



SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SAN LUIS POTOSÍ

SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SAN LUIS POTOSÍ



NOMBRE DEL PROYECTO

**“MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL AL GENERADOR ELÉCTRICO
DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA CONVENCIONAL”**

OPCIÓN V

Cursos Especiales de Titulación

Qué Para Obtener el Título de

INGENIERA INDUSTRIAL EN ELÉCTRICA

PRESENTA

NOMBRE: MARÍA DEL PILAR DE LEÓN ARREOLA

ASESOR: ING. TIMOTEO GAYTÁN GUERRERO

JUNIO DE 2010. SOLEDAD DE GRACIANO SÁNCHEZ, S.L.P.

Av. Tecnológico S/N, Col. UPA, Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P. C.P. 78437
Tels. 818-21-36, 818-22-93, 818-22-74. Fax. 818-31-31, e-mail: direccion@itslp.edu.mx, www.itslp.edu.mx



Alcance: "Proceso Educativo"

"2010, Año de la Patria. Bicentenario del Inicio de la Independencia
y Centenario del Inicio de la Revolución"



SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



SEP

SUBSECRETARIA DE EDUCACIÓN SUPERIOR
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SAN LUIS POTOSÍ

San Luis Potosí, S.L.P., 2010-07-01
Sección: Ele- Elo. y Mecatrónica
No. de oficio: D.E.E.M/543
Expediente: 2010
ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

ING. PATRICIA MÉNDEZ ORTIZ
JEFE DEL DEPTO. DE ELÉCTRICA-ELECTRÓNICA Y MECATRÓNICA
PRESENTE.

Comunico a usted que de acuerdo al reglamento de titulación vigente para los Institutos Tecnológicos, según **OPCIÓN V: CURSO ESPECIAL DE TITULACIÓN**, se reunió la comisión revisora y dictaminó sobre el trabajo que presentó **MARIA DEL PILAR DE LEÓN ARREOLA**, habiendo resultado aprobado por unanimidad se le autorizó a proceder a la impresión de su memoria, cuyo título es:

"MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL AL GENERADOR ELÉCTRICO DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA CONVENCIONAL"


Sin más por el momento, quedo de usted.

Atentamente,


ING. TIMOTEO GAYTAN GUERRERO
Presidente


ING. FERNANDO ROMERO ALONSO
Vocal Propietario


ING. RAÚL MONTANTE SALAZAR
Secretario


ING. MANUEL ESCOBEDO MONTALVO
Vocal Suplente

"2010, Año de la Patria. Bicentenario del Inicio de la Independencia
y Centenario del Inicio de la Revolución"

SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SAN LUIS POTOSÍ



SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



San Luis Potosí, S.L.P., 2010-07-01
Sección: Ele-Elo. y Mecatrónica
No. de oficio: D.E.E.M/542
Expediente: 2010
ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

C. MARIA DEL PILAR DE LEÓN ARREOLA
PASANTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL EN ELÉCTRICA
PRESENTE.

Comunico a usted que de acuerdo al reglamento de Titulación Vigente para los Institutos Tecnológicos, según **OPCIÓN V: CURSO ESPECIAL DE TITULACIÓN** y en base a los resultados obtenidos de la comisión revisora, se le autoriza a proceder con los trámites de su titulación.

Sin más por el momento, quedo de usted.

ATENTAMENTE,

Patricia Méndez Ortiz

M.C. PATRICIA MÉNDEZ ORTIZ
JEFA DEL DEPTO. DE ELÉCTRICA-ELECTRÓNICA Y MECATRÓNICA



S.E.P. D.G.E.S.T.
INSTITUTO TECNOLÓGICO
de San Luis Potosí
DEPARTAMENTO DE
ING. ELÉCTRICA
ELECTRÓNICA

C.C.P. EXPEDIENTE

AGRADECIMIENTOS

Doy gracias primeramente a Dios nuestro señor, por permitirme finalmente concluir esta etapa de mi vida, con salud y fortaleza.

También quiero agradecer a mis padres por darme la vida, en especial a mi mamá por el esfuerzo de aguantarme, el sacrificio de sacar adelante a cuatro hijos y estar ahí en las buenas y en las malas.

A la familia Nucamendi Gómez: Doña Martha, Don Lisandro y mi entrañable amiga Elví, por el apoyo incondicional que me brindaron en el momento de mi vida que más lo necesitaba.

Al amor de mi vida: Max por compartirme de sus conocimientos para poder llevar a cabo este proyecto, porque sin su ayuda habría sido mucho más complicado.

De manera especial y muy respetuosa al Ingeniero Timoteo Gaytán, por su apoyo incondicional para poder llevar a cabo finalmente la culminación de este proyecto de vida, y de quien pienso que Dios me puso en su camino, para de esa manera seguir adelante con mis sueños.

A mis hijas: Lore y Diana a quienes quiero con toda mi alma, y a quienes les quité un poco de mi tiempo de madre para elaborar este proyecto.

A mis compañeras de trabajo por el apoyo y buenos deseos para la culminación de este trabajo, Gracias Maestra Eloisa Landaverde.

Gracias maestros del Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez Chiapas, porque ahí obtuve mis conocimientos y a pesar de dejar muchos años por concluir, se me dio la oportunidad de seguir adelante y poder decir que soy egresada.

Gracias Instituto Tecnológico de San Luis Potosí, porque aunque no fui alumna de tan reconocida Institución, me albergaron como si lo fuera.

iii Gracias a todos !!!

Contenido

1.	Introducción.....	1
1.1.	Estrategias para Alcanzar la Manufactura de Clase Mundial	1
1.2.	¿Qué es una Central Termoeléctrica convencional?.....	2
1.3.	Propuesta del Mantenimiento Productivo Total al Generador Eléctrico	4
2.	Objetivo	5
2.1.	Objetivo General.....	5
2.2.	Objetivos Específicos.....	5
3.	Justificación	6
4.	Planteamiento de la Problemática.....	7
5.	Fundamento Teórico.....	8
5.1.	Historia del Mantenimiento Industrial	8
5.2.	Historia del Mantenimiento Productivo Total	9
5.3.	Definición del Mantenimiento Productivo Total (MPT)	11
5.4.	Filosofía del Mantenimiento Productivo Total	12
5.5.	Objetivos del MPT.....	12
5.6.	Beneficios del Mantenimiento Productivo Total	13
5.7.	Actividades Fundamentales del MPT	13
5.8.	Los pilares del MPT.....	15
5.8.1.	Pilar 1: Mejoras Enfocadas (Kaizen).....	15
5.8.1.1.	Las seis grandes pérdidas.....	16
5.8.1.2.	Análisis de causa raíz.....	17
5.8.2.	Pilar 2: Mantenimiento Autónomo (Jishu Hozen).....	18
5.8.3.	Pilar 3: Mantenimiento Planificado (Keikaku Hozen)	18
5.8.4.	Pilar 4: Educación y Formación	21
5.8.5.	Pilar 5: Mantenimiento Temprano.....	21
5.8.6.	Pilar 6: Mantenimiento de Calidad (Hinshitsu Hozen)	22
5.8.6.1.	Principios del Mantenimiento de Calidad	22
5.8.6.2.	Etapas del Pilar de Mantenimiento de Calidad.....	23
5.8.7.	Pilar 7: Gestión de Seguridad, Salud y Medio Ambiente.....	23

5.8.7.1.	Principios del Pilar Seguridad, Salud y Medio Ambiente	24
5.8.8.	Pilar 8: Mantenimiento en Áreas Administrativas	24
5.8.9.	Pilar 9: Especiales (Monotsukuri)	24
5.8.9.1.	Las 5'S Base del Mantenimiento Productivo Total	24
5.8.9.2.	Definición, Significados y Propósitos de las 5'S	25
5.8.9.3.	Factores clave para el éxito de las 5'S	27
5.9.	Implementación del Mantenimiento Productivo Total	28
5.9.1.	Fase de Preparación	29
5.9.2.	Fase de Introducción.....	30
5.9.3.	Fase de Implantación	30
5.9.4.	Fase de Consolidación	31
5.10.	Tipos de Mantenimientos:	31
5.11.	El Generador Eléctrico	32
5.11.1.	Elementos Principales que lo forman:	32
5.11.2.	Tipos de Sistemas de Enfriamiento del Generador Eléctrico	32
5.11.3.	Modelo Elemental del Generador	35
5.11.4.	El principio del Generador Eléctrico de la CT Villa de Reyes	36
5.11.5.	Sistema de Excitación.	38
5.11.6.	Componentes Principales:.....	40
5.11.6.1.	Transformador de excitación.	40
5.11.6.2.	Banco de tiristores.	41
5.11.6.3.	Interruptor de Campo.....	42
5.11.6.4.	Interruptor de excitación inicial.	42
5.11.6.5.	Regulador automático de voltaje (RAV).	43
5.11.7.	Características Relevantes del Generador Eléctrico.	47
6.	Desarrollo del Problema	49
6.1.	La Empresa	49
6.1.1.	Organización.....	50
6.1.2.	Proceso de Producción.....	51
6.2.	Proceso de Mantenimiento.....	52
6.2.1.	Objetivo del proceso.....	52

6.2.2.	Descripción del proceso.....	53
6.2.2.1.	Proveedores del proceso	53
6.2.2.2.	Proveedores de Recursos	53
6.2.2.3.	Entradas (insumos)	53
6.2.2.4.	Recursos (insumos) para el Mantenimiento	54
6.2.3.	Etapa 1. Identificación y Establecimiento de Necesidades de Mantenimiento ...	54
6.2.4.	Etapa 2. Planeación de Mantenimientos.....	55
6.2.5.	Etapa 3. Ejecución del Mantenimiento.....	56
6.2.6.	Etapa 4. Verificación del Mantenimiento.....	57
6.2.7.	Salidas.....	57
6.2.8.	Salidas secundarias	57
6.2.9.	Clientes	57
6.2.10.	Medición del Objetivo del Proceso.....	58
6.2.10.1.	Indisponibilidad por Mantenimiento (IMP).	58
6.2.10.2.	Unidades a Mantenimiento Programado.	58
6.2.10.3.	Indisponibilidad por Falla más Decremento.	58
6.2.11.	Medición de Variables del Proceso.....	58
6.2.12.	Tipos de Mantenimiento en Centrales Termoeléctricas.....	61
6.2.13.	Actividades en Centrales Generadoras	61
6.2.14.	Identificación y Establecimiento de Necesidades de Mantenimiento.....	61
6.2.15.	Planeación del Mantenimiento (Elaboración de las OM's y AI's)	63
6.2.16.	Ejecución de Mantenimiento y/o Acciones de Mejora	63
6.2.17.	Tipos de Averías	63
6.2.18.	Ubicación Técnica del equipo:.....	65
6.2.19.	Creación de avisos de mantenimiento.....	66
6.2.20.	Tarjetas de equipo con licencia.....	72
6.2.21.	Verificación de los Mantenimientos	75
6.3.	Sistema de Mantenimiento Predictivo	76
6.4.	Mantenimiento Predictivo al Generador Eléctrico	77
6.4.1.	Tipos de Mantenimiento:.....	77

6.4.2.	Técnicas de Mantenimiento Predictivo	77
6.4.3.	Síntomas Típicos del Mal Funcionamiento	78
6.4.3.1.	Desbalance.....	79
6.4.3.2.	Desalineamiento	79
6.4.3.3.	Rodamientos defectuosos	79
6.4.3.4.	Cojinetes en planos defectuosos	79
6.4.3.5.	Excentricidad	79
6.4.3.6.	Cojinetes antifricción defectuosos	80
6.4.3.7.	Cojinete de fricción defectuosa.....	80
6.4.3.8.	Defectos de engranajes	80
6.4.4.	Pruebas de Diagnóstico Integral del Devanado del Estator.....	80
6.4.5.	Pruebas Fuera de Línea.....	81
6.4.5.1.	Inspección Visual	81
6.4.5.2.	Resistencia de Aislamiento	82
6.4.5.3.	Prueba de Tangente Delta y “tip-up”	82
6.4.5.4.	Capacitancia	83
6.4.5.5.	Descargas Parciales	84
6.4.5.6.	Prueba de ELCID.....	86
6.4.5.7.	Prueba de Alto Potencial.....	86
6.4.6.	Pruebas en Línea.....	87
6.4.6.1.	Descargas Parciales	87
6.4.7.	Criterio de Diagnóstico Realizando Pruebas No Destructivas y Destructivas	92
7.	Conclusiones.....	94
8.	Bibliografía.....	95

Índice de figuras

Figura 1. Transformaciones de energía	3
Figura 2. Los 5 ideales del Mantenimiento Productivo Total	14
Figura 3. Pilares necesarios para el MPT	15
Figura 4. Las 5's	28
Figura 5. Generador Eléctrico de la C.T. Villa de Reyes.	34
Figura 6. Flujo de electrones a través de un conductor y su campo magnético.	35
Figura 7. Modelo elemental de un generador	35
Figura 8. Inspección del rotor del Generador Eléctrico de la C T V.D.R.	37
Figura 9. El Generador Eléctrico de 350 MW	38
Figura 10. Vista completa del Turbogenerador Eléctrico.....	39
Figura 11. Diagrama Simplificado del Sistema de Excitación.....	40
Figura 12. Control local de RAV y Control de Ajuste Dinámico	44
Figura 13. Tablero de Alarmas y Disparos de RAV.....	46
Figura 14. Diagrama de equipos principales de la CT Villa de Reyes	47
Figura 15. Vista general de la C. T. Villa de Reyes	49
Figura 16. Organigrama de la empresa.....	50
Figura 17. Proceso de Producción de Energía Eléctrica.....	51
Figura 18. Proceso de Solicitud de Aviso.....	64
Figura 19. Ubicación Técnica del Equipo	65
Figura 20. Ubicación técnica en el sistema MySAP R/3.....	65
Figura 21. Creación de avisos de mantenimiento paso 1	66
Figura 22. Creación de avisos de mantenimiento paso 2	67
Figura 23. Creación de avisos de mantenimiento paso 3	68
Figura 24. Ejemplo guiado, búsqueda de equipos 1	69
Figura 25. Ejemplo guiado, búsqueda de equipos 2	70
Figura 26. Creación de avisos de mantenimiento paso 4	71
Figura 27. Creación de avisos de mantenimiento paso 5	72
Figura 28. Sistema de Planeación y Control de Mantenimiento	73

Figura 29. Libro de registro de licencias	74
Figura 30. Módulo de captura de licencias.....	75
Figura 31. Tarjeta de licencia de equipo.....	76
Figura 32. Estructura de Mantenimiento Predictivo.....	78
Figura 33. Medición en Línea de Descargas Parciales	88
Figura 34. Gráfica Tensión de Fase a Tierra	89

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Evolución del mantenimiento industrial	10
Cuadro 2. Evolución histórica del MPT	11
Cuadro 3. Pasos del Mantenimiento Autónomo.....	19
Cuadro 4. Medición de Variables del Proceso	59
Cuadro 5. Criterios de Aceptación de los Objetivos del Proceso.....	59
Cuadro 6. Criterios de Aceptación de las Variables del Proceso	60
Cuadro 7. Tipos de Mantenimiento	62
Cuadro 8. Tipos de Pruebas para Mecanismos de Falla.	91
Cuadro 9. Variaciones Permisibles Recomendadas	92

Glosario

Control de Calidad: Proceso seguido por una empresa de negocios para asegurarse de que sus productos o servicios cumplen con los requisitos mínimos de calidad establecidos por la propia empresa. Con la política de Gestión de Calidad Óptima (GCO) toda la organización y actividad de la empresa está sometida a un estricto control de calidad, ya sea de los procesos productivos como de los productos finales.

Corriente alterna: Se denomina corriente alterna (CA) a la corriente eléctrica en la que la magnitud y dirección varían cíclicamente. La forma de onda de la corriente alterna más comúnmente utilizada es la de una onda sinusoidal, puesto que se consigue una transmisión más eficiente de la energía; sin embargo en ciertas aplicaciones se utilizan otras formas de onda periódicas tales como la triangular o la cuadrada.

Corriente continua: La corriente continua (CC) es el flujo continuo de electrones a través de un conductor entre dos puntos de distinto potencial. A diferencia de la corriente alterna en la corriente continua las cargas eléctricas circulan siempre en la misma dirección. Aunque comúnmente se identifica a la corriente continua con la corriente constante, es continua toda corriente que mantenga siempre la misma polaridad.

ISO: Organización Internacional para la normatividad (del griego iso “igual”) es el organismo encargado de promover el desarrollo de normas internacionales de fabricación, comercio y comunicación para todas las ramas industriales a excepción de la eléctrica y electrónica; su función principal es la de buscar la estandarización de normas de productos y seguridad para las empresas u organizaciones a nivel internacional.

Kaizen: Palabra de origen japonés que significa “cambio para mejorar”, su traducción más común al español es “Mejora Continua”, se define como una estrategia o metodología de calidad en la empresa y en el trabajo tanto individual como colectivo. Partiendo del principio de que el tiempo es el mejor indicador aislado de competitividad, actúa en grado óptimo al reconocer y eliminar desperdicios en la empresa, sean procesos productivos ya existentes o en fase de proyecto, de productos nuevos, del mantenimiento de máquinas o incluso de procedimientos administrativos. Su metodología trae consigo resultados concretos tanto cualitativos como cuantitativos, en un lapso relativamente corto de tiempo y a un bajo costo, por lo tanto aumenta el beneficio; apoyado en la sinergia que genera el trabajo en equipo de la estructura formada para alcanzar las metas establecidas.

Mantenibilidad: Propiedad de un sistema que representa la cantidad de esfuerzo requerida para conservar su funcionamiento normal o para restituirlo una vez se ha presentado un evento de falla. La mantenibilidad está inversamente relacionada con la duración y el esfuerzo requerido por las actividades de mantenimiento. Puede ser asociada de manera inversa con el tiempo que se toma en lograr acometer las acciones de mantenimiento, en relación con la obtención del comportamiento deseable del sistema.

Mantenimiento: Conjunto de actividades que deben realizarse a instalaciones y equipos con el fin de prevenir o corregir fallas, buscando que los equipos continúen prestando el servicio para el cual fueron diseñados.

Mantenimiento Correctivo: Está encaminado a corregir una falla que se presenta en determinado momento, el equipo es el que determina las funciones primordial de este mantenimiento es poner en marcha el equipo lo más rápido y con el menor tiempo posible.

Mantenimiento Periódico: Es el que se realiza generalmente después de un periodo de tiempo largo (entre 6 y 12 meses), consiste en realizar grandes paradas en los equipos con el fin de efectuar mantenimientos mayores. Este mantenimiento se realiza en plantas de procesos químicos, petroquímicos, azucareros, papeleras, cementeras, etc.

Mantenimiento Predictivo: Está basado en la determinación del estado de la máquina en operación; el concepto se basa en que las máquinas darán un tipo de aviso antes de que fallen y este mantenimiento trata de percibir los síntomas para después tomar acciones; se trata de realizar ensayos no destructivos como pueden ser análisis de aceite, medida de vibraciones, medición de temperatura, termografía, etc.

Manufactura: Del latín manus, mano y factura, hechura; describe la transformación de materias primas en productos terminados para su venta, también involucra procesos de elaboración de productos semi-manufacturados.

Manufactura Esbelta: Es una filosofía de gestión enfocada a la reducción de los 7 tipos de desperdicios (sobreproducción, tiempo de espera, transporte, exceso de procesado, inventario, movimiento y defectos) en productos manufacturados. La Manufactura Esbelta nació en Japón y fue concebida por los grandes gurús del Sistema de Producción Toyota: William Edward Deming, Taiichi Ohno, Shigeo Shingo, entre otros. El sistema de Manufactura Flexible o Manufactura Esbelta ha sido definido como una filosofía de excelencia de Manufactura.

Abrir. Es el conjunto de operaciones manuales o automáticas, para separar una parte del equipo, para impedir el paso de la corriente eléctrica o desbloquear alguna válvula de determinada línea de algún proceso, para permitir el paso del fluido.

Arrancar. Es el conjunto de operaciones, manuales o automáticas, para poner en servicio un equipo.

Bloqueo. Es el medio que impide el cambio parcial o total de la condición de operación de un dispositivo, equipo o instalación de cualquier tipo.

Cerrar. Es el conjunto de operaciones manuales o automáticas, para unir una parte del equipo, para permitir el paso de la corriente eléctrica o desbloquear alguna válvula de determinada línea de algún proceso, para permitir el paso del fluido.

Disparo. Es la apertura automática de un dispositivo por funcionamiento de la protección para desconectar una parte del sistema.

Emergencia. Es el estado de los equipos o sistemas, que pueden poner en peligro el servicio, las instalaciones o vidas humanas y que requiere de una acción inmediata.

Energizar. Significa permitir que el equipo adquiera potencial eléctrico.

Equipo. Es el conjunto de máquinas, aparatos, circuitos eléctricos, tuberías, medios de comunicación, etc., de cualquier instalación para la operación.

Equipo en Disponibilidad. Es el que no está afectado por alguna licencia y que puede ponerse en operación en cualquier momento.

Equipo con Licencia en Vivo. Es aquel equipo al que se ha concedido una licencia para trabajar en él, mientras se encuentra en servicio.

Equipo con Licencia en Muerto. Es aquel equipo al que se ha concedido una licencia para trabajar en él, mientras se encuentra fuera de servicio y librado.

Equipo en Servicio. Es aquel equipo que se encuentra en operación y sobre el cual no se pueden ejecutar trabajos sin previamente obtener la licencia correspondiente.

Equipo Muerto. Es aquel equipo que se encuentra fuera de servicio y desenergizado.

Equipo Vivo. Es el que está energizado.

Falla. Es una alteración o un daño permanente o temporal en cualquier parte del equipo, que varía sus condiciones normales de operación y que generalmente causa un disturbio.

Librar. Es dejar sin potencial eléctrico, vapor, agua a presión y otros fluidos peligrosos para el personal un equipo, un sistema o parte de un sistema, aislando completamente el resto del equipo o sistema mediante interruptores, cuchillas, fusibles, válvulas y otros dispositivos, asegurándose además contra la posibilidad de que accidental o equivocadamente pueda quedar vivo o a presión, valiéndose para ello de la colocación de bloqueos, además de realizar las purgas necesarias para bajar la presión y/o temperatura de líneas y, al mismo tiempo, colocando las tarjetas respectivas.

Libro de Registro de Licencias. Es un libro de forma italiana, de 21.6 cm. por 28 cm., de hojas foliadas y no desprendibles, de acuerdo al formato anexo, en donde se anota toda la información relativa a las licencias que se otorgan.

Licencia. Es la autorización que el Superintendente de Turno concede a una persona capacitada y acreditada para que ejecute directamente o a través del personal a sus órdenes un trabajo en un equipo o sistema auxiliar de la Central.

Licencia en Muerto. Es la licencia que se concede para trabajar en equipos o sistemas desenergizados.

Licencia en Vivo. Es la licencia que se concede para trabajar en equipos o sistemas energizados, con presión, agua, vapor y otros fluidos.

Licencia Especial. Es la licencia que se concede para trabajar en áreas potencialmente peligrosas y/o se va a realizar un trabajo peligroso o con alto riesgo de disparo.

Maniobra. Es todo cambio ordenado por el Superintendente de Turno y ejecutado por el personal de operación, directamente o a control remoto, sobre un elemento, que pueda cambiar el estado o funcionamiento de un sistema, sea eléctrico, neumático, hidráulico o de cualquier otro índole.

Parar. Es el conjunto de operaciones manuales o automáticas, mediante las cuales un equipo es llevado al reposo.

Perturbación de Control. Es el medio que impide el cambio total o parcial de un paso o criterio durante el proceso de arranque de un equipo al detectar una situación anormal.

Tarjeta de Equipo con Licencia. Se denomina Tarjeta de Equipo con Licencia a una cartulina que se coloca en los mandos de los dispositivos que deben permanecer bloqueados durante el desarrollo de una licencia. El hecho de que una tarjeta esté colocada en un dispositivo, es indicación estricta de que ese equipo NO DEBE OPERARSE, independientemente de que se encuentre abierto, cerrado, vivo o muerto.

1. Introducción

Se tiene conocimiento de que las primeras actividades del mantenimiento surgen a finales del siglo XVIII con la Revolución Industrial, en ésta etapa los trabajos de mantenimiento se referían básicamente a las reparaciones de deterioros inmediatos que surgían en las máquinas, la reparación de dichas averías eran realizadas por el mismo operador; en este tiempo el mantenimiento se consideraba únicamente **correctivo**.

Es hasta la década de los años 50's cuando los encargados del mantenimiento se dan cuenta de las necesidades de contar con un plan que les permitiría no únicamente reparar las máquinas, sino también prevenir que éstas lleguen a fallar; ya que resultaba demasiado costoso detener la producción, por lo tanto se empieza a manejar el término de **mantenimiento preventivo (planificado)**, en donde se incluirían enormes revisiones a las instalaciones en situaciones fuera de funcionamiento, con el objetivo principal de obtener mejoras técnicas y económicas, basándose en estudios de planeación, coordinación y control.

Frecuentemente escuchamos que se hace referencia al término “clase mundial”, aplicado a empresas o también a alguna actividad que en esas se realiza, como son la producción o manufactura, el mantenimiento y el sistema de administración.

Las empresas de clase mundial se diferencian de las tradicionales por la forma como llevan a cabo la administración de sus recursos, con el fin de optimizar su competitividad, entendida ésta como la capacidad de los agentes económicos para participar rentablemente en los mercados mundiales de bienes y servicios.

La producción o manufactura es la creación de bienes y servicios. El término clase mundial se relaciona con “lo mejor de lo mejor”, se utiliza para expresar la perfección. La función clase mundial es aquella que obtiene mejoras continuas para satisfacer los requerimientos del cliente.

1.1. Estrategias para Alcanzar la Manufactura de Clase Mundial

1. Administración de la calidad total = cero defectos.

Calidad total significa que a los trabajadores les impacta el que su producto o servicio sea criticado o que el cliente manifieste estar disconforme con su compra.

2. Justo a tiempo = cero inventarios.

Es una estrategia para mejorar de manera permanente la calidad y productividad basada en el potencial de las personas, en la eliminación de desperdicios y en el logro de mayor velocidad en todos los procesos de trabajo. Dentro de los objetivos del justo a tiempo está reducir costos en el proceso productivo, almacenamiento, minimizar o eliminar despilfarros, lograr mejoramiento de la producción.

3. Mantenimiento productivo total = cero fallas.

Es el mantenimiento que implica una participación total de los integrantes de la empresa para maximizar la efectividad del equipo.

4. Procesos de mejoramiento continuo = cero obsolescencias.

Es un conjunto de actividades orientadas a generar mayores beneficios y a hacer más competitiva la organización.

Puede decirse que las empresas que compiten en forma satisfactoria dentro de la economía global son conocidas como “empresas de clase mundial”. Estas empresas suelen tener corporativos más pequeños en comparación con los de sus competidores, siendo esta característica reflejo de su sistema de administración, mediante el cual administran sus resultados y modelan el comportamiento de sus trabajadores.

1.2. ¿Qué es una Central Termoeléctrica convencional?

Una central de generación es una instalación completa con el objetivo de producir electricidad. La energía eléctrica se produce como resultado de una serie de transformaciones, a partir de la cual se inician las transformaciones necesarias hasta llegar finalmente a energía eléctrica; tómesese en cuenta la Ley de Lavoisier: “La energía no se crea ni se destruye, únicamente se transforma”.

Se llaman centrales clásicas o de ciclo convencional a aquellas centrales térmicas que emplean la combustión del carbón, petróleo (aceite) o gas natural para generar la energía eléctrica. Este tipo de centrales eléctricas generan el 44.84% de la energía eléctrica necesaria en el país.

Una central térmica es una instalación que produce energía eléctrica a partir de la combustión. El funcionamiento de todas las centrales térmicas, o termoeléctricas, es semejante.

La fuente de energía disponible es un combustible (combustóleo, gas, diesel, carbón, etc.) que se almacena en parques o depósitos adyacentes, desde donde se suministra a la central, cuya energía se encuentra almacenada según su composición química y se libera haciendo que se produzca una reacción química que en este caso es la combustión, la cual representa la primera

transformación de energía, es decir la energía química del combustible se transforma en calor (energía calorífica) dentro del hogar de un generador de vapor.

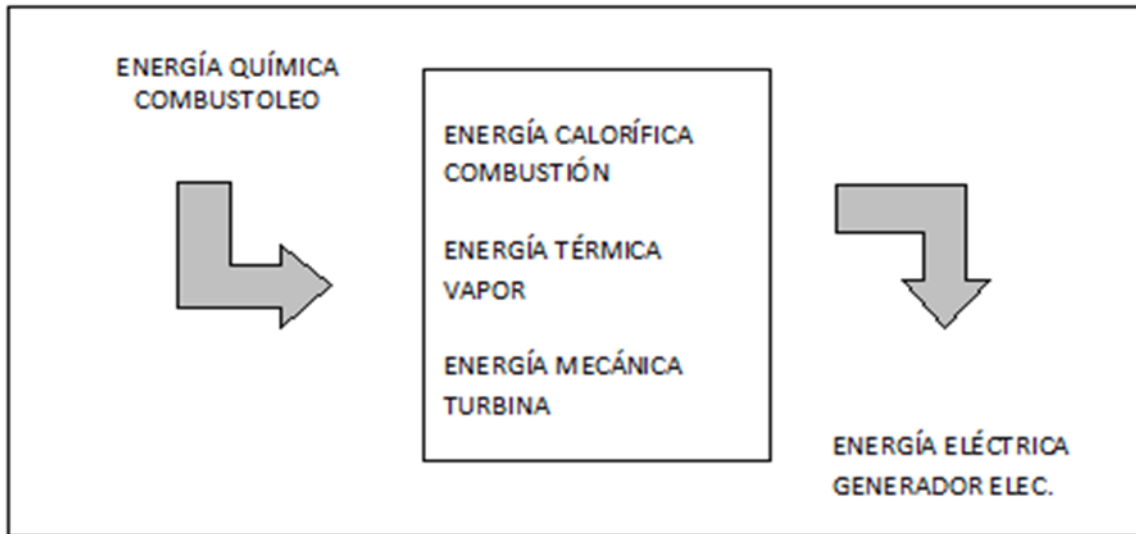


Figura 1. Transformaciones de energía

Si la energía calorífica se emplea para calentar agua y producir vapor, se tiene la siguiente transformación de energía. La flama y los gases calientes ceden su calor al vapor teniéndose vapor con una mayor energía formando energía térmica.

La energía de vapor se transforma en trabajo mecánico en una turbina de vapor con lo que se tiene otra transformación de energía, se obtiene energía mecánica.

Finalmente, si la turbina está acoplada mecánicamente a un generador eléctrico, tendremos la última transformación de energía y se llega al objetivo: la producción de energía eléctrica.

El vapor hace girar los álabes de la turbina, cuyo eje rotor gira solidariamente con el de un generador que produce la energía eléctrica; esta energía se transporta mediante líneas de alta tensión a los centros de consumo. Por su parte, el vapor es enfriado en un condensador y convertido otra vez en agua, que vuelve a los tubos de la caldera, comenzando un nuevo ciclo.

Equipo principal de una Central Termoeléctrica

Todo el equipo de una Central Termoeléctrica (C.T.) es importante, pero de acuerdo a su participación directa con la obtención del objetivo, así como por su tamaño y costo, se clasifica como principales a los siguientes equipos:

- Generador de vapor
- Turbina y condensador

- **Generador eléctrico**

1.3. Propuesta del Mantenimiento Productivo Total al Generador Eléctrico

La C.F.E. es una empresa de clase mundial, a diciembre de 2005 los resultados transparentes, mensurables y comprobados satisfacen las normas internacionales en términos de productividad, eficiencia, tecnología y desarrollo laboral y la colocan como una empresa de clase mundial. Entre los logros más destacables se encuentra la ampliación de la cobertura de su servicio, principalmente en zonas marginadas, y el importante crecimiento de su capacidad de generación y transmisión en beneficio de los mexicanos y su desarrollo.

Es por ello la importancia de llevar a cabo un excelente control de mantenimiento en el equipo y máquinas, principalmente en las plantas de generación.

Es ahí donde se llevará a cabo este trabajo de investigación, específicamente en la C.T. Villa de Reyes, donde se propondrá el Mantenimiento Productivo Total al generador eléctrico, a fin de prolongar sus características de diseño, confiabilidad, disponibilidad y reducir costos de mantenimiento para poder cumplir con los programas de carga y así satisfacer las necesidades de energía eléctrica, además de contribuir con regulación de voltaje al sistema eléctrico Nacional.

2. Objetivo

2.1. Objetivo General

Prolongar las características de diseño, confiabilidad y disponibilidad, del generador eléctrico optimizando el funcionamiento por medio de la eliminación de sus pérdidas, conservando y aumentando la calidad del servicio, con la participación de todos los empleados, realizando actividades programadas, para poder cumplir con los programas de carga y así satisfacer las necesidades de energía eléctrica, además de contribuir con regulación de voltaje al sistema eléctrico Nacional, para llevarlo a cabo se propone el Mantenimiento Productivo Total.

2.2. Objetivos Específicos

- Mantenimiento planificado mediante la introducción de un Sistema de Mantenimiento Predictivo.
- Mantener la eficiencia y disponibilidad del generador, reduciendo los paros por falla o descompostura del mismo.
- Reducir el tiempo que la máquina deja de operar, ya sea por mantenimiento planificado o no planificado.

3. Justificación

Debido a la constante demanda de generación de energía eléctrica, requerida por el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE), el generador debe de estar en condiciones para cumplir con los objetivos de continuidad, calidad, economía y seguridad del sistema Eléctrico Nacional. Por lo que se debe contar con un plan de mantenimiento que garantice la continuidad de generación eléctrica a los consumidores.

La necesidad de energía eléctrica eficiente, confiable y de bajo costo, ha hecho que en el mundo se esté incrementando la capacidad de las unidades generadoras, la búsqueda de nuevas tecnologías para generar, la incorporación de nuevos dispositivos y tecnologías que permiten una mejor operación, así como el desarrollo de nuevos modelos y herramientas computacionales que garanticen el suministro energético al mejor costo económico de producción preservando la seguridad y calidad de la energía.

Las crisis económicas, petroleras y la de sus derivados, alrededor del mundo obligan a países y comunidades a cuidar y ahorrar sus recursos tanto monetarios como energéticos. Lo anterior hace que se establezcan como estrategias para las compañías de suministro eléctrico el evaluar y optimizar la operación de sus sistemas eléctricos contando con un plan de mantenimiento que lo garantice y es el MPT por ser un sistema de gerencia óptima de mantenimiento, por contar con un proceso de continua mejoría implementándose por el sentido común y la creatividad del ser humano.

4. Planteamiento de la Problemática

La Central Termoeléctrica Villa de Reyes es un centro de trabajo integrante de la Dirección de Operación (DDO). La DDO, dependiente de la Dirección General (DG) de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), tiene establecido, documentado y mantiene un Sistema Integral de Gestión (SIG) que incluye aspectos en materia de Calidad, Ambiental y Seguridad y Salud en el Trabajo, basados en los requisitos establecidos en las normas vigentes ISO 9001, ISO 14001, y la NMX-SAST-001.

Se tienen identificados en el SIG los procesos necesarios para proporcionar el suministro del servicio de energía eléctrica, que permiten que la organización funcione de manera eficaz, eficiente y cumpla con la normatividad gubernamental e institucional. Siendo el proceso de mantenimiento el encargado de asegurar la disponibilidad, confiabilidad y eficiencia de los equipos, sistemas e infraestructura de la Central generadora.

De la comparativa realizada entre el Sistema Actual y los procesos fundamentales del Mantenimiento Productivo Total se observan como área de oportunidad de mejora para la Central:

- Mantenimiento planificado mediante la introducción de un Sistema de Mantenimiento Predictivo.

Dada la importancia del Generador Eléctrico dentro del proceso de generación termoeléctrica, y el impacto que tiene una falla de este equipo en cuanto a costos y tiempo de reparación, en el presente trabajo, se desarrolla una propuesta para implementar las técnicas de Mantenimiento Predictivo aplicadas al Generador Eléctrico de la Central con el enfoque del Mantenimiento Productivo Total para mejorar la disponibilidad y confiabilidad de este equipo.

5. Fundamento Teórico

5.1. Historia del Mantenimiento Industrial

Desde el principio de la humanidad, hasta fines del siglo XVII, las funciones de preservación y mantenimiento que el hombre aplicaba a las máquinas que se utilizaba en la elaboración del producto o servicio que vendía a sus clientes, no tuvieron un gran desarrollo debido a la menor importancia que tenía la máquina con respecto a la mano de obra que se empleaba, pues hasta 1880, se consideraba que el trabajo humano intervenía en un 90% para hacer el producto, y el escaso 10% restante era trabajo de la máquina. Por lo tanto, la conservación (preservación y mantenimiento) que se le proporcionaba a los recursos de las empresas, hasta ese momento, era solamente un **Mantenimiento Correctivo**, debido a que las máquinas solo se reparaban en caso de paro o falla importante; es decir, únicamente se proporcionaban acciones correctivas teniendo en mente el **arreglo de la máquina y no se pensaba en el servicio que ésta suministraba**. Conforme la industria fue evolucionando, debido a la exigencia del público de mayores volúmenes, diversidad y calidad de productos, las máquinas fueron cada vez más numerosas y complejas por lo que su importancia aumentó con respecto a la mano de obra.

Con la Primera Guerra Mundial, en 1914, las máquinas trabajaron a toda su capacidad y sin interrupciones, no solamente las ocupadas en la industria común de los países combativos, sino también las que hacían armas, vehículos y artefactos bélicos, pues su funcionamiento era cuestión de vida o muerte; por este motivo, la máquina tuvo cada vez mayor importancia y aumentaron en cuanto a número y cuidados. En esta forma nació el concepto de **Mantenimiento Preventivo**, el cual en la década de los veinte, se aceptó prácticamente como una labor que, aunque costosa, resultaba necesaria. Este procedimiento seguía guardando un enfoque máquina y las reparaciones que se le hacían eran con el criterio de que si la máquina funcionaba bien, esta daría el producto o servicio adecuado.

Aproximadamente tres décadas más tarde a partir de 1950 y por el desarrollo de los estudios de fiabilidad, la mente humana recapacitó y determinó, aunque no con una claridad transparente que una máquina en servicio siempre la integran dos factores; **la máquina** propiamente dicha y el **servicio** que está proporciona. Por tanto las tareas que se deben de emprender para el cuidado de ambos (máquina y servicio) son de dos tipos; a la máquina se

debe limpiar, proteger, no sobrecargar, en otras palabras **preservarla** para que dure en buenas condiciones el mayor tiempo posible.

Por lo que respecta al servicio que la máquina proporciona se debe de cuidar que este dentro de los parámetros de calidad deseada, y si por cualquier concepto no se obtiene dicha calidad se tiene que reforzar o cambiar la máquina o sea el medio de obtener el servicio deseado. De esto se desprende el siguiente principio:

“El servicio se mantiene y el recurso se preserva”

La importancia de la máquina quedaba en segundo término, pues solamente era un medio para obtener un producto o servicio y que, en última instancia, la obtención del mencionado servicio era la razón de ser de todo centro fabril o empresa en general. Por esto sucedió que los proveedores de todo tipo de máquinas para conquistar el mercado, hicieron estudios cada vez más serios y profundos sobre fiabilidad y mantenimiento, con objeto de que los usuarios de las máquinas tuvieran menos problemas en la preservación de éstas y que las labores de mantenimiento se minimizaran y fueran productivas (Mantenimiento Productivo) y no un gasto obligado, es decir un Mantenimiento Preventivo. Esto dio lugar al nacimiento de grandes centros fabriles automatizados y se desarrolló lo que podemos llamar una “Ingeniería de Conservación” (preservación y mantenimiento). La fecha 1950 puede tomarse como **parte aguas del pensamiento humano**, en donde se relega a la máquina a ser un medio para conseguir un fin el cual es el servicio que esta proporciona.

En 1970 y a raíz del nuevo pensamiento de Mantenimiento Productivo, el japonés Seichi Nakajima desarrolló el sistema MPT (Mantenimiento Productivo Total), el cual hace énfasis en la importancia que tiene involucrar al personal de producción y mantenimiento en labores de Mantenimiento Productivo; pues esto ha dado buenos resultados, sobre todo en industrias de punta. El cuadro 1 muestra en forma sintetizada, la evolución del mantenimiento desde sus inicios hasta nuestros días.

5.2. Historia del Mantenimiento Productivo Total

En la década de los 60's en el mundo del mantenimiento en empresas japonesas se incorporó el concepto Kaizen o de Mejora Continua. Esto significó que no solo corregir las averías era la función de mantenimiento, sino mejorar la fiabilidad de los equipos en forma permanente con la contribución de todos los trabajadores de la empresa. Este progreso de las acciones de mejora llevó a crear el concepto de prevención del mantenimiento, realizando acciones de mejora de equipos en todo el ciclo de vida: diseño, construcción y puesta en marcha de los equipos productivos para eliminar actividades de mantenimiento.

A partir de 1966 con el fortalecimiento de las asociaciones nacionales de mantenimiento, y la sofisticación de los instrumentos de protección y medición; la Ingeniería de Mantenimiento, pasa a desarrollar criterios de predicción o previsión de fallas, visando la optimización de la

actualización de los equipos. Esos criterios, conocidos como Mantenimiento Predictivo, fueron asociados a métodos de planeación y control de mantenimiento.

Cuadro 1. Evolución del mantenimiento industrial

TÉCNICAS ORIENTADAS AL:			
Cuidado físico de la máquina		Cuidado del servicio que proporciona la máquina	
¿¿¿ - 1914	1914 - 1950	1950 - 1970	1970 - ???
CORRECTIVO (MC)	PREVENTIVO (MP)	PRODUCTIVO (PM)	PRODUCTIVO TOTAL (TPM)
Enfoque Máquina	Enfoque Máquina	Enfoque al Servicio	Enfoque al Servicio
Solo se intervenía en caso de paro o falla importante	Con establecimiento de algunas labores preventivas	Importancia de la fiabilidad para la entrega del servicio al cliente. Se busca la eficiencia económica en el diseño de la planta	lograr eficiencia PM a través de un sistema comprensivo y participativo total de los empleados de producción y mantenimiento

El Mantenimiento Productivo Total (MPT) nació en Nippondenso Compañía en 1961. La compañía logró grandes resultados de su modelo de mantenimiento a partir de 1969 cuando introdujo sistemas automatizados y de transferencia rápida, los cuales requerían alta fiabilidad. El nombre inicial fue “Total Member Participación PM” abreviado (TPM). Este nombre muestra el verdadero sentido del MPT, esto es participación de todas las personas en el Mantenimiento Preventivo (MP). La compañía recibió un premio por la excelencia al Mantenimiento Productivo (PM) en 1971.

Para el desarrollo del Mantenimiento Preventivo de Nippondenso, el Japan Institute of Plant Engineers (JIPE) apoyó y ayudó a desarrollar el modelo de mantenimiento. Posteriormente el JIPE se transformaría en el Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM) organización líder y creadora de los conceptos TPM.

El JIPM ha evolucionado la idea de Mantenimiento Productivo Total y hoy se reconoce que el MPT ha logrado cubrir todos los aspectos de un negocio. Se conoce como el modelo MPT de tercera generación, donde más que mantener el equipo, se orienta a mejorar la productividad total de una organización.

El Mantenimiento Productivo Total no solo es aplicar 5'S e informatizar la gestión de mantenimiento como algunos creen. El modelo JIPM moderno pretende que una organización sea dirigida dentro del concepto de mantener y hacer uso adecuado de todos los recursos de una organización.

En el cuadro 2 se muestra algunos aspectos importantes en el desarrollo y la evolución histórica del MPT.

Cuadro 2. Evolución histórica del MPT

FECHA	ACONTECIMIENTO
1951	Las empresas japonesas comienzan a utilizar el Mantenimiento Preventivo tipo accidental.
1954	Se inicia el Mantenimiento Productivo en Japón.
1957	La Mejora Continua del mantenimiento empieza como parte de la Calidad Total.
1960	Aparece el concepto de Prevención del Mantenimiento Productivo.
1969	Nippondenso del grupo Toyota se prepara para el premio de Mantenimiento Productivo.
1980	El TPM es conocido eb USA.
1988	Dan University dicta los primeros cursos de TPM y se inicia la implantación.
1991	CEP inicia la difusión del TPM a través de centros de entrenamiento privados.
1992	Se difunden los simposios a las universidades y algunas empresas privadas.
1993	CEP apoya la iniciación del TPM en empresas multinacionales.
1994	CEP asesora industrias del área cauchera, cervecera, cementos y alimentos en TPM.

5.3. Definición del Mantenimiento Productivo Total (MPT)

El Mantenimiento Productivo Total (TPM por sus siglas en inglés) es un enfoque innovador al mantenimiento, que optimiza la efectividad del equipo, elimina las fallas del equipo y promueve el Mantenimiento Autónomo en el operario por medio de actividades desempeñadas día a día, involucrando a todas las áreas de trabajo; es la búsqueda permanente de la mejora del funcionamiento de los equipos de producción con una participación concreta y cotidiana de todos los trabajadores. El MPT se basa en una serie de procedimientos desarrollados para asegurar que cada máquina en un proceso de producción, este siempre disponible para realizar las operaciones que le son requeridas para no interrumpir el proceso productivo; es reconocido mundialmente como la forma más indicada para optimizar la productividad de los equipos y alcanzar un efectivo control y mantenimiento de los sistemas de producción. El principal objetivo del MPT es maximizar la efectividad total de los sistemas productivos por medio de la eliminación de sus pérdidas por la participación de todos los empleados en pequeños grupos de actividades voluntarias.

El MPT permite diferenciar una organización en relación a su competencia debido al impacto en la reducción de los costos, mejora de los tiempos de respuesta, fiabilidad de suministros, el

conocimiento que poseen las personas y la calidad de los productos y servicios finales. MPT busca:

- Maximizar la eficacia del equipo.
- Desarrollar un sistema de mantenimiento productivo por toda la vida del equipo.
- Involucrar a todos los departamentos que planean, diseñan, usan, o mantienen equipo, en la implementación de MPT.
- Activamente involucrar a todos los empleados, desde la alta dirección hasta los trabajadores de piso.
- Promover el MPT a través de motivación con actividades autónomas de pequeños grupos
- Cero accidentes
- Cero defectos
- Cero averías

5.4. Filosofía del Mantenimiento Productivo Total

El MPT tiene como filosofía principal:

- Asegurar la calidad en ambientes de Manufactura Esbelta y Procesos Continuos.
- Es impulsado por un enfoque hacia la maquinaria basado en el trabajo en equipo.
- Emplear estrategias preventivas, predictivas y proactivas en las máquinas.
- Incrementar el conocimiento y habilidades a todos los niveles

5.5. Objetivos del MPT

Los objetivos principales del MPT son:

- Objetivos estratégicos
- Objetivos operativos
- Objetivos organizativos

Objetivos estratégicos:

El proceso MPT ayuda a construir capacidades competitivas desde las operaciones de la empresa, gracias a su contribución a la mejora de la efectividad de los sistemas productivos, flexibilidad y capacidad de respuesta, reducción de costos operativos y conservación del "conocimiento" industrial.

Objetivos operativos:

El MPT tiene como propósito en las acciones cotidianas que los equipos operen sin averías y fallos, eliminar toda clase de pérdidas, mejorar la fiabilidad de los equipos y emplear verdaderamente la capacidad industrial instalada.

Objetivos organizativos:

El MPT busca fortalecer el trabajo en equipo, incremento en la moral en el trabajador, crear un espacio donde cada persona pueda aportar lo mejor de sí, todo esto, con el propósito de hacer del sitio de trabajo un entorno creativo, seguro, productivo y donde trabajar sea realmente grato.

5.6. Beneficios del Mantenimiento Productivo Total

El MPT aporta beneficios a prácticamente todas las áreas de la empresa como lo son:

- **Productividad:** incrementa la productividad mejorando la eficiencia del equipo y del factor humano.
- **Calidad:** disminución de defectos, genera mayor rendimiento e incrementa la calidad del producto.
- **Costo:** reducciones en mano de obra, reduce tiempos y costos de mantenimiento y conserva la energía.
- **Seguridad:** reduce los accidentes proporcionando un ambiente de trabajo seguro, mejorando las condiciones de higiene y seguridad.
- **Moral:** le da más significado al trabajo de cada empleado.

5.7. Actividades Fundamentales del MPT

Mantenimiento Autónomo. Comprende la participación activa por parte de los operarios en el proceso de prevención a los efectos de evitar averías y deterioros en las máquinas y equipos. Tiene especial trascendencia la aplicación práctica de las Cinco "S". Una característica básica del MPT es que son los propios operarios de producción quienes llevan a término el mantenimiento autónomo, también denominado mantenimiento de primer nivel. Algunas de las tareas fundamentales son: limpieza, inspección, lubricación, aprietes y ajustes.



Figura 2. Los 5 ideales del Mantenimiento Productivo Total

Aumento de la efectividad del equipo mediante la eliminación de averías y fallos. Se realiza mediante medidas de prevención vía rediseño-mejora o establecimiento de pautas para que no ocurran.

Mantenimiento Planificado. Implica generar un programa de mantenimiento por parte del departamento de mantenimiento. Constituye el conjunto sistemático de actividades programadas a los efectos de acercar progresivamente la planta productiva a los objetivos de: cero averías, cero defectos, cero despilfarros, cero accidentes y cero contaminaciones. Este conjunto de labores serán ejecutadas por personal especializado en mantenimiento.

Prevención de Mantenimiento. Mediante el desarrollo de ingeniería de los equipos, con el objetivo de reducir las probabilidades de averías, facilitar y reducir los costos de mantenimientos. Se trata pues de optimizar la gestión del mantenimiento de los equipos desde la concepción y diseño de los mismos, tratando de detectar los errores y problemas de funcionamiento que puedan producirse como consecuencia de fallos de concepción, diseño, desarrollo y construcción del equipo, instalación y pruebas del mismo hasta que se consiga el establecimiento de su operación normal con producción regular. El objetivo es lograr un equipo de fácil operación y mantenimiento, así como la reducción del período entre la fase de diseño y la operación estable del equipo y la elevación en los niveles de fiabilidad, economía y seguridad, reduciendo los niveles y riesgos de contaminación.

Mantenimiento Predictivo. Consistente en la detección y diagnóstico de averías antes de que se produzcan. De tal forma pueden programarse los paros para reparaciones en los momentos oportunos. La filosofía de este tipo de mantenimiento se basa en que normalmente las averías no aparecen de repente, sino que tienen una evolución. Así pues el Mantenimiento Predictivo se basa en detectar estos defectos con antelación para corregirlos y evitar paros no programados, averías importantes y accidentes. Entre los beneficios de su aplicación tenemos: a) Reducción de paros; b) Ahorro en los costos de mantenimiento; c) Alargamiento de vida de

los equipos; d) Reducción de daños provocados por averías; e) Reducción en el número de accidentes; f) Más eficiencia y calidad en el funcionamiento de la planta; g) Mejoras de relaciones con los clientes, al disminuir o eliminar los retrasos.

5.8. Los pilares del MPT

Los pilares son las estrategias fundamentales para desarrollar el programa. Estos pilares sirven de apoyo para la construcción de un sistema de producción ordenado. Se implantan siguiendo una metodología disciplinada, potente y efectiva. Los pilares considerados por el JIPM como necesarios para el desarrollo del MPT en una organización son ocho a saber:

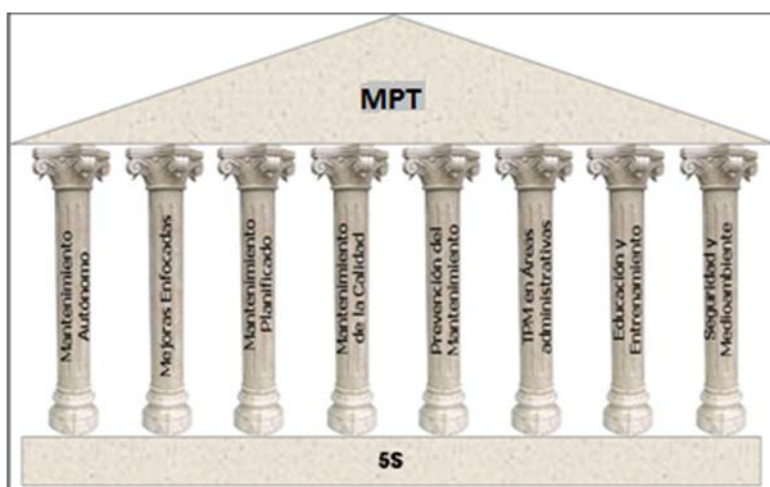


Figura 3. Pilares necesarios para el MPT

5.8.1. Pilar 1: Mejoras Enfocadas (Kaizen)

Son actividades que se desarrollan con la intervención de las diferentes áreas comprometidas en el proceso productivo, con el objeto de maximizar la efectividad global del equipo, procesos y planta, así como mejorar la efectividad de la instalación; todo esto a través de un trabajo organizado en equipos multidisciplinarios, empleando una metodología específica y concentrándose en la eliminación de los desperdicios que se presentan en las plantas industriales.

Se trata de desarrollar el proceso de Mejora Continua similar al existente en los procesos de Control Total de Calidad aplicando procedimientos y técnicas de mantenimiento; cuando una organización cuenta con actividades de mejora similares, puede incorporar dentro de su proceso, Kaizen o Mejora Continua, así como nuevas herramientas desarrolladas en el entorno del TPM. Por medio de estas actividades se pretenden eliminar las grandes pérdidas

ocasionadas en el proceso productivo; para esto es necesario utilizar herramientas de análisis, que son herramientas que ayudan a eliminar los problemas de raíz.

5.8.1.1. Las seis grandes pérdidas

Existen según en la definición tradicional en el MPT seis principales causas crónicas de pérdidas:

Pérdidas por fallas: son causadas por defectos en los equipos que requieren alguna clase de reparación; estas pérdidas consisten de Tiempos Muertos y los costos de las partes y mano de obra requerida para la reparación, la magnitud de la falla se mide por el Tiempo Muerto causado.

Pérdidas de setup y de ajuste: son causadas por cambios en las condiciones de operación, como el empezar una corrida de producción o el empezar un nuevo turno de trabajadores; estas pérdidas consisten de Tiempo Muerto, cambio de moldes o herramientas, calentamiento y ajustes de las máquinas, su magnitud también se mide por el Tiempo Muerto.

Pérdidas debidas a paros menores: son causadas por interrupciones a las máquinas, atoramientos o tiempo de espera; en general no se pueden registrar estas pérdidas directamente, por lo que se utiliza el porcentaje de utilización (100% menos el porcentaje de utilización), en este tipo de pérdida no se daña el equipo.

Pérdidas de velocidad: son causadas por reducción de la velocidad de operación, debido que a velocidad más altas, ocurren defectos de calidad y paros menores frecuentemente.

Pérdidas de defectos de calidad y re trabajos: son productos que están defectuosos o fuera de las especificaciones, producidos durante operaciones normales, estos productos tienen que ser re trabajados o eliminados; las pérdidas consisten en el trabajo requerido para componer el defecto o el costo del material desperdiciado.

Pérdidas de rendimiento: Son causadas por materiales desperdiciados o sin utilizar y son ejemplificados por la cantidad de materiales regresados, tirados o scrap.

El MPT tiene como objetivo eliminar estas pérdidas, si se les analiza se verá que se trata de consecuencias más bien simples y que en muchos casos están asociadas a un mal Programa de Mantenimiento. Las fallas de hacen crónicas cuando:

- Las acciones correctivas aunque ya estén predefinidas no se han aplicado, ha hecho falta el ambiente de liderazgo, cooperación y determinación que se logra con el TPM.

- Las presiones de producción o entrega no permiten implementar la medida correctiva.
- El problema no es atendido por todos los implicados o es mal atendido y además se subestima y no existe suficiente capacitación y/o entrenamiento para resolverlo.

Para reducir las pérdidas derivadas de las fallas crónicas se deben investigar en detalle las características de las condiciones actuales, estas se pueden reducir aplicando acciones como:

- Aumentando la confiabilidad del equipo y eliminando sus defectos menores.
- Mejorando el equipo mediante su restauración a las condiciones originales; definiendo claramente las condiciones de operación óptimas y haciendo que todos las conozcan.
- Capacitando al operador en el conocimiento general de su máquina, sistemas auxiliares y el área de influencia.

Todos estos aspectos se cubren en el evento Kaizen al implementar Mantenimiento Autónomo, base del MPT; el resultado es un aumento considerable de la confiabilidad.

5.8.1.2. Análisis de causa raíz

El análisis de causa raíz es una técnica desarrollada para promover la completa y sistemática eliminación de los defectos que contribuyen a pérdidas por fallas crónicas. Por medio de este proceso todos los componentes que contribuyen a las fallas y pérdidas crónicas son identificados y eliminados, siguiendo un sencillo procedimiento:

- **Clarificar el problema:** investigar el problema y comparar su aparición, condiciones y partes afectadas con los de equipo similar, de esta manera nos aseguramos si el problema es el mismo en todos los casos o es algo particular.
- **Análisis físico del problema:** considerar como condiciones físicas tales como desaseo, obstrucción, contaminación que puedan estar causando el problema observado, revisar entonces cual es la causa de la causa, así como acciones que se han tomado en previas ocurrencias del problema.
- **Registrar cada acción relacionada con el problema:** considere que condiciones deben estar presentes para producir o reproducir el problema o anomalía, las causas pueden estar relacionadas con el clima, estilo de operación, temperatura o humedad, ambiente y muchas otras variables.

El proceso de desarrollo del Análisis de Causa Raíz contempla los siguientes pasos:

- Conservar registros de datos de eventos
- Integrar el Equipo de Análisis de Causa Raíz

- Análisis de los datos
- Comunicación hallazgos y recomendaciones
- Seguimiento de los resultados

5.8.2. Pilar 2: Mantenimiento Autónomo (Jishu Hozen)

El Mantenimiento Autónomo está compuesto por un conjunto de actividades que se realizan diariamente por todos los trabajadores en los equipos que operan; incluyendo inspección, lubricación, limpieza, intervenciones menores, cambio de herramientas y piezas; estudiando posibles mejoras, analizando y solucionando problemas del equipo y acciones que conduzcan a mantener el equipo en las mejores condiciones de funcionamiento. Estas actividades se deben realizar siguiendo estándares previamente preparados con la colaboración de los propios operarios. Los operarios deben ser entrenados y deben contar con los conocimientos necesarios para dominar el equipo que opera. El desarrollo del Mantenimiento Autónomo sigue una serie de etapas, las cuales pretenden crear progresivamente una cultura de cuidado permanente del sitio de trabajo, estos se muestran en el cuadro 3.

Los objetivos fundamentales del Mantenimiento Autónomo son:

- Emplear el equipo como instrumento para el aprendizaje y adquisición de conocimiento.
- Desarrollar nuevas habilidades para el análisis de problemas y creación de un nuevo pensamiento sobre el trabajo.
- Mediante una operación correcta y verificación permanente de acuerdo a los estándares se evite el deterioro del equipo.
- Mejorar el funcionamiento del equipo con el aporte creativo del operador.
- Construir y mantener las condiciones necesarias para que el equipo funcione sin averías y rendimiento pleno.
- Lograr un total sentido de pertenencia y responsabilidad del trabajador.
- Mejorar la seguridad y la moral en el trabajo.

5.8.3. Pilar 3: Mantenimiento Planificado (Keikaku Hozen)

El Mantenimiento Planificado es uno de los pilares que mayor importancia tienen en la búsqueda de beneficios en una organización industrial. El propósito de este pilar consiste en la necesidad de avanzar gradualmente hacia la búsqueda de la meta “cero averías” para una

planta industrial, este mantenimiento que se practica en numerosas empresas presenta entre otras las siguientes limitaciones:

Cuadro 3. Pasos del Mantenimiento Autónomo.

ETAPA	NOMBRE	ACTIVIDAD A REALIZAR
1	Limpieza e inspección	Eliminación de suciedad, escapes, polvo, identificación de "Fugas".
2	Acciones correctivas para eliminar las causas que producen deterioro acumulado en los equipos.	Evitar que nuevamente se ensucie el equipo, facilitar su inspección al mejorar el acceso a los sitios que requieren limpieza y control, reducción del tiempo empleado para la limpieza.
3	Estándares experimentales de inspección	Se diseñan y aplican estándares provisionales para mantener los procesos de limpieza, lubricación y apriete. Una vez validados se establecerán en forma definitiva.
4	Inspección General	Entrenamiento para la inspección haciendo uso de manuales, eliminación de pequeñas averías y mayor conocimiento del equipo a través de la inspección.
5		Formación e implantación de procedimientos de control autónomo.
6	Inspección Autónoma	Estandarización de los elementos a ser controlados. Elaboración de estándares de registro de datos, controles a herramientas, moldes, medidas de producto, patrones de calidad, etc. Aplicación de estándares.
7	Estandarización	Aplicación de políticas establecidas por la dirección de la empresa. Empleo de tableros de gestión visual, tablas MTBF y tablas Kaizen.

- No se dispone de información histórica necesaria para establecer el tiempo más adecuado para realizar las acciones de Mantenimiento Preventivo. Los tiempos son establecidos de acuerdo a la experiencia, recomendaciones de fabricante y

otros criterios con poco fundamento técnico y sin el apoyo en datos e información histórica sobre el comportamiento pasado.

- Se aprovecha la parada de un equipo para “hacer todo lo necesario en la máquina” una vez que se tiene disponible.
- Se aplican planes de Mantenimiento Preventivo a equipos que poseen un alto deterioro acumulado. Este deterioro afecta la dispersión de la distribución (estadística) de fallos, imposibilitando la identificación de un comportamiento regular del fallo y con el que se debería establecer el plan de Mantenimiento Preventivo.
- A los equipos y sistemas se les da un tratamiento similar desde el punto de vista de la definición de las rutinas de preventivo, sin importar su criticidad, riesgo, efecto en la calidad, grado de dificultad para conseguir el recambio o repuesto, etc.
- Es poco frecuente que los departamentos de mantenimiento cuenten con estándares especializados para realizar su trabajo técnico. La práctica habitual consiste en imprimir la orden de trabajo con algunas asignaciones que no indican el detalle del tipo de acción a realizar.
- El trabajo de mantenimiento Planificado no incluye acciones Kaizen para la mejora de los métodos de trabajo. No se incluyen acciones que permitan mejorar la capacidad técnica y mejora de la fiabilidad del trabajo de mantenimiento, como tampoco es frecuente observar el desarrollo de planes para eliminar la necesidad de acciones de mantenimiento. Esta también debe ser considerada como una actividad de Mantenimiento Preventivo.

El pilar Mantenimiento Planificado se implanta en los siguientes seis pasos:

Paso 1. Identificar el punto de partida del estado de los equipos: está relacionado con la necesidad de mejorar la información disponible sobre el equipo. Esta información permite crear la base histórica necesaria para diagnosticar los problemas del equipo.

Paso 2. Eliminar deterioro del equipo y mejorar su estado: el paso dos busca eliminar los problemas del equipo y desarrollar acciones que eviten la presencia de fallos similares en otros equipos idénticos.

Paso 3. Mejorar el sistema de información para la gestión: busca que se mejore el sistema de información para la gestión de mantenimiento. Es frecuente entender que en este paso se debe introducir un programa informático o mejorar el actual, Sin embargo, en esta etapa es fundamental crear modelos de sistemas de información de los fallos y averías para su eliminación, antes de implantar un sistema de gestión de mantenimiento de equipos.

Paso 4. Mejorar el sistema de Mantenimiento Periódico: el paso cuatro está relacionado con el establecimiento de estándares de mantenimiento, realizar un trabajo de preparación para

el Mantenimiento Periódico, crear flujos de trabajo, identificar equipos, piezas, elementos, definir estrategias de mantenimiento y desarrollo de un sistema de gestión para las acciones de mantenimiento contratado.

Paso 5. Desarrollar un sistema de Mantenimiento Predictivo: el paso número cinco busca introducir tecnologías de mantenimiento basado en la condición y predictivo. Se diseñan los flujos de trabajo, selección de tecnología, formación y aplicación en la planta.

Paso 6. Desarrollo superior del sistema de mantenimiento: el paso seis desarrolla procesos Kaizen para la mejora del sistema de Mantenimiento Periódico establecido, desde los puntos de vista técnico, humano y organizativos.

5.8.4. Pilar 4: Educación y Formación

Este pilar considera todas las acciones que se deben realizar para el desarrollo de habilidades para lograr altos niveles de desempeño de las personas en su trabajo. Se puede desarrollar en pasos como todos los pilares MPT y emplea técnicas utilizadas en Mantenimiento Autónomo, mejoras enfocadas y herramientas de calidad. Pero sobre todo, en educar a todo el personal a formar parte del MPT.

Las habilidades tienen que ver con la correcta forma de interpretar y actuar de acuerdo a las condiciones establecidas para el buen funcionamiento de los procesos. Es el conocimiento adquirido a través de la reflexión y experiencia acumulada en el trabajo diario durante un tiempo. El MPT requiere de un personal que haya desarrollado habilidades para el desempeño de las siguientes actividades:

- Habilidad para identificar y detectar problemas en los equipos.
- Comprender el funcionamiento de los equipos.
- Entender la relación entre los mecanismos de los equipos y las características de calidad del producto.
- Poder de analizar y resolver problemas de funcionamiento y operaciones de los procesos.
- Capacidad para conservar el conocimiento y enseñar a otros compañeros.
- Habilidad para trabajar y cooperar con áreas relacionadas con los procesos industriales.

5.8.5. Pilar 5: Mantenimiento Temprano

Este pilar busca mejorar la tecnología de los equipos de producción. Es fundamental para empresas que compiten en sectores de innovación acelerada o manufactura versátil, ya que en estos sistemas de producción la actualización continua de los equipos, la capacidad de

flexibilidad y funcionamiento libre de fallos, son factores extremadamente críticos. Este pilar actúa durante la planificación y conservación de los equipos de producción. Para su desarrollo se emplean métodos de gestión de información sobre el funcionamiento de los equipos actuales, acciones de dirección económica de proyectos, técnicas de ingeniería de calidad y mantenimiento. Este pilar es desarrollado a través de equipos para proyectos específicos. Participan los departamentos de investigación, desarrollo y diseño, tecnología de procesos, producción, mantenimiento, planificación, gestión de calidad y áreas comerciales.

5.8.6. Pilar 6: Mantenimiento de Calidad (Hinshitsu Hozen)

Tiene como propósito establecer las condiciones del equipo en un punto donde el “cero defectos” es factible, ya que contribuye a definir y mantener las condiciones del equipo para que no se produzcan defectos de calidad, como base a las rutinas de inspección de equipos, ya sean autónomas o de mantenimiento especializado. Las acciones del mantenimiento de calidad buscan verificar y medir las condiciones “cero defectos” regularmente, con el objeto de facilitar la operación de los equipos en la situación donde no se generen defectos de calidad.

Mantenimiento de Calidad es:

- Aplicar técnicas de control de calidad a las tareas de mantenimiento.
- Aplicar un sistema ISO a la función de mantenimiento.
- Utilizar técnicas de control estadísticos de calidad al mantenimiento.
- Aplicar acciones de mejora continua a la función de mantenimiento.
- Realizar acciones de mantenimiento orientadas al cuidado del equipo para que este no genere defectos de calidad.
- Prevenir defectos de calidad certificando que la maquinaria cumple las condiciones para “cero defectos” y que estas se encuentren dentro de los estándares técnicos.
- Observar las variaciones de las características de los equipos para prevenir defectos y tomar acciones adelantadas a la situación de anormalidad potencial.
- Realizar estudios de ingeniería del equipo para identificar los elementos del equipo que tiene una alta incidencia en las características de calidad del producto final, realizar el control de estos elementos de la máquina e intervenirlos.

5.8.6.1. Principios del Mantenimiento de Calidad

Los principios en que se fundamenta el Mantenimiento de Calidad son:

- Clasificación de los defectos e identificación de las circunstancias en que se presentan, frecuencia y efectos.
- Realizar un análisis físico para identificar los factores del equipo que generan los defectos de calidad.
- Establecer valores estándar para las características de los factores del equipo y valorar los resultados a través de un proceso de medición.
- Establecer un sistema de inspección periódico de las características críticas.
- Preparar matrices de mantenimiento y valorar periódicamente los estándares.

5.8.6.2. Etapas del Pilar de Mantenimiento de Calidad

Se han establecido nueve etapas para el desarrollo del Mantenimiento de Calidad, estas se deben auditar y siguen las estrategias de prueba piloto, equipo modelo y transferencia del conocimiento utilizados en otros pilares MPT.

Identificación de la situación actual del equipo.

Investigación de la forma como se generan los defectos.

Identificación y análisis de las condiciones 3M (materiales, máquina y mano de obra)

Estudiar las acciones correctivas para eliminar “fugas”.

Analizar las condiciones del equipo para productos sin defectos y comparar resultados.

Realizar acciones Kaizen o de mejora de las condiciones 3M.

Definir las condiciones y estándares de las 3M.

Reforzar el método de inspección.

Valora los estándares utilizados.

5.8.7. Pilar 7: Gestión de Seguridad, Salud y Medio Ambiente

Emplea metodologías desarrolladas para los pilares mejoras enfocadas y mantenimiento autónomo, contribuye significativamente a prevenir riesgos que podrían afectar la integridad de las personas y efectos negativos al medio ambiente. Este pilar tiene como propósito mejorar las condiciones de una fábrica en relación con la disminución de riesgos potenciales de accidentes y efectos negativos al medio ambiente, creando un sistema de gestión integral de seguridad.

5.8.7.1. Principios del Pilar Seguridad, Salud y Medio Ambiente

Los principios del Pilar de Seguridad, Salud y Medio Ambiente son:

- Un equipo con defectos es una fuente de riesgos.
- El desarrollo 5'S es la base de la seguridad.
- El Kaizen es el instrumento para eliminar riesgos en los equipos.
- La formación en habilidades de percepción es la base de la identificación de riesgos.
- El personal formado asume mayor responsabilidad por su salud y seguridad.
- La práctica de los procesos MPT crean responsabilidad por el cumplimiento de los reglamentos y estándares.

5.8.8. Pilar 8: Mantenimiento en Áreas Administrativas

Este pilar tiene como propósito reducir las pérdidas que se pueden producir en el trabajo manual de las oficinas. Si cerca del 80% del costo de un producto es determinado en las etapas de diseño del producto y de desarrollo del sistema de producción.

El Mantenimiento Productivo en áreas administrativas ayuda a evitar pérdidas de información, coordinación, precisión de la información, etc. Emplea técnicas de mejora enfocada, estrategias de 5'S, acciones de Mantenimiento Autónomo, educación y formación y estandarización de trabajos, es desarrollado en las áreas administrativas con acciones individuales o en equipo.

5.8.9. Pilar 9: Especiales (Monotsukuri)

Este pilar tiene como propósito mejorar la flexibilidad de la planta, implantar tecnología de aplazamiento, nivelar flujo, aplicar justo a tiempo y otras herramientas de mejora de los procesos de manufactura.

5.8.9.1. Las 5'S Base del Mantenimiento Productivo Total

La filosofía de las 5'S es una concepción ligada a la orientación a la Calidad Total que se originó en el Japón bajo la orientación de W. E. Deming hace más de cuarenta años y que está incluida dentro de lo que se conoce como mejoramiento continuo o Gemba Kaizen. Este concepto se refiere a la creación y mantenimiento de áreas de trabajo más limpias, más organizadas y más seguras, es decir, se trata de imprimirle mayor "calidad de vida" al trabajo.

Las 5'S provienen de términos japoneses que diariamente se ponen en práctica en la vida cotidiana y no son parte exclusiva de una "Cultura Japonesa", casi todos los seres humanos, tenemos tendencia a practicar las 5'S. Las 5'S son:

- **Seiri:** Clasificar, organizar, arreglar apropiadamente
- **Seiton:** orden
- **Seiso:** limpieza
- **Seiketsu:** estandarización
- **Shitsuke:** disciplina

La poca aplicación de estos conceptos, no deja de ser preocupante, ya que resulta degradante, para cualquier trabajador, desempeñar su labor bajo condiciones no óptimas. Este hecho hace pensar que bajo estos entornos es difícil alcanzar niveles de productividad y eficiencia elevados, lo que pone de presente la necesidad de aplicar consistentemente las 5'S en nuestra rutina diaria, ya que siempre será mejor desarrollar nuestras actividades en ambientes seguros y motivantes. El objetivo central de las 5'S es lograr el funcionamiento eficiente y constante de las personas en los centros de trabajo.

5.8.9.2. Definición, Significados y Propósitos de las 5'S

SEIRI: Desechar lo que no se necesita: Consiste en retirar del área de trabajo todos aquellos elementos que no son necesarios para realizar la labor, cuando se separan las cosas útiles de las innecesarias, las suficientes de las excesivas y dejar en nuestro sitio de trabajo solo lo indispensable para realizar eficientemente nuestras labores. Los beneficios que se obtienen son los de sitios libres de objetos innecesarios o inservibles; más espacio, mejor control de inventario, eliminación del despilfarro y menor riesgo de accidentes. Para facilitar el despeje se recomienda; asignar lugares de confinamiento temporal para objetos descartados (esto da oportunidad de que otras personas que los consideren útiles los tomen), utilizar etiquetas para marcar objetos difíciles de mover, organizar subastas de los artículos descartados ya que las subastas pueden ser aprovechadas para reacondicionar las áreas despejadas.

Propósito: hacer el trabajo más fácil al eliminar obstáculos, eliminar la necesidad de cuidar cosas innecesarias y evitar las pérdidas de los objetos; evitar ser interrumpido por objetos innecesarios, prevenir operaciones erróneas o fallas causadas por cosas innecesarias.

SEITON: Un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar: Significa más que apariencia; acomodar los objetos necesarios en buen orden de tal forma que sean fácilmente accesibles para su uso. Además implica ordenar los objetos requeridos en nuestro trabajo, de acuerdo a un método establecido, dándoles una ubicación específica

que facilite su localización, disposición y regreso al mismo lugar, después de usarlos. Los beneficios que se obtienen es que nos ayuda a encontrar fácilmente objetos o documentos de trabajo, economizando tiempo y movimientos, facilita el regresar a su lugar los objetos que hemos utilizado, nos ayuda a identificar cuando hace falta algo y da una mejor apariencia. Se aconseja asignar un lugar para cada objeto, identificar cada cosa mediante etiquetas con claves numéricas o alfabéticas, usar guías de colores para una identificación rápida, usar marcas cuando se trata de mantener niveles mínimos o máximos de algún artículo, colocar los objetos en un orden lógico, más cerca los que más usas y más lejos los que menos usas.

Propósito: prevenir las pérdidas de tiempo en la búsqueda y transporte de objetos, las cuales son actividades que no generan valor agregado y producen retrasos en los tiempos de entrega, asegurar que lo que entra primero sale primero. Establecer procedimientos e instrucciones que faciliten la ejecución de las operaciones. Establecer sistemas de control visual que permitan tanto al personal de la empresa como al personal externo, ubicar fácilmente los lugares y los objetos, así como también entender los procesos productivos y los procedimientos existentes.

SEISO: Limpiar el sitio de trabajo, los equipos, y prevenir la suciedad y el desorden: Es básicamente eliminación de suciedad, mantener nuestros equipos e instalaciones limpios esto ayuda a conservarlos en las mejores condiciones y con ello a obtener un mejor aprovechamiento de los recursos. Solo a través de la limpieza se pueden identificar algunas fallas, por ejemplo, si todo está limpio y sin olores extraños es más probable que se detecte tempranamente un principio de incendio por el olor a humo o un mal funcionamiento de un equipo por una fuga de fluidos. Así mismo, la demarcación de áreas restringidas, de peligro, de evacuación y de acceso genera mayor seguridad y sensación de seguridad entre los empleados, con esta práctica se disminuirán problemas como averías de las máquinas, etc.

Propósito: facilitar la elaboración de productos de calidad; combinar la limpieza con la inspección de manera que se detecten fallas a tiempo; hacer del trabajo un sitio seguro y confortable.

SEIKETSU: Preservar altos niveles de organización, orden y limpieza: Es el estado que permite a los individuos desarrollarse de manera, eficaz y cómoda su trabajo, además implica poner en práctica en la vida diaria la clasificación (eliminar lo que no nos es útil), la organización (un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar) y la limpieza (todo impecable), las cuales deben ser permanentes. Obteniendo como resultado una mejor salud, se desarrolla mejor el trabajo y facilita nuestras relaciones con los demás. Se aconseja seguir las normas de seguridad, usar ropa limpia y adecuada, contar con patrones adecuados de descanso, no abusar del alcohol ni el cigarro, no consumir drogas, realizando una revisión médica periódicamente, tener una actitud positiva, practicar algún deporte en forma regular, no dejar nunca de capacitarse

y estudiar y formar parte de los grupos que promueven la superación personal. Son los trabajadores quienes adelantan programas y diseñan mecanismos que les permitan beneficiarse a sí mismos. Para generar esta cultura se pueden utilizar diferentes herramientas, una de ellas es la localización de fotografías del sitio de trabajo en condiciones óptimas para que pueda ser visto por todos los empleados y así recordarles que ese es el estado en el que debería permanecer, otra es el desarrollo de unas normas en las cuales se especifique lo que debe hacer cada empleado en su área de trabajo.

Propósito: prevenir el deterioro de las actividades de: Seiri, Seiton y Seiso. Minimizar o eliminar las causas que provocan la suciedad y un ambiente de trabajo no confortable; proteger al trabajador de condiciones peligrosas; estandarizar y visualizar los procedimientos de operación y mantenimiento diario; hacer a los trabajadores felices dándoles la oportunidad de mostrar su talento y creatividad.

SHITSUKE: Crear hábitos basados en las 4'S anteriores: Shitsuke o disciplina significa evitar que se rompan los procedimientos ya establecidos. Solo si se implanta la disciplina y el cumplimiento de las normas y procedimientos ya adoptados se podrá disfrutar de los beneficios que ellos brindan. Implica control periódico, visitas sorpresas, autocontrol de los empleados, respeto por sí mismo, por los demás y mejor calidad de vida laboral. Entrenar a la gente para que continúe con disciplina y autonomía, las buenas prácticas de orden y limpieza. La gente debe practicar las 5'S porque reconoce que son para su propio beneficio; y no porque se le solicita que lo hagan. Esto es un proceso que requiere tiempo, pero sobre todo mucho esfuerzo y constancia de quienes son responsables del proceso de implantación.

Propósito: hacer a las personas más disciplinadas y con buenos modales, en otras palabras se necesita fomentar nuevas costumbres y valores dentro de la empresa, se debe hacer énfasis en eliminar los paradigmas antiguos y adquirir otros más productivos. Cumplir con las reglas de la empresa y de la sociedad, tener un personal más pro-activo.

5.8.9.3. Factores clave para el éxito de las 5'S

Compromiso de la Gerencia: nada se logrará si la gerencia no se compromete y participa activamente en el programa y lucha por comprometer a su gente.

Comenzar las 5'S con capacitación: es muy importante que antes de empezar a practicar las 5'S en la organización, todos conozcan en qué consisten y entiendan los objetivos del programa.

Involucrar a todo el personal: se debe de realizar un trabajo en equipo donde todos estén identificados con el programa y luchen para mantenerlo. El objetivo principal es aumentar la participación del programa.

Repetir el ciclo continuamente: la idea no es sólo mantener el nivel alcanzado sino mejorarlo. Cada vez que se repita el ciclo se debe de pensar que siempre existe un escalón que hay que superar.

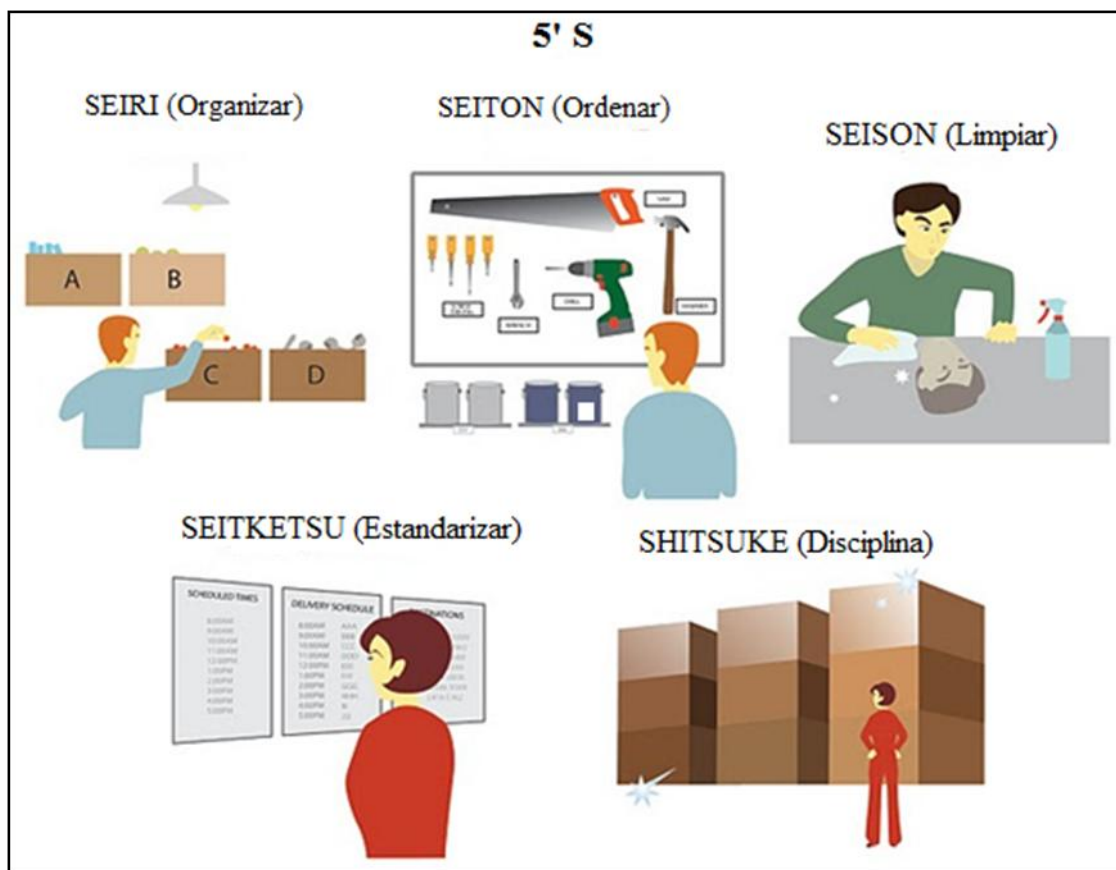


Figura 4. Las 5's

5.9. Implementación del Mantenimiento Productivo Total

La implementación del MPT es un proceso al que se le debe prestar la máxima atención y se debe buscar la mejor asesoría posible, pues es un programa a largo plazo en el que se invertirá un altísimo esfuerzo, no solo a nivel dirección, sino de todo el personal.

Uno de los principales aspectos que se deben de cuidar en la implementación es que todos los involucrados reciban claramente la información de las ventajas que va a presentar para cada uno el cambio. Es recomendable que el primer proyecto integre a gente que sea positiva y le guste cooperar, también es importante que se trate de una máquina o sistema con alta

visibilidad, que se halle en un lugar que todo el personal de la planta lo note. El MPT se implanta normalmente en cuatro fases las cuales son:

5.9.1. Fase de Preparación

Se debe elaborar una planificación extremadamente cuidadosa, tratando de tener en cuenta hasta los más mínimos detalles, tratando de desarrollar los siguientes pasos:

Paso 1: La alta gerencia anuncia su decisión de introducir el MPT: Todos los empleados deben comprender el por qué de la introducción del MPT en su empresa y estar convencidos de su necesidad. Muchas empresas adoptan el MPT para resolver complejos problemas internos y luchar contra las turbulencias económicas, sin embargo cuando la alta gerencia formule su compromiso debe dejar claro su intención de seguir el programa MPT hasta su finalización; la etapa de implementación del MPT comienza con este anuncio.

Paso 2: Educación introductoria para el MPT: Normalmente las empresas contratan con Institutos o Empresas especializadas esta capacitación, puesto que por ser un programa tan amplio, requiere de una gran experiencia y de medios didácticos adecuados, lo cual no se consigue simplemente leyendo libros sobre el tema o asistiendo a una charla de un día sobre el tema. La capacitación la recibe un grupo de directivos y empleados que a su vez divulgarán la información adquirida al resto de empleados ayudados por la empresa contratante para que al final todos los empleados tengan un conocimiento básico, sólido y comprendan sus fundamentos y técnicas.

Paso 3: Crear una organización de promoción del MPT: El MPT se promueve a través de una estructura de pequeños grupos que se solapan en toda la organización, en este sistema los líderes de pequeños grupos de cada nivel de la organización son miembros de pequeños grupos del siguiente nivel más elevado. También la alta dirección constituye en sí misma un pequeño grupo. Se debe establecer una oficina de implantación del MPT que se responsabilice de desarrollar y promover estrategias eficaces para el entrenamiento y seguimiento de todos los pasos. Para ser eficaz la oficina debe funcionar con personal permanente de plena dedicación, ayudado por varios comités y subcomités. Sus funciones incluyen tareas como preparar el plan maestro de MPT y coordinar su promoción; además se deben crear procedimientos para mantener las diversas actividades de MPT por el camino previsto, dirigir campañas sobre temas específicos, diseminar información, organizar la publicidad y coordinar el entrenamiento. Algunas empresas inicialmente no requieren personal dedicado tiempo completo como una oficina de MPT sino que se dedica medio tiempo a un Ingeniero o Coordinador de Mantenimiento a este programa y en cambio se contrata asesoría externa permanente para ésta labor.

Paso 4: Establecer políticas y objetivos básicos del TPM: Las políticas y objetivos de MPT deben estar en todo de acuerdo a la Visión y Medición de la empresa, esto es a sus metas estratégicas como negocio; hay que fijar objetivos numéricos en el máximo grado posible. Los

objetivos deben ser desafiantes, pero alcanzables a mediano y largo plazo. Se deberán definir objetivos concretos, metas estratégicas medidas para cada uno de los pilares o programas de MPT. Cada empresa fija sus propios objetivos, pero es deseable que se solicite la asesoría de institutos o empresas externas especialistas en MPT, para que los revise y/o aconseje para evitar pérdidas de tiempo o incorrectas orientaciones.

Para diseñar un plan maestro de implementación de MPT primero hay que decidir las actividades a poner en práctica para lograr los objetivos. Se deberán definir tareas específicas para cada objetivo de los pilares del MPT y planearlos como un todo, para que no haya duplicidad de funciones o de tareas y para que se aproveche al máximo las actividades y reuniones de cada grupo; una vez diseñado el plan maestro de MPT es aconsejable que sea revisado por institutos o empresas externas especialistas en MPT si es que ellas no han intervenido directamente como asesores en su diseño, además debe tenerse en cuenta que las actividades necesitan presupuestos y orientaciones claras y que deben supervisarse apropiadamente al menos en su fase inicial.

5.9.2. Fase de Introducción

La fase de introducción es el saque inicial del proyecto MPT, se hace el lanzamiento oficial del proyecto empresarial de MPT y normalmente se oficializa en una reunión a la que se evitan a clientes y proveedores externos, en dicha reunión de carácter social, la Dirección confirma su compromiso de implementar el MPT y se informan los planes desarrollados y el trabajo realizado en la etapa de preparación. De esta forma la Dirección queda comprometida al apoyo del programa MPT hasta sus últimas consecuencias.

5.9.3. Fase de Implantación

Se implementan todos los programas y actividades conducentes a maximizar la eficiencia de la producción, esta fase puede tomar de cierto en concretarse. Se implantan y desarrollan entre otros, los siguientes programas:

- Entrenamiento y capacitación que requiera el personal en mantenimiento, operación de equipos, aspectos administrativos, comunicación eficaz solución de problemas, etc.
- Se implanta paso a paso cada una de las etapas del Programa de Mantenimiento Autónomo, enfocado en la mejora continua de los equipos, empezando con limpieza para inspección y la práctica en una máquina modelo.
- Desarrollo de cada uno de los programas o pilares en los que se basa el MPT.

5.9.4. Fase de Consolidación

Se afinan detalles y se consideran objetivos cada vez más elevados, como mejora en el diseño del equipo, se incorporan las tecnologías de punta que sean las apropiadas en ese momento, se introducen fases adicionales con objeto de ganar un premio internacional en implantación de MPT para crear una cultura de sana competencia internacional.

5.10. Tipos de Mantenimientos:

Mantenimiento: Conjunto de actividades que deben realizarse a instalaciones y equipos con el fin de prevenir o corregir fallas, buscando que los equipos continúen prestando el servicio para el cual fueron diseñados.

Mantenimiento productivo total

Es el mantenimiento que implica una participación total de los integrantes de la empresa para maximizar la efectividad del equipo.

Mantenimiento Correctivo: Está encaminado a corregir una falla que se presenta en determinado momento, el equipo es el que determina las funciones primordial de este mantenimiento es poner en marcha el equipo lo más rápido y con el menor tiempo posible.

Mantenimiento Periódico: Es el que se realiza generalmente después de un periodo de tiempo largo (entre 6 y 12 meses), consiste en realizar grandes paradas en los equipos con el fin de efectuar mantenimientos mayores. Este mantenimiento se realiza en plantas de procesos químicos, petroquímicos, azucareros, papeleras, cementeras, etc.

Mantenimiento Predictivo: Está basado en la determinación del estado de la máquina en operación; el concepto se basa en que las máquinas darán un tipo de aviso antes de que fallen y este mantenimiento trata de percibir los síntomas para después tomar acciones; se trata de realizar ensayos no destructivos como pueden ser análisis de aceite, medida de vibraciones, medición de temperatura, termografía, etc.

Mantenimiento Autónomo. Comprende la participación activa por parte de los operarios en el proceso de prevención a los efectos de evitar averías y deterioros en las máquinas y equipos. Tiene especial trascendencia la aplicación práctica de las Cinco “S”. Una característica básica del MPT es que son los propios operarios de producción quienes llevan a término el mantenimiento autónomo, también denominado mantenimiento de primer nivel. Algunas de las tareas fundamentales son: limpieza, inspección, lubricación, aprietes y ajustes.

5.11. El Generador Eléctrico

El generador eléctrico es la máquina que transforma la energía mecánica que le da la turbina, finalmente en energía eléctrica.

Su funcionamiento está basado en la interacción electromagnética que ocurre entre el rotor y el estator del generador eléctrico.

5.11.1. Elementos Principales que lo forman:

- **Rotor.-** es la parte que recibe el trabajo mecánico de la turbina y gira junto con ella, en el rotor se tienen las bobinas que producen el campo electromagnético.

Está construido por un cilindro de acero montado sobre un eje. Este cilindro es ranurado longitudinalmente para alojar las bobinas (devanado de campo), las cuales forman un campo magnético (norte y sur) al circular la corriente directa de excitación, a este devanado de campo también se le conoce con el nombre de " inductor ".

En los extremos del eje se cuenta con dos ventiladores de flujo axial, los cuales obligan la circulación del hidrógeno de enfriamiento a través del generador.

- **Estator.-** es la parte fija del generador en la que también se tiene una bobina de armadura, que es la que corta el campo magnético y así generar energía eléctrica.

Está constituido por piezas estáticas, integradas por delgadas laminillas de acero al silicio aisladas entre sí, pero formando un circuito magnético que disminuye las pérdidas en el generador. Este núcleo magnético de laminas están ranuradas en su parte interior de tal manera que ahí se encuentran alojadas las bobinas del estator, las cuales se conocen también como " inducido "

Al conjunto de bobinas alojadas en el estator se les conoce como devanado de armadura y de aquí salen tres conductores (Bus de fase aislada) que transporta la energía hasta el transformador principal.

5.11.2. Tipos de Sistemas de Enfriamiento del Generador Eléctrico

El generador eléctrico cuenta con otros sistemas auxiliares para efectuar su trabajo como son: excitación, lubricación, sellado y enfriamiento.

Debido a que la circulación de corriente eléctrica produce una gran cantidad de calor, ($Q = I^2 \times R \times t$), de acuerdo al efecto Joule, se hace necesaria la disipación de este calor, por esto el generador cuenta con dos sistemas de enfriamiento: Agua desmineralizada y Gas Hidrógeno.

- **Agua desmineralizada.-** para enfriar la parte fija del generador o Estator.

Este sistema hace circular un flujo de agua desmineralizada por el interior de las bobinas del estator, ya que estas bobinas están construidas de solera hueca y el agua circula por su interior, absorbiendo así el calor generado en el devanado de armadura, regresa a un tanque, de donde se bombea pasando por un intercambiador de calor, para de ahí circular nuevamente por el Generador.

- **Hidrógeno.**- sirve para enfriar el rotor que ésta en movimiento.

El gas hidrógeno va a enfriar las bobinas del rotor y la parte exterior de las bobinas del estator. Circula a través del cuerpo del generador por la acción de los dos ventiladores axiales y por los 4 intercambiadores de calor instalados en el generador. Como el hidrógeno es muy importante para el enfriamiento del generador eléctrico, se deben evitar las fugas de este gas, para lo cual cuenta con el sistema de aceite de sellos, utilizando aceite de lubricación.

Durante la operación normal del generador es necesario mantener una pureza de hidrógeno del 99 %, y una presión de 310 kpa. También se deberá tener un suministro de agua de enfriamiento auxiliares a los enfriadores. Así como la alimentación de aceite lubricante al sistema de aceite de sellos.

El generador eléctrico cuenta con cuatro intercambiadores de calor, colocados uno en cada esquina del mismo. Estos enfriadores ayudan a disipar el calor que adquiere el hidrógeno producto de la generación de la energía eléctrica. Estos enfriadores utilizan agua del circuito cerrado de agua de enfriamiento a auxiliares.

El estator puede ser enfriado con agua desmineralizada, ya que el agua desmineralizada es no conductiva (no conduce electricidad), por lo que puede ser usada para tal fin. El rotor tiene que ser enfriado con un gas, debido a que el rotor está en movimiento, el gas utilizado es el hidrógeno; este hidrogeno después de enfriar el rotor, adquiere calor, el cual va a ser disipado por medio de los enfriadores de hidrogeno del generador eléctrico, utilizando el sistema de enfriamiento a auxiliares, el cual a su vez utiliza agua de la torre de enfriamiento, por lo que es ahí donde se disipará en última instancia el calor producido por el rotor.

Como la temperatura de las bobinas del estator y del rotor varían en función de la carga, teniendo la presión de hidrógeno y el flujo de agua desmineralizada constantes, se deben vigilar los siguientes parámetros:

- Temperatura Devanados Estator entre 50 y 60 °C. Alarma 90 °C.
- Temperatura Rotor del Generador entre 75 y 85 °C. Alarma 90 °C.
- Temperatura Agua de Enfriamiento Estator 46 °C (Entrada). Alarma 50 °C.
- Temperatura Agua de Enfriamiento Estator 50 – 60 °C (Salida). Alarma 90 °C.
- Temperatura Hidrógeno salida del enfriador 45 °C. Alarma 52 °C.
- Temperatura Hidrógeno entrada del enfriador 57 – 63 °C.

Nota.- La conductividad del agua de enfriamiento del estator debe estar en 0.2 ms en operación normal. Alarmas en 0.5 ms y 10.0 ms.

Donde se deben de considerar los límites máximos de temperatura recomendados por el fabricante, Estos son:

- 54°C. En devanado de la armadura con detector.
- 65°C. En devanado de campo con resistencia.

Incremento de temperatura de +40°C del ambiente considerado.

Los generadores de la C.T. Villa de Reyes son del tipo síncrono ya que al estar conectados al Sistema eléctrico del País debe girar a la misma velocidad de los otros generadores (3600 rpm) conectados al sistema, por lo que se dice que todos los generadores están sincronizados.



Figura 5. Generador Eléctrico de la C.T. Villa de Reyes.

Toda corriente eléctrica (flujo de electrones a través de un conductor) produce un fenómeno llamado “campo magnético”, el cual se forma, en el espacio alrededor del conductor eléctrico.

E inversamente al atravesar un conductor el espacio donde existe un campo magnético se originará en este, una corriente eléctrica o un voltaje inducido o generado.

5.11.3. Modelo Elemental del Generador

Explicación de modelo elemental del generador:

- A) Está formado por una parte fija llamada estator y una parte móvil denominada rotor.
- B) Tiene una bobina enrollada en la parte móvil, llamada "devanado de campo" o "campo" y otra bobina enrollada en la parte fija conocida como "armadura" o "devanado de armadura".
- C) Además el rotor del generador está acoplado mecánicamente al rotor de la turbina y es posible alimentarlo en forma continua con corriente directa, por medio de un interruptor "S1" y un conjunto de escobillas.

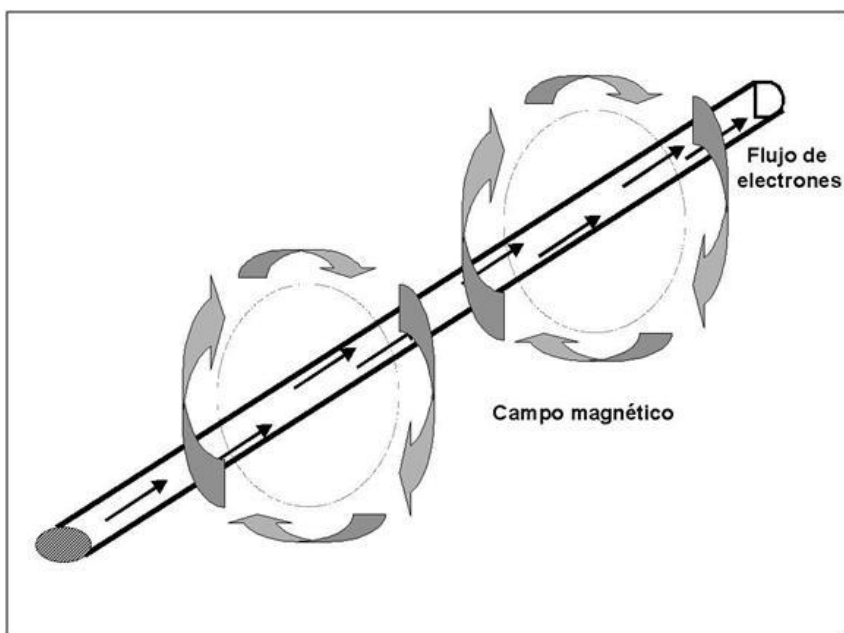


Figura 6. Flujo de electrones a través de un conductor y su campo magnético.

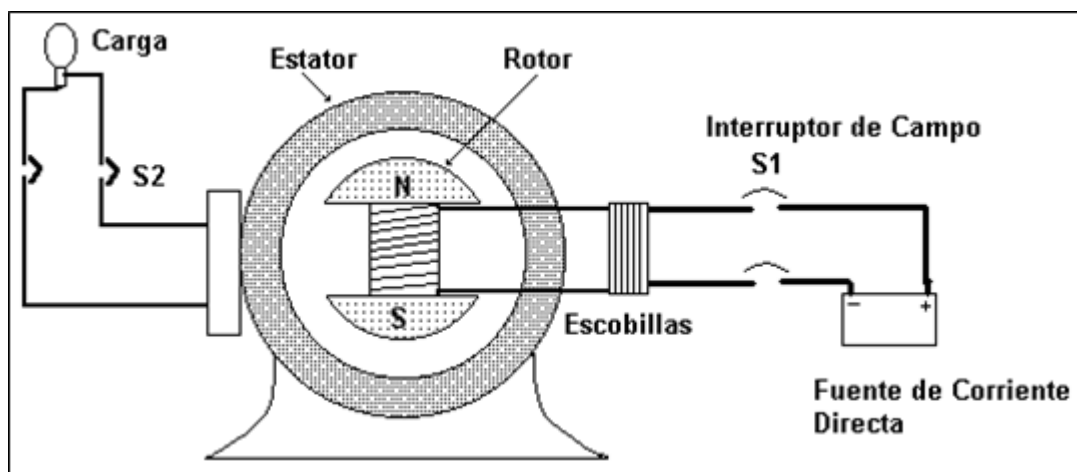


Figura 7. Modelo elemental de un generador

D) Considerando que la turbina está girando a 3600 rpm por consecuencia el rotor del generador se encuentra a esta misma velocidad.

Al cerrar el interruptor S1 se alimentará de corriente eléctrica el devanado de campo generándose en el interior del estator un campo magnético que también estará girando a 3600 rpm (Ley de Ampere).

Este campo magnético giratorio produce en la bobina de armadura un voltaje inducido (Ley de Faraday), por lo que en este momento podremos tener un voltaje entre los puntos "a y b". A la acción de cerrar el interruptor S1 se le conoce como "excitación".

Posteriormente al cerrar S2 se establecerá un flujo de corriente eléctrica a través de L1, pero esta corriente producirá como efecto secundario otro campo magnético en el interior del estator, con la característica principal que se va a oponer al movimiento del rotor, estableciendo así un par contrario al par mecánico, conocido como "par electromagnético".

Por lo anterior cada vez que sea necesario incrementar la carga (corriente eléctrica) es necesario aplicar un par mecánico mayor, aumentando el flujo de vapor para mantener al generador en condiciones estables.

A la acción de cerrar el interruptor S2 se le conoce como "sincronización" y al incremento de la corriente producida por el generador eléctrico como "incremento de carga".

El generador eléctrico de la CT Villa de Reyes es del tipo síncrono ya que su característica relevante es que la velocidad se relaciona directamente con la frecuencia del sistema eléctrico al que se conecta.

En el generador síncrono de la CT Villa de Reyes no se utiliza un imán natural se utiliza un electroimán para producir el campo magnético que inducirá un voltaje en las bobinas del estator.

5.11.4. El principio del Generador Eléctrico de la CT Villa de Reyes

Por las bobinas instaladas en el rotor se hace circular una corriente denominada corriente de campo, la cual va a generar un campo magnético en el espacio existente entre rotor y estator (entrehierro). Este campo magnético va inducir un voltaje en las bobinas del estator, al estar girando el rotor. Este voltaje al (alimentar) conectarse al sistema eléctrico empezará a generarse así la corriente eléctrica.

Cabe aclarar que la corriente de armadura también producirá un campo magnético el cual va a oponerse al movimiento giratorio del rotor, esto es, tratará de frenarlo (par electromagnético). Pero como el rotor está girando debido al movimiento de turbina, este girará a una velocidad estable cuando el par magnético producido por la turbina sea igual al par electromagnético originado por la corriente de armadura.

De lo anterior, se ve que el campo magnético sirve como medio de acoplamiento para la conversión de la energía mecánica a energía eléctrica, por eso se dice que el generador eléctrico funciona en base a la interacción electromagnética entre rotor y estator.

Cada unidad cuenta con un transformador principal, el cual es básicamente un transformador trifásico conectado en delta del lado de baja tensión y en estrella del lado de alta tensión, con neutro conectado sólidamente a tierra. Su propósito es elevar el voltaje de salida del generador eléctrico de 20 KV a 230 KV para que por medio de tres cables aéreos de aluminio se envíe la energía a la subestación eléctrica, ésta a su vez se encargará de transmitirla hacia los centros de distribución y consumo.

Para cada unidad existen dos transformadores de auxiliares, los cuales tienen una relación de transformación de 20 KV/6.9 KV, es decir reducen el voltaje de salida del generador a 6900 volts para alimentar a los equipos auxiliares de la unidad mientras la generación sea mayor del 25 % de la carga nominal.



Figura 8. Inspección del rotor del Generador Eléctrico de la C T V.D.R.

Los transformadores de auxiliares alimentan normalmente a los buses principales de 6.9 KV, que a su vez alimentan al equipo de mayor potencia de la central. Estos tableros son del tipo interior con buses cuya capacidad es de 3,000 amperes, y pueden estar alimentados por los transformadores de auxiliares ó por el transformador de arranque. En cada compartimiento de los tableros de 6.9 KV se aloja un interruptor que se utiliza para protección y control del equipo que está conectado.

El siguiente voltaje que se maneja dentro de la central es el de 480 volts por medio de las subestaciones unitarias que tienen como función reducir la tensión de 6,900 volts a 480 volts, para alimentar los motores de 60 HP a 300 HP y centros de control de motores CCM.

Cada unidad cuenta con 3 subestaciones unitarias y existen 4 subestaciones unitarias comunes para ambas unidades. Constan cada una de transformador, tablero de control y protección. Estas S.E.U. son del tipo interior, de un solo frente y con varios compartimientos llamados gabinetes. En cada gabinete se encuentra un interruptor de 480 V, estos interruptores quedan blindados por barreras metálicas.

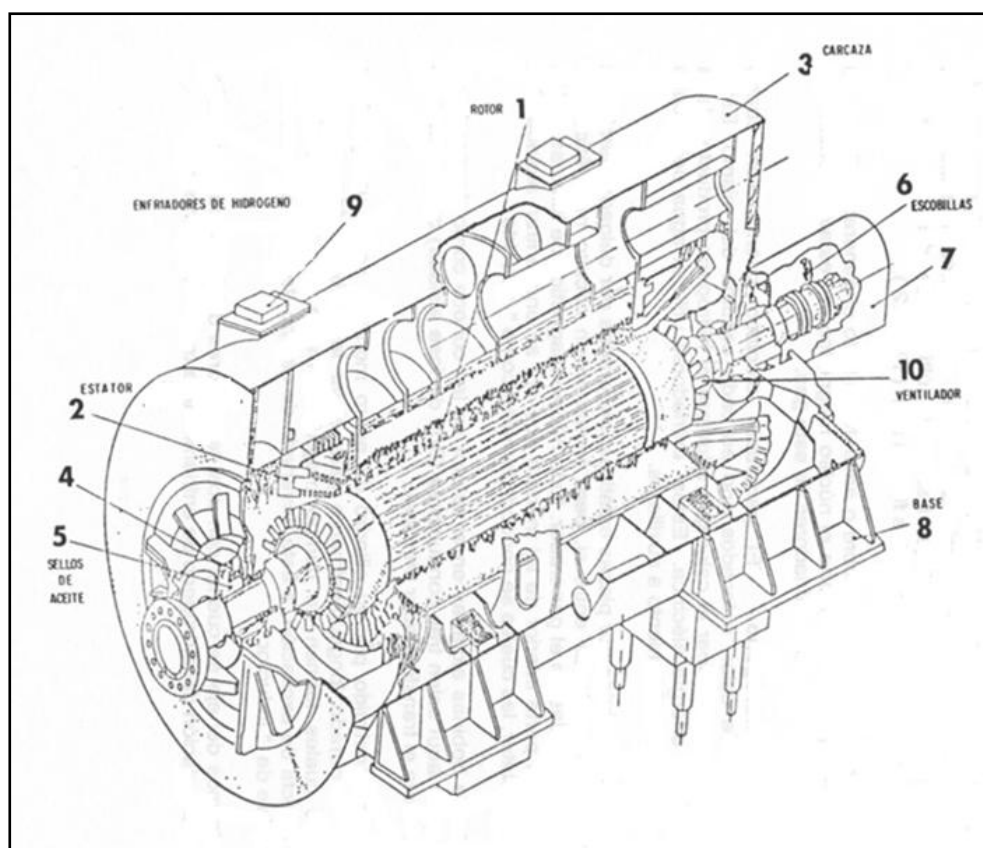


Figura 9. El Generador Eléctrico de 350 MW

5.11.5. Sistema de Excitación.

El objetivo del sistema de excitación es proporcionar la corriente directa al devanado de campo del generador, para que se produzca el campo magnético que va a inducir (excitar) un voltaje eléctrico en el devanado de armadura del generador. El sistema de excitación para realizar su función, está formado por un transformador de excitación, un sistema de rectificación CA / CD, a base de tiristores y un regulador automático de voltaje.

La excitación del generador a base de tiristores, es conocida como estática, y es altamente confiable siendo sus características principales:

- 1.- Una rápida respuesta del sistema de excitación.
- 2.- Un control del voltaje altamente preciso, con una corriente pequeña.
- 3.- Se tienen varios tipos de control aplicados al momento de ocurrir un disturbio.



Figura 10. Vista completa del Turbogenerador Eléctrico

Funcionamiento del sistema.

Los componentes de este sistema se encuentran ubicados de acuerdo al diagrama de la Fig. 11.

Cuando se tienen condiciones estables en el generador de vapor y la turbina ya está en 3600 rpm, es posible realizar la excitación del generador eléctrico.

Se considera como inicio de la excitación cuando se cierra (manual o automático) el interruptor de campo (41), ya que inmediatamente cerrará el interruptor de excitación inicial (31), permaneciendo así hasta alcanzar el 70 % de su voltaje nominal (14 000 Volts). Si durante 10 segundos no se alcanza, operará la alarma "Falla de excitación inicial" y "Tablero de excitación CD Falla" (disparo del generador eléctrico).

En caso de que el voltaje generado sea mayor a los 14 000 Volts, se abrirá automáticamente el interruptor 31 y continuará cerrado el interruptor 41. Con lo que la excitación se realiza a

través del transformador de excitación y el banco de tiristores, en este momento deberá aumentarse por medio del 70 R el voltaje del Generador hasta alcanzar su voltaje nominal. Posteriormente se puede realizar por medio del RAV (90 R) y el banco de tiristores. Siendo esta última la forma normal en que operará el sistema de excitación.

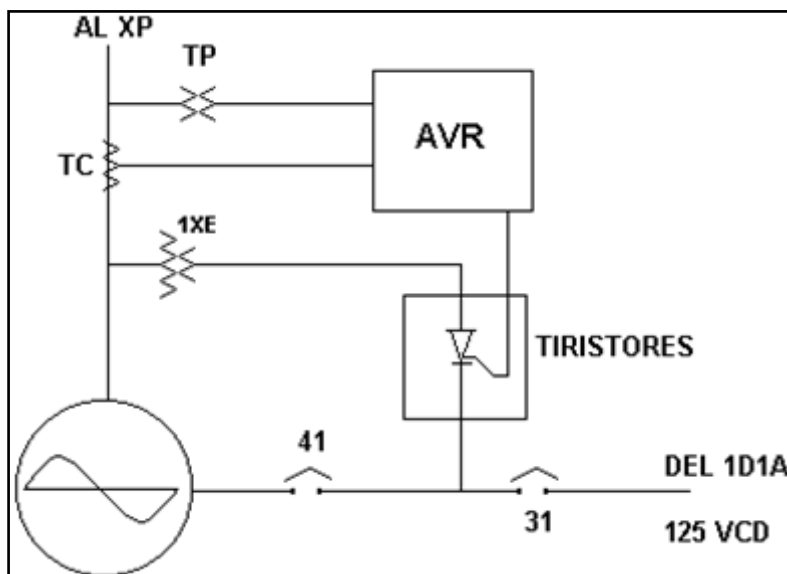


Figura 11. Diagrama Simplificado del Sistema de Excitación

5.11.6. Componentes Principales:

5.11.6.1. Transformador de excitación.

Este transformador es de tipo reductor, el voltaje de generación de 20 KV a 600 V de CA, su objetivo es alimentar durante la operación normal el voltaje requerido para la excitación y producción del campo magnético del generador eléctrico. Es decir cuando el generador se encuentra autoexcitado. Las características de éste, son las siguientes:

- Capacidad 4300 Kva
- Frecuencia 60 Hz
- Voltaje 1° (entrada) 20000 volts(20 Kv)
- Voltaje 2° (salida) 600 volts
- Fases 3
- Conexión Delta/Delta

- Enfriamiento OA/OA

5.11.6.2. Banco de tiristores.

Está formado por un grupo de elementos de estado sólido, conocidos como tiristores, los cuales tienen como función convertir la corriente alterna del transformador de excitación, en corriente directa que alimenta al devanado de campo, sus características son:

- Tipo Tiristores CFS-GB(tipo modular)
- Potencia 2200 kw
- Voltaje salida 440 Volts CD
- Frecuencia 60 Hz
- Conexión Puente Onda completa
- Configuración del puente 1S 12 PgA
 - S.- Número de elementos en serie
 - P.- Número elementos en paralelo
 - A.- Número de ramas
- Número total de Tiristores 72 Tiristores
- Sistema de enfriamiento 2 grupos de ventiladores (3 de c/u)
 - A1 A2 y A3 Alimentación eléctrica del propio RAV
 - B1 B2 y B3 Alimentación eléctrica de CCM 1CD (2CD)
 - Se tienen tres cubículos en los cuales se tienen por cada cubículo 24 Tiristores y en cada cubículo cuentan con dos ventiladores, uno en operación y el otro de reserva para el enfriamiento del Tiristor (estos ventiladores entran por grupos; Grupo A1 A2 A3 o B1 B2 y B3)
 - La alimentación eléctrica a los ventiladores del grupo “A” proviene de un transformador que es alimentado por el mismo transformador de excitación, este reduce la tensión de 600 volts a 415 volts, y es normalmente el grupo que está en operación. El grupo “B” es alimentado a través de CCM 1(2)CD, y entrará en operación si falla el primer grupo.
 - Existe un selector de prueba para el grupo “A” alimentándolo del CCM 1(2)CD.

- Si algún puente de Thiristores falla (fusible) el generador puede continuar operando sin que tenga necesidad de reducir su potencia de salida. Pero forzará la capacidad de los demás Thiristores (mayor calentamiento)
- Lado entrada C.A. Absorvedor de transitorios
- Lado salida C.A Absorvedor de transitorios
- Fusibles limitadores de corriente de alta velocidad conectados en serie con el Thiristor.

5.11.6.3. Interruptor de Campo.

Es un interruptor de dos polos, con cámara de extinción en aire, cuya utilización principal es la de alimentar ó de cortar el suministro de corriente directa al devanado de campo, para la excitación del generador, durante operación normal y emergencia y a la vez conectar el campo a tierra.

- Circuito de apertura en aire
- Voltaje nominal 500 V.C.D.
- Corriente nominal 5000 ampers
- Corriente de interrupción 25000 Ampers. Con 700 volts en .05 segundos.
- Medición de corriente campo Shunt 100 milivolts.
- Entrada circuito 125 V.C.D. y 600 Ampers por 10 segundos
- En operación normal el “selector de prueba” (3-41 test) del interruptor de campo, localizado dentro de cubículo del interruptor de campo. Debe ser colocado en posición “normal” por el departamento eléctrico.
- Si desea verificar la operación del interruptor de campo cierre y apertura por departamento eléctrico, normalmente en mantenimiento. El “selector de prueba” debe ser pasado a posición de Test entonces habilitará los botones locales en RAV. De “trip y Clouse” de cierre y apertura localizados dentro del cubículo interruptor de campo.

5.11.6.4. Interruptor de excitación inicial.

Este interruptor proporciona la corriente directa al generador eléctrico cuando no existe generación y en el transformador de excitación no existe energía y es necesario proporcionarla

de alguna fuente inicialmente, para esto el interruptor está alimentado del Bus 1D1A (2D1A), de 125 VCD de donde se toma la energía inicial para excitar el generador eléctrico.

5.11.6.5. Regulador automático de voltaje (RAV).

Es un sistema de control que se utiliza para regular el voltaje en condiciones de operación normal, crítica y en emergencia, en terminales del generador eléctrico, para realizarlo, recibe señales de voltaje y corriente de la salida del generador y si existe alguna desviación respecto a su punto de ajuste, manda una serie de pulsos de control para activar o desactivar tiristores (a la compuerta de control) aumentando o disminuyendo la excitación hasta corregir la desviación.

Como característica principal se tiene un rango de control de voltaje de -20% a + 10% del voltaje nominal de generación realizados con un error máximo de $\pm 0.5\%$ desde no-carga (excitación-inicial) hasta plena carga, sus principales componente son:

- A) Dos dispositivos de ajuste de voltaje (90 R y 70 R) y un medidor de balance.
 - Dispositivo 90 R: su función es poder modificar el punto de ajuste de voltaje de salida de G.E. estando el RAV en forma de operación automática ya sea con carga ó sin carga el generador eléctrico.
 - Dispositivo 70 R: su función es modificar el voltaje de salida del G.E. en forma manual cuando el RAV está en manual, este dispositivo en esta condición ignora las oscilaciones del sistema y su uso se limita para arranques de unidad, es decir condiciones iniciales de excitación o en casos de emergencia por falla del RAV o ajuste automático 90 R, cabe señalar que este dispositivo siempre está en seguimiento del 90 R para cuando se cambie la operación de auto a manual, este tenga la misma posición que el 90 R y no se tenga oscilaciones de voltaje en el generador.
 - Medidor de balance: este elemento nos indica desde consola de control el desbalance ó desviación que existe entre el punto de ajuste de voltaje (manual 70 R o automático 90 R) y el voltaje real de salida G.E. para efectuar el ajuste pertinente y cualquier transferencia de auto a manual ó de manual a auto.
- B) Un sistema estabilizador de potencia: el propósito de este control es proporcionar un control suplementario al regulador de voltaje del G.E. para mejorar el comportamiento dinámico del sistema de potencia al que se halle asociado, a las oscilaciones de cualquier tipo de disturbio que se presenten del sistema de intercambio nacional con un amortiguamiento positivo. La señal que le llega de tensión es contraria a la que llega al RAV. Y su función es de incrementar la excitación ante un decremento en la potencia eléctrica de salida.
- C) Dispositivos de regulación de voltaje que constan de varios limitadores, como Limitador de Máxima y Limitador de mínima Excitación y circuitos de protección, por ejemplo 40G, y 51 Volts/Hertz.

- Limitador de Máxima Excitación (OEL): Evita sobrecargar térmicamente los devanados del rotor, protegiéndolo de un excesivo calentamiento. Al ocurrir por periodos prolongados una sobreexcitación. Aunque el devanado de campo del G.E. debe ser capaz de operar a un 125% del voltaje de campo con temperaturas estabilizadas, claro que sus sistemas de enfriamiento estén operando correctamente. En caso de que el voltaje sobrepase un valor máximo permisible de +10% este control entra en operación y evita que siga subiendo la excitación. Que después de un tiempo si no es corregida, será llevada automáticamente a un nivel seguro.

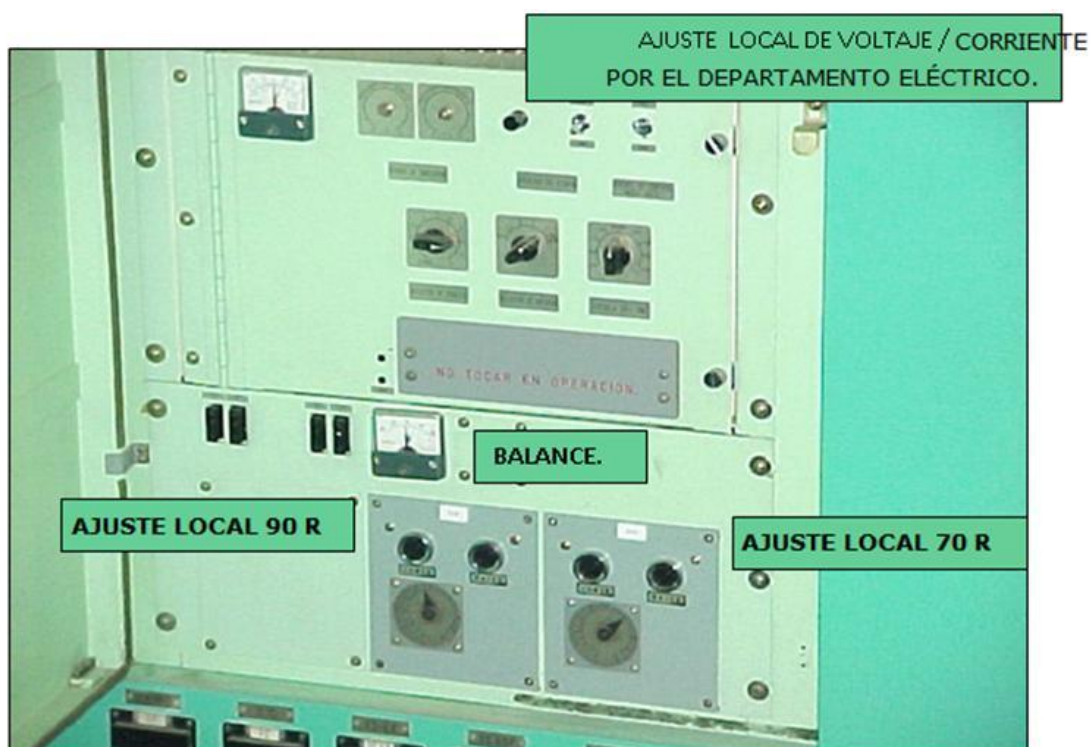


Figura 12. Control local de RAV y Control de Ajuste Dinámico

- Limitador de Mínima Excitación (MEL): Este dispositivo evita que disminuya la excitación del G.E. para prevenir y evitar sacarlo de sincronismo, y causarle un calentamiento excesivo en la armadura del estator; ya que con una excitación menor que la normal, se provoca una potencia reactiva hacia el G.E. pudiéndolo llevar a una zona de inestabilidad y posible pérdida de sincronismo. Este dispositivo (MEL) bloquea la función del 90R si este sigue disminuyendo la excitación máxima permisible de -20% del voltaje nominal salida G.E. Y si la excitación sigue disminuyendo por fallas excedidas del sistema o el RAV llegará al rango de operación del relevador de pérdida de campo 40 G disparando al generador.

- Pérdida de Excitación, relevador 40 G: La función de este relevador es la siguiente:
 - Prevenir al operador de cualquier baja excitación que cause daño a la máquina o inestabilidad (Bloqueo por medio de alarma)
 - Prevenir al operador de la condición en cambio de la pérdida de campo tan rápida como sea posible y pueda corregir esta condición (Alarma o Disparo)
 - Dispara la máquina automáticamente en caso de inestabilidad enorme en el sistema.

Cuando el G.E. está conectado a un sistema suficientemente grande para proveer una falla de excitación del Generador. La máquina operará como un generador de inducción absorbiendo bastante potencia reactiva del sistema y proporcionando esencialmente la misma potencia activa que antes de ocurrir la falla. Antes de la salida (disparo) a su vez oscilará en tanto el rotor intenta mantener el sincronismo.

Este fenómeno de pérdida total o de baja excitación, no es necesariamente de características catastróficas para la máquina en el sistema, sin embargo las oscilaciones sostenidas pondrán en riesgo el sistema eléctrico nacional (occidente) al que se encuentra conectado.

- Protección volts/hertz, relevador 59 G ó T: Esta nos protege de una sobreexcitación con baja frecuencia para evitar un sobrecalentamiento en el núcleo del estator y transformador principal (auxiliares y excitación) debido a una corriente de magnetización muy alta al perderse la relación voltaje-frecuencia. Es decir este relevador detecta un sobre voltaje con baja frecuencia enviando un disparo del G.E.

D) Un tablero indicador de fallas como disparos y un botón para restablecer el RAV: Cuando opera la alarma en cuarto de control “Problema menor RAV” es por que operó cualquiera de estas condiciones, pero solo de alarma, localmente cae una bandera amarilla en la falla respectivamente que el reconocerla cambia a roja y está al restablecerla, la causa de la falla se borra automáticamente.

Listado de fallas de alarma: banderas locales

- Sobrecarga Ventilador Enfriamiento Thiristor
- Fusible quemado Thiristor (uno)
- Sobrevoltaje de Thiristor
- Falla de control ARRANQUE-PARO
- Interruptor Thiristor disparo
- Falla estabilizador de potencia de sistema
- Desbalance Corriente de Thiristor

Al operar la alarma en Cuarto Control. "Problema mayor RAV" sobreviene el disparo del G.E. operado por el relevador (86) al ocurrir cualquiera de estas banderas locales en el gabinete del RAV, el cual se restablece oprimiendo el botón local ubicado en el RAV que se encuentra en la sección N° 1. una vez que la causa de disparo se ha restablecido.

Listado de fallas de Disparo: banderas locales.

- Falla amplificador de pulsos
- Falla compuerta de pulsos
- Falla suministro C.A. CD / CD
- Falla ventilador Thiristor.
- Par de fusibles quemados Thiristor. (Dos)
- Sobrecorriente en Thiristor.
- Falla excitación inicial.
- Alta temperatura aire enfriamiento.



Figura 13. Tablero de Alarmas y Disparos de RAV

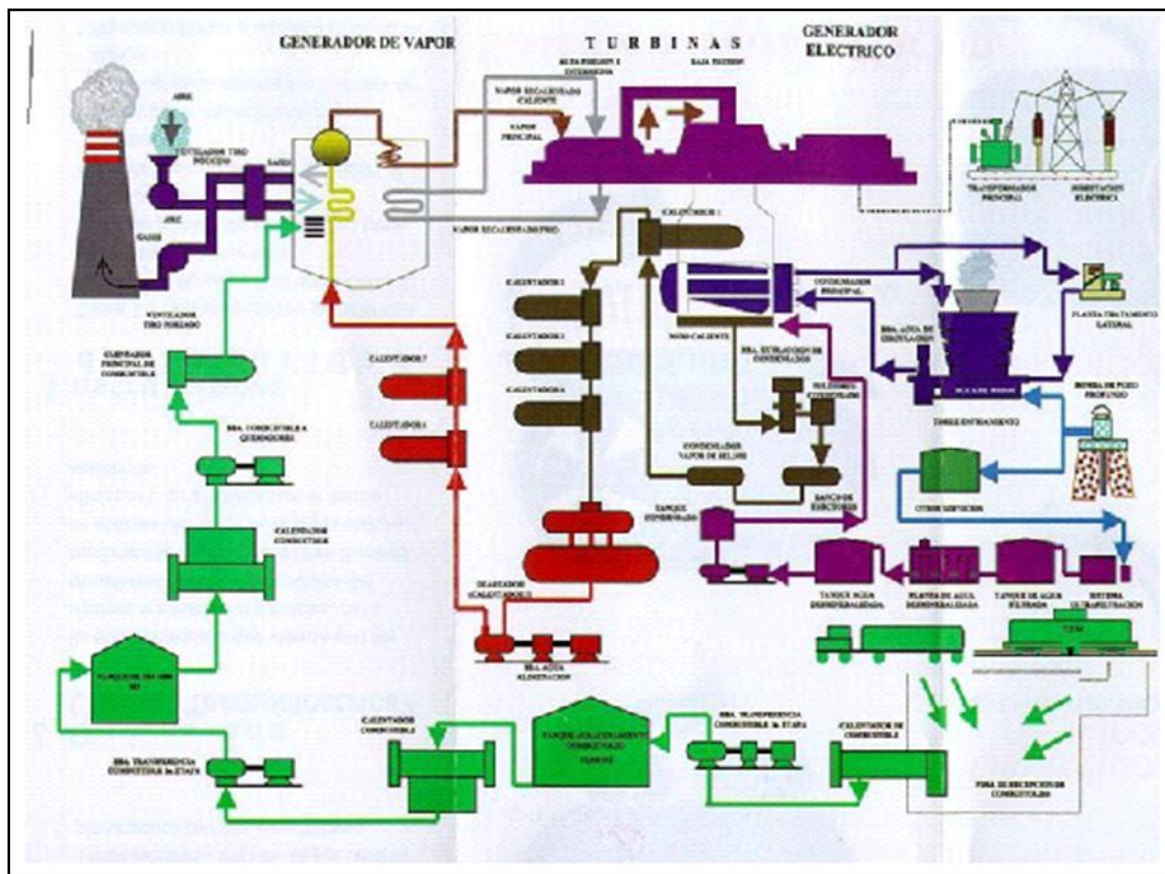


Figura 14. Diagrama de equipos principales de la CT Villa de Reyes

5.11.7. Características Relevantes del Generador Eléctrico.

Fabricante	HITACHI
No. de Serie	164341 – 1 / 164361 – 1
Velocidad	3600 rpm.
No. de Fases	3
Frecuencia	60 Hz.
Voltaje	20 000 Volts. +/- 5%.
Presión de Hidrógeno	310 Kpa.
Potencia Nominal	391 000 KVA.
Factor de Potencia	0.9 atrasado
Corriente	11 287 Amperes en el estator. 3 790 Amperes en el campo.

Volumen del gas

120 m³.

Excitación

Tipo estática.

440 Volts.

3 790 Amperes.

Sistema de Enfriamiento:

- Estator

Agua desmineralizada

- Rotor

Hidrógeno/Ventilación forzada.

6. Desarrollo del Problema

6.1. La Empresa

La Central Termoeléctrica Villa de Reyes, se encuentra ubicada en el Km 19.5 de la carretera Villa de Reyes – San Luís Potosí, que entronca en el Km 176 con la carretera federal Querétaro – San Luís Potosí. Ocupa un área de 82 hectáreas dentro del municipio de Villa de Reyes, perteneciente al estado de San Luís Potosí, a 1.3 Km de la vía del ferrocarril México – Laredo.



Figura 15. Vista general de la C. T. Villa de Reyes

Es una empresa que se dedica a la producción de energía eléctrica, y forma parte del parque de generación de la Comisión Federal de Electricidad, e inicia su operación comercial el 1 de noviembre de 1986. Fue construida para formar parte del Sistema Interconectado Nacional, contribuyendo a él con una generación de energía de 700 MW.

La Central tiene una capacidad instalada total de 700 000 KW en dos unidades de 350 000 KW cada una, utiliza el combustóleo como combustible y cuenta además con el equipo necesario para emplear gas natural. La central consume aproximadamente 4 000 000 litros de

combustóleo diariamente a máxima generación, que son suministrados por PEMEX de las refinerías de Ciudad Madero, Salamanca, Tula, y Cadereyta.

Los generadores de vapor son del tipo intemperie y los turbogeneradores son del tipo interior. Los generadores de vapor son marca Mitsubishi, tipo radiante con recalentador radiante - convectivo, hogar balanceado y circulación forzada.

Los turbogeneradores son marca Hitachi de turbina tandem compound de dos cilindros, doble carcasa, con recalentamiento intermedio, condensación en doble flujo en el escape y el generador eléctrico de corriente alterna con estator enfriado por agua desmineralizada y rotor enfriado por hidrógeno.

6.1.1. Organización

La Central Termoeléctrica Villa de Reyes está conformada por las áreas de: Superintendencias General, de Mantenimiento y Producción, la Administración y las Jefaturas de los Departamentos Mecánico, Eléctrico, Instrumentación y Control, Civil, Programación y Control, Operación, Químico, Análisis y Resultados, Ingeniería Ambiental, Seguridad e Higiene, Capacitación y Relaciones Industriales, de acuerdo con el siguiente diagrama de organización.

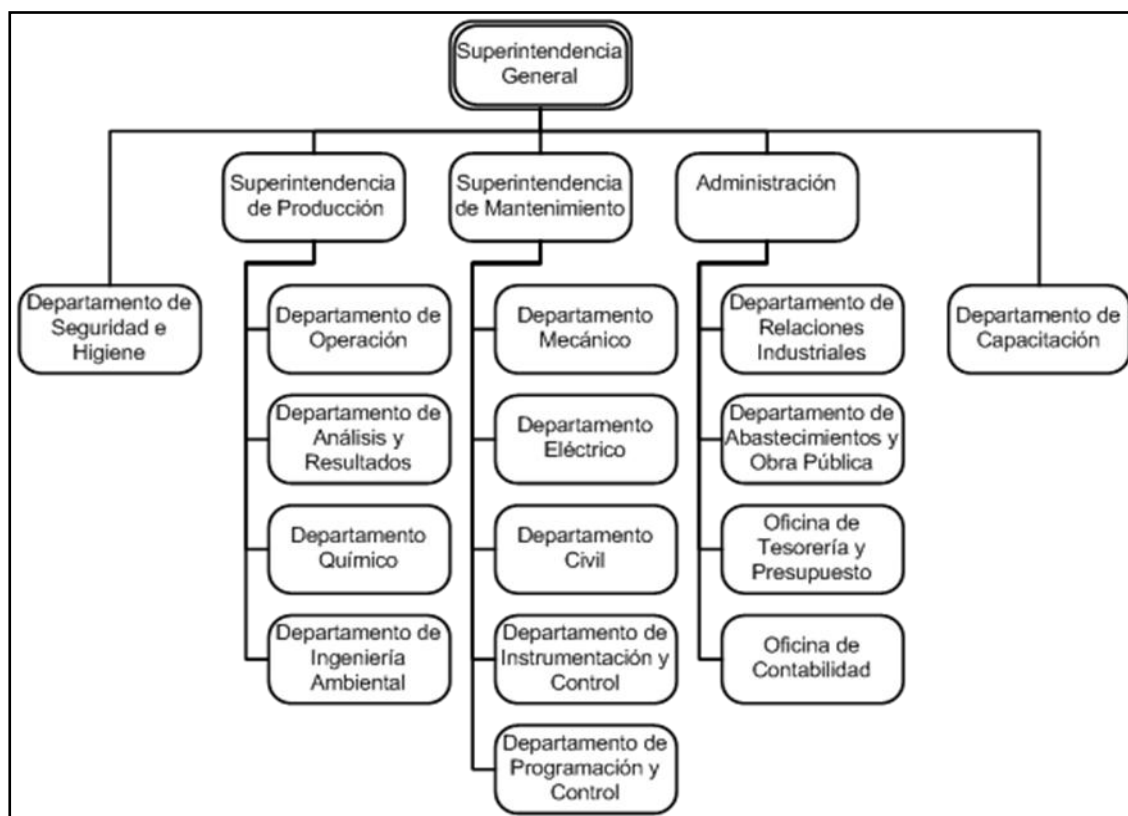


Figura 16. Organigrama de la empresa.

6.1.2. Proceso de Producción

Una central de generación es una instalación completa con el objetivo de producir electricidad, la energía eléctrica se produce como resultado de una serie de transformaciones de energía partiendo de una forma disponible de energía (combustóleo, caída de agua, vapor del subsuelo, aire, etc.). En la Central Termoeléctrica Villa de Reyes la forma disponible de energía es el combustóleo, cuya energía se encuentra almacenada según su composición química y se libera haciendo que se produzca una reacción química durante el proceso de combustión, la cual representa la primera transformación de energía, es decir la energía química del combustible se transforma en calor (energía calorífica) dentro del hogar de un generador de vapor. La energía calorífica se emplea para calentar el agua y producir vapor, transformándose en energía térmica. La energía de vapor se transforma en trabajo mecánico en una turbina de vapor con lo que se obtiene energía mecánica. Finalmente, al estar la turbina acoplada mecánicamente al generador eléctrico, tendremos la última transformación de energía, la producción de energía eléctrica.

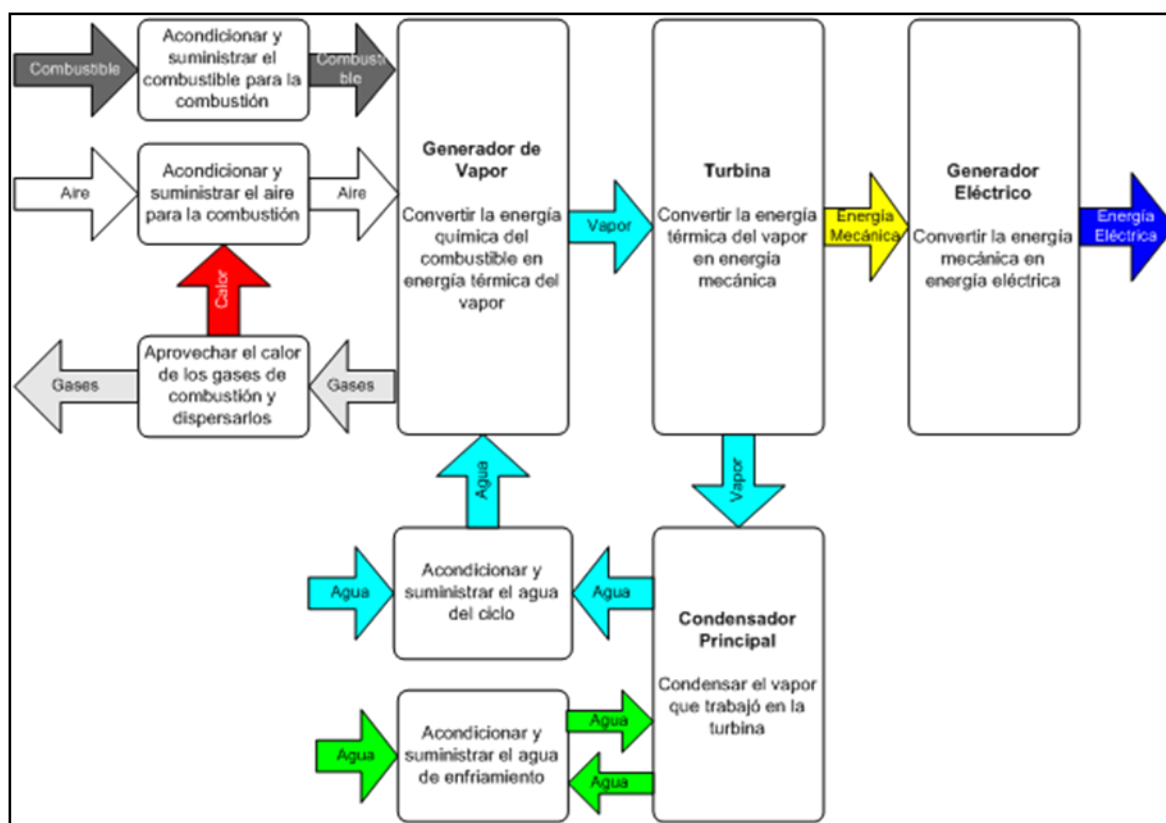


Figura 17. Proceso de Producción de Energía Eléctrica.

6.2. Proceso de Mantenimiento

La Central Termoeléctrica Villa de Reyes es un centro de trabajo integrante de la Dirección de Operación (DDO). La DDO, dependiente de la Dirección General (DG) de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), tiene establecido, documentado y mantiene un Sistema Integral de Gestión (SIG) que incluye aspectos en materia de Calidad, Ambiental y Seguridad y Salud en el Trabajo, basados en los requisitos establecidos en las normas vigentes ISO 9001, ISO 14001, y la NMX-SAST-001.

ISO: Es una organización internacional para la Normalización (del griego iso “igual”) creada en 1946 con el objetivo de promover el desarrollo de normas internacionales de fabricación, comercio y comunicación para todas las ramas industriales a excepción de la eléctrica y electrónica, para desarrollar la cooperación en la esfera de actividades intelectuales, científica, tecnológicas y económicas; su función principal es la de buscar la estandarización de normas de productos y seguridad para las empresas u organismos a nivel internacional.

ISO 9001: Procesos dentro de una organización que van desde el estudio de mercado, planificación, compras, diseño, producción, inspección, ventas y post venta. Incluye también un sistema de detección y corrección de desvíos que permite generar una mejora continua para la empresa.

ISO 14001: La norma ISO 14001, es un instrumento voluntario, de ámbito internacional, que permite gestionar los impactos de una actividad, de un producto o de un servicio en relación con el medio ambiente. Cualquier organismo, sea cual sea su tamaño y su implantación en el mercado mundial.

NMX-SAST-001: La norma tiene el objetivo de establecer los requerimientos para desarrollar y aplicar un sistema de administración de seguridad y salud en el trabajo (SASST) en cualquier organización que desee, entre otros motivos los siguientes:

- Establecer un SASST para prevenir, eliminar o minimizar los riesgos a los que está expuesto el personal y otras partes interesadas.
- Implementar, mantener y mejorar continuamente un SASST.
- Asegurar la conformidad con su política establecida para el SASST.

6.2.1. Objetivo del proceso

Asegurar la disponibilidad, confiabilidad y eficiencia de equipos, sistemas e infraestructura civil de la CT Villa de Reyes, a través de una buena aplicación de las actividades de mantenimiento, para garantizar el suministro de energía eléctrica conforme a los requerimientos del cliente.

6.2.2. Descripción del proceso

6.2.2.1. Proveedores del proceso

Producción: En la CT Villa de Reyes es el proceso de producción, el área que opera los equipos y los entrega al proceso de mantenimiento para su intervención.

Suministro de Bienes, Servicios y Obras: Adquisición de bienes, servicios y contratos necesarios para realizar el mantenimiento (materiales, refacciones, contratos).

6.2.2.2. Proveedores de Recursos

Atención al Cliente Interno: En la sede de la SDG se realizan las gestiones con el cliente, CENACE, para convenir el programa de mantenimiento anual, y mensual se negocia el programa que incluye el mes en firme y el trimestre siguiente.

Producción: En la CT Villa de Reyes el área de producción es quien opera el equipo y emite avisos a través del módulo PM, o de acuerdos a los controles internos que se tengan establecidos, para reportar anomalías operativas y solicitar su corrección al área correspondiente; coordinado con todas las áreas Técnicas involucradas la optimización de los tiempos de indisponibilidad. Dentro de sus funciones está la de tramitar y otorgar las licencias para la intervención en los equipos para su mantenimiento.

Medición, Análisis y Mejora: Área que realiza la integración del seguimiento del comportamiento operativo diario.

Alta Dirección: Área que emite políticas, lineamientos y directrices, para la operación de la empresa; instruye para elaborar procedimientos, autoriza los recursos para la realización de los mantenimientos y vigila el cumplimiento del contrato cliente-organización.

Finanzas: Área encargada de gestionar, asignar y realizar el seguimiento a los recursos económicos disponibles para cumplir con las acciones de mantenimiento de manera integral.

Desarrollo del Capital Humano: Área encargada de gestionar la capacitación, actualización y desarrollo del personal que realiza las labores de mantenimiento.

6.2.2.3. Entradas (insumos)

Equipos y Sistemas con necesidades de mantenimiento: Son los suministros requeridos para desarrollar las actividades de mantenimiento tales como refacciones, materiales, herramientas y servicios.

Bienes y Servicios de Mantenimiento: Son los suministros requeridos para desarrollar las actividades de mantenimiento tales como refacciones, materiales, herramientas y servicios.

6.2.2.4. Recursos (insumos) para el Mantenimiento

Licencia externa: Este tipo de licencia es el resultado de la negociación entre producción y el CENACE (Áreas y subáreas de control), requerida para aplicar el mantenimiento programado y correctivo, a las Unidades generadoras, a equipos y/o sistemas, en operación o fuera de servicio.

Licencias internas: Este tipo de licencia es otorgada y controlada por el área de operación para llevar a cabo cualquier acción de mantenimiento.

Avisos de Avería (módulo PM): Son los avisos de avería en equipos principales y auxiliares, que en el módulo PM se capturan y emiten.

6.2.3. Etapa 1. Identificación y Establecimiento de Necesidades de Mantenimiento

La identificación y alcance de los diferentes tipos de mantenimiento se establece considerando políticas, lineamientos y directrices de la Subdirección de Generación para el mantenimiento, la sintomatología operativa, los manuales de Operación y Mantenimiento, el Historial de cada equipo, donde se tendrán en cuenta los resultados de las pruebas no destructivas y de diagnóstico y las verificaciones de los mantenimientos anteriores con sus programaciones, y las recomendaciones para la adecuación a los programas de mantenimiento por programar, la problemática existente y los proyectos estratégicos. Lo anterior es descrito de la siguiente manera:

Manuales de Operación y Mantenimiento.- Con apoyo de los manuales del equipo, instructivos y recomendaciones de los fabricantes y la experiencia del personal, se planifican las actividades de mantenimiento, de acuerdo a las operaciones de las unidades y equipos y el estado que guardan.

Historial del Equipo: Información de reparaciones y mantenimientos realizados, así como las características, desempeño y el estado de las unidades y sus equipos auxiliares.

Reportes de otros Procesos: Estas entradas pueden provenir de los Procesos de Producción y Atención al Cliente y Partes Interesadas; o sea la sintomatología operativa, que es el monitoreo y seguimiento a las condiciones operativas del equipo principal y auxiliar de las unidades generadoras, de forma permanente y auxiliares con toda la instrumentación y control requeridos para tal fin existente en las unidades y sistemas auxiliares; pudiendo detectarse fallas incipientes, condiciones inusuales y áreas de oportunidad para el mantenimiento; notificadas a cada área de especialidad de la central por medio de avisos de avería y/o mejora, o por medio del relatorio de operación.

Apoyo Técnico Administrativo: Recomendaciones del personal de las Subgerencias y Gerencias Regionales o de la Subdirección de Generación, ya sea por visita de inspección a la central o para atención de alguna problemática específica, o derivadas de reportes emitidos.

6.2.4. Etapa 2. Planeación de Mantenimientos

Una vez identificados y establecidos los requerimientos de mantenimiento, la central define el alcance incluyendo los recursos humanos, materiales y de servicios de terceros, tomando en cuenta el programa tipo de mantenimiento, así como la atención de la problemática relevante identificada en el SIGEP, relacionando las actividades por efectuar e indicando la justificación técnica que motiva su realización. Elabora el “Programa de barras del mantenimiento”, captura y registra los proyectos de paro programado.

Esta planeación se efectúa en dos etapas dentro del año previo a la gestión; la primera cuando se elabora el proyecto de presupuesto del año siguiente y la segunda se negocia a los diferentes niveles de la organización, en las reuniones que para tal fin se realizan de acuerdo al Procedimiento Normativo para la Determinación y Evaluación de Objetivos.

Las fechas de los mantenimientos, se consolidan regionalmente a nivel Subgerencia, y se presentan a la SDG como propuestos para su revisión y autorización; durante la etapa de presupuestación, mismos que se negocian en primer instancia con el CENACE para que ellos elaboren su Predespacho presupuestal; al efectuarse las reuniones de DEVO, se plantean los programas de mantenimiento que se convienen a los diferentes niveles para que la SDG negocie las fechas de los programas de mantenimiento de las unidades generadoras con el cliente CENACE, y obtener el programa anual operativo para su aplicación del siguiente año, integrado el registro a nivel nacional.

Las actividades de mantenimiento de largo y corto periodo y de mantenimiento predictivo se capturan y registran en el módulo PM, integrando los programas de mantenimiento rutinario de la central.

Una vez autorizada la planeación y alcance de los mantenimientos, es compromiso del personal de la central obtener de manera sistemática las órdenes de trabajo.

Para el caso del mantenimiento correctivo, al recibir el área de mantenimiento el aviso de avería correspondiente, inicia su planeación elaborando una orden de trabajo. Para los casos urgentes, se deberá atender directamente la avería y posteriormente registrar en el módulo de PM.

La SDG en coordinación con el CENACE da seguimiento mensual y en base a las necesidades actuales se realizan propuestas de adecuación de las fechas de los programas de mantenimiento, del mes firme y trimestre móvil, lo cual es negociado con el cliente e informado a los centros de trabajo correspondientes.

Para dar mantenimiento a los equipos de medición se cuenta con el subproceso de Control de los Dispositivos de Seguimiento y Medición.

6.2.5. Etapa 3. Ejecución del Mantenimiento

Son las actividades contenidas en los programas de mantenimiento de paro programado de mantenimiento rutinario, así como las no programadas, mantenimiento correctivo, que se realizan para mantener y/o restituir las condiciones operativas de los equipos y la conservación de la infraestructura.

Para la ejecución de las actividades cotidianas de mantenimiento, se considera su prioridad en el siguiente orden:

- Atender las situaciones que pudieran afectar la seguridad de las instalaciones o del personal. De acuerdo a los procedimientos del SIG.
- Atender las fallas o decrementos que causan indisponibilidad; así como las averías potenciales que pueden concluir en una falla.
- Atender los impactos ambientales donde se solicite el apoyo de los departamentos de mantenimiento. De acuerdo a los procedimientos del SIG.
- Atender las actividades de Mantenimiento en sus diferentes modalidades

Con la finalidad de garantizar la seguridad del personal, de las instalaciones y del sistema eléctrico nacional, se cuenta con un Reglamento Institucional denominado “REGLAS DEL DESPACHO Y OPERACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL”, en el cual se definen los lineamientos a seguir por parte del personal involucrado en las actividades de solicitud, autorización, concesión y retiro de licencias; así como el “Reglamento interno de Licencias para la Central. Asimismo, las actividades se realizan considerando la legislación y normatividad relativa a la seguridad y salud del personal, así como del medio ambiente.

En base a los programas de mantenimiento autorizados, se emiten a través de módulo PM las órdenes de trabajo, para realizar las actividades correspondientes registro S/C, “Ordenes de Trabajo”, estas son ejecutadas por las áreas de mantenimiento, quienes administran los recursos humanos y materiales asignados a cada una de estas, apoyados en información tales como manuales, procedimientos, guías, historiales, reportes anteriores, instructivos, planos de calidad.

En las órdenes de trabajo emitidas ya sean para mantenimiento programado o por mantenimiento correctivo, así sean ejecutadas por administración directa (recursos propios) o por contratación de servicios de terceros, se debe realizar la supervisión técnica por la especialidad correspondiente en cada central.

Al concluir las órdenes de trabajo de cada actividad, se deberán verificar las condiciones de los trabajos realizados que cumplan de manera satisfactoria y registrar (notificar) en el módulo de PM/PS, los resultados de los trabajos atendidos y los tiempos empleados.

6.2.6. Etapa 4. Verificación del Mantenimiento

La verificación de la calidad del mantenimiento es realizada por las áreas de mantenimiento y las actividades de pruebas y puesta en servicio son coordinadas con el Proceso de Producción.

Se procede a realizar las pruebas de puesta en servicio, con la finalidad de asegurar que el equipo esté disponible para operar bajo los parámetros establecidos; interactuando las áreas de mantenimiento y de operación, considerando para ello los procedimientos específicos de mantenimiento y procedimientos de operación.

Si los resultados de las pruebas son satisfactorios, los trabajos se deben dar por finalizados y la licencia debe ser retirada, de esta manera la unidad o el equipo queda disponible para su operación.

Para los casos en los que se detecten anomalías en el desarrollo de las pruebas, de la puesta en servicio de la unidad o equipos, será decisión de la Central con apoyo de los especialistas, cuando se requiera; el dejar disponible la unidad, y la atención de la corrección de las anomalías se deberá reprogramar o se debe prorrogar la licencia correspondiente y se debe revisar o aplicar el mantenimiento correspondiente hasta su solución.

6.2.7. Salidas

Equipos y Sistemas confiables

Son los equipos principales y auxiliares así como la infraestructura de los centros de trabajo, a los cuales se les aplicó mantenimiento y sus condiciones operativas son recuperadas bajo criterios de aceptación o diseño.

6.2.8. Salidas secundarias

Resultados de Mantenimiento.

Son todas aquellas evidencias que permiten demostrar y validar que todas las acciones de mantenimiento realizadas, restituyen las condiciones operativas de los equipos, sistemas e instalaciones, mismas que se documentan y registran en el historial del mantenimiento a través de informes, reportes, bitácoras y registros electrónicos.

6.2.9. Clientes

Proceso de Producción

Se le entregan confiables los equipos, sistemas e infraestructura asociada para la producción de energía eléctrica.

6.2.10. Medición del Objetivo del Proceso

La medición del objetivo del Proceso de Mantenimiento se basa en:

- El cumplimiento de la Indisponibilidad por Mantenimiento Programado (IMP)
- El cumplimiento de las Unidades a mantenimiento programado
- La Reducción de la Indisponibilidad por Falla más Decremento (IF+D).

6.2.10.1. Indisponibilidad por Mantenimiento (IMP).

Expresa el por ciento relativo de energía no disponible, debido al tiempo en que una o más unidades permanecen fuera de servicio con licencia para trabajos de mantenimiento programado.

6.2.10.2. Unidades a Mantenimiento Programado.

Expresa el cumplimiento del número de mantenimientos realizados a la Central de acuerdo a los programas de mantenimiento dados de alta y negociados con el Centro Nacional de Control de Energía.

6.2.10.3. Indisponibilidad por Falla más Decremento.

Expresa el por ciento relativo de energía no disponible, debido al tiempo en que una o más unidades permanecen fuera de servicio por falla más decremento de potencia.

6.2.11. Medición de Variables del Proceso

Los incumplimientos a estos indicadores de acuerdo a los criterios de aceptación establecidos se consideran Incumplimiento en la eficiencia de los procesos y deben de documentarse como no conformidad de acuerdo al procedimiento de acciones correctivas.

En la central se cuenta con planes de calidad y/o procedimientos, y documentos específicos que tienen criterios de aceptación de las variables del proceso, así como procedimientos e instructivos que documentan las acciones de corrección de las posibles desviaciones a los criterios establecidos.

Cuadro 4. Medición de Variables del Proceso

MEDICIÓN DEL OBJETIVO	VARIABLES DEL PROCESO
<ul style="list-style-type: none"> Indisponibilidad por Mantenimiento Programado (%) 	Número de Horas indisponibles Por Mantenimiento Programado, en un período de análisis determinado.
<ul style="list-style-type: none"> Unidades a Mantenimiento programado 	Número de unidades realizadas
<ul style="list-style-type: none"> Indisponibilidad por Falla más Decremento. (%) 	Número de horas disponible de falla + decremento en un período de análisis determinado.

Cuadro 5. Criterios de Aceptación de los Objetivos del Proceso

INDICADOR DEL OBJETIVO	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN
<ul style="list-style-type: none"> Indisponibilidad por Mantenimiento Programado (%) 	El cumplimiento de las metas negociadas entre las áreas operativas y la subdirección de Generación. Con un margen de aceptación en el proceso termoelectrico del +1.5pp: del valor negociado.
<ul style="list-style-type: none"> Unidades a Mantenimiento programado 	El cumplimiento de las metas negociadas entre las áreas operativas y la Subdirección de Generación. Con un margen del -10%: del valor negociado
<ul style="list-style-type: none"> Indisponibilidad por Falla más Decremento. (%) 	El cumplimiento de las metas negociadas entre las áreas operativas y la Subdirección de Generación, con un margen de aceptación de +2.0pp para el proceso termoelectrico del valor negociado

Cuadro 6. Criterios de Aceptación de las Variables del Proceso

VARIABLE DEL PROCESO	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DE LAS VARIABLES
<ul style="list-style-type: none"> Número de Horas Indisponibles por Mantenimiento programado, en un período de análisis determinado 	<p>Que las horas del Mantenimiento Preventivo, Menor, Mayor y Rehabilitación, no rebasen las horas equivalentes al +1.5pp de la meta, del valor negociado de la indisponibilidad por mantenimiento programado.</p>
<ul style="list-style-type: none"> Número de unidades realizadas 	<p>Que el número de unidades realizadas no rebase el -10% del valor negociado.</p>
<ul style="list-style-type: none"> Número de Horas Indisponibles de falla + decremento en un período de análisis determinado. 	<p>Que las horas de Indisponibilidad de falla + decremento, no rebasan las horas equivalentes al +2.0pp de meta del proceso termoelectrico.</p> <p>El incumplimiento de este criterio no generará no conformidades, debido a que las fallas de más de 12 h. deben documentar no conformidades.</p> <p>NOTA: Toda falla debe ser analizada de acuerdo a los procedimientos normativos para fallas, de los procesos termoelectricos</p>

6.2.12. Tipos de Mantenimiento en Centrales Termoeléctricas

Tipos de Mantenimiento.

En las centrales generadoras de la Subdirección de Generación, se realizan los siguientes tipos de mantenimiento para Centrales Termoeléctricas:

- Mantenimiento Predictivo
- Mantenimiento Rutinario
- Mantenimiento Anual o Menor
- Mantenimiento Mayor
- Mantenimiento Rehabilitación
- Mantenimiento Semestrales

Mismos que se realizan a través de los procedimientos e instructivos del departamento de mantenimiento de la Central.

En la Central se ejecutan las actividades de mantenimiento por especialidad, existiendo en algunos casos de otras áreas distintas, así como trabajos contratados a prestadores de servicio, situaciones que son coordinadas por la Superintendencia de la Central. De requerirse, se brinda el apoyo por parte de las Subgerencia con sus especialistas, con la finalidad de mantener una interrelación congruente con los objetivos de calidad.

Las especialidades que efectúan las actividades inherentes al proceso de mantenimiento son: Mecánico, Eléctrico, Civil, Instrumentación y Control, y Protecciones; teniendo el apoyo también del área de comunicaciones e informática con el personal de la Gerencia Regional o de la Subdirección de Generación.

6.2.13. Actividades en Centrales Generadoras

En las Centrales Generadoras de la Subdirección de Generación, se realiza el proceso de mantenimiento de acuerdo a lo siguiente:

6.2.14. Identificación y Establecimiento de Necesidades de Mantenimiento

- El personal de mantenimiento realiza el análisis de las variables del proceso: estatismo, flujos, velocidad, tensión, temperaturas, corrientes, presiones, gastos de combustibles y agua, consumos de energía, generación, etc.; con el objeto de poder detectar si existen variables o condiciones operativas anormales, que pongan en riesgo la unidad, los equipos, sistemas de la misma o la infraestructura hidráulica civil, para realizar o proponer acciones de mantenimiento.

Cuadro 7. Tipos de Mantenimiento

TIPO DE MANTENIMIENTO	CONDICIÓN DE UNIDAD O EQUIPO	TIEMPO DE EJECUCIÓN APROXIMADO	ACTIVIDAD PRINCIPAL	LICENCIA
Predictivo	Disponible y Operando	En base a Programas	Recorridos rutinarios de inspección al equipo para monitorear su comportamiento en operación para prever posibles anomalías y prevenir fallas.	Locales y/o CENACE
Rutinario	En servicio	El programado	Actividades programadas Rutinarias o periódicas de revisión del equipo durante el funcionamiento para prevenir decrementos de generación o fallas.	CENACE y/o locales
Anual o Menor	Fuera de servicio	Hasta 30 días	Actividades de revisión, limpieza y cambio de dispositivos o elementos de alto desgaste, para la conservación del equipo y prevenir las fallas.	CENACE y/o locales
Mayor	Fuera de servicio	45 a 60 días	Actividades para recuperar las condiciones operativas de aceptación o diseño y prolongar la vida útil del equipo deteriorado por su operación y prevenir las fallas.	CENACE y/o locales
Rehabilitación	Fuera de servicio	90 a más días	Actividades de rehabilitación, para recuperar las condiciones operativas de aceptación o diseño, mediante la sustitución de componentes de equipos principales que han llegado al término de su vida útil.	CENACE y/o locales
Semestrales	Fuera de servicio	Hasta 15 días	Actividades de limpieza y cambio de dispositivos o elementos de alto desgaste, para la conservación del equipo.	CENACE y/o locales

- El personal técnico de mantenimiento realiza diariamente la inspección y da lectura de las novedades asentadas en el libro relatorio por el personal operativo, para enterarse de las condiciones operativas que presentan las instalaciones y las unidades; esta actividad es parte de las funciones del puesto (perfil del puesto del trabajador), y de presentarse anomalías solicita su libramiento para su intervención y el apoyo de las especialidades que se requieran para su establecimiento.

6.2.15. Planeación del Mantenimiento (Elaboración de las OM's y AI's)

- Elabora y negocia con la Subgerencia Regional de Generación correspondiente, el programa de mantenimiento de las unidades generadoras y de las instalaciones de la central; apoyados con el sustento técnico correspondiente, mismo que se aborda de manera más detallada en la Etapa de Planeación del mantenimiento y en apego a los procedimientos normativos vigentes de los Procesos de Generación Termoeléctrica.
- Elabora y negocia con la Subdirección Regional de Generación correspondiente, el presupuesto de gastos para la central y en particular para el mantenimiento y refaccionamiento.
- Prepara y negocia con la Subdirección Regional de Generación correspondiente, las diferencias variables a nivel de unidad, requeridas para el cumplimiento del mantenimiento y la mínima probabilidad de falla o de decremento, en apego al Procedimiento para la Determinación y Evaluación de Objetivos (DEVO).

6.2.16. Ejecución de Mantenimiento y/o Acciones de Mejora

Atender los avisos de avería pendientes que se tengan registrados en el módulo PM, iniciando con los de prioridad de “atención inmediata”.

Realización y análisis de las pruebas preoperacionales de las unidades o equipos antes de realizar las actividades de mantenimiento.

Es responsabilidad de la Superintendencia de la Central y del personal técnico de la misma, el supervisar y vigilar el desarrollo de las actividades de mantenimiento, con la participación y asesoría coordinada de los Especialistas Regionales cuando sea necesario.

6.2.17. Tipos de Averías

En el sistema R/3 de CFE (Generación), se tienen configurados las siguientes clases de avisos:

AA Aviso de avería.- Se utiliza para reportar fallas de operación de las centrales Generadoras

AC Aviso de actividad.- Se utiliza para reportar una falla que sucedió y que ya fue atendida. La finalidad de este aviso es reportar la información técnica de la falla que se presentó y que por alguna razón no se atendió mediante una orden de trabajo de Mantenimiento en el sistema.

AG Aviso genérico.- Esta clase de aviso se utiliza para reportar averías que no están relacionadas directamente con el proceso de producción de la Central (por ejemplo edificios, campamento, avenidas, iluminación).

AM Aviso de mejora.- Este aviso se utiliza para solicitar alguna mejora a el departamento de mantenimiento.

AP Aviso de predictivo.- Estos avisos se utilizan para reportar alguna anomalía que se detecto durante un mantenimiento predictivo, es decir si durante una inspección de predictivo detectamos que un equipo debe ser intervenido, se deberá levantar un aviso de predictivo para atender el equipo.

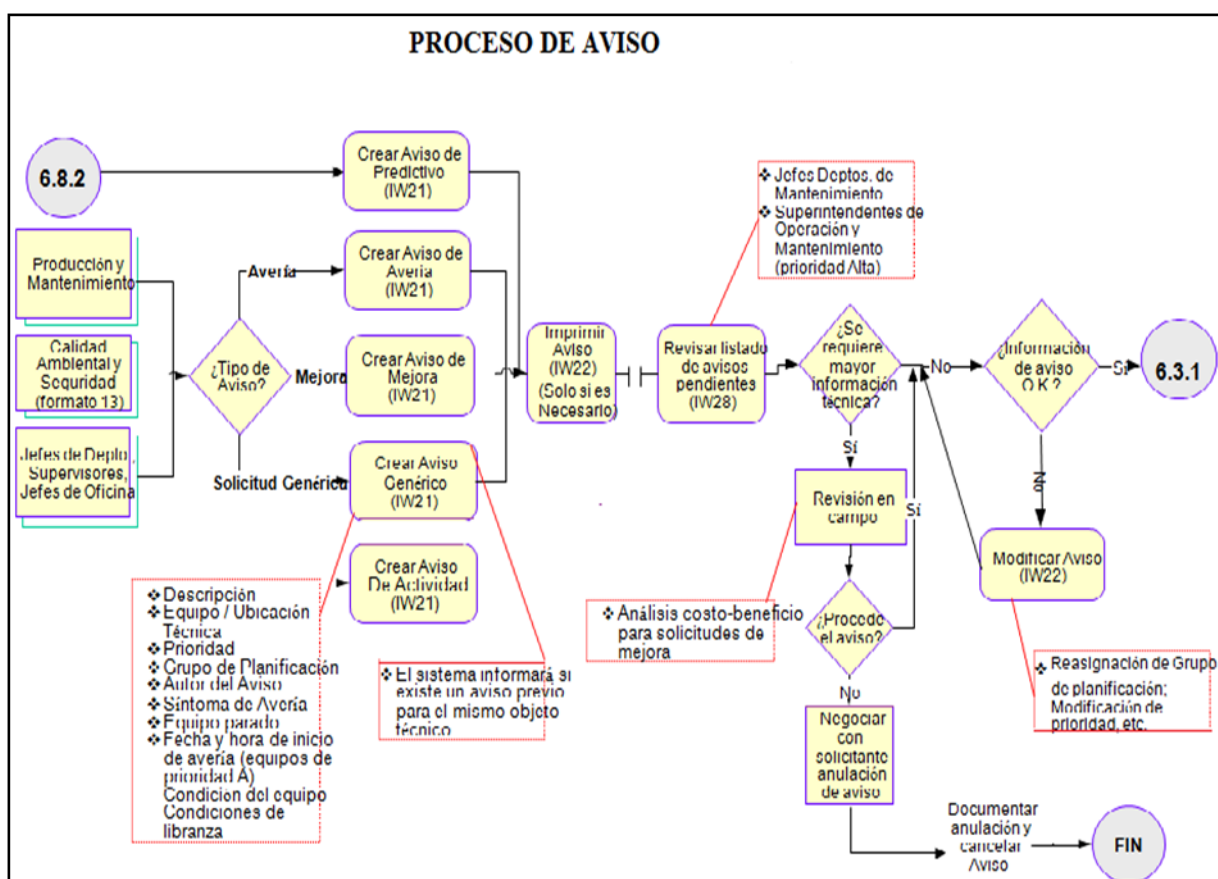


Figura 18. Proceso de Solicitud de Aviso

6.2.18. Ubicación Técnica del equipo:

Es el elemento que representa un área física de la instalación en la que se encuentran los equipos de una central.

Las Ubicaciones Técnicas tienen una estructura jerárquica como se muestra a continuación:

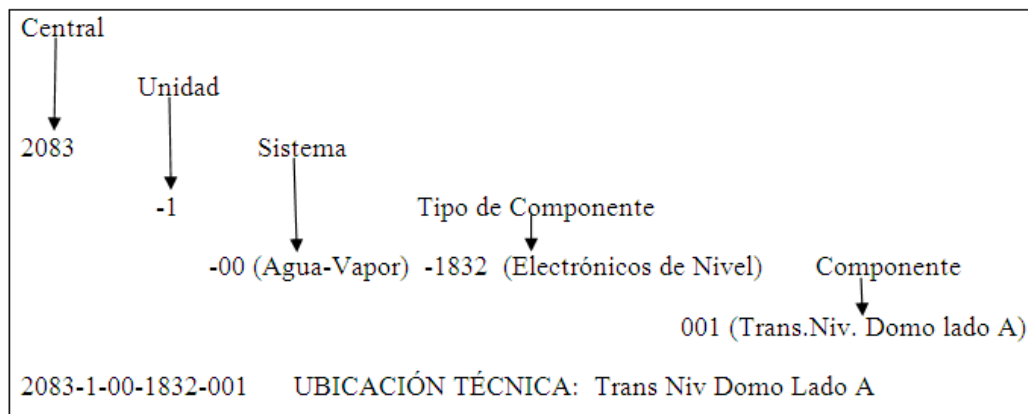


Figura 19. Ubicación Técnica del Equipo

La imagen muestra una captura de pantalla del sistema MySAP R/3. En la parte superior, hay una barra de menú con opciones como 'Lista', 'Tratar', 'Pasar a', 'Detalles', 'Entorno', 'Opciones', 'Sistema' y 'Ayuda'. Debajo de la barra de menú, se muestra el título 'Representación-estruct. UbicaTécnica: Lista de estructura'. En el centro, se muestra la información de la Ubicación Técnica: 'Ubicac. técnica 2083-1-00-1832-001' y 'Denominación TRANSMISOR DE NIV DOMO VAP LADO A'. A la izquierda, se muestra una estructura jerárquica de la Ubicación Técnica, con los niveles: '2083' (C.T. Manzanillo II), '2083-0' (Unidad 0 (Equipo común U1 y U2)), '2083-1' (Unidad 1 350 MW), '2083-1-00' (Agua - Vapor), '2083-1-00-0000' (EQUIPOS PRINCIPALES), '2083-1-00-0900' (TELEVISION), '2083-1-00-1832' (ELECTRONICOSNIVEL (POR PRES DIFERENCIAL)), '2083-1-00-1832-001' (TRANSMISOR DE NIV DOMO VAP LADO A), '2' (TRANSMISOR DE NIV DOMO VAP LADO A A), '2083-1-00-1832-002' (TRANSMISOR DE NIV DOMO VAP LADO A) y '2083-1-00-1832-003' (TRANSMISOR DE NIV DOMO VAP LADO B). Dos recuadros rojos con líneas que apuntan a los elementos '2083-1-00-1832-001' y '2' están etiquetados como 'Ubicación Técnica' y 'Equipo' respectivamente.

Figura 20. Ubicación técnica en el sistema MySAP R/3

6.2.19. Creación de avisos de mantenimiento

A continuación se muestran una serie de impresiones de pantallas del sistema MySAP, Creación de Avisos de Mantenimiento a Plantas, este programa se utiliza para capturar información acerca de cómo solicitar mantenimiento al equipo.

- Ejemplo guiado
- Borrado de avisos de mantenimiento
- Listado de avisos de mantenimiento (funciones)

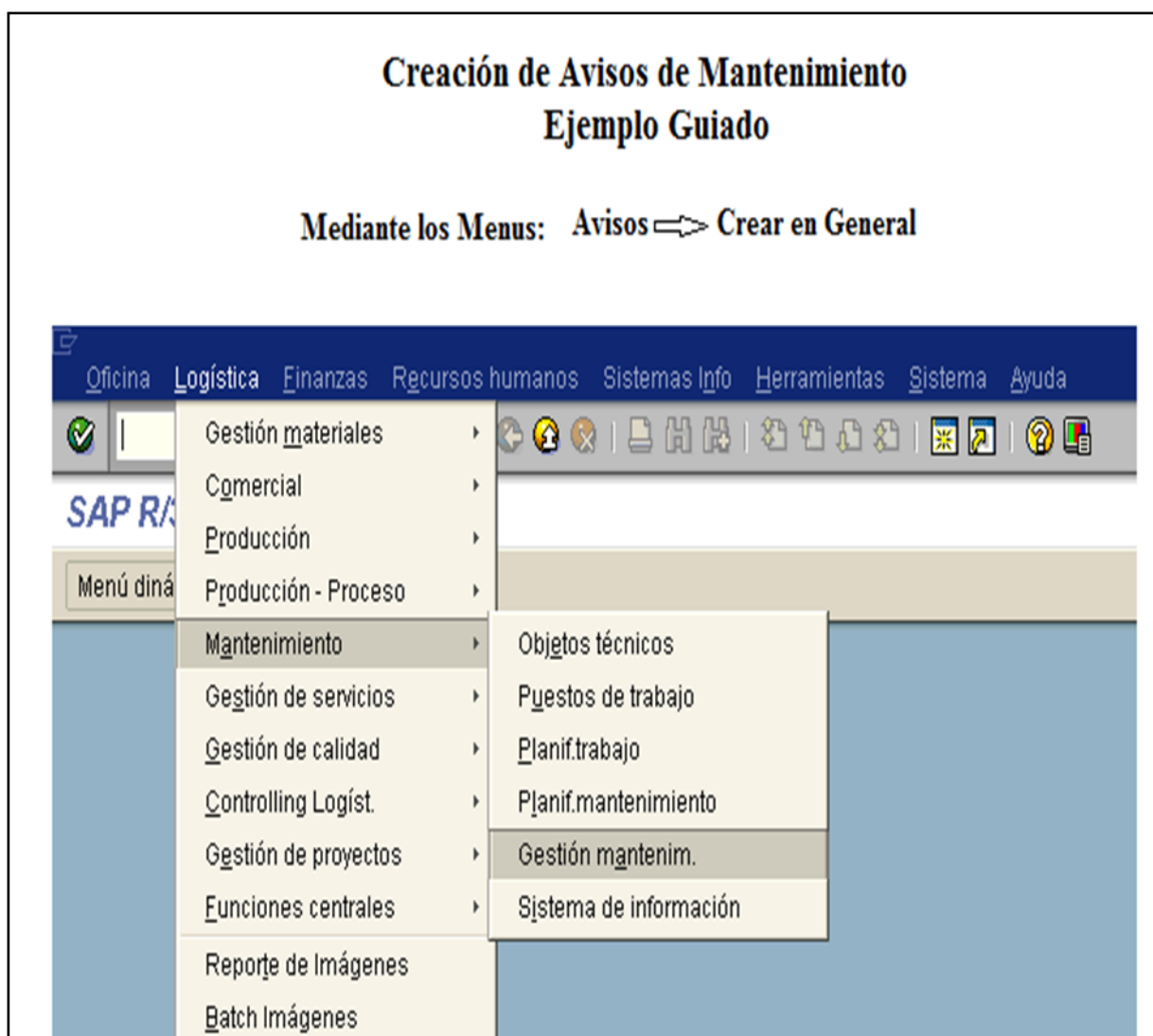


Figura 21. Creación de avisos de mantenimiento paso 1

**Creación de Avisos de Mantenimiento
Ejemplo Guiado**

Una vez en esta pantalla se debe seleccionar el tipo de aviso que se desea levantar en el sistema y dar >enter<, con lo que accederá a la pantalla principal

Crear aviso-MT: Acceso

Aviso Posiciones Medidas Acciones

Visualizar lista de valores personal par

Cl.	Clase de aviso
AA	Aviso de avería
AC	Aviso de actividad
AG	Aviso genérico
AM	Aviso de mejora
AP	Aviso de predictivo

2.- Una vez que se selecciona la clase de Aviso se da <enter>

Clase de aviso

Número de aviso

Modelo

Nº modelo aviso

1.- Se selecciona la clase de Aviso que se desee, y después se da click en el botón <enter>

✓ 🗑️ 🗑️ Tod. ↻ ✖

Figura 22. Creación de avisos de mantenimiento paso 2

Creación de Avisos de Mantenimiento
Ejemplo guiado

Una vez en la pantalla del aviso se deben alimentar los datos de:

- Descripción
 - Corta
 - Larga
- U. T./Equipo (para búsquedas ver la siguiente lámina.
- Puesto de trabajo responsable.
- Inicio de Avenia
- Prioridad
- Indicar si el equipo está parado o no.
- Catálogos de Sintoma de Avenia.

Crear aviso-MT: Aviso de avería

Posiciones Medidas Acciones

Aviso 49936 Clase de aviso AA Orden

Status MLAU

Descripción Valvula no opera adecuadamente

Objeto de referencia

Ubicación técnica 2082 C.T. Manuel Alvarez Mirenn

Equipo

Conjunto

Responsabilidades

Grupo planif. PM TA1 / 2082 Jefe(Dep. I y C.

Pto. tbo. resp. INGTYCTR / 2002 Departamento Instrumentación y Control

Autor del aviso ACANAI F Fecha de aviso 04 09 2002 16:56:33

Fechas extremas

Inicio avería 04.00.2002 16:56:33 Prioridad 1 Inmediata (0 1 día)

Fin de avería 00:00:00 Parada

Posición

Parte objeto

Cód. avería VALVE 0002 ATORAMIENTOS

Texto

Causas avería

Texto causa

Entrada 1 de 0

Figura 23. Creación de avisos de mantenimiento paso 3

Creación de Avisos de Mantenimiento

Ejemplo guiado -búsqueda de equipos

Para buscar un equipo dentro de la estructura de la central:

- 1.- Introduzca el código de la Central en el campo de la Ubicación Técnica.
- 2.- Dar click en el botón de la Lista de Estructura.

The screenshot shows a software window titled "Crear aviso-MT: Aviso de avería". The window has a menu bar with the following items: "Aviso PM", "Tratar", "Pasara", "Detalles", "Entorno", "Sistema", and "Ayuda". Below the menu bar is a toolbar with various icons. The main area of the window contains a form with the following fields and values:

- Aviso:** 49936
- Clase de aviso:** AA
- Status:** MEAB
- Descripción:** Valvula no opera adecuadamente
- Objeto de referencia:** (empty)
- Ubicac. técnica:** 2082
- C.T. Manuel Alvarez Moreno:** (text)
- Equipo:** (empty)
- Conjunto:** (empty)
- Resnnsabilidades:** (empty)

There are also several buttons and icons visible in the interface, including "Orden", "Lista de Estructura", and various navigation icons in the toolbar.

Figura 24. Ejemplo guiado, búsqueda de equipos 1

Creación de Avisos de Mantenimiento
Ejemplo guiado
 Búsqueda de 2 equipos

A continuación el sistema trae la estructura de componentes de la Central.

Una vez seleccionado el equipo, se da click en seleccionar el equipo y el UT es copiado al Aviso

Se puede ir abriendo cada sub-arbol dando click en el simbolo del folder, hasta encontrar el equipo deseado.

Ubic	Denominación	Descripción	UT
2082	C.T. Manuel Alvarez Moreno		
2082-1	Unidad 1 300 MW		
2082-2	Unidad 2 300 MW		
2082-3	Unidad 3 300 MW		
2082-3-00	Agua - Vapor		
2082-3-01	Aire - Cales		
2082-3-02	Quemadores y PULULUS		
2082-3-03	Purgas y Ventcos		
2082-3-03-0000	EQUIPOS PRINCIPALES		
2082-3-03-1050	C-1 Caudal, C-1 Flujo Ind , Rotametro		
2082-3-03-214	CONTROLADOR DE PRESION		
2082-3-03-2152	Ind. Presion, Manómetros Tipo Bourdon.		
2082-3-03-2177	Ind. Pres, Presus alus Tipo Bourdon,		
2082-3-03-2511	Termoparco		
2082-3-03-2530	Utl temp termómetros, Inc. Local temp bime		
2082-3-03-2820	Utl Vibraciones Convertidores, Varios.		
2082-3-03-3070	Int. Psirinn		
2082-3-03-3920	Valvula Asco 3 Vias.		
2082-3-03-3923-001	VALV SOLENO DE VALV NO RET. EXTRACC. 3		
2082-3-03-3923-001	VALV SOLENO DE VALV NO RET. EXTRACC. 3 E		

Figura 25. Ejemplo guiado, búsqueda de equipos 2

Creación de Avisos de Mantenimiento

Ejemplo guiado

El equipo con su ubicación técnica superior fue copiado al aviso de Mantenimiento

Crear aviso-MT: Aviso de avería

Posiciones Medidas Acciones

Aviso: 49936 Clase de aviso: AA Orden: []

Status: MEAB

Descripción: Válvula no opera adecuadamente

Objeto de referencia

Ubicac.técnica	2082-3-03-3920-001	VALV SOLENO DE VALV NO RET. E...
Equipo	23941	VALV SOLENO DE VALV NO RET. EXTRACC. 3
Conjunto		

Responsabilidades

Grupo planif.PM	I01 / 2082	Jefe/Dep/I y C
Pto.tbjo.resp.	INSTYCTR / 2082	Departamento Instrumentación y Control
Autor del aviso	ACANALE	Fecha de aviso: 04.09.2002 16:56:33

Una vez que se alimentaron los datos necesarios del aviso este puede ser grabado

Mediante este botón se puede obtener información relevante del equipo como pueden ser avisos abierto y órdenes que tengan ese equipo.

Figura 26. Creación de avisos de mantenimiento paso 4

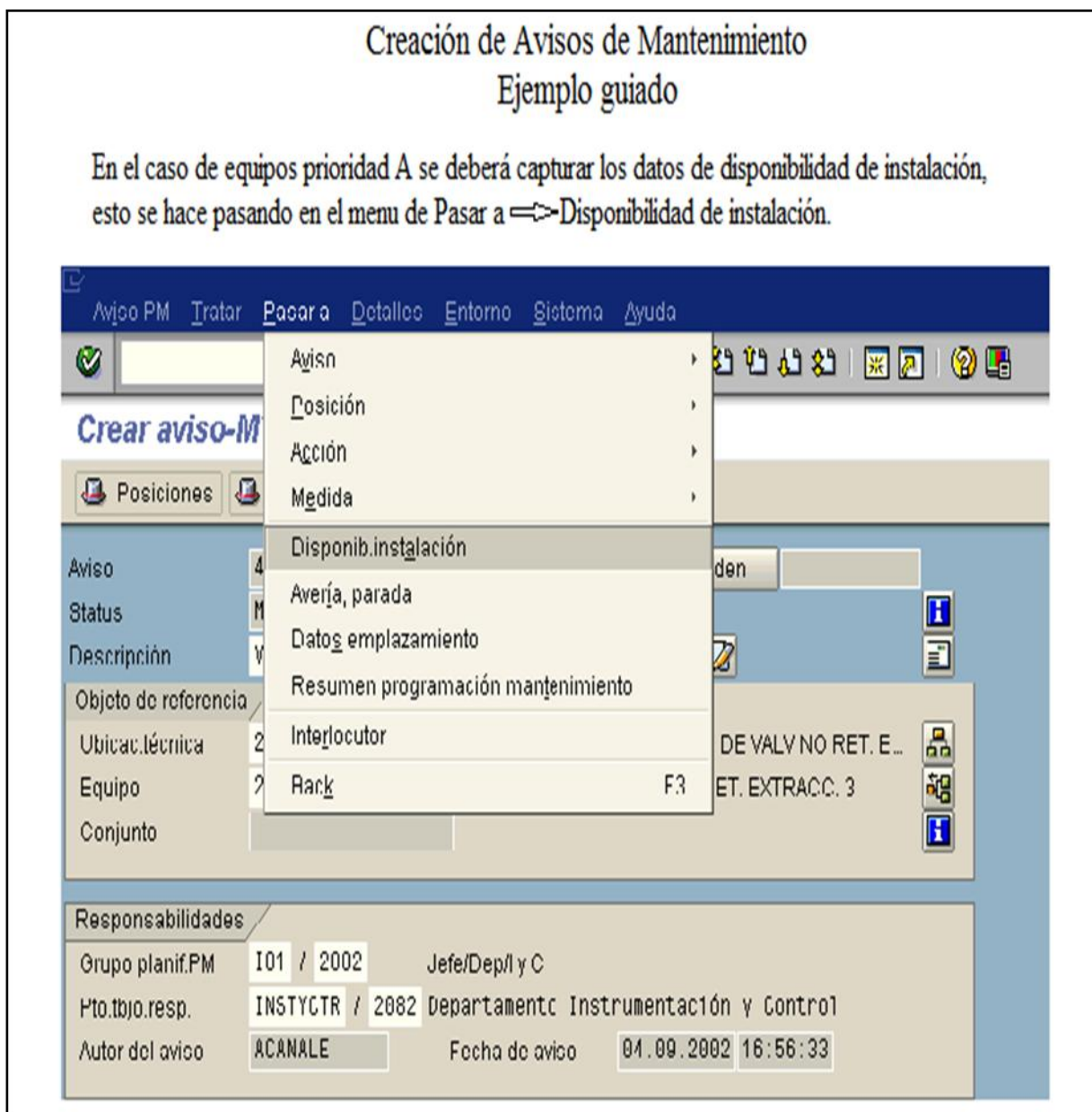


Figura 27. Creación de avisos de mantenimiento paso 5

6.2.20. Tarjetas de equipo con licencia

Se denomina Tarjeta de Equipo con Licencia a una cartulina que se coloca en los mandos de los dispositivos que deben permanecer bloqueados durante el desarrollo de una licencia. El hecho de que una tarjeta esté colocada en un dispositivo, es indicación estricta de que ese equipo NO DEBE OPERARSE, independientemente de que se encuentre abierto, cerrado, vivo o muerto. En ella se anotarán:

- El número de licencia de acuerdo al Libro de Licencias. Este número identificará, en primer lugar, al número de la unidad generadora, utilizando el 0 (cero) para equipos comunes, seguido de un guión, los dos últimos dígitos del año, y el número consecutivo. Por ejemplo, 2-94128 será la licencia número 128 otorgada durante el año de 1994. y corresponderá a un equipo de la unidad número 2.
- El número de la tarjeta, que será un número consecutivo en función del número de tarjetas que se colocarán sobre el equipo en licencia.
- Fecha de concesión de la licencia.
- Hora de concesión de la licencia.
- La persona a quien se concede la licencia.
- Departamento que solicitó la licencia.
- Nombre del equipo bajo licencia.
- Medidas específicas de seguridad.
- Localización de la tarjeta. (Esto es especialmente importante cuando se van a instalar varias tarjetas, debiendo quedar bien definido sobre cuál elemento del equipo librado se colocará cada tarjeta).

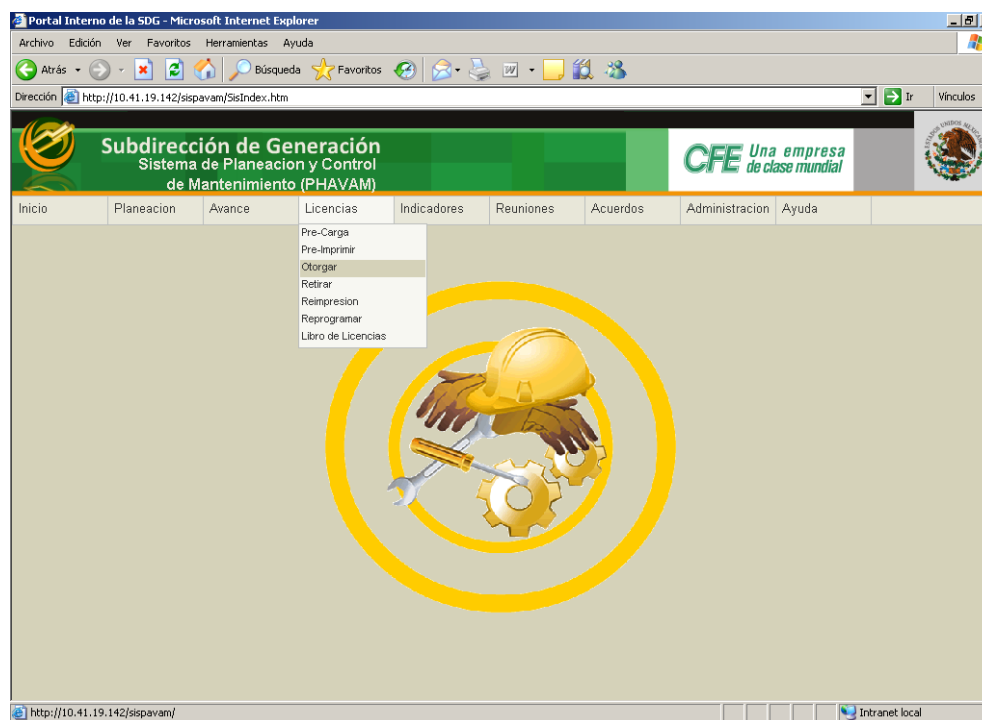


Figura 28. Sistema de Planeación y Control de Mantenimiento

CFE SUBDIRECCION DE GENERACION

LIBRO DE REGISTRO DE LICENCIAS

CENTRAL TERMoeLECTRICA _____ UNIDAD No. _____ HOJA _____ DE _____
AÑO _____

NUMERO DE LICENCIA	EQUIPO O SISTEMA	SOLICITA		AUTORIZA			TRABAJO A REALIZAR	MEDIDAS ESPECIFICAS DE SEGURIDAD	ENTREGA		RETIRA		FECHA	HORA
		DEPTO	NOMBRE Y FIRMA	NOMBRE Y FIRMA	FECHA	HORA			NOMBRE Y FIRMA	NOMBRE Y FIRMA				

OBSERVACIONES: EN LA COLUMNA DE MEDIDAS ESPECIFICAS DE SEGURIDAD, DEBERAN ANOTARSE LOS NUMEROS CORRESPONDIENTES.
 1 = AISLAR MECANICAMENTE (CERRAR VALVULAS O COMPUERTAS) 2 = DESPRESURIZAR 3 = DRENAR 4 = VENTEAR 5 = ASEGURAR VALVULAS O COMPUERTAS CON CADENAS Y CANDADOS 6 = DESCONECTAR CORRIENTE DE CONTROL INTERRUPTOR PRINCIPAL 7 = SACAR INTERRUPTOR(ES) 8 = DESCARGAR 9 = ATERRIZAR 10 = AILAR ELECTRICAMENTE
 11 = COLOCAR CANDADO AL INTERRUPTOR 12 = COLOCAR BRIDAS CIEGAS 13 = VENTILAR 14 = DEJAR ENFRIAR

Figura 29. Libro de registro de licencias

Los colores de las tarjetas serán:

- Tarjeta Amarilla. Se usa para licencias en equipo VIVO.
- Tarjeta Roja. Se usa para licencias en equipo MUERTO.
- Tarjeta Blanca. Se usa para licencias ESPECIALES.

Las tarjetas de licencia tendrán en su parte inferior, además, una franja de un color distintivo por cada Departamento solicitante:

- VERDE: Departamento Mecánico.
- AZUL: Departamento eléctrico.
- MORADO: Departamento de Instrumentación y Control.
- BLANCO: Departamento Civil.
- CAFE: Departamento Químico.

Portal Interno de la SDG - Microsoft Internet Explorer

Archivo Edición Ver Favoritos Herramientas Ayuda

Atrás Búsqueda Favoritos

Dirección http://10.41.19.142/sispavam/SisIndex.htm Ir Vinculos

Subdirección de Generación
Sistema de Planeación y Control
de Mantenimiento (PHAVAM)

CFE Una empresa de clase mundial

Inicio Planeacion Avance Licencias Indicadores Reuniones Acuerdos Administracion Ayuda

Captura de Licencias

Numero de Registro Buscar

Departamento	MECANICO	Unidad	Unidad TG1
No. OT	903944402	Ubicacion Tecnica o Equipo	2116-1-01-5181-002
		Descripcion Ubicacion Tecnica o Equipo	PRESION VENTILADOR AIRE ENFTO. 1CB-B
Modo de Falla			ENSUCIAMIENTO
Trabajo a Realizar			Cambio del filtro de succión del soplador de aire de enfriamiento de los quemadores posteriores.
Medidas de Seguridad			VENTILAR,
Fecha y Hora programada para conclusion de los trabajos			2009-08-10 11:30
Fecha y Hora de otorgamiento de licencia			2009-08-10 09:38
Numero de Tarjetas Requeridas	-	Tipo Licencia	Vivo
Solicita		Autoriza	Mario Francisco Nuñez Cardenas
Codigo de Seguridad		Codigo de Seguridad	

Listo Intranet local

Figura 30. Módulo de captura de licencias

6.2.21. Verificación de los Mantenimientos

El personal de Mantenimiento efectúa la solicitud y devolución de Libranzas al proceso de producción, una vez que de común acuerdo realizaron todas las pruebas preoperativas o de verificación del estado en que quedaron los equipos o instalaciones que se vieron sujetas a mantenimiento.

Es compromiso ineludible que el personal técnico revise y analice la información que se tiene en los sistemas informáticos.

El personal Técnico de Mantenimiento participa durante el arranque, toma de carga, operación normal y variación de las condiciones operativas de las unidades generadoras, de acuerdo a los requerimientos del cliente y de la demanda del sistema, durante la condición operativa de la unidad.

Es responsabilidad de la Superintendencia de cada Central y del personal técnico de la misma, el supervisar y vigilar el desarrollo de las actividades de mantenimiento, con la participación y asesoría coordinada de los Especialistas Regionales cuando sea necesario.



Figura 31. Tarjeta de licencia de equipo

6.3. Sistema de Mantenimiento Predictivo

Se tienen identificados en el SIG los procesos necesarios para proporcionar el suministro del servicio de energía eléctrica, que permiten que la organización funcione de manera eficaz, eficiente y cumpla con la normatividad gubernamental e institucional. Siendo el proceso de mantenimiento el encargado de asegurar la disponibilidad, confiabilidad y eficiencia de los equipos, sistemas e infraestructura de la Central generadora.

De la comparativa realizada entre el Sistema Actual y los procesos fundamentales del Mantenimiento Productivo Total se observa la oportunidad de mejora para la Central:

- Mantenimiento planificado mediante la introducción de un Sistema de Mantenimiento Predictivo.

Dada la importancia del Generador Eléctrico dentro del proceso de generación termoeléctrica, y el impacto que tiene una falla de este equipo en cuanto a costos y tiempo de reparación, se desarrolla una propuesta para implementar las técnicas de Mantenimiento Predictivo aplicadas al Generador Eléctrico de la Central con el enfoque del Mantenimiento Productivo Total para mejorar la disponibilidad y confiabilidad de este equipo.

6.4. Mantenimiento Predictivo al Generador Eléctrico

El objetivo principal del Mantenimiento Predictivo (MDP) es disminuir los costos de producción de energía con un sistema moderno de mantenimiento.

Debido a los altos costos de mantenimiento que se cargan a los costos de generación, es necesario implementar un sistema de mantenimiento diferente a los tradicionales.

Los Programas de mantenimiento predictivo en generadores síncronos basados en inspecciones mecánicas han sido mejorados por la adición de instrumentos y monitores de vibración.

El estudio de los generadores se puede asociar a dos fenómenos que son vibración y el ruido.

Ventajas del Mantenimiento Predictivo:

- Incremento en la seguridad de la central
- Reducción de costos de mantenimiento
- Vida útil de la máquina
- Mayor disponibilidad del generador
- Bajos costos en seguros
- Incremento de la utilidad

6.4.1. Tipos de Mantenimiento:

- Mantenimiento Reactivo (Correctivo) (RM)
- Mantenimiento Preventivo (PM)
- Mantenimiento Predictivo (PDM)

6.4.2. Técnicas de Mantenimiento Predictivo

- Análisis de vibraciones/monitoreo de vibraciones
- Métodos de impulso excitador

- Inspección infrarroja
- Ensayo ultrasónico
- Termografía
- Resistencia térmica (prueba en megómetro)
- Medición de temperatura
- Análisis de rayos x

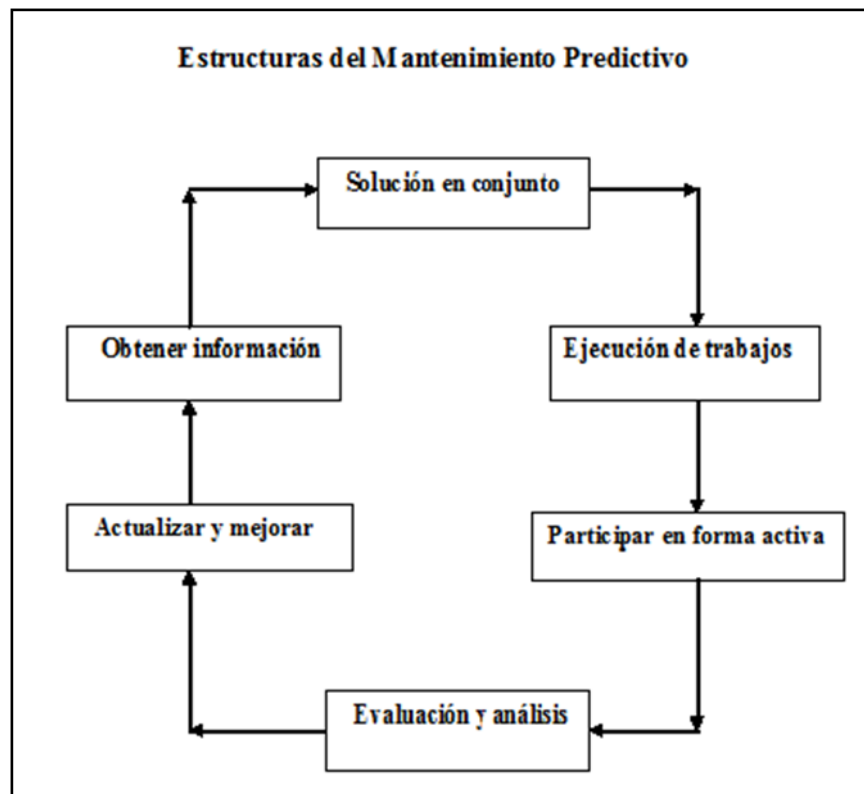


Figura 32. Estructura de Mantenimiento Predictivo

6.4.3. Síntomas Típicos del Mal Funcionamiento

Una vez obtenidos los datos necesarios sobre la(s) amplitud(es) y frecuencia(s) de una máquina determinada, motivo del análisis se efectúa una comparación de las lecturas realizadas contra las frecuencias características de la máquina.

A continuación se describe los parámetros mecánicos más comunes en las máquinas, haciendo uso del análisis en frecuencia:

6.4.3.1. Desbalance

El desbalance es tal vez la causa más común de las vibraciones, la vibración causada por el desbalance es de una frecuencia equivalente a 1 x RPM de la parte desbalanceada, en tanto que la magnitud de la vibración es directamente proporcional a la cantidad de desbalance existente.

6.4.3.2. Desalineamiento

Es un problema tan común como el desbalance. Como el pandeo de un eje produce efectos semejantes a los del desalineamiento angular.

Existen 3 tipos posibles de desalineamiento de los acoplamientos:

- Desalineamiento angular, donde las líneas de centros de ejes se intersectan formando un ángulo.
- Desalineamiento radial, ocurre cuando las líneas de centros de los ejes son paralelos entre sí, pero se hallan descentrados.
- Desalineamiento combinado, cuando se presentan las 2 cosas conjuntamente anteriores descritas.

6.4.3.3. Rodamientos defectuosos

Los rodamientos (cojinetes antifricción) con defectos en las pistas o elementos rodantes (bolas o rodillos) normalmente ocasionan vibraciones de alta frecuencia, cosa que suele producirse a velocidades varias veces superiores a la velocidad rotatoria del eje que soportan. Generalmente estas frecuencias se hallan entre 20 y 60 kHz.

6.4.3.4. Cojinetes en planos defectuosos

Los problemas que se encuentran con los cojinetes planos y que producen niveles de vibración elevados, por lo general están asociados con juegos excesivos en el cojinete, producido por desgaste o por problemas de lubricación.

6.4.3.5. Excentricidad

La excentricidad es otra cosa que comúnmente da origen a la vibración en la maquinaria. En este caso por excentricidad no se entiende una condición de redondez defectuosa sino más bien el estado que se da cuando la línea central (rotacional) de un eje no es idéntico a la línea central (geométrica) del rotor.

6.4.3.6. Cojinetes antifricción defectuosos

Los cojinetes antifricción defectuosos de pista, bola o rodillo normalmente ocasionan una vibración de alta frecuencia, cosa que suele producirse a una velocidad varias veces la velocidad rotatoria.

6.4.3.7. Cojinete de fricción defectuosa

Los problemas que se presentan en los cojinetes de fricción y que producen niveles de vibración o ruidos elevados, por lo general son el resultado del juego excesivo de los cojinetes o problemas de lubricación.

6.4.3.8. Defectos de engranajes

Es fácil identificar la ubicación provocada por los engranajes ya que normalmente ocurre una frecuencia igual al número de dientes del engranaje multiplicado por los RPM del mismo.

El Mantenimiento Predictivo logra:

- Minimizar los repuestos en stock y la mano de obra.
- Advertir fallas en estado incipiente y efectuar correcciones a tiempo.
- Aumentar la confiabilidad de los mantenimientos generales al actuar como certificado de calidad del servicio.

6.4.4. Pruebas de Diagnóstico Integral del Devanado del Estator

En Comisión Federal de Electricidad existen más de 570 generadores eléctricos, con capacidades desde unos pocos MW hasta 675 MW, cuyos devanados de estator están fabricados con diferentes tipos de aislamientos, como son a base de asfalto, resina poliéster ó resina epóxica; y que utilizan diferentes medios y tipos de enfriamiento como son aire en circuito abierto ó circuito cerrado, hidrógeno enfriando indirectamente ó directamente y agua.

Aun con tanta variedad en diseños de los generadores eléctricos, los mecanismos de degradación de los aislamientos del devanado del estator son los mismos; la temperatura a la que operan, los esfuerzos mecánicos de los arranques, paros y corrientes, los esfuerzos eléctricos, principalmente en tensiones a partir de 13.8 kv y el ataque de agentes químicos o ambientales. El impacto de cada mecanismo de degradación difiere dependiendo del diseño del generador eléctrico en cuanto al tipo de sistema de aislamiento utilizado y tipo de enfriamiento, así como de la magnitud, repetición ó duración de los mecanismos de degradación.

Desde hace mucho tiempo se ha tratado de diagnosticar la condición de los aislamientos del devanado del estator buscando pruebas de diagnóstico que sean lo más efectivas posible para indicar el grado de deterioro, su localización específica y el mecanismo que produce la degradación. Tradicionalmente, las pruebas de diagnóstico se han hecho fuera de línea, es decir, con la máquina desenergizada, aprovechando las salidas de las unidades a mantenimiento, con un enfoque de mantenimiento preventivo.

En la actualidad se busca el enfoque predictivo, el cual se basa principalmente en diagnóstico en línea, es decir, con la máquina en operación normal, lo cual tiene la ventaja de analizar la máquina bajo cualquier condición de operación.

6.4.5. Pruebas Fuera de Línea

6.4.5.1. Inspección Visual

La inspección visual es una de las herramientas de diagnóstico más importantes y efectivas si se realiza adecuadamente.

- La condición en la que se puede realizar la inspección visual más extensiva y detallada es con el rotor extraído del generador. Los puntos principales a inspeccionar son los siguientes: Verificar si hay zonas con polvo blanco en cuñas del estator y sobre amarres, separadores y barras en el cabezal, indicativo de actividad de descargas parciales.
- Verificar si la separación entre barras en el cabezal es uniforme. Que no haya signos de aflojamiento o deformación de las barras en el cabezal ni separadores ni amarres flojos.
- Verificar si hay caminos de falla (tracking) entre barras en el cabezal. Se pone atención especial en separadores de barras contiguas que operan con alta diferencia de potencial entre ellas.
- Verificar que no haya grietas ni erosión en el aislamiento. Se pone especial atención en la zona de salida de las barras de las ranuras y en los amarres y separadores.
- Verificar si hay polvo amarillento sobre las cuñas en las ranuras. Esto es indicativo de desgaste del material de las cuñas o aislamiento por aflojamiento de cuñas.
- Verificar si hay signos de sobrecalentamiento en el aislamiento del devanado o en el núcleo magnético y los blindajes magnéticos.
- Verificar el estado general de limpieza. Presencia de polvo o aceite sobre el aislamiento.

- Verificar que no estén obstruidos con suciedad o materiales extraños los ductos de enfriamiento del núcleo del estator o de los devanados cuando son enfriados directamente por hidrógeno.

6.4.5.2. Resistencia de Aislamiento

Las pruebas fuera de línea se realizan preferentemente en aire, con el rotor extraído del generador. La temperatura del devanado debe estar al menos 5 °C sobre el ambiente para evitar condensación de humedad.

La medición de la resistencia de aislamiento no se considera como una prueba de diagnóstico de la degradación del aislamiento, aunque en ciertos casos y condiciones si puede serlo. Más bien, el valor absoluto de la resistencia de aislamiento y el índice de polarización se usan para determinar la condición del aislamiento en cuanto a suciedad y humedad del mismo y decidir si el devanado es apto para operar ó realizarle pruebas con tensiones elevadas. También, es la prueba de rigor para determinar si existe falla a tierra o entre fases en el devanado después de ocurrir un disparo del generador.

La práctica usual es que cuando se vayan a realizar pruebas dieléctricas con tensiones equivalentes a la nominal del devanado ó mayores, se mida previamente su resistencia de aislamiento, incluyendo el índice de polarización, para asegurar que el devanado se encuentra en buenas condiciones de limpieza y seco para prevenir un posible daño al aislamiento por el esfuerzo de la tensión. Así mismo, después de realizar las pruebas dieléctricas, se miden de nuevo la resistencia de aislamiento y el índice de polarización para comprobar que no hubo ningún efecto adverso al aislamiento por las pruebas. La tensión de prueba para la medición de resistencia de aislamiento debe ser siempre la misma; 1000 VCD a 5000 VCD, dependiendo de la tensión nominal de la maquina.

6.4.5.3. Prueba de Tangente Delta y “tip-up”

La prueba de tangente delta de un aislamiento, también denominada factor de disipación y, también, equivalente al factor de potencia, es una medida de las pérdidas dieléctricas del aislamiento.

Su magnitud depende del tipo de aislamiento y de las condiciones del mismo y es independiente de su volumen. La desventaja de esta prueba es que sólo determina la condición promedio del aislamiento, es decir, no detecta el punto de peor condición. Su valor puede verse afectado por la humedad y suciedad en la superficie del aislamiento que permite una circulación de corriente a tierra a través de la superficie del mismo aumentando las pérdidas.

El valor de tangente delta aumenta con las descargas parciales en el aislamiento. Por esta razón, se recomienda efectuar la prueba a dos valores de tensión, uno inicial, suficientemente bajo para prevenir que haya descargas parciales y el otro a la tensión nominal de fase a tierra,

que permita medir las pérdidas ocasionadas por las descargas parciales. Esta forma de medición se conoce como “tip-up” y es una medición indirecta de las descargas parciales.

Desafortunadamente, en devanados con recubrimientos graduadores del campo eléctrico a base de carburo de silicio, a tensión nominal la contribución principal en las pérdidas proviene de la conducción a tierra a través de este recubrimiento, siendo imposible discriminar cuanto de las pérdidas se deben a las descargas parciales y cuanto a la conducción de los recubrimientos graduadores. Por esta razón, con esta prueba no es posible determinar incrementos pequeños de descargas parciales con el tiempo.

Aun cuando muchos fabricantes establecen como aceptables valores de tangente delta y “tip-up” muy elevados, en CFE se recomienda los siguientes:

Tipo de	Tangente delta	“Tip-up”
Aislamiento	$0.2 \text{ En}/\sqrt{3}$	$\text{En}/\sqrt{3} -$ $0.2 \text{ En}/\sqrt{3}$
Poliéster ó Epoxi-mica	$\leq 1\%$	$\leq 1\%$

Es conveniente hacer notar que en el devanado del estator enfriado con agua, si la prueba se realiza con agua dentro de los devanados los valores de $\text{Tan } d$ pueden ser muy altos, dependiendo de la conductividad del agua.

Algunos fabricantes recomiendan obtener el “Tip-up” a una tensión de fase a tierra igual a la tensión nominal entre fases de la máquina. En CFE se considera que no es necesario aplicar una tensión de prueba tan elevada. Es suficiente con aplicar la tensión nominal de fase a tierra. En esta prueba, además de los valores absolutos de tangente delta y “tip-up”, se debe analizar la tendencia de estos valores.

6.4.5.4. Capacitancia

El devanado del estator puede considerarse como un capacitor cuyos electrodos están formados por los conductores del devanado y el núcleo del estator y su dieléctrico por el sistema de aislamiento.

La capacitancia del devanado se reduce con la formación de huecos en el aislamiento y aumenta si este se satura con agua. La medición periódica de la capacitancia puede ser útil para determinar delaminación por sobrecalentamiento o contaminación con agua en el devanado. Para poder detectar cambios significativos en la capacitancia se necesita medirla con equipos de prueba con resolución de tres decimales.

Generalmente los equipos de medición de tangente delta o factor de potencia incluyen la medición de la capacitancia con una buena resolución y se pueden realizar ambas mediciones al mismo tiempo. Sin embargo, la experiencia ha mostrado que esta prueba no es muy sensible para detectar degradación del devanado.

6.4.5.5. Descargas Parciales

Por más cuidadoso que sea el proceso de fabricación del aislamiento de los devanados del estator, es imposible que la resina de impregnación de las cintas aislantes penetre y llene perfectamente todo el volumen del aislamiento por lo que siempre quedará una cantidad de huecos pequeños dentro del mismo.

Cuando el aislamiento eléctrico del devanado es sometido a la tensión de operación del generador, en aquellos huecos donde se alcance a través de ellos un nivel de tensión de aproximadamente 3 kV/mm, se romperá dieléctricamente el aire contenido en ellos y se producirán descargas parciales. Las descargas parciales originadas en el semiciclo positivo de la tensión serán de polaridad negativa y las que se originen en el semiciclo negativo de la tensión serán de polaridad positiva.

La magnitud de las descargas parciales depende del tamaño de los huecos, mientras más grandes sean los huecos, mayor será la magnitud de las descargas parciales. La unidad de magnitud de las descargas parciales en pruebas fuera de línea realizadas en CFE es el picocoulomb, pC. Aun los devanados nuevos nacen con una cantidad de descargas parciales internas del orden de algunos miles de pC, generalmente de 2 a 3, dependiendo del equipo de medición y su calibración, en pruebas fuera de línea.

En condiciones no severas de operación de un generador, es decir, sin aflojamiento de los devanados, sin arranques y paros muy frecuentes, sin cambios bruscos y fuertes de carga y sin temperaturas excesivas, se espera que el aislamiento se vaya degradando gradualmente a lo largo de muchos años, apareciendo más huecos y los existentes haciéndose cada vez mayores.

Sin embargo, ante la ocurrencia frecuente de los factores de degradación antes mencionados, la aparición de huecos y daños en diferentes puntos del sistema de aislamiento se acelera, con lo cual aumenta la cantidad y magnitud de las descargas parciales. Por esta razón, se considera que las descargas parciales son un síntoma y no la causa de la degradación del aislamiento. Sin embargo, una vez que las descargas parciales se presentan en gran cantidad y magnitud, su acción contribuye a acelerar la degradación del aislamiento.

La medición fuera de línea de las descargas parciales tiene como desventaja que no indica el comportamiento de las descargas parciales en las condiciones de operación del generador, especialmente en generadores eléctricos enfriados con hidrógeno, como es el caso de la C. T. Villa de Reyes, en los cuales las descargas parciales se reducen notoriamente por efecto del

hidrógeno a presión, además de que se reducen también por que el devanado solo tiene tensión suficiente para generar las descargas parciales en un 20% del mismo aproximadamente, dependiendo de la tensión nominal.

Adicionalmente, ya que solo se puede probar el devanado de una fase a la vez, aplicándole una tensión al devanado completo contra tierra, no permite detectar problemas entre fases en el cabezal, tal como la formación de caminos de falla (tracking) entre fases.

Tampoco detecta problemas incipientes en el recubrimiento semiconductor en la ranura por aflojamiento de las barras.

La forma de evaluación del aislamiento mediante esta técnica es mediante los valores absolutos de descargas parciales y su incremento con el tiempo. Es decir, se tiene que evaluar la tendencia. Un valor inicial de descargas parciales mayor al esperado no necesariamente significa que el aislamiento vaya a fallar pronto, se debe evaluar la magnitud del incremento con el tiempo.

El criterio general que se ha adoptado en la CT Villa de Reyes para el seguimiento de las descargas parciales fuera de línea es como sigue (dependiendo del equipo de medición utilizado y su calibración)

Periodicidad de la medición	Magnitud de las D.P.'s
Cada 4 años	$\leq 10,000 \text{ pC}$
Cada 2 años	$> 10,000 \text{ pC} - \leq 30,000 \text{ pC}$
Cada año	$> 30,000 \text{ pC} - < 100,000 \text{ pC}$

Si las descargas parciales han alcanzado valores de 30, 000 pC o más, lo recomendable es instalar equipo de monitoreo en línea para realizar una mejor evaluación de la causa de las mismas y un seguimiento más oportuno de la tendencia. Es importante considerar que cuando se realicen mediciones periódicas de descargas parciales, es necesario que siempre se midan con los mismos equipos y calibración para no tener variaciones de valores por utilizar diferentes equipos de medición y calibración de los mismos.

La experiencia actual en la medición de descargas parciales fuera de línea muestra que, en muchos casos, no es fácil determinar el origen de las descargas parciales. La contaminación ó suciedad de los devanados producen descargas parciales que pueden confundirse con otro mecanismo de falla. Esto dificulta tomar la decisión respecto al tipo de trabajo correctivo necesario. Aun con todo, esta prueba ha demostrado ser la más sensible a degradación del aislamiento ó contaminación en el mismo.

6.4.5.6. Prueba de ELCID

Aun cuando se refiere al diagnóstico del devanado del estator, dado que el núcleo del estator está muy ligado al devanado, se incluye el diagnóstico del núcleo magnético del estator mediante la prueba de ELCID. Esta prueba determina cortos circuitos entre laminaciones del núcleo del estator mediante un toroide que produce un flujo magnético del 4 % aproximadamente del nominal.

La prueba de ELCID ha demostrado buena sensibilidad para detectar laminaciones en corto en el núcleo del estator de turbogeneradores. En los generadores hidroeléctricos no responde tan adecuadamente por la construcción en secciones del núcleo magnético. El criterio de aceptación para considerar un núcleo magnético en buenas condiciones es el siguiente:

Corriente máxima: $\leq 100 \text{ mA}$

6.4.5.7. Prueba de Alto Potencial

La prueba de alto potencial no es aceptada por muchos como una prueba de rutina para evaluar la condición del aislamiento del devanado del estator por considerarse una prueba destructiva. Sin embargo, realizada a niveles de tensión menos severos que en fábrica ó en puesta en servicio, si el devanado pasa la prueba, se tiene un buen nivel de confianza en que este no va a fallar en operación cuando ocurra un transitorio de tensión.

La prueba de alto potencial se puede realizar con corriente directa o con corriente alterna. Se recomienda esta última por que somete al aislamiento a un esfuerzo más real respecto a la operación del generador y es más sensible que la corriente directa a defectos serios del aislamiento. El inconveniente con la prueba con C.A. es que se requieren equipos de prueba de alta capacidad, especialmente en máquinas grandes. Por esta razón, generalmente esta prueba se realiza con C.D.

Los valores de tensión de corriente alterna recomendados para esta prueba son los siguientes:

En fabrica $(2E_n + 1) \text{ kV}$ 1 minuto

Puesta en $0.85 (2E_n + 1) \text{ kV}$ 1 minuto

Servicio

Si se quiere probar con corriente directa, se deben multiplicar los valores anteriores por 1.7
Las pruebas de alto potencial al aislamiento de los devanados no es una práctica recomendada en la CT Villa de Reyes como mantenimiento ya que se sobreesfuerza el aislamiento y se le resta vida. No se recomienda aplicar más de la tensión nominal de fase a tierra a un devanado.

6.4.6. Pruebas en Línea

6.4.6.1. Descargas Parciales

La mejor prueba de diagnóstico en línea del devanado del estator del generador eléctrico que existe actualmente es la medición de descargas parciales, la cual se ha constituido en la herramienta más poderosa de diagnóstico del aislamiento del devanado del estator ya que se realiza con el generador eléctrico en operación, bajo los esfuerzos eléctricos, mecánicos y térmicos propios de esa condición.

Las ventajas de esta técnica son: la medición se realiza en minutos en el momento que uno decida y, dependiendo del sistema utilizado, puede interpretarse por una persona que haya recibido un sencillo curso. Además, no requiere calibración de equipos ya que los sensores son fijos.

Por la confiabilidad de los equipos y experiencia con ellos, en la CT Villa de Reyes se está utilizando el sistema de medición desarrollado por Ontario hydro. El equipo analizador proporciona la siguiente información relacionada con las descargas parciales; Magnitud de las descargas parciales positivas y negativas en milivolts (mV), denominada como Q_m , definida como el valor en mV a una tasa de repetición de las descargas parciales de 10 pulsos por segundo.

La cantidad de descargas parciales en pulsos por segundo convertida a un número llamado NQN, que es equivalente al área bajo la curva de cada polaridad en una gráfica de dos dimensiones en la cual en el eje “Y” se encuentra la cantidad de descargas parciales en pulsos por segundo y en el eje “X” la magnitud de las mismas en mV.

A continuación se muestra a manera ilustrativa y un tanto idealizada la apariencia de una gráfica de dos dimensiones típica de medición en línea de descargas parciales de un generador hidroeléctrico, en donde la magnitud de las descargas parciales positivas $Q_m (+)$ y negativas $Q_m (-)$, son aproximadamente de 240 mV y 270 mV, respectivamente. Para cada fase del devanado se obtiene una gráfica similar. En la práctica, las curvas obtenidas de descargas parciales positivas y negativas no son perfectamente rectas.

La cantidad de descargas parciales negativas, NQN (-), en este ejemplo, sería un poco mayor que la de las descargas parciales positivas, NQN (+). Ya que, como puede apreciarse, el área bajo la curva de la polaridad negativa sería mayor que la de la polaridad positiva. También, mediante un software, se puede obtener el patrón de agrupamiento de las descargas parciales respecto a la onda senoidal de tensión de referencia, en una gráfica de tres dimensiones.

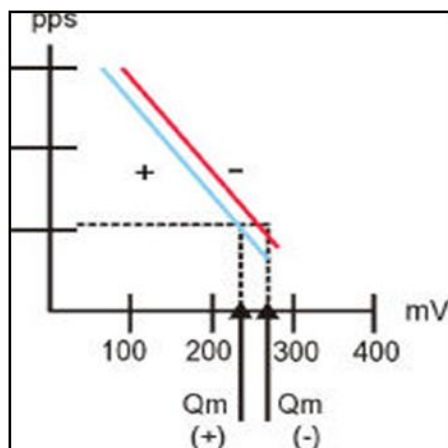


Figura 33. Medición en Línea de Descargas Parciales

En la C. T. Villa de Reyes, se encuentra en desarrollo un proyecto dirigido por el Instituto de Investigaciones Eléctricas para la instalación de sensores para medición en línea de descargas parciales. En este caso, los sensores son tipo antena, los cuales captan las descargas parciales a través de los pulsos electromagnéticos que producen y se instalan directamente en las ranuras, dos por fase, entre las barras del devanado con mayor tensión y las cuñas.

Por el tipo de sensor y principalmente por el efecto del hidrógeno a presión para reducir las descargas parciales, en este tipo de sistema los valores obtenidos en cantidad y magnitud de descargas parciales son mucho menores que en el caso de los generadores hidroeléctricos que son enfriados por aire a presión atmosférica.

En el generador eléctrico la mayor parte del aislamiento del devanado del estator está sujeto a una tensión de fase a tierra, desde los conductores de cada barra del devanado a la superficie de las mismas recubiertas por una cinta o pintura semiconductor que se pone a referencia de tierra al estar en contacto con el núcleo del estator en las ranuras del mismo. Por lo tanto, las descargas parciales originadas en la sección del devanado con recubrimiento semiconductor y graduador dependen de la tensión de fase a tierra de la máquina.

Los sistemas de medición de descargas parciales en línea incluyen una señal de tensión de la máquina de fase a tierra como referencia, tomada de uno de los secundarios de los transformadores de potencial, con la cual, mediante software, se reproducen las ondas de tensión de fase a tierra de las otras dos fases para mostrar los patrones de agrupamiento de las descargas parciales en cada fase del devanado respecto a su tensión correspondiente de fase a tierra.

Las descargas parciales que se originan por la tensión de fase a tierra durante el semiciclo positivo de la tensión, se agrupan alrededor de los 45° eléctricos y son de polaridad negativa.

Mientras que, las descargas parciales originadas en el semiciclo negativo, se agrupan alrededor de los 225° eléctricos y son de polaridad positiva, como se ilustra en la siguiente figura en la que la onda senoidal corresponde a la tensión de fase a tierra de una de las fases del devanado.

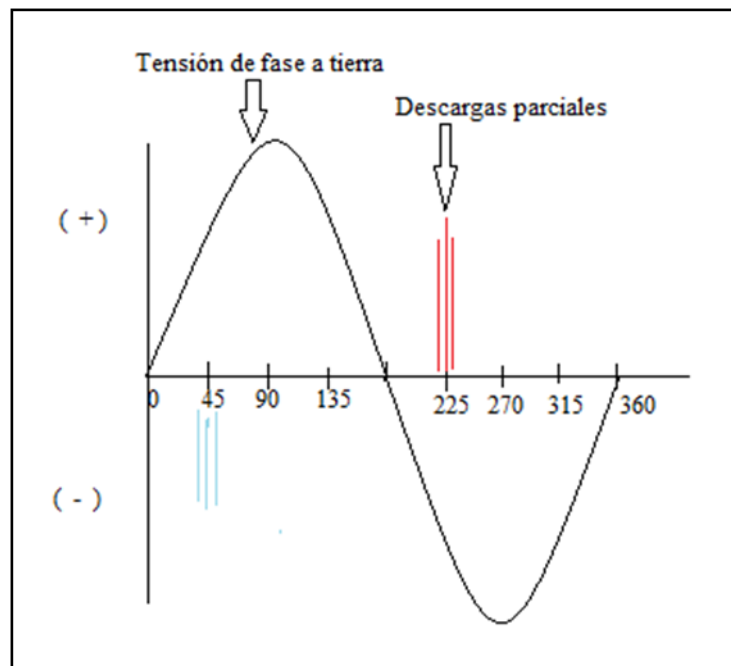


Figura 34. Gráfica Tensión de Fase a Tierra

En un aislamiento en el cual solo existen huecos dentro del volumen del aislamiento principal, condición que se considera normal y que se espera que progrese gradualmente a lo largo de muchos años de operación, la magnitud y cantidad de las descargas parciales de ambas polaridades son muy similares entre sí, con pequeñas diferencias, como se observa en la gráfica de dos dimensiones anterior, en la cual la magnitud de las descargas parciales negativas (270 mV) es mayor en un 12.5% que la de las descargas parciales positivas (240 mV).

Si la magnitud de las descargas parciales de una de las polaridades es mayor en un 50% aproximadamente que la de la otra polaridad, se dice que hay una predominancia de polaridad y esto es indicativo de la existencia de otros mecanismos de degradación en el aislamiento.

Los diferentes mecanismos de degradación del aislamiento se pueden identificar por las características en predominancia de polaridad así como del ángulo en que se agrupan las descargas parciales respecto a la onda de tensión de referencia. También, se ha observado que algunos mecanismos de degradación del aislamiento muestran cambios en la magnitud de las descargas parciales por variaciones en temperatura y carga del devanado.

A continuación se explican los mecanismos de degradaciones más comunes y la forma en que se pueden identificar mediante la predominancia de una polaridad.

No predominancia de polaridades. Si se encuentra que la magnitud y cantidad de las descargas parciales de ambas polaridades son similares, generalmente se debe a la existencia de huecos dentro del volumen del aislamiento principal. Aunque también es posible que esta característica ocurra cuando existan dos mecanismos de falla diferentes que produzcan descargas parciales de polaridades opuestas que resulten en magnitudes y cantidades similares.

Predominancia de polaridad negativa. Cuando las descargas parciales de polaridad negativa predominan, se ha encontrado que se deben a que el aislamiento principal se separa de los conductores del devanado. Esta situación se origina por arranques y paros excesivos en los que, por tener el cobre y el aislamiento principal coeficientes de dilatación por temperatura diferente, con la repetición de este efecto se fatiga la unión en la interfase de conductores y aislamiento hasta romperse formando huecos.

Predominancia de polaridad positiva. Cuando la polaridad que predomina en las descargas parciales es la positiva, se ha encontrado que son debidas a descargas parciales que ocurren de la superficie del aislamiento a tierra. Por ejemplo, al dañarse el recubrimiento semiconductor de las barras en la zona de ranuras y perderse la referencia de tierra, en donde haya separaciones entre el aislamiento y el núcleo del estator ocurrirán descargas parciales cuya característica es que son de polaridad positiva. También ocurrirán descargas parciales positivas en caso de daño en la interfase entre el recubrimiento semiconductor y el graduador a la salida de las barras de las ranuras.

Cuando se presentan problemas de contaminación ó tracking entre barras contiguas del devanado en el cabezal que son de fases diferentes con un alto potencial entre ellas, las descargas parciales en estos puntos son originadas por una tensión entre fases. En este caso, las descargas parciales se agruparán en un ángulo de $\pm 30^\circ$ eléctricos respecto a la tensión de referencia de fase a tierra. Es decir, a 15° ó 75° para las descargas de polaridad negativa y 195° ó 255° para las positivas.

El efecto de las variaciones de carga ó temperatura del devanado sobre las descargas parciales de algunos mecanismos de degradación puede ser a subir ó bajar la magnitud de aquellas. Si al subir la carga ó la temperatura del devanado las descargas parciales se incrementan, se dice que hay un efecto positivo por estos factores. Si el resultado es contrario, es decir, que se reducen las descargas parciales con el aumento de carga ó temperatura en el devanado, se dice que hay un efecto negativo. Para determinar si hay un efecto en las descargas parciales por temperatura, se debe lograr una variación en temperatura en el devanado del estator de al menos 20°C y en el caso de la carga la variación debe ser al menos de 40%.

A continuación se indican los mecanismos de falla más comunes del aislamiento y las características de las descargas parciales que producen.

La tabla posterior nos ayuda a determinar que pruebas hacer, incluyendo variar carga y temperatura, para determinar los mecanismos de falla que estén presentes. El criterio de

evaluación incluye, además de la cantidad y magnitud de las descargas parciales, la tendencia. Inicialmente, se deben tomar lecturas cada seis meses.

Cuadro 8. Tipos de Pruebas para Mecanismos de Falla.

Mecanismo de falla	Polaridad que predomina	Efecto de carga	Efecto de temperatura	Ángulo de fase
Deterioro Térmico	Ninguna	Ninguno	Negativo	45° y 225°
Ciclos de carga	Negativa	Negativo	Negativo	45°
Devanado Flojo	Positiva	Positivo	Negativo	225°
Descargas a la ranura	Positiva	Ninguno	Negativo	225°
Mala Impregnación	Ninguna	Ninguno	Negativo	45° y 225°
Contaminación	Ninguna	Ninguno	No predecible	15°, 75°, 195° y 255°
Espacio inadecuado entre barras	Ninguna	Ninguno	No predecible	15°, 75°, 195° y 255°
Interfase semicon y graduadora	Positiva	Ninguno	Positivo	225°

Si el valor inicial se considera muy elevado o si el segundo valor semestral es mayor que el anterior, se deben tomar lecturas con mayor frecuencia, por ejemplo cada tres meses. De acuerdo con el fabricante del equipo de medición en línea de descargas parciales, si el valor de estas se duplica cada seis meses, el devanado está en un proceso de deterioro muy rápido y deben tomarse provisiones para un cambio de devanado o un mantenimiento correctivo. Otra forma de evaluación es comparando contra generadores similares.

Para que la tendencia de las descargas parciales sea adecuada, se debe tratar de que las condiciones operativas de la máquina sean lo más parecidas posible entre mediciones sucesivas.

Las variaciones permisibles recomendadas para este efecto son como se indica en la siguiente tabla:

Cuadro 9. Variaciones Permisibles Recomendadas

Parámetro	Tolerancia
Tensión del estator	± 200 V
Carga	± 10 %
Potencia activa MW	± 10 %
Potencia reactiva MVAR	± 10 %
Temperatura de devanado	$\pm 5^\circ$ C
Presión de gas	± 30 kPa
Modo de operación: Generador/condensador	Sin cambio

El fabricante de los equipos de monitoreo en línea de descargas parciales cuenta con una base de datos de miles de lecturas, agrupadas por tipo de sensor de descargas parciales y medio de enfriamiento y, dentro de cada grupo por rangos de tensiones nominales de generadores eléctricos.

6.4.7. Criterio de Diagnóstico Realizando Pruebas No Destructivas y Destructivas

Algunos fabricantes de generadores eléctricos han desarrollado la siguiente metodología para evaluar el grado de deterioro de los sistemas de aislamiento de los estatores a máquina parada (off-line), mediante una serie de pruebas no destructivas durante la vida operativa del generador y una serie de pruebas destructivas a una muestra de barras (semibobinas) retiradas de generadores mayores de 20 años o en base a diagnóstico actual, con los siguientes criterios que implican que el sistema de aislamiento está cerca del final de su vida útil.

- Descargas parciales $> 100\,000$ pC a $E_n/\sqrt{3}$ volts
 $\Delta \tan \delta > 6.5$ % ($\tan \delta$ a E_n - $\tan \delta$ a E_o)
- Cambio de capacitancia

$$\frac{\text{cap } 0.6 E_n - \text{cap } 0.2 E_n}{\text{cap } 0.2 E_n} \times 100 < 3.0$$
 %
- Tensión de ruptura del aislamiento (V_r) < 40 % V_r
 100 % V_r = tensión de ruptura en fábrica (en barras de muestra)

También, la decisión de rebobinar un estator puede ser basada en los siguientes criterios; horas acumuladas de servicio, temperatura de operación, número de arranques/paros, así como, la importancia del sitio dentro del Sistema Eléctrico Nacional.

7. Conclusiones

El resultado final que se persigue con la implementación del Mantenimiento Productivo Total es lograr un conjunto de equipos e instalaciones productivas más eficaces, una reducción de las inversiones necesarias en ellos y un aumento de la flexibilidad del sistema productivo, pero para ello es fundamental que antes los directivos tomen conciencia de todo lo que está en juego a tras de un excelente sistema de mantenimiento.

El TPM se orienta a crear un sistema corporativo que maximiza la eficiencia de todo el sistema productivo, estableciendo un sistema que previene las pérdidas en todas las operaciones de la empresa. Esto incluye "cero accidentes, cero defectos y cero fallas" en todo el ciclo de vida del sistema productivo. Se aplica en todos los sectores, incluyendo producción, desarrollo y departamentos administrativos. Se apoya en la participación de todos los integrantes de la empresa, desde la alta dirección hasta los niveles operativos.

En la CT Villa de Reyes de la CFE es necesario implementar un programa de mantenimiento predictivo, eficaz, constante al Generador Eléctrico para incrementar el ciclo de vida útil y reducir costos de mantenimiento. Las pruebas de diagnóstico típicas para determinar la condición del aislamiento del devanado del estator de los generadores eléctricos son: tan delta, capacitancia y descargas parciales. La prueba de descargas parciales fuera de línea ha demostrado tener una mayor sensibilidad a la degradación del aislamiento y a la contaminación del mismo que las de tan delta y capacitancia. Sin embargo, con los resultados obtenidos a la fecha con estas tres pruebas no se han podido correlacionar de una manera concluyente. La de descargas parciales es la que se considera que falta más experiencia en su interpretación, sobre todo cuando se presentan mecanismos de degradación múltiples ó contaminación.

Personalmente obtuve el conocimiento práctico de una estrategia de mantenimiento aplicable a cualquier empresa e incluso en mi vida cotidiana, ya que su objetivo principal es obtener una mejora continua en cualquier momento de la vida.

8. Bibliografía

1. Boldea, Ion. (2006). The electric generators handbook: Synchronous generators. CRC Press. Florida, E.E.U.U.
2. Fernández, Manés y otros, (1998). Técnicas para el mantenimiento y diagnóstico de máquinas eléctricas rotativas. Marcombo. Madrid, España.
3. González, Francisco Javier. (2005). Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado. Fundación CONFEMETAL. Madrid, España.
4. Gotoh, Fumio. (1996). TPM para Departamentos de Ingeniería. Productivity Press. Madrid, España.
5. Klempner, Geoff y Kerszenbaum, Isidore. (2004). Operation and Maintenance of large Turbo-generator. Wiley-Interscience. New Jersey, E.E.U.U.
6. Latino, Robert y Latino, Kenneth. (2002). Root Cause Analysis: Improving Performance for Bottom-Line Results. CRC Press. Florida, E.E.U.U.
7. Mobley, Keith. (1999). Root Cause Failure Analysis. Newnes. Massachusetts, E.E.U.U.
8. Mora, Enrique. (2001). TPM para los Latinoamericanos. M.O.R.A, LCC. Nevada, E.E.U.U.
9. Sacristán, Francisco. (2001). Mantenimiento Total de la Producción (TPM): Proceso de Implantación y Desarrollo. Fundación CONFEMETAL. Madrid, España.
10. Suzuki, Tokutarō. (1996). TPM en Industrias de Proceso. Lightning Source Inc. Tennessee, E.E.U.U.