

**DISEÑO DE UNA PROPUESTA PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD  
ELECTRICA EN LA PLANTA DE PRODUCTOS FAMILIA SEDE CAJICA**

**MAURICIO CASTELLANOS ACEVEDO  
IVAN DARIO GONZALEZ ROA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA  
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA  
2010**

**DISEÑO DE UNA PROPUESTA PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD  
ELECTRICA EN LA PLANTA DE PRODUCTOS FAMILIA SEDE CAJICA**

**MAURICIO CASTELLANOS ACEVEDO  
IVAN DARIO GONZALEZ ROA**

Monografía de grado presentada como requisito para optar el título de  
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

**Director: Daniel Ortiz Plata  
Especialista en Gerencia de Mantenimiento.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA  
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA  
2010**

Mauricio:

A DIOS creador y dador sabiduría.

A mi esposa Johanna por su amor, comprensión y apoyo para el logro de mis sueños.

A mis hijos Samuel y Sofía quienes son el motor de mi vida, que cada día me inspiran con su amor e inocencia y me dieron la constancia para desarrollar este proyecto.

A mi madre y familiares.

Ivan:

Al divino niño por su protección.

A Claudia quien como esposa me impulso para cumplir este sueño y hacerlo realidad.

A mi abuelo, que desde el cielo me ilumino y acompaño.

A mi familia, papa, mama y hermanos.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

El Grupo Familia por el apoyo y confianza para el desarrollo de este proyecto.

Al Ingeniero Daniel Ortiz por la colaboración y direccionamiento de esta monografía.

Al Ingeniero Holguer Velandia por su disposición y diligencia como coordinador del programa de Especialización.

Al cuerpo docente de esta especialización y a la Universidad por el conocimiento compartido.

A todos los compañeros de la especialización.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN .....	16
1. MARCO CONTEXTUAL .....	17
1.1 LA EMPRESA .....	17
1.1.1 Portafolio de productos .....	17
1.1.2 Papel suave .....	20
1.1.3 Ubicación geográfica planta .....	23
1.1.4 Producción de papeles suaves. ....	24
1.1.5 Planta de preparación de pulpa .....	24
1.1.6 Máquina de papel .....	25
1.1.7 Procesos de Servicio .....	26
2. ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA Y MANTENIMIENTO .....	29
2.1 OPERACIONES EN LA PLANTA CAJICA.....	29
2.1.1 Macroproceso de manufactura en la Planta Cajicá.....	29
2.1.2 Proceso de estrategia de la planta.....	29
2.1.3 Macroproceso de Mantenimiento.....	31
2.2 MANTENIMIENTO ELECTRICO PLANTA CAJICA.....	32
2.2.1 Macroproceso de mantenimiento eléctrico.....	32
2.2.2 Despliegue estratégico .....	33
2.2.3 Mantenimiento basado en la condición.....	34
2.3 SISTEMAS DE INFORMACION .....	36
2.3.1 Historian.....	36
2.3.2 Health Condition .....	37
2.3.3 SAP PM .....	38
3. TEORÍA DEL MANTENIMIENTO.....	42
3.1 MANTENIMIENTO CORRECTIVO (CM) .....	43
3.1.1 Recursos Necesarios.....	44
3.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO (PM) .....	46
3.2.1 Categorías del mantenimiento preventivo.....	47
3.2.2 Ventajas del mantenimiento preventivo.....	48
3.2.3 Programas de mantenimiento preventivo.....	49
3.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO (CBM).....	50
3.3.1 Beneficios del mantenimiento predictivo.....	50
3.4. MANTENIMIENTO PROACTIVO Y DIAGNÓSTICO .....	52
3.4.1 Grupo de trabajo. ....	52
3.4.2 Actividades del mantenimiento proactivo.....	52
4. MANTENIMIENTO EN EQUIPO ELÉCTRICO.....	55
4.1 ORIENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO EN SUBESTACIONES.....	56
4.2 MANTENIMIENTO INTEGRADO.....	57
4.2.1 Mantenimiento preventivo.....	58
4.2.2 Mantenimiento correctivo.....	69

4.2.3 Integración del mantenimiento .....	71
4.3 ORIENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO A RELES DE PROTECCIÓN. ....	71
4.3.1 Necesidad de un sistema de protecciones eléctricas .....	74
4.3.2 Características de los sistemas de protección .....	75
4.3.3 Fallas de las protecciones.....	77
4.3.4 Anormalidades que ocurren en los sistemas eléctricos .....	78
4.3.5 Métodos para determinar ocurrencia de anormalidades .....	83
4.3.6 Condiciones que debe cumplir un sistema de protección .....	86
4.4 DISPONIBILIDAD ELÉCTRICA O DE UN EQUIPO ELÉCTRICO .....	88
4.4.1 Problemas de disponibilidad vinculados con la calidad de la red.....	89
5. INFRAESTRUCTURA DE ACTIVOS ELECTRICOS EN LA PLANTA .....	91
5.1 NIVEL DE TENSIÓN 115KV (ALTA TENSIÓN).....	91
5.1.1 Celdas o paneles de control y protección .....	93
5.1.2 Interruptor .....	93
5.1.3 Equipos de medida .....	94
5.1.4 Relés.....	95
5.1.5 Seccionador .....	96
5.1.6 Transformador de potencia. ....	97
5.2 NIVEL DE TENSIÓN DE 34,5 KV (MEDIA TENSIÓN) .....	97
5.2.1 Celdas o paneles de control y protección. ....	97
5.2.2 Interruptor .....	98
5.2.3 Equipos de medida .....	98
5.2.4 Relés.....	99
5.2.5 Transformador de potencia. ....	101
5.3 NIVEL DE TENSIÓN DE 440 V (BAJA TENSIÓN) .....	101
5.3.1 Interruptores.....	102
5.3.2 Sistema de Medida .....	103
6. ANALISIS DE LA SITUACION ACTUAL .....	104
6.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	104
6.2 EVOLUCIÓN DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO. ....	105
7. FORMULACIÓN DE LA PROPUESTA .....	116
7.1 RECOMENDACIONES ADICIONALES.....	120
7.1.1 Plan de Capacitación para el personal técnico .....	120
7.1.2 Análisis de Causa Raíz .....	121
7.1.3 Indicadores de Gestión .....	122
7.1.4 Análisis de Calidad de energía .....	122
CONCLUSIONES .....	123
BIBLIOGRAFÍA.....	125

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Participación del Mercado Tot Papeles Desechables. ....	22
Tabla 2. Planillas de inspección.....	59
Tabla 3. Estado de equipos a tener en cuenta en las planillas de inspección. ....	59
Tabla 4. Pruebas y frecuencia de técnicas en transformadores de potencia.....	66
Tabla 5. Pruebas y frecuencia de técnicas en interruptores. ....	66
Tabla 6. Pruebas y frecuencia de técnicas en seccionadores y pararrayos. ....	67
Tabla 7. Pruebas y frecuencia de técnicas en transformadores de medida.....	67
Tabla 8. Pruebas y frecuencia de técnicas en banco de capacitores. ....	67
Tabla 9. Puntos a tener en cuenta en tomografía.....	68
Tabla 10. Programación de actividades en función del lugar de inspección.....	69
Tabla 11. Mantenimiento correctivo planificado en interruptores.....	71
Tabla 12. Tasa de ocurrencia de fallas en equipos eléctricos. ....	80
Tabla 13. Toneladas vs Down time equipos eléctricos. ....	105
Tabla 14. Parámetros eléctricos acometidas de baja tensión.....	110
Tabla 15. Puntos de encuesta para realizar los planes de acción. ....	118

## LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1. Categoría papel suave.....	18
Ilustración 2. Categoría protección femenina.....	18
Ilustración 3. Categoría protección bebes.....	19
Ilustración 4. Categoría incontinencia.....	19
Ilustración 5. Categoría institucional.....	20
Ilustración 6. Consumo en Colombia y en el mundo de papel suave.....	20
Ilustración 7. Consumo en Colombia y en el mundo de papel suave.....	21
Ilustración 8. Evolución de la categoría.....	22
Ilustración 9. Mapa ubicación planta Cajica.....	23
Ilustración 10. Ubicación satelital planta Cajica.....	23
Ilustración 11. Proceso papel suave.....	26
Ilustración 12. Bloques operación planta de tratamiento de efluentes.....	27
Ilustración 13. Compresor.....	28
Ilustración 14. Macro proceso manufactura.....	30
Ilustración 15. Proceso de estrategias de la planta.....	31
Ilustración 16. Macroproceso de mantenimiento.....	31
Ilustración 17. Macroproceso mantenimiento eléctrico.....	32
Ilustración 18. Despliegue estratégico mantenimiento eléctrico.....	33
Ilustración 19. Plan estratégico mantenimiento eléctrico.....	33
Ilustración 20. Seguimiento y despliegue de indicadores.....	34
Ilustración 21. Mantenimiento basado en condición.....	35
Ilustración 22. Sistemas de información.....	36
Ilustración 23. CMMS para la gestión y planeación de mantenimiento.....	36
Ilustración 24. Health Condition.....	37
Ilustración 25. Estructura técnica representación.....	38
Ilustración 26. Status del aviso.....	39
Ilustración 27. Ciclo de la orden.....	40
Ilustración 28. Materiales – Lista de materiales.....	40
Ilustración 29. Listado a varios niveles.....	41
Ilustración 30. Resumen grafico mantenimiento correctivo.....	45
Ilustración 31. Resumen grafico mantenimiento preventivo.....	49
Ilustración 32. Resumen grafico mantenimiento predictivo.....	51
Ilustración 33. Resumen grafico mantenimiento proactivo y diagnostico.....	54
Ilustración 34. Orientación de mantenimiento en subestaciones.....	57
Ilustración 35. Mantenimiento preventivo.....	58
Ilustración 36. Mantenimiento correctivo.....	70
Ilustración 37. Integración del mantenimiento.....	72
Ilustración 38. Infraestructura sistema eléctrico.....	91
Ilustración 39. Subestación 115kV.....	92
Ilustración 40. Unifilar subestación eléctrica FAMILIA.....	92

Ilustración 41. Panel de control y protecciones.....	93
Ilustración 42. Interruptor 115kV.....	94
Ilustración 43. Transformadores de corriente 115kV.....	94
Ilustración 44. Transformador de potencial 115kV.....	95
Ilustración 45. Configuración relé de sobrecorriente.....	95
Ilustración 46. Seccionador 115kV.....	96
Ilustración 47. Transformador de potencia 115kV – 34,5kV.....	97
Ilustración 48. Panel de control 34,5kV.....	98
Ilustración 49. Interruptor 34,5kV.....	98
Ilustración 50. Transformadores de corriente 34,5kV.....	99
Ilustración 51. Transformadores de potencial 34,5kV.....	99
Ilustración 52. Relé sobrecorriente.....	100
Ilustración 53. Relé diferencia de línea.....	100
Ilustración 54. Transformador de potencia 34,5kV – 0,440kV.....	101
Ilustración 55. Esquema tableros 440V.....	102
Ilustración 56. Interruptor 440V.....	102
Ilustración 57. Indicador de parámetros eléctricos.....	103
Ilustración 58. Consumo de energía por ton de papel.....	104
Ilustración 59. Consumo de energía KWH años.....	105
Ilustración 60. Evolución mantenimiento eléctrico en FAMILIA planta Cajica.....	107
Ilustración 61. Eventos por modos de falla en sistemas eléctricos.....	108
Ilustración 62. Análisis de causas.....	108
Ilustración 63. Relación de las fallas con el nivel tensión.....	109
Ilustración 64. Detalle del comportamiento de la tensión fase – neutro.....	111
Ilustración 65. Perfiles de distorsión armónica en transformador 1.....	113
Ilustración 66. Perfiles de distorsión armónica en transformador 2.....	114
Ilustración 67. Perfiles de distorsión armónica en transformador 3.....	115
Ilustración 68. Análisis de 5M de causas.....	116
Ilustración 69. Planes de mejoramiento a través del análisis de 5M.....	117
Ilustración 70. Importancia de las aéreas en mantenimiento.....	117

## GLOSARIO

**Disponibilidad:** Indicador de mantenimiento, que corresponde al porcentaje del tiempo que un equipo o ubicación técnica está disponible para operación.

**Equipo:** Medio físico utilizado para prestar un servicio a la materia prima y/o un requerimiento.

**Subestación Eléctrica:** Es un conjunto de máquinas, aparatos y circuitos, que tienen la función de modificar los parámetros de la potencia eléctrica, permitiendo el control del flujo de energía, brindando seguridad para el sistema eléctrico, para los mismos equipos y para el personal de operación y mantenimiento.

**Transformador:** Es una máquina eléctrica que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la frecuencia

**Interruptor:** Es un switch eléctrico operado automática-mente diseñado para proteger un circuito eléctrico del daño ocasionado por una sobrecarga o un cortocircuito.

**Inspección:** Examinar, verificar y / o establecer condiciones y estados de un equipo.

**Orden de trabajo:** Documento que se emite para ordenar la ejecución de un trabajo y en el que se consignan los recursos, repuestos, costos planeados y causados, las operaciones de mantenimiento y su fecha de ejecución.

**Procedimiento:** Una manera especificada de efectuar una actividad.

**Pulpa:** son fibras de origen vegetal, especialmente árboles y de algunas plantas; compuestas básicamente de celulosa, hemicelulosa, lignina y extractivos.

**Procedimiento:** Una manera especificada de efectuar una actividad.

**Proceso:** Un conjunto de recursos y actividades interrelacionados que transforma entradas en salidas.

## RESUMEN

**TITULO:** DISEÑO DE UNA PROPUESTA PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD ELECTRICA EN LA PLANTA DE PRODUCTOS FAMILIA SEDE CAJICA.\*

**AUTORES:** MAURICIO CASTELLANOS ACEVEDO E IVAN DARIO GONZALEZ ROA.\*\*

**PALABRAS CLAVES:** MANTENIMIENTO, CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD, PREDICTIVO, PROACTIVO, 5M, SUBESTACION, SAP, RELES, PROTECCION, CALIDAD.

**DESCRIPCIÓN O CONTENIDO:** Esta monografía desarrolla una propuesta que orientara a la empresa FAMILIA SANCELA a tomar decisiones que contribuyan a aumentar la confiabilidad de su sistema eléctrico. A través de estudios se demostró que los equipos eléctricos asociado a la planta tienen un buen desempeño y la calidad del suministro es buena, llevando a la hipótesis de que los problemas de confiabilidad se encuentran en el aspecto operativo y humano.

El documento se planteo en los primeros capítulos explicando la empresa, cómo es el funcionamiento de la planta FAMILIA SANCELA, los equipos básicos para su operación, la secuencia del proceso en la planta hasta llegar al producto final. Se describe el impacto ambiental, social y las acciones que la empresa ha tomado para mantener un desarrollo sostenible de la comunidad bajo el área de influencia.

Se dedica un capítulo a explicar la teoría de mantenimiento haciendo breve descripciones de los diferentes tipos de mantenimiento.

Luego se hace una descripción de las diferentes técnicas y consideraciones especiales de los equipos eléctricos involucrados en las subestaciones asociadas a la planta de FAMILIA, esto con la finalidad de orientar y explicar a las personas que no tengan conocimiento acerca de estos equipos, puedan entender su funcionamiento.

El ultimo capitulo se describe la propuesta para mejorar la confiabilidad eléctrica, teniendo en cuenta la situación actual y las posibles soluciones a ejecutar.

El modelo propone directrices que fortalecerán las competencias y procedimientos operativos y humanos que se ligan sistemáticamente con la confiabilidad. Lo anterior se logra con el apoyo de producción y haciendo énfasis más serio y de compromiso hacia la implementación de análisis de causa raíz, mejora de los procesos y optimizando el mantenimiento basado en condición (CBM).

---

\* Monografía.

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento, Director: Daniel Ortiz Plata, Ingeniero Mecánico.

## SUMMARY

**TITLE:** DESIGN OF A PROPOSAL TO IMPROVE THE ELECTRIC RELIABILITY IN FAMILIA PRODUCTS PLANT IN CAJICA HEADQUARTERS.\*

**AUTHORS:** MAURICIO CASTELLANOS ACEVEDO E IVAN DARIO GONZALEZ ROA.\*\*

**KEYWORDS:** MANTENANCE, RELIABILITY, MAINTAINABILITY, PREDICTIVE, PROACTIVE, 5M, SUBSTATION, SAP, RELAY, PROTECTION, QUALITY.

**SUBJECT OR DESCRIPTION:** This paper develops a proposal that would guide the FAMILIA SANCELA Company to make decisions that contribute to increase the reliability of the electrical system. Through studies showed that electrical equipment associated with the plant have a good performance and quality of supply is good, leading to the hypothesis that reliability problems are at the operational and human aspects.

The document was proposed in the early chapters explaining the company, how is the operation of the FAMILIA SANCELA plant, basic equipment for its operation, the sequence of the process in the plant to reach the final product. It describes the environmental impact, social impact and the actions the company has taken to maintain a sustainable development in community under the influence area.

A chapter is devoted to explaining the theory of maintenance by brief descriptions of different types of maintenance.

Following is a description of the different techniques and special considerations involved electrical equipment at substations associated with FAMILIA plant, this in order to guide and explain to people who have no knowledge about these teams, to understand their operation.

The last chapter describes the proposal to improve electrical reliability, taking into account the current situation and possible solutions to run.

The model proposes guidelines to strengthen the skills and operational procedures and human resources that are linked systematically with reliability. This is achieved with the support of production and more serious emphasis and commitment towards the implementation of root cause analysis, process improvement and optimization of the condition based maintenance (CBM).

---

\* Monograph.

\*\* School of Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization.  
Director: Daniel Ortiz Plata, Mechanical Engineer.

## INTRODUCCIÓN

El mantenimiento eléctrico se convierte en una función importante dentro de las empresas del sector industrial, debido a que de un correcto mantenimiento, y de la reducción de fallas mediante la prevención, dependerá la continuidad del servicio eléctrico. Es sabido que no se podrán reducir a cero las fallas de un sistema eléctrico, pero lo importante será evitar la ocurrencia de aquellas fallas que pudieron haberse prevenido, en especial las que pudieron causar serias averías o la destrucción de los equipos eléctricos, por ser estos de elevado costo y además de que su reemplazo o reparación implica la movilización de recursos humanos y materiales, con su consecuente costo económico, sin mencionar el tiempo de parada del servicio y las multas que esto podría implicar.

El mantenimiento debe mirarse como un negocio que genera un producto y este producto es la confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad de los equipos, reflejándose en la conservación del activo. Desde este punto de vista la gestión del mantenimiento debe medirse y mostrar indicadores a la vista para vender a la alta directiva la gestión del grupo de mantenimiento y su impacto en la producción de la empresa.

Esta monografía fue planteada en los primeros capítulos explicando el marco contextual de la empresa, cómo es el funcionamiento de la planta FAMILIA SANCELA, los equipos básicos para su operación, la secuencia del proceso en la planta hasta llegar al producto final. Se describe el impacto ambiental, social y las acciones que la empresa ha tomado para mantener un desarrollo sostenible de la comunidad bajo el área de influencia.

Se dedica un capítulo a explicar la teoría de mantenimiento haciendo breve descripciones de los diferentes tipos de mantenimiento.

Posteriormente se hace una descripción de las diferentes técnicas y consideraciones especiales de los equipos eléctricos involucrados en las subestaciones asociadas a la planta de FAMILIA, esto con la finalidad de orientar y explicar a las personas que no tengan conocimiento acerca de estos equipos, puedan entender su funcionamiento.

El último capítulo se describe la propuesta para mejorar la confiabilidad eléctrica, teniendo en cuenta la situación actual y las posibles soluciones para lograr el objetivo de este trabajo.

## 1. MARCO CONTEXTUAL

### 1.1 LA EMPRESA<sup>1</sup>

El Grupo Familia S.A, como hoy es reconocida esta empresa dedicada a satisfacer las necesidades de sus clientes en higiene y cuidado personal, fue fundada en 1958 por John Gómez Restrepo y Mario Uribe, la compañía inicialmente se llamo URIGO y se dedicaba a la importación de papel higiénico de los EE.UU. Con la marca Waldorf, producida por la compañía Scott Paper Co.

En 1965 la compañía se moderniza con la construcción de la primera planta productora de papel suave en la ciudad de Medellín. Ese mismo año se inicia la producción de papel higiénico en esta planta.

En 1989 se inaugura la planta de producción de Rionegro de Toallas higiénicas y protectores diarios Nosotras.

En 1997 la multinacional sueca SCA se asocia con productos Familia y se crean las compañías Familia del pacifico y Sancela del cauca en el parque industrial Páez, dedicadas a la fabricación de pañales Pequeñín y materias primas respectivamente.

En 1999 la planta de Familia en Ecuador adquirida en 1997 se denomina Productos Familia del Ecuador líder en papeles suaves.

En el año 2006 se inaugura la planta más moderna de producción de papel higiénico en Colombia con una inversión de \$122.000 MCOP y una capacidad superior a las 30.000 Ton / año, ubicada en Cajicá – Cundinamarca.

Este mismo año se inaugura una nueva filial en Republica Dominicana para la producción de toallas higiénicas y en 2007 inicia la conversión de papel higiénico hoy en día el Grupo Familia es una empresa que cuenta con ocho plantas de producción de la más avanzada tecnología ubicadas en Colombia, Ecuador, Republica Dominicana y Argentina, adquirida recientemente. El Grupo Familia crece y se proyecta hacia el futuro como líder en el mercado de higiene y cuidado personal en Sur América y el Caribe.

#### 1.1.1 Portafolio de productos

El portafolio principal de productos está dividido en cinco categorías:

---

<sup>1</sup> Historia Grupo Familia, Tomo 1 pág. 6.

- Papeles Suaves.
- Protección femenina.
- Protección para bebés.
- Incontinencia.
- Institucional.

En la categoría de papeles suaves está en el mercado con la marca Familia y el portafolio de productos lo componen: papel higiénico, servilletas, pañuelos faciales, toallas de cocina y otros productos desechables. Siendo líder reconocido en el mercado con papeles higiénicos, servilletas y pañuelos faciales.

Ilustración 1. Categoría papel suave.



Fuente: [www.cosasdefamilia.com](http://www.cosasdefamilia.com)

En la categoría de protección femenina en el mercado nacional es representado con la marca Nosotras con productos como toallas higiénicas, protectores diarios, tampones entre otros productos para el cuidado e higiene femenino, con el liderazgo del mercado nacional e internacional.

Ilustración 2. Categoría protección femenina.



Fuente: [www.nosotrasonline.com](http://www.nosotrasonline.com)

En la categoría de protección para bebés es reconocida con la marca Pequeñín con productos como los pañales, pañitos húmedos y toallas húmedas entre otros productos para el cuidado e higiene de los bebés.

Ilustración 3. Categoría protección bebés.



Fuente: [www.pequenin.com](http://www.pequenin.com)

En la categoría de Incontinencia obtiene su reconocimiento y liderazgo con la marca Tena, ofreciendo una gama completa de productos para la incontinencia leve, incontinencia fuerte, toallas húmedas y cremas para el cuidado de la piel.

Ilustración 4. Categoría incontinencia



Fuente: [www.tena.com.co](http://www.tena.com.co)

En la categoría institucional que cubre el mercado de restaurantes, colegios, hoteles, centros comerciales y demás instituciones ofrece productos que van desde las toallas de manos, papeles higiénicos, servilletas, jabones de manos.

Ilustración 5. Categoría institucional.

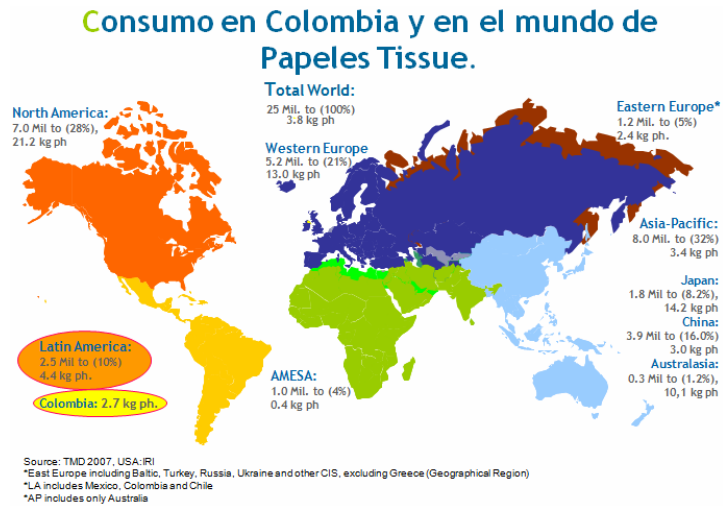


Fuente: www.familiainstitucional.com

### 1.1.2 Papel suave

El consumo de papeles tissue ha venido creciendo y masificándose mundialmente consolidando a norte América cómo el lugar de mayor uso de papeles suaves a nivel mundial seguido por Europa Occidental y posicionando a Latinoamérica cómo un lugar que tiene oportunidad de crecer en el consumo de este producto y por esta razón las compañías que participan en este mercado siguen creciendo en sus operaciones y la llegada de nuevos jugadores es una situación que está en el orden del día

Ilustración 6. Consumo en Colombia y en el mundo de papel suave.

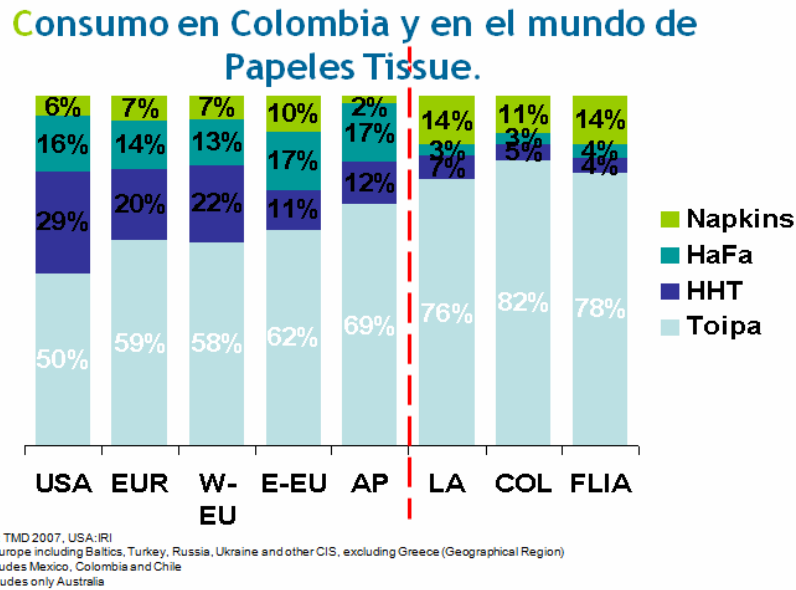


Fuente: TMD 2007, USA:IRI

De este mercado de papeles suaves la categoría de mayor consumo es la de papeles higiénicos reconocida en la figura cómo Toipa o toilette papers y que en Colombia es el producto más difundido y por lo tanto producido en un 82% con respecto a los otros tipos de papel cómo las servilletas, pañuelos faciales y toallas de cocina.

Por esta razón lo importante de no dejar debilitar esta categoría y el compromiso de fortalecer las otras ofreciendo productos innovadores.

Ilustración 7. Consumo en Colombia y en el mundo de papel suave.



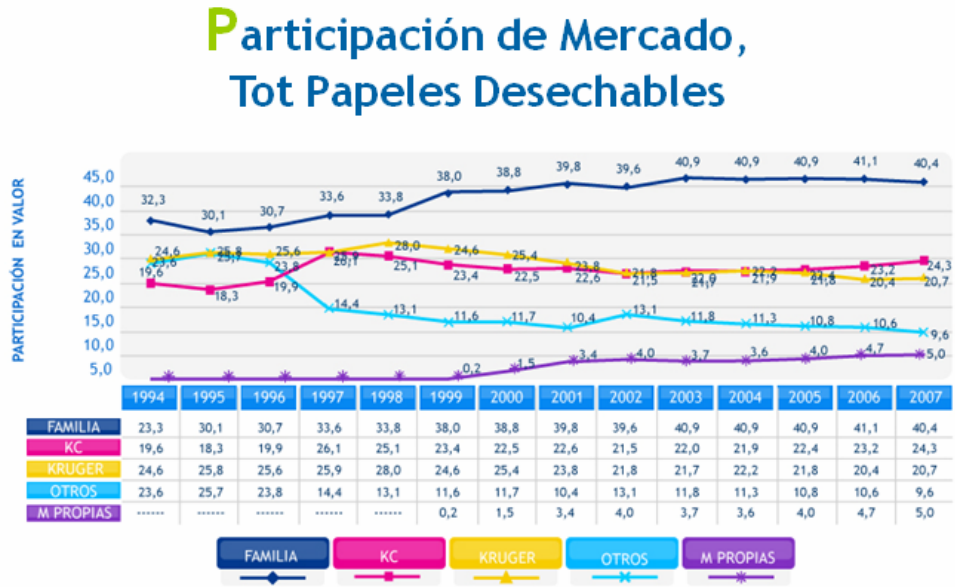
Fuente: TMD 2007, USA:IRI

En Colombia el líder en este mercado es el grupo Familia con un 40% en la participación de mercado seguido por la multinacional norteamericana Kimberly Clark con un 24,3% esta diferencia ha sido lograda gracias a la innovación y a la fortaleza de sus marcas que son reconocidas por los clientes, este reconocimiento de marca ha sido medido y publicado en la revista Dinero, en dónde se aprecia esta situación.

La categoría de papeles suaves se agrupan en tres tipos de productos, los productos de cuidado de la piel que son hechos con pulpas vírgenes y los de rendimiento y economía que hacen uso de fibras recicladas.

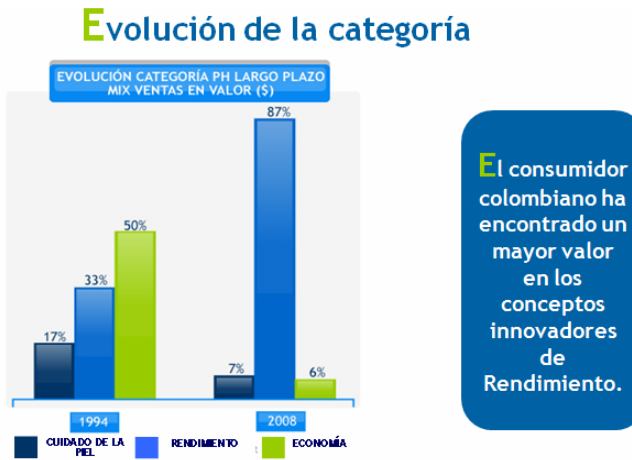
Los productos rendidores que se hacen a partir de los dos tipos de fibras son los de mayor aceptación y ventas ya que son la combinación entre calidad y precio.

Tabla 1. Participación del Mercado Tot Papeles Desechables.



Fuente: Grupo Familia.

Ilustración 8. Evolución de la categoría.



Fuente: Grupo Familia.

### 1.1.3 Ubicación geográfica planta

La manufactura de papeles suaves del Grupo Familia en las operaciones en Colombia es realizada en las plantas de Medellín y en la planta más moderna y reciente concebida para cubrir este exigente mercado, localizada en la población de Cajicá a 35 kilómetros al norte de Bogotá en la carretera que une los municipios de Cajicá y Zipaquirá denominada Planta Cajicá.

Esta planta cuenta con los procesos necesarios para la elaboración de productos suaves rendidores con la más alta tecnología de producción comparable con plantas europeas, norteamericanas y asiáticas que le dan la seguridad de estar produciendo con los estándares necesarios para competir en el entorno globalizado.

Ilustración 9. Mapa ubicación planta Cajica.



Fuente: Grupo Familia.

Ilustración 10. Ubicación satelital planta Cajica.



Fuente: Grupo Familia.

#### 1.1.4 Producción de papeles suaves.

El proceso de elaboración de papeles suaves comprende dos grandes etapas, una se realiza en la planta de preparación de pulpa donde se eliminan los contaminantes que trae la materia prima reciclada o virgen y la otra es la máquina de papel donde se elabora la hoja.

La materia prima empleada en la fabricación de papel se divide en dos grandes grupos:

**Pulpa:** son fibras de origen vegetal, especialmente árboles y de algunas plantas; compuestas básicamente de celulosa, hemicelulosa, lignina y extractivos. Las pulpas empleadas en el proceso son preparadas químicamente y además son blanqueadas.

**Fibras secundarias:** es el material fibroso que ha sufrido un proceso previo de elaboración y es reciclado como materia prima para la fabricación de nuevos papeles. Estas fibras secundarias son el papel periódico, archivo, corrugado, directorios, bond entre otros.

#### 1.1.5 Planta de preparación de pulpa

La materia prima empleada en la elaboración del papel es desintegrada en un pulper el cual individualiza las fibras por medio de una acción mecánica, además se desprenden las tintas que pueda traer la fibra y los contaminantes no fibrosos son separados de las fibras. En este proceso son empleados algunos productos químicos que facilitan la limpieza como: soda cáustica, talco, jabón, ayudantes de desintegración, dispersantes de tintas y colorantes; de acuerdo a las características del papel que se vaya a elaborar.

Una vez cumplido el tiempo de desintegración, la pulpa queda lista para pasar a través de los diferentes equipos alternos de limpieza.

**Limpieza de alta consistencia:** se realiza en un hidrociclón el cual, por el efecto centrífugo separa los contaminantes que son más pesados que las fibras, tales como: arena, grapas, clavos, entre otros.

**Tamizado grueso:** separa los contaminantes que son más livianos y de mayor tamaño que las fibras por medio de una lámina ranurada.

**Despastillado:** facilita la desintegración de la fibra y ayuda a un mejor desprendimiento de las partículas de tinta de las fibras.

**Destintado:** separa las partículas de tinta de la suspensión fibrosa con ayuda de jabón y aire los cuales provocan una espuma rica en tinta.

Limpieza a baja consistencia: rechaza aquellos contaminantes de menor peso que las fibras.

Espesado: se retira agua de la suspensión fibrosa con el fin de aumentar la consistencia de la misma y enviarla a los tanques de la máquina. La pulpa que sale del espesador esta acondicionada para realizar papel.

#### 1.1.6 Máquina de papel

Aquí es donde la hoja sale totalmente lista para ser convertida y llevada al consumidor. Esta tiene una etapa previa de acondicionamiento de la pulpa el cual es el siguiente:

Refinado: por medio de un trabajo mecánico se modifica la morfología de la fibra con el propósito de aumentar las resistencias del papel.

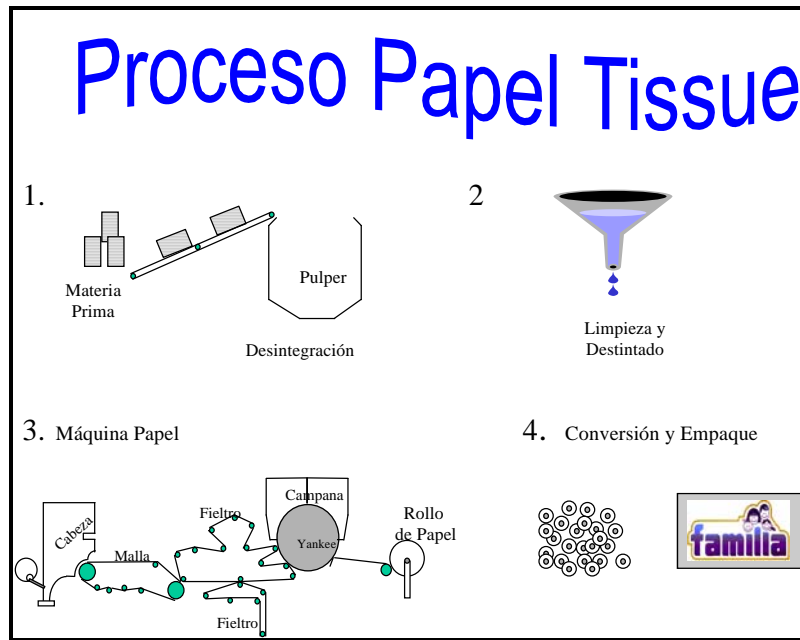
Formación de la hoja: la suspensión fibrosa es bombeada al Head-box de la máquina la cual distribuye homogéneamente la fibra a lo ancho de la malla. Esta tiene elementos de drenaje que le ayudan a retirar parte del agua.

Prensado: se realiza para eliminar agua de la hoja, para ello se transporta la hoja por medio de un fieltro y es pasada por las prensas cuya finalidad es hacer que el agua que tiene la hoja pase al fieltro para luego ser llevada a la sección de secado.

Secado: es utilizado un cilindro llamado Yankee el cual tiene una entrada de vapor que lo calienta haciendo que el agua que tiene la hoja sea evaporada. Para mejorar el proceso de secado las máquinas tienen una capota que inyecta aire caliente por la parte superior del cilindro; la función del aire caliente es proporcionar energía para la evaporación del agua y absorber y transportar la humedad del papel hacia el exterior.

Embobinado: la hoja seca se desprende del Yankee por medio de cuchillas para ser embobinada en grandes rollos, los cuales son llevados al área de conversión donde se generarán las diferentes presentaciones que llegarán al consumidor, servilletas, papel higiénico, toallas de cocina, toallas de mano y pañuelo facial.

Ilustración 11. Proceso papel suave.



Fuente: Grupo Familia.

### 1.1.7 Procesos de Servicio

Para lograr la producción de papel es necesario tener áreas de apoyos o servicios las cuales suministran los insumos necesarios y con alto grado de confiabilidad, estos insumos son agua, aire comprimido, gas natural y energía eléctrica.

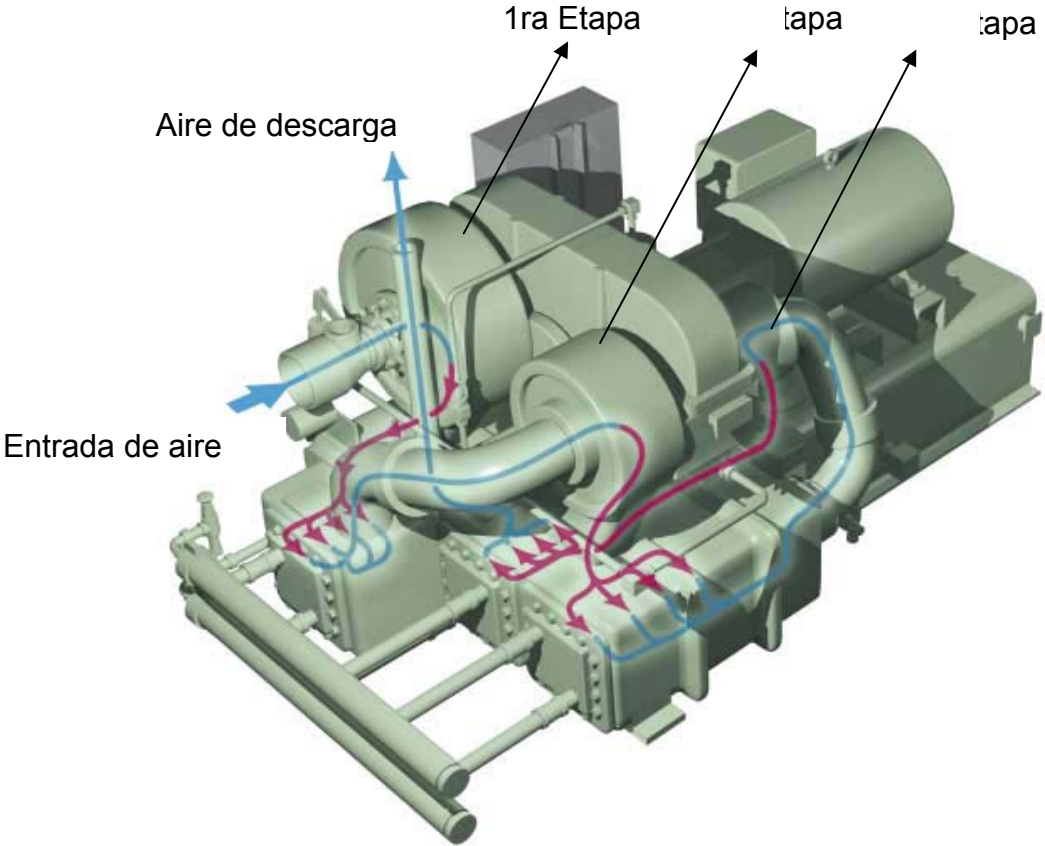
Planta de tratamiento de agua:

Tratamiento de aguas influentes: La planta de tratamiento de agua industrial opera con captación de agua del Río Bogotá y procesa más de  $100 \text{ m}^3 / \text{h}$  durante 24 horas al día para suplir las necesidades de agua industrial de la planta de papel suave.

La filosofía de diseño de la planta está apoyada en el principio de confiabilidad, y en el convencimiento del agua como insumo primordial para la operación de una planta papelera, la planta provee de agua industrial a los diferentes frentes o clientes internos de la planta, de esta forma está considerado un gran tanque de agua industrial (fresca), del cual se entregara agua al proceso, agua para potabilización y agua para la unidad desmineralizadora, y un gran tanque para la red contraincendios.



Ilustración 13. Compresor.



Fuente: Grupo Familia.

## **2. ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA Y MANTENIMIENTO**

Misión: Somos una organización dedicada a la fabricación y comercialización de productos de aseo personal, para el hogar y las empresas en general, que proporcionan la máxima satisfacción al consumidor. Orientada a obtener rentabilidad de la inversión de los accionistas, desarrollo de nuestro personal, crecimiento, posicionamiento en el mercado, con una alta responsabilidad social.

Visión: Ser una organización líder en el mercado de productos para el aseo personal, el hogar y las empresas en general en Colombia y Latinoamérica. Comprometida en el desarrollo del país, a través de la utilización efectiva de la tecnología y protección al medio ambiente.

### Valores

- Respetamos a las personas que laboran en nuestra empresa, a nuestros clientes y proveedores.
- Somos leales en nuestras relaciones de trabajo.
- Somos responsables en los compromisos adquiridos con el entorno, la sociedad y el medio ambiente.
- Actuamos dentro de un marco ético y legal.
- Apoyamos y compartimos desafíos y éxitos del personal, buscando el encuentro con la excelencia y propiciando la autorrealización para alcanzar siempre nuevas metas.
- La honestidad orienta todos nuestros actos y decisiones.

### **2.1 OPERACIONES EN LA PLANTA CAJICA**

#### 2.1.1 Macroproceso de manufactura en la Planta Cajicá

Ver ilustración 13.

#### 2.1.2 Proceso de estrategia de la planta

La estrategia de la planta está definida por tres pilares que aseguran la efectividad operacional de clase mundial, estos tres pilares son:

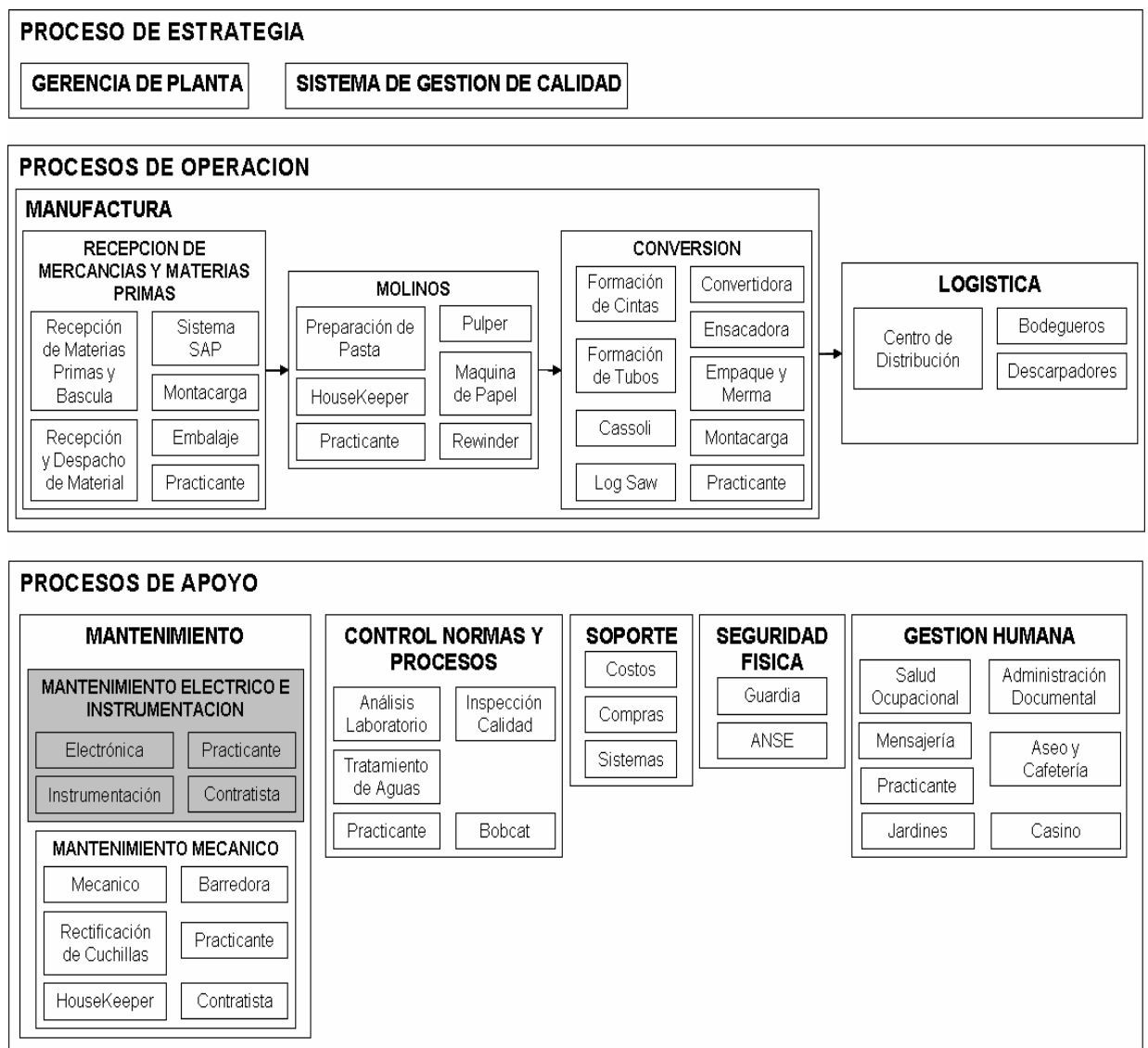
- Desempeño, que es definido cómo la optimización del uso de los recursos haciendo el mayor uso de los activos en sus variables de diseño.
- Calidad, es el enfoque de tener el menor producto no conforme, minimizar los reprocesos y mitigar los defectos que generen reclamos de los clientes.

- Disponibilidad, enfocado en lograr que los activos estén listos para producir eficientemente con costos óptimos y responsablemente con la seguridad de las personas y con el cuidado del medio ambiente.

Estos pilares están alineados por tres ejes transversales:

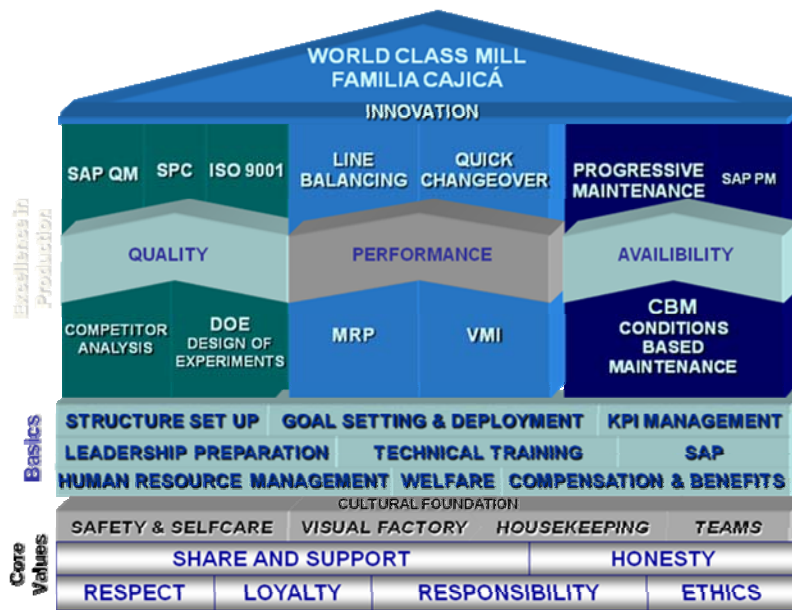
- Excelencia en producción,
- Competencias básicas
- Valores de la organización.

Ilustración 14. Macro proceso manufactura.



Fuente: Grupo Familia.

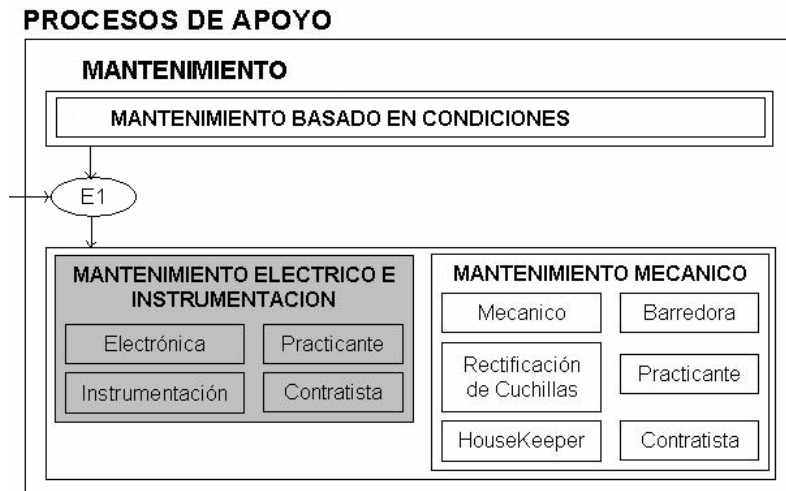
Ilustración 15. Proceso de estrategias de la planta.



Fuente: Grupo Familia.

### 2.1.3 Macroproceso de Mantenimiento

Ilustración 16. Macroproceso de mantenimiento.

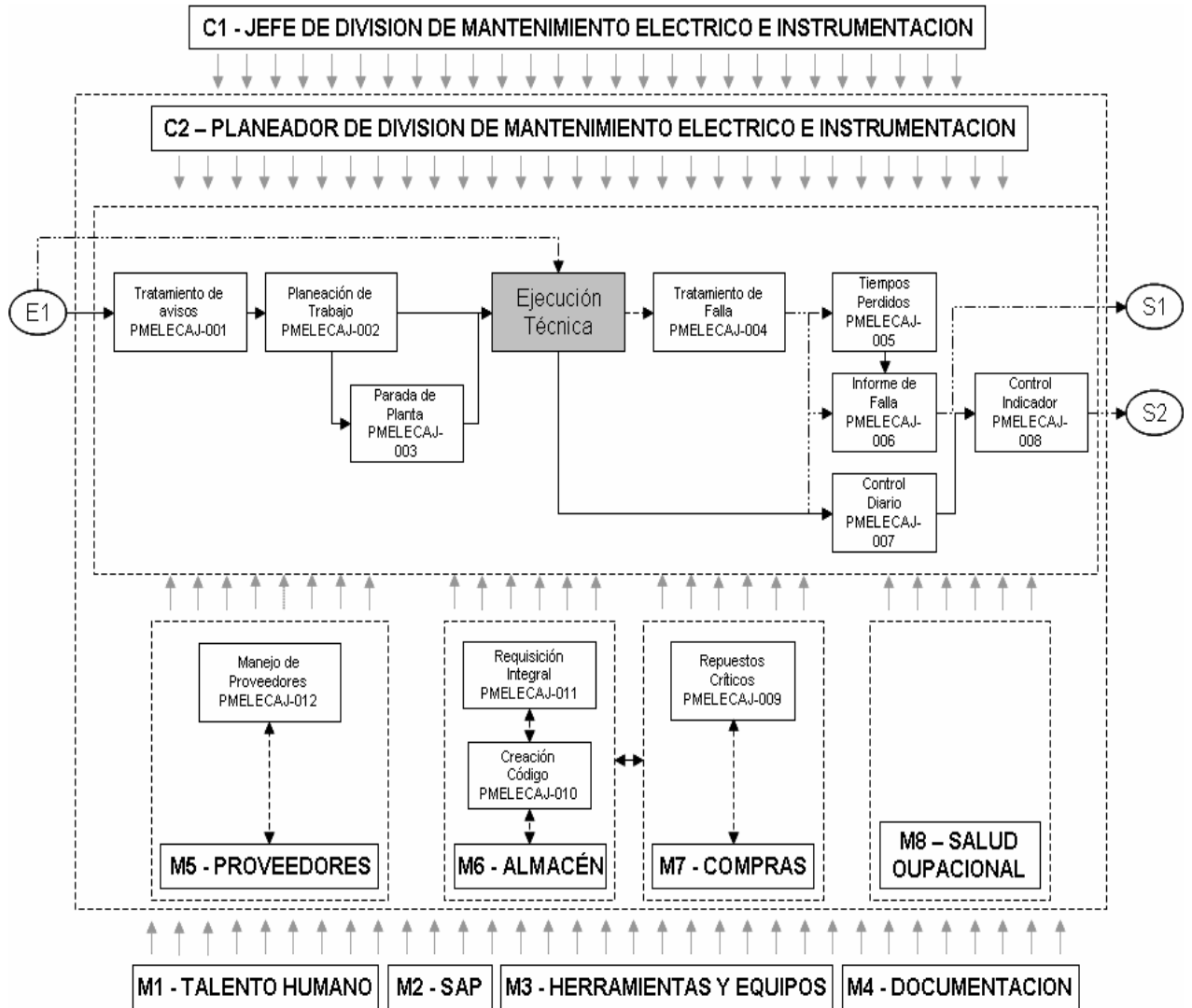


Fuente: Grupo Familia.

## 2.2 MANTENIMIENTO ELECTRICO PLANTA CAJICA

### 2.2.1 Macroproceso de mantenimiento eléctrico

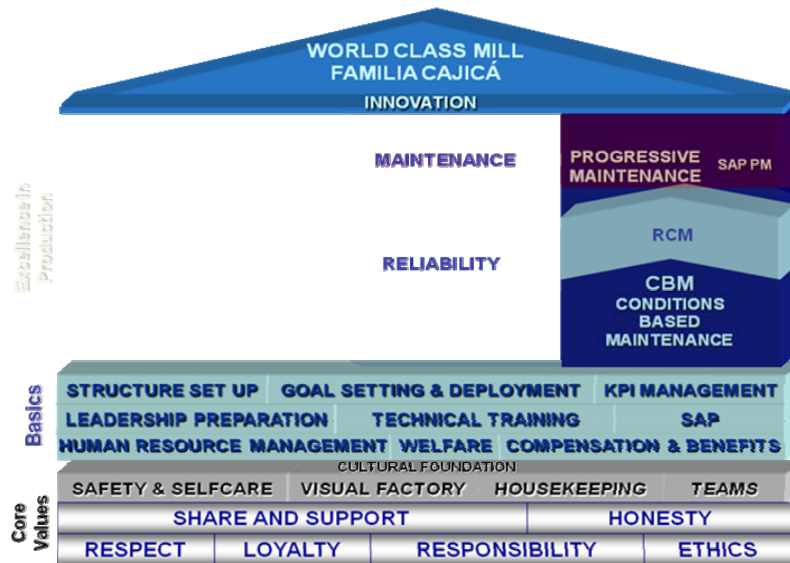
Ilustración 17. Macroproceso mantenimiento eléctrico.



Fuente: Grupo Familia.

## 2.2.2 Despliegue estratégico

Ilustración 18. Despliegue estratégico mantenimiento eléctrico.



Fuente: Grupo Familia.

Ilustración 19. Plan estratégico mantenimiento eléctrico.



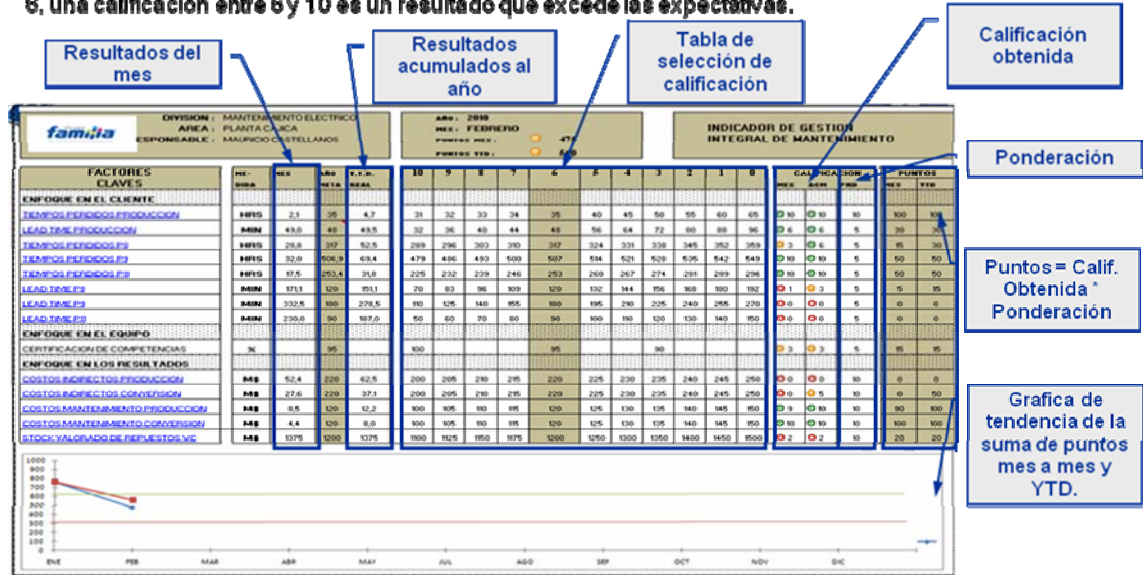
Fuente: Grupo Familia.

Ilustración 20. Seguimiento y despliegue de indicadores.

## SEGUIMIENTO Y DESPLIEGUE DE INDICADORES CLAVE EN MANTENIMIENTO ELECTRICO

**Objetivo:** Medir todos los objetivos claves del área en un indicador integral de gestión.

**Procedimiento:** Se eligen los indicadores claves de gestión del área y se alinean con los KPI de la planta ponderándolos de acuerdo a su incidencia en los objetivos estratégicos del negocio, se eligen los indicadores de seguimiento año a año. El resultado del año anterior se califica con 0 o 3 y la meta con 6, una calificación entre 6 y 10 es un resultado que excede las expectativas.

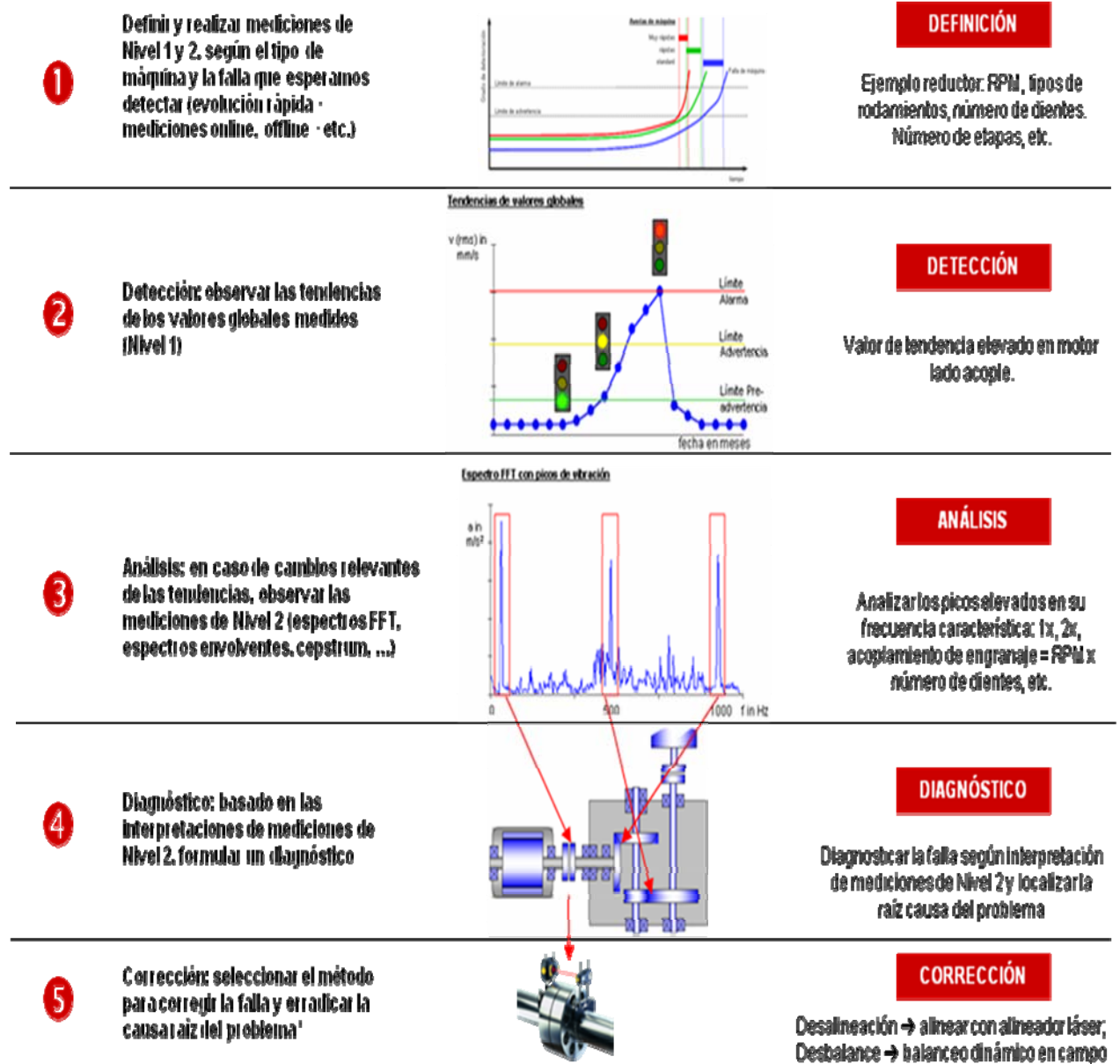


Fuente: Grupo Familia.

El proceso de mantenimiento en la planta de Cajicá está soportado por dos procesos fundamentales, que son el mantenimiento basado por condición quienes

### 2.2.3 Mantenimiento basado en la condición

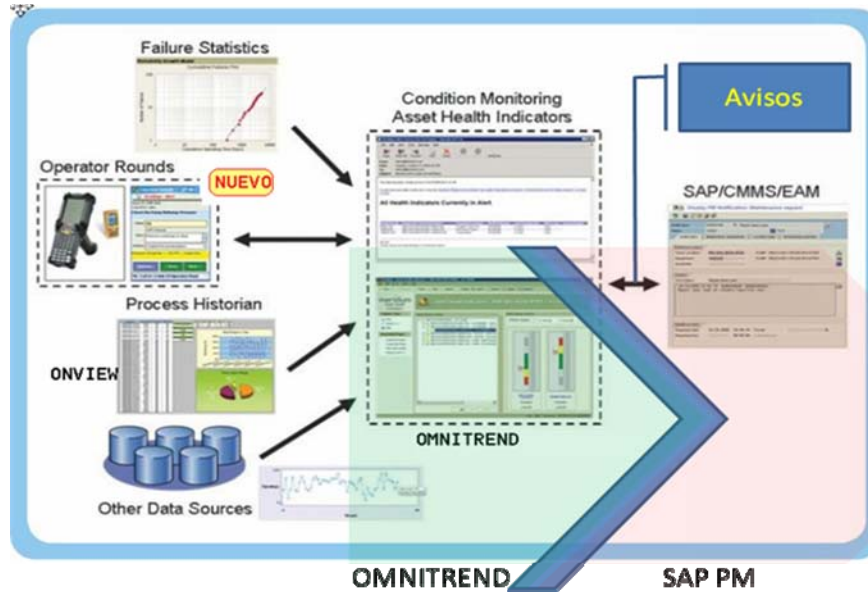
Ilustración 21. Mantenimiento basado en condición.



Fuente: Grupo Familia.

## 2.3 SISTEMAS DE INFORMACION

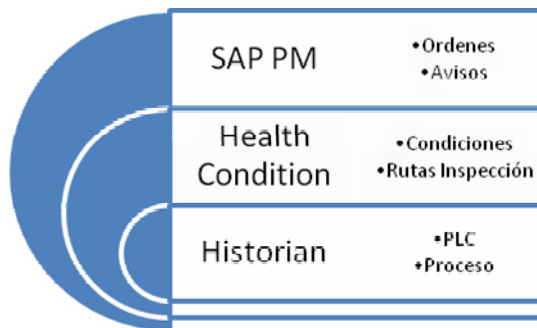
Ilustración 22. Sistemas de información.



Fuente: Grupo Familia.

Los sistemas de información usados para la gestión y planeación de mantenimiento son tres:

Ilustración 23. CMMS para la gestión y planeación de mantenimiento.



Fuente: Grupo Familia.

### 2.3.1 Historian

El sistema encargado de registrar y almacenar los reportes de proceso al igual que las variables de control provenientes del PLC es un historiadorel cual permite analizar los eventos y correlaciones de estos con las fallas o eventos que ocurren,

estos datos sirven de base para direccionar la medición de variables y para elaborar los avisos de mantenimiento que entrarían en la fase de planeación y programación.

### 2.3.2 Health Condition

Este sistema almacena la base de datos de las condiciones recolectadas en las rutas de medición. Estas rutas incluyen: vibraciones, pulsos de choque, ultrasonido, velocidad e imágenes termográficas.

Y también recolecta la información proveniente de las rutas de inspección de mantenimiento y manufactura, permitiendo recoger la información que no está disponible en los sistemas de control PLC, información como lecturas de manómetros, termómetros, niveles de visores, estados de acoples, de cables de conexión, y todas las inspecciones visuales que ayuden a encontrar posibles potenciales de falla.

Ilustración 24. Health Condition

#### Gestor de máquinas

- Representa máquinas
- Configura rutas de medición
- Configura alarmas.
- Configura marcadores de frecuencias
- Etc.

#### Administración de rutas

- Configurar rutas.
- Descarga rutas a instrumentos definidos.
- Carga rutas con mediciones efectuadas.
- Verificar violación de alarmas.
- Etc.

#### Visualizador de resultados

- Visualización de resultados
- Identificación de máquinas con condiciones deterioradas y con alarmas
- Análisis de máquinas
- Identificación de frecuencias de averías
- Diagnosticar e identificar causa raíz.
- Etc.

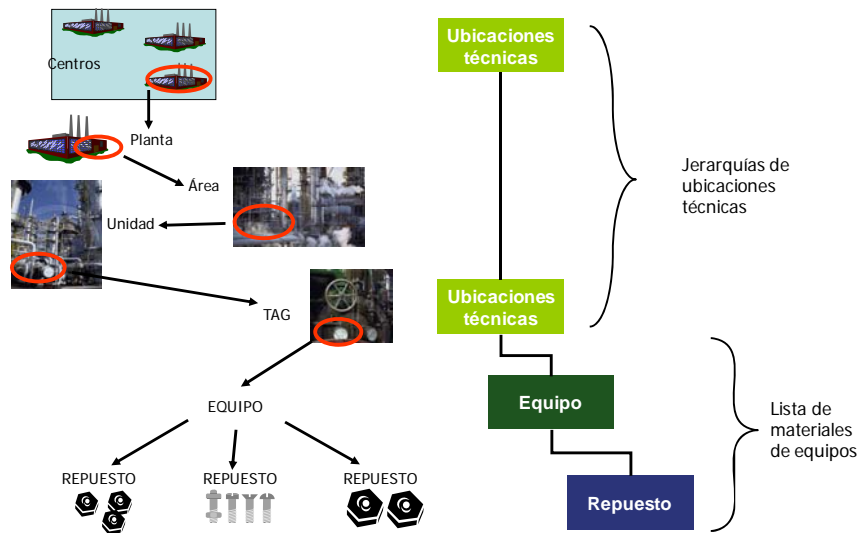
#### Generación de reportes

- Generación de plantillas de reportes
- Creación de reportes
- Administración de reportes
- Impresión de reportes: cumplimiento de rutas, máquinas en alarma, detalles de máquinas en alarmas.
- Etc.





## Estructura técnica. Representación

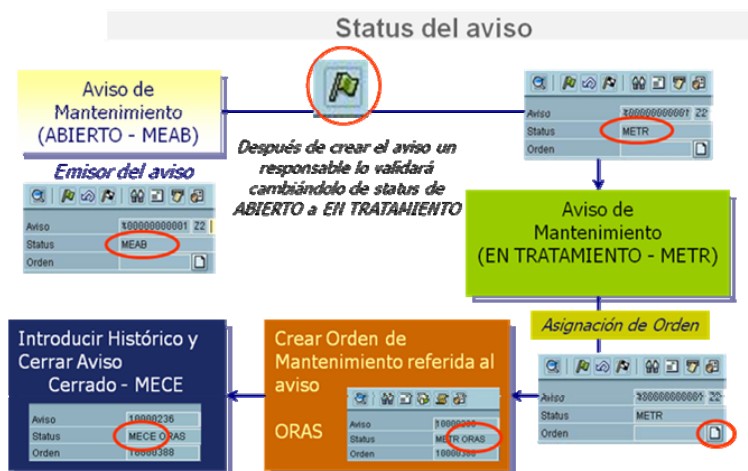


Fuente: Grupo Familia.

Avisos de mantenimiento:

Los avisos de mantenimiento que llegan de las diferentes fuentes son tratados para poder realizar el proceso de planeación, de acuerdo al flujo descrito en la ilustración 25.

Ilustración 26. Status del aviso.

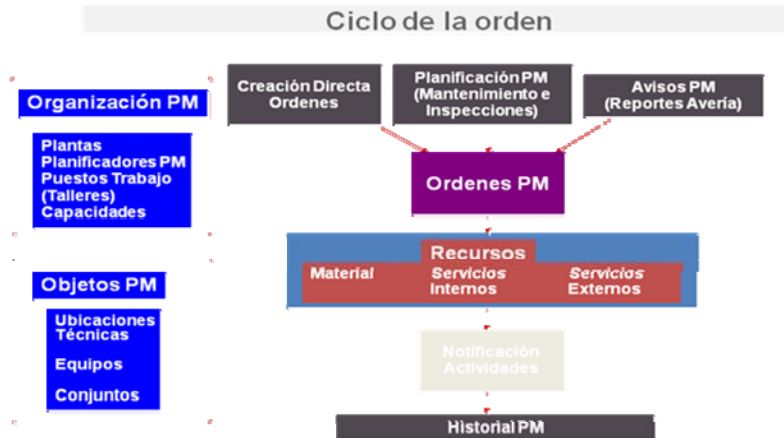


Fuente: Grupo Familia.

Orden de Mantenimiento:

Una vez determinada la viabilidad del trabajo a realizar el planeador crea la orden de mantenimiento.

Ilustración 27. Ciclo de la orden.



Fuente: Grupo Familia.

Planeación de materiales:

Los materiales más críticos de cada equipo se encuentran codificados y anexos al equipo permitiendo la facilidad y confiabilidad a la hora de planear y programar las órdenes.

Ilustración 28. Materiales – Lista de materiales.

**Materiales – Lista de materiales**

Es posible seleccionar los materiales necesarios para cada una de las operaciones través de la lista de materiales definida para el equipo  
 La cantidad propuesta para la reserva o pedido será igual a la cantidad instalada

**Forma de estructura de lista de materiales**

Crear orden-RT: Lista de estructura

Orden: 1000007    14/07/04    14/07/04

Descripción: SEPTIADA BOMBA RECIRCULACION DE A.P.    SEPTIADA BOMBA

0	000	AGOSTARVIC Clavos Resaca de 2.5x4"	L	2	01	0
0	000	Elemento Relativo J.C. 8032344	L	1	1	0
0	000	Elemento Estacionario J.C. 8032344	L	1	1	0
0	000	Impulsor	L	1	01	0
0	000	Carcasa de Bomba	L	1	01	0

**A través de un gráfico que representa la lista de materiales**

Gráf.

Fuente: Grupo Familia.

Seguimiento y control:

Para el seguimiento y control se cuentan con herramientas que determinan el estado de avisos y órdenes.

Ilustración 29. Listado a varios niveles.

## Listado a varios niveles II

**Legenda de colores:**

- Orden
- Interlocutor
- Ubicación técnica
- Equipo
- Aviso
- Operación
- Notificación
- Componente
- Utilidades
- Subórdenes
- Permiso
- Autorización concedi
- Movimientos acías.
- Relaciones de ordena
- Costes/Ingresos

*Lista órdenes (var.niv.): Lista órdenes*

Código	Descripción	Operación	Valor 1	Valor 2	Valor 3	Valor 4	Valor 5	Valor 6
10000258	LIBR MACO NLIQ PREC							
EJ-01-P07-86AS-86701	BOMBEO DE NAFTA A.12							
10000090								
10000149								
0010	OPER. 1		311	1001				
254	Acople							
251	Rodamiento 7311-86							
0020	OPER. 2		311	1001				
MATERIALES	KPPP		0	0	0	2.100	0	0
	0		0	0	0	0	0	0
	2.100 ESP							
10000263	VIBRACIONES ALTAS EN CARCASA DE LA BOMBA LIBR MACO NLIQ PREC							
EJ-09-E01-6EG-6EP10	Bombeo de recirculación de A.P. A09							
10000067								
10000159	VIBRACIONES ALTAS EN CARCASA DE LA BOMBA							
0010	VIBRACIONES ALTAS EN CARCASA DE LA BOMBA MASMEC01 0030							
252	Impulsor							
254	Acople							
A5	Carcasa de Bomba							
	KPPS		0	0	0	0	0	0
	0 ESP		0	0	0	0	0	0
MATERIALES	KPPP		0	0	0	800	0	0
	0		0	0	0	0	0	0
	800 ESP							
MO-AJENA	KPPS		0	0	0	14.000	0	0
	0		0	0	0	0	0	0
	14.000 ESP							

Fuente: Grupo Familia.

En cuanto al seguimiento de los costos el flujo de información va desde la generación de la orden hasta el cierre de la misma permitiendo valorar el costo de las intervenciones con todos los elementos en todos los centros operativos y no operativos de la planta.

### 3. TEORÍA DEL MANTENIMIENTO<sup>2</sup>

Un sistema de gestión de mantenimiento busca garantizarle al cliente interno o externo, que el parque industrial esté disponible, cuando lo requiera con confiabilidad y seguridad total, durante el tiempo necesario para operar, con las condiciones técnicas y tecnológicas exigidas, para producir bienes o servicios que satisfagan las necesidades, deseos o requerimientos de los clientes, con los niveles de calidad, cantidad y tiempos solicitados, en el momento oportuno al menor costo posible y con los mayores índices de productividad, rentabilidad y competitividad.

En la práctica real del mantenimiento industrial solo existen dos tipos o formas fundamentales de hacer mantenimiento:

- Mantenimiento Reactivo.
- Mantenimiento Proactivo.

El mantenimiento reactivo es el conjunto de actividades desarrolladas en los equipos, maquinas, instalaciones o edificios, cuando se presenta una falla, para recuperar su función principal. Como su nombre lo indica las acciones de mantenimiento reaccionan a las fallas y se ejecutan para corregirlas.

El mantenimiento proactivo es el opuesto del sistema reactivo, en donde las operaciones de mantenimiento reaccionan a las fallas del equipo realizando las operaciones. En la operación proactiva la prevención de las fallas se realizan a través de inspecciones y de acciones preventivas y predictivas. El objetivo es por tanto anticiparse a la probabilidad de ocurrencia de las fallas.

Existen varias formas comunes de hacer mantenimiento reactivo entre ellas:

- Mantenimiento reparativo.
- Mantenimiento de emergencia.
- Mantenimiento correctivo.
- Mantenimiento reconstructivo.

De igual manera existen varias formas comunes de hacer mantenimiento proactivo entre ellas:

- Mantenimiento preventivo.
- Mantenimiento predictivo.
- Mantenimiento detectivo.

---

<sup>2</sup> García Oliverio. Sistemas básicos de mantenimiento.

- Mantenimiento mejorativo.

Dentro de todas estas se destacan por su utilización principalmente tres, que se han establecido como los sistemas básicos de hacer mantenimiento, y son:

- Mantenimiento correctivo (CM)
- Mantenimiento preventivo (PM)
- Mantenimiento predictivo (CBM)

Todos los demás modos de gestión de mantenimiento son sistemas mixtos que utilizan estos sistemas básicos dependiendo del desarrollo de sus procesos, y a su vez agrupan varias técnicas fundamentales y se denominan Estrategias de Gestión Modernas de mantenimiento o estrategias de Confiabilidad Operacional dentro una adecuada gestión de activos; las más destacadas en los últimos cuarenta años, y son:

- Mantenimiento productivo total (TPM)
- Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)
- Optimización del mantenimiento planeado (PMO)
- Optimización integral del mantenimiento,

### **3.1 MANTENIMIENTO CORRECTIVO (CM)<sup>3</sup>**

Por definición, mantenimiento correctivo es el conjunto de actividades desarrolladas en los equipos, maquinas, instalaciones o edificios, cuando a consecuencia de una falla, han dejado de prestar la calidad del servicio para la cual fueron diseñados. Por tanto, las labores deben llevarse a cabo tienen por objeto la recuperación inmediata de la calidad del servicio.

Toda labor de mantenimiento correctivo, exige una atención inmediata, por lo cual esta no puede ser debidamente programada y en ocasiones solo se tramita y controla por medio de los reportes “Maquina fuera de servicio” y en estos casos el personal debe efectuar los trabajos absolutamente indispensables para seguir prestando el servicio, disminuyendo al mínimo el tiempo de parada y la consiguiente producción perdida. El mantenimiento correctivo es el tipo de manteamiento más usado ya que es el que requiere de menor conocimiento, organización y en principio menor esfuerzo, aunque esto realmente no es así pues demanda trabajo anormal y por lo general fuera de las horas hábiles.

La actividad fundamental que se desarrolla en el mantenimiento correctivo es la reparación no planificada que resulta debido a la falla imprevista; antes de que se realice la reparación propiamente dicha es necesario examinar el tipo y la causa

---

<sup>3</sup> García Oliverio, Mantenimiento Correctivo.

del daño; esto es lo que suele llamarse comprobación del daño y mediante esta constatación se permite ver concretamente cuales son las operaciones que hay que efectuar.

Este tipo de mantenimiento solo se aplica cuando el sistema no puede seguir en operación. No existe un proceso de planeación apropiada para este sistema, y solo se justifica cuando el análisis técnico-económico muestra que el costo de otro tipo de mantenimiento es mayor, y la falla no genera efectos secundarios en la seguridad funcional del sistema. Actualmente se conoce este sistema como RTF (Run To Failure) o, operar hasta que falle.

### 3.1.1 Recursos Necesarios.

Las averías y paros en maquinaria se presentan aun en las fabricas que cuentan con un buen sistema de mantenimiento preventivo, para la rápida solución de los problemas se requiere contar con un equipo de reparaciones especialmente preparados en los diferentes tipos de maquinas y equipos dentro la planta. Los cuatro factores más importantes en el grupo de mantenimiento correctivo son:

- El talento humano.
- El equipo (Maquinaria, herramientas, equipos de medición y control).
- El suministro de repuestos.
- La organización y las actividades de control.

Estos recursos deben integrar, coordinar y complementar adecuadamente para lograr la eficiencia requerida en las labores urgentes.

El recurso humano tiene que ser apropiadamente explotado, pues es imposible mantener un equipo suficiente para atender todas las solicitudes de inmediato o en cualquier circunstancia; por tanto es deber de una buena dirección decidir el orden de prioridades en la realización de los trabajos, con las personas adecuadas para lograr la minimización de los gastos.

Para conseguir que las cosas se hagan mejor se requiere de estudio, buena información y comunicación, lo que señala la importancia básica de establecer y mantener programas permanentes de capacitación y formación del personal y simultáneamente estudiar, analizar, y determinar los procedimientos y métodos de trabajo más eficientes.

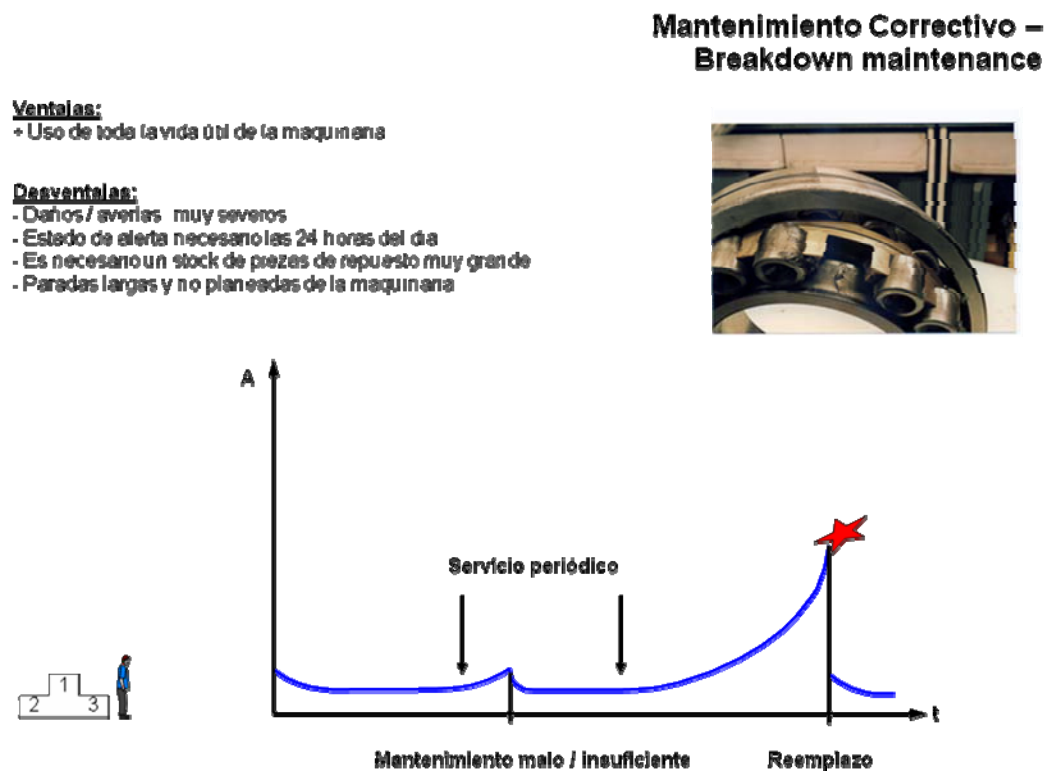
Las necesidades de capacitación varían con los requerimientos particulares y se basan en una buena o mala selección del personal, ya que esta es una de las etapas de la organización, que requiere de mayor responsabilidad. El cuidado en la selección debe ser directamente proporcional a la importancia del cargo; por

esto la selección de directivos es difícil por cuanto se requiere que sea a la vez un buen técnico y un buen administrador.

Otro aspecto importante a considerar es que el personal que se envía a efectuar reparaciones este dotado de las herramientas y equipos apropiados para que pueda desempeñar su labor con rapidez y eficiencia; es decir que cuente con los demás recursos físicos en el sitio y momento oportuno, así como un adecuado suministro de repuestos y partes de recambio. Debe también instruirse acerca de la labor específica a realizar y los procedimientos lógicos a emplear para minimizar la posibilidad de fallas o errores humanos y así poder hacer uso provechoso de los recursos disponibles.

A continuación encontrara un resumen grafico del mantenimiento correctivo

Ilustración 30. Resumen grafico mantenimiento correctivo.



Fuente: Pruftechnik.

### 3.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO (PM)<sup>4</sup>

Son muchas las definiciones que se encuentran del mantenimiento preventivo, pero todas ellas se caracterizan porque se interviene el equipo antes de que se presente el paro o falla. Podemos definir mantenimiento preventivo como: El conjunto de actividades programadas a equipos en funcionamiento que permiten en la forma más económica, continuar su operación eficiente y segura, con tendencia prevenir las fallas y paros imprevistos.

Esto significa que un programa de mantenimiento preventivo incluye dos actividades básicas:

- Inspección periódica de los equipos de la planta, para descubrir las condiciones que conducen a paros imprevistos de producción.
- Conservación de la planta para anular dichos aspectos, adaptarlos o repararlos cuando se encuentren aun en etapa incipiente.

A menudo se considera el sistema preventivo como sinónimo de mantenimiento periódico, planeado, sintomático o dirigido; el mantenimiento preventivo (PM) debe tener una parte importante de todas estas funciones, pero no son su único elemento. En cada tipo de empresa de acuerdo con la naturaleza de sus actividades y su sistema productivo, es factible establecer un programa de PM, que sea de fácil ejecución e implementación; normalmente toda organización cuenta con los equipos, parte del personal, talleres e instalaciones para llevar a cabo este tipo de mantenimiento.

Para la implementación de un sistema de mantenimiento preventivo son necesarias ciertas bases, quizá la más importante sea la participación ideológica de todos los sectores involucrados; el éxito de un programa se basa fundamentalmente, en que se venda la idea de PM a cada uno de los integrantes de la planta, a la gerencia, a los ejecutivos de producción, a los supervisores de mantenimiento y a los técnicos. Es necesario también, un conocimiento a fondo de los componentes del sistema, su metodología y su forma de administración, con miras obtener el verdadero objetivo del mantenimiento, de lograr menores costos de producción de productos de calidad.

Se requiere una aplicación selectiva del programa de mantenimiento preventivo; se considera que es demasiado riesgo aplicarlo a toda la planta de una vez, lo mejor es ir construyendo el programa paso a paso, sin importar lo rápidamente que se pueda integrar; hasta cuando se termine un paso se debe comenzar el siguiente. Una vez que se hagan los programas de inspección y la lista de tareas a realizar, estas se deben ejecutar periódicamente puesto que el desarrollo mismo

---

<sup>4</sup> García Oliverio, Mantenimiento Predictivo.

del programa va dando las pautas para correcciones a que hay lugar. Es conveniente, también, que una vez implementado el programa sea manejado con suma honestidad, es decir que los trabajos programados sean realizados a conciencia y que los informes se ajusten exactamente a las labores de desarrolladas.

Cualquier persona que espere los beneficios completos del mantenimiento preventivo en forma rápida se desalentará. Es obvio que todo cambio de sistema produce traumas y problemas que deben ser resueltos en la primera fase. Uno de los inconvenientes principales cuando se introduce un sistema de PM es el aumento de los costos totales de mantenimiento general, puesto que en las primeras inspecciones se encuentran un gran número de fallas que deben ser corregidas, debido al alto deterioro de los equipos que usualmente han sido manejados con base en un mantenimiento correctivo. Por eso se recomienda que antes de aplicar el mantenimiento preventivo los equipos se deben poner en óptimas condiciones de funcionamiento lo cual indica altos costos por reparaciones generales.

Un plazo prudencial para la implementación de un sistema PM es de dos a tres años. La impaciencia puede malograr el sistema, por lo tanto es necesario que todas las personas relacionadas se enteren también de las dificultades que se presentan, para que colaboren en la mejor forma posible para el éxito del programa. Se puede afirmar además que implantar el mantenimiento preventivo exige un cambio de mentalidad, una férrea voluntad de hacerlo y un sólido convencimiento de la bondad del sistema.

### 3.2.1 Categorías del mantenimiento preventivo.

El PM se lleva a cabo para asegurar la Disponibilidad y Confiabilidad de los equipos. La disponibilidad puede definirse como la probabilidad estadística de que el equipo pueda funcionar adecuadamente cuando se requiera, dentro de un periodo de tiempo de operación preestablecido. La confiabilidad es la probabilidad estadística de que el equipo no falle, dentro de su operación normal, en un momento determinado.

El objetivo del mantenimiento preventivo es aumentar al máximo la disponibilidad y confiabilidad de los equipos llevando a cabo un mantenimiento planeado eficaz. Una de las características fundamentales de un equipo que ha sido bien diseñado, es que pueda mantenerse o repararse correctamente durante el tiempo especificado para ello. Esto es la mantenibilidad o facilidad de mantenimiento y puede definirse como la probabilidad estadística de que el equipo pueda ser reparado durante un tiempo dado.

El mantenimiento preventivo puede estar basado en las condiciones reales del equipo, o en los datos históricos de fallas del equipo; el primer caso se conoce

como CBM, que es la sigla en inglés de mantenimiento basado en condición o mantenimiento predictivo y el segundo sistema ha dado origen a una nueva tecnología de mantenimiento denominado PMO, que es la sigla en inglés de optimización de mantenimiento planeado.

### 3.2.2 Ventajas del mantenimiento preventivo.

Cualquier programa de mantenimiento preventivo bien elaborado y apropiadamente aplicado, produce beneficios que sobrepasan los costos. Entre las múltiples ventajas del mantenimiento preventivo, las más importantes son las siguientes:

- Reducción de las paradas imprevistas de los equipos. Se disminuye el tiempo ocioso, en relación con todo lo que se refiere a economías y beneficios para la empresa.
- Menos necesidad de reparación o reconstrucción en gran escala y menor número de reparaciones repetitivas, por lo tanto, menor acumulación de la fuerza de trabajo de mantenimiento y equipo.
- Menor necesidad del equipo en operación, reduciendo con ello la inversión de capital.
- Cambio del sistema de mantenimiento deficiente de “paros” a mantenimiento programado menos costoso, con lo que se logra un mejor control del personal, materiales y equipos.
- Disminuye los pagos por tiempo extra de los trabajadores de mantenimiento originados por las reparaciones imprevistas.
- Disminuyen los costos de reparaciones de los desperfectos sencillos, realizados antes de los paros imprevistos, debidos a la menor fuerza de trabajo, o a las pocas técnicas empleadas y a la menor cantidad de partes que se necesitan para los paros planeados.
- Reducción de los costos de mantenimiento, de mano de obra y materiales, para las partidas de activos que se encuentran en el programa.
- Mejor control de las refacciones, lo cual conduce a tener un inventario menos costoso.
- Aplazamiento o eliminación de los desembolsos por reemplazo prematuro de planta o equipo, debido a la mejor conservación de los activos e incremento de su vida útil probable.
- Menor número de productos rechazados, menos desperdicio, mejor control de calidad, por la correcta adaptación del equipo.
- Menor costo unitario, al aumentar el tiempo útil de producción.
- Mayor seguridad para operaciones y maquinaria.
- Facilita el control sistematizado de la programación.
- Es fuente incalculable de valiosos datos estadísticos.

### 3.2.3 Programas de mantenimiento preventivo.

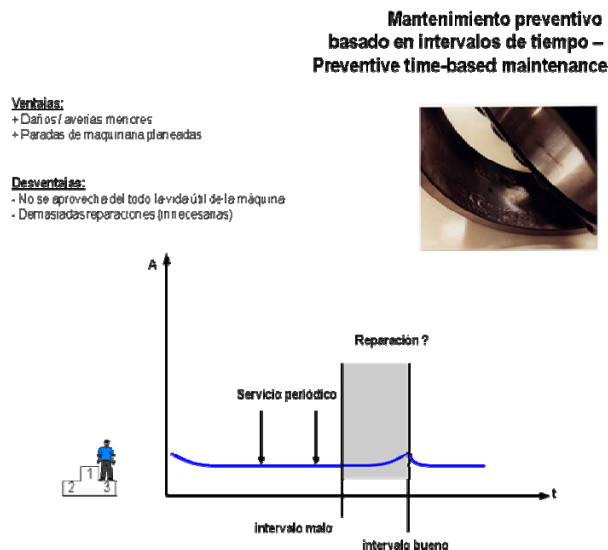
En cada industria dependiendo de sus actividades, es posible establecer un programa diferente de PM. Este varía de acuerdo al tipo de fábricas, plantas dentro de una misma industria, procesos, equipos, sistemas de operación, localización, etc. Un plan de mantenimiento preventivo debe ser flexible, dinámico, muy activo y cambiante con las experiencias exigidas.

Los principales tipos de programas de PM de aplicación industrial se puede agrupar en tres:

- Mantenimiento preventivo periódico permanente: es un programa realizado de acuerdo a un orden lógico de actividades de mantenimiento basado en las recomendaciones de los fabricantes.
- Mantenimiento preventivo periódico productivo: es un programa elaborado en un 100% de acuerdo con las necesidades productivas de la planta, se realiza después de elaborar los programas de producción.
- Mantenimiento preventivo periódico por Over – Haul: es un programa de actividades aplicable en las paradas generales de empresas que suspenden totalmente las actividades productivas durante un o dos veces al año.

A continuación encontrara un resumen grafico del mantenimiento Preventivo.

Ilustración 31. Resumen grafico mantenimiento preventivo.



Fuente: Pruftechnik.

### 3.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO (CBM)<sup>5</sup>

En las últimas décadas se ha venido aumentando notoriamente en la industria, la aplicación del mantenimiento predictivo como complemento fundamental del mantenimiento preventivo y correctivo. Este incremento responde a la diversidad de factores entre los que podemos enumerar, los nuevos desarrollos tecnológicos en equipos de medición y diagnóstico; la tecnificación de la producción en líneas de proceso continuo, las máquinas modernas altamente costosas e interdependientes, los altos costos de repuestos y reposición de equipos, y especialmente el alto grado de concientización sobre los costos de los paros productivos. El mantenimiento predictivo basado en la utilización de los equipos de diagnóstico para el análisis de fallas es la respuesta conveniente para la conservación económica de los equipos y la minimización de las paradas.

El sistema de mantenimiento predictivo se define como “El conjunto de actividades, programadas para detectar las fallas de los equipos por revelación antes que sucedan, con los equipos en operación y sin perjuicio de la producción, usando aparatos de diagnóstico y pruebas no destructivas.

Aunque existen varias técnicas adicionales de aplicación del mantenimiento predictivo como el ultrasonido, la radiografía, la tomografía, las vibraciones y otras pruebas no destructivas, se ha generalizado que el mantenimiento predictivo está basado en la medición ya análisis de parámetros, y que toma como principio el hecho de que si una máquina se encuentra en buena condición de operación no debe ser intervenida.

#### 3.3.1 Beneficios del mantenimiento predictivo.

La inversión que se haga en mantenimiento predictivo es totalmente justificada, si se logra el objetivo fundamental del programa con los siguientes ahorros derivados de los beneficios generales, entre los cuales podemos considerar:

- La detección precoz de fallas incipientes que convierten los daños en rutinas programadas de mantenimiento.
- La eliminación de las inspecciones periódicas de mantenimiento preventivo, en que hay que desarmar los equipos.
- Aumento entre el periodo de revisiones detalladas e inspecciones generales de mantenimiento preventivo.
- Eliminación casi total de las fallas inesperadas, lo cual se refleja en una mayor productividad.

---

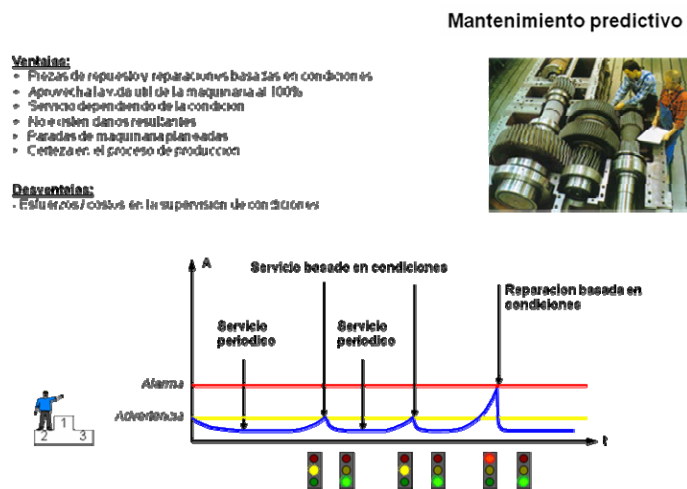
<sup>5</sup> Oliverio García. Mantenimiento Predictivo.

- Aumento del factor de servicio por determinación de severidad de los problemas y disminución del tiempo de paro necesario para hacer las reparaciones debidamente programadas.
- Ahorro y disminución del inventario de repuestos, ya que estos se reemplazan solamente cuando se les ha agotado su vida útil.
- Corrección a tiempo de muchos problemas de montaje que producen fallas recurrentes en la maquinaria.
- Reducción de número de equipos iguales en Stand-by gracias al incremento de la confiabilidad de los que se encuentran en operación.
- Ahorro apreciable en los consumos de energía de los equipos, cuando trabajan en óptimas condiciones.

Cuando se ha logrado crear conciencia de los beneficios del sistema y se ha tomado la decisión de implantarlo, al evaluar las alternativas se debe tener en cuenta además, que debido a la existencia de múltiples métodos y equipos para la medición de parámetros, todos ellos tienen características diferentes. Los equipos portátiles ofrecen menor protección a menor costo, mientras que los automáticos más sofisticados protegen muy bien las máquinas a un precio considerablemente mayor, pero para cada planta y proceso hay un sistema de medición que efectivamente puede salvar a la empresa de millonarias pérdidas al no incluir en su mantenimiento las técnicas modernas del mantenimiento predictivo.

A continuación encontrará un resumen gráfico del mantenimiento predictivo.

Ilustración 32. Resumen gráfico mantenimiento predictivo.



Fuente: Pruftechnik.

### **3.4. MANTENIMIENTO PROACTIVO Y DIAGNÓSTICO**

El mantenimiento proactivo consiste en el estudio de fallas y análisis de la actividad de mantenimiento, para poder obtener conclusiones y dar sugerencias para mejorar la función de mantenimiento.

El estudio de incidencias y análisis de fallas es una actividad relacionada con la subestación en general. La programación de esta actividad y su realización dependerá del criterio de la empresa, en función de los problemas que se desee analizar

#### **3.4.1 Grupo de trabajo.**

A cargo de esta actividad podría estar un grupo de trabajo, consistente en un Círculo de Mantenimiento que a su vez es dirigido por los responsables de mantenimiento. Pueden existir varios círculos de mantenimiento, encargados de diferentes aspectos del servicio de mantenimiento o de diferentes componentes del sistema.

Los responsables de mantenimiento les darán a los Círculos de Mantenimiento determinados problemas a estudiar, y éstos se encargarán de elaborar las propuestas y sugerencias para dar solución a los problemas

- El problema o evento objeto de análisis, es estudiado por el CM correspondiente, para esto se le dará al CM toda la información necesaria
- El CM analiza el problema y obtendrá propuestas de soluciones al respecto, las cuales se plasmarán en un informe de propuesta de soluciones
- Esta propuesta de soluciones se entrega al responsable de mantenimiento o al cuarto nivel de intervención
- Si las propuestas no son aprobadas, el CM debe analizar nuevamente el problema.
- Si las propuestas son aceptadas, éstas se presentan a jefatura, que aprueba la implantación de la propuesta
- Mientras se implantan las propuestas, los CM hacen seguimiento a dicha implantación, con la supervisión del cuarto nivel o del responsable de mantenimiento

#### **3.4.2 Actividades del mantenimiento proactivo.**

Entre las actividades que se realizan en el mantenimiento proactivo, están principalmente

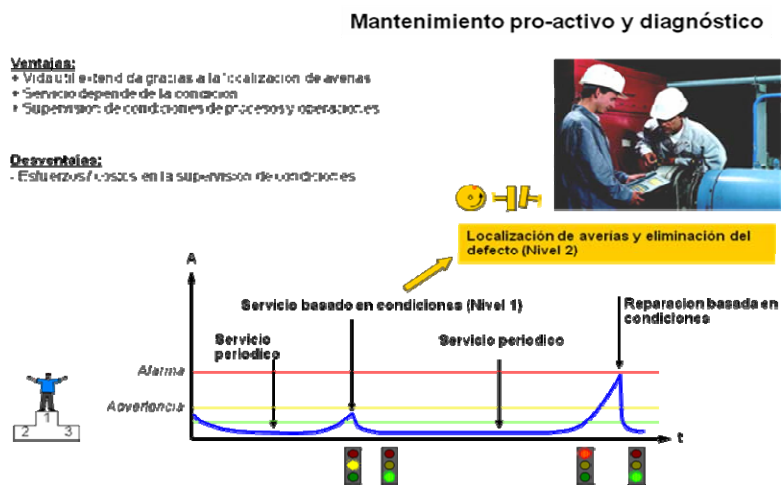
- Clasificación de fallas: Se comienza por la elaboración de una lista de posibles fallas o averías que pudieran presentarse: información obtenida a

- **Determinación de recursos del mantenimiento correctivo:** La determinación de recursos el mantenimiento correctivo, consiste en preparar anticipadamente, un listado de recursos necesarios en caso de que se presenta algún tipo de falla que requiera la intervención del mantenimiento correctivo, en otras palabras, consiste en saber “lo que se necesita tener a mano” según el caso que se presente. En base a la clasificación de posibles fallas como en el inciso anterior, se puede elaborar una lista de “síntomas” o datos que se podrían tener en caso de que ocurriese una falla cualquiera, previamente seleccionada por el grupo de trabajo, luego se determinan los recursos necesarios para la atención de dicha falla, se hace lo mismo con otras fallas, similares o no, luego se puede tener un listado de recursos necesarios para mantenimiento correctivo, se pueden clasificar los mantenimientos correctivos en grupos según los recursos que consuman, y lo más útil de este trabajo es que, según los “síntomas” podrá saberse qué recursos son indispensables, necesarios y no necesarios
- **Identificación de elementos o eventos más frecuentes:** El estudio de incidencias permitirá identificar aquellos eventos o elementos que se presentan con mayor frecuencia para priorizar su atención, y de esta manera estudiar la reducción de sus efectos e incidencias. Para esto se utiliza una herramienta denominada análisis de Pareto. El método de Pareto consiste en una serie de pasos que finalizan en la clasificación de eventos en clases de prioridad. Este análisis podría ayudar a establecer gastos innecesarios y no detectados, gastos sobredimensionados, peor en especial a ver los problemas que requieren mayor atención, o atención inmediata
- **Reprogramación de actividades:** El mantenimiento no sólo consiste en seguimiento de procedimientos y recomendaciones, sino que también debe tener la tendencia a ser menos costoso en cada gestión. Algunas veces el tiempo programado no resulta suficiente para realizar todas las actividades planificadas para cierto equipo o circuito, esto puede solucionarse incrementado el tiempo programado para las intervenciones, o reduciendo las actividades (pruebas) a realizar. El primer caso no es muy aplicable en sistemas eléctricos, ya que prolonga la interrupción del servicio, lo cual trae sus respectivas consecuencias a la empresa. El segundo caso es más aplicable, aunque requiere de un estudio previo, no consiste en la eliminación de actividades, sino en el cambio de frecuencia de la realización de las mismas, es decir que algunas actividades podrían realizarse

Este análisis se efectúa luego de realizadas las actividades de mantenimiento programado, y es un proceso que requiere tiempo, incluso años, para la obtención de conclusiones. Las ventajas de la reprogramación de actividades es que reducen tiempos y costos de mantenimiento preventivo, ya que al no tener que efectuarse ciertas pruebas anualmente, se reduce la cantidad de instrumentos y personal necesarios para dicha actividad.

A continuación encontrara un resumen grafico del mantenimiento proactivo y diagnostico.

Ilustración 33. Resumen grafico mantenimiento proactivo y diagnostico.



Fuente: Pruftechnik.

#### **4. MANTENIMIENTO EN EQUIPO ELÉCTRICO<sup>6</sup>**

Es de conocimiento general que hoy en día, la energía eléctrica es necesaria para muchos aspectos de la vida diaria, ninguna persona está exenta del uso de la energía eléctrica, de una forma u otra, ya sea en su domicilio o en el trabajo, equipos en funcionamiento, talleres, televisores, oficinas, quirófanos, etc. Esto nos lleva a la conclusión de que el servicio eléctrico debe ser continuo.

Hay que tomar en cuenta también que este servicio debe ser prestado en las mejores condiciones de calidad, y hoy en día, existen leyes y sistemas reguladores que velan por el cumplimiento de tales reglamentos por parte de las empresas del sector eléctrico, tanto en lo referido a la continuidad del servicio como a la calidad del mismo.

Los Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP), tienen varios componentes y cada uno con características singulares, y éstos forman parte importante de todo el sistema, cumpliendo cada uno con sus funciones específicas, diferentes de los demás componentes, pero importantes para el buen funcionamiento del sistema, tanto en condiciones de calidad como de continuidad de servicio. Uno de estos componentes son las subestaciones, cuya función es la interconectar circuitos entre sí, con las mismas características de potencia, aunque con características diferentes en algunos casos (voltaje y corriente).

Las subestaciones pueden ser de transmisión o de distribución, de alta o de media tensión, y sus componentes, y la disposición de estos, pueden variar de una subestación a otra, pero las características de los componentes siempre serán las mismas, y cada uno tendrá también dentro de la subestación, funciones específicas e importantes a la vez.

Existen en una subestación, interruptores, encargados de unir o abrir circuitos entre sí, transformadores de potencia, encargados de transmitir la potencia de un sistema a otro con las características deseadas de voltaje y corriente, transformadores de medida, que se encargan de medir las características de la señal eléctrica para fines de protección y registro, seccionadores, que unen o separan circuitos, bancos de capacitores, que sirven para compensar la caída de tensión al final de la línea de transmisión, los pararrayos que protegen contra descargas; sólo para mencionar algunos.

Tomando en cuenta que las subestaciones son un componente importante de los sistemas de potencia, además de ser los de mayor costo económico, y que la

---

<sup>6</sup> Murrillo Rocha. Mantenimiento en Subestaciones.

continuidad del servicio depende en gran parte de ellas; es necesario aplicar a estos sistemas (subestaciones) una adecuada Gestión de Mantenimiento. Esta gestión deberá observar al mantenimiento preventivo, englobando al mantenimiento predictivo, para revisar con cierta frecuencia el estado de los equipos, al mantenimiento correctivo para reparaciones o reemplazos preventivos, el cual deberá tener cierta planificación para intervenciones de emergencia, y al mantenimiento proactivo, para el análisis y revisión periódica de la gestión, y para la evolución del mantenimiento y sus procedimientos. Todo esto interrelacionado entre sí, conformando así al Mantenimiento Integrado.

#### **4.1 ORIENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO EN SUBESTACIONES.**

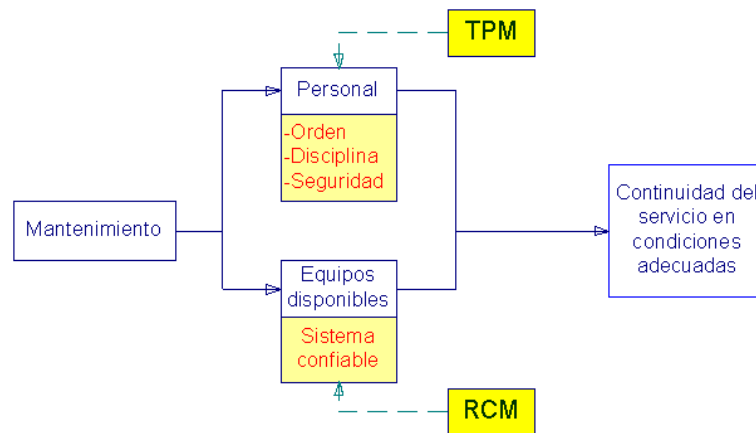
Al buscar una filosofía aplicable al mantenimiento en subestaciones, se puede encontrar que orientar el mantenimiento hacia la Disponibilidad de equipos es la más ajustable a los requerimientos y características de este componente de Sistemas de Potencia. Esta orientación debe estar basada, tal vez, en los argumentos más utilizables de la filosofía del Mantenimiento Productivo Total (TPM) y del Mantenimiento basado en la Confiabilidad (RCM). Antes de hablar de los argumentos más aplicables al Mantenimiento en subestaciones, tal vez sea necesario mencionar por qué ambos tipos de mantenimiento, no son directamente aplicables a subestaciones, es decir cada uno por sí solo y completamente aplicado a subestaciones.

El TPM es una filosofía de mantenimiento que exige Calidad Total en el trabajo de mantenimiento, lo cual no es difícil de obtener, pero en consecuencia exige que en los sistemas en los que se aplica esta filosofía, llegar al nivel de “cero fallas”; sabiendo que en sistemas de potencia la mayor parte de las fallas se deben a factores externos, muchas veces que escapan al control (condiciones climáticas, por ejemplo), no será posible llegar al nivel de “cero fallas”, sin elevar considerablemente los costos de operación, y por ende el precio de la unidad de energía eléctrica.

Por otro lado, el RCM es un sistema de mantenimiento que se basa en la Confiabilidad, es decir que el sistema en el que se aplica el RCM debe continuar con su trabajo normal a pesar del surgimiento de alguna falla i de la falencia de algún componente del sistema, y esto se logra mediante el reemplazo de dicho componente en el sistema productivo, sin importar si este reemplazo es similar o no, el punto es que el sistema mantenga su ritmo de producción. Se sabe que una subestación tiene la función de transmitir la energía eléctrica de un sistema a otro, y que cada componente de la misma cumple funciones únicas relativas a ese equipo, por tanto, en caso de ausencia de uno de estos, sin importar la causa, no será posible reemplazar u obviar tal componente para que la transmisión de energía continúe porque esto podría llevar a fallas mayores, o paradas del sistema, que pudieron haberse evitado si el componente en cuestión hubiera estado cumpliendo sus funciones.

Pero esto no descarta a los tipos de mantenimiento mencionados para su aplicación en subestaciones, cabe mencionar que el RCM puede formar parte del TPM aplicado a un sistema productivo; si se analiza, el TPM es una filosofía que se refiere más al recurso humano del mantenimiento, y su comportamiento en el desarrollo de dicha función, que al sistema productivo en sí, y el RCM se inclina más al sistema productivo y su confiabilidad. Por tanto, estos argumentos pueden ser aplicables a cualquier sistema incluyendo subestaciones.

Ilustración 34. Orientación de mantenimiento en subestaciones.



Orientación del mantenimiento en subestaciones

Fuente: Universidad técnica de Oruro.

Esto lleva a buscar la Confiabilidad de una subestación, y según lo antes mencionado, para lograr esto deberá buscarse la Disponibilidad de los equipos de la misma, ya que 'equipos disponibles cumplen su función, y por tanto el sistema será confiable'. Para que los equipos estén disponibles, el mantenimiento preventivo jugará un papel importante, dejando de ese modo, la posibilidad de fallas debidas principalmente a factores externos, es donde el mantenimiento correctivo deberá jugar su papel, y para el buen desempeño de estos mantenimientos, el personal deberá comportarse con seguridad, orden y disciplina necesarios, y es donde el TPM se aplica. Pero el mantenimiento no es estático, es evolutivo, por tanto necesita actualizarse, analizarse y reflexionarse para su mejora continua, será entonces cuando intervenga el mantenimiento proactivo.

Los tres mantenimientos mencionados, estarán entrelazados entre sí, lo que se convertirá en un mantenimiento integrado, aplicado a subestaciones.

#### 4.2 MANTENIMIENTO INTEGRADO.

En función a lo visto anteriormente, dando al mantenimiento en subestaciones una orientación hacia la Disponibilidad de equipos, y tomando en cuenta el sistema de trabajo en Sistemas de Potencia (transmisión y distribución, principalmente), el

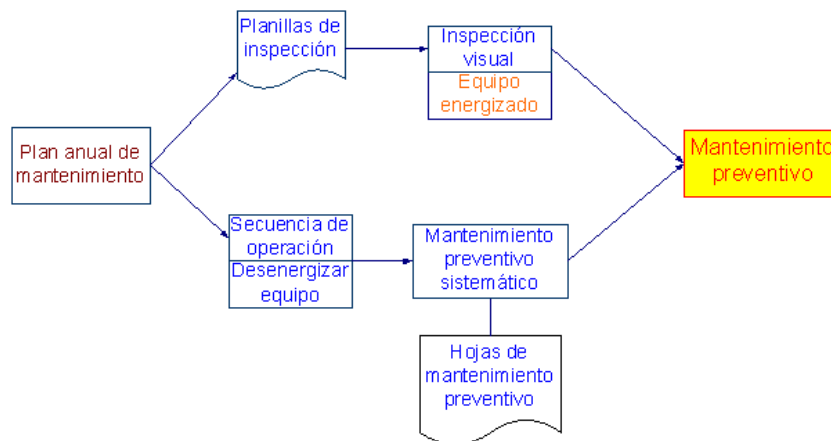
mantenimiento en subestaciones debe estar integrado, es decir, mirar el mantenimiento como un conjunto, cuyos componentes serán en mantenimiento preventivo, correctivo y proactivo.

#### 4.2.1 Mantenimiento preventivo.

El mantenimiento preventivo en subestaciones se divide en dos componentes:

- Inspección visual.
- Mantenimiento preventivo programado o sistemático.

Ilustración 35. Mantenimiento preventivo.



#### Mantenimiento preventivo

Fuente: Universidad técnica de Oruro.

#### Inspección visual:

Este tipo de mantenimiento se efectúa en forma mensual, sin desenergizar la línea, no utiliza herramientas ni instrumentos en la mayor parte de los casos, y como su nombre lo indica consiste sólo en inspecciones visuales.

Tiene la finalidad de revisar visualmente el estado exterior de los equipos, anotándose en una planilla los resultados de dicha inspección.

Las planillas tienen una casilla por fase, es decir, tres para los equipos, en las que se anotan las letras correspondientes al estado exterior del equipo, según el siguiente criterio:

Tabla 2. Planillas de inspección.

Llenado de las planillas de inspección		
Letra	Significado	Estado
G	<b>Grave.</b> - Significa un estado de avería del equipo mostrado en el exterior, que implicará programación de un mantenimiento correctivo.	Cimientos quebrados, falta de perfiles o pemos de la estructura, perfiles dañados, conexión a tierra suelta, cables sueltos (no aislados) en el mando, baja densidad en las celdas del banco de baterías, manchas graves de aceite, fuga del aislante (SF <sub>6</sub> , aceite), porcelanas seriamente dañadas, rotas o fogoneadas, falta de aisladores o seriamente dañados, conductores sueltos o hebras rotas, iluminación fuera de servicio, falta de fusibles, presencia de humedad, daños en manómetros, vacuómetros o medidores de temperatura, radiadores rotos, bajo nivel en las celdas, banco de baterías, averías en cubicales, silicagel no azul, daños en anillos equipotenciales
L	<b>Leve.</b> - El daño es menor, avería menor que puede solucionarse cuando se efectúe el mantenimiento programado	Leve daño en porcelanas, polvo en el mando, daños menores en el mando, aisladores rajados, manchas leves de aceite o de óxido, polvo en las porcelanas, falta de señalización de seguridad, el patio no está limpio, visores de aceite sucios
S	<b>Sin novedad.</b> -Significa que el equipo está en buen estado, visto exteriormente, implica la ausencia de los casos antes señalados.	

Fuente: Universidad técnica de Oruro.

Existen ciertos ítems que se observan a la hora de hacer una inspección visual, y se registran el estado de estos ítems en las planillas de inspección, según lo antes mencionado. Para los equipos de una subestación, se tiene:

Tabla 3. Estado de equipos a tener en cuenta en las planillas de inspección.

Transformador de potencia	Construcciones civiles, tanque, conexión a tierra, porcelanas de los bushings, limpieza general, tanque conservador, radiadores, ventiladores, silicagel, relé Buchholz, cambiador de taps, manómetro, vacuómetro, nivel de aceite, indicador de temperatura, caja de control, terciario, temperaturas de aceite y bobinas,
Interruptores (aceite, SF <sub>6</sub> , vacío, aire)	Fundaciones civiles, estructura, conexión a tierra, porcelanas, indicador de estado, mando, borneras, calefacción, hermeticidad, fugas de aceite, presión de gas (N <sub>2</sub> ), número de operaciones, hermeticidad
Transformadores de medida (CT's, PT's, CCPD's)	Fundaciones civiles, estructura, conexión a tierra, porcelanas, visor de aceite, nivel de aceite, calefacción, caja de borneras, nivel de N <sub>2</sub> , capacitor
Seccionadores	Fundaciones civiles, estructura, conexión a tierra, porcelanas, hermeticidad mando, relé de conexión a tierra
Pararrayos	Fundaciones civiles, estructura, conexión a tierra, porcelanas, anillo equipotencial, número de descargas, conexión de potencia
Banco de capacitores	Fundaciones civiles, estructura soporte, conexión a tierra, malla de seguridad, señalización, aisladores conexiones, fugas
Banco de baterías	Estructura soporte, conexión a tierra, ventilación, tensión de banco, tensión de cada celda, nivel, temperatura, densidad

Fuente: Universidad técnica de Oruro.

### Mantenimiento preventivo sistemático:

Consiste en una serie de pruebas a realizar en los equipos para verificar su estado. El trabajo tiene carácter preventivo, pero también engloba al mantenimiento predictivo, y en algunos casos al correctivo.

El mantenimiento predictivo interviene cuando al efectuar las pruebas al equipo, se llega a conocer su estado actual y es posible entonces, conocer el estado futuro o anticiparse a las posibles fallas. El mantenimiento preventivo sistemático se realiza generalmente con línea desenergizada, pero existen algunas técnicas que se pueden aplicar sin necesidad de desenergizar la línea. En la mayoría de las industrias el mantenimiento programado se efectúa en días en los que la producción puede ser interrumpida, pero en el caso del servicio eléctrico, ya que su continuidad no puede ser interrumpida, estos trabajos se programan en días en los que el consumo de energía eléctrica es menor que los demás, lo que ocurre generalmente los fines de semana. También existen disposiciones de subestaciones que permiten que algunos equipos puedan ser desenergizados para trabajos de mantenimiento, sin que esto implique la interrupción del servicio eléctrico, pero de todos modos requerirá de una coordinación con los responsables de operación. Las técnicas de Mantenimiento Predictivo que se aplican en subestaciones, en base a recomendaciones de normas internacionales (IEC-76, IEC-72), se detallan a continuación.

- Inspección termográfica: Se utiliza, mediante el empleo de cámaras de termovisión infrarroja, para localizar defectos por calentamiento, particularmente en piezas de contacto de seccionadores, bornes y grapas de conexión de los equipos, tomando como referencia la temperatura ambiente y la de otra fase sana. Se aplica mediante un barrido de todas las conexiones eléctricas en un parque y permite registrar la distribución de temperaturas en un equipo que se encuentre en las condiciones de régimen normal de servicio.
- Medida de tensión de paso y contacto: En las instalaciones eléctricas se producen de forma circunstancial, corrientes de defecto a tierra que generan elevaciones del potencial del terreno, que pueden llegar a ser peligrosas para las personas que trabajen en ellas. Para garantizar que estos potenciales no sean peligrosos, las normas, definen los valores máximos admisibles de tensión y el método de medida de la tensión de paso y contacto, mediante inyección de corriente en la red de puesta a tierra. Asimismo, se establece la necesidad de medir las tensiones que se puedan transferir fuera de la subestación y la determinación de la resistencia de difusión a tierra de una subestación, recién construida o en funcionamiento, para verificar su estado de conservación con el paso del tiempo.

- Medida de resistencia de contacto: Las características eléctricas de un contacto, en elementos de maniobra, dependen del número de interrupciones y de la energía del arco acumulada, ya que provocan el desgaste de sus componentes, pérdida de presión de contacto y presencia de impurezas al depositarse una película particularmente aislante en la superficie. Asimismo, los esfuerzos que se producen durante las fallas, la acción del viento y las vibraciones transmitidas durante las maniobras, empeoran las características mecánicas de los puntos de conexión de los equipos. El control del valor de la resistencia eléctrica en las uniones de conductores que forman un circuito eléctrico, permite determinar la máxima intensidad que puede circular a través de ellas, sin que se sobrepasen los límites de calentamiento admitidos para cada tipo de material que componen la unión.
- Resistencia dinámica en interruptores: Debido al diseño de los contactos en algunos interruptores, que disponen de contactos principales y de arco, se aprovecha durante la realización de la curva de desplazamiento de los mismos, para registrar de forma continua la caída de tensión en la cámara de corte al inicio y fin de las maniobras de apertura y cierre
- Resistencia dinámica de los cambiadores de tomas en carga: Una parte importante de los fallos en los transformadores de potencia son causados por el envejecimiento de los contactos del cambiador de tomas en carga (CTC). La inspección del estado de los contactos del selector resulta laboriosa por su ubicación.  
Actualmente se está aplicando un nuevo método para diagnosticar el estado de los contactos deslizantes durante el proceso de conmutación evitando el desmontaje para la inspección, basado en la obtención del oscilograma correspondiente al cambio de intensidad debido a la influencia del valor de las resistencias que interviene durante la conmutación en cada toma de regulación de tensión (resistencias de conmutación, contacto y del arrollamiento correspondiente).
- Medida de resistencia de devanados: La resistencia eléctrica del arrollamiento de los devanados en los transformadores se altera por la existencia de cortocircuitos entre espiras, defectos térmicos en su aislamiento por deficiencias en los contactos del regulador en carga del transformador. El control del valor de esta resistencia facilita la toma de decisiones de mantenimiento, especialmente en intervenciones por avería
- Medidas de tiempos de maniobra: Una de las principales medidas que se realizan en el mantenimiento de seccionadores con mando eléctrico o neumático y especialmente en interruptores, consiste en el control de los tiempos propios requeridos en la realización de maniobra de cierre y apertura. El control de estos valores posibilita los ajustes precisos para garantizar la correcta operación de los equipos y permite programar adecuadamente la revisión necesaria para sustituir piezas y componentes.

- Sincronismo entre cámaras del interruptor: La medida del tiempo de maniobra en cada una de las cámaras del interruptor permite conocer el nivel de sincronismo alcanzado por los contactos, tanto linealmente (entre cámaras de corte de cada fase) como transversalmente (entre fases) facilitando una información complementaria del balance de energías en la maniobra.
- Tiempo de reposición de energía del mando de accionamiento del interruptor: En interruptores con mando a resortes se mide el tiempo de carga de resortes para poder asegurar que las maniobras son realizadas en condiciones óptimas. En mandos neumáticos es necesario verificar la actuación de los presóstatos. Cuando los tiempos obtenidos difieran o presenten desviaciones significativas con respecto a los valores de referencia, se procederá a la revisión de los sistemas de carga: motores, compresores, conducciones, conexiones eléctricas, tensión, etc.
- Análisis del gráfico de desplazamiento de contactos en interruptores: El método de diagnóstico más utilizado para conocer el estado mecánico de un interruptor se basa en la obtención gráfica de las curvas de desplazamiento de sus contactos principales durante las maniobras de cierre, apertura y cierre sobre falta. Del análisis del gráfico realizado en la propia instalación y cuya interpretación se ve ampliamente apoyada mediante el uso de la telediagnos, se obtienen los siguientes parámetros de control.
- Carrera total (recorrido): Valor definido entre la diferencia desde la posición inicial, antes del comienzo de la maniobra, hasta la posición final alcanzada al término de dicha maniobra.
- Penetración de contactos: Distancia que recorre en la apertura del contacto principal entre la posición de cerrado y la separación eléctrica de contactos.
- Velocidad de apertura y cierre: Se miden en los intervalos del gráfico de desplazamiento indicados por el fabricante: zona de arco en la apertura y de prearco en el cierre.
- Amortiguación, sobrerrecorridos y rebotes: Se analizan en las zonas de referencia del gráfico, observado si la amortiguación es correcta y no se producen sobrerrecorridos, ni rebotes en número y amplitud excesivos.
- Gráficos de consumo de bobinas y motores: El control del consumo en las bobinas de apertura contribuye al conocimiento del estado de los sistemas eléctricos y mecánicos del interruptor, obteniéndose normalmente del registro gráfico de la intensidad realizado simultáneamente con el registro de desplazamiento de contactos, tiempos de maniobra, y tensión de alimentación en bornas del armario de mando. El registro del consumo del motor facilita una información complementaria a la del tiempo de reposición de energía del mando en interruptores y sirve igualmente para controlar el comportamiento del mando de los seccionadores durante las maniobras
- Medida de contaminación depositada en aisladores: Estas medidas tratan de determinar el momento en que la contaminación depositada en él

- Medida de corriente de fuga en pararrayos de ZnO: Los pararrayos se encuentran sometidos durante el servicio a la influencia de diferentes sobretensiones, tanto temporales como de maniobra y atmosféricas, que envejecen sus componentes y pueden causar su avería. La evaluación de los pararrayos de ZnO, puede hacerse a partir de la medida y control de la componente resistiva de la corriente de fuga que les atraviesa de forma permanente durante el servicio normal.
- Medida en clase de precisión en transformadores de potencial: Si bien con el tiempo, la precisión en los transformadores de medida puede verse alterada, en los transformadores de potencial capacitivos se producen con mayor frecuencia variaciones en la relación de transformación debido a la modificación del valor de la capacidad de los condensadores que constituyen el divisor de tensión. La determinación del error de relación de transformación y de ángulo se realiza por comparación de las medidas de tensión registradas, con otro transformador usado como patrón
- Análisis del aceite aislante: Los aceites aislantes son componentes esenciales de un gran número de equipos eléctricos, en particular para transformadores de potencia y de medida. La evaluación del estado del aceite aislante en servicio se efectúa atendiendo a los siguientes índices de control: aspecto y color, contenido en agua, índice de neutralización, factor de pérdidas dieléctricas y tensión de ruptura, así como, cantidad de partículas que por tamaño son contabilizadas
- Análisis de gases disueltos en aceite: Uno de los métodos de diagnóstico que proporciona una indicación anticipada de anomalías en su comportamiento funcional y permite determinar las medidas que conviene adoptar antes de que el equipo sufra daños más importantes se basa en el análisis cromatográfico de los gases de descomposición del aceite aislante por calentamiento excesivo de ciertos puntos del transformador o por descargas eléctricas en su interior. Según sea la temperatura del punto caliente la energía de las descargas, las proporciones en que se producen los diferentes gases de descomposición son distintas. Por efecto de las sollicitaciones térmicas o eléctricas, los aceites aislantes dan lugar a los siguientes gases de descomposición: hidrógeno, metano, etano, etileno, acetileno, monóxido y dióxido de carbono, oxígeno y nitrógeno. Determinando el contenido de cada gas, la valoración global y la relación entre las concentraciones de los diferentes gases y su evolución, se puede conocer no solamente la existencia de un defecto, sino también el tipo del

- Medidas del ruido y vibraciones: Estas medidas son útiles para la detección de fallos incipientes en equipos que contengan piezas mecánicas en movimiento o sometidas a vibración por rozamiento con fluidos, campos magnéticos alternos, etc
- Medidas de aislamiento eléctrico: Los aislamientos eléctricos de los equipos de AT constituidos por aceite, porcelana, papel, resinas, gas SF<sub>6</sub>, etc., son susceptibles de envejecimiento por el paso del tiempo y las condiciones de servicio, dando lugar a una pérdida progresiva de sus características dieléctricas, que requiere el control de su evolución. Este control se lleva a cabo por medio de las técnicas relacionadas a continuación
- Medida de resistencia de aislamiento en corriente continua: Corresponde principalmente a la medida de la conductividad superficial del aislamiento y se utiliza en la detección de un fallo inminente. Facilita la decisión de intervención inmediata, así como el conocimiento de la tendencia a largo plazo de un deterioro progresivo y la estimación global del nivel de aislamiento realmente existente
- Medida de la tensión de resorción del aislamiento papel-aceite: El efecto de polarización de un dieléctrico cuando es sometido a tensión y la medida de la tensión de descarga del aislamiento determina en función del tiempo previo de carga, la curva del espectro de polarización. Este ensayo se utiliza para conocer el grado de envejecimiento del aislamiento de papel impregnado en aceite, influenciado por el contenido de humedad, la temperatura y por la absorción de productos de descomposición
- Medida de pérdidas dieléctricas y capacidad: Con la medida del factor de potencia o tangente del ángulo de pérdidas en aislantes sólidos y líquidos se puede detectar la presencia de un efecto, aunque existan capas de aislante en buen estado en serie con el defectuoso, permitiendo aislar en la medición el efecto del aislamiento externo. La variación de la capacidad de un aislamiento prueba la existencia de condiciones anormales, como presencia de humedad, secciones de condensador cortocircuitadas o interrumpidas. Defectos a tierra del blindaje, deformación de bobinados en transformadores de potencia y deficiencias en condensadores de reparto de tensión entre otras
- Medida de descargas parciales: El envejecimiento de los aislamientos se manifiesta, en ocasiones, por la presencia de descargas de alta frecuencia cuyo trayecto puentea, sólo parcialmente, el aislamiento entre conductores. A ello contribuye de manera importante, además de las sobretensiones, el incremento de temperatura del equipo. La medida de descargas parciales, que desde hace tiempo es una parte esencial de los ensayos de calificación eléctricos y por ello se encuentra muy desarrollada a nivel de laboratorio,

- Medida de la corriente de excitación en transformadores de potencia: La medida de la corriente de excitación a tensión reducida puede utilizarse en campo para localizar ciertos defectos relacionados con el aislamiento de la estructura del núcleo y chapas magnéticas, fallos en el aislamiento entre espiras del devanado y deficiencias en los dispositivos de conmutación del regulador de tensión
- Medida de la reactancia de dispersión en transformadores de potencia: El valor de la reactancia de pérdidas a menudo referida al ensayo de impedancia de cortocircuito en laboratorio, es sensible al cambio de la geometría configurada por las líneas de flujo, y su medida en campo, utilizando baja tensión, puede revelar movimientos y deformaciones de los devanados, circuitos abiertos o cortocircuitos entre espiras
- Respuesta de los devanados a diferentes frecuencias: El devanado de los transformadores está formado por una distribución de resistencia, inductancia y capacitancia que presenta una respuesta muy definida en amplitud y fase, a los cambios de frecuencia en baja tensión. El registro y comparación de dichas respuestas para diferentes bancos de frecuencia permite la detección de variaciones en la distancia entre espiras y deformaciones en el devanado.

A continuación se relacionan una serie de tablas donde podemos encontrar los equipos típicos de las subestaciones, con sus respectivas técnicas, estado del equipo para las pruebas y la frecuencia de las técnicas.

Tabla 4. Pruebas y frecuencia de técnicas en transformadores de potencia

<b>Transformadores de potencia</b>		
<b>Técnica de diagnóstico o actividad</b>	<b>Estado del equipo</b>	<b>Frecuencia</b>
Análisis del aceite aislante		
Físico – químico de calificación	Desenergizado	Anual
Gases disueltos	Desenergizado	Anual
Concentración derivados furfuraldehído	Desenergizado	Anual
Medidas dieléctricas		
Capacidad entre devanados y a tierra	Desenergizado	Anual
Factor de potencia	Desenergizado	Anual
Resistencia de aislamiento en corriente continua	Desenergizado	Anual
Tensión resorción papel – aceite	Desenergizado	Anual
Medidas eléctricas		
Relación de transformación	Desenergizado	Anual
Resistencia de devanados	Desenergizado	Anual
Corriente de excitación	Desenergizado	Anual
Reactancia de dispersión	Desenergizado	Anual
Análisis de respuesta a diferentes frecuencias	Desenergizado	Anual
Respuesta dinámica del cambiador de tomas	Desenergizado	Anual
Medida de ruido y vibraciones	Energizado	Tres años
Limpieza de bushings	Desenergizado	Anual
Limpieza de tanque	Desenergizado	Anual
Limpieza y revisión de válvulas	Desenergizado	Anual
Limpieza del sistema de refrigeración	Desenergizado	Anual
Consumo motores de ventilación	Desenergizado	Anual
Limpieza del sistema de protección y control	Desenergizado	Anual

Fuente: Universidad técnica de Oruro.

Tabla 5. Pruebas y frecuencia de técnicas en interruptores.

<b>Interruptores</b>		
<b>Técnica de diagnóstico o actividad</b>	<b>Estado del equipo</b>	<b>Frecuencia</b>
Resistencia circuito principal y conexiones	Desenergizado	Anual
Resistencia dinámica	Desenergizado	Tres años
Resistencia de aislamiento en corriente continua	Desenergizado	Anual
Tiempos de maniobra y sincronismo entre contactos	d / e	Anual
Análisis gráfico movimiento interruptor		
Recorrido de contactos	Desenergizado	Anual
Penetración de contactos	Desenergizado	Anual
Velocidad de apertura y cierre	Desenergizado	Anual
Amortiguación, sobrerrecorridos y rebotes	Desenergizado	Anual
Análisis gráfico consumo de bobinas	Desenergizado	Anual
Control sistema de acumulación de energía		
Tiempo de reposición	Desenergizado	Anual
Intensidad motor de carga resortes	Desenergizado	Anual
Consumo energía maniobras	Desenergizado	Anual
Control medio de extinción		
Rigidez dieléctrica, niveles (PVA)	d / e	Tres años
Presión, consumo, humedad (aire)	d / e	Tres años
Humedad, acidez, calidad gas (SF6)	d / e	Tres años
Comprobación fugas de aislante (SF6)	Desenergizado	Anual
Limpieza de porcelanas	Desenergizado	Anual
Limpieza del mando	Desenergizado	Anual
Engrase y/o lubricación del mecanismo de accionamiento	Desenergizado	Anual
Ajustes y/o reemplazo en el cableado del mando	Desenergizado	Anual
Revisión del varillaje del mecanismo de accionamiento	Desenergizado	Anual

Fuente: Universidad técnica de Oruro.

Tabla 6. Pruebas y frecuencia de técnicas en seccionadores y pararrayos.

<b>Seccionadores</b>		
Técnica de diagnóstico o actividad	Estado del equipo	Frecuencia
Resistencia circuito principal y conexiones	Desenergizado	Anual
Tiempos de maniobra	Desenergizado	Anual
Consumo energía por maniobra (motores)	d / e	Anual
Limpieza del mando	Desenergizado	Anual
Ajustes en el cableado del mando	Desenergizado	Anual

<b>Pararrayos</b>		
Técnica de diagnóstico o actividad	Estado del equipo	Frecuencia
Medidas dieléctricas		
Factor de potencia	Desenergizado	Anual
Medida de comente de fuga (ZnO)	Energizado	Tres años
Medida descargas parciales	Energizado	Tres años
Limpieza porcelanas	Desenergizado	Anual

Fuente: Universidad técnica de Oruro.

Tabla 7. Pruebas y frecuencia de técnicas en transformadores de medida.

<b>Transformadores de medida</b>		
Técnica de diagnóstico o actividad	Estado del equipo	Frecuencia
Análisis de aceite aislante		
Físico – químico de calificación	Desenergizado	Tres años
Gases disueltos	Desenergizado	Tres años
Medidas dieléctricas		
Capacidad	Desenergizado	Anual
Factor de potencia	Desenergizado	Anual
Medida de descargas parciales	Energizado	Tres años
Medida clase de precisión	Energizado	Tres años
Medidas eléctricas		
Relación de transformación	Desenergizado	Anual
Resistencia de devanados	Desenergizado	Anual
Corriente de excitación	Desenergizado	Anual
Reactancia de dispersión	Desenergizado	Anual
Limpieza de porcelanas	Desenergizado	Anual
Limpieza de la bornera	Desenergizado	Anual
Ajuste v/o reemplazo del cableado en la bornera	Desenergizado	Anual

Fuente: Universidad técnica de Oruro.

Tabla 8. Pruebas y frecuencia de técnicas en banco de capacitores.

<b>Banco de capacitores</b>		
Técnica de diagnóstico o actividad	Estado del equipo	Frecuencia
Medida de Capacitancia		
Del banco	Desenergizado	Anual
Del ramal	Desenergizado	Anual
De cada unidad	Desenergizado	Anual
Limpieza general	Desenergizado	Anual

Fuente: Universidad técnica de Oruro.

Inspección termográfica:

La inspección termográfica se realiza con equipo energizado, y es una actividad que abarca a toda la subestación, y un elemento necesario del mantenimiento preventivo-predictivo.

Para la tomografía es necesario considerar los siguientes aspectos:

- Temperatura ambiente.
- La fase que se toma como fase de referencia.
- Si el equipo presenta anomalías cuando se efectúa la inspección termográfica estas imágenes podrán ser analizadas luego en una PC.
- Tiempo correspondiente a la realización de la medición termográfica

En esta inspección se analiza los puntos indicados a continuación:

Tabla 9. Puntos a tener en cuenta en tomografía.

Transformador de potencia	Tanque del transformador, bushings, conexiones de potencia, terciario, sistema de refrigeración, ventiladores, sistemas de protección y control
Interruptores	Cámara de corte, mando, motor de accionamiento, conexiones del mando, conexiones de potencia
Seccionadores	Mordaza de cierre, conexiones de potencia, mando, motor de accionamiento, conexiones de control
Transformadores de medida	Conexiones de potencia, conexiones de control, bornera, embobinado, tanque
Banco de capacitores	Banco, ramales, conexiones de potencias de los ramales
Barras colectoras	Conexiones en aisladores, aisladores, barras, soportes
Pararrayos	Pararrayos, conexiones de potencia, conexión de descarga a tierra, anillo equipotencial

Fuente: Universidad técnica de Oruro.

La programación de las actividades de mantenimiento preventivo se puede hacer en función del lugar o “bahía” en donde se va a hacer la intervención

Tabla 10. Programación de actividades en función del lugar de inspección.

Circuito o bahía	Programación	Criterio
Llegada	- Fines de semana. - Días de menor consumo.	- Se requiere coordinación con las empresas o centros de costo que despachan la energía a la subestación donde se va a realizar el mantenimiento. - Para desenergizar la llegada debe desenergizarse también la línea de llegada. - Al reducirse el flujo de potencia de llegada, también se reducirá el flujo de potencia despachada.
Salida	- Fines de semana. - Días de menor consumo.	- Se requiere coordinación y aviso a los consumidores o centros de costo a los que se despacha la carga. - El flujo de potencia de salida se reduce.
Interconexión	- Días particulares.	- Debido a sus características es posible programar las intervenciones en días particulares. - El flujo de potencia puede desviarse por otro circuito similar.
Transformación	- Fines de semana. - Días de menor consumo.	Debido a su complejidad y a que son los encargados de la transmisión de potencia, se deben buscar días de menor consumo para programar la intervención. La complejidad de estos circuitos y la cantidad de equipos que los componen, obliga a que las actividades se programen al menos para dos días.
Barras colectoras	- Fines de semana o días de menor consumo (simple barra). - Días particulares (barra partida o más de una barra).	- Ya que los equipos se conectan a las barras para tomar la energía a transmitir, para desenergizar la barra se requiere desenergizar gran parte de la subestación, para disposiciones de simple barra. - Si el sistema tienen una disposición de barra partida o de más de una barra, es posible desenergizar la barra en la cual se va a efectuar el mantenimiento sin interrumpir el servicio, pero aún así existirán equipos que deban quedar desenergizados.
Circuitos especiales	- Días particulares.	- Ya que la función de estos circuitos no consiste en la transmisión de potencia o interconexión de circuitos, es posible programar las intervenciones en cualquier día.

Fuente: Universidad técnica de Oruro.

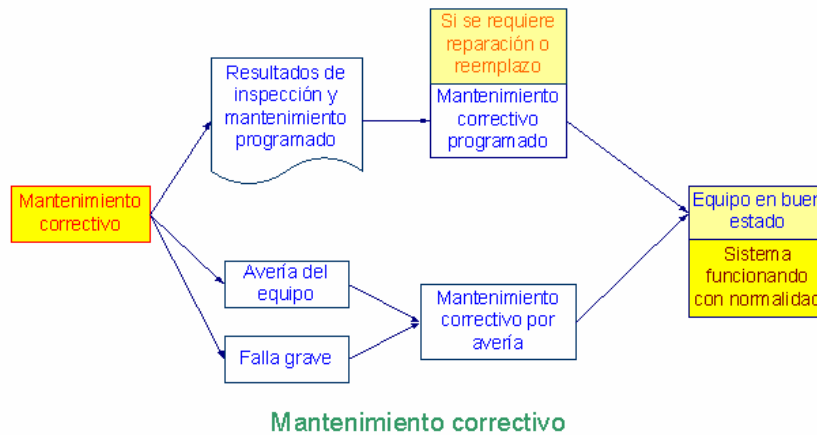
El tiempo de duración de estas actividades, o también denominadas “jornadas de Mantenimiento”, dependerá de la complejidad de la “bahía” donde se lleve a cabo esta actividad, aunque generalmente suele variar de 4 a 8 horas

#### 4.2.2 Mantenimiento correctivo.

El mantenimiento correctivo puede considerarse dividido en dos partes:

- Mantenimiento correctivo programado.
- Mantenimiento correctivo por avería

Ilustración 36. Mantenimiento correctivo.



Fuente: Universidad técnica de Oruro.


El mantenimiento correctivo por averías se presenta cuando existe una falla o avería grave de algún o algunos equipos de la subestación, estas averías se presentan por causas ajenas a la voluntad de los responsables de la subestación, y se deben a factores externos: condiciones climáticas, daños de terceros, problemas en la línea de transmisión o distribución.

El mantenimiento preventivo programado es una actividad correctiva que implica reparación y reemplazo de piezas que tiene carácter preventivo, ya que en función de las condiciones del equipo o de ciertos parámetros se efectúan las reparaciones con la intención de anticiparse y prevenir daños mayores que afecten a la disponibilidad del equipo.

Puede ser debido a las siguientes razones:

- Número de operaciones: Es una condición que obliga a la intervención de un mantenimiento correctivo planificado en interruptores. Después de cierto número de operaciones por falla u operaciones manuales de un interruptor, el aislamiento es afectado y los contactos se llenan de cavitaciones en su superficie, debido a los esfuerzos electrodinámicos a los que han estado sometidos, lo que obliga a una intervención en el equipo. Las actividades que se realizan son: Ver tabla 11
- Resultados de las inspecciones: Si los resultados de las inspecciones visuales o termográficas revelan que el estado de algún equipo o de alguno de sus componentes es grave (G) o existen anomalías (A), será necesario programar una intervención en el equipo para efectuar las reparaciones correspondientes

Tabla 11. Mantenimiento correctivo planificado en interruptores.

	Implica el reemplazo del medio aislante, sin necesidad de la comprobación de su estado	Interruptor de aceite	Cambio del aislante (aceite)
Cambio de los contactos de la cámara de corte	Debido a los esfuerzos electrodinámicos a los que han estado sometidos los contactos muestran cavitaciones, los que luego se pueden rellenar con soldadura por personal calificado	Interruptor de gas (SF <sub>6</sub> )	Cambio del aislante (gas SF <sub>6</sub> )
		Interruptor de vacío	Cambio de los módulos de vacío
		Interruptor de aire	Cambio del tanque de aire comprimido
		Interruptor de aceite	Cambio de contactos, que luego pueden rellenarse con soldadura
Interruptor de gas (SF <sub>6</sub> )	Cambio de contactos, que luego pueden rellenarse con soldadura		
Interruptor de vacío	Cambio de módulos de vacío, posteriormente se comprueba el estado de los módulos cambiados		
Interruptor de aire	Cambio de contactos, que luego pueden rellenarse con soldadura		

Fuente: Universidad técnica de Oruro.

- Resultados de mantenimiento predictivo: Las técnicas de diagnóstico aplicadas durante el mantenimiento preventivo programado tienen la finalidad de revelar el estado de los equipos de la subestación, para poder anticiparse a las fallas y averías; si el diagnóstico revela mal estado o menor que el admisible, será necesario programar una intervención

#### 4.2.3 Integración del mantenimiento.

Ver ilustración 36.

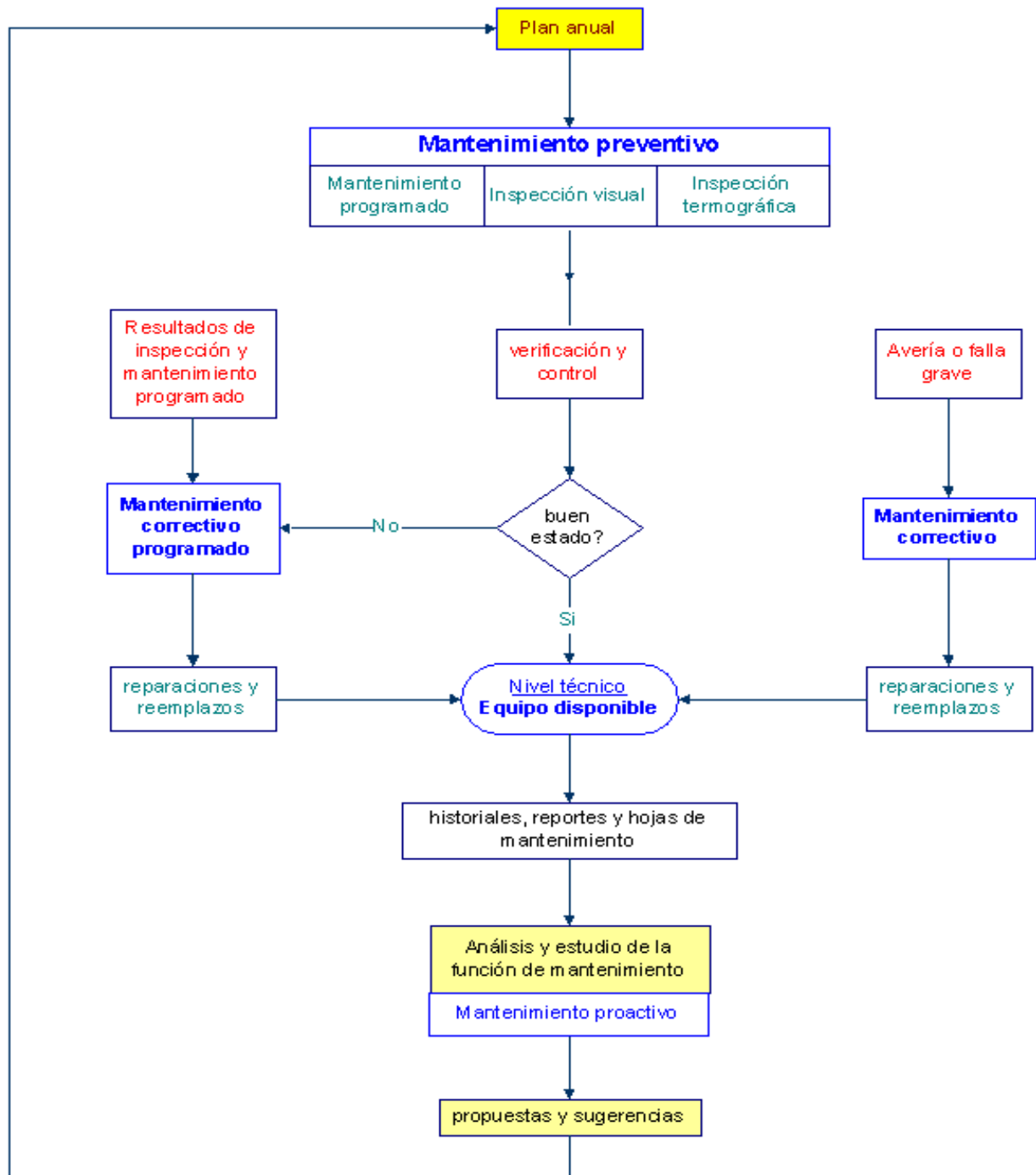
### 4.3 ORIENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO A RELES DE PROTECCIÓN.

El desarrollo del proyecto de un Sistema Eléctrico de Potencia (SEP) moderno, así como el estudio racional de sus normas de operación, debe consultar, básicamente, dos aspectos principales: operación en condiciones normales y operación en condiciones anormales.

La operación en condiciones normales supone que el sistema cumple con los requisitos necesarios para servir la demanda del consumo de acuerdo a una cierta calidad prefijada del servicio suministrado. Así, por ejemplo, el sistema deberá poseer la capacidad de reserva necesaria para poder abastecer los aumentos del consumo; mantendrá los niveles de voltaje dentro de rangos adecuados; regulará la frecuencia; las cargas se repartirán entre las diferentes centrales generadoras conforme a la distribución más económica; se mantendrá en forma adecuada; etc.

La operación normal de un sistema no considera la ocurrencia de fallas en el equipo, ni la presencia de fenómenos incontrolables como tormentas y descargas atmosféricas, o los errores cometidos por los operadores.

Ilustración 37. Integración del mantenimiento.



Organigrama del mantenimiento integrado

Fuente: Universidad técnica de Oruro.

Cuando el sistema está bajo el efecto de uno de estos factores se dice que está operando bajo condiciones anormales y en este caso pueden ocurrir dos fenómenos de importancia:

- El equipo o parte del sistema, puede sufrir daños de consideración si la intensidad y la duración de la perturbación exceden magnitudes determinadas.
- La calidad del servicio suministrado se resiente gravemente.

Frente al problema de operación anormal, el proyectista de un sistema eléctrico de potencia puede adoptar dos puntos de vista:

- Incorporar al diseño ciertas características que eliminen la posibilidad de fallas.
- Permitir la ocurrencia de las fallas incluyendo en el proyecto características y elementos que reduzcan el daño causado por las mismas.

La primera solución es prácticamente imposible o por lo menos, no justificable económicamente. En la mayoría de los casos, se sigue el criterio de permitir la ocurrencia de ciertas fallas y tratar de aminorar sus efectos tanto en el equipo instalado como en la calidad del servicio suministrado. Un diseño moderno consulta ambas soluciones en la proporción que los estudios económicos aconsejen.

Los sistemas de protecciones eléctricas constituyen el equipo más importante que se incluye en un sistema eléctrico de potencia con el fin de alcanzar el último objetivo, esto es, aminorar los efectos de las fallas sobre el equipo protegido desenergizándolo rápidamente y mejorar la calidad del servicio al eliminar o aislar aquellos elementos que por su operación defectuosa puedan producir perturbaciones.

Con el notable crecimiento de los sistemas eléctricos en los últimos años, el aumento de interconexión, el alto costo del equipo instalado y las exigencias cada vez mayores de un suministro de energía eléctrica seguro y de óptima calidad, la técnica de las protecciones eléctricas ha debido necesariamente perfeccionarse en forma paralela, pues, como ya se ha dicho, son ellas, en gran parte, las responsables de esas características deseables. Por esto, un diseño cuidadoso del sistema de protecciones y la elección adecuada de sus componentes es considerado, hoy en día, de una importancia fundamental en la operación de los sistemas eléctricos.

#### 4.3.1 Necesidad de un sistema de protecciones eléctricas

Las protecciones eléctricas son los dispositivos que tienen como principal finalidad la de detectar condiciones anormales en la operación de un Sistema Eléctrico de Potencia y tomar en forma automática las medidas que se requieran para restablecer la operación normal.

En el caso de fallas en equipos eléctricos, la medida será retirarlos del servicio y, en el caso de fallas en un sistema eléctrico, será necesario aislar el sector que produce la anomalía. Durante la operación normal de los sistemas eléctricos, las acciones están entregadas al hombre o a equipos automáticos que desempeñan su función dentro de límites determinados, en cambio, las protecciones no son requeridas en condiciones normales pero deben estar disponibles inmediatamente para manejar condiciones intolerables para el sistema y evitar daños mayores o paralizaciones no deseadas.

Consideraciones técnicas:

Como se ha dicho, todos los sistemas eléctricos, sean Industriales, Residenciales o de Servicio Público, tienen el propósito común de suministrar energía eléctrica a los equipos que la utilizan, en la forma más segura y confiable que sea económicamente factible. Es decir, se requiere contar con un sistema eléctrico de buena calidad y sin interrupciones. En efecto, la sociedad moderna presenta una gran variedad de usos y también de usuarios de la energía, a tal punto que para algunos de ellos llega a ser de vital importancia contar con una buena continuidad del servicio eléctrico. A modo de ejemplo se puede citar los ascensores de grandes edificios; los pabellones quirúrgicos, incubadoras y otros equipos de los hospitales; las redes de computación; los hornos de la minería; los sistemas de ventilación de galerías subterráneas y una larga lista de equipos que dependen directamente de la energía eléctrica.

Dentro de los aspectos generales que caracterizan una buena calidad del servicio se encuentran la adecuada regulación de voltaje ( $\pm 5\%$ ) y de frecuencia (banda de  $\pm 2\%$ ), además de una cantidad de interrupciones mínima.

El tema de las protecciones es tan básico para la seguridad y confiabilidad del suministro de energía, que debería ser considerado desde el comienzo en cualquier proyecto bien diseñado y no ser relegado a un segundo lugar, para considerarlo después que se han fijado las demás características del SEP. Considerarlo así, resulta en un sistema de protecciones bien integrado, capaz de ser adecuadamente coordinado y lo suficientemente flexible como para acomodarse a las futuras expansiones del sistema.

#### Consideraciones económicas:

Por lo general, el costo del sistema de protecciones es bastante pequeño comparado con el costo de SEP completo. Se estima entre 0,5 y 10% de la inversión total, creciendo el porcentaje mientras más pequeño sea el sistema eléctrico. Aún así, el costo de las protecciones puede minimizarse diseñando un sistema simple que garantice obtener y conservar una buena protección, lo que a su vez permite disminuir el costo del servicio y evitar la necesidad de efectuar complejas y costosas pruebas.

Durante la operación, las protecciones tienen incidencia sobre dos aspectos de orden económico, a saber:

- Continuidad del servicio: A mayor continuidad, mayores son las ventas de energía y en consecuencia los ingresos de todos los operadores del sistema. También representa mayor producción para aquellas empresas en que la electricidad sea su principal insumo.
- Despeje de fallas: En la medida que las fallas sean despejadas en forma oportuna y rápida se causarán menores daños a los equipos e instalaciones, con lo cual serán menores los costos de reparación y menores los tiempos de paralización.

#### 4.3.2 Características de los sistemas de protección

Las características de un sistema de protecciones se analizan principalmente bajo el punto de vista de su operación en condiciones de anormalidad, siendo las principales las que se indican a continuación.

##### Confiabilidad o seguridad:

Es la característica que permite garantizar la operación de las protecciones, cada vez que se produzca una falla. Complementando esta definición se puede agregar que es la característica del relé o del sistema de protecciones que le permite actuar correctamente cuando es requerido y evitar operaciones innecesarias. Cuando se presenta la anormalidad, las protecciones deben estar en condiciones de operar correctamente. En algunos casos, es posible que ciertos equipos sean requeridos muy pocas veces durante su vida útil, pero aún en estas condiciones deberán operar en forma correcta. Para lograr esta cualidad se debe recurrir a diseños simples, con componentes robustos y de buena calidad, que sean periódicamente sometidos a mantención para comprobar que se encuentran bien calibrados, bien conectados y que la orden que emitan sea cumplida por los sistemas de control.

#### Selectividad:

Es la cualidad de las protecciones que les permite discriminar la ubicación de la falla, con el objeto de aislar exclusivamente el equipo fallado, manteniendo en servicio lo que no sea imprescindible desconectar. De este modo se obtiene la máxima continuidad del servicio con un mínimo de desconexiones.

#### Rapidez:

Es conveniente que las protecciones operen en el mínimo tiempo posible, disminuyendo con ello la duración de la falla, las perturbaciones al resto del sistema y los consecuentes daños a los equipos. La rapidez redundante también en una mayor efectividad de las reconexiones automáticas y mejora la estabilidad del sistema. Aunque es deseable la operación instantánea de las protecciones, muchas veces esta cualidad debe sacrificarse con el objeto de mejorar otros aspectos, tales como la selectividad. La temporización en todo caso debe ser compatible con los límites de resistencia de los equipos a las fallas consideradas y su empleo para obtener selectividad está asociado a otra característica que siempre debe considerarse, como es la economía.

#### Exactitud:

Las protecciones deben operar con la mínima desviación respecto de la magnitud teórica de ajuste. La exactitud, se expresa como un error de medida, es decir, como la razón entre el valor de operación y el valor teórico de ajuste. Las desviaciones máximas aceptadas varían entre un 5 y un 10%, según el caso.

#### Sensibilidad:

El sistema de protecciones y sus elementos asociados debe ser capaz de operar detectando la falla de mínimo nivel que ocurra dentro de su zona de operación o la menor variación de la magnitud que controla respecto de la magnitud de referencia o ajuste. Esto no siempre es posible en la práctica. Por ejemplo, en períodos de sequía o en la época de verano, cuando cae una fase a tierra (pavimento) se producen fallas de muy baja corriente, las que pueden no ser detectadas por las protecciones.

Puesto que no es posible satisfacer plenamente cada uno de estos requerimientos en forma simultánea, deben adoptarse algunas soluciones de compromiso. En general se otorga mayor atención a aquellos problemas que de acuerdo a la experiencia es posible que ocurran. De aquí que se diga que el tema de las protecciones tiene mucho de técnica pero es también un arte. De hecho, diferentes especialistas utilizando una lógica razonable pueden llegar a soluciones significativamente diferentes para un mismo problema.

Considerando en su conjunto a las distintas protecciones de un SEP, aparecen dos características adicionales que es necesario tener presentes.

Zonas de operación:

Las protecciones del SEP abarcan ciertas zonas de operación según su tipo. Es conveniente que entre las zonas de operación de dos protecciones contiguas no queden sectores sin cubrir por alguna de ellas. Para este efecto se deben superponer los bordes de las zonas contiguas y por lo tanto, no se acepta que sean tangentes.

Protección de respaldo:

Si al producirse una anomalía en el SEP, la protección encargada de aislar la zona (llamada protección principal) no opera, los daños a los equipos serían mayores y la falla se propagaría por el resto del sistema con las consecuencias previsibles. Para que esto no ocurra se utiliza el respaldo, es decir, otra protección deberá ser capaz de detectar la falla y aislarla, aún a costa de dejar fuera de servicio equipos o sectores en condiciones normales. Donde más se aplica esta técnica, por razones económicas es en el caso de los cortocircuitos. Según la ubicación de la protección que da respaldo, este puede ser local o remoto.

- Respaldo Local: Se ubica en la zona protegida y puede ser del tipo duplicación de la protección completa o parte de ella. Puede ser también del tipo adicional, tal como un relé de tiempo por ejemplo.
- Respaldo Remoto: Este tipo de respaldo lo proporciona una protección ubicada en otro punto del SEP. Por lo general, esta protección es del tipo principal en su zona de operación.

#### 4.3.3 Fallas de las protecciones

Como un antecedente adicional para justificar el respaldo a las protecciones se entrega un resumen estadístico del tipo de falla de las protecciones.

- Fallas de los relés 43%. Contactos sucios, bobinas cortadas, ajustes erróneos, calibración incorrecta.
- Falla de interruptores 20%. Bobinas quemadas, fallas mecánicas, falla de los contactos de poder, otros problemas de bobinas.
- Falla de transformadores de medida 10%. Fusibles quemados, saturación de núcleos, problemas de bobinados, fallas de aislamiento.
- Falla de dispositivos auxiliares 9%. Contactos sucios, conexiones incorrectas

- Fallas de alambrado 12%. Mal aislamiento, conexiones sueltas e incorrectas
- Fallas de la alimentación 6%. Fusibles quemados, bajo voltaje.

En el resumen anterior, no se incluyen otros tipos de problemas que pueden presentarse, tales como: Ajustes mal especificados, errores de cálculo, errores en los datos de los transformadores de medida, etc.

Por otra parte, los diferentes tipos de operación de una protección se pueden clasificar según el efecto obtenido de ellas, en la forma siguiente:

- Operaciones correctas y deseadas
- Operaciones correctas pero no deseadas (como las de respaldo)
- Operaciones incorrectas
- No operación

La confiabilidad general de las protecciones eléctricas (usando equipo electromecánico), es bastante alta. Así entre las operaciones correctas y correctas no deseadas se obtiene un porcentaje de 97 a 99%. Mientras que las operaciones correctas y deseadas van de un 90% a 95%

#### 4.3.4 Anormalidades que ocurren en los sistemas eléctricos

De acuerdo a lo planteado en los párrafos anteriores, una de las cualidades esenciales de una distribución moderna de energía eléctrica es la continuidad del servicio. La importancia de las posibles consecuencias de una interrupción, aunque esté limitada a pocos minutos, puede ser considerable tanto para las industrias, como para otro tipo de usuario. De aquí la conveniencia de analizar las anomalías que ocurren en los sistemas eléctricos.

En relación con las consecuencias, las anomalías que pueden ocurrir en un sistema eléctrico se clasifican en fallas y perturbaciones, cuyas diferencias aparecen en sus definiciones.

- Falla: Condición que impide continuar la operación de uno o más componentes de un sistema y requiere la rápida acción de los esquemas de protecciones para no dañar a los equipos.
- Perturbación: Condición que permite continuar la operación del sistema, pero que puede dañar ciertos equipos si se prolonga más de un tiempo determinado.

Tanto las fallas como las perturbaciones deben poder ser detectadas y discriminadas por las protecciones, ya que al ocurrir un defecto en un componente del sistema significa, por lo general, una perturbación para el resto. Al aislar el

equipo fallado, se elimina simultáneamente la perturbación, con lo cual el servicio se normaliza.

Entre las fallas, las más comunes son los cortocircuitos. Otras que se pueden mencionar son; la apertura de conductores, la pérdida de excitación de máquinas síncronas, etc., las que pueden producir efectos similares a los cortocircuitos.

Entre las perturbaciones, las más comunes son las sobretensiones, las sobrecargas, las oscilaciones y los desequilibrios.

Cortocircuitos:

Un cortocircuito es la desaparición del aislamiento relativo de dos conductores de tensión diferente, alimentados de la misma fuente, sin la presencia de una impedancia conveniente. El cortocircuito puede ser realizado por contacto directo, llamado también cortocircuito metálico, como es el caso de dos conductores que se tocan o el toque de un conductor lanzado a una línea aérea. También puede ser causado por el deterioro o ruptura del aislante, como es el caso de arcos o fugas que se transforman en cortocircuitos.

Las causas de los cortocircuitos son múltiples. En la distribución en baja tensión se deben con mayor frecuencia al deterioro mecánico del aislante. En líneas subterráneas se deben principalmente a la ruptura del material aislante causado por movimientos del terreno, golpes de picota, filtración de humedad a través del envoltorio de plomo deteriorado (corrosión química y electrolítica, retornos importantes de corriente por él cuando están vecinos a líneas de tracción eléctrica), etc. En líneas aéreas, los cortocircuitos son mucho más frecuentes y en la mayoría de los casos se deben a ruptura o contaminación de las cadenas de aisladores, cortadura de conductores, balanceo de los conductores por la acción del viento, contacto accidental de la línea con cuerpos extraños, etc.

Otras causas de cortocircuitos dignas de mencionar son: envejecimiento del aislamiento, daño de bobinados, falsas maniobras tales como apertura en carga de desconectores y puesta a tierra de líneas por trabajos, etc.

La forma de los cortocircuitos determina sus efectos y se pueden distinguir varios tipos (trifásico franco y con arco, bifásico, monofásico, etc.). En cuanto a su duración, se pueden distinguir cortocircuitos permanentes y transitorios. A estos últimos, cuando se repiten en cortos intervalos, se les llama intermitentes; es el caso, por ejemplo, de los originados por el balanceo de los conductores.

Las consecuencias de un cortocircuito se deben tanto a los efectos de la sobrecorriente como a los de las caídas de tensión originadas por ésta. En general, las corrientes de cortocircuito alcanzan magnitudes mucho mayores que los valores nominales de los generadores, transformadores y líneas. Si se permite

que estas corrientes circulen por un período prolongado, pueden causar un serio daño térmico al equipo y problemas de estabilidad de funcionamiento en el SEP. En este aspecto, el tipo de cortocircuito más severo es el trifásico, el que además de dar valores elevados de corriente, reduce a cero la capacidad de transmisión de una línea, le siguen los cortocircuitos, bifásico y finalmente el monofásico. En cambio, el tipo más frecuente es el monofásico (aproximadamente el 75% de los casos) y el menos frecuente es el trifásico (aproximadamente el 5% de los casos).

De igual forma, se ha comprobado que de los diferentes equipos que conforman un sistema eléctrico de potencia, los que tienen mayor probabilidad de ocurrencia de falla son las líneas aéreas. La probabilidad de ocurrencia de fallas en ellas y en otros equipos se detalla en la Tabla 12

Tabla 12. Tasa de ocurrencia de fallas en equipos eléctricos.

<b>Equipo</b>	<b>% Ocurrencia</b>
Líneas de Transmisión Aérea	50
Cables	10
Switchgear	15
Transformadores de poder	12
Transformadores de Medida	2
Equipos de Control	3
Otros	8

Fuente: Universidad técnica de Oruro.

Dependiendo de la capacidad de generación, la distancia y la impedancia entre la fuente y el punto de falla, la sobrecorriente puede alcanzar una magnitud varias veces superior a la corriente nominal de los equipos. Las consecuencias de esta sobrecorriente son múltiples, tales como: calor del arco o calor producido por el contacto en el cortocircuito, que pueden fundir los conductores, carbonizar los aislantes u originar un incendio. No conviene despreciar tampoco, el calentamiento producido por la corriente de cortocircuito, que se concentra en los puntos más débiles: uniones de líneas, contactos de desconectores, etc., así como los efectos electrodinámicos de las corrientes de cortocircuito que pueden producir deformaciones en las bobinas de los transformadores, en las barras y cables de poder, etc.

Otros efectos importantes originados por las corrientes de cortocircuito son las sobretensiones en las líneas de telecomunicaciones vecinas a líneas de transmisión, inclusive tan separadas como 1 kilómetro, donde se pueden inducir tensiones de 1.000 o más Volt. Estas sobretensiones pueden provocar daños en

las instalaciones y causar accidentes a personas. De aquí que algunos países hayan adoptado los sistemas aislados de tierra, o bien conectados a tierra mediante impedancias, para limitar las corrientes originadas por cortocircuitos monofásicos, que son los más frecuentes.

A su vez, la disminución del voltaje ocasionada por los cortocircuitos trae como consecuencia para el resto del sistema la disminución de su capacidad de transferencia de potencia y con ello, una baja de su estabilidad si se prolonga por algunos segundos.

Sobretensiones:

Las sobretensiones en un sistema son peligrosas porque:

- Someten a los aislantes a esfuerzos que los envejecen y pueden llegar a destruirlos
- En caso de duración prolongada traen como consecuencia daños en los equipos tanto de los usuarios como de generación y transformación
- En caso de una falla del aislante, traen a su vez como consecuencia inmediata un cortocircuito.

El daño es en estos casos directamente proporcional al valor máximo de la sobretensión y de la velocidad con la cual se establece ésta. Es así como sobretensiones de importancia media de dos a cinco veces la normal y de muy corta duración (algunos microsegundos) son capaces de perforar los aislantes porque su aparición es extremadamente rápida (se les llama de frente escarpado). De aquí la necesidad de consultar entre las pruebas dieléctricas de los equipos la llamada "prueba de impulso".

Estas sobretensiones se pueden producir por descargas atmosféricas o por apertura de líneas largas de alta tensión (switching).

Las sobretensiones de larga duración, originadas por desconexiones de cargas inductivas en sistemas sin reguladores de voltaje automáticos, provocan efectos importantes en los transformadores, especialmente cuando trabajan con su circuito magnético en el codo de saturación. Por ejemplo, sobretensiones de un 30% pueden, en ciertos casos, hacen subir la corriente de excitación a valores de plena carga.

Sobrecargas:

Una línea o un equipo se encuentran sobrecargados cuando su corriente es superior a la nominal. Las sobrecargas son sobrecorrientes, durables o breves según el caso. Las principales causas son:

- Los cortocircuitos que no se aíslan oportunamente
- Los peak de consumos o de transferencia de potencia en líneas de interconexión, que pueden corresponder a sobrecorrientes superiores a 20 o 30 %, durante largo tiempo.
- Las sobrecorrientes originadas por desconexiones de circuitos en paralelo, que se pueden prolongar hasta la reposición del circuito desconectado.

Los efectos de altas sobrecargas y de corta duración fueron analizados en 4.4.1. Las sobrecargas más pequeñas, (hasta dos veces la carga normal) sólo tienen efectos térmicos que aparecen después de un tiempo, dependiendo de la constante de tiempo de calentamiento del equipo considerado y de sus condiciones de refrigeración

Oscilaciones:

Las causas más comunes de aparición de oscilaciones son las conexiones y desconexiones de circuitos del sistema, al producirse variaciones de potencia. Esto se debe a que los alternadores no toman instantáneamente el ángulo correspondiente a la carga, sino que después de cierto número de oscilaciones amortiguadas, pudiendo en algunos casos perder su sincronismo, lo que se traduce generalmente en una sobrecorriente. Efectos similares pueden producirse por una mala sincronización.

Además de los efectos eléctricos que es fácil suponer, las partes mecánicas de los alternadores y máquinas motrices pueden sufrir efectos graves por las oscilaciones de potencia.

Desequilibrios:

Por el uso de transformadores de distribución en conexión triángulo-estrella y estrella-zigzag, se obtiene una buena simetría y equilibrio en las tensiones y corrientes en los circuitos de alta tensión, por lo cual en la práctica las cargas desbalanceadas en baja tensión no son la causa de desequilibrios de la red primaria. Cuando se producen desequilibrios es preciso determinar rápidamente su causa, pues constituye una anomalía muy peligrosa para el funcionamiento de las máquinas.

Dentro de las causas más comunes se pueden citar, las originadas por desconectores o interruptores con una o dos fases abiertas y la ruptura de un conductor de una línea que no provocó un cortocircuito.

Aunque los desequilibrios no provocan manifestaciones violentas, sus consecuencias no deben ser despreciadas, ya que producen vibraciones y calentamiento anormal en motores, alternadores y transformadores. En las

máquinas rotatorias, en particular, se producen campos rotatorios de secuencia negativa, en el estator que, de acuerdo con el deslizamiento relativo, generan en los rotores fuerzas electromotrices y corrientes para las cuales no se encuentran diseñados. En los casos de alternadores se puede llegar a dañar totalmente el sistema de excitación.

El servicio eléctrico también puede ser afectado por esta causa. Por ejemplo, en sistemas con los neutros conectados a tierra, la corriente residual que se produce, retorna por tierra provocando inducciones o sobretensiones en las líneas de telecomunicaciones vecinas, cuyos efectos son peligrosos.

#### 4.3.5 Métodos para determinar ocurrencia de anomalías

El funcionamiento anormal de un sistema o de alguno de sus componentes, se puede detectar por los fenómenos físicos que se presentan en éstos. A continuación se analizarán brevemente, los fenómenos mensurables (factibles de medir) que pueden aparecer al ocurrir anomalías.

Aumento de la corriente:

Uno de los efectos más característicos de un cortocircuito es el aumento excesivo del valor de la corriente por sobre el valor nominal correspondiente al equipo afectado por la falla. Esta característica proporciona el método más simple para desarrollar un esquema de protección, conocido con el nombre de protección de sobrecorriente. Cualquiera de las formas de relés básicos del tipo electromecánico o estático, incluyendo los fusibles, pueden servir con tal objeto.

Disminución de tensión:

Se le usa ampliamente para proteger motores y aparatos que pueden sufrir daños al trabajar con tensiones inferiores a la nominal. También se emplea en relés de verificación, para deshabilitar circuitos de partida de motores que requieren la atención de un operador para iniciar la marcha.

Contrariamente a lo que se podría suponer, no se usa para detectar cortocircuitos porque la tensión es variable entre el punto de falla y el punto de generación. Además, en el punto de medida, está en función de la magnitud de la corriente de cortocircuito. Por otra parte, esta protección operaría al desenergizarse el circuito de alimentación.

Aumento de la tensión:

El aumento de tensión sobre su valor nominal es, en general, peligroso para todos los componentes de un sistema eléctrico y en especial para las máquinas. El problema de la sobretensión radica en que los equipos de un sistema poseen

aislamiento con capacidad limitada para soportar los esfuerzos dieléctricos. Como la causa más común de sobretensiones de componente fundamental (60 Hz) proviene de sobre excitación de generadores, se usa justamente en estas máquinas. También es posible que se presenten sobretensiones debidas al “efecto Ferranti”, producidas en las líneas de alta tensión con un bajo nivel de carga ó en vacío.

A las protecciones que operan por efecto de sobretensiones se les conoce como “relés de sobre voltaje”. En casos muy especiales, se aplican protecciones basadas en otros fenómenos (variaciones de los flujos de potencia por ejemplo). Las sobretensiones de ondas no fundamentales (tensiones distintas de la fundamental de 60 Hz), no periódicas o transitorias, motivadas por maniobras de interruptores (switching), descargas atmosféricas, etc., se protegen por medio de chisperos y dispositivos llamados pararrayos.

Aumento de la temperatura:

El aumento de temperatura, se emplea para proteger contra sobrecarga a las máquinas. La protección consiste fundamentalmente en alimentar con corriente a un dispositivo que dispone de un calefactor y que en conjunto tiene la misma constante de tiempo de calentamiento de la máquina. Al ajustarse este dispositivo para operar a cierta temperatura, su funcionamiento es independiente del valor instantáneo de la corriente y en consecuencia permite la operación de la máquina en régimen de sobrecarga no peligrosa; es decir, sobrecarga controlada.

En transformadores de potencia se usa la protección denominada de “imagen térmica”, con la cual se trata de medir indirectamente la temperatura de los devanados. Consta básicamente de un detector de temperatura que mide la temperatura del aceite en el estanque en la parte superior. Este detector lleva, además, en sus proximidades un calefactor alimentado por una corriente proporcional a la del devanado. La constante de tiempo total considera entonces la del aceite (lenta) y la del devanado (rápido).

En máquinas sincrónicas se usan detectores de temperatura ubicados en el núcleo del estator y también cerca de los devanados y en general dan indicación y alarma. Además se usan termostatos ubicados dentro del housing, ajustados para detectar altas temperaturas producto de incendios. Comandan los controles encargados de la desconexión y detención de la máquina así como los de extinción de incendios.

Comparación de corrientes:

En las zonas de un sistema donde no hay consumos, la corriente que entra y la que sale debe cumplir una relación bien definida. Si el acoplamiento es conductivo, la razón es 1:1 y si es inductivo, es inversa a la razón de tensiones, al

despreciar las pérdidas. Al ocurrir un cortocircuito en estas zonas se pierde la relación anterior, lo que se usa en las denominadas “protecciones diferenciales”, que se aplican en equipos, tales como: generadores, transformadores, etc. En forma similar, al comparar corrientes que entran a una línea de doble circuito, se han desarrollado las protecciones denominadas “de corrientes balanceadas”.

Variaciones de flujos de potencia:

La variación de la magnitud y el sentido de la potencia se pueden usar en forma combinada o por separado. La variación del sentido de la potencia se usa en ciertos casos para impedir el trabajo de un alternador como motor (se previene el “motoreo” de un grupo electrógeno, por ejemplo). Estas protecciones se denominan “contrainvertión del flujo de potencia activa”.

La variación de magnitud se usa en protecciones de “sobrepotencia activa” o reactiva cuando se desea, por ejemplo, independizar un pequeño sistema que se encuentra conectado a otro de mayor capacidad, cuyas fuentes de generación se han desconectado. Con esto se evita perder el servicio en el sistema más pequeño al desconectarse por sobrecarga. De la misma forma se pueden usar protecciones de “sobrepotencia reactiva capacitiva”, para evitar mantener energizadas líneas de alta tensión en vacío (efecto Ferranti).

Disminución de la impedancia o reactancia:

Mediante la información de tensiones y corrientes de circuitos o elementos auxiliares, se alimentan protecciones que miden en todo instante la impedancia y/o reactancia por fase en el sentido de su operación, y operan cuando ésta baja de cierto valor conforme a su curva característica. La impedancia o reactancia que se puede medir en un punto dado del sistema es el valor que resulta de sumar los parámetros del mismo (en el sentido del flujo de la potencia) y del consumo; al quedar cortocircuitado este último, se produce una disminución del valor medido que bien podría ser el valor de ajuste para la protección. A estas protecciones se les denomina “direccionales de distancia” y se les usa ampliamente en la protección líneas de transmisión.

Aparición de componentes de secuencia cero:

Mediante la conexión de transformadores de medida en forma adecuada, es posible obtener corrientes y tensiones de secuencia cero (residuales) en sistemas conectados a tierra, al producirse fallas con retorno por tierra. Estas magnitudes pueden alimentar relés de protección que operan de acuerdo con sus características y en forma direccional, es decir, sólo en un sentido del flujo de potencia que toma la falla. Cuando sólo se alimentan con corriente residual se les llama “protecciones de sobrecorriente residual”.

La corriente residual se puede obtener también de los neutros de los transformadores de poder o bien de la conexión en paralelo de transformadores de corriente ubicados en cada fase. En sistemas aislados de tierra es posible detectar, con la conexión de transformadores de potencial en delta inconclusa (“delta abierta”), contactos de una fase a tierra.

Aparición de componentes de secuencia negativa:

Las componentes simétricas constituyen parte de un método de resolución analítica de circuitos polifásicos. Sin embargo, es posible separar las componentes de secuencia por medio del uso de los llamados “filtros de secuencia”. Estos filtros son combinaciones adecuadas de resistencias, bobinas y condensadores que entregan un voltaje o una corriente proporcional a la componente de secuencia específica que se busca.

La componente de secuencia negativa es especialmente peligrosa en los rotores de las máquinas sincrónicas, ya que induce corrientes parásitas de doble frecuencia, y por lo tanto, calentamiento. Las máquinas son bastantes limitadas en este aspecto, en especial las de rotor cilíndrico. En estos casos se usan filtros de secuencia negativa para proveer protección.

Velocidad de variación de la impedancia:

Al ocurrir un cortocircuito, el valor de la impedancia entre los puntos de medida y de falla baja instantáneamente al valor correspondiente del sistema incluido entre estos dos puntos. En cambio, al ocurrir perturbaciones, tales como oscilaciones de potencia, el valor de la impedancia varía en magnitud y fase en forma más o menos periódica. Esta particularidad se emplea en esquemas destinados a bloquear la orden de apertura de interruptores comandados por protecciones que miden la impedancia y/o reactancia, donde resulta indeseable una apertura del sistema en condiciones de oscilaciones

#### 4.3.6 Condiciones que debe cumplir un sistema de protección

De acuerdo con lo expuesto, en cuanto a los diferentes tipos de anomalías que se pueden presentar, y además que los esquemas de protecciones están íntimamente asociados con los circuitos destinados a ser comandados voluntariamente por los operadores de los equipos de poder, los sistemas de protecciones deben cumplir las siguientes condiciones:

Independencia de la operación del sistema eléctrico:

Los sistemas de protecciones deben ser, en lo posible, totalmente independientes de la configuración ocasional del sistema de poder, motivada por la operación de éste. Por ejemplo, al desconectar parte de los equipos, las protecciones del resto

deben continuar cumpliendo con sus funciones sin que sea preciso modificar sus ajustes o sus circuitos.

Discriminar entre carga, sobrecarga y cortocircuito:

En general, los equipos que componen los esquemas de protecciones son diseñados para soportar en forma permanente una sobrecarga de un 20% del nivel normal. Es decir, si su corriente nominal corresponde, en términos primarios o secundarios, a la carga normal del circuito de poder, no sufren deterioro si en forma permanente estos últimos operan a 120% de carga. Evidentemente, esto se refiere sólo a los transformadores de corriente y circuitos amperométricos de las protecciones.

Las protecciones deben cumplir con la condición de poder diferenciar entre carga o sobrecarga respecto a corrientes motivadas por cortocircuitos. Esto es importante, ya que en ciertos casos la corriente de cortocircuito mínima puede ser inferior a la nominal de un determinado equipo.

Discriminar entre falla y perturbación:

En 4.4, se indican las diferentes características con que se presentan estas anomalías. Estas diferencias deben ser aprovechadas por las protecciones para evitar producir desconexiones cuando aparecen perturbaciones fugitivas o decrecientes que pueden permanecer por tiempos cortos sin dañar a los equipos.

No ser afectado por anomalías en los circuitos de control:

La fuente de alimentación de los circuitos de control debe cumplir con la máxima confiabilidad o seguridad de servicio. Los circuitos de control deben ser simples y eficaces, a prueba de daños que pudieren ocasionarles agentes extraños y atmosféricos, ya que gran parte de ellos interconectan elementos y dispositivos que se encuentran físicamente separados a distancias tales como 100 o 150 metros, por ejemplo.

Debe evitarse emplear elementos que puedan ordenar apertura de interruptores u operaciones básicas para la mantención del servicio al quedar desenergizados. Aun teniendo presente lo anterior, deben consultarse en estos casos sistemas de señalización visual o auditiva para indicar esta condición. Tal es el caso de las ampolletas indicadoras de las protecciones diferenciales, de interruptores de poder, bocinas de alarma de bajo voltaje en los circuitos de control, instrumento indicador de aislamiento en los circuitos de control, etc.

También en los esquemas de protecciones debe evitarse que los elementos de medida de protecciones produzcan una apertura indeseable de interruptores al faltarles parte de su alimentación normal.

#### 4.4 DISPONIBILIDAD ELÉCTRICA O DE UN EQUIPO ELÉCTRICO

La disponibilidad de un sistema se define mediante la ecuación:

$$disp = \frac{t_{serv}}{t_{total}}$$

$t_{serv}$  : tiempo con servicio con calidad adecuada.

$t_{total}$  : tiempo total de observación.

$disp$  : disponibilidad del equipo.

Ejemplo

Un usuario de un sistema eléctrico no dispuso de energía durante 1 hora, del total 8760 horas que tiene un año.

Así, la disponibilidad del sistema eléctrico es:

$$disp = \frac{8759}{8760} = 0,999886$$

Es decir, la disponibilidad del sistema fue de 99.986%. El período de no disponibilidad de energía pudo haber sido un solo evento (sin energía), en este caso de una hora de duración, o, por ejemplo, 360 eventos sin energía de 10 segundos de duración cada uno. Desde el punto de vista del usuario ambas situaciones no son idénticas ya que un corte de energía lleva asociado un tiempo de reposición del o los equipos que quedaron sin energía durante, por ejemplo, 10 segundos. Si este tiempo de reposición es 1 hora, la disponibilidad del sistema eléctrico, desde el punto de vista del usuario, en el caso que existan 360 eventos sin energía es:

$$disp = \frac{t_{total} - (t_{sin.serv} - t_{rep})}{t_{total}}$$

con  $t_{sin.serv}$  : tiempo sin servicio

$t_{rep}$  : tiempo de reparación.

Luego

$$disp = \frac{8760 * 60 * 60 - (360 * 3600 + 360 * 10)}{8760 * 60 * 60} = 0,959$$

Es decir, para el usuario, la disponibilidad sería de un 95,9% y no un 99,986%.

#### 4.4.1 Problemas de disponibilidad vinculados con la calidad de la red

Los principales problemas de calidad de la red eléctrica son los siguientes:

- Interrupción del suministro de energía eléctrica. Estas interrupciones, causadas por fallas en las plantas generadoras, en cortes en las líneas de distribución o desconexión de la carga debido a sobrecarga del sistema, se caracterizan por la pérdida total del suministro por más de un minuto.
- Interrupción transitoria del suministro de energía eléctrica. Estas interrupciones, causadas generalmente por la apertura y cierre de interruptores, se caracterizan por la interrupción del servicio durante menos de un minuto.
- Transitorios. Se caracteriza por un voltaje impulsivo de alto valor, pero de corta duración, ocasionado en general por la conexión de condensadores o la desconexión de cargas inductivas, tales como motores de inducción, soldadoras de arco, etc.
- Mala regulación de voltaje. Se caracteriza por bajas o subidas de voltaje de duración superior a un minuto. Se debe, en general, a un mal ajuste de los transformadores de alimentación del sistema, particularmente su voltaje y a un diseño del sistema no apropiado a la demanda de los usuarios. Una demanda alta de los usuarios ocasiona una baja del voltaje y, por el contrario, una demanda baja hace subir el voltaje por sobre lo permitido.
- Desbalance de voltaje. Se caracteriza por la existencia de asimetría en una de las tres fases de un sistema trifásico. Se debe, en general, a que el consumo está conectado fundamentalmente a una sola de las fases del sistema.
- Flicker o parpadeo de la iluminación. Se caracteriza por una fluctuación del voltaje que ocasiona el centelleo de la iluminación, visible por el ojo humano. Se debe, fundamentalmente, a la conexión y desconexión de consumos relevantes, tales como el refrigerador o la calefacción intradomiciliaria, conexión de hornos y soldadoras de arco, etc.
- Distorsión armónica. Se caracteriza por una distorsión del voltaje de alimentación de los equipos, el que deja de ser perfectamente sinusoidal. Se debe, fundamentalmente a la conexión de cargas no lineales en el sistema, tales como equipos electrónicos industriales o domiciliarios: variadores de velocidad de motores, televisores, computadores, etc. El fenómeno puede acentuarse hasta el punto de ocasionar daños irreparables, caso en el que recibe el nombre de resonancia armónica, la

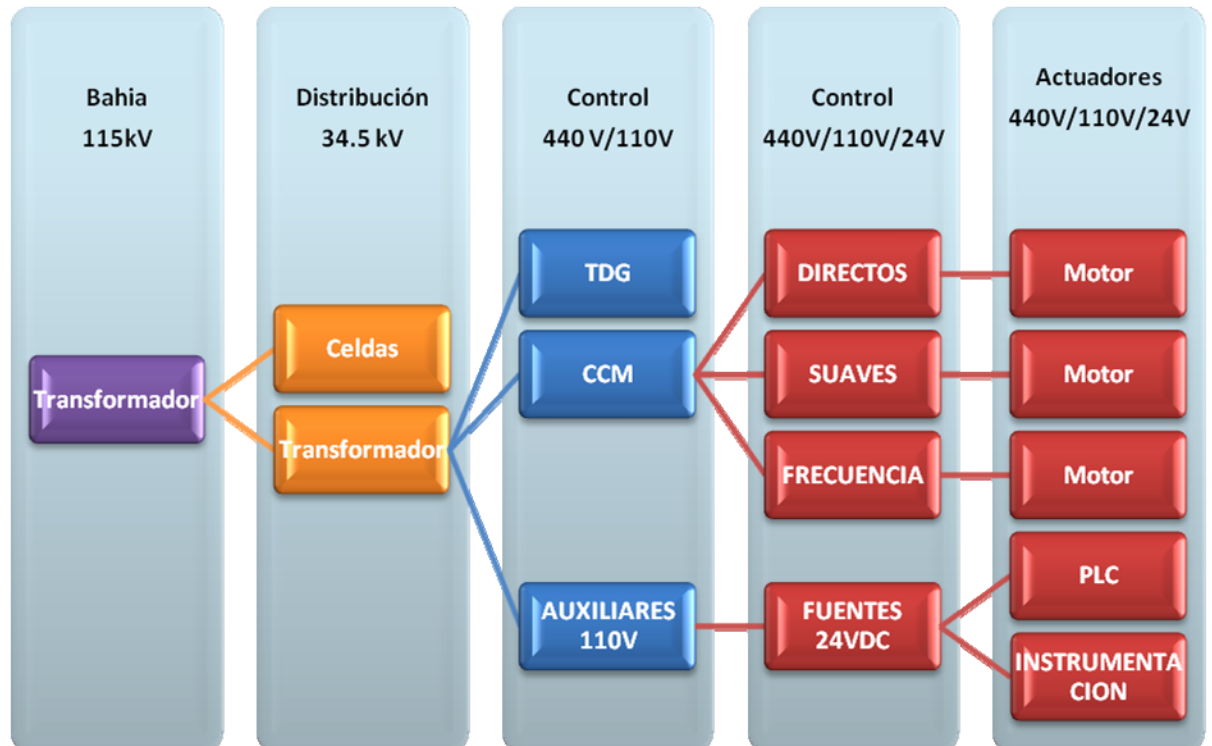
- Elevación de los voltaje de neutro y tierra. Se caracteriza por una diferencia de voltaje entre el neutro y la tierra del sistema. Se debe, fundamentalmente a que circulan corrientes elevadas por el conductor de neutro y/o por el conductor a tierra, o bien porque su dimensionamiento es inadecuado.

## 5. INFRAESTRUCTURA DE ACTIVOS ELECTRICOS EN LA PLANTA

La recepción, transformación y distribución de energía de la planta está estructurada de acuerdo a la ilustración 37. En donde aparecen los equipos de control y protección para cada tipo de Voltaje que existe en la planta, en la medida que el nivel es más bajo es más sensible a las condiciones eléctricas de la planta y por ende su nivel de confiabilidad es más crítico.

Teniendo en cuenta el impacto en la operación se ha establecido el plan de mantenimiento que asegure dicha confiabilidad.

Ilustración 38. Infraestructura sistema eléctrico.



Fuente: De los autores.

### 5.1 NIVEL DE TENSIÓN 115KV (ALTA TENSIÓN)

En este nivel de tensión se encuentra ubicada la subestación de alta tensión que es el lugar destinado para la recepción de la línea instalada por la empresa distribuidora de energía. En esta bahía se dispone de los dispositivos de protección y medida que están comunicados con el centro de control de Codensa

para poder monitorear el estatus de la subestación y de la instalación eléctrica de la planta.

Los equipos de maniobra están ubicados en el patio de conexiones o celdas de la subestación que pueden operarse mecánica y eléctricamente, tales como interruptor y seccionador.

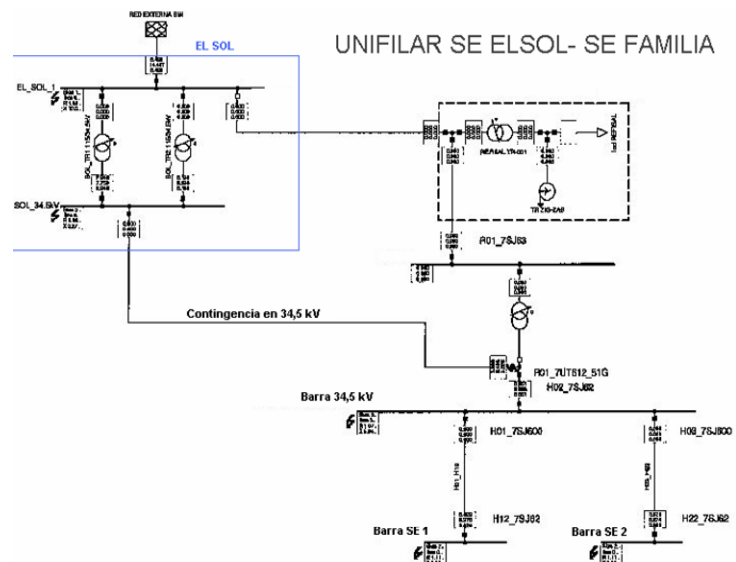
Ilustración 39. Subestación 115kV.



Fuente: Grupo Familia.

Los equipos instalados en esta subestación son:

Ilustración 40. Unifilar subestación eléctrica FAMILIA.



Fuente: Grupo Familia.

### 5.1.1 Celdas o paneles de control y protección

Contiene los elementos de control (manijas, selectores, pulsadores), señalización (bombillería, anunciadores, mímicos), medida (amperímetros, vatímetros, contadores de energía) y protección (relés).

Cada panel o celda se encarga de un modulo de línea o un transformador en el lado de alta o media tensión

Ilustración 41. Panel de control y protecciones.



Fuente: Grupo Familia.

### 5.1.2 Interruptor

Dispositivo con la capacidad de conectar y desconectar las corrientes eléctricas del circuito en condiciones nominales de operación así como también de interrumpir las corrientes de falla o cortocircuito.

Los tipos de interruptores instalados en las subestaciones de la planta Familia Cajica son con medio de extinción al vacío y SF<sub>6</sub> (Hexafluoruro de azufre).

Ilustración 42. Interruptor 115kV



Fuente: Grupo Familia.

### 5.1.3 Equipos de medida

- Transformadores de corriente

Toma la imagen de corriente que circula en alta y media tensión para alimentar los medidores y relés de protección.

Ilustración 43. Transformadores de corriente 115kV



Fuente: Grupo Familia.

- Transformadores de potencial

Toma la imagen de voltaje en alta y media tensión para alimentar los voltímetros, medidores de potencia y algunos relés de protección.

Ilustración 44. Transformador de potencial 115kV.



Fuente: Grupo Familia.

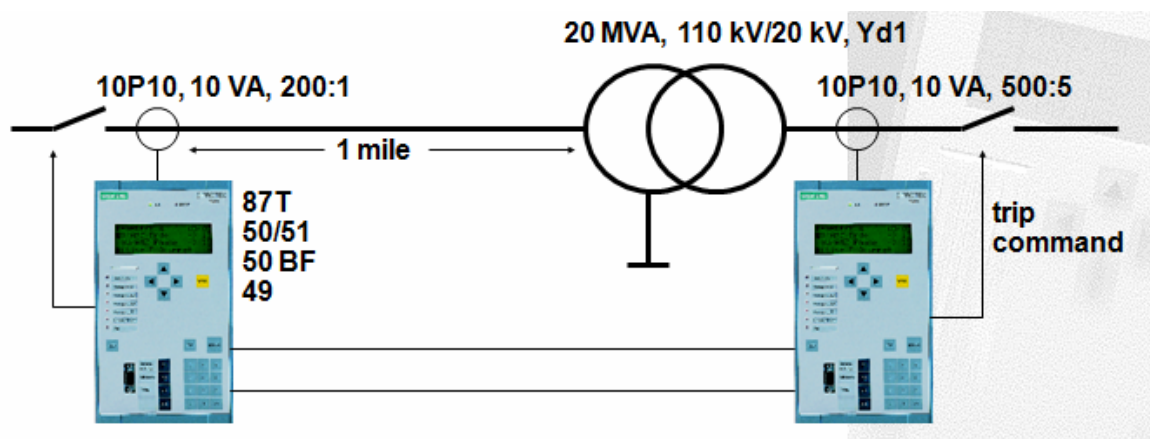
#### 5.1.4 Relés

- Relés de sobrecorriente

Protección contra sobrecargas en el circuito, se debe tener en cuenta los elementos que componen el circuito, capacidad del cable y los CT. En estos se programan las funciones 50 y 51.

Los relés de sobre corriente SIPROTEC SJ62 de las celdas de llegada +H02, +H12, +H22 poseen bornera de entrada de PT para realizar disparo por subtensión.

Ilustración 45. Configuración relé de sobrecorriente.



Fuente: Grupo Familia.

- Relés diferencial de línea

Protección de fallas en los cables, su frontera es entre los CT de las celdas de salida y llegada. Se programa la función 87L.

- Relés diferencial de transformador

Protección de fallas internas del transformador, su frontera es entre los CT ubicados en alta tensión y baja tensión. Se programan las funciones 87T y 85.

### 5.1.5 Seccionador

Dispositivos que aíslan el interruptor para la operación o para labores de mantenimiento. No tiene la capacidad de interrumpir o establecer corrientes, salvo en casos o condiciones especiales. La selección del tipo de seccionador a utilizar depende de las características del sistema y de la función a desempeñar, además del tipo de instalación que tendrá el seccionador (uso interno o intemperie).

Los tipos de seccionadores instalados en las subestaciones de la planta Familia Cajicá son de operación sin carga (manual y motorizada) y operación bajo carga con fusibles de protección (motorizados).

Ilustración 46. Seccionador 115kV.



Fuente: Grupo Familia.

### 5.1.6 Transformador de potencia.

Es el equipo más importante de las subestación. Convierte las tensiones altas en tensiones bajas para luego distribuir la potencia a otros circuitos.

Su capacidad se indica en MVA (producto de las corrientes entregadas a una tensión (KV) determinadas).

Conectado en Delta en el lado de alta tensión y en Estrella al lado de baja tensión.

Ilustración 47. Transformador de potencia 115kV – 34,5kV.



Fuente: Grupo Familia.

## 5.2 NIVEL DE TENSIÓN DE 34,5 KV (MEDIA TENSIÓN)

En este nivel de tensión se realiza la distribución de energía a través de las subestaciones de la planta y está conformada por dispositivos de control, medida y protección que aseguran la confiabilidad del suministro de potencia a la planta de Cajicá. Los equipos que se encuentran instalados son:

### 5.2.1 Celdas o paneles de control y protección.

Contiene los elementos de control (manijas, selectores, pulsadores), señalización (bombillería, anunciadores.), medida (amperímetros, vatímetros, contadores de energía) y protección (relés).

Cada panel o celda se encarga de un modulo de línea o un transformador en el lado de media o baja tensión.

Ilustración 48. Panel de control 34,5kV



Fuente: Grupo Familia.

### 5.2.2 Interruptor

Dispositivo con la capacidad de conectar y desconectar las corrientes eléctricas del circuito en condiciones nominales de operación así como también de interrumpir las corrientes de falla o cortocircuito.

Los tipos de interruptores instalados en las subestaciones de la planta Familia Sancela de Cajica son con medio de extinción al vacío y SF<sub>6</sub> (Hexafluoruro de azufre).

Ilustración 49. Interruptor 34,5kV



Fuente: Grupo Familia.

### 5.2.3 Equipos de medida

- Transformadores de corriente

Toma la imagen de corriente que circula en media tensión para alimentar los medidores y relés de protección.

Ilustración 50. Transformadores de corriente 34,5kV



Fuente: Grupo Familia.

- Transformadores de potencial

Toma la imagen de voltaje en alta y media tensión para alimentar los voltímetros, medidores de potencia y algunos relés de protección.

Ilustración 51. Transformadores de potencial 34,5kV.



Fuente: Grupo Familia.

#### 5.2.4 Relés.

- Relés de sobrecorriente

Para la protección contra sobrecargas en el circuito, se debe tener en cuenta los elementos que componen el circuito, capacidad del cable y los CT. En estos se programan las funciones 50 y 51.

Los relés de sobre corriente de las celdas de llegada +H02, +H12, +H22 poseen bornera de entrada de PT para realizar disparo por subtensión.

Ilustración 52. Relé sobrecorriente.



Fuente: Grupo Familia.

- Relés diferencial de línea

Protección de fallas en los cables, su frontera es entre los CT de las celdas de salida y llegada. Se programa la función 87L.

Ilustración 53. Relé diferencia de línea.



Fuente: Grupo Familia.

- Relés diferencial de transformador

Protección de fallas internas del transformador, su frontera es entre los CT ubicados en alta tensión y baja tensión. Se programan las funciones 87T y 85.

### 5.2.5 Transformador de potencia.

Es el equipo más importante de las subestación. Convierte las tensiones medias en tensiones bajas para luego distribuir la potencia a los Centros de Control de Motores CCM.

Su capacidad se indica en KVA (producto de las corrientes entregadas a una tensión (V) determinadas).

Conectado en Delta en el lado de media tensión y en Estrella al lado de baja tensión.

Ilustración 54. Transformador de potencia 34,5kV – 0,440kV



Fuente: Grupo Familia.

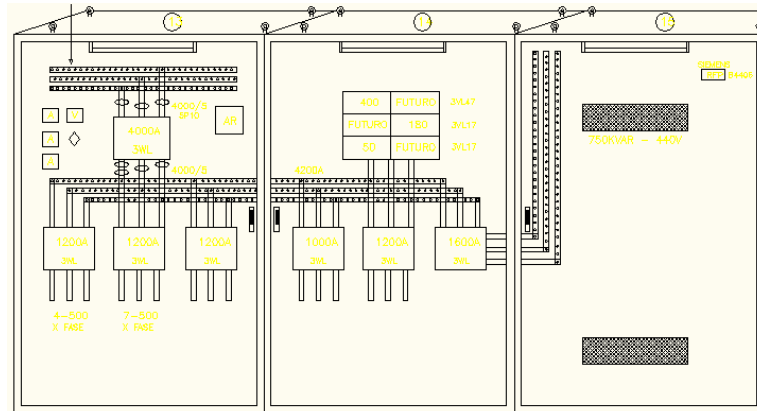
### 5.3 NIVEL DE TENSIÓN DE 440 V (BAJA TENSIÓN)

En este nivel de tensión se realiza el control y protección de los Centros de Control de motores y adicionalmente se realiza la corrección del factor de potencia.

Los elementos de medida y protección están integrados en las mismas celdas a diferencia de la configuración necesaria en alta y media tensión.

En la figura se observa el diseño de la celda usada para esta función instalada en la planta de Cajicá en las diferentes subestaciones.

Ilustración 55. Esquema tableros 440V



Fuente: Grupo Familia.

### 5.3.1 Interruptores

Los interruptores de las celdas de baja tensión tienen mayores funcionalidades de disparo y protección ya que integran el concepto de relé (unidad de disparo) en su esquema de protección.

Ilustración 56. Interruptor 440V



Fuente: Grupo Familia.

### 5.3.2 Sistema de Medida

Para la medición de parámetros de potencia en baja tensión se cuenta con dispositivos que aseguran el registro de variables concernientes al consumo y calidad de la potencia de la planta.

Ilustración 57. Indicador de parámetros eléctricos.



Fuente: Grupo Familia.

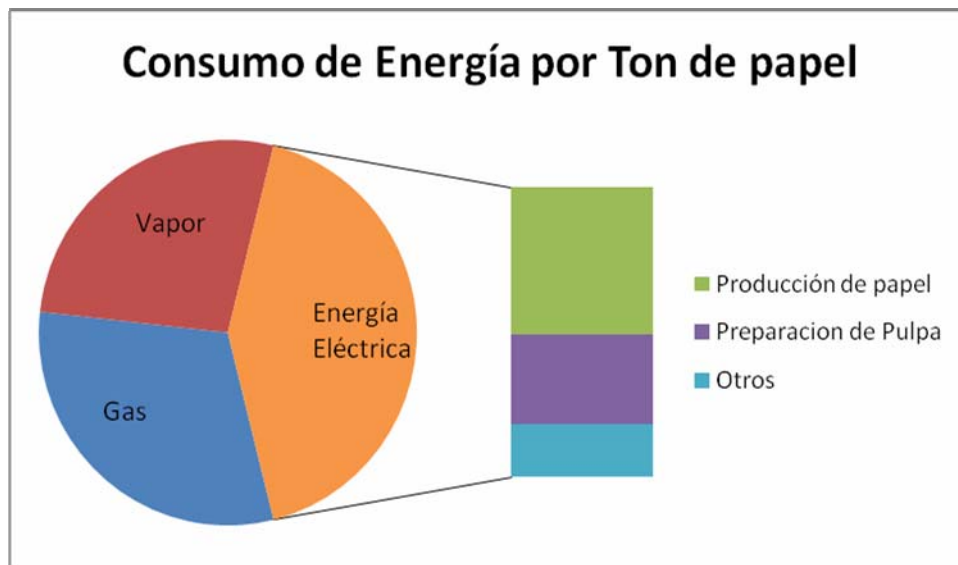
## 6. ANALISIS DE LA SITUACION ACTUAL

### 6.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Analizando el impacto de la energía eléctrica en la producción de papel en la planta Cajicá en comparación con las demás fuentes de energía constituye el 42% de la energía total y principalmente consumida en motores y en la preparación de papel. Por esta razón la energía eléctrica cobra un papel importante y la confiabilidad de los equipos depende de la calidad y la disponibilidad.

Adicionalmente es un valor importante ya que los proyectos encaminados a optimizar su consumo impactan positivamente aunque este tema es todo un estudio enmarcado en la eficiencia energética.

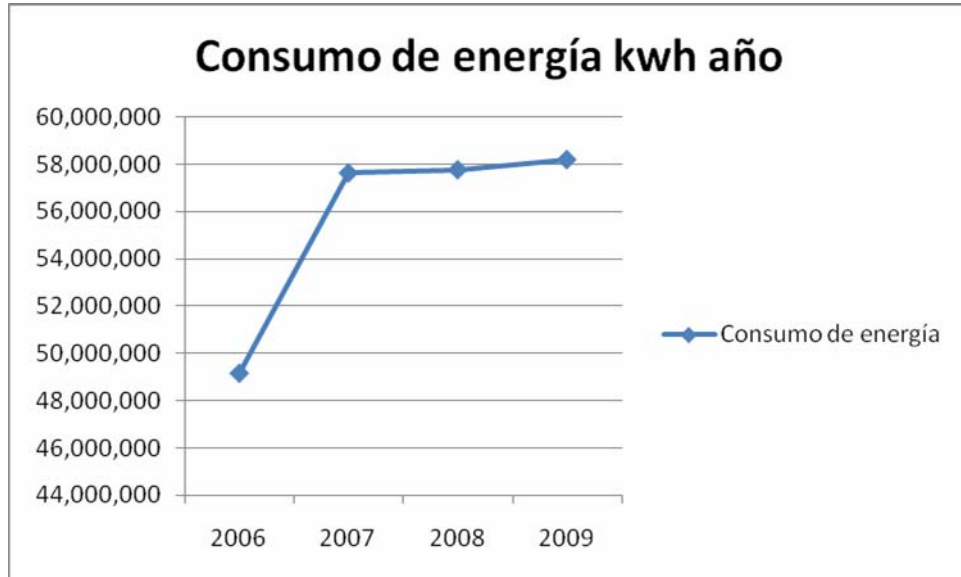
Ilustración 58. Consumo de energía por ton de papel.



Fuente: De los autores.

El consumo de energía eléctrica año a año viene en un comportamiento creciente siendo consecuente con el aumento de producción que es influenciado por una mayor disponibilidad obtenida, convirtiendo en un ciclo de compensación la disponibilidad y el consumo de energía.

Ilustración 59. Consumo de energía KWH años.

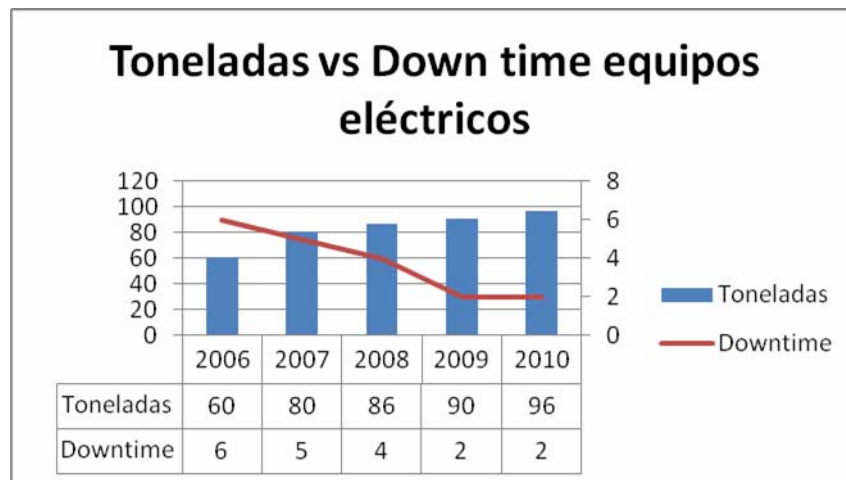


Fuente: De los autores.

## 6.2 EVOLUCIÓN DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO.

La disponibilidad de los activos eléctricos ha venido mejorando desde el inicio de operaciones de la planta, pero se sigue contando con un margen de mejoramiento ya que se observa una estabilización en el comportamiento del downtime, que da espacio a analizar nuevas posibilidades.

Tabla 13. Toneladas vs Down time equipos eléctricos.



Fuente: De los autores.

El mejoramiento en la disponibilidad de la planta ha sido influenciado por la implementación de tácticas y herramientas que han permitido encaminar la planta en un mejoramiento continuo, los hitos más relevantes se relatan a continuación.

La planta fue construida en el 2004 y en este momento inicia el proceso de contratación del personal incluido el personal del área de mantenimiento, este personal fue seleccionado con diferentes competencias orientadas al campo eléctrico, electrónico y de automatización, lo que dio como resultado la inclusión de personas de diferentes carreras tecnológicas para dar cubrimiento a esta demanda. La capacitación se inicia en la planta de Medellín en donde se encuentra la sede principal y la planta de manufactura donde iniciaron las operaciones del Grupo Familia.

En el 2005 se realiza el montaje, commissioning y puesta en marcha de la planta momento en el cual se tuvo la oportunidad de arrancar los equipos con el personal técnico de las firmas que realizaron esta labor.

En el 2006 el mantenimiento reacciona a las necesidades de producción y de los proveedores que se encuentran en fase de estabilización del proceso de elaboración, la consecuencia es un número elevado de órdenes de trabajo. En este año también se inicia la parametrización del sistema de información SAP PM en la planta de Cajicá. Y se implementan rutas de inspección de mantenimiento. Se inicia programa de análisis de aceite y tomografías contratadas.

En el 2007 viendo la oportunidad de iniciar un camino hacia un mantenimiento proactivo comienza la implementación del programa de MBC, y se adquiere un equipo de vibraciones de medición de valores absolutos y se diseña el programa de monitoreo nivel 1 basado en tendencias y trabajando el nivel 2 de análisis con outsourcing.

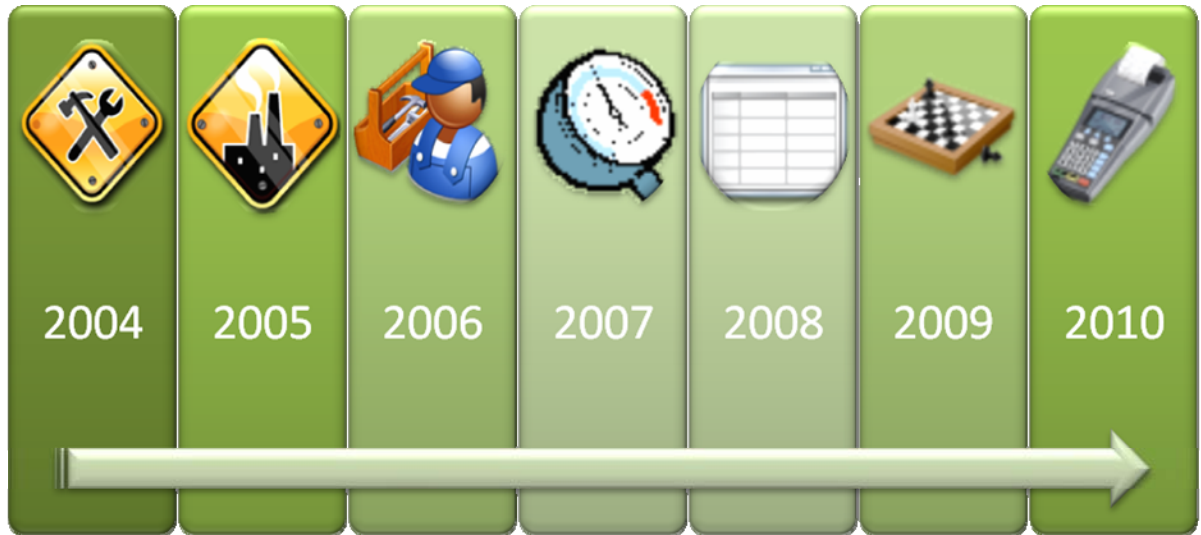
En el 2008 Se inicia el programa corporativo de RCM y el programa de MBC ya cubre un 15% de los equipos rotativos de la planta. Y se adquiere una cámara termográfica ampliando la cobertura de MBC.

En el 2009 se implementan pruebas de análisis de transformadores e interruptores en alta y media tensión, trabajo realizado por contratistas. El programa de MBC se implementa en toda la planta y crece a 3 personas llegando a una cobertura del 50% de la planta.

En el 2010 se adquiere un equipo de medición por ultrasonido complementando el paquete PDM y se inicia con pruebas eléctricas en celdas de media tensión y transformadores de potencia de alta y media tensión.

Se lanza el programa de inspecciones con PDA mejorando la cobertura y la información de características cualitativas y medidas locales de los instrumentos de proceso.

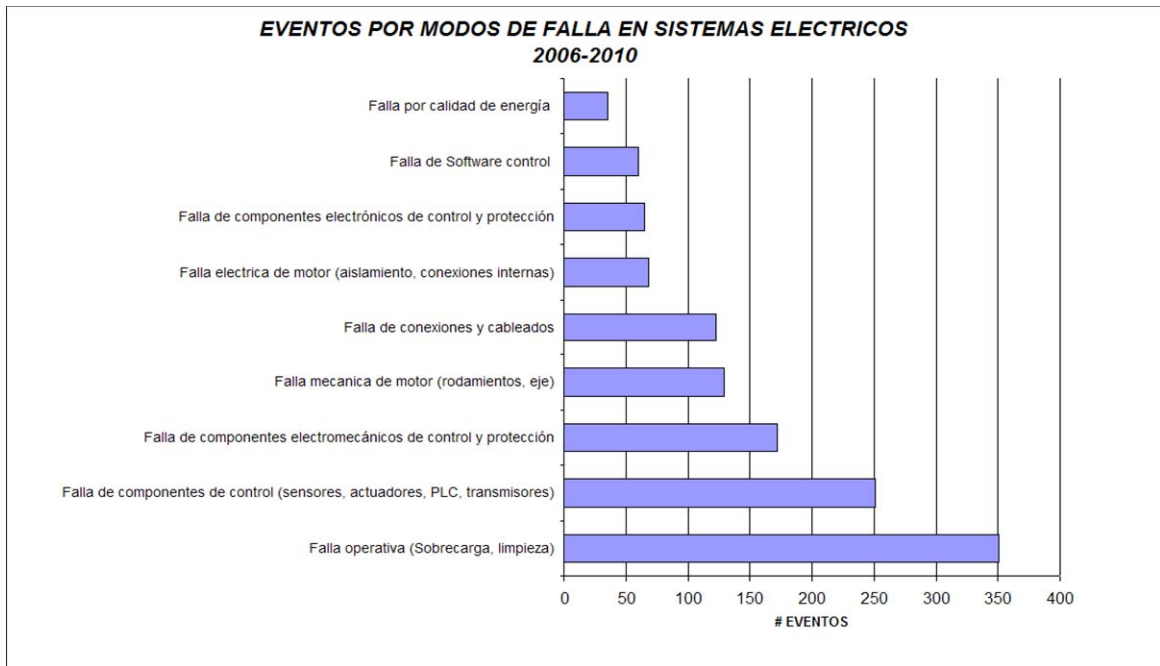
Ilustración 60. Evolución mantenimiento eléctrico en FAMILIA planta Cajica.



Fuente: De los autores.

Del 2006 al 2010 han venido sucediendo eventos eléctricos que se han clasificado de acuerdo al gráfico anexo, revisando esta información se puede observar el pareto de los eventos en los sistemas eléctricos las mayores causas están atribuidas a las fallas de componentes tanto de protección cómo de control y a las fallas operativas que se manifiestan en disparo de protecciones por sobrecargas originadas por control de proceso, obstrucciones y limpieza.

Ilustración 61. Eventos por modos de falla en sistemas eléctricos.

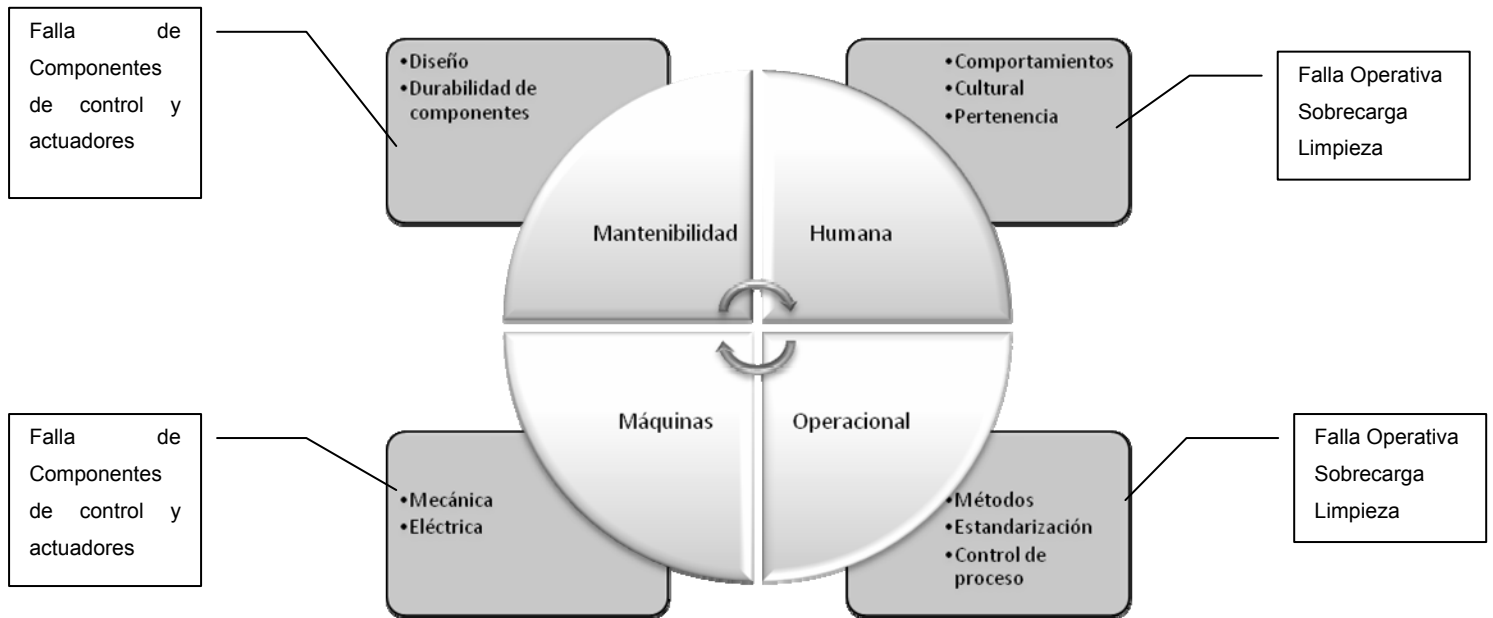


Fuente: De los autores.

Adicionalmente estos eventos son manifestados y/o originados en el nivel de baja tensión esto debido a la coordinación de protecciones lo que demuestra que ha sido bien calculada.

Realizando un análisis de estas causas lo podemos abordar desde la teoría de confiabilidad que la confiabilidad está denotada por 4 elementos:

Ilustración 62. Análisis de causas



Fuente: De los autores.

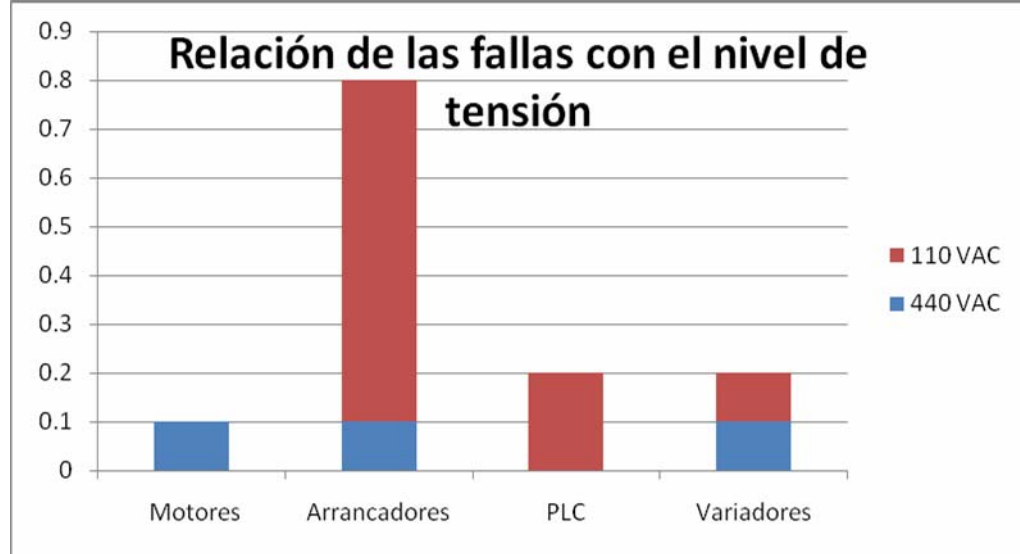
Analizando la situación desde esta perspectiva se observa que los eventos registrados en la falla de componentes suman más de 400 y se atribuyen a la sección dura o relacionada con las máquinas y los 350 eventos asociados a la operatividad están relacionados con la parte blanda o sea con las personas y los métodos.

De aquí que la formulación de las propuestas van encaminadas a cubrir estas necesidades.

Para analizar lo relacionado con la parte dura se hace revisando las posibles causas abordándolo con la metodología de las 5m (métodos, materiales, máquinas, medio ambiente, mano de obra).

En la ilustración 46. Se observa que la mayoría de las fallas tanto de los componentes de control como los actuadores están relacionados en que fallan a nivel de 110 V.

Ilustración 63. Relación de las fallas con el nivel tensión.



Fuente: De los autores.

Lo que nos puede demostrar que pueden estar relacionados con un problema de calidad de energía, enmarcado en armónicos, transcientes o calidad de tierras. Con respecto a la calidad de energía se realizaron estudios arrojando los resultados anexos en la tabla extraída del informe de análisis, en la que se observan dos puntos posibles a trabajar:

Las variaciones de tensión en estado estable son desviaciones de larga duración (superiores a 1 minuto) del valor eficaz de la tensión de alimentación. Los valores de referencia para las variaciones de tensión de estado estable son  $\pm 10\%$  de la tensión de alimentación nominal de los equipos, establecido por la Norma Técnica Colombiana NTC 5001 y por la resolución CREG 016/2007.

Tabla 14. Parámetros eléctricos acometidas de baja tensión.

**Tabla 1** Parámetros eléctricos acometidas de baja tensión transformadores 1, 2 Y 3 subestación

Parámetros eléctricos de estado estable	Transformador 1 440Δ V / 254Y V	Transformador 2 440Δ / 254Y V	Transformador 3 440Δ / 254Y V	Valores permitidos	Resultado
Tensión Promedio [V]	273,3 / 272,5 / 273,0	266,9 / 266,2 / 266,5	267,9 / 267,4 / 267,6	-10 % +10 % (228,6 V / 279,4 V) Tensión Nominal 254 V <sub>LN</sub>	VERA NÁLISIS
Tensión Máxima [V]	283,3 / 282,8 / 282,9	283,0 / 282,7 / 282,9	279,4 / 278,9 / 279,0		
Tensión Mínima [V]	239,5 / 238,4 / 239,2	248,1 / 248,5 / 248,4	135,0 / 223,6 / 149,0		
Corriente Promedio [A]	850,9 / 866,9 / 830,1	1566 / 1616 / 1541	855,1 / 883,1 / 882,7	Corriente nominal transformadores (440 V) 3289 A	ACEPTABLE
Corriente Máxima [A]	5 483 / 5 477 / 5 368	3 059 / 3 171 / 3 080	4 516 / 3 119 / 3 689		
Desbalance en Tensión promedio [%]	0,2	0,1	0,1	1 %	ACEPTABLE
Desbalance en Corriente promedio [%]	3	2,6	1,8	20 %	ACEPTABLE
Demanda Total promedio Potencia Activa /Aparente	646,5 kW / 694,4 kVA	883,7 kW / 1 254 kVA	409,0 kW / 696,3 kVA	Capacidad nominal 2 500 kVA	ACEPTABLE
Demanda Total máxima Potencia Activa /Aparente	1 115 kW / 1 411 kVA	1 064 kW / 1 528 kVA	511,0 kW / 696,3 kVA		ACEPTABLE
Factor de potencia promedio	0,93 Inductivo	0,88 Inductivo	0,59 Inductivo	Entre 0,9 Inductivo y 0,9 Capacitivo N.T.C 5001	VERA NÁLISIS
THD Tensión [95%]	2,5	1,13	1,17	5 %	ACEPTABLE
TDD Corriente [95%]	6,99	1,88	3,51	8 % <sup>1</sup>	ACEPTABLE
Frecuencia [Hz]	60,0	60,0	60,0	60Hz ±0,2 Hz	ACEPTABLE

NOTA: \* Los valores máximos y mínimos en corriente y tensión presentados en la tabla anterior corresponden a valores instantáneos.

<sup>1</sup> Límite calculado a partir de la relación  $I_{sc}/I_{max}$ , según lo establecido por el Std. IEEE 519-1992, donde:

$I_{sc}$ : Corriente de corto circuito en el punto de acople común,  $I_{max}$ : Corriente máxima demandada en el período de medición

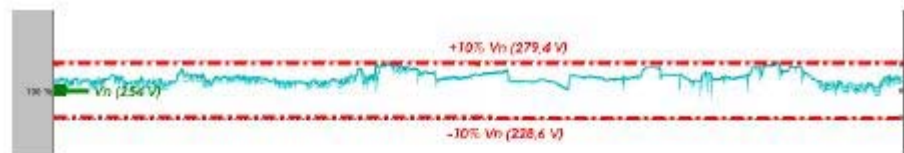
Fuente: Genelec.

De acuerdo con los monitoreos realizados, se registró un nivel de tensión promedio entre fase y neutro de 273 V para el transformador No. 1 y 266 V para los transformadores 2 y 3, aunque este valor se encuentra levemente por encima del valor nominal de los equipos (440 V F-F / 254 VF-N), resulta aceptable considerando que los monitoreos fueron realizados a nivel de los transformadores principales y que la posición actual del tap es la No. 3, que corresponde a una tensión fase-neutro de 266 V, en el secundario de estos equipos, cuando se tiene una tensión de 34 500 V fase-fase en el primario.

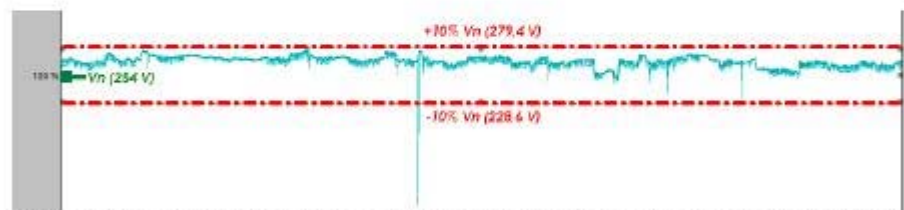
Ilustración 64. Detalle del comportamiento de la tensión fase – neutro.



Gráfico 1: Detalle del comportamiento de la tensión fase – neutro en el transformador No. 1 de la subestación PP6



Gráfica 2: Detalle del comportamiento de la tensión fase - neutro en el transformador No. 2 de la subestación PP6



Gráfica 3: Detalle del comportamiento de la tensión en fase - neutro el transformador No. 3 de la subestación PP6

Fuente: Genelec.

Debido a la anterior condición, en el punto de monitoreo se registran valores máximos que igualan o superan levemente el límite de +10% de la tensión nominal de los equipos (440 $\Delta$  / 254Y V), lo que a nivel del transformador no es una condición crítica, sin embargo se debe verificar que a nivel de la carga final y considerando la ubicación en la planta de los diferentes equipos, la tensión promedio del sistema sea más cercana a la tensión nominal de la carga, bajo condiciones de demanda representativa.

Siguiendo la recomendación anterior y de acuerdo con el nivel de tensión que se verifique en los equipos finales, se podrá establecer si es necesario un movimiento en el tap de los transformadores o el mismo debe permanecer en su posición actual. Un movimiento del tap a la posición 2 implica una disminución aproximada de 2,5% en el valor de la tensión actual, con lo que se obtendrían 450 V entre fases y 260 V entre fase-neutro a nivel de la salida del transformador. Se debe considerar que si resulta necesario el movimiento del tap, esta actividad debe realizarse con el transformador desenergizado.

Se observa un comportamiento aceptable de la tensión con la variación de la carga en los tres puntos de monitoreo, las disminuciones de la tensión corresponden en la mayoría de casos a variaciones en la carga y se encuentran dentro de los umbrales permitidos para el comportamiento de este parámetro en estado estable. Durante el monitoreo realizado en el transformador No. 3 se presentó una caída de tensión instantánea la cual puede ser observada en la gráfica 3, el análisis de esta condición es presentado en la siguiente sección.

Los valores de desbalance de tensión se conservan por debajo del 1% en todos los casos, lo que garantiza que este parámetro se conserva dentro de valores

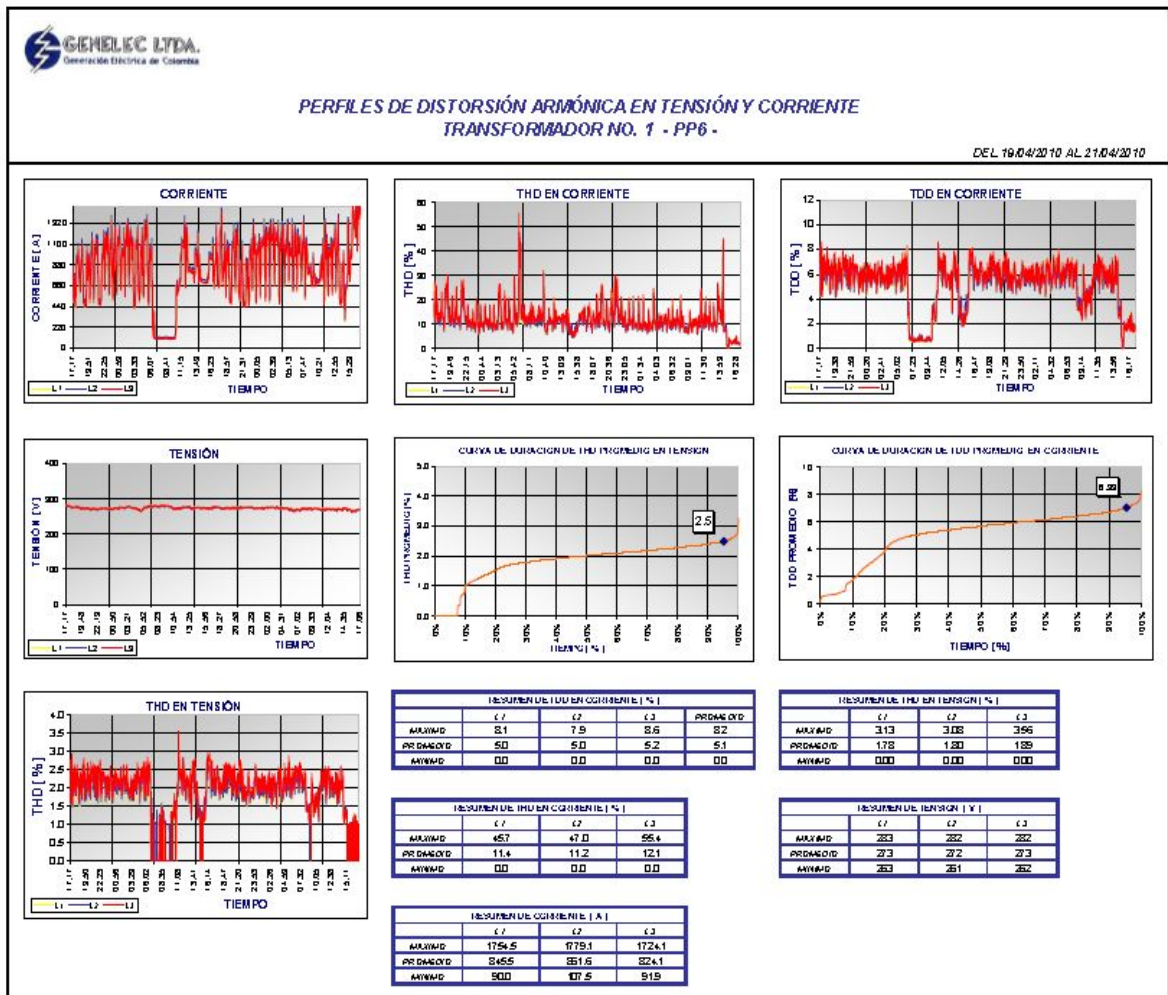
aceptables que permiten conservar la eficiencia y vida útil de los motores alimentados desde los puntos monitoreados.

De acuerdo a la información obtenida re direcciona las acciones a trabajar en el nivel de voltaje.

Gracias al análisis hecho y a los hallazgos encontrados en calidad de energía se harán las modificaciones necesarias para evitar que se generen este tipo de daños.

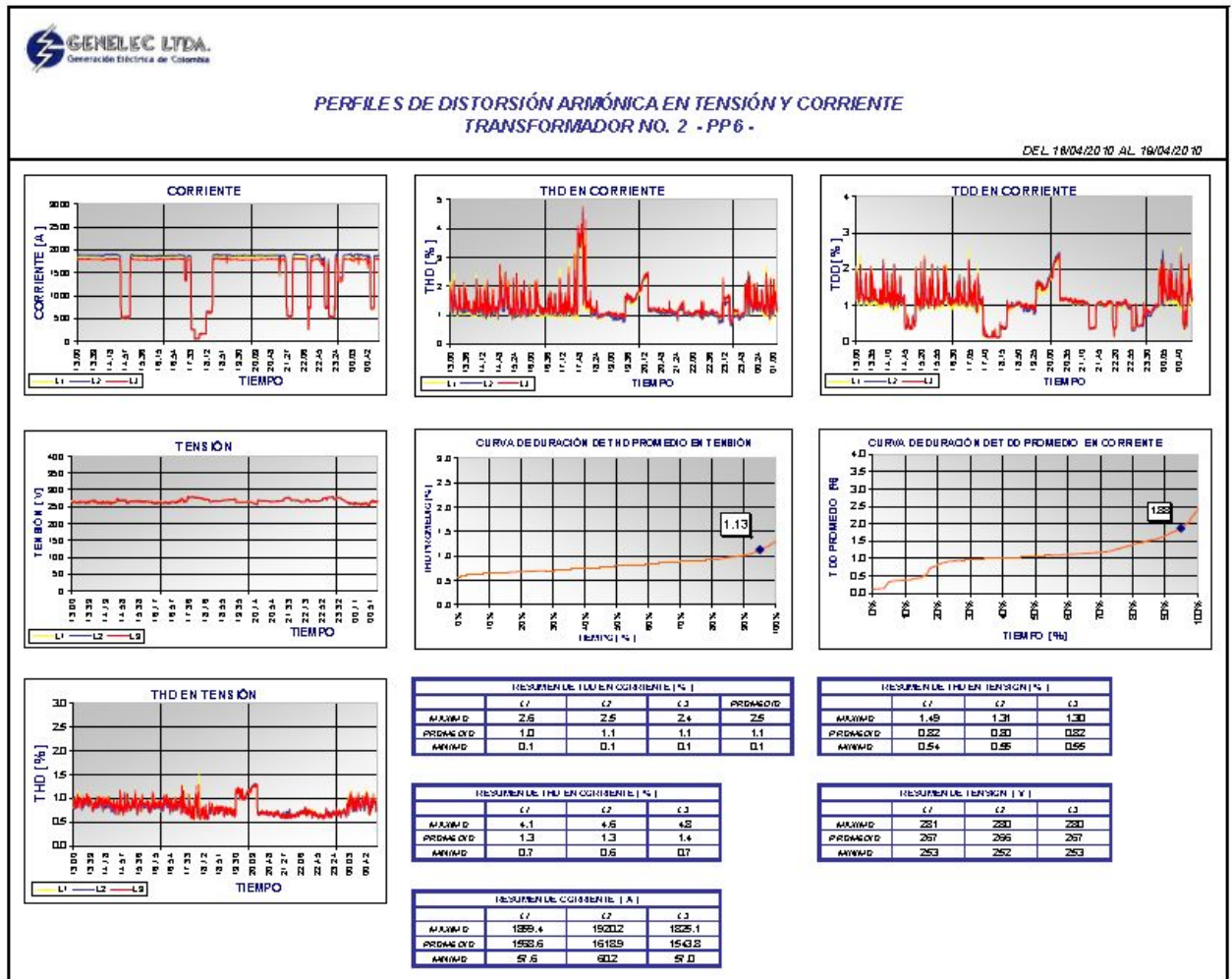
Se anexan los resúmenes de las pruebas diagnósticas realizadas:

Ilustración 65. Perfiles de distorsión armónica en transformador 1.



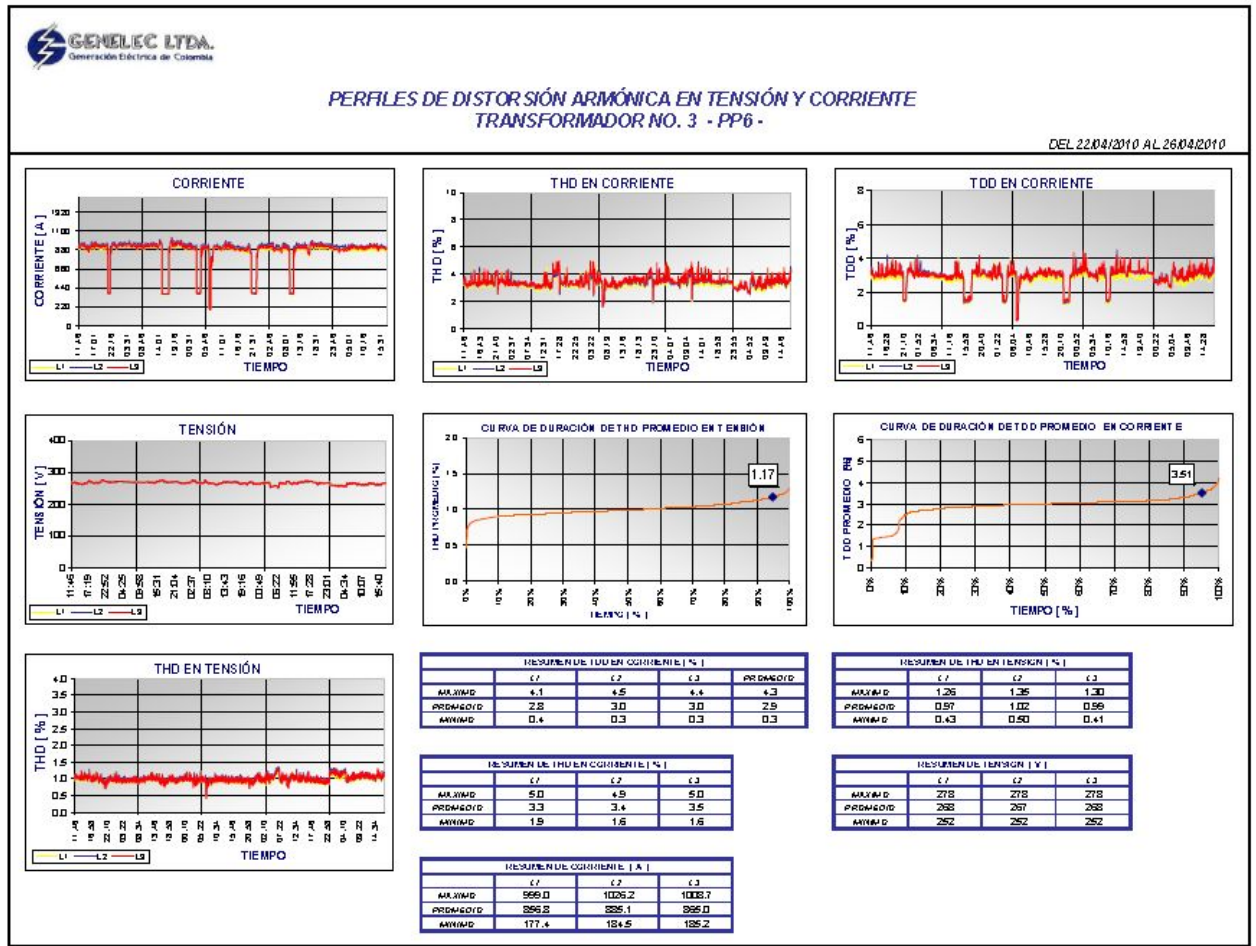
Fuente: Genelec.

Ilustración 66. Perfiles de distorsión armónica en transformador 2.



Fuente: Genelec.

Ilustración 67. Perfiles de distorsión armónica en transformador 3.



Fuente: Genelec.

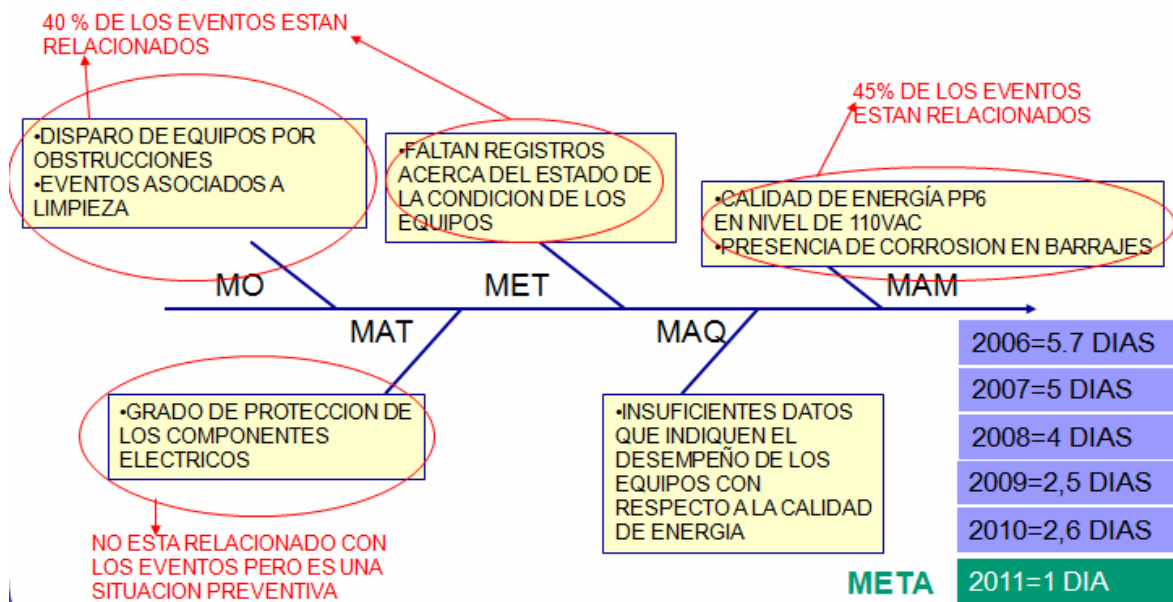
## 7. FORMULACIÓN DE LA PROPUESTA

La propuesta de mejoramiento de la confiabilidad está enfocada en mejorar la parte blanda y orientada a la confiabilidad humana y operacional direccionada desde la información de mantenimiento.

Para la formulación del plan de acción se hará utilizando elementos a través de encuestas y análisis que generen los esfuerzos para encaminar programas de mejoramiento.

Se toma como modelo la encuesta de mantenimiento de clase mundial para realizar el plan estratégico de mejoramiento y encaminar las acciones midiendo el resultado a través de la mejora del indicador de disponibilidad eléctrica. Ver tabla 13.

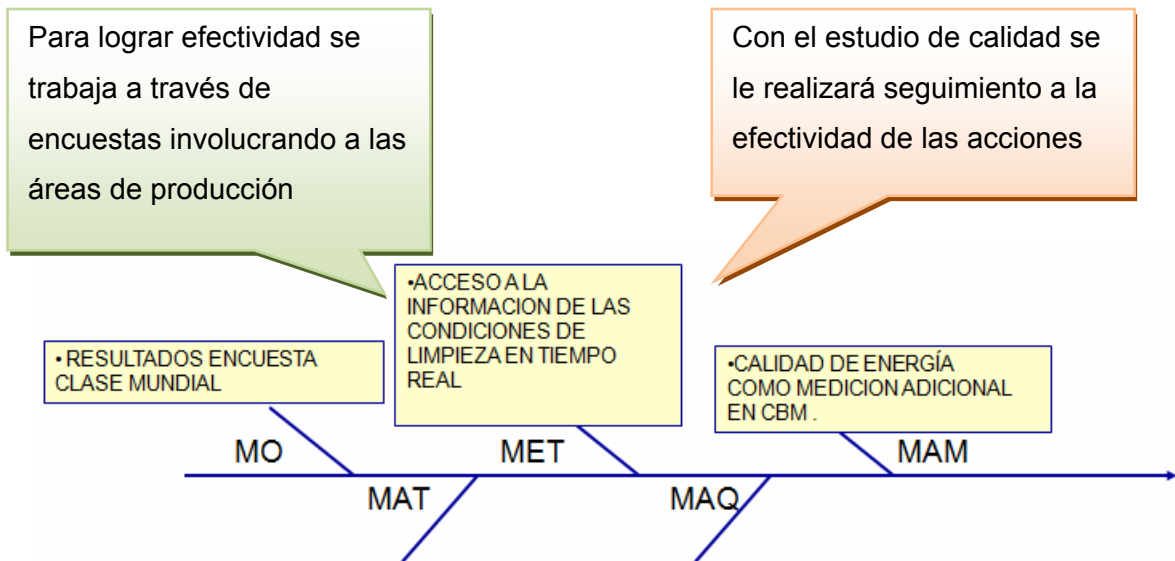
Ilustración 68. Análisis de 5M de causas.



Fuente: De los Autores.

Se utiliza el análisis de las 5 M para detectar donde están las posibilidades de trabajo que direccionen la estrategia el pareto está relacionado con método y medio ambiente, partiendo de este hecho los planes de acción se direccionan en Mano de Obra, Métodos y Medio Ambiente.

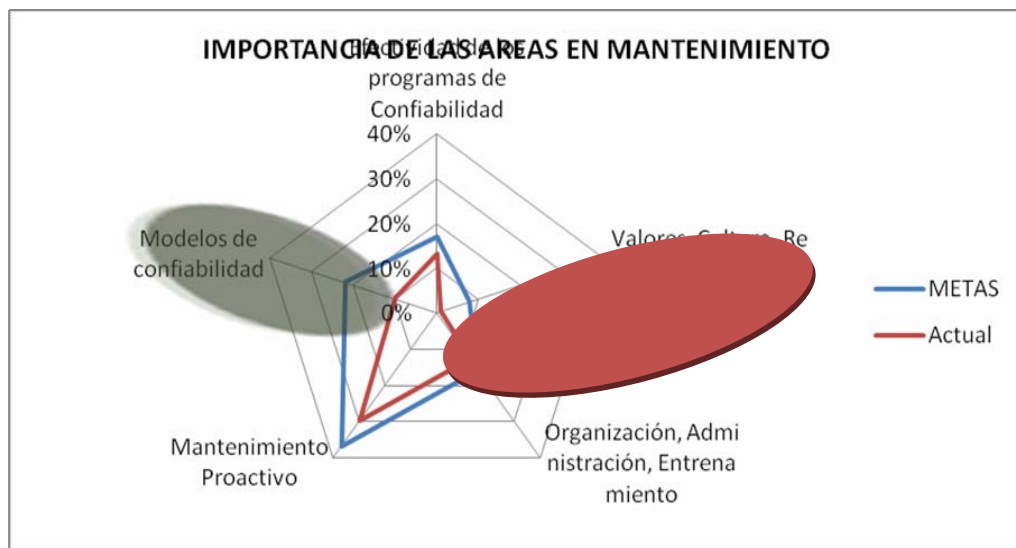
Ilustración 69. Planes de mejoramiento a través del análisis de 5M.



Fuente: De los autores.

Para el direccionamiento de los planes de acción se manejará la encuesta de empresas de mantenimiento de clase mundial que evalúa los siguientes aspectos:

Ilustración 70. Importancia de las áreas en mantenimiento.



Fuente: De los autores.

El mayor peso de la encuesta y los mejores resultados están en los programas de mantenimiento proactivo que ha sido el enfoque de la estrategia de la compañía, por esta razón se evidencian las oportunidades de mejoramiento en cultura y relaciones, al igual que modelos de confiabilidad. De acuerdo a los resultados evidenciados en el número de eventos la estrategia va direccionada a trabajar en valores, cultura y relaciones.

Tabla 15. Puntos de encuesta para realizar los planes de acción.

	<b>Valores, Relaciones</b>	<b>Cultura, 100</b>	<b>8%</b>			
<b>1</b>	Sólidas relaciones de trabajo (compañerismo) presentes entre Producción y Mantenimiento, responsabilidades definidas, objetivos alineados, buenas relaciones, cooperación visible, personal motivado.	35	2,8	bueno		pobre
<b>2</b>	Comportamiento en sitio orientado a la Cultura de la Confiabilidad, valores. Declaración de la misión escrita en el sitio y compilada. Valores y Cultura enfocadas a que proactivamente se identifiquen y eliminen problemas, alto nivel de autonomía, mínima cantidad de respuestas proactivas.	25	2,0	bueno		pobre

3	<p>El operador desempeña (Autónomamente) mantenimiento: Responsabilidad, actividades y tareas definidas, instrucciones disponibles, entendidas y seguidas, entrenamiento en sitio, funcionando (responsabilidades detalladas en los SOP Procedimientos Estándar de Operación)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Inspecciones de integridad mecánica realizadas por el operador: sonidos / temperatura anormales, empates sueltos, bajo aceite, fugas, etc. y limpieza (separado de las rondas de operación)</li> <li>- Actividades de limpieza realizadas por el operador: limpieza, lubricación, ajuste, etc.</li> <li>- instrucciones detalladas, fotografías, etc. provistas para asegurar la calidad y completo entendimiento de los requerimientos</li> </ul>	10	0,8	si	Mayoría de las veces	Algunas veces	no
4	<p>Entrenamiento y direccionamiento dirigido a las competencias de las personas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-liderazgo</li> <li>- empoderamiento de equipos y competencias</li> </ul>	15	1,2	si			no
5	<p>Gerencia del cambio (Mejoramiento continuo) Los líderes están enfocados y activamente comprometidos con el mejoramiento cultural y organizacional.</p>	10	0,8	si			no

	- Los entrenamientos son conducidos cómo es requerido. -Se hace seguimiento a los procesos para asegurar la efectividad.					
<b>6</b>	Se conducen encuestas periódicas conducidas para asegurar la satisfacción e identificar las áreas potenciales para direccionar el mejoramiento continuo.	5	0,4	si		no

Fuente: De los autores.

De acuerdo al direccionamiento descrito en esta guía el plan a seguir es alinear los planes de mejoramiento de la encuesta de clima organizacional con los puntos 1, 2, 4 y 5 de esta propuesta. Esto se hace con gestión humana y los jefes de producción y de mantenimiento.

Para el logro de los objetivos de los puntos 3 y 6 se alinearan con el logro de las certificaciones de ISO 9000 y OSHAS 18000, que son objetivos organizacionales para el próximo año.

## **7.1 RECOMENDACIONES ADICIONALES.**

### **7.1.1 Plan de Capacitación para el personal técnico**

Para el logro más efectivo de resultados en los análisis de causas raíz y el desarrollo del personal técnico se propone implementar un programa de desarrollo de competencias basado en el aprendizaje organizacional y en la infraestructura comercial de los proveedores.

Este plan de competencias pretende cubrir tres niveles:

- Básico
- Intermedio
- Avanzado

Nivel Básico:

Este nivel es importante para alinear los conocimientos del personal técnico de la división de mantenimiento eléctrico ya que los perfiles de este personal son variados desde tecnólogos de mantenimiento eléctrico, mantenimiento electrónico, instrumentación, electromecánica, mecatrónica y automatización.

Este programa se sugiere realizar en un formato de capacitación continua con frecuencia mensual ya que el personal trabaja en turnos y de duración de cuatro horas. Es importante que se realicen evaluaciones de cada tema propuesto.

Estos temas pueden ser cubiertos ampliamente por los proveedores ya que ellos ofrecen estos programas como valor agregado y cubren varios temas por eso se sugiere realizar una revisión de los contenidos temáticos para asegurar la efectividad de los programas. Adicionalmente se pretende que el personal técnico mejore sus habilidades en el reconocimiento de componentes y planos.

Este nivel es el que asegura la alineación de conocimientos y la actualización frente a la alta rata de renovación tecnológica.

Nivel Intermedio:

Este programa de estudio pretende realizar un aprendizaje organizacional frente a las fallas y eventos que van sucediendo y para poder lograr este objetivo se hace a través del análisis de los informes de falla que contengan el uso de algún conocimiento técnico. Después de este análisis se le asigna a un técnico la elaboración de las guías de estudio técnico en donde se aprecia el paso a paso de la operación. Estas guías deben ser aplicadas en bancos de entrenamiento que tengan instalados los mismos dispositivos de las máquinas y de esta manera lograr que el aprendizaje de experiencias sea colectivo y no individual.

En la compañía se cuenta adicionalmente con una intranet de e-learning que se puede utilizar para consignar esta información y así lograr que el personal de las demás plantas también tengan acceso a esta información.

Nivel Avanzado:

Este programa asegura que el conocimiento técnico ayude a que los rediseños propuestos para asegurar el mejoramiento en seguridad industrial, impacto en el medio ambiente, efectividad operacional sean logrados ya que hace uso de un conocimiento más especializado para poder liderar proyectos con proveedores especializados direccionando los esfuerzos de las mejoras enfocadas de máquinas y procesos.

#### 7.1.2 Análisis de Causa Raíz

En el grupo Familia hemos experimentado con éxito la implementación de programas de interacción organizacional como RCM logrando consolidar los planes de mantenimiento de los equipos más crítico, pero existe una oportunidad de aprender de las fallas que ocurren, o sea de las fallas desconocidas que aparecen cuando comprometen los resultados de la planta o impactan en el

bienestar de las personas o de la comunidad y este programa es conocido como RCA o Análisis de Causa Raíz orientado a la eliminación de fallas. La propuesta va encaminada a explorar alternativas que incentiven a la interacción entre las diferentes áreas que intervienen en el proceso en el logro de objetivos comunes y ayuden a entender las fallas y la problemática del desempeño de las máquinas. Con la implementación de este programa se pueden lograr mejoras enfocadas y la materia prima para la creación de lecciones de un punto que ayuden al objetivo de ser una organización que aprende.

#### 7.1.3 Indicadores de Gestión

En la actualidad cada división que interviene en la planta lleva indicadores de gestión sobre las situaciones que afectan los resultados en la efectividad operacional como la disponibilidad, la calidad y la eficiencia. Pero no se miden en indicadores los eventos que están afectando el desempeño de los equipos que se encuentran en la fase de potencial de falla y todavía no limitan la función.

Con la ampliación de esta información se pretende a través de datos y hechos comprometer al personal de producción en su influencia en la salud de los activos de la planta.

#### 7.1.4 Análisis de Calidad de energía

Esta propuesta va enfocada en fortalecer el programa de mantenimiento basado en la condición con una herramienta de diagnóstico adicional que permita monitorear los parámetros de calidad de potencia y así asegurar de manera proactiva que el desempeño se aseguraría en el futuro cercano. En el mercado existen equipos para este fin que tienen la tecnología y a precios asequibles que sirven como información para establecer el estado de salud de las máquinas y complementarlo con estudios más especializados con proveedores que tengan tecnología más sofisticada.

Esta evaluación debe ser conducida analizando el ROI para esto se necesitan más elementos pero se pueden ir direccionando para la justificación de esta inversión.

## CONCLUSIONES

En la división de mantenimiento eléctrico de la planta Cajicá del Grupo Familia se han venido desarrollando propuestas que han influenciado positivamente en la disponibilidad de la planta y en los costos de la misma, pero se observa una gran oportunidad de mejoramiento en los equipos eléctricos que permite desarrollar una estrategia que se consoliden en los resultados esperados en esta planta de manufactura.

Como se aprecia en el desarrollo de la monografía, se demuestran eventos en los equipos eléctricos que evidencian la oportunidad de mejoramiento en la confiabilidad de los dispositivos que aparentemente podrían estar relacionados con su desempeño o con la calidad del suministro de potencia y que a través de estudios técnicos se demuestra que tanto las instalaciones como los dispositivos están funcionando correctamente.

De esta manera con datos y hechos la hipótesis de las fallas debida a la confiabilidad de máquinas, se va relacionando con la confiabilidad operativa y la confiabilidad humana ya que están relacionadas simbióticamente.

A partir de este hallazgo podemos concluir que los esfuerzos deben estar direccionados en fortalecer las competencias y procedimientos operativos que están ligados sistémicamente con la confiabilidad, esta situación se debe al contexto mismo de la planta que es reciente al igual que su personal operativo.

La monografía se enfoca en los siguientes aspectos claves para soportar los objetivos propuestos:

1. Fortalecer el plan de desarrollo de competencias para el personal técnico, a través de un programa de conocimientos básicos y de actualización técnica, teniendo en cuenta que la renovación tecnológica en dispositivos electrónicos es de 2 años. Este punto es logrado a través de la educación continua que ofrecen los proveedores como valor agregado. Un segundo nivel de conocimientos se pretende lograr con guías técnicas aplicadas en bancos de entrenamiento y pruebas instalados con componentes similares a los instalados en las máquinas, estas guías son creadas a través de la gestión del conocimiento generado de los análisis de fallas. Y un tercer nivel que se hace con los programas de entrenamiento especializado y certificado que logren llegar a niveles de conocimiento para proponer mejoras enfocadas de las máquinas.

2. Fomentar programas de análisis de causa raíz que integren las áreas de mantenimiento y producción hacia el logro de objetivos comunes direccionados a mejorar la confiabilidad
3. Implementar indicadores que evidencien la causa raíz de los eventos para de esta manera direccionar los esfuerzos.
4. Crear programas de mejorada enfocada en procesos y mantenimiento, con la participación del personal mantenimiento y de producción.
5. Complementar el programa de mantenimiento basado en la condición con herramientas de diagnóstico de la calidad de la potencia eléctrica para mejorar en la oportunidad de hacer seguimiento del desempeño de los equipos eléctricos.

## BIBLIOGRAFÍA

BOTERO BOTERO, Ernesto. Mantenimiento Preventivo. Universidad Industrial de Santander-UIS. Posgrado en Gerencia de Mantenimiento. Bogotá, 2009.

FELIPE SEXTO, Luis. Sostenibilidad y Mantenimiento, [www.confiableidad.net.com](http://www.confiableidad.net.com).

GARCIA PALENCIA, Oliverio. Principios de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander-UIS. Posgrado en Gerencia de Mantenimiento. Bogotá, 2009.

GONZÁLEZ JAIMES, Isnardo. Seminario I: La Investigación Científica. Universidad Industrial de Santander-UIS. Posgrado en Gerencia de Mantenimiento. Bogotá, 2009.

GONZÁLEZ JAIMES, Isnardo. Seminario II: Monografía de la Especialización. Universidad Industrial de Santander-UIS. Posgrado en Gerencia de Mantenimiento. Bogotá, 2010.

ICONTEC. Presentación de Tesis, Trabajos de Grado y Otros Trabajos de Investigación. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1486. Quinta actualización.

JUSTINIANO, Hugo. Logrando Resultados Positivos a través de Proyectos de Confiabilidad, [www.confiableidad.net.com](http://www.confiableidad.net.com).

MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. Edición en Español. Gran Bretaña: Aladon. 2004.

MORA GUTIÉRREZ, Alberto. Mantenimiento Estratégico para Empresas Industriales o de Servicios: Enfoque Sistemático Kantiano. Editorial AMG. Envigado, 2009

MORA GUTIÉRREZ, Alberto. Mantenimiento Industrial Efectivo. Editorial AMG. Envigado, 2009.

MURRILLO ROCHA, Gerardo. Mantenimiento en Subestaciones Eléctricas. Universidad Técnica de Oruro. Extraído el 15 de Enero 2010 desde [http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria\\_electrica\\_y\\_electronica/mantenimiento\\_subestacione electrica](http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_electrica_y_electronica/mantenimiento_subestacione electrica).

PRADILLA ARDILA, Humberto. Innovación y Reconversión Tecnológica. Universidad Industrial de Santander-UIS. Posgrado en Gerencia de Mantenimiento. Bogotá, 2010.