del arco que se forma mientras sus terminales móviles se separan. La extinción básicamente se hace de dos formas con aceite que permite disipar la energía liberada o gas de hexafluoruro de Azufre (SF6). En algunos casos los interruptores con capacidad de ruptura de corrientes altas, tienen varias cámaras para debilitar en diferentes puntos y lograr su rápida extinción.<sup>10</sup>

#### - **Gas SF6:**

El hexafluoruro de azufre es un compuesto inorgánico de fórmula SF6. En condiciones normales de presión y temperatura es un gas incoloro, inodoro, no tóxico y no inflamable, con la peculiaridad de ser cinco veces más pesado que el aire, ampliamente usado en los equipos eléctricos de alta tensión.

El SF6 es utilizado como gas aislante en subestaciones encapsuladas GIS, como aislante y medio de enfriamiento en transformadores de poder y como aislante y medio de extinción en interruptores de alta y media tensión. Todas estas aplicaciones son sistemas cerrados, muy seguros e idealmente sin posibilidades de filtraciones.

En el caso de los interruptores se requiere que estos tengan la capacidad de interrumpir las corrientes de fallas de los sistemas eléctricos de potencia para los cuales han sido diseñados. El SF6 cumple efectivamente las funciones de aislante y de medio de extinción debido a su alta capacidad calórica y sus propiedades electronegativas.<sup>11</sup>

#### - **Seccionadores**

Es un equipo utilizado para aislar o efectuar corte visible entre los diferentes elementos que componen la instalación eléctrica. Una de las características más importantes que diferencian el interruptor del seccionador, es que los últimos deben maniobrarse sin carga y que su apertura es de una forma plenamente visible, por lo tanto, no se requiere que su velocidad de operación sea alta.

Los seccionadores generalmente se montan sobre aisladores de porcelana y deben estar aislados para el nivel de tensión de trabajo. Sus contactos se cubren con un

---

<sup>10</sup> QUIRÓS RAMOS. Diego G. Desarrollo de un procedimiento de Pruebas de Aceptación en Fábrica (FAT, por sus siglas en inglés) para tableros de control en subestaciones de mediana y alta tensión aplicado a la subestación Papagayo. 2008, p11. Monografía. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería Eléctrica

<sup>11</sup> RUBEN VEGA. ¿Qué es el Hexafluoruro de Azufre o SF6? [pág. En Línea]. WIKA. (2022). [http: ¿Qué es el Hexafluoruro de Azufre o SF6? - Blog de WIKA \(bloginstrumentacion.com\)](http://¿Qué es el Hexafluoruro de Azufre o SF6? - Blog de WIKA (bloginstrumentacion.com)).

baño de plata para mejorar la resistencia a la corrosión ambiental y al desgaste producido por los pequeños arcos eléctricos que aparecen en el momento de la operación. <sup>4</sup>

#### - **Transformadores de Corriente**

Los transformadores de corriente se utilizan principalmente para protección del sistema, estos cuentan con varios núcleos para llevar las diferentes señales a los relés y a los medidores, por lo general se encuentran conectados tres devanados, de medida, de protección y de protección de respaldo.

El devanado primario de un transformador de corriente está conectado en serie con el conductor de alta tensión. La magnitud de amperios que fluyen en el circuito de alta tensión se reduce proporcionalmente por la relación de los devanados del transformador. El devanado secundario del transformador de corriente está aislado de la alta tensión para permitir que sea conectado a los circuitos de medición de baja tensión. Los transformadores de corriente y de potencial suministran señales para la medición de los flujos de potencia y las entradas eléctricas para el funcionamiento de los relés de protección asociados con los circuitos de transmisión y distribución.<sup>4</sup>

#### - **Transformadores de Potencial**

Altas tensiones se miden mediante la reducción proporcional de la tensión con un transformador de potencial que tiene su devanado de alta tensión conectado al circuito de transmisión o de distribución y su devanado de baja tensión conectado a un medidor o un relé o ambos. Al igual que los transformadores de corriente, estos cuentan no solo con uno sino con varios núcleos.

Los transformadores de potencial están obligados a proporcionar voltajes exactos para los medidores utilizados para la facturación de los clientes. Si se utilizan transformadores monofásicos, generalmente se requieren tres transformadores para medir la potencia en un circuito trifásico.<sup>4</sup>

#### - **Descargadores de Sobretensión DPS**

Dispositivo para la protección del sistema de potencia y sus componentes contra las sobretensiones, ya sea producidas por descargas atmosféricas o por maniobras en el sistema durante fallas. Es un elemento indispensable en una subestación porque lleva las sobretensiones producidas por descargas atmosféricas o de otro origen a

tierra, interceptando los rayos antes de que impacten directamente en la instalación eléctrica. Este se compone de un elemento metálico resistente a la corrosión en su núcleo y va forrado con un material aislante, que puede ser vidrio, cerámico, porcelana o polimérico.<sup>4</sup>

#### - **Malla de Puesta a Tierra**

Es una red de conductores desnudos que se interconectan a un sistema de electrodos dispuestos a cierta profundidad de un terreno para crear un punto de referencia de menor resistencia para que en caso de alguna descarga eléctrica la instalación eléctrica no resulte afectada, en este caso será aplicada para la protección de una Subestación.

#### - **Barrajes:**

Los barrajes son puntos del sistema destinados a hacer distribución interna de la corriente en sistemas comerciales o industriales. Los barrajes hacen posible la conexión de varios dispositivos dentro del mismo sistema. Estos dispositivos están diseñados para tener una baja impedancia y para que a través de ellos pasen corrientes muy elevadas. Estos equipos también deben cumplir con los requisitos de seguridad aplicables en Colombia como la NTC 2050 y el RETIE.<sup>12</sup>

#### - **Banco de Condensadores**

Los bancos de condensadores son la unión de varios condensadores conectados entre sí que compensan la energía reactiva y aumentan el factor de potencia. Esto resulta en una rejilla más estable con mayor capacidad de transmisión y pérdidas reducidas.

La instalación de estos bancos de condensadores traerá grandes beneficios para sus proyectos, pues generarán una mayor eficiencia energética que eliminan la penalización por energía reactiva. Un banco de condensadores garantizado, requiere un mantenimiento, que es sencillo y de bajo costo. Nuestros bancos de condensadores, contienen interruptores automáticos en miniatura que protegen el sistema de posibles sobrecargas y de cortocircuitos, los cuales pueden adaptarse a distintas necesidades de cortes o corrientes nominales. Generándose así, al final, una extensión de la vida útil de los distintos equipos y maquinarias.<sup>4</sup>

---

<sup>12</sup> CAMARILLO JUAN.Dielco. Equipos Para barrajes en baja tensión. [pág. En Línea]. Estructurando MVD. (Oct 26, 2020). [http: Equipos para Barrajes en Baja Tensión - Dielco distribuidor eléctrico](http://Equipos para Barrajes en Baja Tensión - Dielco distribuidor eléctrico).

## - **Reactores de Potencia**

Los reactores de potencia son el medio más compacto y de mejor relación coste-eficacia para compensar la generación capacitiva en líneas de alta tensión de transmisión larga o en sistemas de cables de gran longitud. Las soluciones alternativas son más costosas, se traducen en mayores pérdidas, requieren más equipos y exigen recursos adicionales. Usados en servicio permanente para estabilizar la transmisión de potencia, o conectados solamente en condiciones de carga ligera para control de tensión, los reactores de potencia combinan alta eficacia con bajos costes de ciclo de vida para reducir los costes de transmisión y aumentar los beneficios.<sup>4</sup>

## - **Banco de Baterías**

Conjunto de varias baterías que conectadas en serie alimentan los servicios auxiliares de la subestación. Estas se ubican en un cuarto especial para mayor seguridad y suministran corriente continua principalmente a los sistemas de control y protección de la subestación.<sup>4</sup>

### **4.4 Gestión de Activos**

Para iniciar es importante tener claro lo que es un activo y la gestión del mismo al interior de una empresa, considerando la definición de este en la norma ISO 55000, (estandarización internacional) la cual nos brinda los lineamientos necesarios para promover la estrategia en la empresa.

Podemos definir un activo como aquello que tiene un valor actual o potencial para una organización: Maquinaria, Planta, Edificios, Instalaciones, Vehículos entre otros elementos y a cada uno es posible asociarle el concepto de “vida” propia de él, que consiste en el período desde su adquisición hasta el final de su vida útil.<sup>13</sup>

A la vez que cada activo cuenta con un ciclo de vida propio, lo cual engloba todas las etapas que el activo experimenta en su vida, las etapas componentes del ciclo de vida de un activo incluyen:

#### *Plan de Negocios*

- Idea inicial y estudios preliminares.
- Evaluación del contexto total del proyecto, incluyendo estudios de factibilidad técnica, viabilidad económica e impacto ambiental.

- Planeamiento de todas las etapas que abarcará el proyecto.
- Proyecto de detalle y diseño de los procesos, incluyendo toda la ingeniería básica necesaria.

#### *Compra*

- Compra de los elementos necesarios y/o eventual manufactura de los mismos e instalación de todos los elementos de acuerdo al proyecto.

#### *Operación y Mantenimiento-Modernización*

- Puesta en marcha, prueba de todas las instalaciones y aceptación de las mismas.
- Operación y Mantenimiento de las instalaciones, uso o consumo de los bienes o servicios.
- Conducir el activo a constante actualización de acuerdo a los nuevos requerimientos del mercado.

#### *Disposición Final*

- Evaluación de alternativas de aprovechamiento, incluyendo los posibles reciclajes o la eventual eliminación de los elementos de la instalación.
- Descarte, reciclaje o venta de la instalación. (Salgueiro<sup>13</sup>)

**Ilustración 3** *Etapas de ciclo de vida de un activo*



*Fuente: Creación propia*

<sup>13</sup> SALGUEIRO, A. [Libro]. *Indicadores de gestión y cuadro de mando*. (2001). España: Diaz de Santos.

## **5. METODOLOGÍA**

Este capítulo se centra en el proceso metodológico utilizado a lo largo del desarrollo del proyecto, donde se explicará los métodos y procedimientos utilizados para la realización del mismo. El capítulo se compone de las siguientes secciones: alcance, enfoque, población, instrumentos utilizados y procedimientos.

### **5.1 Alcance**

El estudio realizado en este trabajo tiene un alcance exploratorio y descriptivo.

El componente exploratorio permite identificar el estado de la cultura y gestión del mantenimiento en la subestación eléctrica de Gerdau Diaco planta Tuta, familiarizándose con el contexto que allí se evidencia día a día. Se realizará un estudio de normatividad de las subestaciones y de diferentes componentes de la misma, enfocándonos en las fallas frecuentes, permitiendo establecer prioridades para el producto final: la estrategia de mantenimiento.

Lo anterior, abre espacio al componente descriptivo, con el que se pretende especificar y describir variables importantes a implementar en la organización con el producto final, mediante la capacitación del talento operativo y administrativo de la subestación para el gerenciamiento de riesgos, planificación de la seguridad en el trabajo y mantenimiento de equipos, mediante actividades que afiancen sus competencias de la mano con el conocimiento y manejo de los formatos que se empleen para análisis, recepción y gestión de información.

Este tipo de acciones contribuirán con la proyección y la ejecución futura de una estrategia de gestión de activos en la subestación 115kV/13,2-13,8 kV de Gerdau Diaco planta Tuta, la cual, de lo mano de un plan de mantenimiento práctico y eficiente, permitirá optimizar los procesos productivos, aumentando la rentabilidad, al anticipar posibles fallas, velar por el uso correcto de los equipos y mejorar el rendimiento general de la organización.

### **5.2 Enfoque**

El enfoque de los estudios realizados en la consecución del plan de mantenimiento es de tipo mixto, ya que se usarán herramientas cuantitativas y cualitativas para la consecución de los objetivos planteados. De acuerdo con cada instrumento utilizado, se estableció un enfoque cuantitativo y/o cualitativo, los cuales permiten agrupar finalmente los elementos necesarios para alcanzar en producto final deseado, de acuerdo a los requerimientos y necesidades de Gerdau Diaco, en especial de la subestación objeto de estudio.



### **5.3 Población**

La población objeto de estudio se divide en dos componentes: talento humano y activos de la subestación 115kV/13,2-13,8kV.

En cuanto al talento humano de Gerdau Diaco, específicamente miembros de las áreas operativas, administrativas y gerenciales que tienen relación directa con la gestión del mantenimiento de la planta, y específicamente con la subestación 115kV/13,2-13,8kV. La población de talento humano de Diaco consta de 25 personas entre miembros de las tres áreas, con predominancia del área operativa (técnicos electricistas, tecnólogos electricistas, ingenieros electricistas y/o electromecánicos) que son los directamente involucrados en las labores de la subestación.

Por su parte, en cuanto a los activos de la subestación 115kV/13,2-13,8kV la población de estudio serán todos los componentes que hacen parte de la misma (transformadores, seccionadores, interruptores, CT's, PT's, DPS's, relés, entre otros).

### **5.4 Instrumentos**

#### **5.4.1 Encuesta preliminar**

Dentro de los instrumentos utilizados, se estableció el desarrollo de una encuesta preliminar para conocer las propuestas de los colaboradores de Gerdau Diaco en cuanto a la estrategia de mantenimiento de la subestación. De igual forma, se pretendió conocer las áreas de mantenimiento en las cuales los colaboradores requerían reforzar sus habilidades.

##### **5.4.1.1. *Objetivos de la encuesta preliminar:***

- Identificar las necesidades de los colaboradores de Gerdau Diaco para la correcta gestión del mantenimiento de la subestación 115kV/13,2-13,8kV.
- Establecer los aspectos a mejorar, de los colaboradores de Gerdau Diaco en el desarrollo de maniobras en la subestación 115kV/13,2-13,8Kv.

La encuesta consta de dos proposiciones con respuesta abierta:

- Nos gustaría conocer sus aportes o ideas para la jornada práctica.
- Quisiéramos saber sus propuestas para implementar en la Estrategia de Mantenimiento de Diaco.

#### **5.4.1.2 Tipo de metodología**

Para este instrumento se planteó un análisis de tipo mixto con estadística básica, dado que se trata de respuestas abiertas. Las respuestas pasan a agruparse en un banco, en donde por medio de estadística básica se establecen las agrupaciones de respuestas y se permite hacer un análisis porcentual, dando cabida a análisis de los siguientes elementos:

- Equipos y lugares de preferencia de las prácticas en sitio.
- Procedimientos seguros propuestos.
- Aspectos propuestos para la estrategia de mantenimiento.
- Temáticas de capacitación propuestas.
- Elementos adicionales.

En cuanto al análisis cualitativo de la encuesta preliminar, por medio del banco de respuestas, se estableció realizar una nube de palabras. La nube de palabras permite identificar conceptos clave que la población menciona en el instrumento como elementos importantes mediante la repetición en las respuestas. Dicha nube de palabras se realiza mediante un aplicativo online gratuito, que permite importar el documento del banco de palabras, y exporta la nube de palabras.

#### **5.4.2 Encuesta diagnóstica - Cultura y gestión del Mantenimiento Gerdau Diaco**

El segundo instrumento utilizado, es la encuesta diagnóstica. Esta será usada como instrumento principal para evaluar la cultura y la gestión del mantenimiento dentro de la organización. Dicho instrumento se compone del ajuste del “Instrumento de medición para diagnosticar la gestión del mantenimiento” propuesto por Vázquez <sup>14</sup>, para las características de la organización.

##### **5.4.2.1 Objetivos de la encuesta diagnóstica:**

- Determinar el estado de la gestión del mantenimiento en la organización Gerdau Diaco.
- Identificar fortalezas y debilidades en la cultura del mantenimiento en la subestación.
- Identificar fortalezas y debilidades en la gestión de activos en Gerdau Diaco.

---

<sup>14</sup> VAZQUES, EMILIO J.[ARTÍCULO] Instrumento de medición para diagnosticar la gestión del mantenimiento.(2014).16 pág.

#### 5.4.2.2 **Escala de Medición**

Según Villamizar <sup>15</sup> el índice de medición de la Gestión de Mantenimiento, se mide de acuerdo a una estimación dentro de una escala entre 0 y 100 puntos. Esta escala determina los criterios en cada nivel, y da pie a la clasificación de la Gestión en cinco etapas o estados:

- 91-100% / **Excelencia**: en la organización existe una Gestión de Mantenimiento Clase Mundial con las Mejores Prácticas Operacionales.
- 81-90% / **Competencia**: en la organización existe una Gestión de Mantenimiento con tendencia a Clase Mundial, pero existen pequeñas brechas por cerrar. Es un sistema muy bueno con nivel de Operaciones Efectivas.
- 71-80% / **Entendimiento**: en la organización existe una Gestión de Mantenimiento Básica, por encima del promedio. Se aplican algunas de las mejores prácticas de Mantenimiento Clase Mundial.
- 51-70% / **Conciencia**: en la organización existe una Gestión de Mantenimiento Básica, pero se desconocen las mejores prácticas de Mantenimiento Clase Mundial o de las Filosofías de Mantenimiento existente. En promedio y con oportunidades para mejorar.
- 0-50% / **Inocencia**: en la organización no existe una Gestión de Mantenimiento Básica. Por debajo del promedio con muchas oportunidades para mejorar.

#### 5.4.2.3 **Definición de Variables**

Para la definición de variables, el instrumento agrupa doce variables resultantes de la literatura en gestión del mantenimiento. Para el caso de Gerdau Diaco, se agruparán dichas variables en tres pilares, siete subgrupos y 42 principios básicos que serán analizados y cuantificados. A continuación, se describen los pilares, los subgrupos y principios básicos:

##### **PILAR No. 1. Filosofía de la gestión**

La filosofía de la gestión agrupa los subgrupos: “*misión, políticas y objetivos*” cuyos principios básicos abordan elementos acerca de objetivos fijados, alineación de los colaboradores con la misión, entre otros; y “*roles y responsabilidades*” cuyos principios tratan aspectos relacionados con los cargos de los colaboradores, la toma de decisiones, y entendimiento de los roles.

---

<sup>15</sup> VILLAMIZAR, S. [libro]Modelo Gerencial bajo el Enfoque de Servicios para activos no industriales. (2007). Anzoategui.

La Tabla 1 representa el pilar No. 1 Filosofía de la gestión, sus subgrupos y sus principios.

**Tabla 1** *Pilar No. 1 Filosofía de la gestión, subgrupos y principios básicos.*

<b>INSTRUMENTO DE CARACTERIZACIÓN CULTURA Y GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO GERDAU DIACO</b>		
FILOSOFIA DE LA GESTION	MISION, POLITICAS Y OBJETIVOS	<p>Se tiene una misión orientada a la gestión del mantenimiento dentro de la empresa</p> <p>Existe un conjunto de valores claro que rigen la forma en que nos conducimos</p> <p>Las personas de las diferentes áreas de la organización tienen una perspectiva en común</p> <p>La forma que tenemos de hacer las cosas es flexible y fácil de cambiar</p> <p>Comparamos frecuentemente nuestro progreso con los objetivos fijados</p> <p>La dirección nos conduce hacia los objetivos que tratamos de alcanzar</p> <p>Los líderes y directivos practican lo que pregonan</p>
	ROLES Y RESPONSABILIDADES	<p>Conozco el rol y las responsabilidades asociadas a mi cargo</p> <p>Tengo autonomía para decidir si realizo o no una determinada tarea</p> <p>Tengo la confianza de mis pares y superiores para desarrollar una determinada tarea</p> <p>Cada persona entiende la relación entre su trabajo y los objetivos de la organización.</p>

*Fuente: Elaboración propia.*

## **Pilar No. 2 Dinámica organizacional**

La dinámica organizacional como pilar fundamental, establece cuatro subgrupos: “*sistema de información y comunicación*”, cuyos principios identifican aspectos relacionados con capacitación del talento humano, planificación, comunicación interna, comunicación con superiores, cooperación de diferentes áreas y grupos de trabajo, entre otras; la “*autoridad, autonomía y confianza*” cuyos principios abarcan elementos tales como: decisiones, disposición para realizar las tareas asignadas, confort con su grupo de trabajo, impacto hacia el grupo, entre otras; y finalmente “*trabajo en equipo*” y “*clima*”.

La siguiente describe el pilar No. 2, sus subgrupos y los principios que lo componen.

**Tabla 2** *Pilar No. 2 Dinámica organizacional, subgrupos y principios básicos.*

<b>INSTRUMENTO DE CARACTERIZACIÓN CULTURA Y GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO GERDAU DIACO</b>		
<b>DINAMICA ORGANIZACIONAL</b>	<b>SISTEMA DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN</b>	<p>Tengo conocimiento de las tareas que se tienen programadas durante el mes, conozco mi responsabilidad y lo que tengo que hacer</p> <p>Tengo la información detallada de la tarea que voy a realizar</p> <p>Si necesito información adicional sobre una determinada tarea, sé dónde conseguirla</p> <p>Recibo capacitación sobre los nuevos equipos y actualización sobre manejo de los existentes</p> <p>Recibo capacitación sobre maniobras y protocolos de las intervenciones que voy a realizar</p> <p>La planificación de nuestro trabajo es continua e implica a todo el grupo</p> <p>Mi superior escucha mis opiniones y las tiene en cuenta a la hora de tomar decisiones</p> <p>Cuando existen desacuerdos, trabajamos intensamente para encontrar soluciones donde todos ganen</p> <p>Es sencillo coordinar proyectos entre las diferentes áreas de la organización</p> <p>Las diferentes áreas de la empresa cooperan a menudo para introducir cambios</p> <p>Mi superior mantiene una comunicación constante con el grupo de trabajo</p>
	<b>AUTORIDAD, AUTONOMIA Y CONFIANZA</b>	<p>Las decisiones con mayor frecuencia se toman en el nivel que dispone de la mayor información</p> <p>Mantengo buena disposición para realizar las tareas que me fueron asignadas</p> <p>Cada miembro cree que puede tener un impacto positivo en el grupo</p> <p>La autoridad se delega de modo que las personas puedan actuar por si mismas</p> <p>A menudo surgen problemas porque no disponemos de las habilidades para realizar el trabajo</p> <p>Me siento cómodo con mis pares y superiores</p>
	<b>TRABAJO EN EQUIPO</b>	<p>Me gusta trabajar en equipo</p>
	<b>CLIMA</b>	<p>El ambiente de trabajo me permite desenvolverme de forma adecuada</p>

*Fuente: Elaboración propia.*

### Pilar No. 3 Gestión del mantenimiento

El pilar No. 3 es la gestión del mantenimiento. En este pilar se agruparon los principios en un subgrupo que abarca: “*planificación*” de las actividades de mantenimiento; “*identificación*” de pasos, secuencia de tareas, peligros; “*diligenciamiento de formatos*” establecidos por la organización; y finalmente, reconocimiento y apropiamiento de las “*lecciones aprendidas*”.

La Tabla 3 describe el pilar No. 3, subgrupo y principios básicos.

**Tabla 3** Pilar No. 3 Gestión del mantenimiento, subgrupo y principios básicos.

<b>INSTRUMENTO DE CARACTERIZACIÓN CULTURA Y GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO GERDAU DIACO</b>		
<b>GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO</b>	<b>PLANIFICACIÓN, IDENTIFICACIÓN, ROLES, DILIGENCIAMIENTO DE FORMATOS, LECCIONES APRENDIDAS</b>	Planificamos el mantenimiento operacional con antelación Identificamos el alcance del trabajo a realizar (lugar, duración, elemento a intervenir) Identificamos la secuencia de tareas a realizar para la ejecución del trabajo Identificamos los pasos para realizar cada tarea Identificamos los peligros asociados a cada intervención que debemos realizar Identificamos, evaluamos y controlamos los riesgos asociados a cada intervención que debemos realizar Establecemos las medidas necesarias para mitigar o eliminar los riesgos asociados a cada intervención que debemos realizar Identificamos los recursos necesarios para realizar el trabajo Establecemos roles y responsabilidades para el trabajo a realizar. Cada miembro conoce sus funciones Conozco los formatos establecidos para el seguimiento de cada trabajo a realizar Diligencio debidamente los formatos e informes establecidos para el seguimiento de cada trabajo a realizar Me da pereza diligenciar formatos e informes de los trabajos Al terminar un trabajo debatimos sobre los sucesos y compartimos las lecciones aprendidas

*Fuente: Elaboración propia.*

### **5.4.3 Capacitaciones teóricas presenciales**

Como parte importante de este trabajo, se realizaron dos capacitaciones teóricas en las instalaciones de Gerdau Diaco con miembros de la organización de las áreas operativa, administrativa y gerencial, quienes son parte interesada en el presente proyecto.

#### **5.4.3.1 *Objetivos de las capacitaciones teóricas***

##### **5.4.3.1.1 *Objetivo general***

Capacitar a los colaboradores de Gerdau Diaco en gerenciamiento del riesgo, barreras y controles, planeación del trabajo seguro, mantenimiento y tipos de mantenimiento, y presentación de casos de éxito, que contribuyan a la aplicación en la gestión del mantenimiento de la subestación 115kV/13,2-13,8kV de Gerdau Diaco.

##### **5.4.3.1.2 *Objetivos específicos***

- Brindar herramientas para el gerenciamiento de los riesgos a los cuales se enfrentan los trabajadores de la subestación de Gerdau Diaco.
- Presentar los tipos de barreras y controles que se pueden usar para los trabajos con tensión.
- Exponer los tipos de mantenimiento, su importancia en la vida diaria de operación de la subestación y en su aplicación correcta para ser un caso exitoso en gestión del mantenimiento.
- Contribuir con la presentación de casos de éxito a la apropiación del plan de mantenimiento de la subestación 115kV/13,2-13,8 kV de Gerdau Diaco.
- Enfatizar en las habilidades blandas como elemento fundamental en la gestión del mantenimiento de la subestación, y la interrelación entre miembros de áreas operativa, administrativa y gerencial.

### **5.4.4 Capacitación en campo**

Como complemento a las capacitaciones teóricas, a la observación de trabajos con tensión y a la inclusión del plan de mantenimiento en Gerdau Diaco, se establecieron capacitaciones técnicas en campo, toda vez que una de las necesidades identificadas por los directivos de la organización, es la de capacitar y actualizar a su talento humano en intervenciones y trabajos con tensión, con los equipos de la subestación.

#### **5.4.4.1 Objetivos de las capacitaciones en campo**

##### **5.4.4.1.1 Objetivo general**

Cubrir las necesidades de capacitación y actualización de conocimientos de los operarios en el desarrollo de trabajos con tensión en la subestación 115kV/13,2-13,8kV de Gerdau Diaco, para el fortalecimiento de sus competencias y habilidades.

##### **5.4.4.1.2 Objetivos específicos**

- Identificar fortalezas y debilidades en el desarrollo de las actividades con tensión mediante una actividad de observación a los miembros del área operativa.
- Actualizar a los operarios en diferentes actividades de mantenimiento en la subestación, permitiéndoles consolidar competencias y habilidades nuevas con los equipos y componentes de la subestación identificados en la encuesta preliminar y la actividad de observación.



## 6. ESTUDIO DE FALLAS FRECUENTES EN SUBESTACIONES

A continuación, se describe la generalidad de las fallas frecuentes en las subestaciones.

### Fallas de aislamiento

Las fallas de aislamiento ocurren principalmente cuando un componente de la subestación (aislador, cable aislado, cadena de aisladores) disminuye su aislamiento por deterioro, humedad, entre otros, y cuya consecuencia es la aparición de corrientes de falla a tierra.

Puede que el aislamiento del equipo se encuentre en buenas condiciones, pero este está sujeto a sobre tensiones de corta duración, transitorios debidos a descargas atmosféricas (Rayos) ya sean de tipo directas e indirectas; esto produce falla es el aislamiento, resultando así corrientes de falla o corto circuito con valores mayores a la nominal.<sup>16</sup>

Otra de las causas es el envejecimiento del aislamiento el cual puede producir ruptura aún al valor del voltaje nominal, y algunos objetos externos como aves, árboles, quema de maleza, entre otras, pueden deteriorar o dañar el aislamiento.

### Fallas de protección

Las fallas de protección ocurren cuando los relés de protección no actúan normalmente para proteger los equipos contra sobretensiones, sobrecargas, o sobre corrientes transitorias.

### Fallas por condiciones climáticas

Las fallas por condiciones climáticas ocurren generalmente cuando una lluvia fuerte provoca vientos huracanados que en ocasiones provocan contacto entre conductores, desencadenando corto circuitos.

De igual forma, cuando ocurren descargas atmosféricas que provocan inyección de altas corrientes en el sistema eléctrico, las cuales en ocasiones no son detectadas por los DPS y provocan fallas transitorias.

### Fallas a tierra

Las fallas a tierra ocurren cuando la corriente no logra completar su circuito, debido a que algún elemento hace contacto con una fase, y se realiza la descarga a tierra en un lugar inesperado.

---

<sup>16</sup> TEORIAELECTRO. Fallas Comunes de Equipo eléctrico Primario en Subestaciones de potencia. [Presentación]. Slideshare. En línea. 41 pág. [http://Fallas Comunes De Equipo EléCtrico Primario En Subestacione \(slideshare.net\)](http://Fallas Comunes De Equipo EléCtrico Primario En Subestacione (slideshare.net)).

## **Fallas en el transformador**

El funcionamiento inapropiado de algún transformador de la subestación (temperatura de los devanados, factor de potencia, fallas de aceite, etc) producen que el relé Buchholz actúe, esto ocasiona la falla en la subestación.

## **Falla en el interruptor**

Cuando los interruptores de potencia realizan de forma inadecuada las maniobras de apertura o cierre, el circuito puede producir arco eléctrico y, por ende, una falla en la subestación. Podemos encontrar fallas de dos tipos:<sup>5</sup>

- Fallas Mayores: Atascamientos de barras de accionamiento, explosión de cámaras de arqueo debido a que el interruptor no abre completamente por desprendimiento de casquillos de unión entre barras de accionamiento y contactos móviles.
- Fallas Menores: Falla en los circuitos de control, falla en los equipos de monitoreo los cuales pueden ser: pérdida de presión de gas SF6, nitrógeno, aceite, aire y resortes destensados, también debido a aperturas en falso por el aterrizamiento de los cables de control.<sup>5</sup>

## **Fallas de Boquillas:<sup>5</sup>**

La boquilla en un transformador de potencia tiene la función de conectar las guías de los devanados hacia el exterior manteniendo la hermeticidad y aislamiento eléctrico. Por sus características intrínsecas las boquillas están sometidas a grandes esfuerzos dieléctricos al tener que soportar grandes diferencias de potencial en espacios físicos reducidos, esta característica los hace ser unos de los elementos más susceptible de falla de un transformador.

## **Fallas por movimiento sísmico**

Cuando se presentan eventos sísmicos que afecten las estructuras de la subestación, se pueden producir corto circuitos al hacer contacto entre los conductores y/o con las estructuras aterrizadas.

## **Fallas del sistema**

Las fallas del sistema afectan la subestación debido a situaciones en subestaciones cercanas, en líneas de transmisión, las cuales ocasionan transitorios que afectan la subestación.

## 7. NORMATIVIDAD USADA

### 7.1 Normatividad general

Para el plan de mantenimiento de la subestación 115kV/13,2-13,8kV se plantea el uso de diferentes normas que permiten realizar de manera correcta las pruebas, test de verificación y actividades conexas con el mantenimiento de los activos de la subestación. A continuación, se describe la normatividad general y normatividad específica para cada activo objeto de mantenimiento.

- Especificaciones generales para el aceite mineral aislante, usado en equipos eléctricos. Norma: ASTM D3487-88.
- Método para toma de muestras de líquidos aislantes. Norma: ASTM D 923-91.
- Método para análisis de gases disueltos en aceite aislante por cromatografía de gases. Norma: ASTM D3612-93.
- Método de análisis para tensión de ruptura de aceites aislantes. Norma: ASTM D1816-97.
- Método de análisis de factor de potencia. Norma: ASTM D924-92(b).
- Método de análisis de agua en líquidos aislantes. Norma: ASTM D1533-88, ASTM D 3612-93,
- Medida de la relación de transformación, verificación de polaridad y relación de fase según la Norma ICONTEC No. 471.
- Medida de resistencia óhmica de devanados de acuerdo con la Norma ICONTEC No. 375.
- Medición de la resistencia de puesta a tierra de cada transformador (RETIE Capítulo 15.)
- Revisión y medición de apantallamiento según RETIE Capítulo 15.
- Pruebas de campo para medir el aislamiento de cables aislados. Norma: IEEE-400.1- 2001.

### 7.2 Normatividad específica

#### 7.2.1 Normatividad para pruebas a transformadores de potencia<sup>17</sup>

La normatividad específica para las pruebas a transformadores se relaciona a continuación.

---

<sup>17</sup> IBERDROLA. Reglamento sobre centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación. [Libro]. Centro de Documentación Bilbao. (mayo 2002). Dirección General de Medios. RCE.

**Tabla 4** Normatividad de pruebas a transformadores de potencia.

<b>NORMATIVIDAD PARA PRUEBAS A TRANSFORMADORES DE POTENCIA</b>	
<b>TIPO DE PRUEBA</b>	<b>NORMA</b>
Examen visual	ASTM D-1524
Rigidez dieléctrica	ASTM D-877
Índice colorimétrico	ASTM D-1500
Número de neutralización	ASTM D-974
Tensión interfacial	ASTM D-971
Contenido de agua	ASTM D-1533
Gravedad específica	ASTM D-1298
Análisis cromatográfico de aceite	ASTM D-3612-93
Relación de transformación y polaridad	ANSI/IEEE C57.12.91
Resistencia de devanados	ANSI/IEEE Std. 62-1995
Corriente de excitación	ANSI/IEEE Std 62-1995
Impedancia	ANSI/IEEE Std 62-1995
Factor de potencia y capacitancia de devanados	ANSI/IEEE Std 62-1995
Resistencia de aislamiento	ANSI/IEEE C57.12.91
Respuesta de frecuencia de barrido	IEEE C57-159/D5
Físico-químico	IEE C57.106-2006
Compuestos furánicos	ASTM D5839 – IEC 61198
Gases disueltos por cromatografía	IEC 60599
Análisis de PCB's	ASTM D4059
Análisis de contenido de inhibidor	ASTM D2668
Pruebas dieléctricas	IEC 60076
Medida de nivel de ruido	IEC 60076-10

*Fuente: Elaboración propia.*

### 7.2.2 Normatividad para pruebas a interruptores de potencia

La Tabla 5 establece las normas para pruebas de interruptores de potencia.

**Tabla 5** Normatividad para pruebas a interruptores de potencia

<b>NORMATIVIDAD PARA PRUEBAS A INTERRUPTORES DE POTENCIA</b>	
<b>TIPO DE PRUEBA</b>	<b>NORMA</b>
Interruptores de potencia con tensiones entre 1 y 52kV	IEC 62271-103 Ed 1.0 parte 1
Interruptores de potencia con tensiones mayores a 52Kv	IEC 62271-104 Ed. 1.0 parte 2
Especificación técnica del hexafluoruro de azufre (SF6) para interruptores de potencia	IEC 60376
Ensayos sintéticos para interruptores de potencia	IEC 62271-101

*Fuente: Elaboración propia.*

### 7.2.3 Normatividad para pruebas a seccionadores de potencia

En la Tabla 6 se puede apreciar la normatividad para las pruebas a seccionadores de potencia de la subestación.

**Tabla 6** Normatividad para pruebas a seccionadores de potencia.

<b>NORMATIVIDAD PARA PRUEBAS A SECCIONADORES DE POTENCIA</b>	
<b>TIPO DE PRUEBA</b>	<b>NORMA</b>
Seccionadores de corriente alterna condiciones generales	IEC 62271-102
Seccionadores de potencia pruebas	IEC 62271-103

*Fuente: Elaboración propia.*

#### **7.2.4 Normatividad para pruebas a transformadores de corriente**

La normatividad requerida para las pruebas a transformadores de corriente se presenta a continuación:

**Tabla 7** Normatividad para pruebas a transformadores de corriente

<b>NORMAS PARA PRUEBAS A TRANSFORMADORES DE CORRIENTE</b>	
<b>TIPO DE PRUEBA</b>	<b>NORMA</b>
Requisitos para transformadores de corriente	IEC 61869-2

*Fuente: Elaboración propia.*

#### **7.2.5 Normas para pruebas a transformadores de tensión**

En la Tabla 8 se establecen las normas para pruebas a transformadores de tensión a tener en cuenta en la subestación.

**Tabla 8** Normatividad para pruebas a transformadores de tensión.

<b>NORMAS PARA PRUEBAS A TRANSFORMADORES DE TENSIÓN</b>	
<b>TIPO DE PRUEBA</b>	<b>NORMA</b>
Requisitos para transformadores de tensión elementos inductivos	IEC 61869-3
Requisitos para transformadores de tensión elementos capacitivos	IEC 61869-5

*Fuente: Elaboración propia*

#### **7.2.6 Normatividad para pruebas a DPS y relés**

La Tabla 9 presenta las normas a tener en cuenta para las pruebas a DPS y Relés.

**Tabla 9** Normatividad para pruebas a DPS y Relés.

<b>NORMAS PARA PRUEBAS A DPS Y RELÉS</b>	
<b>TIPO DE PRUEBA</b>	<b>NORMA</b>
Descargadores de sobretensión condiciones generales	IEC 60099
Relés eléctricos condiciones generales	IEC 60255
Sistemas de control de relés	IEC 60870

*Fuente: Elaboración propia*

El continuo seguimiento y análisis rutinario de los componentes de la subestación, determina en gran medida la seguridad y continuidad en operación, la protección del talento humano que participa en la operación, el éxito en los diferentes tipos de mantenimiento que se ejecuten y repercute finalmente en costos asociados al funcionamiento y objeto final en la cadena de valor en Gerdau Diaco.

## 8. PLAN DE MANTENIMIENTO SUBESTACIÓN 115KV/13,2-13,8KV GERDAU DIACO

### 8.1 Mantenimiento Predictivo Subestación 115kV/13,2-13,8kV Gerdau Diaco

El mantenimiento predictivo hace alusión a las técnicas de diagnóstico aplicadas sobre un equipo objeto a mantener, orientadas a realizar seguimiento y control de las características funcionales, su estado actual, de forma que se pueda detectar o prever un posible fallo y, por tanto, planificar acciones correctivas para optimizar su funcionamiento<sup>18</sup>.

Este tipo de mantenimiento tiene la finalidad de anticiparse a que el equipo falle, efectuando una serie de mediciones y ensayos no destructivos a todas aquellas partes del bien a mantener, que sean susceptibles de deterioro, pudiendo con ello evitar la falla catastrófica, representativa en tiempo, dinero y el activo.<sup>19</sup>

El resultado del mantenimiento predictivo permite tomar acciones correctivas y/o preventivas en el equipo a mantener. Su técnica de aplicación de apoya en experiencia adquirida con resultados estadísticos, que determinan que el equipo está más propenso a fallar cuando se encuentra en el periodo inicial de operación, a partir de su puesta en servicio y cuando se acerca el final de su vida útil. Este tipo de mantenimiento se planifica y sus costos son predecibles. Para su implementación es importante tener en cuenta cuatro aspectos: programación, inspección, información, toma de decisión. Gracias a este tipo de mantenimiento, se pueden prevenir fallas y mejorar las estadísticas e indicadores de mantenimiento.

La planificación planteada para el mantenimiento predictivo en la subestación 115/13,2kV de Gerdau Diaco consiste en:

- Definir los elementos objeto de mantenimiento (transformadores, interruptores, seccionadores, CT's, PT's, Relés, DPS's, SPT, barrajes, condensadores, reactores, bancos de baterías y cables desnudos).
- Verificar su hoja de vida, vida útil, estadísticas de falla.
- Determinar las actividades de mantenimiento predictivo en cada caso.
- Agrupar temporalmente los trabajos teniendo en cuenta fechas pactadas y paradas programadas.

---

<sup>18</sup> EPM. Manual de mantenimiento preventivo, predictivo, correctivo para trabajos con tensión en subestaciones y líneas Chec. *Manual de mantenimiento preventivo, predictivo, correctivo para trabajos con tensión en subestaciones y líneas Chec.*[ Doc. Técnico] (10 de 02 de 2018). Medellín, Antioquia, Colombia.

<sup>19</sup> CUARTAS,[Doc. Informativo]. L. A.¿Qué es el mantenimiento?(2008). N.S.

### 8.1.1 Mantenimiento predictivo a Transformadores de Potencia

Los transformadores de potencia requieren de mantenimiento predictivo con diferentes pruebas a sus componentes, que garanticen el correcto funcionamiento y prevención de fallas futuras.

#### 8.1.1.1 Actividades de mantenimiento predictivo a transformadores de potencia

A continuación, se describen las actividades planteadas para el mantenimiento predictivo de los transformadores de potencia de la subestación.

**Tabla 10** Actividades de mantenimiento predictivo a Transformadores de potencia - Gerdau Diaco.

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO TRANSFORMADORES DE POTENCIA 61MVA, 50MVA, 12,5MVA – GERDAU DIACO	
Pruebas de mantenimiento predictivo a transformadores de potencia	Pruebas de relación de transformación
	Pruebas de factor de potencia al aislamiento de los devanados
	Pruebas de campo eléctrico
	Pruebas de resistencia de aislamiento de devanados
	Collar caliente a boquillas de alta tensión
	Pruebas de termografía
	Pruebas de rigidez dieléctricas al aceite de los transformadores
	Pruebas de aislamiento de devanados
	Pruebas de resistencia óhmica de los devanados
	Medición y análisis de carga del transformador
	Pruebas de nivel de ruido
	Pruebas al aceite aislante: Análisis de compuestos furánicos
	Pruebas al aceite aislante: Análisis dieléctrico y fisicoquímico – Cromatografía gases disueltos

Fuente: Elaboración propia con base en Dispac<sup>20</sup>.

#### 8.1.1.2 Periodicidad de las actividades de mantenimiento predictivo a transformadores de potencia

La Tabla 11 describe la periodicidad de las actividades de mantenimiento predictivo para los transformadores de potencia. Es importante tener en cuenta la agrupación temporal de las actividades, y resaltar que deben realizarse cumpliendo las cinco reglas de oro.

<sup>20</sup> DISPAC. Manual de mantenimiento para subestaciones eléctricas.[Documento Informativo]. Empresa distribuidora del Pacífico. (2015).168 pag. Chocó, Colombia.

**Tabla 11** Periodicidad de actividades de mantenimiento predictivo a transformadores de potencia - Gerdau Diaco.

PERIODICIDAD ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO	
ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	PERIODICIDAD
Pruebas de relación de transformación	Anual
Pruebas de factor de potencia al aislamiento de los devanados	Anual
Pruebas de resistencia de aislamiento de devanados	Anual
Pruebas de campo eléctrico	Anual
Collar caliente a boquillas de alta tensión	Anual
Pruebas de termografía	Trimestral
Pruebas de rigidez dieléctricas al aceite de los transformadores	Anual
Pruebas de aislamiento de devanados	Anual
Pruebas de resistencia óhmica de los devanados	Anual
Medición y análisis de carga del transformador	Anual
Pruebas de nivel de ruido	Anua
Pruebas al aceite aislante: Análisis de compuestos furánicos	Anual
Pruebas al aceite aislante: Análisis dieléctrico y fisicoquímico - Cromatografía gases disueltos	Semestral

*Fuente: Elaboración propia.*

### 8.1.2 Mantenimiento predictivo a interruptores de potencia

Los interruptores de potencia requieren de mantenimiento predictivo con diferentes pruebas a sus componentes, que garanticen el correcto funcionamiento y prevención de fallas futuras.

#### 8.1.2.1 Actividades de mantenimiento predictivo a interruptores de potencia

A continuación, se describen las actividades planteadas para el mantenimiento predictivo de los interruptores de potencia de la subestación.

**Tabla 12** Actividades de mantenimiento predictivo a interruptores - Gerdau Diaco.

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO A INTERRUPTORES DE POTENCIA – GERDAU DIACO	
Pruebas de mantenimiento predictivo	Pruebas de resistencia de aislamiento
	Verificación de tiempos de operación
	Resistencia de bobinas de apertura y cierre
	Medidas de desplazamiento
	Medidas de sobrealcance y rebote
	Prueba de simultaneidad de polos en apertura y cierre
	Pruebas de factor de potencia
	Pruebas de campo eléctrico
	Pruebas de termografía
	Prueba de resistencia de contacto dinámica
	Prueba de accionamiento mecánico (velocidad y desplazamiento)
	Prueba de resistencia de contacto (a diferentes corrientes. 200A – 600A)
	Análisis de subproductos de la descomposición del gas SF6

*Fuente: Elaboración propia con base en Dispac (2015).<sup>19</sup>*



### 8.1.2.2 Periodicidad de las actividades de mantenimiento predictivo a interruptores de potencia

En la Tabla 13 se expone la periodicidad de las actividades de mantenimiento predictivo para los interruptores de potencia. Es importante tener en cuenta la agrupación temporal de las actividades, y resaltar que deben realizarse cumpliendo las cinco reglas de oro.

**Tabla 13** Periodicidad de actividades de mantenimiento predictivo a interruptores de potencia - Gerdau Diaco

PERIODICIDAD ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO	
ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	PERIODICIDAD
Pruebas de resistencia de aislamiento	Anual
Verificación de tiempos de operación	Anual
Resistencia de bobinas de apertura y cierre	Anual
Medidas de desplazamiento	Anual
Medidas de sobrealcance y rebote	Anual
Prueba de simultaneidad de polos en apertura y cierre	Anual
Pruebas de factor de potencia	Anual
Pruebas de campo eléctrico	Anual
Pruebas de termografía	Trimestral
Prueba de resistencia de contacto dinámica	Anual
Prueba de accionamiento mecánico (velocidad y desplazamiento)	Anual
Prueba de resistencia de contacto (a diferentes corrientes. 200A – 600A)	Anual
Análisis de subproductos de la descomposición del gas SF6	Anual

*Fuente: Elaboración propia.*

### 8.1.3 Mantenimiento predictivo a seccionadores de potencia

Los seccionadores de potencia requieren de mantenimiento predictivo con diferentes pruebas a sus componentes, que garanticen el correcto funcionamiento y prevención de fallas futuras.

#### 8.1.3.1 Actividades de mantenimiento predictivo a seccionadores de potencia

A continuación, se describen las actividades planteadas para el mantenimiento predictivo de los seccionadores de potencia de la subestación.

**Tabla 14** Actividades de mantenimiento predictivo a seccionadores de potencia - Gerdau Diaco

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO A SECCIONADORES DE POTENCIA – GERDAU DIACO	
Pruebas de mantenimiento predictivo	Prueba de resistencia de contactos
	Prueba de aislamiento
	Pruebas de campo eléctrico

	Pruebas de termografía
	Prueba de verificación de cierre y apertura
	Prueba de resistencia de contactos

*Fuente: Elaboración propia con base en Dispac.<sup>19</sup>*

### 8.1.3.2 **Periodicidad de las actividades de mantenimiento predictivo a seccionadores de potencia**

La periodicidad de las actividades de mantenimiento predictivo para los seccionadores de potencia se presenta en la Tabla 15. Es importante tener en cuenta la agrupación temporal de las actividades, y resaltar que deben realizarse cumpliendo las cinco reglas de oro.

**Tabla 15** Periodicidad de actividades de mantenimiento predictivo a seccionadores de potencia - Gerdau Diaco

PERIODICIDAD DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO	
ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	PERIODICIDAD
Prueba de resistencia de contactos	Anual
Prueba de aislamiento	Anual
Pruebas de campo eléctrico	Anual
Pruebas de termografía	Trimestral
Prueba de verificación de cierre y apertura	Anual
Prueba de resistencia de contactos	Anual

*Fuente: Elaboración propia.*

### 8.1.4 **Mantenimiento predictivo a transformadores de corriente**

Los transformadores de corriente CT's requieren de mantenimiento predictivo con diferentes pruebas a sus componentes, que garanticen el correcto funcionamiento y prevención de fallas futuras.

#### 8.1.4.1 **Actividades de mantenimiento predictivo a transformadores de corriente**

A continuación, se describen las actividades planteadas para el mantenimiento predictivo de los transformadores de corriente CT's de la subestación.

**Tabla 16** Actividades de mantenimiento predictivo a transformadores de corriente - Gerdau Diaco.

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO A TRANSFORMADORES DE CORRIENTE – GERDAU DIACO	
Pruebas de mantenimiento predictivo	Pruebas de aislamiento
	Pruebas de factor de potencia
	Pruebas de campo eléctrico
	Pruebas de termografía
	Pruebas de relación de transformación y polaridad
	Pruebas de resistencia de devanados

	Pruebas de curvas de saturación
	Pruebas de curva de magnetización
	Pruebas de polaridad

*Fuente: Elaboración propia con base en Dispac.<sup>19</sup>*

#### **8.1.4.2 Periodicidad de las actividades de mantenimiento predictivo a transformadores de corriente**

La Tabla 17 describe la periodicidad de las actividades de mantenimiento predictivo para los transformadores de corriente. Es importante tener en cuenta la agrupación temporal de las actividades, y resaltar que deben realizarse cumpliendo las cinco reglas de oro.

**Tabla 17** Periodicidad de actividades de mantenimiento predictivo a transformadores de corriente - Gerdau Diaco.

<b>PERIODICIDAD DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO</b>	
<b>ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO</b>	<b>PERIODICIDAD</b>
Pruebas de aislamiento	Anual
Pruebas de factor de potencia	Anual
Pruebas de campo eléctrico	Anual
Pruebas de termografía	Trimestral
Pruebas de relación de transformación y polaridad	Anual
Pruebas de resistencia de devanados	Anual
Pruebas de curvas de saturación	Anual
Pruebas de curva de magnetización	Anual
Pruebas de polaridad	Anual

*Fuente: Elaboración propia.*

#### **8.1.5 Mantenimiento predictivo a transformadores de potencial**

Los transformadores de potencial PT's requieren de mantenimiento predictivo con diferentes pruebas a sus componentes, que garanticen el correcto funcionamiento y prevención de fallas futuras.

##### **8.1.5.1 Actividades de mantenimiento predictivo a transformadores de potencial**

A continuación, se describen las actividades planteadas para el mantenimiento predictivo de los transformadores de potencial PT's de la subestación.

**Tabla 18** Actividades de mantenimiento predictivo a transformadores de potencial - Gerdau Diaco.

<b>ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO A TRANSFORMADORES DE POTENCIAL – GERDAU DIACO</b>	
Pruebas de mantenimiento predictivo	Pruebas de aislamiento
	Pruebas de factor de potencia
	Pruebas de campo eléctrico
	Pruebas de termografía
	Pruebas de relación de transformación

	Pruebas de polaridad
	Pruebas de resistencia de devanado
	Pruebas de curvas de saturación
	Pruebas de curva de magnetización

*Fuente: Elaboración propia con base en Dispac.<sup>19</sup>*

### 8.1.5.2 Periodicidad de las actividades de mantenimiento predictivo a transformadores de potencial

La Tabla 19 describe la periodicidad de las actividades de mantenimiento predictivo para los transformadores de potencial. Es importante tener en cuenta la agrupación temporal de las actividades, y resaltar que deben realizarse cumpliendo las cinco reglas de oro.

**Tabla 19** Periodicidad de actividades de mantenimiento predictivo a transformadores de potencial - Gerdau Diaco.

PERIODICIDAD ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO	
ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	PERIODICIDAD
Pruebas de aislamiento	Anual
Pruebas de factor de potencia	Anual
Pruebas de campo eléctrico	Anual
Pruebas de termografía	Trimestral
Pruebas de relación de transformación	Anual
Pruebas de polaridad	Anual
Pruebas de resistencia de devanado	Anual
Pruebas de curvas de saturación	Anual
Pruebas de curva de magnetización	Anual

*Fuente: Elaboración propia.*

### 8.1.6 Mantenimiento predictivo a descargadores de sobretensión DPS

Los descargadores de sobretensión DPS requieren de mantenimiento predictivo con diferentes pruebas a sus componentes, que garanticen el correcto funcionamiento y prevención de fallas futuras.

#### 8.1.6.1 Actividades de mantenimiento predictivo a descargadores de sobretensión

A continuación, se describen las actividades planteadas para el mantenimiento predictivo de los DPS de la subestación.

**Tabla 20** Actividades de mantenimiento predictivo a descargadores de sobretensión - Gerdau Diaco.

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO A DESCARGADOR DE SOBRETENSIONES DPS – GERDAU DIACO	
Pruebas de mantenimiento predictivo	Pruebas de aislamiento
	Pruebas de factor de potencia
	Pruebas de campo eléctrico

	Pruebas de termografía
	Prueba de corriente de fuga

Fuente: Elaboración propia con base en Dispac.<sup>19</sup>

### 8.1.6.2 Periodicidad de las actividades de mantenimiento predictivo a descargadores de sobretensión DPS

En la Tabla 21 se relaciona la periodicidad de las actividades de mantenimiento predictivo para los descargadores de sobretensión. Es importante tener en cuenta la agrupación temporal de las actividades, y resaltar que deben realizarse cumpliendo las cinco reglas de oro.

**Tabla 21** Periodicidad de las actividades de mantenimiento predictivo a descargadores de sobretensión - Gerdau Diaco.

PERIODICIDAD ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO	
ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	PERIODICIDAD
Pruebas de aislamiento	Anual
Pruebas de factor de potencia	Anual
Pruebas de campo eléctrico	Anual
Pruebas de termografía	Trimestral
Prueba de corriente de fuga	Anual

Fuente: Elaboración propia.

### 8.1.7 Mantenimiento predictivo a malla de puesta a tierra

La malla de puesta a tierra requiere de mantenimiento predictivo con diferentes pruebas a sus componentes, que garanticen el correcto funcionamiento y prevención de fallas que ocasionen incidentes y/o accidentes.

#### 8.1.7.1 Actividades de mantenimiento predictivo a malla de puesta a tierra

A continuación, se describen las actividades planteadas para el mantenimiento predictivo de la malla de puesta a tierra de la subestación.

**Tabla 22** Actividades de mantenimiento predictivo a malla de puesta a tierra - Gerdau Diaco.

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO A MALLA DE PUESTA A TIERRA – GERDAU DIACO	
Pruebas de mantenimiento predictivo	Medición de resistencia de puesta a tierra
	Medición de tensión de paso y contacto

Fuente: Elaboración propia con base en Dispac<sup>19</sup>.

#### 8.1.7.2 Periodicidad de las actividades de mantenimiento predictivo a la malla de puesta a tierra

La periodicidad de las actividades de mantenimiento predictivo para la malla de puesta a tierra se presenta en la Tabla 23. Es importante tener en cuenta la agrupación temporal de las actividades, y resaltar que deben realizarse cumpliendo las cinco reglas de oro.

**Tabla 23** Periodicidad actividades de mantenimiento predictivo a malla de puesta a tierra - Gerdau Diaco.

PERIODICIDAD ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO	
ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	PERIODICIDAD
Medición de resistencia de puesta a tierra	Anual
Medición de tensión de paso y contacto	Anual

Fuente: Elaboración propia.

### 8.1.8 Mantenimiento predictivo a barrajes y cables desnudos

Los barrajes y cables desnudos requieren de mantenimiento predictivo con diferentes pruebas a sus componentes, que garanticen el correcto funcionamiento y prevención de fallas futuras.

#### 8.1.8.1 Actividades de mantenimiento predictivo a barrajes y cables desnudos

A continuación, se describen las actividades planteadas para el mantenimiento predictivo de los barrajes y cables desnudos de la subestación.

**Tabla 24** Actividades de mantenimiento predictivo a barrajes y cables desnudos - Gerdau Diaco

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO A BARRAJES Y CABLES DESNUDOS – GERDAU DIACO	
Pruebas de mantenimiento predictivo	Pruebas de aislamiento
	Pruebas de campo eléctrico
	Pruebas de termografía

Fuente: Elaboración propia con base en *Dispac*<sup>19</sup>.

#### 8.1.8.2 Periodicidad de las actividades de mantenimiento predictivo a los barrajes y cables desnudos

En la Tabla 25 se presenta la periodicidad de las actividades de mantenimiento predictivo para los barrajes y cables desnudos. Es importante tener en cuenta la agrupación temporal de las actividades, y resaltar que deben realizarse cumpliendo las cinco reglas de oro.

**Tabla 25** Periodicidad de actividades de mantenimiento predictivo a barrajes y cables desnudos – Gerdau Diaco.

PERIODICIDAD DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO	
ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	PERIODICIDAD
Pruebas de aislamiento	Anual
Pruebas de campo eléctrico	Anual
Pruebas de termografía	Trimestral

Fuente: Elaboración propia.

### 8.1.9 Mantenimiento predictivo a bancos de condensadores

Los bancos de condensadores requieren de mantenimiento predictivo con diferentes pruebas a sus componentes, que garanticen el correcto funcionamiento y prevención de fallas futuras.

#### 8.1.9.1 Actividades de mantenimiento predictivo a bancos de condensadores

A continuación, se describen las actividades planteadas para el mantenimiento predictivo de los bancos de condensadores de la subestación.

**Tabla 26** Actividades de mantenimiento predictivo a bancos de condensadores Gerdau Diaco.

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO A BANCOS DE CONDENSADORES – GERDAU DIACO	
Pruebas de mantenimiento predictivo	Pruebas de aislamiento
	Medición de capacitancia
	Pruebas de campo eléctrico
	Pruebas de termografía

*Fuente: Elaboración propia.*

#### 8.1.9.2 Periodicidad de las actividades de mantenimiento predictivo a bancos de condensadores

En la Tabla 27 se presenta la periodicidad de las actividades de mantenimiento predictivo para los bancos de condensadores. Es importante tener en cuenta la agrupación temporal de las actividades, y resaltar que deben realizarse cumpliendo las cinco reglas de oro.

**Tabla 27** Periodicidad de actividades de mantenimiento predictivo de bancos de condensadores Gerdau Diaco.

PERIODICIDAD DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO	
ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	PERIODICIDAD
Pruebas de aislamiento	Anual
Medición de capacitancia	Anual
Pruebas de campo eléctrico	Anual
Pruebas de termografía	Trimestral

*Fuente: Elaboración propia.*

### 8.1.10 Mantenimiento predictivo a reactores de potencia

Los reactores de potencia requieren de mantenimiento predictivo con diferentes pruebas a sus componentes, que garanticen el correcto funcionamiento y prevención de fallas futuras.

### 8.1.10.1 Actividades de mantenimiento predictivo a reactores de potencia

A continuación, se describen las actividades planteadas para el mantenimiento predictivo de los reactores de potencia de la subestación.

**Tabla 28** Actividades de mantenimiento predictivo a reactores de potencia - Gerdau Diaco.

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO A REACTORES DE POTENCIA – GERDAU DIACO	
Pruebas de mantenimiento predictivo	Pruebas de aislamiento
	Pruebas de campo eléctrico
	Pruebas de termografía

*Fuente: Elaboración propia.*

### 8.1.10.2 Periodicidad de las actividades de mantenimiento predictivo a reactores de potencia

En la Tabla 29 se presenta la periodicidad de las actividades de mantenimiento predictivo para los reactores de potencia. Es importante tener en cuenta la agrupación temporal de las actividades, y resaltar que deben realizarse cumpliendo las cinco reglas de oro.

**Tabla 29** Periodicidad actividades de Mtto predictivo a reactores - Gerdau Diaco.

PERIODICIDAD DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO	
ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	PERIODICIDAD
Pruebas de aislamiento	Anual
Pruebas de campo eléctrico	Anual
Termografía	Trimestral

*Fuente. Elaboración propia.*

### 8.1.11 Mantenimiento predictivo a bancos de baterías

Los bancos de baterías requieren de mantenimiento predictivo con diferentes pruebas a sus componentes, que garanticen el correcto funcionamiento y prevención de fallas futuras.

#### 8.1.11.1 Actividades de mantenimiento predictivo a bancos de baterías

A continuación, se describen las actividades planteadas para el mantenimiento predictivo de los bancos de baterías de la subestación.



**Tabla 30** Actividades de mantenimiento predictivo a bancos de baterías - Gerdau Diaco.

<b>ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO A BANCOS DE BATERÍAS – GERDAU DIACO</b>	
Pruebas de mantenimiento predictivo	Verificación de densidad del electrolito (gravedad específica)
	Verificación de nivel del electrolito
	Verificación de la carga de igualación
	Pruebas de termografía

Fuente: Elaboración propia con base en Andina<sup>21</sup>.

### 8.1.11.2 Periodicidad de actividades de mantenimiento predictivo a bancos de baterías

La periodicidad de las actividades de mantenimiento predictivo para la malla de puesta a tierra se presenta a continuación. Es importante tener en cuenta la agrupación temporal de las actividades, y resaltar que deben realizarse cumpliendo las cinco reglas de oro.

**Tabla 31** Periodicidad de actividades de mantenimiento predictivo a bancos de baterías

<b>PERIODICIDAD DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO</b>	
<b>ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO</b>	<b>PERIODICIDAD</b>
Verificación de densidad del electrolito (gravedad específica)	Semestral
Verificación de nivel del electrolito	Semestral
Verificación de la carga de igualación	Semestral
Pruebas de termografía	Trimestral

Fuente: Elaboración propia con base en Andina<sup>20</sup>.

### 8.1.12 Formatos de Mantenimiento predictivo Subestación 115kV/13,2-13,8kV Gerdau Diaco

Estos formatos se generaron con el fin de realizar un seguimiento a todas las actividades de tipo predictivas, necesarias en la subestación para maximizar la vida útil de los elementos que conforman la misma, mediante estos se recopilan datos antes, durante y después de un proceso, cumpliendo como función principal ayudar a tomar decisiones para revisar o ajustar periodicidad de intervenciones, paradas programadas, implementación de 5<sup>er</sup>s, entre otros.

Serán útiles en el control de tareas que se realizarán sin importar la condición del equipo, se podrán realizar algunos tipos de medición y prueba, las que nos permitirán decidir si se realizaran tareas mayores.

En cuanto a la gestión del mantenimiento hace parte importante del control y manejo de información, llevando a normalizar un conjunto de procesos que controlan el ciclo

<sup>21</sup> ANDINA, E. I. (s.f.). [documento Informativo]. Manual para instalación, operación y mantenimiento de baterías estacionarias de plomo/ácido. Energía Integral Andina.

de vida de la información, necesaria para el funcionamiento de la subestación, los procesos comprenden funciones como: extracción, combinación y distribución de la información de manera organizada.

#### Ilustración 4 Ejemplo de formato de Actividades de Mantenimiento Predictivo

GERDAU DIACO		PLAN DE MANTENIMIENTO DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA 115kV/13,2kV GERDAU DIACO			MR PROYECTOS Y GESTIÓN		VERSIÓN 1.0	2022
MANTENIMIENTO PREDICTIVO A DESCARGADOR DE SOBRETENSIONES DPS – GERDAU DIACO								
TIPO DE ACTIVIDAD	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO	PERIODICIDAD	TALENTO HUMANO		T. ESTIPULADO (Horas)	EPP	EQUIPOS ESENCIALES	INSUMOS
			INGENIERO	TECNICOS				
Pruebas de mantenimiento predictivo	Pruebas de aislamiento	Anual	1	2	2	Casco dielectrico, Guantes . Botas dielectricas, gafas de seguridad, overol l2 calorías, arnes dielectrico.	Megometro-CPC100	Escaleras dielectricas certificadas, herramienta menor (llaves, destornilladores)
	Pruebas de factor de potencia	Anual	1	2	4	Casco dielectrico, Guantes . Botas dielectricas, gafas de seguridad, overol l2 calorías, arnes dielectrico.	CPC100	Escaleras dielectricas certificadas, herramienta menor (llaves, destornilladores)
	Pruebas de campo eléctrico	Anual	1	1	4	Casco dielectrico, Guantes . Botas dielectricas, gafas de seguridad, overol l2 calorías, arnes dielectrico.	POSITRON UNIVERSAL	Escaleras dielectricas certificadas, herramienta menor (llaves, destornilladores)
	Pruebas de termografía	Trimestral	1	1	2	Casco dielectrico, Guantes . Botas dielectricas, gafas de seguridad, overol l2 calorías, arnes dielectrico.	Cámara Termográfica	Escaleras dielectricas certificadas, herramienta menor (llaves, destornilladores)
	Prueba de corriente de fuga	Anual	1	1	2	Casco dielectrico, Guantes . Botas dielectricas, gafas de seguridad, overol l2 calorías, arnes dielectrico.	CPC100-Multimero	Escaleras dielectricas certificadas, herramienta menor (llaves, destornilladores)

*Fuente: Realización en conjunto, equipo de trabajo empresa MR Proyectos y Gestión, y empresa Gerdau Diaco.*

**NOTA:** Para ver los formatos de Actividades de Mantenimiento Predictivo de los elementos principales que involucran la subestación de 115kV/13,2-13,8kV de Gerdau Diaco, dirigirse al **Anexo n° 5**.

### 8.2 Mantenimiento Preventivo Subestación 115kV/13,2-13,8kV Gerdau Diaco

El mantenimiento preventivo es un tipo de mantenimiento programado efectuado sobre la instalación o equipo objeto de mantener, para el servicio que presta. En este mantenimiento se verifica que existan las condiciones para reducir la probabilidad de fallo, mantener las condiciones seguras y preestablecidas de operación, prolongar la vida útil, evitar accidentes y garantizar el servicio. La finalidad del mantenimiento es evitar que el equipo o instalación presente fallas (prevenibles) durante su vida útil; y generalmente la técnica de su aplicación se apoya en dos pilares: experiencias de operación que terminan que el equipo después de pasar por el periodo de puesta en servicio, reduzca sus posibilidades de falla<sup>19</sup>; y las recomendaciones aportadas por el fabricante en su datasheet y manuales de uso<sup>22</sup>.

<sup>22</sup> AGUIRRE, B. [Guía PDF] Manual de mantenimiento y supervisión general de una subestación eléctrica. (01 de 09 de 2014). Cantabria, España.

Este mantenimiento tiene un costo fijo para las inspecciones, test de verificación y demás actividades programadas para confirmar que existen las condiciones para garantizar el servicio, y un costo variable para las adecuaciones, de las cuales en condiciones normales será relativamente bajo y predecible.

La planificación planteada para el mantenimiento preventivo en la subestación 115/13,2kV de Gerdau Diaco consiste en:

- Definir los elementos objeto de mantenimiento (transformadores, interruptores, seccionadores, CT's, PT's, Relés, DPS's, SPT, barrajes, condensadores, reactores, bancos de baterías y cables desnudos).
- Establecer su vida útil y verificar su hoja de vida.
- Determinar las actividades de mantenimiento preventivo en cada caso.
- Agrupar temporalmente los trabajos teniendo en cuenta fechas pactadas y paradas programadas.

Para la correcta ejecución del mantenimiento preventivo de la subestación 115kV/13,2-13,8kV en Gerdau Diaco, es importante tener en cuenta dificultades iniciales de operación, stock de activos y repuestos críticos necesarios de cada equipo, mano de obra.

A continuación, se describe el mantenimiento preventivo a cada componente de la subestación 115kV/13,2-13,8kV, sus actividades y consideraciones adicionales.

### **8.2.1 Mantenimiento preventivo a transformadores de potencia**

El transformador, como componente vital en el sistema eléctrico, requiere de seguimiento y control de su funcionamiento. El grado de mantenimiento e inspección necesarios para su operación depende de su capacidad, de la importancia dentro del sistema eléctrico, del lugar de instalación dentro del sistema, de las condiciones climatológicas, del ambiente y en general, de las condiciones de operación<sup>23</sup>. Para el caso particular de la subestación 115kV/13,2-13,8kV se tienen tres transformadores principales, de 61MVA marca ABB, de 51MVA marca Westinghouse, de 12,5MVA marca General Electric.

#### **8.2.1.1 Actividades de mantenimiento preventivo a transformadores de potencia**

Teniendo en cuenta las características propias de los transformadores, a continuación, se presentan las actividades de mantenimiento preventivo para

---

<sup>23</sup> ABB. [Manual]. *Operación y mantenimiento de transformadores de potencia. Manual de usuario.* (2007). ABB.

garantizar el correcto funcionamiento de los transformadores para la subestación 115kV/13,2-13,8kV en Gerdau Diaco.

**Tabla 32** Actividades de mantenimiento preventivo a transformadores de potencia - Gerdau Diaco.

<b>ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A TRANSFORMADORES DE POTENCIA 61MVA, 50MVA, 12,5MVA – GERDAU DIACO</b>	
Inspección visual	Inspección visual al estado de la pintura en general.
	Inspección indicadores de temperatura
	Inspección válvula de seguridad sobrepresión – operación
	Inspección cámara térmica de niveles de temperatura de aceite y devanados
	Inspección visual de porcelanas
Test de Verificación	Verificación de presión del tanque principal
	Verificación de anclaje
	Verificación de conexiones a tierra
	Verificación de niveles de aceite del transformador y cambiador
	Verificación de conexionado de alimentación, rotación protección, operación y mando de los ventiladores.
	Verificación de cambiador de las derivaciones, funcionamiento operativo de mecanismos de accionamiento señalización, protecciones y mando.
	Verificación de cambio de aceite del regulador
	Verificación relé de Buchholz
Verificación de hermeticidad	
Pruebas	Pruebas de aislamiento
	Pruebas de campo eléctrico
	Prueba de funcionamiento de los dispositivos de control local y remoto.
	Prueba operativa relé de Buchholz
	Calefacción del tablero local
Otras actividades	Cambio de tornillería y revisión de conectores de alta tensión.
	Aplicación de grasa conductora en terminales de conector.
	Corrección de puntos calientes
	Limpieza manual
	Ajuste en terminales de puesta a tierra
	Corrección de fugas de aceite en válvulas, radiadores, bujes.
	Mantenimiento a cambiadores de tomas
	Cambio de sílica gel y revisión de vasos de deshumetador
Reposición nivel de aceite al transformador.	

Fuente: Elaboración propia con base en *Dispac*<sup>19</sup> y *EPM*<sup>17</sup>.

Como parte del mantenimiento preventivo para los transformadores de Gerdau Diaco, se establece la premisa del seguimiento que se debe llevar a la operación de los mismos. Dentro del seguimiento están las lecturas de los medidores instalados, dado que deben presentar una curva normalizada de operación. En los casos en donde las lecturas evidenciadas en un periodo de tiempo difieran de las condiciones

normales, será necesario identificar las razones y realizar las verificaciones respectivas. De igual forma, en el seguimiento es de carácter esencial identificar posibles ruidos, olores, cambios de color y de temperatura que puedan detectarse de manera práctica en campo.

### 8.2.1.2 Periodicidad de las actividades de mantenimiento preventivo a los transformadores de potencia

La Tabla 33 describe la periodicidad de las actividades de mantenimiento preventivo para los transformadores de potencia y sus componentes. Es importante tener en cuenta la agrupación temporal de las actividades, y resaltar que deben realizarse cumpliendo las cinco reglas de oro.

**Tabla 33** Periodicidad de las actividades de mantenimiento preventivo a transformadores de potencia – Gerdau Diaco.

PERIODICIDAD DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	
ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	PERIODICIDAD
Inspección visual al estado de la pintura en general.	Semanal
Inspección indicadores de temperatura	Semanal
Inspección válvula de seguridad sobrepresión – operación	Semanal
Inspección cámara térmica de niveles de temperatura de aceite y devanados	Semanal
Inspección visual de porcelanas	Semanal
Verificación de presión del tanque principal	Anuual
Verificación de anclaje	Anuual
Verificación de conexiones a tierra	Anuual
Verificación de niveles de aceite del transformador y cambiador	Anuual
Verificación de conexionado de alimentación, rotación protección, operación y mando de los ventiladores.	Anuual
Verificación de cambiador de las derivaciones, funcionamiento operativo de mecanismos de accionamiento señalización, protecciones y mando.	Anuual
Verificación de cambio de aceite del regulador	Anuual
Verificación relé de Buchholz	Anuual
Verificación de hermeticidad	Anuual
Pruebas de aislamiento	Anuual
Prueba de funcionamiento de los dispositivos de control local y remoto.	Anuual
Prueba operativa relé de Buchholz	Anuual
Calefacción del tablero local	Anuual
Cambio de tornillería y revisión de conectores de alta tensión.	Anuual
Aplicación de grasa conductora en terminales de conector	Anuual
Corrección de puntos calientes.	Inmediato*
Limpieza manual	Anuual
Ajuste en terminales de puesta a tierra	Anuual
Corrección de fugas de aceite en válvulas, radiadores, bujes.	Anuual
Mantenimiento a cambiadores de tomas	Anuual
Cambio de sílica gel y revisión de vasos de deshumetador	Anuual
Reposición nivel de aceite al transformador.	Anuual

Fuente: Elaboración propia con Base en *Dispac*<sup>19</sup>, *EPM*<sup>17</sup> y *ABB*<sup>22</sup>.

Nota: \*sujeto a priorización.

## 8.2.2 Mantenimiento preventivo a interruptores de potencia

Los interruptores de potencia requieren de mantenimiento preventivo con actividades de inspección visual, test de verificación y otras actividades, que garanticen el correcto funcionamiento y operación de los mismos.

### 8.2.2.1 Actividades de mantenimiento preventivo a interruptores de potencia

A continuación, se describen las actividades planteadas para el mantenimiento preventivo de los interruptores de potencia de la subestación.

**Tabla 34** Actividades de mantenimiento preventivo a interruptores de potencia - Gerdau Diaco.

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A INTERRUPTORES DE POTENCIA – GERDAU DIACO	
Inspección visual	Inspección visual de pintura
	Inspección y verificación de mecanismos de apertura y cierre
	Inspección de escapes de SF6
Test de verificación	Verificación de presión de gas
	Verificación de mando de apertura y cierre
	Verificación de hermeticidad
	Verificación de disparos por protecciones
	Verificación de puesta a tierra
	Verificación y prueba de operación al mecanismo de accionamiento
Otras actividades	Cambio de tornillería y revisión de conectores de alta tensión
	Aplicación de grasa conductora en terminales.
	Verificación de puntos calientes y ajustes.
	Limpieza manual, lubricación.

Fuente: Elaboración propia con base en *Dispac*<sup>19</sup> y *EPM*<sup>17</sup>.

### 8.2.2.2 Periodicidad de las actividades de mantenimiento de interruptores de potencia

En la Tabla 35 describe la periodicidad de las actividades de mantenimiento preventivo para los interruptores de potencia y sus componentes. Es importante tener en cuenta la agrupación temporal de las actividades, y resaltar que deben realizarse cumpliendo las cinco reglas de oro.

**Tabla 35** Periodicidad de las actividades de mantenimiento preventivo a interruptores de potencia en Gerdau Diaco.

PERIODICIDAD DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	
ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	PERIODICIDAD

Inspección visual de pintura	Semanal
Inspección y verificación de mecanismos de apertura y cierre	Semanal
Inspección de escapes de SF6	Semanal
Verificación de presión de gas	Anual
Verificación de mando de apertura y cierre	Anual
Verificación de hermeticidad	Anual
Verificación de disparos por protecciones	Anual
Verificación de puesta a tierra	Anual
Verificación y prueba de operación al mecanismo de accionamiento	Anual
Cambio de tornillería y revisión de conectores de alta tensión	Anual
Aplicación de grasa conductora en terminales.	Anual
Verificación de puntos calientes y ajustes.	Inmediato*
Limpieza manual, lubricación.	Trimestral

Fuente: Elaboración propia con base en *Dispac*<sup>19</sup> y *EPM*<sup>17</sup>.

Nota: \*sujeto a priorización.

### 8.2.3 Mantenimiento preventivo a seccionadores de potencia

Los seccionadores de potencia requieren de mantenimiento preventivo con actividades de inspección visual, test de verificación y otras actividades, que garanticen el correcto funcionamiento y operación de los mismos.

#### 8.2.3.1 Actividades de mantenimiento preventivo a seccionadores de potencia

A continuación, se describen las actividades planteadas para el mantenimiento preventivo de los seccionadores de potencia de la subestación.

**Tabla 36** Actividades de mantenimiento preventivo a seccionadores de potencia - Gerdau Diaco

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A SECCIONADORES DE POTENCIA – GERDAU DIACO	
Inspección visual	Inspección visual de pintura
	Inspección y verificación de mecanismos de apertura y cierre
Test de verificación	Verificación de alineación y anclaje de conexiones
	Verificación de mando de apertura y cierre
	Verificación de operación cuchilla de puesta a tierra
	Verificación de puesta a tierra
	Verificación de alineamiento del seccionador y posición de contactos.
	Verificación del movimiento en las diferentes direcciones e identificar estado de rodamientos
Otras actividades	Cambio de tornillería y revisión de conectores de alta tensión
	Aplicación de grasa conductora en terminales
	Corrección de puntos calientes.
	Limpieza manual e inspección de porcelanas
	Ajustar terminales de puesta a tierra
	Comprobar en armario el estado de la calefacción

	Ajustar cajas de mando
	Lubricación de articulaciones y partes móviles

Fuente: Elaboración propia con base en Dispac<sup>19</sup> y EPM<sup>17</sup>.

### 8.2.3.2 Periodicidad de actividades de mantenimiento preventivo de seccionadores de potencia

Para los seccionadores de potencia y sus componentes, la periodicidad de las actividades de mantenimiento se presenta en la Tabla 37. Es importante tener en cuenta la agrupación temporal de las actividades, y resaltar que deben realizarse cumpliendo las cinco reglas de oro.

**Tabla 37** Periodicidad de actividades de mantenimiento a seccionadores de potencia – Gerdau Diaco.

PERIODICIDAD DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	
ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	PERIODICIDAD
Inspección visual de pintura	Semanal
Inspección y verificación de mecanismos de apertura y cierre	Semanal
Verificación de alineación y anclaje de conexiones	Anual
Verificación de mando de apertura y cierre	Anual
Verificación de operación cuchilla de puesta a tierra	Anual
Verificación de puesta a tierra	Anual
Verificación de alineamiento del seccionador y posición de contactos.	Anual
Verificación del movimiento en las diferentes direcciones e identificar estado de rodamientos	Anual
Cambio de tornillería y mantenimiento a conectores de alta tensión	Anual
Aplicación de grasa conductora en terminales	Trimestral
Corrección de puntos calientes	Inmediato*
Limpieza manual e inspección de porcelanas	Trimestral
Ajustar terminales de puesta a tierra	Anual
Comprobar en armario el estado de la calefacción	Anual
Ajustar cajas de mando	Anual
Lubricación de articulaciones y partes móviles	Trimestral

Fuente: Elaboración propia con base en Dispac<sup>19</sup> y EPM<sup>17</sup>.

Nota: \*sujeto a priorización.

### 8.2.4 Mantenimiento preventivo a transformadores de corriente

Los transformadores de corriente CT's requieren de mantenimiento preventivo con actividades de inspección visual, test de verificación y otras actividades, que garanticen el correcto funcionamiento y operación de los mismos.



### 8.2.4.1 Actividades de mantenimiento preventivo a transformadores de corriente

A continuación, se describen las actividades planteadas para el mantenimiento preventivo de los transformadores de corriente CT's de la subestación.

**Tabla 38** Actividades de mantenimiento preventivo a transformadores de corriente - Gerdau Diaco.

<b>ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A TRANSFORMADORES DE CORRIENTE – GERDAU DIACO</b>	
Inspección visual	Inspección visual de pintura
	Inspección de porcelanas
Test de verificación	Verificación de anclajes
	Verificación de conexiones de alta y baja
	Verificación de puesta a tierra
Otras actividades	Cambio de tornillería y revisión de conectores
	Corrección de puntos calientes
	Limpieza manual
	Ajuste de terminales de puesta a tierra

Fuente: Elaboración propia con base en *Dispac*<sup>19</sup> y *EPM*<sup>17</sup>.

### 8.2.4.2 Periodicidad de actividades de mantenimiento preventivo de transformadores de corriente CT's

En la Tabla 39 describe la periodicidad de las actividades de mantenimiento preventivo para los transformadores de corriente y sus componentes. Es importante tener en cuenta la agrupación temporal de las actividades, y resaltar que deben realizarse cumpliendo las cinco reglas de oro.

**Tabla 39** Periodicidad de las actividades de mantenimiento a transformadores de corriente – Gerdau Diaco.

<b>PERIODICIDAD DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b>	
<b>ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO</b>	<b>PERIODICIDAD</b>
Inspección visual de pintura	Semanal
Inspección de porcelanas	Semanal
Verificación de anclajes	Anual
Verificación de conexiones de alta y baja	Anual
Verificación de puesta a tierra	Anual
Cambio de tornillería y revisión de conectores.	Anual
Corrección de puntos calientes	Inmediato*
Limpieza manual	Trimestral
Ajuste de terminales de puesta a tierra	Anual

Fuente: Elaboración propia con base en *Dispac*<sup>19</sup> y *EPM*<sup>17</sup>.

Nota: \*sujeto a priorización.

## 8.2.5 Mantenimiento preventivo a transformadores de potencial

Los transformadores de potencial PT's requieren de mantenimiento preventivo con actividades de inspección visual, test de verificación y otras actividades, que garanticen el correcto funcionamiento y operación de los mismos.

### 8.2.5.1 Actividades de mantenimiento preventivo a transformadores de potencial

A continuación, se describen las actividades planteadas para el mantenimiento preventivo de los transformadores de potencial PT's de la subestación.

**Tabla 40** Actividades de mantenimiento preventivo a transformadores de potencial - Gerdau Diaco.

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A TRANSFORMADORES DE POTENCIAL – GERDAU DIACO	
Inspección visual	Inspección visual de pintura
	Inspección de porcelanas
	Inspección visual placa de características
Test de verificación	Verificación de anclajes
	Verificación de conexiones de alta y baja
	Verificación de puesta a tierra
Otras actividades	Cambio de tornillería y revisión de conectores
	Corrección de puntos calientes
	Limpieza manual
	Ajuste de terminales de puesta a tierra

Fuente: Elaboración propia con base en Dispac<sup>19</sup> y EPM<sup>17</sup>.

### 8.2.5.2 Periodicidad de las actividades de mantenimiento preventivo a transformadores de potencial

La Tabla 41 presenta la periodicidad de las actividades de mantenimiento preventivo para los transformadores de potencial y sus componentes. Es importante tener en cuenta la agrupación temporal de las actividades, y resaltar que deben realizarse cumpliendo las cinco reglas de oro.

**Tabla 41** Periodicidad de actividades de mantenimiento preventivo a transformadores de potencial - Gerdau Diaco.

PERIODICIDAD DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	
ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	PERIODICIDAD
Inspección visual de pintura	Semanal
Inspección de porcelanas	Semanal
Inspección visual placa de características	Semanal
Verificación de anclajes	Anual
Verificación de conexiones de alta y baja	Anual
Verificación de puesta a tierra	Anual

Cambio de tornillería y mantenimiento a conectores	Anual
Corrección de puntos calientes	Inmediato*
Limpieza manual	Trimestral
Ajuste de terminales de puesta a tierra	Anual

Fuente: Elaboración propia con base en *Dispac*<sup>19</sup> y *EPM*<sup>17</sup>.

Nota: \*sujeto a priorización.

## 8.2.6 Mantenimiento preventivo a descargadores de sobretensión DPS

Los descargadores de sobretensión DPS requieren de mantenimiento preventivo con actividades de inspección visual, test de verificación y otras actividades, que garanticen el correcto funcionamiento y operación de los mismos.

### 8.2.6.1 Actividades de mantenimiento preventivo a descargadores de sobretensión

A continuación, se describen las actividades planteadas para el mantenimiento preventivo de los descargadores de sobretensión DPS de la subestación.

**Tabla 42** Actividades de mantenimiento preventivo a descargadores de sobretensión DPS - Gerdau Diaco.

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A DESCARGADORES DE SOBRETENSIÓN DPS – GERDAU DIACO	
Inspección visual	Inspección visual de pintura
	Inspección de porcelanas
	Inspección visual placa de características
Test de verificación	Verificación de anclajes
	Verificación de conexiones
	Verificación de operación del contactor de descarga
	Verificación de puesta a tierra
	Verificación de corriente de fuga
Otras actividades	Cambio de tornillería y verificación de conectores
	Aplicación de grasa conductora en terminales
	Corrección de puntos calientes
	Limpieza manual
	Ajuste de terminales de puesta a tierra

Fuente: Elaboración propia con base en *Dispac*<sup>19</sup> y *EPM*<sup>17</sup>.

### 8.2.6.2 Periodicidad de las actividades de mantenimiento preventivo a descargadores de sobretensión DPS

La periodicidad de las actividades de mantenimiento preventivo para los descargadores de sobretensión se presenta en la Tabla 43. Es importante tener en cuenta la agrupación temporal de las actividades, y resaltar que deben realizarse cumpliendo las cinco reglas de oro.

**Tabla 43** Periodicidad de actividades de mantenimiento preventivo a descargadores de sobretensión - Gerdau Diaco.

PERIODICIDAD DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	
ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	PERIODICIDAD
Inspección visual de pintura	Semanal
Inspección de porcelanas	Semanal
Inspección visual placa de características	Semanal
Verificación de anclajes	Anual
Verificación de conexiones	Anual
Verificación de operación del contactor de descarga	Anual
Verificación de puesta a tierra	Anual
Verificación de corriente de fuga	Anual
Cambio de tornillería y revisión de conectores	Anual
Aplicación de grasa conductora en terminales	Anual
Corrección de puntos calientes	Inmediato*
Limpieza manual	Trimestral
Ajuste de terminales de puesta a tierra	Anual

Fuente: Elaboración propia con base en Dispac<sup>19</sup> y EPM<sup>17</sup>.

Nota: \*sujeto a priorización.

### 8.2.7 Mantenimiento preventivo a malla de puesta a tierra de subestación

La malla de puesta a tierra requiere de mantenimiento preventivo con actividades de inspección visual, test de verificación y otras actividades, que garanticen el correcto funcionamiento y operación de la misma ante alguna contingencia.

#### 8.2.7.1 Actividades de mantenimiento preventivo a malla de puesta a tierra

A continuación, se describen las actividades planteadas para el mantenimiento preventivo de la malla de puesta a tierra de la subestación.

**Tabla 44** Actividades de mantenimiento preventivo a malla de puesta a tierra - Gerdau Diaco.

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A MALLA DE PUESTA A TIERRA – GERDAU DIACO	
Inspecciones visuales	Inspección del calibre del cable de puesta a tierra
	Inspección de electrodos de puesta a tierra
Test de verificación	Verificación de cajas de prueba
	Medición de resistencia de puesta a tierra
	Verificación de conexiones de equipos y estructuras
	Medición de tensiones de paso y de contacto
Otras actividades	Limpieza de gravilla

Fuente: Elaboración propia con base en Dispac<sup>19</sup>.

### 8.2.7.2 Periodicidad de las actividades de mantenimiento preventivo a la malla de puesta a tierra

En la Tabla 45 describe la periodicidad de las actividades de mantenimiento preventivo para la malla de puesta a tierra. Es importante tener en cuenta la agrupación temporal de las actividades, y resaltar que deben realizarse cumpliendo las cinco reglas de oro.

**Tabla 45** Periodicidad de las actividades de mantenimiento preventivo a la malla de puesta a tierra - Gerdau Diaco.

PERIODICIDAD DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	
ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	PERIODICIDAD
Inspección del calibre del cable de puesta a tierra	Trimestral
Inspección de electrodos de puesta a tierra	Trimestral
Verificación de cajas de prueba	Anual
Medición de resistencia de puesta a tierra	Anual
Verificación de conexiones de equipos y estructuras	Anual
Medición de tensiones de paso y contacto	Anual
Limpieza de gravilla	Anual

Fuente: Elaboración propia con base en Dispac<sup>19</sup>.

Nota: \*sujeto a priorización.

### 8.2.8 Mantenimiento preventivo a barrajes y cables desnudos

Los barrajes y cables desnudos requieren de mantenimiento preventivo con actividades de inspección visual y test de verificación, que garanticen su correcto funcionamiento y operación.

#### 8.2.8.1 Actividades de mantenimiento preventivo a barrajes y cables desnudos

A continuación, se describen las actividades planteadas para el mantenimiento preventivo de los barrajes y cables desnudos de la subestación.

**Tabla 46** Actividades de mantenimiento preventivo a barrajes y cables desnudos - Gerdau Diaco

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A BARRAJES Y CABLES DESNUDOS – GERDAU DIACO	
Inspecciones visuales	Inspección de soportes, cadenas, aisladores, grapas, conectores.
	Inspección de terminales
Test de verificación	Verificación del estado del material
	Verificación de bajantes y conexiones
	Verificación de distancia mínima crítica
Otras actividades	Corrección de puntos calientes

Fuente: Elaboración propia con base en Dispac<sup>19</sup>.

### 8.2.8.2 Periodicidad de las actividades de mantenimiento preventivo a barrajes y cables desnudos

La Tabla 47 describe la periodicidad de las actividades de mantenimiento preventivo para los barrajes y cables desnudos. Es importante tener en cuenta la agrupación temporal de las actividades, y resaltar que deben realizarse cumpliendo las cinco reglas de oro.

**Tabla 47** Periodicidad de actividades de mantenimiento preventivo a barrajes y cables desnudos - Gerdau Diaco.

ACTIVIDAD	PERIODICIDAD
Inspección de soportes, cadenas, aisladores, grapas, conectores.	Semanal
Inspección de terminales	Semanal
Verificación del estado del material	Anual
Verificación de bajantes y conexiones	Anual
Verificación de distancia mínima crítica	Anual
Corrección de puntos calientes	Inmediato*

Fuente: Elaboración propia con base en *Dispac*<sup>19</sup>.

Nota: \*sujeto a priorización.

### 8.2.9 Mantenimiento preventivo a bancos de condensadores

Los bancos de condensadores requieren de mantenimiento preventivo con actividades de inspección visual y test de verificación, que garanticen su correcto funcionamiento y operación.

#### 8.2.9.1 Actividades de mantenimiento preventivo a bancos de condensadores

A continuación, se describen las actividades planteadas para el mantenimiento preventivo de los bancos de condensadores de la subestación.

**Tabla 48** Actividades de mantenimiento preventivo a bancos de condensadores - Gerdau Diaco.

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A BANCOS DE CONDENSADORES – GERDAU DIACO	
Inspecciones visuales	Inspección visual de pintura
	Inspección de deformación
	Inspección de fugas
	Inspección de aisladores
	Inspección de grietas en pasa tapas
Test de verificación	Verificación de tensión y corriente
	Verificación de conexiones
	Verificación del relé corrector de factor de potencia
	Verificación de ruidos anormales
	Verificación de respiraderos
	Verificación de temperatura de operación

Otras actividades	Cambio de tornillería y revisión de conectores
	Aplicación de grasa conductora en terminales
	Corrección de puntos calientes
	Limpieza manual
	Ajuste de terminales de puesta a tierra

*Fuente: Elaboración propia.*

### 8.2.9.2 Periodicidad de las actividades de mantenimiento preventivo a bancos de condensadores

La Tabla 49 describe la periodicidad de las actividades de mantenimiento preventivo para los bancos de condensadores. Es importante tener en cuenta la agrupación temporal de las actividades, y resaltar que deben realizarse cumpliendo las cinco reglas de oro.

**Tabla 49** Periodicidad de actividades de mantenimiento preventivo a bancos de condensadores - Gerdau Diaco.

PERIODICIDAD DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	
ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	PERIODICIDAD
Inspección visual de pintura	Semanal
Inspección de deformación	Semanal
Inspección de fugas	Semanal
Inspección de aisladores	Semanal
Inspección de grietas en pasamuros	Semanal
Verificación de tensión y corriente	Anual
Verificación de conexiones	Anual
Verificación del relé corrector de factor de potencia	Anual
Verificación de ruidos anormales	Anual
Verificación de respiraderos	Anual
Verificación de temperatura de operación	Anual
Cambio de tornillería y revisión de conectores	Anual
Aplicación de grasa conductora en terminales	Anual
Corrección de puntos calientes	Inmediato*
Limpieza manual, lubricación	Anual
Ajuste de terminales de puesta a tierra	Anual

*Fuente: Elaboración propia.*

Nota: \*sujeto a priorización.

### 8.2.10 Mantenimiento preventivo a reactores de potencia

Los reactores de potencia requieren de mantenimiento preventivo con actividades de inspección visual y test de verificación, que garanticen su correcto funcionamiento y operación.

### 8.2.10.1 Actividades de mantenimiento preventivo a reactores de potencia

A continuación, se describen las actividades planteadas para el mantenimiento preventivo de los reactores de potencia de la subestación.

**Tabla 50** Actividades de mantenimiento preventivo a reactores de potencia - Gerdau Diaco.

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A REACTORES DE POTENCIA – GERDAU DIACO	
Inspecciones visuales	Inspección visual de pintura
	Inspección de deformación
	Inspección visual de ductos de ventilación
	Inspección visual de fibras de vidrio del reactor
	Inspección de aisladores
	Inspección de grietas en pasamuros
Test de verificación	Verificación de tensión y corriente
	Verificación de conexiones
	Medición de resistencia en DC del bobinado
	Verificación de ruidos anormales
	Verificación de temperatura de operación
Otras actividades	Cambio de tornillería y revisión de conectores
	Aplicación de grasa conductora en terminales
	Corrección de puntos calientes
	Limpieza manual
	Ajuste de terminales de puesta a tierra

*Fuente: Elaboración propia.*

### 8.2.10.2 Periodicidad de las actividades de mantenimiento preventivo a bancos de reactores

La Tabla 51 describe la periodicidad de las actividades de mantenimiento preventivo para los reactores de potencia. Es importante tener en cuenta la agrupación temporal de las actividades, y resaltar que deben realizarse cumpliendo las cinco reglas de oro.

**Tabla 51** Periodicidad de actividades de mantenimiento preventivo a reactores de potencia - Gerdau Diaco.

PERIODICIDAD DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	
ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	PERIODICIDAD
Inspección visual de pintura	Semanal
Inspección de deformación	Semanal
Inspección de aisladores	Semanal
Inspección visual de ductos de ventilación	Semanal
Inspección visual de fibras de vidrio del reactor	Semanal
Inspección de fuga de aceite	Semanal
Inspección de grietas en pasamuros	Semanal



Verificación de tensión y corriente	Anual
Verificación de conexiones	Anual
Medición de resistencia en DC del bobinado	Anual
Verificación de ruidos anormales	Anual
Verificación de temperatura de operación	Anual
Cambio de tornillería y revisión de conectores	Anual
Aplicación de grasa conductora en terminales	Anual
Corrección de puntos calientes	Inmediato*
Limpieza manual	Anual
Ajuste de terminales de puesta a tierra	Anual

*Fuente: Elaboración propia.*

Nota: \*sujeto a priorización.

### **8.2.11 Mantenimiento preventivo a bancos de baterías**

Los bancos de baterías requieren de mantenimiento preventivo con actividades de inspección visual y test de verificación, que garanticen su correcto funcionamiento y operación.

#### **8.2.11.1 Actividades de mantenimiento preventivo a bancos de baterías**

A continuación, se describen las actividades planteadas para el mantenimiento preventivo de los reactores de potencia de la subestación.

**Tabla 52** *Actividades de mantenimiento preventivo a bancos de baterías - Gerdau Diaco.*

<b>ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A BANCOS DE BATERÍAS – GERDAU DIACO</b>	
Inspecciones visuales	Inspección visual de pintura
	Inspección de deformación
Test de verificación	Verificación de tensión
	Verificación de conexiones
	Verificación de conexiones entre celdas
	Verificación de la capacidad de la batería
	Verificación de ruidos anormales
	Verificación de temperatura de operación de la celda
Otras actividades	Cambio de tornillería y revisión de conectores
	Revisión de ventilación
	Corrección de puntos calientes
	Limpieza manual de celdas y tapones anti explosión
	Ajuste de terminales de puesta a tierra

*Fuente: Elaboración propia con base en Andina<sup>20</sup>.*

### 8.2.11.2 Periodicidad de actividades de mantenimiento preventivo a bancos de baterías

La Tabla 53 describe la periodicidad de las actividades de mantenimiento preventivo para los bancos de baterías. Es importante tener en cuenta la agrupación temporal de las actividades, y resaltar que deben realizarse cumpliendo las reglas de oro.

**Tabla 53** Periodicidad de actividades de mantenimiento preventivo a bancos de baterías - Gerdau Diaco.

PERIODICIDAD DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	
ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	PERIODICIDAD
Inspección visual de pintura	Semanal
Inspección de deformación	Semanal
Verificación de tensión	Anual
Verificación de conexiones	Anual
Verificación de conexiones entre celdas	Semestral
Verificación de la capacidad de la batería	Semestral
Verificación de ruidos anormales	Anual
Verificación de temperatura de operación de la celda	Semestral
Cambio de tornillería y revisión de conectores	Anual
Revisión de ventilación	Anual
Corrección de puntos calientes	Inmediato*
Limpieza manual de celdas y tapones anti explosión	Anual
Ajuste de terminales de puesta a tierra	Anual

*Fuente: Elaboración propia con base en Andina<sup>20</sup>.*

Nota: \*sujeto a priorización.

### 8.2.12 Formatos de Mantenimiento Preventivo Subestación 115kV/13,2-13,8kV Gerdau Diaco



Estos formatos se generaron con el fin de realizar un seguimiento a todas las actividades de tipo preventivas, necesarias en la subestación para maximizar la vida útil de los elementos que conforman la misma, mediante estos se recopilan datos antes, durante y después de un proceso, cumpliendo como función principal ayudar a tomar decisiones para revisar o ajustar periodicidad de intervenciones, paradas programadas, implementación de 5's, entre otros.

Serán útiles en el control de tareas que se realizarán sin importar la condición del equipo, se podrán realizar algunos tipos de medición y prueba, las que nos permitirán decidir si se realizaran tareas mayores

En cuanto a la gestión del mantenimiento hace parte importante del control y manejo de información, llevando a normalizar un conjunto de procesos que controlan el ciclo

de vida de la información, necesaria para el funcionamiento de la subestación, los procesos comprenden funciones como: extracción, combinación y distribución de la información de manera organizada.

**Ilustración 5** Ejemplo de formato de Actividades de Mantenimiento Preventivo

		PLAN DE MANTENIMIENTO DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA 115kV/13,2KV GERDAU DIACO						VERSIÓN 1.0	2022
TIPO DE ACTIVIDAD	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	PERIODICIDAD	TALENTO HUMANO		T. ESTIPULADO (Horas)	EPP	EQUIPOS ESENCIALES	INSUMOS	
			INGENIERO	TECNICOS					
Inspección visual	Inspección visual de pintura	Semanal		1	1	Casco dielectrico, Guantes , Botas dielectricas, gafas de seguridad, overol 12 calorías, arnes dielectrico.	Camaras Fotográficas	Escaleras dielectricas certificadas, herramienta menor (llaves, destornilladores)	
	Inspección de porcelanas	Semanal		1	1	Casco dielectrico, Guantes , Botas dielectricas, gafas de seguridad, overol 12 calorías, arnes dielectrico.	Camaras Fotográficas	Escaleras dielectricas certificadas, herramienta menor (llaves, destornilladores)	
	Inspección visual placa de características	Semanal		1	1	Casco dielectrico, Guantes , Botas dielectricas, gafas de seguridad, overol 12 calorías, arnes dielectrico.	Camaras Fotográficas	Escaleras dielectricas certificadas, herramienta menor (llaves, destornilladores)	
Test de verificación	Verificación de anclajes	Anual	1	2	2	Casco dielectrico, Guantes , Botas dielectricas, gafas de seguridad, overol 12 calorías, arnes dielectrico.	Juego de Copas,Nivel,Galgas,Pie de Rey	Escaleras dielectricas certificadas, herramienta menor (llaves, destornilladores)	
	Verificación de conexiones	Anual	1	2	2	Casco dielectrico, Guantes , Botas dielectricas, gafas de seguridad, overol 12 calorías, arnes dielectrico.	Multímetro	Escaleras dielectricas certificadas, herramienta menor (llaves, destornilladores)	
	Verificación de operación del contactor de descarga	Anual	1	2	2	Casco dielectrico, Guantes , Botas dielectricas, gafas de seguridad, overol 12 calorías, arnes dielectrico.	Chipómetro-Banco de Condensadores	Escaleras dielectricas certificadas, herramienta menor (llaves, destornilladores)	
	Verificación de puesta a tierra	Anual	1	2	3	Casco dielectrico, Guantes , Botas dielectricas, gafas de seguridad, overol 12 calorías, arnes dielectrico.	SPT portatil-Megometro	Escaleras dielectricas certificadas, herramienta menor (llaves, destornilladores)	

*Fuente: Realización en conjunto, equipo de trabajo empresa MR Proyectos y Gestión, y empresa Gerdau Diaco*

**NOTA:** Para ver los formatos de Actividades de mantenimiento Preventivo de los elementos principales que involucran la subestación de 115kV/13,2-13,8kV de Gerdau Diaco, dirigirse al **Anexo n° 5**.

### 8.3 Mantenimiento Correctivo Subestación 115kv/13,2-13,8kv Gerdau Diaco

El mantenimiento correctivo se define como aquellas acciones necesarias para reestablecer el servicio de un equipo luego de presentarse una falla o avería (EPM<sup>7</sup>). Tiene finalidad de reemplazar elementos o equipos averiados y que no pueden funcionar operativamente en la subestación. Este reemplazo también se da cuando los equipos han cumplido las horas de trabajo para las que fueron fabricados, y no siguen en operación (Dispac<sup>19</sup>).

Las maniobras derivadas de la corrección de la avería pueden ser llevadas a cabo inmediatamente (mantenimiento correctivo urgente) o de forma planificada (mantenimiento correctivo diferido). Este tipo de mantenimiento tiene un costo variable, cuyo valor lo determina directamente la afectación y las actividades requeridas para subsanar (Aguirre<sup>21</sup>)

Las etapas iniciales para aplicar un mantenimiento correctivo, según el SENA<sup>24</sup> son:

- Identificar problema y sus causas.
- Estudiar diferentes alternativas para su reparación.
- Evaluar las ventajas de cada alternativa y escoger la óptima.
- Planear la reparación de acuerdo con personal y equipos disponibles.
- Supervisar las actividades a realizar.
- Clasificar la información sobre tiempos, personal y respuesta de la labor realizada.

### 8.3.1 Mantenimiento correctivo a transformadores de potencia

Los transformadores de potencia requieren de mantenimiento correctivo según la situación o falla que se haya presentado. A continuación, se describen las actividades planteadas para el mantenimiento correctivo a los transformadores de potencia de la subestación.

**Tabla 54** Actividades de mantenimiento correctivo a transformadores de potencia - Gerdau Diaco.

<b>ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO A TRANSFORMADORES DE POTENCIA – GERDAU DIACO</b>	
Actividades de mantenimiento correctivo	Cambio de radiadores averiados
	Cambio de bujes averiados
	Cambio de ventiladores
	Cambio de regulador
	Cambio de aceite
	Cambio de transformador

*Fuente: Elaboración propia con base en Dispac<sup>19</sup>.*

La periodicidad de las actividades de mantenimiento correctivo a los transformadores de potencia estará ligada al encuentro de alguna anomalía en las actividades preventivas y/o predictivas, o en su defecto en la ocurrencia de alguna falla.

### 8.3.2 Mantenimiento correctivo a interruptores de potencia

Los interruptores de potencia requieren de mantenimiento correctivo según la situación o falla que se haya presentado. A continuación, se describen las actividades planteadas para el mantenimiento a los interruptores de potencia de la subestación.

<sup>24</sup> SENA. Manual de Mantenimiento. [libro] Bogotá: Servicio Nacional de Aprendizaje (1991).90 pág. Divulgación Tecnológica.

**Tabla 55** Actividades de mantenimiento correctivo a interruptores de potencia - Gerdau Diaco.

<b>ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO A INTERRUPTORES DE POTENCIA – GERDAU DIACO</b>	
Actividades de mantenimiento correctivo	Cambio de contactos de potencia (fijo, móvil)
	Cambio de SF6
	Cambio de mecanismo de operación
	Cambio de interruptor de potencia

*Fuente: Elaboración propia con base en Dispac<sup>19</sup>.*

La periodicidad de las actividades de mantenimiento correctivo a los interruptores de potencia estará ligada al encuentro de alguna anomalía en las actividades preventivas y/o predictivas, o en su defecto en la ocurrencia de alguna falla.

### **8.3.3 Mantenimiento correctivo a seccionadores de potencia**

Los seccionadores de potencia requieren de mantenimiento correctivo según la situación o falla que se haya presentado. A continuación, se describen las actividades planteadas para el mantenimiento a los seccionadores de potencia de la subestación.

**Tabla 56** Actividades de mantenimiento correctivo a seccionadores de potencia - Gerdau Diaco.

<b>ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO A SECCIONADORES DE POTENCIA - GERDAU DIACO</b>	
Actividades de mantenimiento correctivo	Cambio de contactos
	Cambio de mecanismo de operación
	Cambio de brazos de corriente
	Cambio de aisladores de soporte
	Cambio de sistema de engranaje
	Cambio del seccionador de potencia

*Fuente: Elaboración propia con base en Dispac<sup>19</sup>.*

La periodicidad de las actividades de mantenimiento correctivo a los seccionadores de potencia estará ligada al encuentro de alguna anomalía en las actividades preventivas y/o predictivas, o en su defecto en la ocurrencia de alguna falla.

### **8.3.4 Mantenimiento correctivo a transformadores de corriente**

Los transformadores de corriente requieren de mantenimiento correctivo según la situación o falla que se haya presentado. A continuación, se describe la actividad planteada para el mantenimiento a los transformadores de corriente de la subestación.

**Tabla 57** Actividades de mantenimiento correctivo a transformadores de corriente -  
Gerdau Diaco.

<b>ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO A TRANSFORMADORES DE CORRIENTE – GERDAU DIACO</b>	
Actividad de mantenimiento correctivo	Cambio del transformador de corriente

*Fuente: Elaboración propia con base en Dispac<sup>19</sup>.*

La periodicidad de las actividades de mantenimiento correctivo a los transformadores de corriente estará ligada al encuentro de alguna anomalía en las actividades preventivas y/o predictivas, o en su defecto en la ocurrencia de alguna falla.

### 8.3.5 Mantenimiento correctivo a transformadores de potencial

Los transformadores de potencial requieren de mantenimiento correctivo según la situación o falla que se haya presentado. A continuación, se describen las actividades planteadas para el mantenimiento a los transformadores de tensión de la subestación.

**Tabla 58** Actividades de mantenimiento correctivo a transformadores de potencial -  
Gerdau Diaco.

<b>ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO A TRANSFORMADORES POTENCIAL – GERDAU DIACO</b>	
Actividad de mantenimiento correctivo	Cambio del transformador de potencial

*Fuente: Elaboración propia con base en Dispac<sup>19</sup>.*

La periodicidad de las actividades de mantenimiento correctivo a los transformadores de potencial estará ligada al encuentro de alguna anomalía en las actividades preventivas y/o predictivas, o en su defecto en la ocurrencia de alguna falla.

### 8.3.6 Mantenimiento correctivo a descargadores de sobretensión DPS

Los descargadores de sobretensión requieren de mantenimiento correctivo según la situación o falla que se haya presentado. A continuación, se describen las actividades planteadas para el mantenimiento a los descargadores de sobretensión de la subestación.

**Tabla 59** Actividades de mantenimiento correctivo a descargadores de sobretensión -  
Gerdau Diaco.

<b>ACTIVIDAD DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO A DESCARGADOR DE SOBRETENSIONES DPS – GERDAU DIACO</b>	
Actividad de mantenimiento correctivo	Cambio del descargador de sobretensiones

*Fuente: Elaboración propia con base en Dispac<sup>19</sup>.*

La periodicidad de la actividad de mantenimiento correctivo a los descargadores de sobretensión estará ligada al encuentro de alguna anomalía en las actividades preventivas y/o predictivas, o en su defecto en la ocurrencia de alguna falla.

### 8.3.7 Mantenimiento correctivo a malla de puesta a tierra

La malla de puesta a tierra requiere de mantenimiento correctivo según la situación o falla que se haya presentado. A continuación, se describen las actividades planteadas para el mantenimiento de la malla de puesta a tierra de la subestación.

**Tabla 60** Actividades de mantenimiento correctivo a malla de puesta a tierra - Gerdau Diaco.

<b>ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO A MALLA DE PUESTA A TIERRA – GERDAU DIACO</b>	
Actividades de mantenimiento correctivo	Cambio o refuerzo del conductor de malla
	Cambio de las conexiones
	Reposición de gravilla

*Fuente: Elaboración propia con base en Dispac<sup>19</sup>.*

La periodicidad de las actividades de mantenimiento correctivo a la malla de puesta a tierra estará ligada al encuentro de alguna anomalía en las actividades preventivas y/o predictivas, o en su defecto en la ocurrencia de alguna falla.

### 8.3.8 Mantenimiento correctivo a barrajes y conectores

Los barrajes y conectores requieren de mantenimiento correctivo según la situación o falla que se haya presentado. A continuación, se describen las actividades planteadas para el mantenimiento a los barrajes y conectores de la subestación.

**Tabla 61** Actividades de mantenimiento correctivo a barrajes y conectores - Gerdau Diaco.

<b>ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO A BARRAJES Y CONECTORES – GERDAU DIACO</b>	
Actividad de mantenimiento correctivo	Cambio del conductor o del barraje tubular

*Fuente: Elaboración propia con base en Dispac<sup>19</sup>.*

La periodicidad de las actividades de mantenimiento correctivo a los barrajes y cables desnudos estará ligada al encuentro de alguna anomalía en las actividades preventivas y/o predictivas, o en su defecto en la ocurrencia de alguna falla.

### 8.3.9 Mantenimiento correctivo a bancos de condensadores

Los bancos de condensadores requieren de mantenimiento correctivo según la situación o falla que se haya presentado. A continuación, se describen las actividades planteadas para el mantenimiento a los bancos de condensadores de la subestación.

**Tabla 62** Actividades de mantenimiento correctivo a bancos de condensadores - Gerdau Diaco

<b>ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO A BANCOS DE CONDENSADORES – GERDAU DIACO</b>	
Actividad de mantenimiento correctivo	Reprogramación del relé corrector de factor de potencia
	Cambio del condensador

*Fuente: Elaboración propia con base en Dispac<sup>19</sup>.*

La periodicidad de las actividades de mantenimiento correctivo a los bancos de condensadores estará ligada al encuentro de alguna anomalía en las actividades preventivas y/o predictivas, o en su defecto en la ocurrencia de alguna falla.

### 8.3.10 Mantenimiento correctivo a reactores de potencia

Los reactores de potencia requieren de mantenimiento correctivo según la situación o falla que se haya presentado. A continuación, se describen las actividades planteadas para el mantenimiento a los reactores de potencia de la subestación.

**Tabla 63** Actividades de mantenimiento correctivo a reactores de potencia - Gerdau Diaco.

<b>ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO A REACTORES DE POTENCIA – GERDAU DIACO</b>	
Actividad de mantenimiento correctivo	Cambio del reactor

*Fuente: Elaboración propia con base en Dispac<sup>19</sup>.*

La periodicidad de las actividades de mantenimiento correctivo a los reactores de potencia estará ligada al encuentro de alguna anomalía en las actividades preventivas y/o predictivas, o en su defecto en la ocurrencia de alguna falla.

### 8.3.11 Mantenimiento correctivo a bancos de baterías

Los bancos de baterías requieren de mantenimiento correctivo según la situación o falla que se haya presentado. A continuación, se describen las actividades planteadas para el mantenimiento a los bancos de baterías de la subestación.



**Tabla 64** Actividades de mantenimiento correctivo a bancos de baterías - Gerdau Diaco.

<b>ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO A BANCOS DE BATERÍAS – GERDAU DIACO</b>	
Actividades de mantenimiento correctivo	Reemplazo de una celda
	Corrección del nivel de electrolito
	Carga de refresco de la batería
	Adición de agua destilada a las celdas

*Fuente: Elaboración propia con base en Andina<sup>20</sup>*

La periodicidad de las actividades de mantenimiento correctivo a los bancos de baterías estará ligada al encuentro de alguna anomalía en las actividades preventivas y/o predictivas, o en su defecto en la ocurrencia de alguna falla.

### **8.3.12 Formatos de Mantenimiento Correctivo Subestación 115kV/13,2-13,8kV Gerdau Diaco**

Estos formatos se generaron con el fin de realizar un seguimiento a todas las actividades de tipo correctivas, necesarias en la subestación para conservar y garantizar el funcionamiento de los elementos que conforman la misma, mediante estos se recopilan datos antes, durante y después de cada proceso, cumpliendo como función principal la no generación de paradas repentinas, analizando así las decisiones para revisar o ajustar periodicidad de intervenciones planeando paradas programadas, evitando en lo posible el uso de este tipo de mantenimiento

Serán útiles en el control de tareas que se realizarán sin importar la condición del equipo, se podrán realizar algunos tipos de medición y prueba, las que nos permitirán decidir si se realizaran tareas mayores. Se deberán resolver las averías que vayan surgiendo durante la operación y la periodicidad de las tareas no tiene por qué ser fija.

En cuanto a la gestión del mantenimiento hace parte importante del control y manejo de información, llevando a normalizar un conjunto de procesos que controlan el ciclo de vida de la información, necesaria para el funcionamiento de la subestación, los procesos comprenden funciones como: extracción, combinación y distribución de la información de manera organizada.

### Ilustración 6 Ejemplo de formato de Actividades de Mantenimiento Correctivo

GERDAU DIACO		PLAN DE MANTENIMIENTO DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA 115kV/13,2kV GERDAU DIACO				MR PROYECTOS Y GESTIÓN		VERSIÓN 1.0	2022
TIPO DE ACTIVIDAD	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO	PERIODICIDAD	TALENTO HUMANO		T. ESTIPULADO (Horas)	EPP	EQUIPOS ESENCIALES	INSUMOS	
			INGENIERO	TECNICOS					
Actividad de mantenimiento correctivo	Cambio del descargador de sobretensiones	Estará ligada al encuentro de alguna anomalía en las actividades preventivas y/o predictivas, o a la ocurrencia de alguna falla.	2	3	5	Casco dieléctrico, Guantes, Botas dieléctricas, gafas de seguridad, overol 12 calorías, arnes dieléctrico.	Eslingas, grilletes, Torquímetro, Juego de Copas.	Herramienta menor (llaves, destornilladores), tornillería, eliminador de óxido, escaleras dieléctricas, bomba aceite, canecas para almacenar aceite.	
NOTAS	La periodicidad de las actividades de mantenimiento correctivo a los DPS estará ligada al encuentro de alguna anomalía en las actividades preventivas y/o predictivas, o en su defecto en la ocurrencia de alguna falla.								

Fuente: Realización en conjunto, equipo de trabajo empresa MR Proyectos y Gestión, y empresa Gerdau Diaco

**NOTA:** Para ver los formatos de Actividades de Mantenimiento Correctivo de los elementos principales que involucran la subestación de 115kV/13,2-13,8kV de Gerdau Diaco, dirigirse al **Anexo n° 5**.

#### 8.4 Mantenimiento Productivo Total Subestación 115kV/13,2-13,8kV

El mantenimiento productivo total, en inglés “Total Productive Maintenance” (TPM) nació en Japón en la década de los 70’s es una estrategia basada en mejorar la eficiencia del proceso productivo reduciendo pérdidas por avería en los equipos, por preparaciones, tiempo de ciclo vacío y paradas cortas. Se compone de una serie de operaciones que, al implantarse, buscan eliminar mermas en la producción a consecuencia del estado de los equipos.<sup>25</sup>

Este mantenimiento involucra el concepto “Cero” propuesto por Seiichi Nakajima, el cual hace alusión a que el TPM esté orientado a obtener al final del proceso: cero accidentes, cero defectos, cero averías, cero paros, cero desperdicios.

El TPM en la actualidad es una estrategia fundamental para lograr *eficiencia total*, con el objetivo de alcanzar la *competitividad total*. La tendencia de mejorar los procesos y elevar la competitividad, involucra las variables calidad, tiempo y costo de la producción; es así que implementar el TPM en Gerdau Diaco permitirá tener un conjunto de equipos e instalaciones productivas más eficaces, reducción de las inversiones necesarias en ellos, y aumento en la flexibilidad del sistema productivo.

25

<sup>25</sup> CAMARGO, A. (s.f.).[Artículo Técnico] Mantenimiento productivo total aplicado a transformadores eléctricos tipo distribución. *Mantenimiento productivo total aplicado a transformadores eléctricos tipo distribución*.

### **8.4.1 Enfoque**

El enfoque hace referencia a alcanzar logros de eficiencia total en la subestación, identificando y eliminando cualquier actividad o elemento que no agregue valor a los procesos desarrollados, eliminando cualquier falla operativa o administrativa. El TPM como filosofía, será complemento al desarrollo del plan de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo establecido y estandarizado para la subestación. Idealmente, la adopción y complementación del TPM y el plan de mantenimiento, buscarán que Gerdau Diaco escale en de nivel su gestión del mantenimiento y satisfaga a las partes interesadas.

*¿Por qué involucrar el TPM en Gerdau Diaco?*

En la etapa en la que se encuentra Gerdau Diaco en gestión del mantenimiento (ver capítulo Resultados), se hace importante implementar paso a paso el TPM, y desde la metodología se ha establecido una etapa introductoria que comprende la aprehensión de la filosofía, de los componentes y procesos fundamentales, haciendo posible en un futuro cercano la implementación total del TPM en la vida operativa de Gerdau Diaco, con la proyección de tener una gestión del mantenimiento de clase mundial.

Gracias a esta fase introductoria del TPM en Gerdau Diaco, se trabajarán en fase temprana los siguientes objetivos:

- Maximizar la eficiencia global del sistema en la subestación 115kV/13,2-13,8kV.
- Alcanzar un enfoque proactivo en los colaboradores de acuerdo con las herramientas del TPM.
- Establecer como filosofía los pilares del TPM no solo en las actividades de la subestación, sino en los procesos y responsabilidades que se ven involucrados en la misma.
- Consolidar un sistema integrado de procesos que se complemente de manera adecuada con los mantenimientos predictivo, preventivo y correctivo.
- Mejorar la eficiencia de los procesos en la subestación y consolidar un estilo aplicable a las diferentes áreas y procesos de Gerdau Diaco.

## **8.4.2 Procesos fundamentales <sup>6</sup>**

### **8.4.2.1 Mantenimiento autónomo**

En el mantenimiento autónomo propuesto a implementar en Gerdau Diaco, se tendrán en cuenta siete pasos importantes, de los cuales algunos ya son reconocidos y aplicados en la organización.

#### **1. Limpieza.**

Es importante mantener la limpieza en la subestación, como elemento fundamental y base para el cuidado y manutención de los equipos. Este paso se aplica en el desarrollo de las actividades de mantenimiento preventivo y predictivo en cada uno de los equipos que conforman la subestación.

#### **2. Lubricación.**

La lubricación de los equipos y sus componentes es esencial en el cuidado y manutención de los mismos. Este paso se aplica en el desarrollo de las actividades de mantenimiento preventivo y predictivo en cada uno de los equipos que conforman la subestación.

#### **3. Eliminar fuentes de contaminación.**

Cuando existen fuentes de contaminación, es importante identificarlas e implementar actividades para contenerlas. Este paso se aplica en el desarrollo de las actividades de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo en cada uno de los equipos que conforman la subestación.

#### **4. Las 5 S's**

En este paso se maneja el concepto de las 5 S's que describen los procesos de: clasificar, ordenar, limpiar, estandarizar, y sostener. Implementar este concepto en Gerdau Diaco permitirá medir los beneficios en: *seguridad*: al reducir el número de accidentes; *calidad*: al prevenir y eliminar la posibilidad de usar partes defectuosas o herramientas equivocadas; *productividad*: midiendo tiempos, reduciendo ciclos y tiempos improductivos del equipo a tratar; *entrega*: eliminando y reduciendo las variaciones por causas de interrupción.

##### *Key 1. Seiri-Sort (Clasificar)*

Hace alusión al proceso de clasificar y desechar artículos innecesarios en el lugar de trabajo. Eliminar lo que no se necesita (reconociendo y distinguiendo con el tiempo qué no se necesita). Identificando las causas que ocasionan la acumulación de artículos innecesarios y previendo su acumulación frecuente.

Para lograr la correcta clasificación, se debe responder las siguientes preguntas: ¿para qué es esto? ¿por qué se tiene esto? ¿con qué frecuencia se usa esto? ¿hay algo igual y/o sustituo?

#### *Key 2. Seiton-Stabilize (Ordenar)*

Hace alusión a clasificación de los artículos necesarios en orden para que puedan ser seleccionados fácilmente para su uso. Es una cuestión de cuán rápido se puede conseguir lo que se necesita en la subestación y cuán rápido se puede devolver a su sitio. Se debe tener en cuenta qué personas pueden utilizar uno u otro elemento, con qué frecuencia y en qué eventos.

#### *Key 3. Seiso-Shine (Limpiar)*

Para este paso, se eliminan las fuentes de contaminación; se encuentra una forma de tener lo más limpio posible cada área; se adopta la limpieza como una forma de inspección; se incluye la limpieza como parte del trabajo rutinario. En este paso es importante la generación de conciencia en los miembros del equipo de trabajo de Gerdau Diaco y que cada uno pueda desempeñar una tarea la cual sea su responsabilidad.

#### *Key 4. Seiketsu-Standard (Estandarizar)*

Hace alusión a mantener las áreas de tal manera que se pueda seguir un protocolo de las tres S anteriores, haciendo énfasis en que sea lo más productivo posible.

#### *Key 5. Shitsuke-Sustain (Sostener)*

Para sostener esto, es importante que los trabajadores estén entrenados, que cada uno adopte las 5 S's, que se desarrollen hábitos de manera simplificada y productiva, y que se monitoreen los resultados obtenidos al implementar las 5 S's.

#### 5. Capacitación

Las capacitaciones incluyen las sesiones teóricas y prácticas de mantenimiento, con la observación del trabajo, las buenas prácticas y la capacitación práctica en campo.

#### 6. Inspecciones y procedimientos generados por el grupo

En este paso están implícitos los procedimientos y actividades de mantenimiento que se implementan de manera preventiva, predictiva y correctiva.

#### 7. Manejo autónomo del equipo productivo

Habiendo aplicado los conceptos trabajados en las prácticas de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo, complementados con las capacitaciones en campo, el operario miembro del equipo de trabajo podrá realizar de forma autónoma las actividades con cada equipo de la subestación y dar manejo autónomo al mismo.

#### **8.4.2.2 *Mantenimiento planeado***

Es una estrategia que se debe implementar en la subestación 115kV/13,2-13,8kV en Gerdau Diaco, para organizar actividades programadas, documentadas y monitoreadas, con el objetivo de administrar los recursos de mantenimiento de la mejor forma.

El mantenimiento planeado busca ajustar la programación del equipo para desarrollar las tareas:

- En el momento menos perjudicial para la producción.
- De la forma más rápida y efectiva posible.

Se trata de un proceso donde se detallan los materiales, herramientas, tareas, técnicas y personal necesario para cumplir con las metas de mantenimiento. Se determina qué trabajo debe completarse y cómo. Este tipo de mantenimiento incluye las prácticas necesarias que se hayan identificado para completar los objetivos de mantenimiento. Es decir que puede incluir metodologías de mantenimiento preventivo, predictivo, basado en la condición y correctivo, según sea necesario.

#### **8.4.2.3 *Mantenimiento de calidad***

Implementar el concepto de mantenimiento de calidad en las actividades planteadas para la subestación 115kV/13,2-13,8kV en Gerdau Diaco supone reconocer los siguientes constructos propuestos por Camargo<sup>14</sup>.

- Realizar acciones de mantenimiento orientadas al cuidado y manutención del activo, para que éste no presente defectos de calidad.
- Prevenir defectos de calidad certificando que el equipo cumple con las condiciones para “cero defectos” y que estas se encuentran dentro de los estándares técnicos.
- Observar las variaciones de las características de los equipos para prevenir defectos y tomar acciones adelantándose a la situación de anormalidad potencial.
- Realizar estudios de ingeniería del equipo para identificar los elementos del equipo que tienen una alta incidencia en las características de calidad del producto final, realizar el control de estos elementos del equipo e intervenirlos.

#### **8.4.2.4 Prevención del mantenimiento**

Este pilar habla sobre el manejo precoz del equipo, siendo un proceso que minimiza el conteo del ciclo de vida de los equipos nuevos. Va de la mano con la confiabilidad y el mantener los equipos de los procesos, los cuales dependen en gran medida del diseño inicial.

#### **8.4.2.5 Capacitación y formación**

El entrenamiento y capacitación del talento humano de Gerdau Diaco se plantea con el objetivo de que cada miembro de la organización sea su mejor versión. Dicha capacitación tiene como componentes:

- **Mantenimiento productivo total**

Socialización del mantenimiento productivo total, de las formas en que se plantea iniciar con la filosofía de mantenimiento en la subestación, y hacer de cada miembro un colaborador empoderado y con conocimiento de los objetivos del TPM en la subestación.

- **Las 8 disciplinas**

La metodología de las ocho disciplinas es una metodología completa para el análisis y solución de problemas que se desarrollan con base en el trabajo en equipo. La implementación de esta metodología ayudará a eliminar la causa de raíz, sea interno o externo.

#### *Conocimiento general del problema*

Para implementar el proceso 8D se establecen consideraciones preliminares tales como: se trabaja con base en la información que se tiene a la mano; se busca detener inmediatamente el proceso si existe el riesgo de que el problema continúe o reincida; se realiza un análisis de las posibles acciones contenedoras y se implementan; finalmente, se asegura que no se provocan efectos o consecuencias adicionales a las ya subsanadas.

#### *Criterios para iniciar el proceso de las 8 disciplinas*

Teniendo en cuenta las consideraciones preliminares, también se establecen algunos criterios para iniciar el proceso:

1. El síntoma debe ser definido y cuantificado. El síntoma, como efecto o evento que indica la existencia de uno o más problemas (problema: desviación contra lo especificado y con causa desconocida). La cuantificación se realiza mediante gráficas de tendencia o diagramas Pareto.
2. Se experimenta el síntoma por los grupos afectados. Esto define el alcance de la afectación a atacar.
3. La causa es desconocida.
4. La complejidad del problema excede la habilidad de una persona para resolverlo.

Al final de este proceso, se alcance un conocimiento tal, que permite evidenciar:

- Descripción del efecto percibido.
- Definición de acciones de emergencia a implementar.
- Plan de acción para dichas acciones.
- Implementación de las acciones.
- Asegurarse de que no se provoca un efecto adicional.

### **Disciplina 1: D1 Establecer el equipo de trabajo para la solución del problema**

El objetivo es formar un equipo de personas con cualidades y capacidades necesarias para resolver el problema. Generalmente, el resultado final es más satisfactorio cuando se desarrolla en equipo (número de individuos que trabajan juntos por una meta común, donde sus esfuerzos de colaboración influyen para alcanzarla), que cuando lo realiza una sola persona.

#### **Establecimiento de roles**

Para determinar los miembros del equipo de trabajo, se deben tener en cuenta varias facetas necesarias: líder, administrador del tiempo, facilitador, escritor, cuyas cualidades en conjunto permiten realizar las acciones de manera correcta. Es conveniente que los miembros reconozcan la importancia del trabajo en equipo, que definan las metas por escrito, que obtengan un consenso entre ellos, y definan las reglas de trabajo.

En Gerdau Diaco, el establecimiento del equipo de trabajo se realiza de la mano de los operarios técnicos electricistas y los jefes de mantenimiento, de manera que, aprovechando las capacidades y fortalezas de cada miembro, se conforme el mejor equipo de trabajo de acuerdo con la situación particular que ocurra.



## **Disciplina 2: D2 Descripción del problema**

Es vital conocer y entender cuál es el problema, para posteriormente iniciar su resolución. Para evitar que las soluciones sean ineficaces, el equipo de trabajo debe entender adecuadamente cuál es el problema, que, aunque suena obvio, se debe realizar dándole la importancia que merece.

Para realizar este proceso correctamente, se analizarán las características del problema, usando la herramienta de las 5W y las 2H: ¿qué es el problema?, ¿cuándo se presenta?, ¿dónde se presenta?, ¿quién interviene?, ¿por qué ocurrió el problema?, ¿cómo se puede solucionar?, ¿cuánto tiempo tardará en solucionarse?, las cuales se deben responder de acuerdo con las condiciones encontradas. Así mismo, se debe identificar toda la información posible tal como: fecha de inicio, fecha de producción, frecuencia, porcentaje defectuoso, y demás datos que se tengan.

## **Disciplina 3: D3 Acciones contingentes**

Las acciones contingentes pueden minimizar el impacto negativo del problema en términos económicos, temporales, de calidad, de pérdidas, etc. Para desarrollar las acciones contingentes, se deben tener en cuenta los cuatro pasos descritos a continuación:

- **Seleccionar la acción contingente:** establecer la mejor acción o acciones contingentes ante el problema.
- **Verificar:** previamente si la acción seleccionada funciona.
- **Implementar:** físicamente la acción contingente y documentar.
- **Validar:** la efectividad y/o satisfacción de la acción ejecutada.

Para implementar las acciones de contingencia se necesita seguir el círculo de mejora de Deming o ciclo PHVA, creando un plan de acción.

**Ilustración 7** Ciclo PHVA o ciclo Deming.

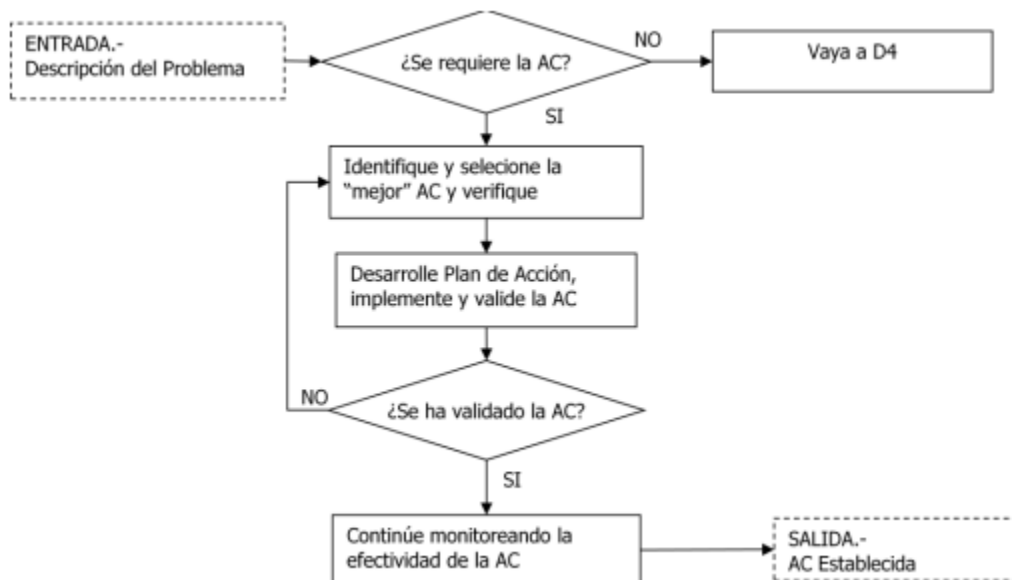


Fuente: Google fotos- [http:// Cómo aplicar el ciclo PHVA para el mejoramiento continuo de su organización - Asesores Jurídicos Profesionales - MPHIL \(asesoresjuridicosprofesionales.com\)](http://Cómo aplicar el ciclo PHVA para el mejoramiento continuo de su organización - Asesores Jurídicos Profesionales - MPHIL (asesoresjuridicosprofesionales.com))

El plan de acciones describe: ¿qué acciones son necesarias para llegar al objetivo? ¿quién es responsable de completar las acciones? ¿cuándo se tendrán terminadas las acciones? De manera que al finalizar esta disciplina se conocerán: las acciones contenedoras (desde su implementación y validación), se establece el plan de acción correspondiente para implementar.

El círculo de mejora en la implementación de acciones de contingencia dentro de las 8D, se describe a continuación:

**Ilustración 8** Diagrama del círculo de mejora.



Fuente: Camargo<sup>24</sup>

## Disciplina 4: D4 Definir y verificar la causa de raíz

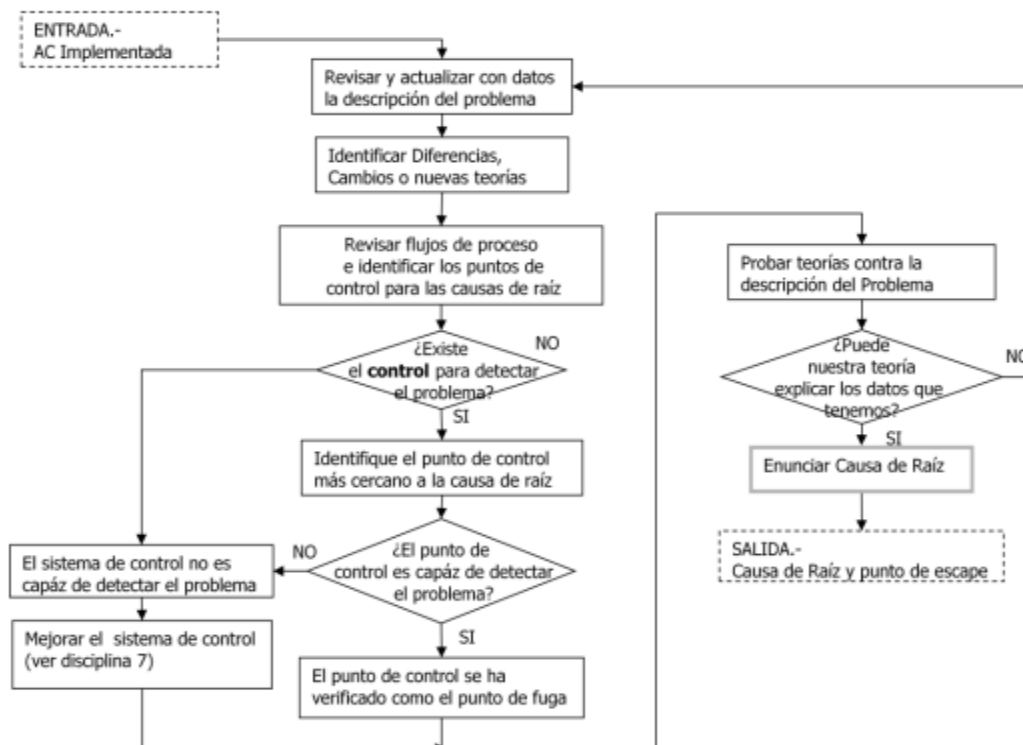
Esta disciplina es la clave del método 8D, y es donde se más se requiere del trabajo en equipo para encontrar la solución al problema. Teniendo las acciones de contingencia, se pasa a la identificación de las causas reales que generan el problema.

Para desarrollar esta disciplina, se deben responder las siguientes preguntas: ¿por qué sigue surgiendo el problema? Es importante diferenciar entre los tipos de causas: Causa posible (cualquier causa que tenga afectación en el problema); causa más probable (basada en datos, hechos reales y documentados); causa raíz (causa del problema, verificado en documentos y activamente observado en campo).

Al final del proceso, identificar la causa raíz se puede confirmar de forma: pasiva, realizada por observación en campo; activa, manipulando la variable de la causa raíz; definiendo claramente las causas raíz; reproduciendo la falla mediante la manipulación de variables de la causa raíz; identificando si el sistema de control es capaz de detectar el problema.

La Ilustración 9 6 recrea el proceso de identificación de la causa raíz.

**Ilustración 9** Diagrama identificación Causa – Raíz.



Fuente: Camargo<sup>24</sup>

## Disciplina 5: D5 Acción correctiva permanente

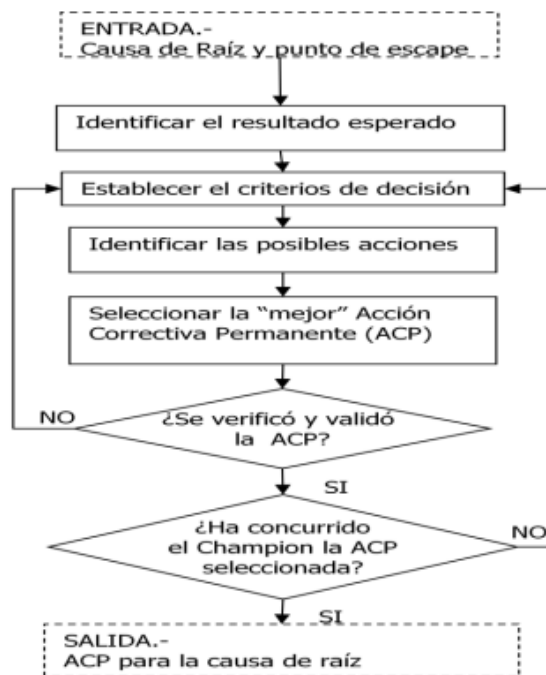
En esta disciplina se determinan las acciones correctivas permanentes con base en la(s) causa(s) raíz identificada con éxito previamente. Por cada causa, es debido definir mínimo una solución a implementar a largo plazo, con el objetivo de eliminar dicha causa.

La solución a implementar debe considerar la seguridad, la calidad, la entrega y el costo de su aplicación. Para definir la acción correctiva permanente es necesario realizar las siguientes acciones:

- Describir el resultado final esperado.
- Realizar una lista de criterios de decisión (teniendo en cuenta si son medibles, negociables, realistas, deseados).
- Identificar opciones de solución.
- Comparar las opciones según los criterios de decisión.
- Analizar los riesgos.
- Elegir la mejor opción.

La descripción del resultado final identifica una acción y objeto. Las actividades correctivas permanentes a implementar serán las que presenten los menores riesgos y los mayores beneficios, previamente identificados y analizados.

**Ilustración 10** Diagrama de selección de acción correctiva permanente.



Fuente: Camargo<sup>24</sup> fig. 59 pag.100

## Disciplina 6: D6 Implementación de la acción correctiva permanente

Después de haber identificado la acción o acciones correctivas permanentes, se requiere organizar el plan de acción de implementación, de la siguiente manera:

- Definir acciones: las acciones detalladas que permitirán implementar las ACP, las cuales son claras y entendibles para todos los miembros del equipo.
- Identificar responsables: los cuales se encargarán de implementar las acciones definidas.
- Detallar temporalidad (fechas de inicio y fin de cada acción)
- Identificar posibles barreras: con el objetivo de prevenir inconvenientes de retraso, contingencias, nuevos problemas, que impidan que se complete la actividad

### *Validación de la acción correctiva permanente*

La ACP debe terminar con el problema desde su causa raíz, por lo tanto, se debe corroborar que se ha eliminado la causa raíz mediante test de verificación, manipulando las variables. Para considerar cerrada una acción correctiva de producto o proceso, es necesario tener terminado al 100% el plan de acciones y evaluar como mínimo durante un periodo de tres meses. Al terminar con la causa raíz, la acción D3 ya no requiere implementarse más.

A continuación, se presenta el diagrama de acción de contingencia.

**Ilustración 11** Diagrama de implementación de acción correctiva permanente.

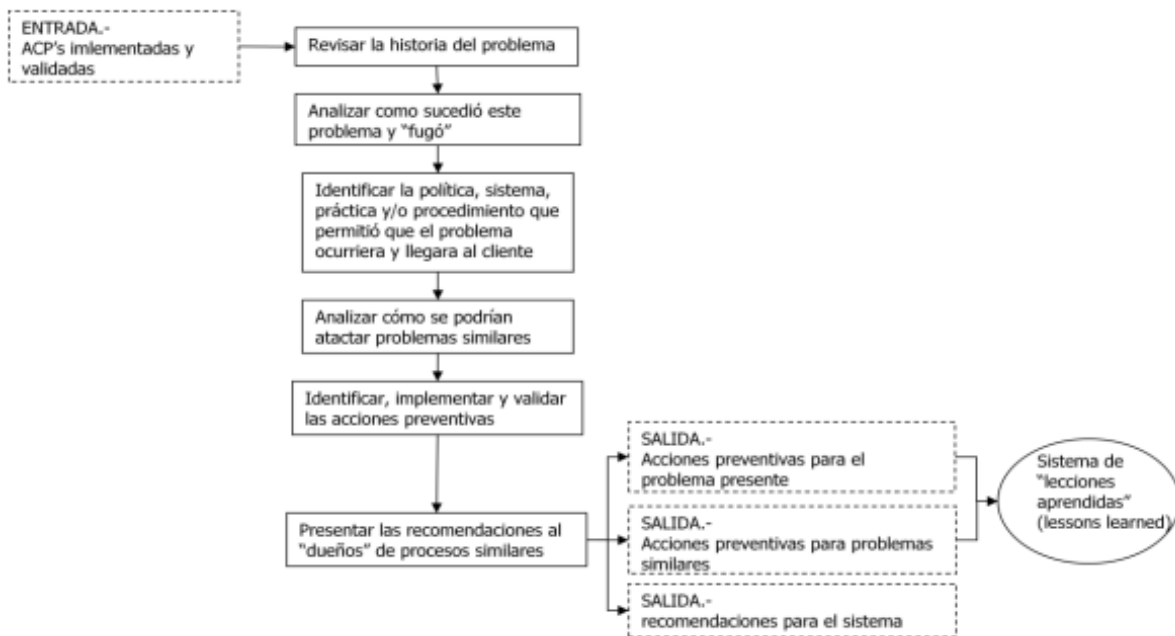


Fuente: Camargo<sup>24</sup> fig. 60 pag. 102

## Disciplina 7: D7 Prevenir la reincidencia

Las mejores acciones correctivas que al implementarlas, evitan que el problema vuelva a ocurrir. Prevenir la reincidencia indica acciones de control para evitar reincidencia del evento. Dentro de las claves para prevenir la reincidencia están las lecciones aprendidas que se tienen del proceso desarrollado, las cuales evitarán que no solo algún equipo vuelva a sufrir el problema, sino que similares lo puedan presentar. Al término de esta disciplina, se tendrán: acciones para prevenir reincidencias, problema actual, problemas similares, y recomendaciones para mejorar. A continuación, se describe el diagrama de revisión de las acciones.

**Ilustración 12** Diagrama de verificación de acciones correctivas para prevenir reincidencias.



Fuente: Camargo<sup>24</sup> fig. 61 pag.103

## Disciplina 8: D8 Cerrar el problema y reconocer contribuciones

Con el fin de incentivar la mejora continua, es necesario reconocer a los miembros del equipo por su labor de manera oportuna, comunicando cuánto se aprecia su trabajo y dedicación en la resolución del problema.

De igual forma, para cerrar el proceso 8D, se debe:

- Terminar y archivar la documentación.
- Reconocer las lecciones aprendidas desde el proceso.
- Dar fin al proceso.

### - **Las 5 S's**

La socialización de las actividades planteadas en las 5S, presentadas en la sección 8.4.2.1 Mantenimiento autónomo, las cuales no solo se implementarán para los procesos de la subestación, sino que serán una herramienta para utilizar en todos los procesos derivados de las responsabilidades de los miembros involucrados en el desempeño de sus funciones.

### - **Las siete grandes pérdidas**

Dentro del Mantenimiento Productivo Total se trabaja en la eliminación de las siete grandes pérdidas de los equipos, con el objetivo de poder hacer factible la producción "just in time", eliminando sistemáticamente los desperdicios.

Estas siete grandes pérdidas se relacionan directa o indirectamente con los equipos, dando lugar a reducciones en la eficiencia del sistema productivo en: tiempos muertos o paro del sistema productivo; funcionamiento a velocidad inferior a la capacidad de los equipos; y productos defectuosos que resultan en mal funcionamiento del sistema.<sup>14</sup>

Las siete grandes pérdidas son:

- Fallas del equipo.
- Set-Up o ajustes.
- Paros menores.
- Pérdidas por arranque.
- Velocidad reducida del sistema.
- Paros por defectos de calidad.
- Paros no programados.

### - **Manejo de áreas administrativas y soporte**

Según Pineda <sup>26</sup> el mantenimiento productivo en áreas administrativas ayuda a evitar pérdidas de información, coordinación y precisión de la información, entre otras.

Para Gerdau Diaco, en la etapa introductoria de la filosofía del TPM, se propone enfatizar en la correcta gestión de las áreas administrativas y soporte con el manejo de la información en el proceso de mantenimiento de la subestación 115kV/13,2-13,8kV. Con la ayuda y soporte de la herramienta SAP, y la inclusión del plan de mantenimiento, registros, formatos usados, y demás información sensible, se considera que está cubierto correctamente el componente de soporte y gestión de información. No obstante, es importante realizar la socialización con las áreas involucradas, y periódicamente evaluar estrategias y planes de mejora a los

---

<sup>26</sup> PINEDA MANDUJANO, [Texto PDF]. K. Manufactura Esbelta. *Manufactura Esbelta*. (2004). Mexico.

procesos. En este componente, es indispensable la gestión de las comunicaciones entre áreas, y la atención especial a la visión del área operativa para fortalecer y mejorar continuamente los procesos.

- **Seguridad, higiene y medio ambiente a la subestación**

La inclusión de la seguridad, higiene y medio ambiente en el mantenimiento productivo total, tiene como objetivo reducir a cero los accidentes y la contaminación presentados en el proceso productivo, permitiendo lograr un ambiente de trabajo agradable y seguro para los colaboradores, y en general para las áreas involucradas.

Este componente se basa en principios fundamentales que soportan su desarrollo, según expone López<sup>27</sup> :

- Los equipos con defectos representan una posible fuente de riesgos.
- La implementación del mantenimiento autónomo (no solo en los equipos sino en todas las áreas y espacios de trabajo) junto con la aplicación de las 5 S's son la base de la seguridad en las organizaciones.
- Fortalecer las habilidades de los colaboradores en la identificación y percepción de riesgos, así como en evitar situaciones que entorpezcan el desarrollo del proceso. Este componente de gestión del riesgo fue ampliamente tratado en las capacitaciones teóricas.
- El personal que tiene formación en los equipos, asume mayor responsabilidad en cuanto a su salud y seguridad.
- Al aplicar los principios del TPM en los procesos, se induce una mayor responsabilidad y compromiso hacia los elementos y estándares que rigen esta filosofía.
- Se hace uso de herramientas de fácil recordación en el desarrollo de las actividades.
- Se eliminan fuentes de contaminación y áreas de difícil acceso que producen riesgos potenciales de accidentes.
- Se desarrolla una correcta gestión del conocimiento sobre el funcionamiento de los equipos y causas potenciales de riesgo.
- Se establecen medidas para evitar deficiencias de la operación, y seguridad de tráfico en planta.
- Finalmente, se revisan estándares y se realizan acciones de mejora continua.

---

<sup>27</sup> LÓPEZ, E. A. [Documento] *El mantenimiento productivo total tpm y la importancia del recurso humano para su exitosa implementación*. Bogotá, Colombia. (2009). Pontificia Universidad Javeriana.



## 9 RESULTADOS ESTADISTICOS.

### 9.1 Análisis de la Encuesta “Propuestas para implementar en jornadas prácticas y Estrategia de Mantenimiento Gerdau Diaco”

Se realizó una encuesta que constaba de dos preguntas abiertas, las cuales fueron respondidas por 25 miembros colaboradores de Gerdau Diaco de diferentes funciones y áreas, con predominancia de técnicos electricistas del área operativa de la organización.

#### Objetivos de la encuesta preliminar:

1. Identificar las necesidades de los colaboradores de Gerdau Diaco para la correcta gestión del mantenimiento de la subestación 115kV/13,2-13,8kV.
2. Establecer las debilidades de los colaboradores de Gerdau Diaco en el desarrollo de maniobras en la subestación 115kV/13,2-13,8kV.

La primera consultaba las ideas y aportes para la jornada práctica a realizar en Gerdau Diaco. De dicha pregunta se obtuvieron los siguientes resultados:

- **El 64% de los colaboradores proponen realizar prácticas en sitio con maniobras reales.** Los equipos y lugares de preferencia para las prácticas en sitio son:

*Ilustración 13 Equipos y lugares de preferencia. Encuesta preliminar Gerdau Diaco.*

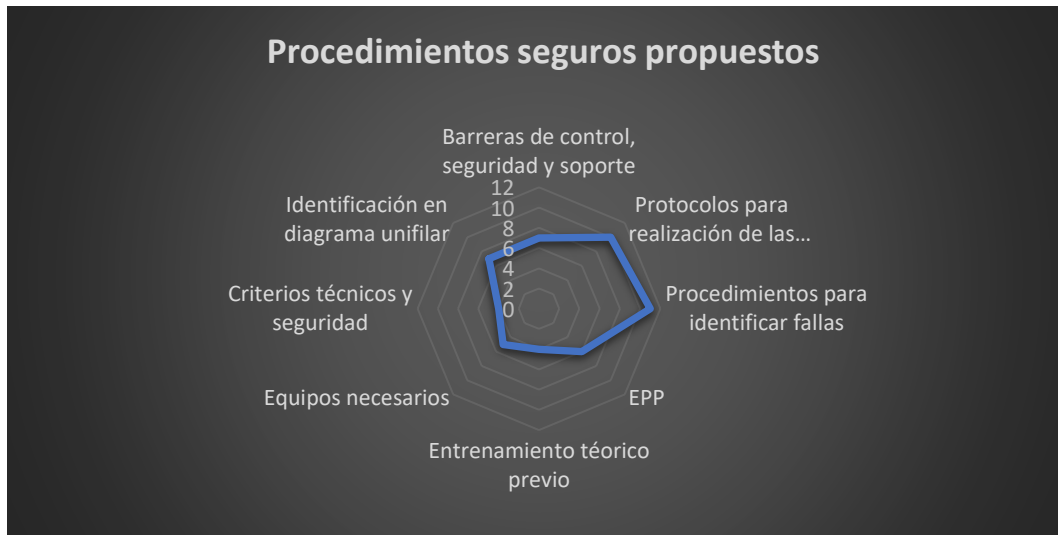


*Fuente: Elaboración propia*

- Así mismo, el 60% de ellos propone realizar las prácticas en grupos pequeños, en donde todas y cada una de las personas puedan participar e involucrarse activamente.

- El 50% afirma la importancia de dar a conocer procedimientos seguros para las diferentes intervenciones y maniobras que se realizan, en los cuales nombran diferentes aspectos que, a su criterio, son importantes:

**Ilustración 14** Procedimientos seguros propuestos. Encuesta preliminar Gerdau Diaco.



*Fuente: Elaboración propia.*

La segunda pregunta plantea las propuestas de los colaboradores de Gerdau Diaco para implementar en el Plan de Gestión de Mantenimiento de la planta Diaco-Tuta. A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

- El 76% de los encuestados sugiere la existencia de un Plan de Gestión del Mantenimiento de la planta. En dichas propuestas, se destaca la necesidad de realizar la correcta gestión de los mantenimientos: predictivos, preventivos y correctivos.
- De igual forma, los colaboradores de Gerdau Diaco enuncian diferentes aspectos necesarios para la gestión del mantenimiento en la planta, dentro de los que se destacan:
  1. La necesidad de contar con un plan de trabajo claro y definido con antelación
  2. La organización de los equipos de trabajo con el establecimiento de roles, responsabilidades y tareas.
  3. El diligenciamiento de la hoja de vida de cada equipo (en este aspecto resalta la importancia de llevar un registro de fallas, plan de intervenciones específico, programación y un instructivo y protocolo de intervención para cada equipo).

4. El diligenciamiento de formatos preestablecidos para realizar los mantenimientos desde su planeación hasta la finalización de la ejecución de los mismos y con las lecciones aprendidas.
  5. El proceso de identificación de cada procedimiento, verificación de los recursos necesarios, la identificación, evaluación y control de riesgos para determinada tarea, lo cual se denomina Análisis Seguro de Trabajo.
  6. El soporte técnico de los equipos a intervenir, teniendo en cuenta la aparición de posibles situaciones nuevas que ocurran a la hora de realizar los trabajos.
- A continuación, se presenta una gráfica de la totalidad de las propuestas apartadas en el plan de gestión de mantenimiento:

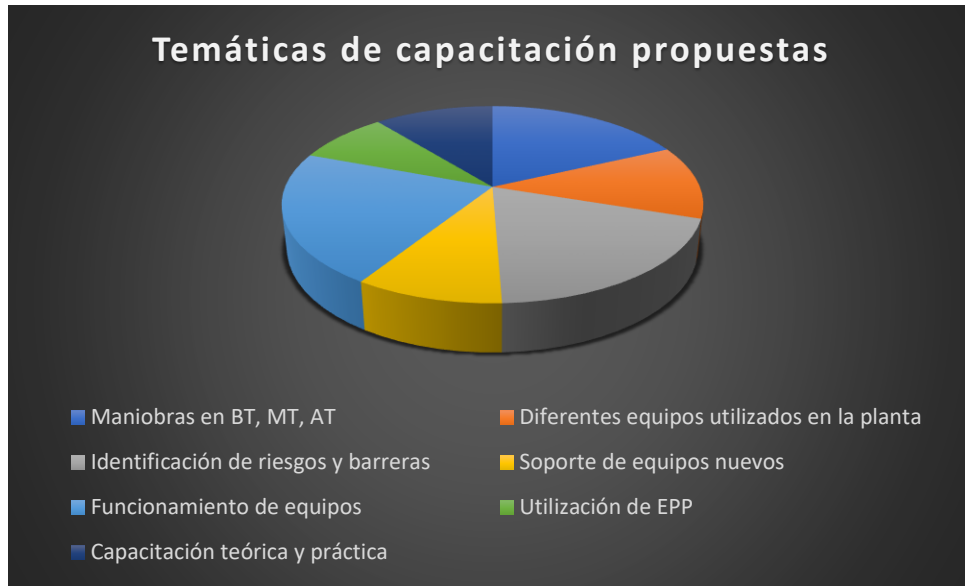
**Ilustración 15** Aspectos propuestos para el plan de mantenimiento. Encuesta preliminar Gerdau Diaco.



*Fuente: Elaboración propia.*

- Otro de los aspectos propuestos por los colaboradores del área operativa de Gerdau Diaco es la capacitación continua y actualización en el desarrollo de las intervenciones y mantenimiento a realizar en la planta. Dentro de las propuestas de capacitación expresadas, se resaltan las siguientes:

**Ilustración 16** Temáticas de capacitación propuestas. Encuesta preliminar Gerdau Diaco.



*Fuente: Elaboración propia.*

- Finalmente, dentro de las propuestas realizadas por los colaboradores, está la implementación de canales de comunicación sincrónica y efectiva entre las diferentes áreas que intervienen en el funcionamiento de la planta. Es de destacar la intención de contar con la atención de áreas administrativas, de gestión de activos, compras y stock de repuestos, en las fases de planeación, ejecución y análisis de lecciones aprendidas de las diferentes intervenciones que se realizan en la planta, con el objetivo de minimizar tiempos en las intervenciones, gestionar correctamente los activos, establecer criticidad en la gestión de determinados repuestos y disminuir posibles fallas que afecten el funcionamiento de la planta.

De la realización de la encuesta, como complemento del análisis estadístico mixto, se realizó un análisis de frecuencia de palabras evidenciadas en las respuestas de los encuestados, con la cual se desarrolló una nube de palabras, identificando lo que más enuncian los colaboradores de Gerdau Diaco y permitiendo conocer sus necesidades más críticas para la implementación futura del Plan de Gestión Mantenimiento.



## **9.2 Resultados de la encuesta diagnóstica – Cultura y gestión del mantenimiento**

Este tipo de encuestas se aplicaron con el fin de determinar el estado de la gestión del mantenimiento en la organización Gerdau Diaco, en la Subestación 115kV/13,2-13,8kV, así identificando las fortalezas y debilidades tanto en la cultura del mantenimiento en general como también la incidencia de estas prácticas en la gestión de activos de la empresa y de esta área en específico.

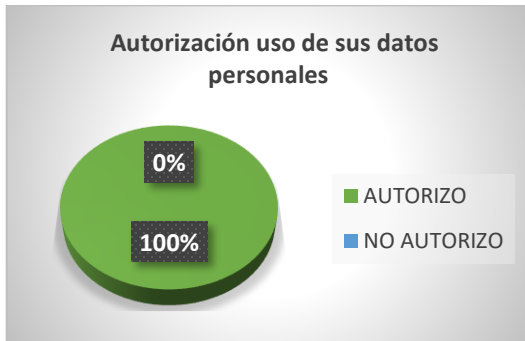
Mediante los resultados expuestos por las encuestas, se puede realizar una clasificación del nivel en el que se encuentra la empresa ya sea en excelencia, competencia, entendimiento, conciencia o inocencia, analizando así según el nivel en el que preliminarmente se clasifiquen sus fortalezas y debilidades y analizando en que aspectos se debe trabajar más y conjuntamente.

### **9.2.1 Análisis de resultados por pregunta de encuesta diagnóstica, aplicada a personal de la Subestación 115kV/13,2-13,8kV**

Se realiza un análisis individual por pregunta para encontrar las falencias, aciertos y desaciertos en cuanto a la cultura del mantenimiento, como se verá a continuación:

- **Pregunta n°1:** MR Proyectos y Gestión S.A.S. da cumplimiento a la Ley 1581 de 2012 con el cual se establece el Régimen General de Protección de Datos y al Decreto Nacional 1377 de 2013, responsable del tratamiento (almacenamiento, uso, circulación o eliminación) de los datos personales adquiridos en bases de datos o archivos. En tal condición, requiere su autorización para que de manera libre, voluntaria y debidamente informada nos permita almacenar, usar, circular, suprimir, procesar y en general, dar tratamiento a los datos que fueron suministrados por usted y que se han incorporado en la base de datos de nuestra Empresa.

**Ilustración 18** Autorización de manejo de datos Gerdau Diaco

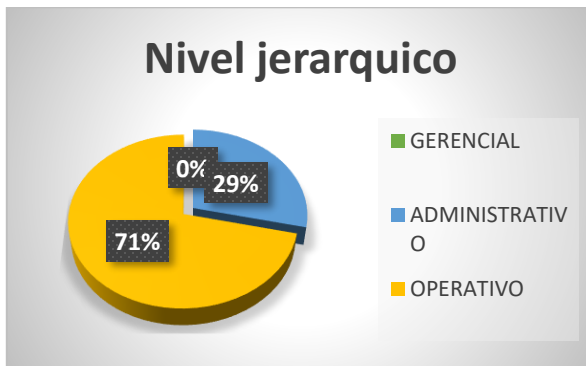


De los 7 encuestado el 100% dio su autorización para usar sus datos.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°2:** Cargo dentro de Gerdau Diaco

**Ilustración 19.** Nivel Jerárquico...

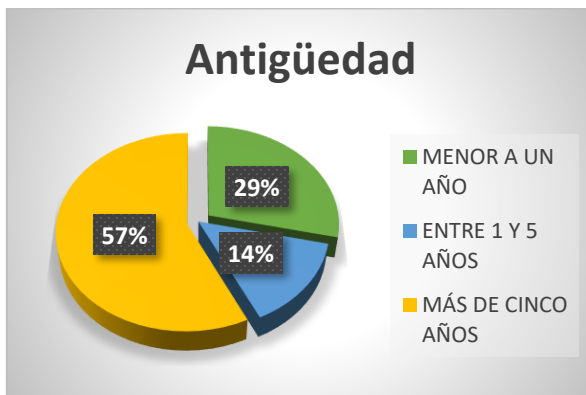


Sobre el nivel jerárquico de los 7 encuestados, el 29% pertenecen al nivel operativo y el 71% al nivel administrativo, mientras hay un 0% del nivel gerencial, donde podemos apreciar que los encuestados son los mas directamente relacionados con el área de mantenimiento.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°3:** Antigüedad en Gerdau Diaco...

**Ilustración 20** Antigüedad de trabajadores

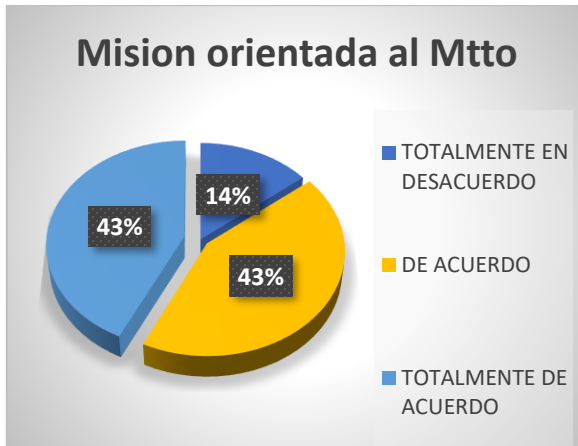


Se permite afirmar que la mayoría de trabajadores del grupo de mantenimiento tienen más de 5 años de antigüedad, demostrando que una gran mayoría de la muestra presenta amplia experiencia y pueden aportar de buena manera al plan de mantenimiento.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°4:** Se tiene una misión orientada a la gestión del mantenimiento dentro de la empresa...

**Ilustración 21** Misión Orientada al Mtto

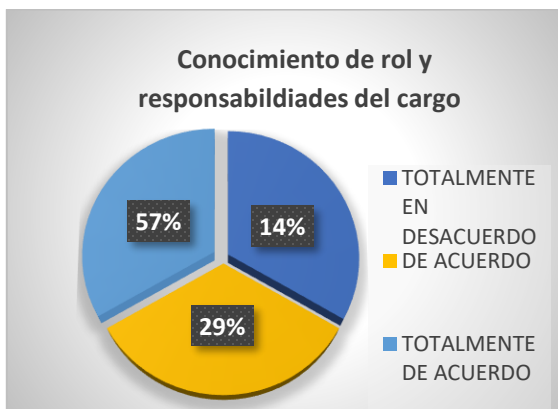


Se puede afirmar que los encuestados no tienen una opinión clara si la empresa posee una misión de mantenimiento, se debe trabajar conjuntamente para que todos tengan el pleno conocimiento de la misión del mantenimiento.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°5:** Conozco el rol y las responsabilidades asociadas a mi cargo...

**Ilustración 22** Conocimiento de rol y responsabilidad



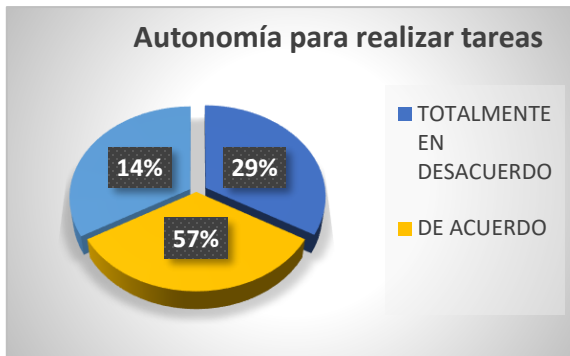
Es concerniente concluir que no todos poseen claridad en las responsabilidades de su cargo y es necesario clarificar sobre las funciones y responsabilidades de cada agente de la empresa para un mejoramiento continuo.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°6:** Tengo autonomía para decidir si realizo o no una determinada tarea...



### Ilustración 23 Autonomía para realizar tareas

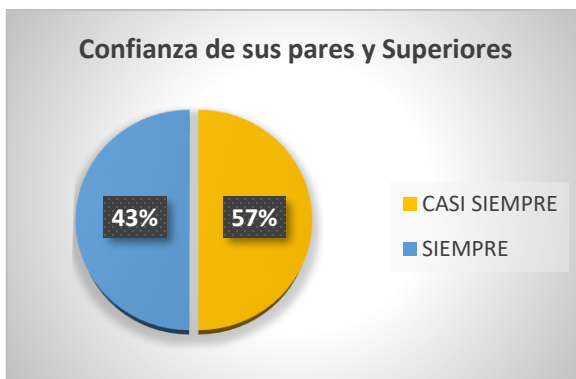


Se puede afirmar que no todos los encuestados tienen autonomía total de sus funciones dentro de la empresa, es necesario balancear la importancia de participación en toma de decisiones y ver la forma de empoderamiento, incentivando e impulsando al personal para generar mayor rendimiento y productividad del factor humano.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°7:** Tengo la confianza de mis pares y superiores para desarrollar una determinada tarea...

### Ilustración 24 Confianza de Pares y Superiores

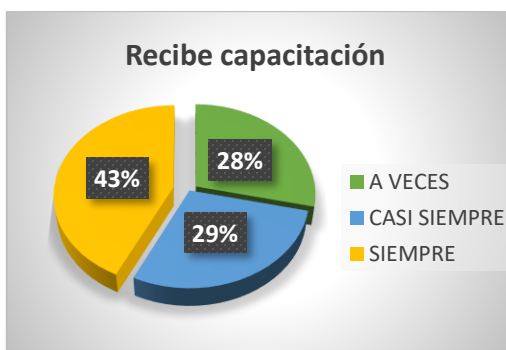


Se ve que hay bastante confianza entre compañeros y superiores y esto contribuye de buena manera en el crecimiento de la empresa debido a la importancia de la realización de forma coordinada sus actividades y a través del apoyo mutuo alcanzar sus objetivos y metas.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°8:** Recibo capacitación sobre los nuevos equipos y actualización sobre manejo de los existentes...

### Ilustración 25 Capacitación sobre nuevos equipos y actualizaciones

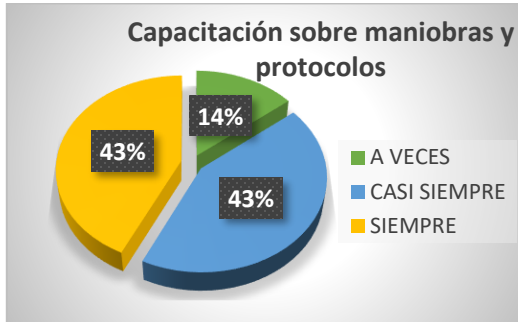


Es necesaria mayor capacitación, debido a que esta juega un papel primordial para el logro de tareas y proyectos, dado que es el proceso mediante el cual las y los trabajadores adquieren los conocimientos, herramientas, habilidades y actitudes para interactuar en el entorno laboral y cumplir con el trabajo que se les encomienda.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°9:** Recibo capacitación sobre maniobras y protocolos de las intervenciones que voy a realizar...

**Ilustración 26** Maniobras y protocolos

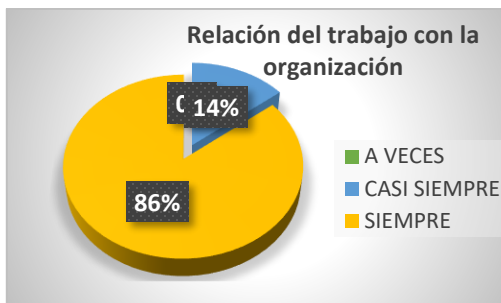


La capacitación sobre maniobras y protocolos debe realizarse de manera constante debido a que hay un promedio bajo según los encuestados y es de vital importancia para evitar incidentes futuros tanto con el personal como con la maquinaria y equipo.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°10:** Cada persona entiende la relación entre su trabajo y los objetivos de la organización...

**Ilustración 27** Relación del trabajo con la organización

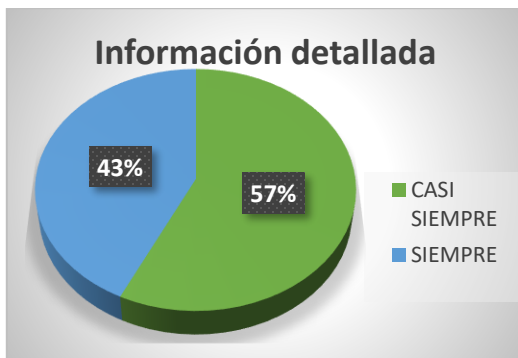


Hay un gran entendimiento por parte de la organización de la empresa y Es de gran importancia entender el propósito de los colaboradores para poder crear el ambiente y la comunicación que responda sus expectativas y así mejorar el rendimiento.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°11:** Tengo la información detallada de la tarea que voy a realizar...

**Ilustración 28** Información detallada



Hay una cierta división en cuanto a la información detallada de las labores y es importante tener claridad en este aspecto es importante la realización de un plan de trabajo y existen diversos instrumentos de administración que pueden ayudar a mejorar.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°12:** Mi superior mantiene una comunicación constante con el grupo de trabajo...

**Ilustración 29** Comunicación entre Personal

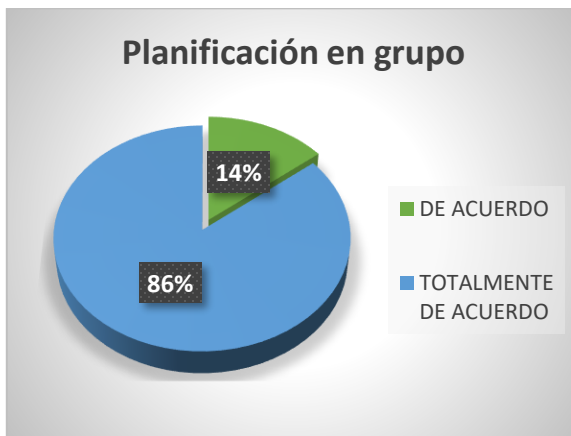


Hay una comunicación bastante buena según la encuesta y es un buen indicador, debido a que una comunicación efectiva en el trabajo permite mejorar la formación de equipo.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°13:** La planificación de nuestro trabajo es continua e implica a todo el grupo...

**Ilustración 30** Planificación Grupal

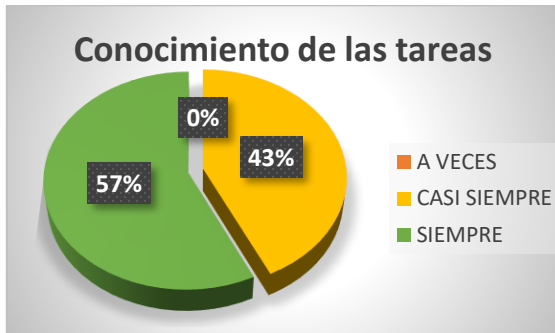


Hay una comunicación bastante buena según la encuesta y es un buen indicador, debido a que una comunicación efectiva en el trabajo permite mejorar la formación de equipo.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°14:** Tengo conocimiento de las tareas que se tienen programadas durante el mes, conozco mi responsabilidad y lo que tengo que hacer...

**Ilustración 31** Conocimiento de tareas y responsabilidades

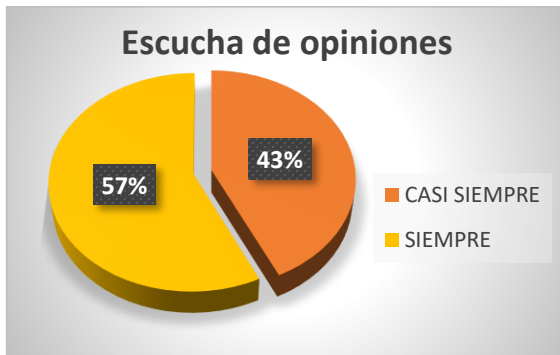


Se evidencia que los encuestados no siempre tienen claridad en las labores encomendadas, lo cual es un punto importante a mejorar debido a que de ello depende que las tareas sean terminadas satisfactoriamente sin ningún tipo de riesgo tanto para la persona como como para la cadena de producción.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°15:** Mi superior escucha mis opiniones y las tiene en cuenta a la hora de tomar decisiones...

**Ilustración 32** Escucha de Opiniones

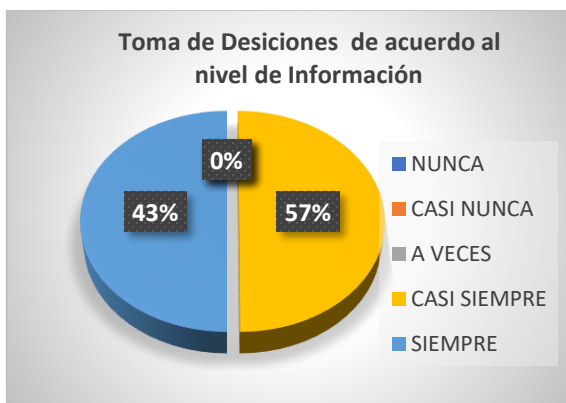


Se evidencia que los encuestados no siempre tienen claridad en las labores encomendadas, lo cual es un punto importante a mejorar debido a que de ello depende que las tareas sean terminadas satisfactoriamente sin ningún tipo de riesgo tanto para la persona como como para la cadena de producción.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°16:** Las decisiones con mayor frecuencia se toman en el nivel que dispone de la mayor información...

**Ilustración 33** Toma de Decisiones de acuerdo al nivel de información

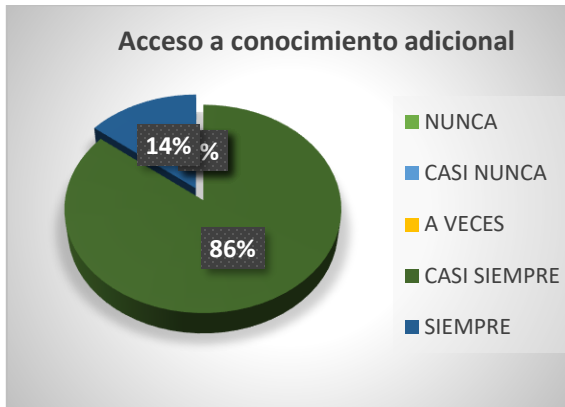


Podemos ver que la opinión común es que la mayoría de veces se conoce la información para la toma de decisiones, pero es importante implementar la cultura que en el momento de decidir se debe contar con la opinión de todos los actores que se ven afectados directa o indirectamente por esto, y que ellos deben tener clara la información de dichos procesos.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°17:** Si necesito información adicional sobre una determinada tarea, sé dónde conseguirla...

**Ilustración 34** Acceso a conocimiento adicional



Con una gran superioridad en el porcentaje podemos decir que la información no se presenta de manera clara, y es importante presentarla de manera más concisa posible, debido a que de esto depende que los procesos tengan éxito y se evidenciaría en el rendimiento en general.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°18:** Mantengo buena disposición para realizar las tareas que me fueron asignadas...

**Ilustración 35** Disposición para tareas asignadas

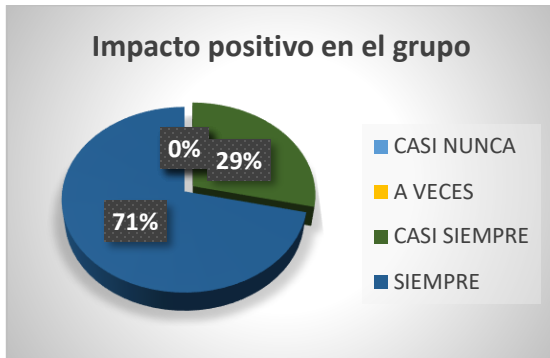


Encontramos que los empleados se encuentran con buena disposición para realizar sus labores, pero es necesario inyectar en el personal una mentalidad ganadora, proactiva, de colaboración mutua, donde todos obtengan beneficios; es decir hay que brindarles confianza e incentivos de diferentes formas.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°19:** Cada miembro cree que puede tener un impacto positivo en el grupo...

**Ilustración 36** Impacto positivo en el grupo

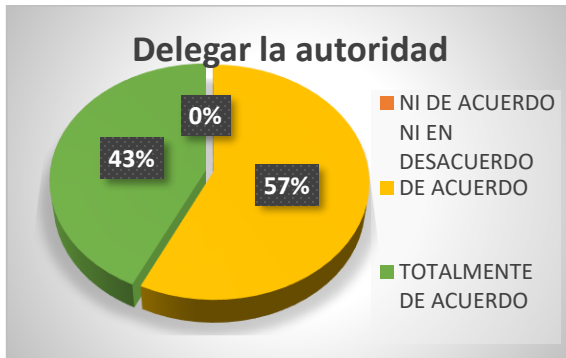


Podemos analizar que no se encuentran muy convencidos de que cada miembro impacta de forma directa y afecta o beneficia a un conjunto, es necesario hacerles notar ese aspecto e indicarles que todos, absolutamente todos los miembros son de gran importancia en la organización.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°20:** La autoridad se delega de modo que las personas puedan actuar por si mismas...

**Ilustración 37** Delegar la autoridad

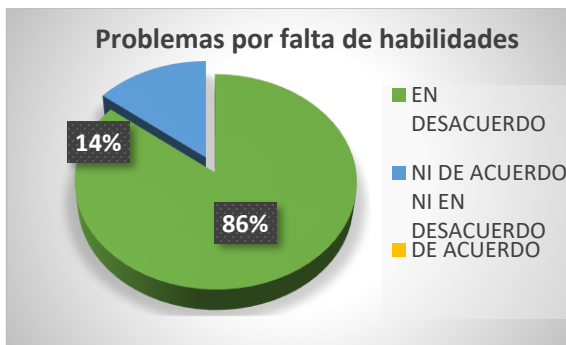


En su mayoría piensan que es importante delegar las funciones para actuar de manera autónoma, pero es importante tener en cuenta que este proceso se debe realizar de acuerdo a sus aptitudes y al conocimiento de cada uno de los miembros, para esto es necesario tener un conocimiento profundo de las capacidades del personal.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°21:** A menudo surgen problemas porque no disponen de las habilidades para realizar el trabajo...

**Ilustración 38** Problemas por falta de habilidades

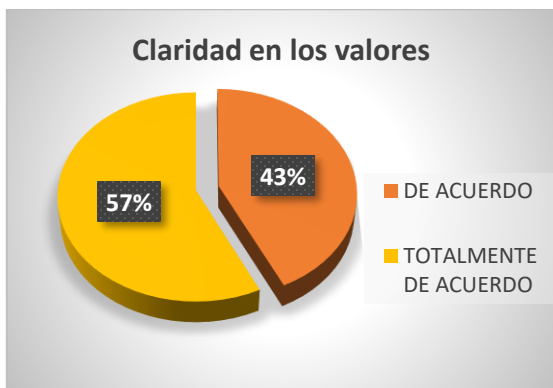


La respuesta es satisfactoria en gran porcentaje, pero es importante enfocarnos en esa minoría que no está segura de si él/ella no cuenta con las habilidades, o tanto sus pares, sus superiores o subordinados no cuentan con ellas, porque es importante detectar si estas fallas pasan por falta de conocimiento en área específica (ej. eléctrica), o talvez en otros procesos o talvez falta de confianza.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°22:** Existe un conjunto de valores claro que rigen la forma en que se conducen...

**Ilustración 39** Conjunto de valores Claros

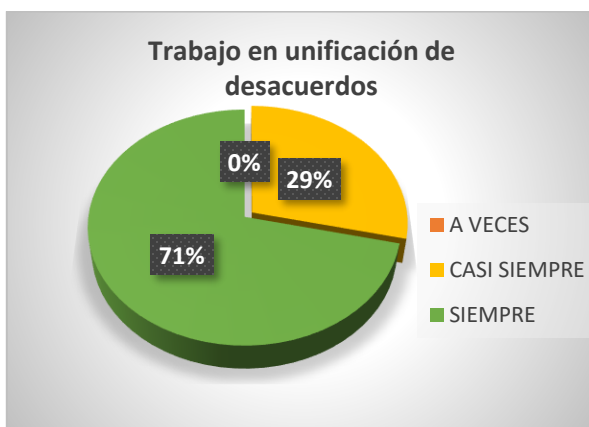


En este aspecto podemos deducir que el personal que trabaja allí cuenta con gran calidad humana, lo cual es muy importante para cualquier proceso de producción, es necesario que antes de trabajadores en cualquier industria se cuente con personal muy ético y con sensibilidad humana.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°23:** Cuando existen desacuerdos, trabajamos intensamente para encontrar soluciones donde todos ganen...

**Ilustración 40** Trabajo en unificación de desacuerdos



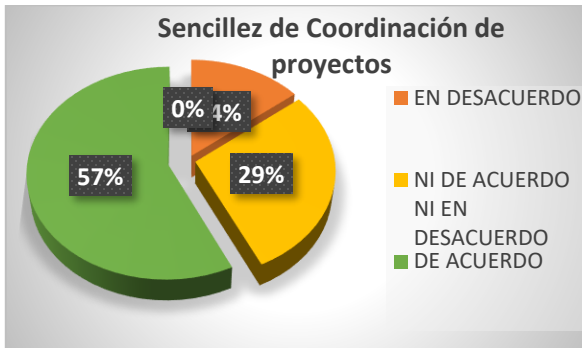
Es necesario trabajar más en la unificación de pensamiento para llegar todos a un consenso en cualquier tipo de dificultad, debido a que es de importancia tener un pensamiento de bien común, entendiendo que la empresa es por aquello que todos estamos y que es parte de nosotros y cada uno somos parte importante de ella.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°24:** Es sencillo coordinar proyectos entre las diferentes áreas de la organización...



#### Ilustración 41 Sencillez de coordinación de proyectos



Debemos prestar especial atención a este ítem, porque nos demuestra que muchas veces no se presenta la cooperación necesaria para el desarrollo de proyectos que involucren diferentes áreas, y es de vital importancia la mayor colaboración entre éstas porque de lo contrario se entorpecería el desarrollo de la cadena de producción.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°25:** Las personas de las diferentes áreas de la organización tienen una perspectiva en común...

#### Ilustración 42 Perspectiva en común de trabajadores

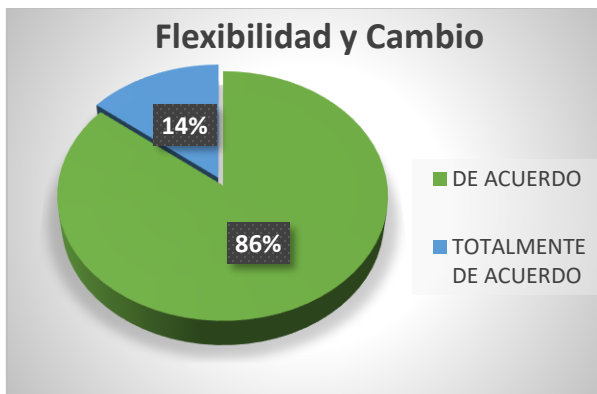


Es un buen indicador de que todos piensen y tengan posiciones y metas en común, pero es importante que además de perspectiva común se presente colaboración entre todos para llegar a buen fin.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°26:** La forma que tenemos de hacer las cosas es flexible y fácil de cambiar...

#### Ilustración 43 Flexibilidad y Cambio.



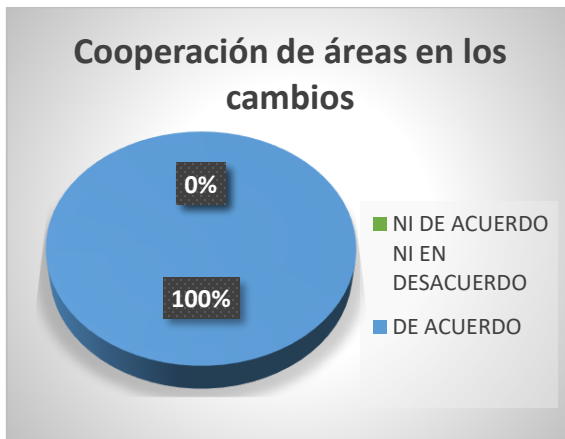
Es importante trabajar en estos aspectos debido a que actualmente existe una clara tendencia de mayor autonomía para los empleados y un mayor control sobre la forma en la que reparten su tiempo, aunque también hay que apreciar que la flexibilidad laboral para cada uno funciona de una manera diferente.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV



- **Pregunta n°27:** Las diferentes áreas de la empresa cooperan a menudo para introducir cambios...

**Ilustración 44** Cooperación de áreas en los cambios

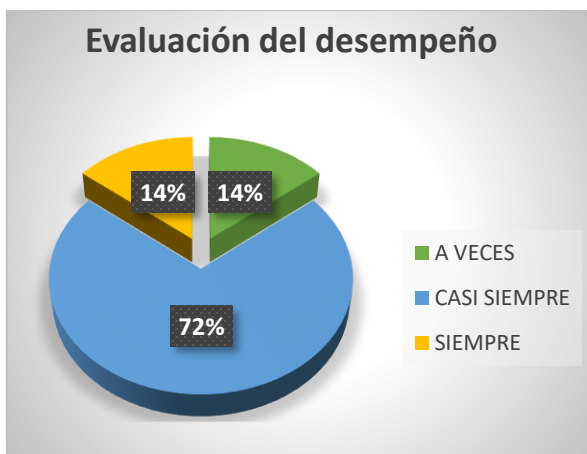


Es un resultado satisfactorio debido a que una relación de cooperación no sólo facilita el acceso a recursos que no se tienen o complementa los recursos propios, también puede reforzar o incrementar el potencial de las fortalezas de la empresa.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°28:** Comparamos frecuentemente nuestro progreso con los objetivos fijados...

**Ilustración 45** Evaluación de desempeño

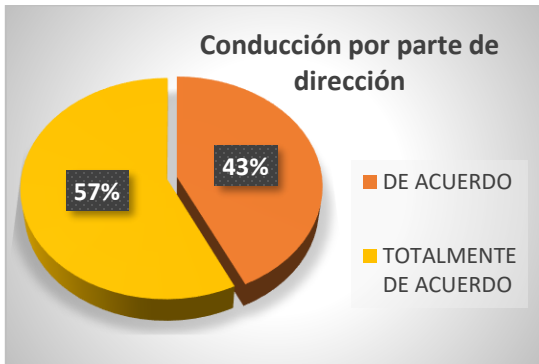


Es necesario realizar comparación de progreso según objetivos fijados debido a que se puede detectar la eficacia de los colaboradores en sus actividades y ayuda a monitorear el grado de cumplimiento de la organización; puede valerse de instrumentos cualitativos o cuantitativos o una combinación de ambos.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°29:** La dirección nos conduce hacia los objetivos que tratamos de alcanzar...

**Ilustración 46** Conducción por parte de dirección

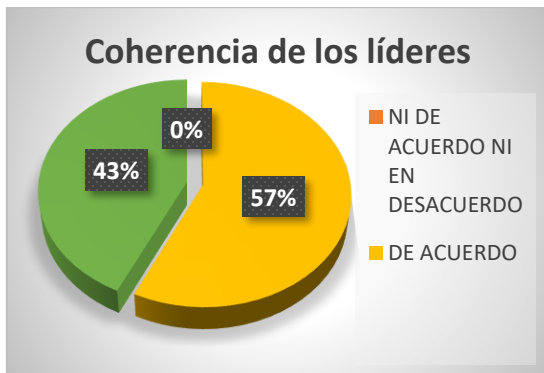


Se debe trabajar en este aspecto porque la dirección es quien pone en marcha lineamientos establecidos en la planeación y organización. Si no hay acción, esos lineamientos se quedarán solamente en ilusiones. A través de ella se puede lograr que los colaboradores tengan una mejor conducta dentro de la organización.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°30:** Los líderes y directivos practican lo que pregonan...

**Ilustración 47** Coherencia de los líderes

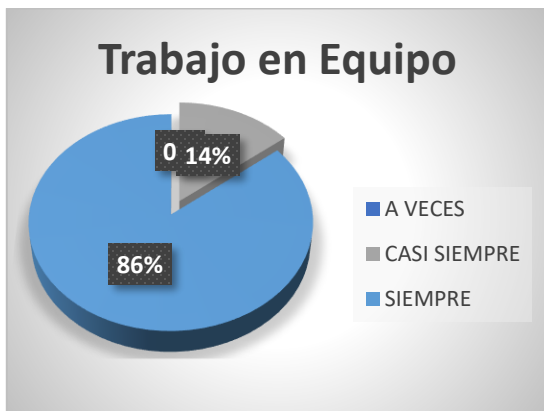


Según los porcentajes los líderes deben trabajar un poco más en este aspecto, debido a que ellos deben inspirar a su equipo de trabajo, retar a trabajar por objetivos y siempre avanzar, su principal misión es que los demás busquen alcanzarlo y si es posible superarlo; un líder no tiene miedo a su competencia, al contrario, trata de mejorar constantemente.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°31:** Me gusta trabajar en equipo...

**Ilustración 48** Trabajo en equipo



Por medio de los resultados es importante tomar conciencia del trabajo en equipo debido a que este facilita el cumplimiento de objetivos, incrementa la motivación y la creatividad, y favorece las habilidades sociales de cada uno. Es importante destacar que el trabajo en equipo es una capacidad altamente valorada en el mercado laboral, y es una de las características más demandadas por

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°32:** Me siento cómodos con sus pares y superiores...

**Ilustración 49** Comodidad con pares y superiores

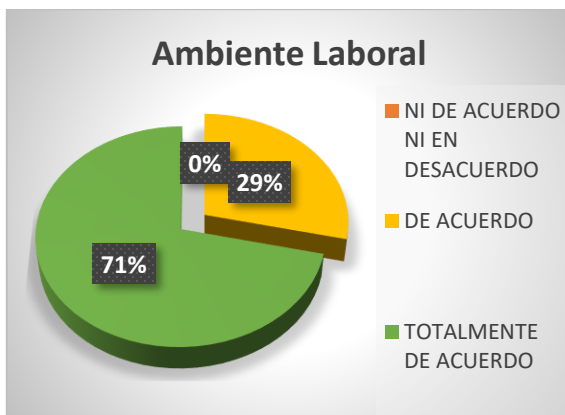


Está dividida la opinión con respecto a la comodidad completa con pares y superiores, se debe trabajar en este aspecto porque se ha vuelto muy importante empoderar el buen ambiente laboral para así mejorar la productividad y promover la sana relación entre las partes de una organización ya que permite a los empleados ser más rápidos y efectivos en su trabajo.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°33:** El ambiente de trabajo me permite desenvolverme de forma adecuada...

**Ilustración 50** Ambiente laboral



Es importante mantener un ambiente laboral sano debido ayuda en el desarrollo profesional, individual y grupal. Ayuda a potenciar la innovación y la creatividad. Disminuye el estrés, lo cual es bueno para la salud de los trabajadores de la organización y reduce los niveles de rotación de trabajadores.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°34:** Planificamos el mantenimiento operacional con antelación y de acuerdo a las necesidades...

**Ilustración 51** Planificación del Mantenimiento operacional

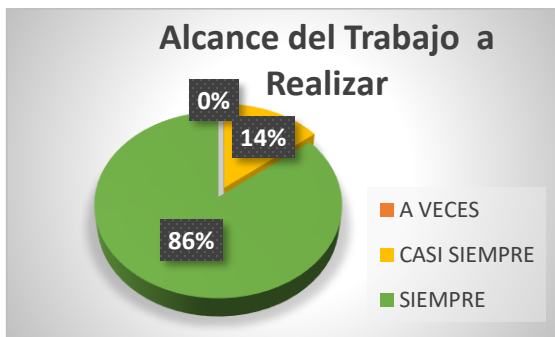


La planificación de mantenimiento operacional se debe implementar de manera continua porque aporta a la seguridad, asegura la continuidad de la producción y la minimización del tiempo de inactividad, aumenta la eficiencia energética, optimiza el rendimiento de activos en uso con tal de alargar su vida útil e impulsa la eficiencia laboral.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°35:** Identificamos el alcance del trabajo a realizar (lugar, duración, elemento a intervenir) ...

**Ilustración 52** Alcance de trabajo a realizar

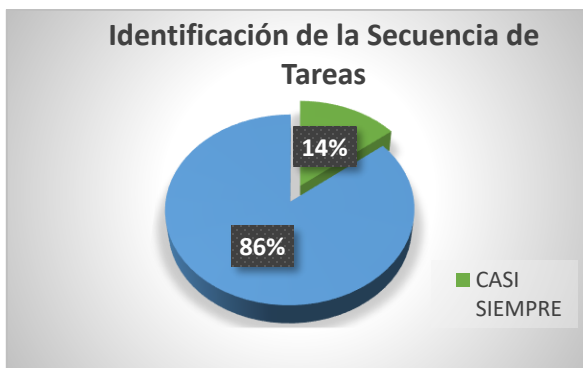


Es importante la identificación del alcance de los trabajos a realizar debido a que permite establecer límites en los proyectos y definir con precisión los objetivos, y lo que se desea lograr. Al conocer claramente el alcance del trabajo, se puede asegurar el cumplimiento de metas y objetivos sin sufrir demoras ni sobrecarga de trabajo.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°36:** Identificamos la secuencia de tareas a realizar para la ejecución del trabajo...

**Ilustración 53** Identificación de la secuencia de tareas.

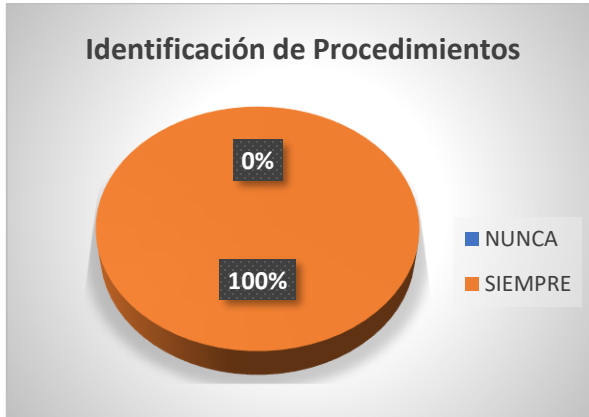


Esta identificación se debe tratar de tener en su totalidad por los involucrados en los procesos de mantenimiento, ya que es una forma efectiva de dar visibilidad a lo que se tiene que hacer a lo largo de las intervenciones, en qué orden y sin dejar nada de lado.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°37:** Identificamos los pasos para realizar cada tarea...

**Ilustración 54** Identificación de Procedimientos

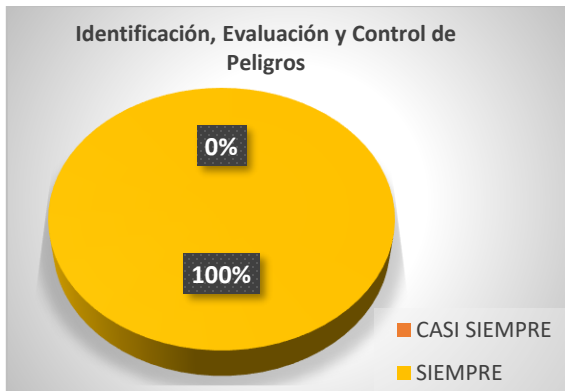


Es importante la identificación del alcance de los trabajos a realizar debido a que permite establecer límites en los proyectos y definir con precisión los objetivos, y lo que se desea lograr. Al conocer claramente el alcance del trabajo, se puede asegurar el cumplimiento de metas y objetivos sin sufrir demoras ni sobrecarga de trabajo.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°38:** Identificamos, evaluamos y controlamos los peligros asociados a cada intervención que debemos realizar.

**Ilustración 55** Identificación, evaluación y control de peligros

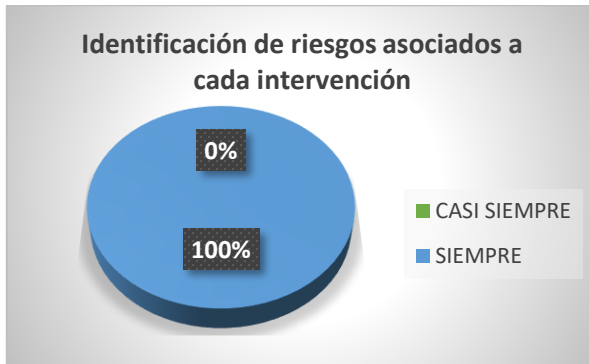


Esto brinda un ambiente de seguridad y confiabilidad en las labores porque hace parte del desarrollo empresarial y el posicionamiento de la empresa a nivel regional como una compañía altamente competitiva, que proporciona a la comunidad productos de una gran importancia enfocados en el cuidado del talento humano de la organización.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°39:** Identificamos los riesgos asociados a cada intervención que debemos realizar...

**Ilustración 56** identificación de riesgos



En este ítem podemos ver un indicador muy importante debido a que ayuda a las personas en la toma de decisiones y a los directivos a entender la gestión de riesgos y cómo pueden afectar a la consecución de sus objetivos, y a la capacidad de eficiencia de los controles ya implantados.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°40:** Establecemos las medidas necesarias para mitigar o eliminar los riesgos asociados a cada intervención que debemos realizar...

**Ilustración 57** Medidas para mitigar y eliminar riesgos

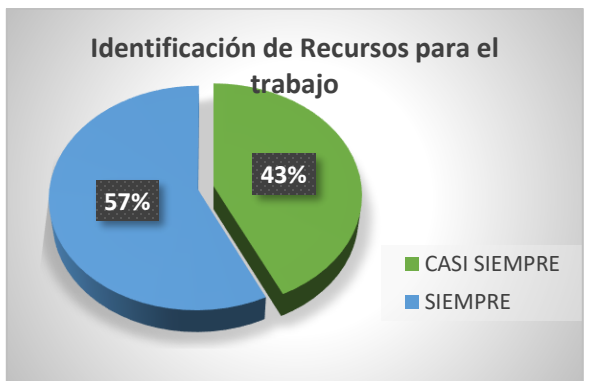


Es necesario trabajar para que ese porcentaje minoritario conozca y establezca medidas de reducción de riesgos debido a que ayuda a mejorar las condiciones laborales, a reducir la siniestralidad y promover la salud de los trabajadores y el buen funcionamiento de maquinaria y equipo en general.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°41:** Identificamos los recursos necesarios para realizar el trabajo...

**Ilustración 58** identificación de recursos para el trabajo



Según los porcentajes, la empresa debe esforzarse en este aspecto debido a que son los distintos elementos que intervienen en la cadena productiva. Su identificación es indispensable para garantizar la obtención de un producto, para garantizar el correcto cumplimiento del circuito económico de la empresa.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°42:** Establecemos roles y responsabilidades para el trabajo a realizar. Cada miembro conoce sus funciones...

**Ilustración 59** Roles y responsabilidades de cada tarea

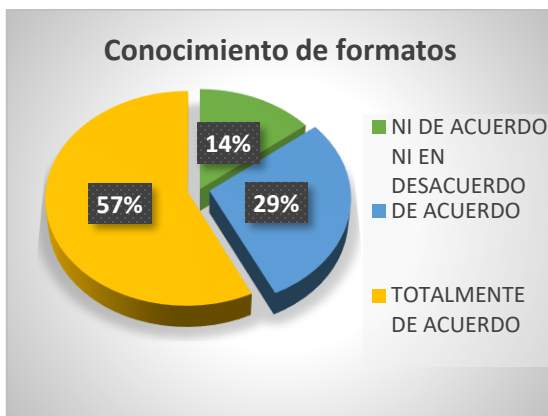


Es un indicador de que hay falencias en este aspecto y se debe mejorar debido a que esto permite a los miembros de un equipo tener una mejor idea de quiénes están trabajando en tareas estrechamente relacionadas, ayuda a visualizar ver qué miembro está completando la asignación y pedir opiniones o hacer consultas si es necesario.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°43:** Conozco los formatos establecidos para el seguimiento de cada trabajo a realizar...

**Ilustración 60** Conocimiento de formatos



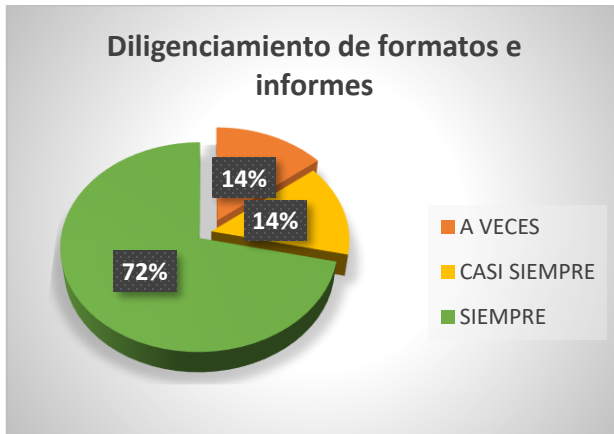
Según los resultados es necesario implementar estrategias de conocimiento para todos los individuos de la organización debido a que si se conoce a profundidad se puede definir canales de control para la documentación y ayuda en el objetivo de mejorar la eficacia y efectividad de un proyecto y la organización en general.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°44:** Diligencio debidamente los formatos e informes establecidos para el seguimiento de cada trabajo a realizar...



**Ilustración 61** Diligenciamiento de formatos e informes



Al analizar previamente los resultados se infiere la necesidad del diligenciamiento de informes debido a que estos han sido desarrollados para que se pueda tener todos los datos recopilados de una forma sencilla y funcional, y que los problemas se perciban con mayor facilidad, de manera que se puedan resolver con anticipación o analizar si será necesario adoptar medidas adicionales.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°45:** Me da pereza diligenciar formatos e informes de los trabajos...

**Ilustración 62** Pereza en diligenciamiento



Se debe concientizar a los trabajadores de la importancia del diligenciamiento de los informes de trabajo ya que, podemos contar con información variada, que nos muestra de manera detallada y la podemos utilizar como herramienta para conocer todo lo que necesitamos saber de la empresa, en cuanto a mantenimiento y otros aspectos importantes.

Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

- **Pregunta n°46:** Comparta una corta opinión sobre la gestión del mantenimiento en Gerdau Diaco...

Con base en las respuestas de los encuestados y como complemento de un análisis estadístico mixto, se realiza una proyección de frecuencia de palabras evidenciadas en las respuestas de los encuestados, y por lo cual se desarrolló una nube de palabras, identificando lo que más se repite o recalca por parte de los encuestados de la empresa Gerdau Diaco y así concluir la visión que ellos tienen para detectar aciertos y fallas en el la gestión de mantenimiento.



**Ilustración 63** Nube de ideas- Encuesta diagnóstica de Cultura y Gestión



Fuente: Encuesta Diagnostica Gerdau Diaco- Subestación 115kV/13,2-13,8kV

Con este medio de recolección y análisis de información se puede ver claramente que los agentes que intervienen a diario en el mantenimiento y demás funciones en Gerdau Diaco se han formado una imagen de que la ejecución del mantenimiento permite alcanzar un mayor grado de confiabilidad en los equipos, máquinas, construcciones civiles, instalaciones, entre otras. También vemos un enfoque claro en cuanto a la seguridad, vemos que se enfocan en decir que lo realizan para minimizar la peligrosidad, de la que hablamos constantemente en los trabajos de mantenimiento y se vuelve un pilar primordial para llevar a cabo unas medidas básicas de prevención de riesgos.

Ellos se refieren también a la importancia de mantener hábitos de mantenimiento los cuales expresan que no son complicados de seguirlos, pero muchas veces hay indiferencia al respecto. La mayoría reconoció que hay una planificación y programación eficiente y efectiva del mantenimiento lo cual es importante porque este es uno de esos procesos fundamentales que pueden ayudar a asegurar la fiabilidad de los equipos y ayudar a alcanzar la excelencia operativa.

### **9.2.2 Análisis de resultados de Encuesta diagnóstica bajo método de caracterización**

Para realizar este diagnóstico, se implementó un instrumento de medición que evalúa los aspectos nombrados y sugeridos por la norma de PDVSA: MM-01-01-00 “Modelo de Gerencia de Mantenimiento” y se toma como base en la formulación de la metodología para auditar la gestión de mantenimiento, diseñada por Vásquez (2011),<sup>13</sup> la cual se apoya en el formato de la Norma COVENIN 2500-93 “Manual para Evaluar los Sistemas de Mantenimiento en la Industria”.

Se debe realizar una ponderación de los deméritos al igual que la de cada principio básico presente en la cultura de mantenimiento en Gerdau Diaco, principalmente en la subestación 115kV/13,2-13,8kV, la cual analiza la experiencia de quienes interactúan constantemente en ella y califica su conocimiento de actividades y hábitos de mantenimiento presentes allí. Para verificar el cumplimiento de la norma PDVSA<sup>13</sup>, este instrumento evalúa la gestión de mantenimiento enfocada en tres niveles, estratégico, táctico y operativo, donde se distribuyen los factores o variables de Mantenimiento Clase Mundial. Es decir que mediante este instrumento podemos determinar un valor porcentual que mide la gestión de mantenimiento basada en la explicación realizada en la metodología de implementación del sistema de gestión de Mantenimiento.

Se muestra un consolidado generado mediante la utilización de este instrumento reflejando las variables de la encuesta de caracterización cultura y gestión del mantenimiento en GERDAU DIACO, denotando los porcentajes de recolección, luego de realizar análisis de cada pregunta otorgándole un valor determinado a cada respuesta y realizando las correspondientes ponderaciones donde se interpreta la situación actual en los términos de los subgrupos para concluir sobre los pilares los cuales son necesarios para el reconocimiento del nivel en el cual se encuentra la empresa. A continuación, veremos una matriz de acuerdo al análisis probabilístico evidenciando la forma como se manejó la evaluación pregunta a pregunta.

**Tabla 65** Matriz de Evaluación

Matriz de Evaluación				
SEVERIDAD	VALOR	OCURRENCIA	DETENCION	VALOR
Totalmente de acuerdo	5.0	Alta	Siempre	5
De Acuerdo	2.5	Moderada	Casi Siempre	2.5
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	2	Pequeña	A veces	2
En desacuerdo	1	Muy Pequeña	Casi nunca	1
Totalmente en desacuerdo	0	Remota	Nunca	0

Fuente: Creación Propia

**Ilustración 64** Porción de Diagnostico de gestión (anexo N°4)-Encuesta diagnóstica

INSTRUMENTO DE MEDICIÓN (BASADA EN LA NORMA PDVSA MM-01-01-00 Y COVENIN 2500-93)			Valor Estadístico de cada Respuesta					PONI		
INSTRUMENTO DE CARACTERIZACIÓN CULTURA Y GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO GERAU DIACO			1	2	3	4	5			
FILOSOFIA DE LA GESTION	MISION, POLITICAS Y OBJETIVOS	Se tiene una misión orientada a la gestión del mantenimiento dentro de la empresa	1	0	0	3	3	1	0	
		Existe un conjunto de valores claro que rigen la forma en que nos conducimos	0	0	0	3	4	0	0	
		Las personas de las diferentes áreas de la organización tienen una perspectiva en común	0	0	0	7	0	0	0	
		La forma que tenemos de hacer las cosas es flexible y fácil de cambiar	0	0	0	6	1	0	0	
		Comparamos frecuentemente nuestro progreso con los objetivos fijados	0	0	1	5	1	0	0	
		La dirección nos conduce hacia los objetivos que tratamos de alcanzar	0	0	0	3	4	0	0	
	ROLES Y RESPONSABILIDADES		Los líderes y directivos practican lo que pregonan	0	0	0	4	3	0	0
			Conozco el rol y las responsabilidades asociadas a mi cargo	1	0	0	2	4	1	0
			Tengo autonomía para decidir si realizo o no una determinada tarea	1	0	0	4	2	1	0
			Tengo la confianza de mis pares y superiores para desarrollar una determinada	0	0	0	4	3	0	0
DINAMICA ORGANIZACIONAL	SISTEMA DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN	Cada persona entiende la relación entre su trabajo y los objetivos de la organización	0	0	0	1	6	0	0	
		Tengo conocimiento de las tareas que se tienen programadas durante el mes, conozco mi responsabilidad y lo que tengo que hacer	0	0	0	4	3	0	0	
		Tengo la información detallada de la tarea que voy a realizar	0	0	0	4	3	0	0	
		Si necesito información adicional sobre una determinada tarea, sé dónde conseguirla	0	0	0	6	1	0	0	
		Recibo capacitación sobre los nuevos equipos y actualización sobre manejo de los existentes	0	0	2	2	3	0	0	
		Recibo capacitación sobre maniobras y protocolos de las intervenciones que voy a realizar	0	0	1	3	3	0	0	
		La planificación de nuestro trabajo es continua e implica a todo el grupo	0	0	0	1	6	0	0	
		Mi superior escucha mis opiniones y las tiene en cuenta a la hora de tomar decisiones	0	0	0	4	3	0	0	
		Cuando existen desacuerdos, trabajamos intensamente para encontrar soluciones donde todos ganen	0	0	0	2	5	0	0	
		Es sencillo coordinar proyectos entre las diferentes áreas de la organización	0	1	2	4	0	0	2	
DINAMICA ORGANIZACIONAL	SISTEMA DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN	Las diferentes áreas de la empresa cooperan a menudo para introducir cambios	0	0	0	6	1	0	0	
		Mi superior mantiene una comunicación constante con el grupo de trabajo	0	0	0	1	6	0	0	

Fuente: Creación Propia

Esta encuesta se realizó a personal de la empresa, los cuales laboran allí y son agentes activos del mantenimiento de la subestación y quienes se desempeñan en cargos de tipo Administrativo y Operativo, siendo los directamente involucrados en que día a día se realice un mantenimiento estructurado y con beneficios en las máquinas y equipos relacionados con las actividades diarias.

**Tabla 66** Diagnostico de gestión- Porcentajes de Madurez Mantto Subestación

INSTRUMENTO DE MEDICIÓN (BAGADA EN LA NORMA PDVSA MM-01-01-00 Y GOVERN 2500-33)	Valor Estadístico de cada Respuesta					PONDÉRADOS	TOTALES	(% Madurez por Pregunta	% por Subgrupo	% por Pilares	% TOTAL
	1	2	3	4	5						
<b>INSTRUMENTO DE CARACTERIZACIÓN CULTURA Y GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO GRANU DIACO</b>  <b>VISION, POLITICAS Y OBJETIVOS</b>  <b>ROLES Y RESPONSABILIDADES</b>  <b>SISTEMA DE INFORMACION Y COMUNICACION</b>  <b>DINAMICA ORGANIZACIONAL</b>	Se tiene una misión orientada a la gestión del mantenimiento dentro de la empresa	1	0	0	3	4	0	0	0	7.5	15
	Existe un conjunto de valores claro que rigen la forma en que nos conducimos	0	0	0	3	4	0	0	0	7.5	20
	Las personas de las diferentes áreas de la organización tienen una perspectiva en común	0	0	0	7	0	0	0	0	17.5	0
	La forma que tenemos de hacer las cosas es flexible y fácil de cambiar	0	0	0	6	1	0	0	0	15	5
	Comparamos frecuentemente nuestro progreso con los objetivos fijados	0	0	1	5	1	0	0	2	12.5	5
	La dirección nos conduce hacia los objetivos que tratamos de alcanzar	0	0	0	3	4	0	0	0	7.5	20
	Los líderes y directivos practican lo que promueven	0	0	0	4	3	0	0	0	10	15
	Conozco el rol y las responsabilidades asociadas a mi cargo	1	0	0	2	4	0	0	0	5	20
	Tengo autonomía para decidir si realizo o no una determinada tarea	1	0	0	4	2	0	0	0	10	10
	Tengo la confianza de mis pares y superiores para desarrollar una determinada tarea	0	0	0	4	3	0	0	0	10	15
<b>PLANIFICACION, IDENTIFICACION, ROLES, DILIGENCIAMIENTO DE FORMATOS, LECCIONES APRENDIDAS</b>	Cada persona entiende la relación entre su trabajo y los objetivos de la organización	0	0	0	1	6	0	0	0	2.5	30
	Tengo conocimiento de las tareas que se tienen programadas durante el mes, conozco mi responsabilidad y lo que tengo que hacer	0	0	0	4	3	0	0	0	10	15
	Tengo la información detallada de la tarea que voy a realizar	0	0	0	4	3	0	0	0	10	15
	Si necesito información adicional sobre una determinada tarea, sé dónde conseguirla	0	0	0	6	1	0	0	0	15	5
	Recibo capacitación sobre los nuevos equipos y actualización sobre manejo de los existentes	0	0	2	2	3	0	0	4	5	15
	Recibo capacitación sobre maniobras y protocolos de las intervenciones que voy a realizar	0	0	1	3	3	0	0	2	7.5	15
	La planificación de nuestro trabajo es continua e implica a todo el grupo	0	0	0	1	6	0	0	0	2.5	30
	Mi superior escucha mis opiniones y las tiene en cuenta a la hora de tomar decisiones	0	0	0	4	3	0	0	0	10	15
	Cuando existen desacuerdos, trabajamos intensamente para encontrar soluciones donde todos ganen	0	0	0	2	5	0	0	0	5	25
	Es sencillo coordinar proyectos entre las diferentes áreas de la organización	0	1	2	4	0	0	1	4	10	0
<b>AUTONOMIA, AUTONOMIA Y CONFIANZA</b>  <b>TRABAJO EN EQUIPO</b> <b>CUMPA</b>	Mi superior mantiene una comunicación constante con el grupo de trabajo	0	0	0	6	1	0	0	0	15	5
	Las decisiones con mayor frecuencia se toman en el nivel que dispone de la mayor información	0	0	0	4	3	0	0	0	10	15
	Mantengo buena disposición para realizar las tareas que me fueron asignadas	0	0	0	3	4	0	0	0	7.5	20
	Cada miembro cree que puede tener un impacto positivo en el grupo	0	0	0	2	5	0	0	0	5	25
	La autoridad se delega de modo que las personas puedan actuar por sí mismas	0	0	0	4	3	0	0	0	10	15
	A menudo surgen problemas porque no disponemos de las habilidades para realizar el trabajo	0	0	1	6	0	0	0	2	15	0
	Me siento cómodo con mis pares y superiores	0	0	0	4	3	0	0	0	10	15
	Me gusta trabajar en equipo	0	0	0	1	6	0	0	0	2.5	30
	El ambiente de trabajo me permite desarrollarme de forma adecuada	0	0	0	2	5	0	0	0	5	25
	Planificamos el mantenimiento operacional con antelación	0	0	0	2	5	0	0	0	5	25
<b>GESTIÓN DEL MANTTO</b>	Identificamos el alcance del trabajo a realizar (afijar, duración, elemento a intervenir)	0	0	0	1	6	0	0	0	2.5	30
	Identificamos la secuencia de tareas a realizar para la ejecución del trabajo	0	0	0	1	6	0	0	0	2.5	30
	Identificamos los pasos para realizar cada tarea	0	0	0	1	6	0	0	0	2.5	30
	Identificamos los peligros asociados a cada intervención que debemos realizar	0	0	0	0	7	0	0	0	0	35
	Identificamos, evaluamos y controlamos los riesgos asociados a cada intervención que debemos realizar	0	0	0	0	7	0	0	0	0	35
	Establecemos las medidas necesarias para mitigar o eliminar los riesgos asociados a cada intervención que debemos realizar	0	0	0	1	6	0	0	0	2.5	30
	Identificamos los recursos necesarios para realizar el trabajo	0	0	0	3	4	0	0	0	7.5	20
	Establecemos roles y responsabilidades para el trabajo a realizar. Cada miembro conoce sus funciones.	0	0	1	2	4	0	0	2	5	20
	Conozco los formatos establecidos para el seguimiento de cada trabajo a realizar	0	0	1	2	4	0	0	2	5	20
	Diligencio debidamente los formatos e informes establecidos para el seguimiento de cada trabajo a realizar	0	0	1	1	5	0	0	2	2.5	25
<b>TRABAJO EN EQUIPO</b> <b>CUMPA</b>	Me da prisa diligenciar formatos e informes de los trabajos	0	1	1	0	3	0	1	2	0	25
	Al terminar un trabajo debatimos sobre los sucesos y compartimos las lecciones aprendidas	0	1	1	1	4	0	1	2	2.5	20
		0	1	1	1	4	0	1	2	2.5	20

Fuente: Creación Propia

Podemos ver el resultado de elemento estadístico de caracterización el cual nos indica que la Gestión de Mantenimiento para la subestación está en un 76% aportándonos así el Índice de medición de la Gestión de Mantenimiento, el cual se mide de acuerdo a una estimación de un nivel dentro de una escala entre 0 y 100, (escala Villamizar<sup>14</sup>) y la cual nos ayuda a determinar los criterios que se le aplican de manera evaluativa.

Dentro de esos criterios y bajo el porcentaje obtenido podemos ver que en el área de mantenimiento eléctrico de la subestación existe una Gestión de Mantenimiento básica, por encima del promedio, clasificada en etapa de **ENTENDIMIENTO** por lo cual es importante reforzar y mejorar prácticas de Mantenimiento, para llegar a ser un mantenimiento de Clase Mundial.

Como parte de análisis de la encuesta se incluyeron algunos índices para determinar el estado del área de mantenimiento, de cómo podemos mejorarla para llegar a una gestión de mantenimiento que pueda estar clasificada en un nivel más alto como el de competencia y porque no llegar al índice de excelencia.

Los índices se encuentran a continuación:

- **Índice Satisfacción:** podemos ver que la actitud del trabajador frente a su propio trabajo puede mejorar, allí es donde debemos trabajar incansablemente para que los empleados lleguen con la mejor actitud al trabajo con conciencia y proactividad al desarrollar sus labores, luego del análisis detallado de las respuestas de los empleados y en bases estadísticas podemos inferir que ellos se sienten a gusto con su empleo, pero es necesario un poco más de motivación para que la empresa cumpla con los más altos estándares de calidad, por medio de una cultura de mantenimiento.
- **Índice Compromiso:** se evidencia por los métodos estadísticos usados que los individuos de la organización en su mayoría responden a la calidad del vínculo en la relación empleado-empresa, también a la voluntad de permanencia donde ellos expresan su sentido de pertenencia con la organización (conexión más que laboral con la empresa); es relevante trabajar constantemente en la motivación del personal, empoderándolos para la obtención de un esfuerzo mayor y para aumentar la productividad, esperando así que esta sea mayor a lo esperado normalmente.

- **Índice de Clima:** los aspectos más importantes a evaluar son:
  1. *Procesos de trabajo:* La capacidad del trabajo en equipo y cooperación están en un buen nivel, pero aun así puede mejorar para que el mantenimiento de la empresa y en particular la de la Subestación 115kV/13,2-13,8kV sea el adecuado. Es importante realizar análisis enfático a las Condiciones de trabajo (ambiente físico y recursos), para la contribución de todos y cada uno de los miembros de la Organización de trabajo, incluyendo dentro de sus funciones oficiales y extraoficiales la innovación, la calidad y el enfoque al mejoramiento continuo.
  2. *La gente:* Se hace necesaria una concientización del personal hacia una cultura del mantenimiento y la seguridad, mediante Capacitación como que se realiza de manera práctica y de manera teórica como las aplicadas complementariamente al sistema de gestión de mantenimiento que se implementará para la subestación, denotando que este contribuirá con el desarrollo y los procesos de calidad de la empresa, generando así mejores hábitos en los empleados, y concentrando esfuerzos en cuanto al trato respetuoso entre pares y superiores.
  3. *Liderazgo:* Implícitamente es de gran importancia que los superiores cuenten con unas capacidades mínimas para el cumplimiento de las metas propuestas por la empresa, aquellas personas deben contar con liderazgo en cuanto a la dirección de tareas en aspectos institucionales y de comunicación; debe manejar la información y expresarla de manera clara utilizando las herramientas que crea conveniente para lograr sus propósitos dentro de su rol como líder ya sea medios visuales, imagen institucional, responsabilidad empresarial, principios éticos, entre muchos otros aspectos.
  4. *Poder de decisión:* Se recomienda que el nivel de participación de los integrantes sea más grupal, tomando en cuenta las recomendaciones de cada ente que interfiera directamente en los procesos de la subestación y en GERDAU DIACO, definiendo así plazos de las decisiones, todo esto contribuyendo con la creación de una capacidad valiosa de la empresa como lo es la adaptabilidad al cambio.
  5. *Recompensas:* Para llegar a buen término de los aspectos anteriores se hace necesario la creación o la sostenibilidad en el caso de que ya existan compensaciones a los trabajadores por su buen desempeño, con beneficios directos o indirectos como el caso del reconocimiento por

desempeño; es necesario un enfoque hacia el mejoramiento del índice de Seguridad e higiene, respondiendo a las respectivas condiciones laborales y ambientales atendiendo las normas vigentes para el desarrollo empresarial.

### **9.3 Resultados de las capacitaciones teóricas**

Las capacitaciones teóricas fueron muy bien recibidas por los colaboradores de Gerdau Diaco. En las dos sesiones realizadas, se evidenciaron comentarios positivos a las presentaciones, apropiamiento y empoderamiento de los conocimientos tratados.

Los resultados que se producen en este tipo de sesiones pueden variar favorablemente hacia la productividad, la acción, la cooperación, o también la actitud de los empleados que generará que los resultados sean más favorables laboral y personalmente.

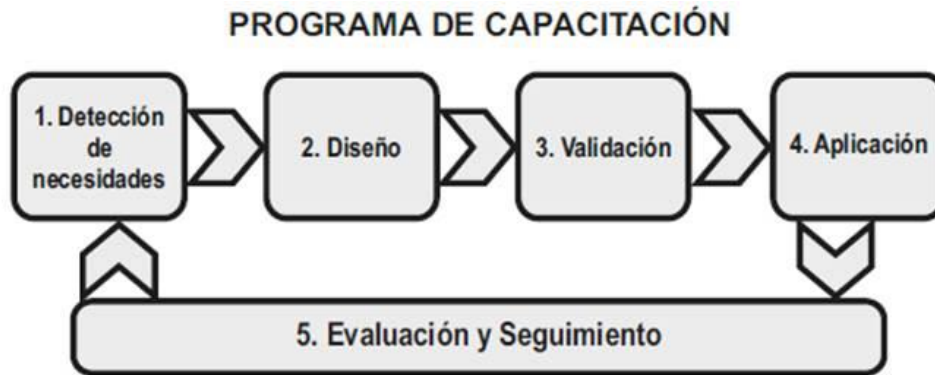
Este tipo capacitaciones contribuyen con la administración de recursos humanos, presenta retos constantes, que hace que los profesionales a cargo de éstas áreas comprendan de forma integral y articulada, los cambios en los perfiles de colaboración y coordinación , sus motivaciones internas y externas, así como los cambios de visión del mantenimiento , a fin de poder establecer planes de compensación más ajustados a las realidades organizacionales y a las realidades del entorno laboral, con el fin de atraer y retener verdaderos talentos personales, muy alineados a los objetivos organizacionales.(Hernández<sup>28</sup>).

---

<sup>28</sup> HERNÁNDEZ, D. M. [Artículo]*Diseño de un programa de capacitación para la formación profesional de técnicos en mto industrial en las áreas eléctrica y mecánica, basado en competencias laborales.* (2005). Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala



**Ilustración 65** Programa de Capacitación



Fuente: Márquez <sup>1</sup>

En gran medida estos instrumentos de capacitación implican que el área de gestión humana tenga una clara administración de sus procesos y facilite la articulación de los mismos, en este sentido, se sugiere realizar una planeación estratégica para administrar los recursos humanos, que haga parte del plan general de la compañía, pues sólo así será posible evidenciar los resultados de los procesos planteados por GERDAU DIACO y en este caso en particular para el proceso de mantenimiento exitoso de la subestación 115kV/13,2-13,8kV.

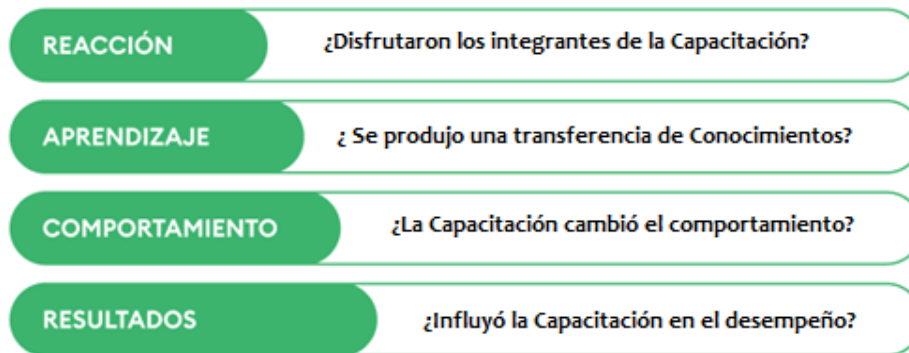
De las capacitaciones teóricas realizadas podemos deducir que ayudan con la hipótesis planteada inicialmente, donde enmarcamos que la atención en una adecuada administración y gestión, cuenta con beneficios e influye de manera positiva en diferentes procesos liderados, desde el área de gestión humana, en este caso direccionada al área de mantenimiento, que a mediano y largo plazo presentara repercusiones positivas en los procesos productivos e interpersonales de la empresa.

#### **9.4 Resultados de las capacitaciones prácticas**

Las capacitaciones prácticas son un instrumento valioso dentro del mantenimiento y en este caso aplicado a GERDAU DIACO y en especial a la subestación 115kV/13,2-13,8kV, debido que estas se practicaron con el fin de combatir malas prácticas, para cambiar los viejos paradigmas, para mejorar procedimientos en general de mantenimiento, para incrementar la eficiencia del personal a cargo de estas funciones, para mejorar la seguridad, y así contribuir para facilitar el trabajo en grupo. La formación de personal debe garantizar resultados de corto plazo y planes de sustentabilidad en el tiempo.



### **Ilustración 66** Impacto de capacitación Práctica



*Fuente: Elaboración Propia*

El programa de capacitación técnica que se efectuó de manera práctica, está estructurado para finalidades específicas, con el fin de cumplimiento de objetivos funcionales que intervengan directamente en el mejoramiento de cultura de mantenimiento y mejora continua en la empresa. Las finalidades son:

- Tomar y considerar todas las opiniones y recomendaciones de todos los niveles de la organización.
- Fomentar el mejoramiento continuo de procedimientos, uso de herramientas y equipos.
- Reforzar las áreas de liderazgo, gerencia y motivación.
- Evaluar metodológicamente al ente de capacitación.
- Evaluar la efectividad de la capacitación analizando de qué manera impacta la planta.
- Definirse en función de las necesidades y objetivos de la organización.
- Establecer mecanismos de recompensas basados en cumplimiento de metas proactivas.
- Estudiar los estándares y su aplicabilidad en la planta.
- Garantizar los recursos y el tiempo para aplicar el conocimiento.
- Crear responsabilidad y compromiso en todos los niveles.
- Considerar las capacidades del personal.
- Crear mecanismos de multiplicación del conocimiento en programas internos de capacitación.<sup>29</sup>

Es necesario destacar que las capacitaciones son herramientas que, con el tiempo, han sido mayormente implementadas pues los resultados obtenidos son estratégicos y verídicos para el bienestar de la organización. Al mismo tiempo, gracias a los cambios estructurales del sector laboral antes mencionados, las

<sup>29</sup> TROCEL, D. (01 de 01 de 2021). [En Línea] *¿Cuál es el objetivo de la capacitación para el mantenimiento?* Obtenido de GTS CONFIABILIDAD.(2014).<https://esp.reliabilityconnect.com/cual-es-el-objetivo-de-la-capacitacion-para-el-mantenimiento/>.

capacitaciones se han convertido no solo en una estrategia, sino en una necesidad para alcanzar un buen posicionamiento empresarial, debido a esto se implementó este instrumento para la mejora continua de GERDAU DIACO y sus procesos de mantenimiento propios de la empresa y de procesos específicos de la misma.

En el sector mantenimiento, el aprendizaje es vital para quienes lo desarrollan ya que se trabaja para el buen estado de la maquinaria industrial y dispositivos útiles para el trabajo productivo en la empresa. Dado que esta área profesional está fuertemente vinculada con sectores como el industrial y el productivo, es necesario que los trabajadores también estén al tanto de lo que sucede en ese ámbito como de lo nuevo, dificultoso y complejo de la maquinaria y de los procesos que se presentan en él.

Al mismo tiempo, en el área de mantenimiento es indispensable que exista un proceso de capacitación porque solo de esa forma los trabajadores podrán obtener la mayor cantidad de beneficios en la ejecución de sus labores cotidianas, contribuyendo así al desarrollo empresarial.

Si bien en este documento y en este proceso de gestión, se puntualiza el mantenimiento como base primordial de mejora continua, ello es válido para el reto de las áreas, teniendo siempre en perspectiva el futuro deseado, el entorno competitivo existente y las cadenas de valores en las que se está inmerso, que no ha de ser otro que el de lograr puestos cimeros dentro de las organizaciones para ser más competitivos y con una mejora en la producción y en la calidad de sus productos.<sup>29</sup>

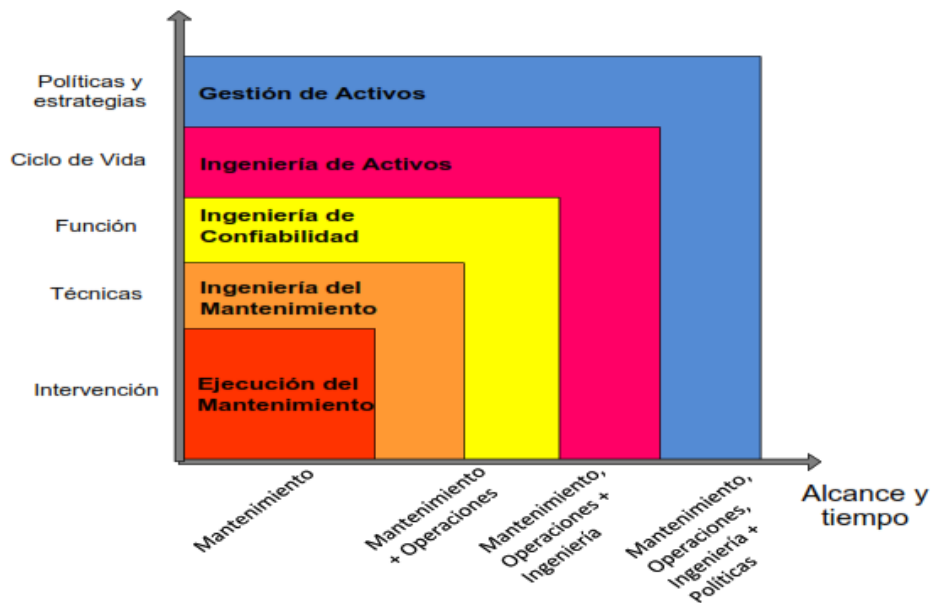
## 10 ESTRATEGIA PARA IMPLEMENTACION DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE LA SUBESTACIÓN

### 10.1 Evolución Necesaria para la gestión de Activos

Cuando se habla de la Gestión de activos es indispensable conocer el proceso que debe seguir la empresa para llegar hasta allí, en el caso de Gerdau Diaco se puede hablar de la necesidad de comprender la evolución del mantenimiento ligado a las políticas y estrategias de mejoramiento continuo. <sup>1</sup>

Para contextualizar más estas palabras se presenta la ilustración 67 donde nos indica la evolución seguida por la Gestión de activos, que comienza en un primer momento con la ejecución del mantenimiento, pasando posteriormente a la ingeniería del mantenimiento, luego este último término se intercambia para formar una nueva etapa llamada ingeniería de confiabilidad, que luego se define como ingeniería de activos, la cual ya por último se define como Gestión de activos.

**Ilustración 67** Evolución de la Gestión de Activos



Fuente: Márquez <sup>1</sup>

## 10.2 Beneficios de la gestión de Activos

En la empresa GERDAU DIACO se requiere la implementación de un sistema de Gestión de activos, porque esta traería como principal beneficio la reducción de los costos, ya que al garantizar que los activos estén siempre disponibles para la actividad empresarial se reducen los tiempos muertos por maquinaria defectuosa, paradas de planta no planificada, accidentes e incidentes, se reduce el stock de repuestos, se reducen las horas extras del personal de producción y mantenimiento, se reducen los costos de materia prima; es decir se eliminan los desperdicios originados por la falta de disponibilidad de los activos productivos.

Implementar un sistema de Gestión de activos provee beneficios a la organización que ayudan a lograr el cumplimiento del plan estratégico organizacional y a satisfacer las expectativas de todas las partes interesadas. Dentro de esos beneficios encontramos:

1. Manejo optimizado de los riesgos y de funciones corporativas.
2. Mejorar en la planeación a largo plazo.
3. Elevar la satisfacción de los clientes internos y externos.
4. Habilidad para demostrar que el desarrollo sostenible se toma en cuenta a lo largo del ciclo de vida.
5. Mejorar el ambiente organizacional.
6. Optimizar el retorno sobre la inversión y crecimiento de la organización a través del buen desempeño de sus activos.
7. Organizar la Gestión mantenimiento enfocada a prácticas de clase mundial.
8. Mejorar la imagen corporativa.
9. Planeación y programación efectiva.
10. Integración con proveedores de materiales y servicios.
11. Control de las paradas de planta.
12. Cumplimiento con la responsabilidad Social y Corporativa.
13. Mejores resultados financieros.
14. Integración de sistemas de información.

El diagnóstico de activos se basa en la información de la vida útil, las fallas, las anomalías, la confiabilidad de los equipos y la obsolescencia para apoyar el mantenimiento y el planeamiento de las inversiones. La Gestión de activos se alinea con los objetivos estratégicos empresariales en la búsqueda de los resultados cuyos objetivos abarcan la confiabilidad, la disponibilidad y la sostenibilidad de los activos.<sup>19</sup>

### 10.3 Estrategia de Gestión de Información

Se debe crear una estrategia funcional y estructurada para la correcta administración de la información que permita alcanzar un medio eficiente y eficaz que genere beneficios en las actividades empresariales, dentro de la estrategia se contemplan algunos aspectos:

- Identificar normas, reglamentos y requerimientos para el control de la información de los activos
- Tener claras las necesidades de información de activos y su sistema de gestión a lo largo de su ciclo de vida.
- Monitoreo, auditoria continua de procesos, personas, sistemas y estudios de mercados.
- Gestión cultural del cambio y evolución en la cultura de buenas prácticas de mantenimiento.

### 10.4 Batería de indicadores para Gestión de Activos

Para GERDAU DIACO destacamos la importancia que, desde el inicio, se apliquen mecanismos de control que le garanticen una gestión integral exitosa. Esto incluye la gestión de mantenimiento de sus instalaciones, maquinarias y equipos, para lo cual es necesario medir el desempeño de su gestión, y por ello se diseñan indicadores apropiados de control dicha actividad.

Como paso preliminar se definen los indicadores, estos se agrupan y se implementa una batería de los mismos para tenerlos de una forma ordenada y clara; es importante contar con un sistema de información organizado, que facilite el procesamiento rápido de la data necesaria como lo podemos ver en la Tabla siguiente:

**Tabla 67** Resumen Batería de Indicadores

BATERÍA DE INDICADORES		
CLASIFICACIÓN	INDICES APLICABLES PARA GESTIÓN DE ACTIVOS	RECOMENDACIONES GENERALES
Índices de disponibilidad	Tiempo medio entre fallas	Indicadores de mayor utilidad (pueden escogerse aquellos que sean realmente útiles, y otros se pueden adaptar)
	Mantenibilidad	
	Disponibilidad	
Índices de Mantenimiento	Cumplimiento de Planificación Predictivo	Sí la empresa no cuenta con un sistema de información
	Cumplimiento de Planificación Preventivo	

	Cumplimiento de Planificación Correctivo	automatizado, puede implantar uno manual, recomendándole para los cálculos, desarrollar aplicaciones pequeñas como las que se hacen con hojas de cálculo, tal como “Excel”.
	Retraso de Cumplimiento	
	Tiempo medio de Solución	
	Mantenimiento Programado	
	Mantenimiento Correctivo	
	Emergencias	
Índices de Seguridad y Medio Ambiente	Frecuencia de Accidentes	Se Debe tener cuidado en la selección de los indicadores, en cuanto a su cantidad y la frecuencia con que deban obtenerse, la cual debe ser menor.
	Jornadas de trabajo Perdidas	
	Frecuencia de Incidentes ambientales	
	Permanencia de residuos en la planta	
Índices de Capacitación	Porcentaje horas de Formación	
	Cumplimiento de Capacitación	

*Fuente: Elaboración Propia*

Generalmente existe una tendencia a olvidar la medición del desempeño en la gestión de mantenimiento, lo cual es un error, ya que, sin importar el tamaño y la naturaleza de cada organización, es necesario medir el resultado de los trabajos ejecutados en esta área para determinar su comportamiento y su contribución al éxito de la gestión integral del negocio. Vale recordar que “lo que no se mide no se conoce, lo que no se conoce no se administra” y lo que no se administra no podrá ser mejorado.

Luego de observar la forma de clasificación y las recomendaciones necesarias para su implementación, pasamos a definirla una a una con sus respectivas variables.

#### - Índices de Disponibilidad

$$\text{Tiempo medio entre fallas: } \mathbf{TMF} = \frac{\sum HS}{NF} = \frac{\text{Horas de trabajo satisfactorio}}{\text{Número de fallas}}$$

$$\begin{aligned} \text{Mantenibilidad (Facilidad de Mtto): } \mathbf{MN} &= \frac{\sum HR}{NF} \\ &= \frac{\text{Horas de Reparación (por cada falla)}}{\text{Número de fallas}} \end{aligned}$$

$$\text{Disponibilidad: } \mathbf{DP} = \frac{TMF}{TMF + MN}$$

- **Índices de Mantenimiento**

$$\begin{aligned} \text{Cumplimiento de Planificación : } \mathbf{ICP} &= \frac{OTR}{OTT} \\ &= \frac{N^\circ \text{ de Ordenes de Trabajo Resueltas}}{N^\circ \text{ de Ordenes de Trabajo Totales}} \end{aligned}$$

$$\text{Retraso de Cumplimiento : } \mathbf{IRC} = \frac{\sum ROT}{OT} = \frac{\sum \text{ de Retrasos Ordenes de Trabajo}}{N^\circ \text{ de Ordenes de Trabajo}}$$

$$\begin{aligned} \text{Tiempo medio de Solución : } \mathbf{TMS} &= \frac{OTR}{HM} \\ &= \frac{N^\circ \text{ de Ordenes de Trabajo Resueltas}}{N^\circ \text{ de Horas dedicadas al Mtto}} \end{aligned}$$

**Nota:** Los tres índices de Mantenimiento expuestos hasta el momento aplican de manera homologa a las órdenes de trabajo y a los tiempos estipulados tanto para mantenimiento Predictivo como para preventivo y correctivo.

$$\begin{aligned} \text{Indice de Mtto programado : } \mathbf{IMP} &= \frac{HMP}{HM} \\ &= \frac{N^\circ \text{ Horas dedicadas al Mtto Preventivo}}{N^\circ \text{ de Horas dedicadas al Mtto}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Indice de Mtto Correctivo : } \mathbf{IMC} &= \frac{HMC}{HM} \\ &= \frac{N^\circ \text{ Horas dedicadas al Mtto Correctivo}}{N^\circ \text{ de Horas dedicadas al Mtto}} \end{aligned}$$

$$\text{Indice de Emergencias: } \mathbf{IE} = \frac{HOP}{HM} = \frac{N^\circ \text{ de Horas en O.T de Prioridad Máxima}}{N^\circ \text{ de Horas dedicadas al Mtto}}$$

- **Índices de Seguridad y Medio Ambiente**

$$\text{Frecuencia de Accidentes : } \mathbf{IFA} = \frac{NA}{HT} = \frac{N^{\circ} \text{ de accidentes}}{N^{\circ} \text{ de Horas trabajadas}}$$

$$\text{Jornadas de trabajo perdidas : } \mathbf{IPJ} = \frac{NA}{HT} = \frac{N^{\circ} \text{ Horas perdidas}}{N^{\circ} \text{ de Horas trabajadas}}$$

$$\begin{aligned} \text{Frecuencia de Incidentes Ambientales : } \mathbf{IIA} &= \frac{NA}{HT} \\ &= \frac{N^{\circ} \text{ Incidentes Ambientales}}{N^{\circ} \text{ de Horas trabajadas}} \end{aligned}$$

*Tiempo medio de permanencia de Residuos en la planta o lugar de Trabajo:*

$$\begin{aligned} \mathbf{IRS} &= \frac{TRS}{HTS} \\ &= \frac{\text{Tiempo de residuos en la planta o lugar de trabajo desde que se generó}}{N^{\circ} \text{ de Horas trabajadas (en la semana)}} \end{aligned}$$

- **Índices de Capacitación del Personal**

$$\text{Indicador de Formacion : } \mathbf{IHF} = \frac{HF}{HM} = \frac{N^{\circ} \text{ Hora de Formación (Capacitación)}}{N^{\circ} \text{ de Horas dedicadas al Mtto}}$$

$$\text{Cumplimiento de Capacitación: } \mathbf{ICC} = \frac{HF}{HM} = \frac{N^{\circ} \text{ Hora de Formación Recibida}}{N^{\circ} \text{ Horas de Formación Programada}}$$

El principal objetivo de los indicadores, es poder evaluar el desempeño del área mediante parámetros establecidos en relación con las metas, así mismo observar la tendencia en un lapso de tiempo durante un proceso de evaluación. El modelo de valor de mercado permite a los administradores mantener vigilancia continua sobre la marcha del negocio, mediante el seguimiento de un grupo de macro indicadores (rentabilidad, competitividad, riesgo y liquidez) que a su vez dependen de varios indicadores y variables.



**Ilustración 68** Indicadores de Gestión



*Fuente: Aguirre<sup>21</sup>*

Se diseñan indicadores de gestión de las áreas anteriormente estudiadas, convirtiéndose así en una herramienta valiosa, que proporcionará delimitantes mediante formas prácticas de medición, entendiendo así que dichos indicadores partirán como base central, la cual soportará el mejoramiento en los procesos de la Subestación, partiendo de la premisa de que lo que no se mide no se puede mejorar.

Es de gran importancia considerar un estudio y análisis al proceso de adquisición de materiales, la planeación y programación de la capacidad, la medición y el control de los procesos en la subestación 115kV/13,2-13,8kV de Gerdau Diaco, para realizar propuestas que le permitan mejorar continuamente en la realización de sus actividades, por medio de la aplicación de técnicas de planeación y de herramientas de control como en este caso los indicadores.

## 11 CONCLUSIONES

- En la empresa GERDAU DIACO la producción es dependiente en gran parte del mantenimiento y está en continua optimización del uso de sus recursos, por ese motivo se realizó este documento (y anexos) entendiendo que es necesaria la implementación de planes de formación del personal los cuales actúan como mecanismos para mejorar y facilitar el trabajo en la subestación objeto de estudio, creando compromiso y responsabilidad para que los conocimientos se traduzcan en acciones concretas y beneficios a nivel organizacional y personal.
- Los instrumentos de medición para diagnosticar la gestión de mantenimiento que se utilizaron en esta estrategia para el mantenimiento de la subestación 115kV/13,2-13,8kV de Gerdau Diaco nos arrojan un Índice de 76%, lo cual ubica a la empresa en la etapa de Entendimiento, determinando que existe una Gestión de Mantenimiento Básica identificando muchas oportunidades para mejorar.
- Se aportan unas tareas, con personal y equipos necesarios para programar y/o contratar las actividades periódicas para garantizar la integridad de los activos de la subestación.
- Con los resultados de los elementos de recolección de información (encuestas-capacitaciones) hallamos un porcentaje acerca de capacitación de nuevos equipos y actualización de manejo de los mismos ,con un aproximado del 43% donde se realiza estrictamente, según esto es necesaria una mayor capacitación, debido a que esta juega un papel primordial para el logro de tareas y proyectos, dado que es el proceso mediante el cual los trabajadores adquieren los conocimientos, herramientas, habilidades y actitudes para interactuar en el entorno laboral y cumplir con el trabajo que se les encomienda.
- En el desarrollo de los Indicadores se deben identificar necesidades propias del área involucrada, clasificando según la naturaleza de los datos y la necesidad del indicador. Debido a esto se aporta de igual manera una batería de indicadores para medir y controlar tanto los resultados como las variables de desempeño de los equipos y en revisión por la dirección o por los responsables ajustar su ejecución.

- El proceso de capacitación se desarrolló con objeto dinámico de formación, seleccionando a un grupo de trabajadores con experiencia y conocimientos relacionados con las funciones de mantenimiento de la subestación, para que realicen de forma continua la capacitación de aquellos que aún demuestran deficiencias en su desempeño, otorgando así beneficios constantes en la productividad de la organización.
- Se crean formatos de Actividades de plan de Mantenimiento los cuales cumplirán la función principal de análisis y recepción de datos ,como fechas, frecuencia de intervenciones, equipos necesarios para el mantenimiento, entre otros, en la subestación 115kV/13,2-13,8 kV de Gerdau Diaco planta Tuta, quienes contribuirán con la gestión de información, incluyendo la proporcionada por empresas externas que realicen mantenimiento a la subestación , trabajando así de manera conjunta con el plan de mantenimiento proyectado.
- Los criterios de realización incluidos en la evaluación diagnóstica, proporcionaron información determinante para seleccionar el contenido temático y el refuerzo práctico a implementar con la finalidad de cerrar las diferencias determinadas.
- Se puede evidenciar claramente la necesidad de un correcto registro, manejo y organización de la información de la subestación, ampliando la que se tiene actualmente y enmarcando la importancia de crear una cultura organizacional que permita, a futuro, una eficiente implementación de un Sistema de Gestión de Mantenimiento, para a futuro certificarse con ISO9001 o con PAS55 para Gestión de Activos.

## 12 RECOMENDACIONES

1. Continuar con la gestión para lograr la certificación de los trabajadores de la subestación, en las funciones complementadas, luego del proceso de evaluación y formación basado en competencias de desempeño laboral.
2. Promover acciones de formación para el trabajador en valores y actitudes requeridos para el puesto de trabajo, mediante mayor cantidad de capacitación al personal con periodicidad mínima de 6 meses.
3. Promover el desarrollo de los trabajadores dentro de la organización, con la finalidad de motivar el crecimiento constante en el desempeño de sus funciones laborales mediante bonos de trabajo extra y de incentivos al buen trabajo individual y grupal.
4. Establecer un proceso de seguimiento y verificación en la calidad, mediante formatos de mantenimiento y medición con los indicadores (aportados por el documento y anexos) que permita continuamente retroalimentar el proceso con la finalidad de aplicar la mejora continua y lograr los mejores resultados posibles.
5. Involucrar a miembros de diferentes líneas jerárquicas en la planificación y programación de las acciones de formación dentro de la organización, estableciendo el grado de responsabilidad y las funciones que deberá realizar durante el proceso.
6. Cumplir a cabalidad con las fechas, periodicidad, equipos esenciales y demás lineamientos que se entregan en los formatos de las actividades del plan de mantenimiento para así contribuir al funcionamiento ideal de la subestación y en general de los equipos y maquinaria relacionados directamente con el mismo.
7. El éxito del plan de mantenimiento elaborado dependerá de la correcta aplicación y utilización de los formatos de seguridad, maniobras y mantenimiento al igual que de la mejora continua de estos.

### 13 BIBLIOGRAFÍA

- ABB. (2007). *Operación y mantenimiento de transformadores de potencia. Manual de usuario*. ABB.
- Aguirre, B. (01 de 09 de 2014). *MANUAL DE MANTENIMIENTO Y SUPERVISIÓN GENERAL DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA*. Cantabria, España.
- Andina, E. I. (s.f.). *Manual para instalación, operación y mantenimiento de baterías estacionarias de plomo/ácido*. Energía Integral Andina.
- Artola, F. M. (2015). *Evaluación de la Gestión de activos a partir de la ISO 55 000*. Santa Clara.
- Camargo , A. (s.f.). *Mantenimiento productivo total aplicado a transformadores eléctricos tipo distribución. Mantenimiento productivo total aplicado a transformadores eléctricos tipo distribución*.
- Cuartas, L. A. (2008). *¿Qué es el mantenimiento?* N.S.
- Dispac. (2015). *Manual de mantenimiento para subestaciones eléctricas. Manual de mantenimiento para subestaciones eléctricas. Empresa distribuidora del Pacífico*. Chocó, Colombia.
- EPM. (10 de 02 de 2018). *Manual de mantenimiento preventivo, predictivo, correctivo para trabajos con tensión en subestaciones y líneas Chec. Manual de mantenimiento preventivo, predictivo, correctivo para trabajos con tensión en subestaciones y líneas Chec*. Medellín, Antioquia, Colombia.
- Hernández, D. M. (2005). *DISEÑO DE UN PROGRAMA DE CAPACITACIÓN PARA LA FORMACIÓN PROFESIONAL DE TÉCNICOS EN MTTO INDUSTRIAL EN LAS ÁREAS ELECTRICA Y MECANICA, BASADO EN COMPETENCIAS LABORALES*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala .
- López, E. A. (2009). *EL MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL TPM Y LA IMPORTANCIA DEL RECURSO HUMANO PARA SU EXITOSA IMPLEMENTACIÓN. EL MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL TPM Y LA IMPORTANCIA DEL RECURSO HUMANO PARA SU EXITOSA IMPLEMENTACIÓN*. Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.
- Pineda Mandujano, K. (2004). *Manufactura Esbelta. Manufactura Esbelta*. Mexico.
- Salgueiro, A. (2001). *Indicadores de gestión y cuadro de mando*. España: DiazdeSantos.

SENA. (1991). Manual de Mantenimiento. Bogotá: Servicio Nacional de Aprendizaje.

Trocel, D. (01 de 01 de 2021). *¿Cuál es el objetivo de la capacitación para el mantenimiento?* Obtenido de GTS CONFIABILIDAD: <https://esp.reliabilityconnect.com/cual-es-el-objetivo-de-la-capacitacion-para-el-mantenimiento/>

IBERDROLA. Reglamento sobre centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación. [Libro]. Centro de Documentación Bilbao. (mayo 2002). Dirección General de Medios. RCE.

CORVALÁN JESÚS. Herramienta guía para la generación del valor al interior del sistema de gestión de activos, en base a los requisitos certificables establecidos en la normativa ISO 55001. [Monografía]. Universidad Técnica Federico Santa María. (2016). Valparaíso, Chile. 120 pág. Depto. de Industrias.

TEORIAELECTRO. Fallas Comunes de Equipo eléctrico Primario en Subestaciones de potencia. [Presentación]. Slideshare. En línea. 41 pág. (2009). [http:// Fallas Comunes De Equipo EléCtrico Primario En Subestacione \(slideshare.net\)](http://FallasComunesDeEquipoEléCtricoPrimarioEnSubestacione(slideshare.net)).

RUBEN VEGA. ¿Qué es el Hexafluoruro de Azufre o SF6? [pág. En Línea]. WIKA. (2022). [http:// ¿Qué es el Hexafloruro de Azufre o SF6? - Blog de WIKA \(bloginstrumentacion.com\)](http://¿QuéeselHexaflorurodeAzufreoSf6?BlogdeWIKAbloginstrumentacion.com).

NAVARRO DÍAZ, Juan. Técnicas de Mantenimiento Industrial. Calpe Institute technology, 2004.

ALBARADO DUVÁN. Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo de los equipos críticos de las principales subestaciones de la empresa de energía de BOYACÁ S.A. E.S.P. aplicado por la empresa Asistencia Técnica Industrial Ltda. [Monografía]. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia-Ingeniería Electromecánica. (2017). Duitama.

FERNADEZ EDGAR. Gestión de Mantenimiento: Lean Maintenance y TPM .[Trabajo Fin de Máster].Universidad De Oviedo. (2018). ESCUELA SUPERIOR DE LA MARINA CIVIL DE GIJÓN

RETIE. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE. Colombia, 30 de Agosto 2013. Pág. 31

SHOEMAKER; James E. Mack: Lineman's and Cableman's Handbook, Twelfth Edition. Substations, Chapter (McGraw-Hill Professional, 2012), AccessEngineering - Base de datos, UPTC.

QUIRÓS RAMOS. Diego G. Desarrollo de un procedimiento de Pruebas de Aceptación en Fábrica (FAT, por sus siglas en inglés) para tableros de control en subestaciones de mediana y alta tensión aplicado a la subestación Papagayo. 2008, p11. Monografía. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería Eléctrica.

CAMARILLO JUAN. Dielco. Equipos Para barrajes en baja tensión. [pág. En Línea]. Estructurando MVD. (Oct 26, 2020). *http: Equipos para Barrajes en Baja Tensión - Dielco distribuidor eléctrico.*

MARQUEZ FIDEL. Evaluación de la Gestión de activos a partir de la ISO 55 000. [Documento PDF]. Consideraciones teóricas. (2015). 109 pág. Santa Clara. Universidad Central Marta Abreu de las Villas

Vazques, E. J. (2014). Instrumento de medición para diagnosticar la gestión del mantenimiento.

Villamizar, S. (2007). Modelo Gerencial bajo el Enfoque de Servicios para activos no industriales. Anzoategui.