

PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN BASADO EN TPM PARA
EL PLAN DE MANTENIMIENTO DE LAS UNIDADES DE
GENERACIÓN DEL CAMPO ENTRERRIOS

DIEGO FERNANDO PEDROZA URIBE
JOSEF VARONI BORDA BORDA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2020

PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN BASADO EN TPM PARA
EL PLAN DE MANTENIMIENTO DE LAS UNIDADES DE
GENERACIÓN DEL CAMPO ENTRERRIOS

DIEGO FERNANDO PEDROZA URIBE
JOSEF VARONI BORDA BORDA

Trabajo de grado para optar título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director:

CARLOS ALBEIRO CUCANCHON CARDENAS
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2020

DEDICATORIA

Este, como todos los demás trabajos, retos, metas y logros los dedico primero que todo a Dios, quien siempre está ahí para brindarnos fortaleza, entendimiento y todo lo necesario para alcanzar éste y los demás logros a que el destino nos enfrente.

A mis padres Luz Amanda y José, por su gran enseñanza mediante el ejemplo de constancia, perseverancia y sacrificio.

Att: Josef Varoni Borda Borda

DEDICATORIA

Dedico este logro a Dios, quien siempre me ha acompañado en la vida, brindándome fortaleza, esperanza, seguridad y sabiduría, mostrando el camino y las oportunidades para alcanzar mis más grandes deseos.

A mi familia por el constante apoyo y por el tiempo sacrificado, Martha, Sara y Ana, gracias por ser la motivación que me inspira a establecer metas y a lograrlas.

Att: Diego Fernando Pedroza Uribe

AGRADECIMIENTOS

Los autores manifestamos agradecimientos a:

La empresa MASA-STORK mecánicos asociados, por facilitarnos acceso a la información que permitió desarrollar este interesante trabajo.

Al ingeniero Carlos Cucanchon por su apoyo y compromiso en la dirección de este trabajo.

Al selecto grupo de docentes del programa de Gerencia de Mantenimiento de la UIS por proporcionarnos los conocimientos necesarios para poder plantear y desarrollar esta monografía.

A nuestras familias por su incansable apoyo y motivación.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	18
1.1 MARCO CONTEXTUAL.....	18
1.1.1 Petromil Gas SA ESP.....	18
1.1.2 Petróleos Sud Americanos Energy – PETROSUD. en Latinoamérica.....	18
1.1.3 Bloque Entreríos.....	19
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
1.3 OBJETIVOS.....	22
1.3.1 Objetivo General.....	22
1.3.2 Objetivos Específicos.....	22
1.4 JUTIFICACI�N	23
2. DESCRIPCIÓN SISTEMA DE GENERACIÓN CAMPO ENTRERRIOS	25
2.1 FUENTE ENERGETICA DEL SISTEMA.....	25
2.2 DESCRIPCION DEL SISTEMA ELÉCTRICO CAMPO ENTRERRIOS.....	26
2.3 ESTRUCTURA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO SISTEMA DE GENERACIÓN.....	37
3. MARCO TEORICO	38
3.1 HISTORIA DE LA EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO.....	38
3.1.1 Primera Generación.....	39
3.1.2 Segunda Generación.....	39
3.1.3 Tercera Generación.....	40
3.1.4 Cuarta Generación	41
3.2 CATEGORIAS DE MANTENIMIENTO.....	42
3.2.1 Mantenimiento correctivo	43
3.2.2 Mantenimiento preventivo	45
3.3 FILOSOFIAS DE MANTENIMIENTO.....	47
4. MARCO CONCEPTUAL	49
4.1 SIGNIFICADO DE TPM	49

4.2	DEFINICIÓN DE TPM.....	50
4.3	ORIGEN DEL TPM	51
4.4	EVOLUCIÓN DEL TPM	52
4.5	TPM COMIENZA CON LA LIMPIEZA	53
4.6	LOS OCHO PILARES DEL TPM.....	56
4.6.1	Primer pilar Mejoras Enfocadas.....	57
4.6.2	Segundo pilar Mantenimiento Planeado	58
4.6.3	Tercer pilar Gestión Temprana.....	59
4.6.4	Cuarto pilar Educación y Entrenamiento.	60
4.6.5	Quinto pilar Mantenimiento Autónomo	61
4.6.6	Sexto pilar Mantenimiento de Calidad	62
4.6.7	Séptimo pilar Eficiencia Administrativa.....	63
4.6.8	Octavo pilar HSE	64
4.7	LOS CINCO CEROS DE TPM Y AUMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD.....	65
4.8	MOTIVOS POR LOS CUALES LOS OPERADORES NO ADOPTAN EL TPM.....	67
4.9	EFFECTIVIDAD TOTAL DEL EQUIPO (OEE)	67
4.10	NIVELES DEL TPM	70
4.10.1	Los tres niveles holísticos de TPM.....	70
4.10.2	Los tres niveles de mantenimiento autónomo en TPM.....	71
4.11	LOS CINCO OBJETIVOS DE TPM.....	72
4.12	PROCEDIMIENTO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL TPM	73
5.	TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	76
5.1	REPORTES DE FALLA.....	76
5.2	TABLA DE EVENTOS	77
5.3	MALOS ACTORES	78
5.3.1	Alta temperatura de motor	79
5.3.2	La detonación de motor	82
5.3.3	Falla de comunicaciones	83
5.3.4	Obstrucción por congelamiento de condensados	85

5.3.5	Cable suelto.....	85
5.3.6	Otras fallas.....	86
5.4	HISTORIAL DE FALLA SISTEMA GENERACION.....	86
6.	DESARROLLO DE LA PROPUESTA	88
6.1	ANALISIS DE MALOS ACTORES.	88
6.1.1	Análisis Causa – Efecto, Altas Temperaturas	90
6.1.2	Análisis Causa – Efecto, Detonaciones de Motor.....	91
6.1.3	Análisis Causa – Efecto, Fallas de Comunicación.....	92
6.1.4	Análisis Causa – Efecto, Congelamiento de Condensados.....	92
6.1.5	Análisis Causa – Efecto, Cables Suelos.....	93
6.2	ACCIONES DE MEJORA.	94
6.3	PILARES Y OBJETIVOS DEL TPM DE LA PROPUESTA.....	95
6.4	PROPUESTA DEL PILAR DE MEJORAS ENFOCADAS.	97
6.4.1	Paso 1: Selección de mejora	97
6.4.2	Paso 2: Comprender la situación.....	98
6.4.3	Paso 3: Describir y eliminar anomalías	98
6.4.4	Paso 4: Analizar las causas	98
6.4.5	Paso 5: Plan de Mejora	99
6.4.6	Paso 6: Implementar la mejora.....	99
6.4.7	Paso 7: Verificar resultados.....	99
6.4.8	Paso 8: Consolidar beneficios	99
6.5	PROPUESTA DEL PILAR DE MANTENIMIENTO PLANEADO.	100
6.5.1	Paso 1: Evaluar el equipo y comprender el problema actual.....	100
6.5.2	Paso 2: Revertir el deterioro y corregir debilidades	100
6.5.3	Paso 3: Crear un sistema de gestión de información	101
6.5.4	Paso 4: Crear un sistema de mantenimiento periódico	101
6.5.5	Paso 5: Crear un sistema de mantenimiento predictivo	102
6.5.6	Paso 6: Evaluar el sistema de mantenimiento planeado	102
6.6	PROPUESTA DEL PILAR DE MANTENIMIENTO AUTONOMO.....	102
6.6.1	Paso 1: Realizar limpieza inicial.....	103

6.6.2 Paso 2: Eliminar las fuentes de contaminación	103
6.6.3 Paso 3: Establecer estándares de limpieza, lubricación y retorqueo.....	104
6.6.4 Paso 4: Inspección general del equipo.....	104
6.6.5 Paso 5: Inspecciones generales de proceso	104
6.6.6 Paso 6: Mantenimiento autónomo sistemático	105
6.6.7 Paso 7: Practica plena de la autogestión	105
7. CONCLUSIONES	106
8. RECOMENDACIONES	108
BIBLIOGRAFÍA.....	109

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Categorías de anomalías.....	55
Tabla 2. Procedimiento paso a paso pilar Mejoras Enfocadas	57
Tabla 3. Procedimiento paso a paso pilar Mantenimiento Planeado	58
Tabla 4. Procedimiento paso a paso pilar Gestión Temprana	59
Tabla 5. Procedimiento paso a paso pilar Educación y Entrenamiento	60
Tabla 6. Procedimiento paso a paso pilar Mantenimiento Autónomo	61
Tabla 7. Procedimiento paso a paso pilar Mantenimiento de Calidad	62
Tabla 8. Procedimiento paso a paso pilar Eficiencia Administrativa	63
Tabla 9. Procedimiento paso a paso pilar HSE.....	65
Tabla 10. Seis principales categorías de pérdidas por indicador OEE deficiente. .	68
Tabla 11. Malos actores identificados.....	88
Tabla 12. Principales causas de altas temperaturas.....	90
Tabla 13. Principales causas de detonaciones de motor.....	91
Tabla 14. Principales causas de fallas de comunicación.....	92
Tabla 15. Principales causas de fallas por congelamiento de condensados.	93
Tabla 16. Principales causas de fallas por cables sueltos.....	94
Tabla 17. Tipo de pérdidas de las principales causas de los malos actores.....	94
Tabla 18. Pilares y objetivos a implementar.	96

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Centro de control de motores principal.	28
Figura 2. Derivacion circuito Portico	30
Figura 3. Tablero TS01	31
Figura 4. Tablero TS02	32
Figura 5. Tablero TS03	33
Figura 6. Tablero TS04.	34
Figura 7. Tablero de auxiliares del CCM principal.	35
Figura 8. Organigrama operación y mantenimiento generación.	37
Figura 9. Generaciones del mantenimiento	38
Figura 10. Categorías de Mantenimiento	43
Figura 11. Estructura Categoría Mantenimiento Correctivo	44
Figura 12. Estructura Categoría Mantenimiento Preventivo	46
Figura 13. Evolución del TPM.	53
Figura 14. Los ocho pilares del TPM.	56
Figura 15. Imagen de las seis perdidas por OEE.....	70
Figura 16. Los tres niveles holísticos de TPM.....	71
Figura 17. Los tres niveles de mantenimiento autónomo en TPM.	72
Figura 18. Malos actores.	78
Figura 19. Recorte de plano vista en planta de Aero-enfriadores.....	79
Figura 20. Recorte de plano electrico actual de Aero-enfriadores.	80
Figura 21. Grafico de indisponibilidad en horas.....	87
Figura 22. Diagrama de Ishikawa para servicios industriales.	89

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Primera generación del mantenimiento.....	39
Cuadro 2. Segunda generación del mantenimiento.....	40
Cuadro 3. Tercera generación del mantenimiento.....	41
Cuadro 4. Cuarta generación del mantenimiento.....	42
Cuadro 5. Componentes, TPM – RCM – RBM.	48
Cuadro 6. Significado de TPM.	50
Cuadro 7. TPM inicia con la limpieza.....	54
Cuadro 8. Seis principales perdidas por OEE deficiente.	69
Cuadro 9. Recorte de formato de reporte de falla.....	76
Cuadro 10. Recorte de tabla de eventos.	77
Cuadro 11. Resumen de eventos.	78

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	pág.
Fotografía 1. GTM Gas Transport Module	25
Fotografía 2. Estación reductora de presión PRP	26
Fotografía 3. Panorámica de zona de generadores	26
Fotografía 4. Unidades cabinadas del sistema de generación.....	27
Fotografía 5. Centro de control de motores principal.....	28
Fotografía 6. Transformador media tensión 2500 kVA.	29
Fotografía 7. Portico media tensión.	29
Fotografía 8. Contadores de energía.....	36
Fotografía 9. Aeroenfriadores.	81
Fotografía 10. Rutina de lavado de radiador.....	81
Fotografía 11. Detonación de motor.	82
Fotografía 12. Calibración de válvulas.....	83
Fotografía 13. Topología de red.....	84

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Ficha técnica de las unidades de generación

Anexo B Diagrama unifilar sistema de generación

Anexo C Tabla de eventos

Anexo D Instrucciones de mantenimiento motores gas natural

Anexo E Plan de mantenimiento sistema de generación

Anexo F Plan de mantenimiento propuesto basado en TPM

“Los anexos están adjuntos y puede visualizarlos en base de datos de la biblioteca UIS”

RESUMEN

TÍTULO: PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN BASADO EN TPM PARA EL PLAN DE MANTENIMIENTO DE LAS UNIDADES DE GENERACIÓN DEL CAMPO ENTRERRIOS*

AUTOR: DIEGO FERNANDO PEDROZA URIBE Y JOSEF VARONI BORDA BORDA**

PALABRAS CLAVE: TPM, MEJORA ENFOCADA, MANTENIMIENTO PLANEADO, MANTENIMIENTO AUTONOMO, UNIDADES DE GENERACIÓN.

DESCRIPCIÓN: El campo de producción de petróleo y gas Entrerrios de propiedad de Petróleos Sudamericanos – Petrosud, ubicado en la Cuenca de los Llanos Orientales, en el municipio de Maní del departamento del Casanare, ha designado a la empresa Petromil Gas SA ESP para que realice el suministro de energía, incluyendo el suministro de gas combustible requerido para la operación de las unidades de generación, a su vez Petromil Gas SA ESP, ha encargado a una empresa de servicios industriales la operación y el mantenimiento del sistema de generación del campo Entrerrios.

El sistema de generación compuesto por cinco unidades de 752 KW de potencia cada una, tiene como compromiso la generación y entrega de 2 MW con un valor acordado de take or pay de 1.700 KW. Aunque se espera que con tres unidades en operación se atienda la demanda, las metas de producción no han sido alcanzadas en varias ocasiones por diferentes eventos que se han venido presentando, ocasionando que las unidades de generación entre en falla y en ocasiones se caiga todo el sistema de generación incurriendo en shutdown.

Se aborda los eventos presentados, identificando los malos actores que afectan la operación, se realiza análisis causa efecto, con el fin de identificar las principales causas que facilitan que los malos actores se manifiesten. Identificadas las principales causas se propone la implementación de algunos pilares TPM con los cuales se puede desarrollar las mejoras que la actual estrategia de mantenimiento necesita para que se evidencie mejoras en el sistema de generación y que permita no volver a incurrir en incumplimientos con las metas de generación.

*Monografía de Especialización

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Carlos Albeiro Cucanchon Cárdenas, Ingeniero Eléctrico Especialista en Gerencia de Mantenimiento.

ABSTRACT

TITLE: OPTIMIZATION PROPOSAL BASED ON TPM FOR THE MAINTENANCE PLAN OF THE ENTRERRIOS FIELD GENERATION UNITS *

AUTHOR: DIEGO FERNANDO PEDROZA URIBE Y JOSEF VARONI BORDA BORDA **

KEY WORDS: TPM, FOCUSED IMPROVEMENT, PLANNED MAINTENANCE, AUTONOMOUS MAINTENANCE, GENERATION UNITS

DESCRIPTION: The Entrerrios oil and gas production field owned by Petróleos Sudamericanos - Petrosud, located in the Llanos Orientales, in the municipality of Maní in the department of Casanare, has appointed the company Petromil Gas SA ESP to supply of energy, including the supply of fuel gas required for the operation of the generation units, in turn Petromil Gas SA ESP, has commissioned an industrial services company to operate and maintain the generation system in the Entrerrios field.

The generation system, made up of five units of 752 KW of power each, is committed to the generation and delivery of 2 MW with an agreed take or pay value of 1,700 KW. Although it is expected that with three units in operation the demand will be met, the production goals have not been reached on several occasions due to different events that have been occurring, causing the generation units to fail and sometimes the entire generation system incurring shutdown.

The events presented are addressed, identifying the bad actors that affect the operation, and cause-effect analysis is carried out in order to identify the main causes that facilitate the bad actors to manifest themselves. Once the main causes have been identified, the implementation of some TPM pillars is proposed with which the improvements that the current maintenance strategy needs can be developed so that improvements in the generation system are evidenced and that allows not to incur in breaches again with the goals of generation.

* Specialization Monograph.

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Specialization in Maintenance Management. Director: Carlos Albeiro Cucancho Cárdenas, Electrical Engineer Specialist in Maintenance Management.

INTRODUCCIÓN

El planteamiento de esta monografía va enfocado en brindar un análisis y clasificación de las diferentes problemáticas, presentadas en el sistema de generación de energía, que afectaron en diferentes momentos la disponibilidad del sistema de la facilidad de producción petrolera del campo Entrerrios, ubicado en el municipio de Maní Casanare. Estas problemáticas generaron la afectación en la entrega de energía al cliente debido a la reducción en la disponibilidad de equipos, generando afectaciones económicas en la facturación al cliente que llevó a la reducción en los objetivos económicos de rentabilidad del proyecto.

Los antecedentes presentados en el campo fueron en su mayoría basados en documentos y sucesos como los respectivos contenidos de los reportes de falla, las oportunidades de mejora visibles y otros aspectos técnicos, la clasificación de estos eventos llevó a la identificación de malos actores que llevaron al hallazgo de sugerencias de mejora para asegurar la confiabilidad del sistema de generación.

Por ello el propósito de esta monografía es el documentar el proceso de diagnóstico mediante el análisis de la naturaleza de los eventos que afectaron esencialmente la producción de energía y proponer ciertos lineamientos para la mejora de la operación y el mantenimiento de esta facilidad.

La fundamentación esencial es el análisis de información con el fin de alcanzar propuestas de mejoras enfocadas, las cuales ayudan considerablemente a lograr el objetivo del grupo de operación y mantenimiento de obtener la mayor disponibilidad y confiabilidad de manera que se logren alinear las estrategias para obtener el menor impacto de los equipos a cargo, por fallas con impacto directo en la producción del sistema en general. El lograr este tipo de resultados en esencia redunda finalmente en el cumplimiento de los objetivos financieros planeados de las organizaciones involucradas en la producción de crudo.

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 MARCO CONTEXTUAL

1.1.1 Petromil Gas SA ESP. Petromil Gas SA ESP, es una compañía que inicio actividades como empresa de servicio público desde el 02 de febrero de 2010, llevando a la fecha diez años de experiencia en suministro, compresión, transporte, almacenamiento y comercialización de gas natural comprimido; está reconocida por la comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) y vigilada por la Superintendencia de Servicios Públicos. Esta empresa del Caribe para el cierre del 2016 tuvo ingresos operacionales de \$125.242 millones.

Petromil Gas SA ESP desde mayo del 2018 es la empresa seleccionada en el campo Entrerrios para asegurar el suministro de energía, incluyendo el suministro de gas combustible que requiere las unidades de generación, la operación y el mantenimiento de dichas unidades, adicionalmente es la directa propietaria de las 5 unidades marca Guascor que conforman el sistema de generación. Cabe aclarar que el operador del campo Entrerrios es la compañía Petróleos Sud Americanos Energy “Petrosud” desde el año 2013.

1.1.2 Petróleos Sud Americanos Energy – PETROSUD. Petróleos Sud Americanos Energy - Petrosud, es una compañía del sector de los hidrocarburos domiciliada en Suiza y constituida en el año 1991, con el objetivo de desarrollar actividades de explotación de yacimientos convencionales en campos maduros y/o marginales, mediante la aplicación de tecnologías de recuperación primaria y secundaria en Latinoamérica.

Petrosud tiene más de 25 años de trayectoria, actualmente desarrolla actividades de exploración y producción de petróleo y gas con operaciones en Argentina y Colombia, entre los dos países cuenta con 10 bloques productores, los cuales están conformados por 300 pozos productores, con acumulan una producción de 7.610 bopd (barriles de crudo por día) para la compañía.

De los 10 bloques en los que Petrosud desarrolla su operación, 7 se encuentran ubicados en Argentina y 3 en Colombia, siendo estos últimos el bloque El difícil ubicado en el departamento del Magdalena y los bloques Guarimena y Entrerriós en el departamento del Casanare.

1.1.3 Bloque Entrerriós. El bloque Entrerrios, se encuentra ubicado en la Cuenca de los Llanos Orientales, en el municipio de Maní, departamento del Casanare, y lo constituye un área de seis mil treinta y ocho (6.038) hectáreas, dentro del área del bloque se encuentra el campo Entrerriós, el cual fue descubierto por Ecopetrol en 1984. En mayo de 2004, la Unión Temporal Andina (UTA) inicio la explotación del pozo Entrerriós-1, a partir de diciembre de 2004 la Unión Temporal Andina (UTA) inicio el desarrollo del campo con la perforación de los pozos Entrerriós-2, Entrerriós-3 y Entrerriós-5.

Desde el año 2013, Petróleos Sud Americanos asumió la operación del bloque, luego de adquirirlo en la ronda de desinversión de campos menores que llevo a cabo la estatal petrolera Ecopetrol a finales del año 2012. En el proceso que inicio en junio del 2012, participaron 12 compañías que cumplieron con los requisitos para participar en la subasta publica que se llevo a cabo el 1 de noviembre de 2012, siendo la mejor oferta la de PetroSud por un valor de US\$ 90,35 millones por el campo El difícil ubicado en el departamento del Magdalena, y por los campos Guarimena y Entrerriós ubicados en el departamento del Casanare.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Petromil Gas SA ESP, como empresa responsable del suministro de energía del campo Entrerrios, ha implementado una estrategia de operación y mantenimiento para las 5 unidades marca Guascor que conforman el sistema de generación, los activos que conforman este sistema de generación son propiedad de Petromil Gas SA ESP.

El sistema de generación de energía de Entrerrios se compone de 5 generadores Guascor con potencia según placa de 752 kW cada una, en el anexo A se presenta la ficha técnica de las unidades. EL compromiso de entrega de energía para el campo es de 2 MW. Siendo 1.700 KW el valor acordado de take or pay.

Desde hace unos meses se ha venido presentando un constante incremento en la indisponibilidad de las unidades de generación, el cual para el mes de septiembre de 2019 ha llegado a tener hasta dos de las cinco unidades fuera de servicio, lo cual, sumado a la elevada energía reactiva del campo, se han generado periodos en los cuales la entrega de energía tan solo ha llegado a los 1400 KW, el cual se encuentra por debajo del valor take or pay. El incumplimiento en entrega de energía ha ocasionado que se lleguen a generar afectaciones económicas en términos de facturación hasta del 20%, una considerable disminución en la producción de barriles del campo, afectaciones técnicas en equipos propios y del cliente por shut down inesperados.

En evaluaciones preliminarmente se ha determinado como causantes de algunas de las fallas diversos motivos entre ellos, por ejemplo:

- Aplazamiento de rutinas de mantenimiento preventivas, las cuales son esenciales para la correcta conservación y operación de los activos, estos aplazamientos han ocasionado que en algunos equipos se llegue al

extremo de caer en modos de falla que se hubiesen podido evitar si las rutinas de mantenimiento preventivo se hubiesen realizado. El principal motivo del aplazamiento de las rutinas de mantenimiento se ha debido a que operaciones no saca las unidades de operación para que el grupo de mantenimiento realice sus intervenciones.

- Pérdida gradual de capacidad de generación, debido al aplazamiento de rutinas de mantenimiento preventivo como calibración de válvulas y sistema de carburación, lo cual reduce la eficiencia de las unidades.

El impacto generado por la no ejecución de las rutinas de mantenimiento en las unidades de generación del campo es bastante significativo, tanto para la empresa que debe garantizar la disponibilidad de las unidades, la cual se ve afectada por las afectaciones que se aplican a su facturación, como para el operador del campo Entrerrios quien se ve afectado operativamente por los cortes no programados y por los daños que pueden sufrir sus activos. Por lo cual es de gran importancia realizar una evaluación del actual estado de las unidades del sistema de generación y de las rutinas de mantenimiento requeridas en dichas unidades, con el fin de determinar una estrategia que permita optimizar el actual plan de mantenimiento y garantice la ejecución de las rutinas por medio de un plan de ejecución conjunta O&M, con el propósito que las unidades de generación reciban el mantenimiento requerido, lo cual se verá reflejado en un incremento en el cumplimiento de las ventanas operativas de las unidades del sistema de generación.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Desarrollar una propuesta de optimización basado en TPM para el plan de mantenimiento de las unidades que conforman el sistema de generación del campo Entrerríos, implementando aquellos pilares que contribuyan a la reducción de los tiempos de intervención, a incrementar la disponibilidad de las unidades, a enriquecer el plan existente basados en el aprovechamiento de los recursos actuales y planteando algunas inversiones de mejora operativa.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Establecer un plan de optimización de la gestión del mantenimiento basado en los pilares aplicables de la filosofía TPM.
- Optimizar los tiempos de intervención que requiere el actual plan de mantenimiento, con el fin de reducir el tiempo que las unidades estarían fuera de servicio.
- Definir un cronograma de mantenimiento estándar basado en el contexto operacional de los equipos que componen el sistema de generación.
- Plantear mejoras técnicas al sistema de generación que permitan incrementar el desempeño del sistema contribuyendo al cumplimiento de la meta mínima de generación del campo.

1.4 JUTIFICACIÓN

Los campos petroleros medianos y pequeños como Entrerrios poseen consumos energéticos elevados para las elementales infraestructuras existentes y en su mayoría por su disposición geográfica suelen estar muy distantes de las redes de energía convencionales lo que les hace inviable técnicamente su interconexión a ellas.

Por ello normalmente estas facilidades de producción petrolera se suplen de sistemas de autogeneración de energía la cual es producida a partir de combustibles fósiles. En el caso del campo Entrerrios el insumo energético es Gas natural proveniente del pozo Ramiriquí - Casanare.

La generación de energía eléctrica a partir de gas natural, empleando moto generadores con motores de combustión interna, es el esquema actual del campo Entrerrios. El inconveniente de este tipo de sistemas de producción de energía es que se debe tener especial cuidado en llevar a cabo las estrategias de mantenimiento correctas tendientes a garantizar la confiabilidad y disponibilidad del conjunto de equipos que el campo requiere.

Para empresas cuyo fin es prestar un servicio esencial, el factor disponibilidad se convierte en uno de los indicadores más importantes a salvaguardar para conservación de su buena imagen ante el cliente. Sin embargo, cuando las condiciones operativas y la demanda energética del campo obstaculizan el cierre de las ventanas operativas para que las unidades puedan entrar en mantenimiento, los equipos entran en periodos de trabajo en donde se acelera el desgaste de sus componentes incrementando la probabilidad de fallos y reduciendo significativamente el factor de disponibilidad.

Por ello la finalidad del proyecto que se presenta, es elaborar una propuesta que optimice el actual plan de mantenimiento de las unidades del sistema de generación del campo Entrerrios, con aras de incrementar la estabilidad del sistema, la disponibilidad y la confiabilidad, estandarizando los diferentes procesos asociados al plan de mantenimiento, tendientes a disminuir los tiempos de intervención, adicionalmente se busca proponer estrategias de ejecución conjunta O&M que permitan distribuir las cargas de la estrategia de mantenimiento entre las áreas de operación y mantenimiento, esta estrategia se deberá implementar evaluando las competencias de los operadores, estableciendo programas de capacitación y limitándose a aquellas tareas que se puedan asignar a los operadores, al tiempo que buscará generar alianzas que permitan comprender la importancia de las rutinas de mantenimiento para que las salidas de los equipos no impacten significativamente la operación, lo anterior deberá fundamentarse en las bases de la filosofía TPM (Mantenimiento Productivo Total) con el fin de eliminar las pérdidas generadas por paros, calidad y costos en el proceso de generación.

2. DESCRIPCIÓN SISTEMA DE GENERACIÓN CAMPO ENTRERRIOS

2.1 FUENTE ENERGETICA DEL SISTEMA

La fuente de alimentación de energía del campo Entrerrios es Gas natural el cual es transportado en tracto-camiones, los cuales son remolcan por los GTM desde el campo Ramiriquí ubicado en cercanías al municipio de Aguazul Casanare a una distancia aproximada de 75 km del campo Entrerrios.

Fotografía 1. GTM Gas Transport Module



Fuente: Elaboración propia.

El consumo de Gas natural en promedio es de 486 m³/h siendo la relación de consumo 0,28 m³ por cada kwh generado. El gas recibido es conectado a una estación reductora de presión PRP y posteriormente distribuido hacia los generadores.

Fotografía 2. Estación reductora de presión PRP



Fuente: Elaboración propia.

2.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO CAMPO ENTRERRIOS.

Basados en el diagrama unifilar general Revisión 3 Anexo B codificado como SP-ER-EI-DW-01, a continuación, se da una descripción de cómo está dada la distribución eléctrica del sistema.

Fotografía 3. Panorámica de zona de generadores



Fuente: Elaboración propia.

El sistema eléctrico actual en Campo ENTRERRIOS está alimentado por un conjunto de generadores, compuesto por 5 unidades GNC de 750 kW, 480 VAC cada uno. Adicional a estos generadores GNC se el sistema cuenta con un generador diésel de 15 kW el cual cumple la función de black start (arranque de 0 voltios).

Estos generadores (G1, G2, G3, G4, G5 y GD) van conectados a un barraje de 6000 amperios 480 VAC a través de tres circuitos una con transformador elevador, de 2500 Kva, y dos salidas de 600 kVA. La configuración de entrega de energía original normal es 4+1 siendo 4 generadores acoplados en sincronía en operación y 1 en standby (apagado) ver la figura 1 recorte del diagrama unifilar del sistema de generación Anexo B.

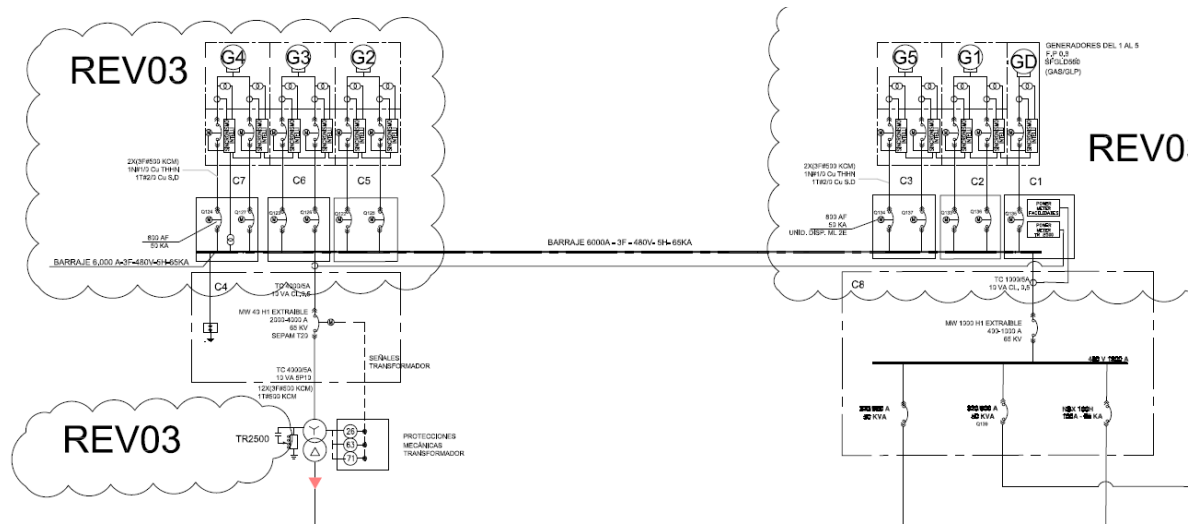
Fotografía 4. Unidades cabinadas del sistema de generación.



Fuente: Elaboración propia.

Cada generador está en la capacidad de sincronizarse al barraje bajo las siguientes condiciones: Línea viva –barra viva con sincronización y línea viva – barra muerta en cuyo caso la generación arrancara tomando como referencia el voltaje del bus.

Figura 1. Centro de control de motores principal.



Fuente: SP-ER-EI-DW-01. DIAGRAMA UNIFILAR GENERAL LOCALIZACIÓN ENTRERRIOS. Petr6leos Sudamericanos.

Fotografía 5. Centro de control de motores principal.



Fuente: Elaboración propia.

Agua abajo del transformador de 2500 kVA ver fotografía 6 el circuito de salida a 13.800 voltios lleva al p6rtico de salida de distribuci6n (ver fotografía 7) en este punto se subdividen dos ramales de lnea aproximadamente de 1.5 Km y 0.6 Km hasta las subestaciones reductoras en los cluster 1 y cluster 2 para alimentar

el sistema de inyección de agua en la locación del pozo ERR5 y los pozos productores de crudo en la locación del pozo ERR 3. ver la figura 2 recorte del diagrama unifilar del sistema de generación Anexo B.

Fotografía 6. Transformador media tensión 2500 kVA.



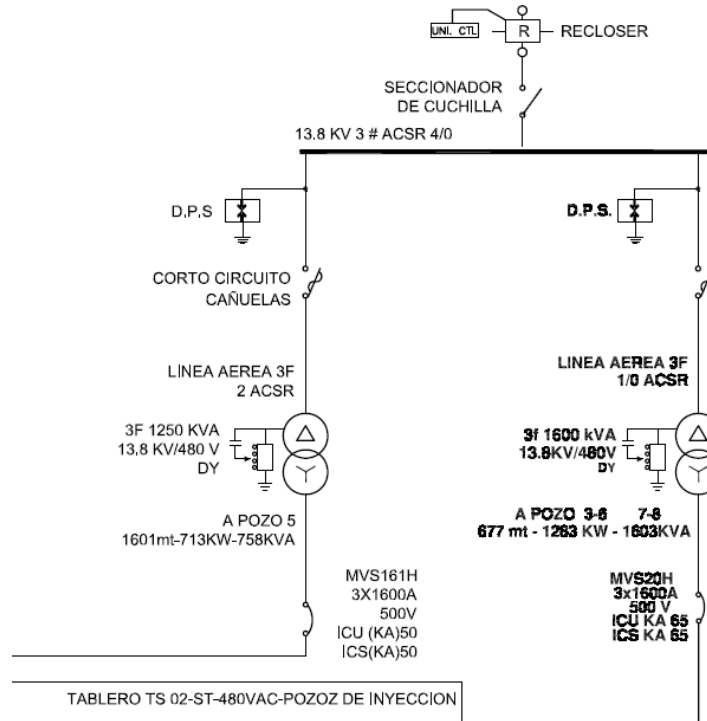
Fuente: Elaboración propia

Fotografía 7. Portico media tensión.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2. Derivacion circuito Portico



Fuente: SP-ER-EI-DW-01. DIAGRAMA UNIFILAR GENERAL LOCALIZACIÓN ENTRERRIOS. Petróleos Sudamericanos.

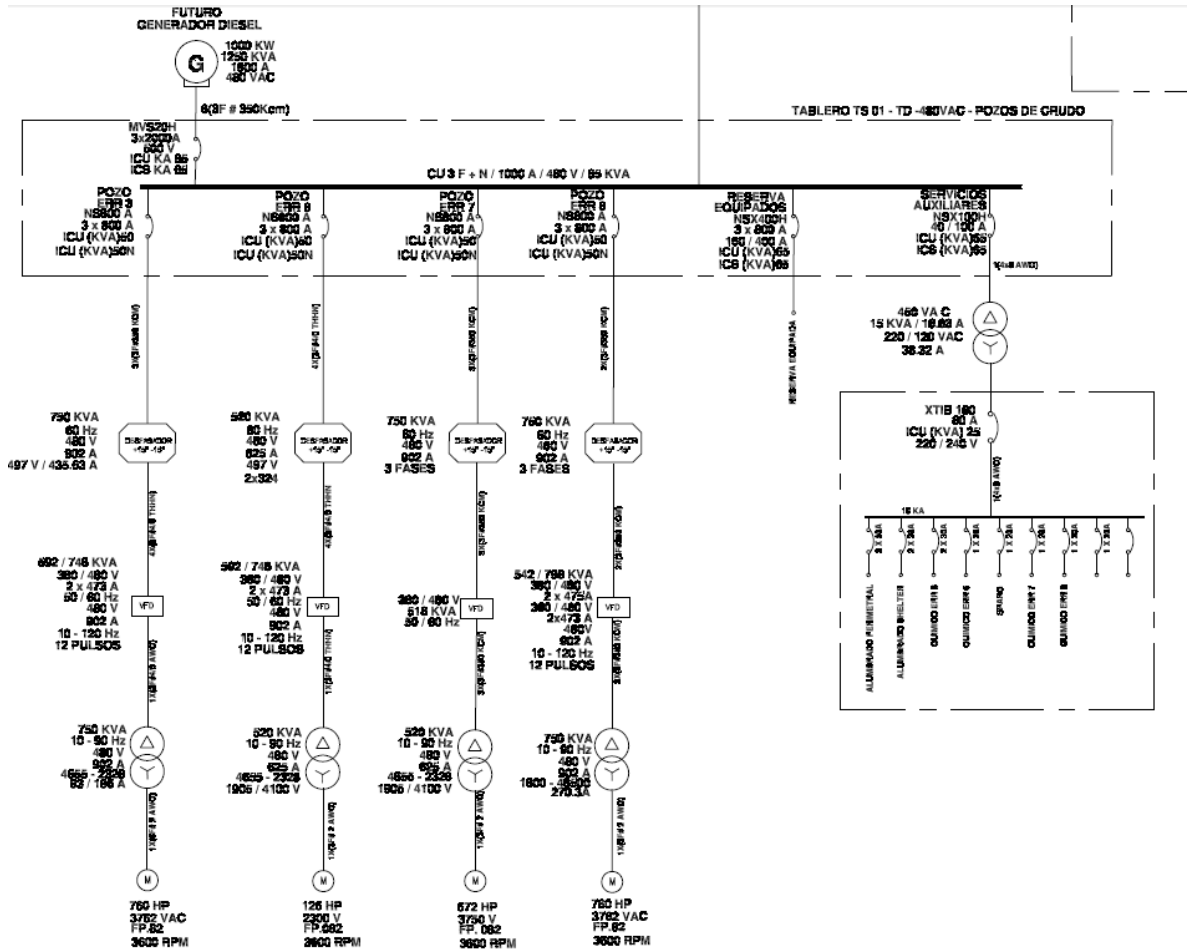
LINEA ELECTRICA MEDIA TENSION No 1

Al lado derecho del la figura 2 se observa, la derivación del circuito que conduce la alimentación del transformador reductor de 13800 voltios a 480 voltios de potencia nominal de 1600 kVA, que conecta mediante una acometida eléctrica al interruptor tripolar de 1600 Amp. con la que se alimenta el tablero TS01.

TABLERO TS01

El tablero **TS01** está compuesto de un interruptor de 2000 amperios para recibir el generador de respaldo de 1250 kVA (A futuro) y uno de 1600 Amp los cuales alimentan un barraje principal a 480 voltios del cual se desprenden 6 salidas hacia las cargas marcados de la siguiente forma (pozo ERR3 / 800 Amp.), (pozo ERR6 / 800 Amp.), (pozo ERR 7 / 800 Amp.), (pozo ERR8 / 800 Amp.), (Servicios auxiliares / 100 Amp.), (reserva equipada / 800 Amp.).

Figura 3. Tablero TS01



Fuente: SP-ER-EI-DW-01. DIAGRAMA UNIFILAR GENERAL LOCACIÓN ENTRERRIOS. Petróleos Sudamericanos.

LINEA ELECTRICA MEDIA TENSION No 2

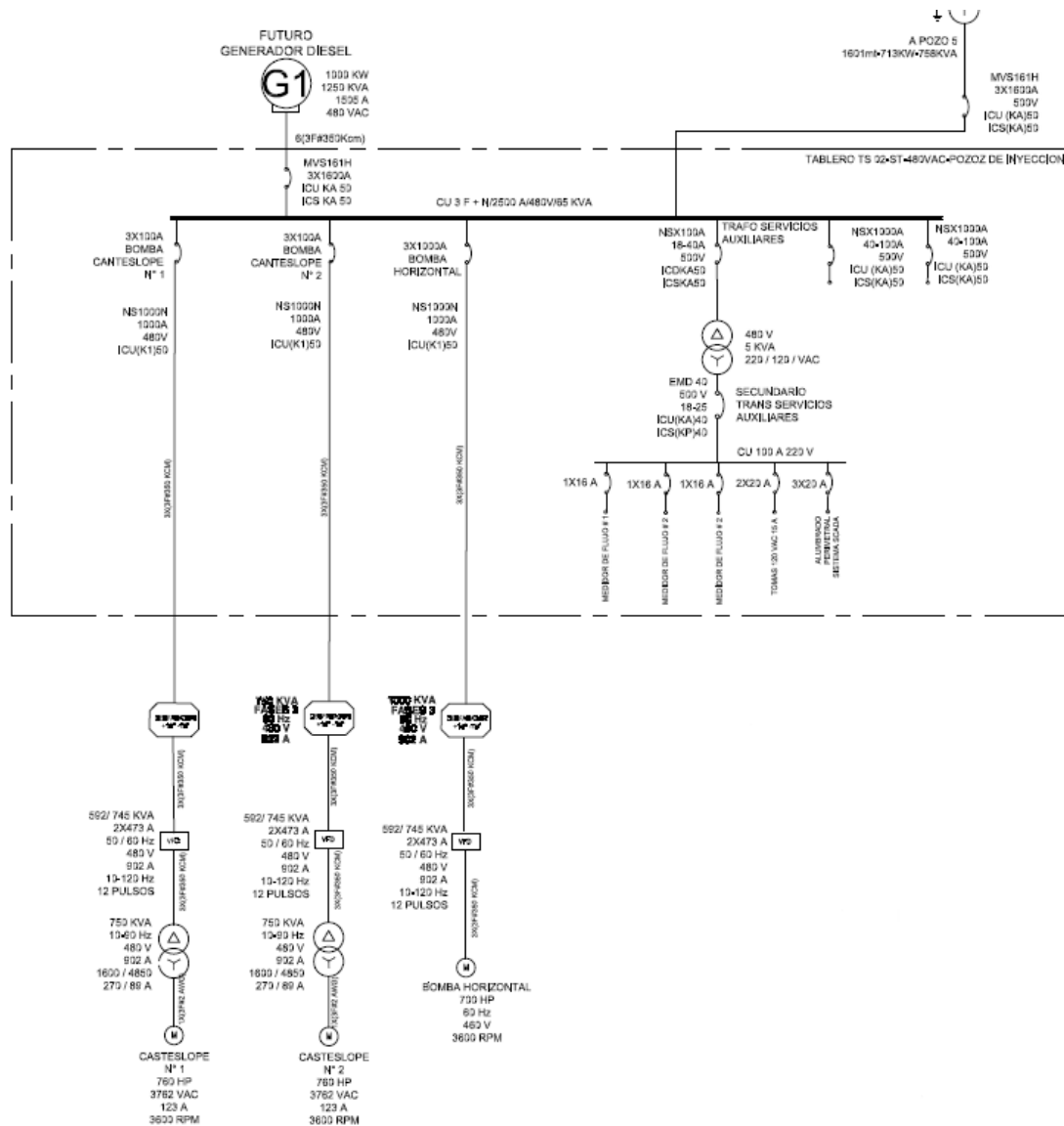
Al lado izquierdo de la figura 2 se observa la derivación del circuito que conduce la alimentación del transformador reductor de 13800 voltios a 480 voltios de potencia nominal de 1250 kVA que conecta mediante una acometida eléctrica al interruptor tripolar de 1600 Amp. con la que se alimenta el tablero TS02.

TABLERO TS02

El tablero **TS02** está compuesto de un interruptor de 1600 amperios para recibir el generador de respaldo de 1250 kVA (A futuro) y uno de 1600 Amp los cuales

alimentan un barraje principal a 480 voltios del cual se desprenden 6 salidas hacia las cargas marcados de la siguiente forma (BOMBA CANTESLOPE No 1), / 1000 Amp.), (BOMBA CANTESLOPE No.2), / 1000 Amp), (BOMBA HORIZONTAL / 1000 Amp), (pozo ERR8 / 800 Amp), (Servicios auxiliares / 100 Amp), (2 reservas equipadas / 100 Amp).

Figura 4. Tablero TS02

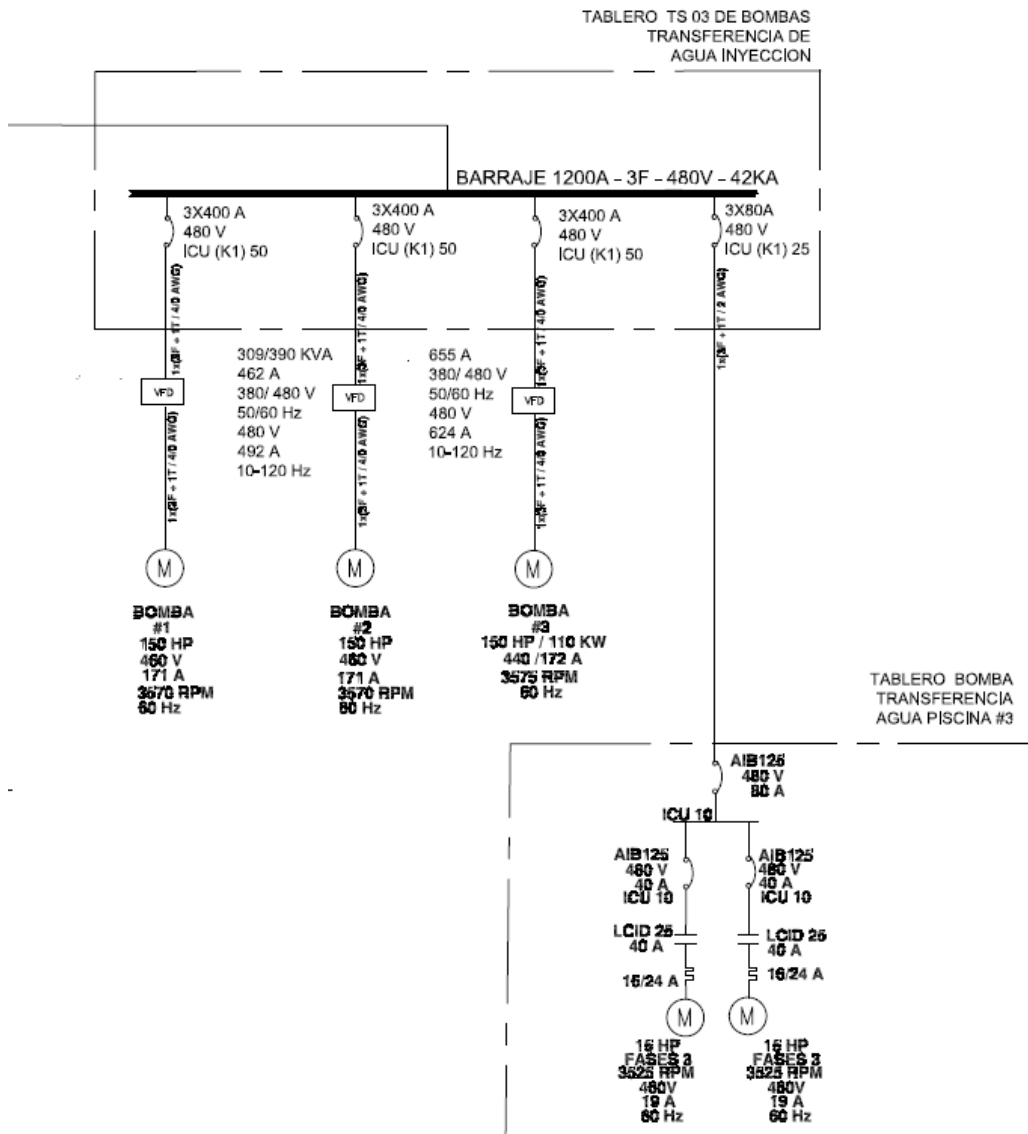


Fuente: SP-ER-EI-DW-01. DIAGRAMA UNIFILAR GENERAL LOCACIÓN ENTRERRIOS. Petr6leos Sudamericanos.

TABLERO TS03

El tablero **TS03** está alimentado por un interruptor de 800 amperios ubicado en la celda No 8 del CCM, posee un barraje principal a 480 voltios y 4 salidas a las cargas marcados de la siguiente forma (bombas transferencia 1, 2 y 3), (Alimentación bombas de tranferencia de agua piscina No. 3)

Figura 5. Tablero TS03

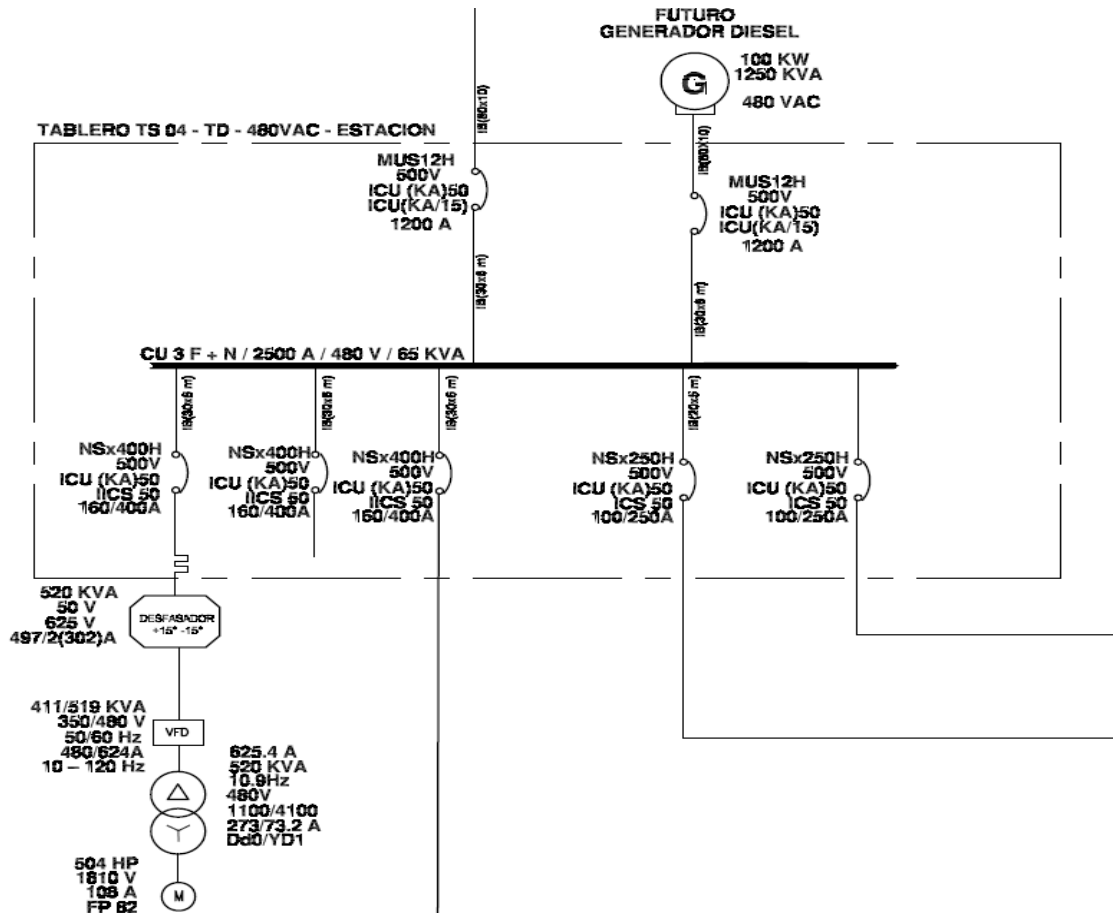


Fuente: SP-ER-EI-DW-01. DIAGRAMA UNIFILAR GENERAL LOCACIÓN ENTRERRIOS. Petróleos Sudamericanos.

TABLERO TS04

El tablero **TS04** El tablero TS04 está compuesto de dos interruptores de 1200 amperios para recibir la alimentación de la celda No 8 , y generador de respaldo de 1250 kVA (a fuuro) que alimenta a un barraje principal a 480 voltios y 4 salidas a las cargas marcados de la siguiente forma (BOMBA DE TRANSFERENCIA AGUA), (ALIMETACION PARA CCM DE BOMBAS DE DESPACHO DE CRUDO) (ALIMENTACION TRANSFORMADOR DE SERVICIOS GENERALES), (ALIMENTACION PARA TRANSFORMADOR Y TABLERO DE LABORATORIO Y OFICINAS).

Figura 6. Tablero TS04.

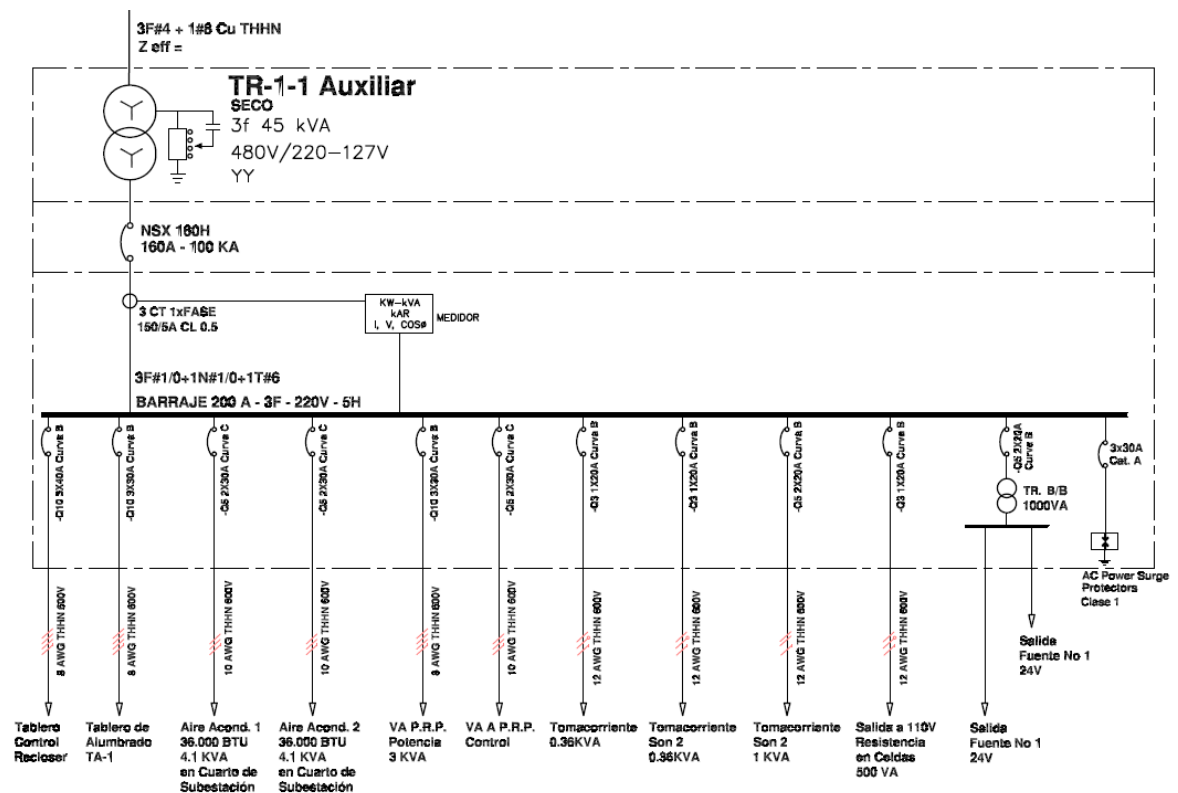


Fuente: SP-ER-EI-DW-01. DIAGRAMA UNIFILAR GENERAL LOCACIÓN ENTRERRIOS. Petróleos Sudamericanos.

TABLERO DE AUXILIARES DEL CCM PRINCIPAL

El Tablero de auxiliares del CCM principal se deriva de un interruptor de 100 Amp ubicado en la celda 8, este se alimenta de un transformador de 480 / 220 / 127 VAC de 45 kVA de potencia el cual tiene un barraje del cual se derivan 11 circuitos auxiliares entre los cuales se destacan, tablero de alumbrado CCM, aires acondicionados del CCM, circuitos de tomas y alimentaciones de UPS.

Figura 7. Tablero de auxiliares del CCM principal.



Fuente: SP-ER-EI-DW-01. DIAGRAMA UNIFILAR GENERAL LOCACIÓN ENTRERRIOS. Petr6leos Sudamericanos.

SISTEMA DE PROTECCION

La lnea a 13800 voltios y p6rtico de salida est1 equipada con pararrayos localizados en la entrada y salida del reconectador, p6rtico y 6ltima estructura en cada extremo para proteger las lneas a6reas para protecci6n contra sobretensiones.

El sistema cuenta con pararrayos sobre los transformadores en el lado de baja tensión 480 voltios para protección de sobretensiones en el sistema.

Los transformador de 2500 kVA tiene conexión tipo estrella (Y) en el lado de baja tensión 480 voltios con conexión a tierra y neutro.

SISTEMA DE MEDICION

El sistema de medida cuenta con dos contadores de medida indirecta, incluyendo lo siguiente:

- Contador multifuncional marca ITRON t modelo SL 7000 de acuerdo con la CREG ver figura
- Dispositivo multifuncional con las siguientes funciones:
 - Potencia activa, P
 - Potencia reactiva, Q
 - Energía activa, WH
 - Energía reactiva, VARH
 - Voltaje, V
 - Corriente, I
 - Factor de potencia, $\cos \phi$
 - Conexion inalambrica para descarga de datos historicos al PC por infrarrojo.

Fotografía 8. Contadores de energía.

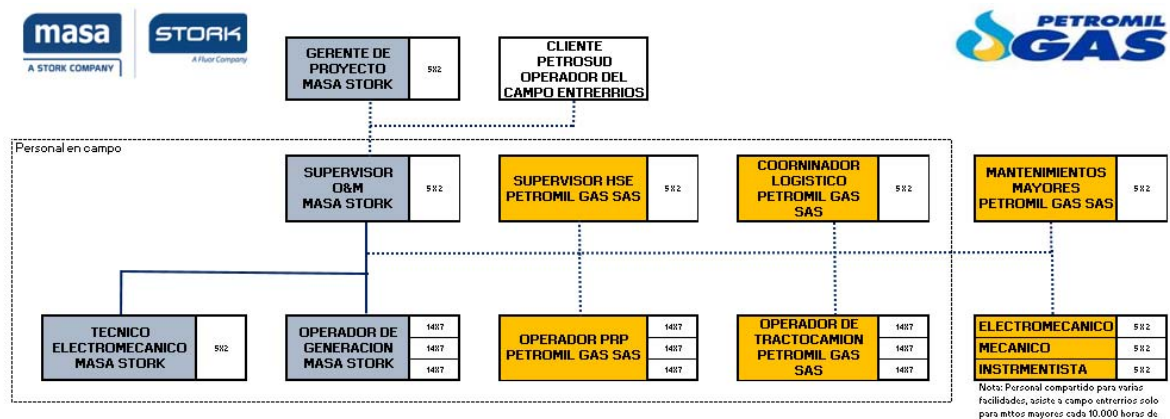


Fuente: Elaboración propia

2.3 ESTRUCTURA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO SISTEMA DE GENERACIÓN.

El grupo de operación y mantenimiento del centro de generación de energía tiene como objetivo principal mantener la operación continua del suministro de energía del campo ininterrumpidamente 24-7. Para el cumplimiento de este propósito se emplea en campo un grupo de 13 personas. De este grupo 5 integrantes pertenecientes a la empresa MASA STORK son quienes tienen a cargo la operación y mantenimiento del sistema de generación y los restantes 8 trabajadores pertenecientes a la empresa PETROMIL GAS se encargan de las operaciones necesarias para garantizar el suministro de gas natural al sistema.

Figura 8. Organigrama operación y mantenimiento generación.



Fuente: Elaboración propia

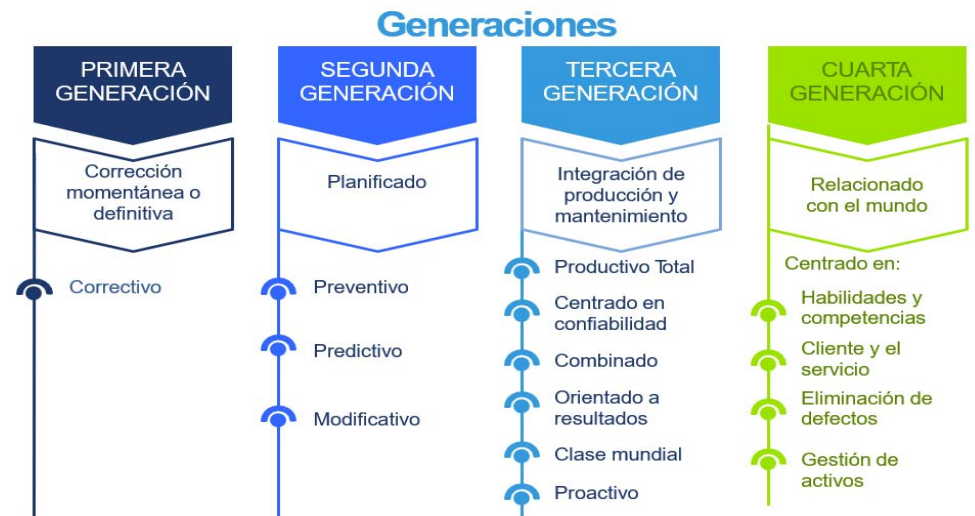
3. MARCO TEORICO

Entendiéndose como marco teórico, la descripción detallada de la teoría, a partir de la cual se busca establecer una ruta de trabajo para el desarrollo del presente proyecto, se ha decidido revisar la historia de la evolución del mantenimiento industrial y detallar los diferentes tipos de mantenimiento, con el fin de plantear posibles teorías de solución al problema planteado.

3.1 HISTORIA DE LA EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO

El mantenimiento industrial desde su concepción, ha experimentado constantes cambios, los cuales representan una clara evolución en el tiempo, la cual se puede subdividir en generaciones, las cuales son establecidas dependiendo de los cambios representativos y el impacto que dichos cambios han tenido en la evolución del mantenimiento. Se distinguen cuatro generaciones, en las cuales los objetivos y las técnicas de mantenimiento presentado un significativo cambio o salto generacional.

Figura 9. Generaciones del mantenimiento



Fuente: PERTUZ, Alberto. Principios de Mantenimiento. Material de asignatura. Especialización Gerencia de Mantenimiento, cohorte XXXIII. Bogotá: UIS. 2019.

3.1.1 Primera Generación. La primera generación del mantenimiento, inicia con anterioridad al inicio de la segunda guerra mundial entre los años 1.930 y se extiende hacia los años 1.950, en esta generación las técnicas de mantenimiento se centran en la ejecución de mantenimientos correctivos, los cuales se realizaban cuando se detectaba un fallo, siendo el principal objetivo el de obtener una corrección momentánea o definitiva del fallo presentado.

Cuadro 1. Primera generación del mantenimiento

PRIMERA GENERACIÓN AÑOS 1.930 A 1.950 MANTENIMIENTO CORRECTIVO - CM	
OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO - Corrección momentanea o definitiva de un fallo.	TECNICAS DE MANTENIMIENTO - Mantenimiento correctivo.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.2 Segunda Generación. La segunda generación del mantenimiento se desarrolla hacia finales de la segunda guerra mundial, entre los años 1.950 y 1.980, en esta generación la demanda de diversos sectores industriales, de la industria armamentista y el desarrollo de la aviación, requiere que los equipos cumplan con trabajos cíclicos con frecuencias determinada, razón por la cual surge la necesidad de realizar actividades de mantenimiento que prevengan la aparición de fallas.

Los objetivos de esta generación son incrementar la disponibilidad y la vida operacional de los equipos, disminuyendo al tiempo los costos de mantenimiento, para lo cual se emplean técnicas de planificación de mantenimiento soportadas en

uso de grandes computadoras, sistemas manuales de planeación y control, y revisiones periódicas basadas en el tiempo o número de operaciones.

Cuadro 2. Segunda generación del mantenimiento

SEGUNDA GENERACIÓN AÑOS 1.950 A 1.980	
MANTENIMIENTO BASADO EN EL TIEMPO - TBM	
OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO	TECNICAS DE MANTENIMIENTO
- Incremento de la disponibilidad de los equipos.	- Sistemas de planificación y control del mantenimiento.
- Incremento de la vida operacional de los equipos.	- Mantenimiento preventivo, basado en el tiempo o numero de operaciones.
- Disminución de los costos de mantenimiento.	- Aplicación de grandes computadoras en la gestión del mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.3 Tercera Generación. La tercera generación del mantenimiento se desarrolla a partir de la década de 1.980 hasta los años 2.000, durante la cual continua el incremento de la disponibilidad de los equipos y se resalta como hecho relevante, el surgimiento del monitoreo basado en condición y el mantenimiento centrado en confiabilidad, como respuesta a la necesidad de sectores como el de la aviación, en donde se hace necesario incrementar la confiabilidad operacional de los equipos.

Los objetivos de esta generación son el incremento de la disponibilidad y la confiabilidad de equipos, incrementar la vida operacional de los activos, incrementar la seguridad operacional de los procesos, incrementar la calidad de los servicios, el respeto por el medio ambiente y optimizar los costos de mantenimiento, las técnicas de mantenimiento empleadas son el monitoreo basado en condición, el mantenimiento basado en confiabilidad, el análisis de causas y efectos de fallas, uso de pequeñas y rápidas computadoras en la gestión

del mantenimiento, análisis de riesgos, implementación de sistemas expertos como herramientas de diagnóstico.

Cuadro 3. Tercera generación del mantenimiento

TERCERA GENERACIÓN AÑOS 1.980 A 2.000 SURGIMIENTO DEL MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN - CBM Y CENTRADO EN CONFIABILIDAD - RCM	
<p>OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO</p> <ul style="list-style-type: none"> - Incremento de la disponibilidad y confiabilidad de los equipos. - Incremento de la vida operacional de los activos. - Incremento de la seguridad operacional de los procesos. - Incremento de la calidad de los servicios. - Respeto por el medio ambiente. - Optimización costos de mantenimiento. 	<p>TECNICAS DE MANTENIMIENTO</p> <ul style="list-style-type: none"> - Monitoreo basado en condición. - Mantenimiento basado en confiabilidad. - Analisis de causas y efecto de fallas. - Uso de computadoras mas pequeñas y mas rapidas en la gestión del mantenimiento. - Analisis de riesgos. - Implementación de sistemas expertos en tareas de diagnostico.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.4 Cuarta Generación. La cuarta generación del mantenimiento se desarrolla a partir del año 2.000, en esta generación continua el incremento de la disponibilidad y confiabilidad de los equipos y se resalta como hecho relevante la consolidación del mantenimiento centrado en confiabilidad, se mantienen los objetivos de la tercera generación y se suma la definición de patrones y eliminación de fallos y el incremento de la mantenibilidad, en las técnicas de mantenimiento se consolidan los estudios de confiabilidad y mantenibilidad, las filosofías de mantenimiento autónomo, sistemas de mejora continua, gestión de riesgos, mantenimiento predictivo y proactivo.

Cuadro 4. Cuarta generación del mantenimiento

CUARTO GENERACIÓN AÑOS 2.000 A 2.0XX CONSOLIDACIÓN DEL MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN - CBM Y CENTRADO EN CONFIABILIDAD - RCM	
OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO <ul style="list-style-type: none"> - Incremento de la disponibilidad y confiabilidad de los equipos. - Incremento de la vida operacional de los activos. - Incremento de la seguridad operacional de los procesos. - Incremento de la calidad de los productos. - Respeto por el medio ambiente. - Optimización costos de mantenimiento. - Mayor mantenibilidad. - Definición de patrones de fallas. - Eliminación de fallas. 	TECNICAS DE MANTENIMIENTO <ul style="list-style-type: none"> - Monitoreo basado en condición. - Mantenimiento basado en confiabilidad. - Analisis de causas y efecto de fallas. - Filosofias de mantenimiento autonomo. - Gestion de riesgos. - Estudios de confiabilidad y mantenibilidad. - Sistemas de mejora continua. - Mantenimiento predictivo y proactivo. - Seguimiento de acciones de mejora.

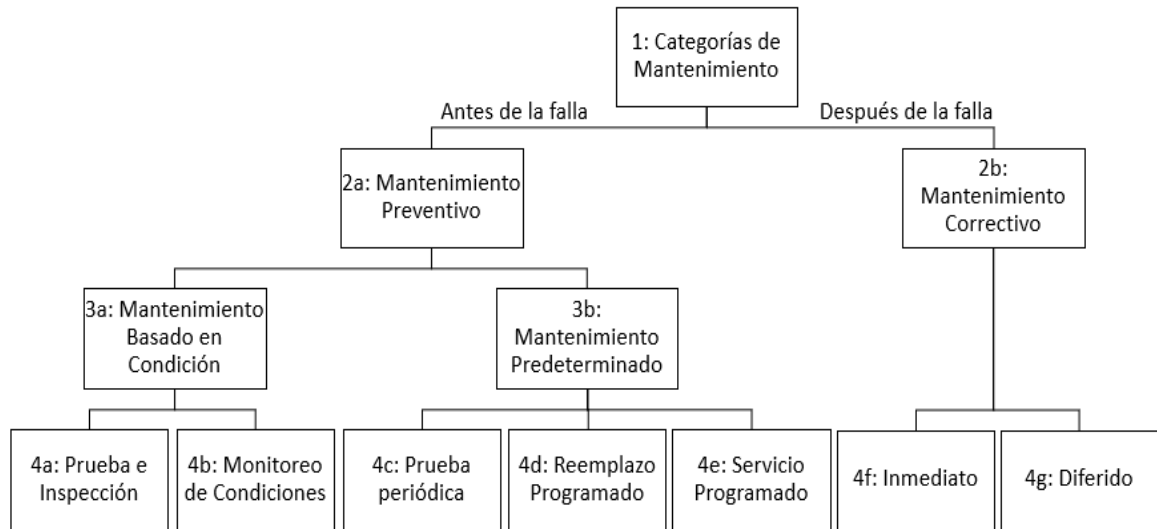
Fuente: Elaboración propia.

3.2 CATEGORIAS DE MANTENIMIENTO

De acuerdo al estándar ISO 14224:2016¹, se establecen dos categorías básicas de mantenimiento, definidas como mantenimiento correctivo y mantenimiento preventivo.

¹ CEN, EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. ISO 14224:2016, Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. Bruselas: ISO 2016. P. 50-53.

Figura 10. Categorías de Mantenimiento

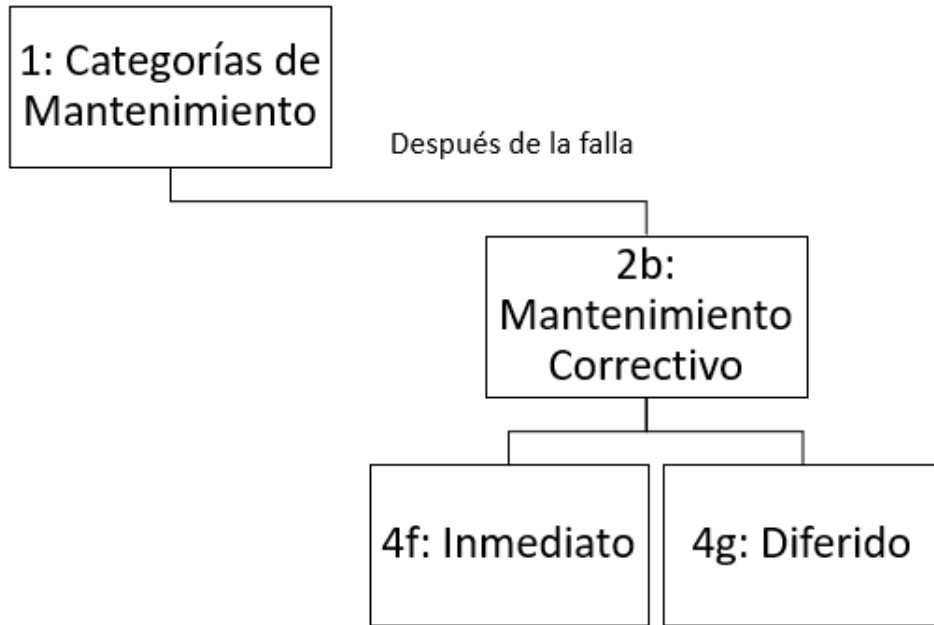


Fuente: CEN, EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. ISO 14224:2016, Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. Bruselas: ISO 2016. P. 50.

Como se puede apreciar en la imagen, en las dos categorías básicas de mantenimiento “Mantenimiento correctivo y mantenimiento preventivo, se agrupan en subcategorías diferentes técnicas de mantenimiento, que han surgido a la vez que el mantenimiento ha ido evolucionando en el tiempo, sin embargo independiente de la técnica o la filosofía que se emplee, cualquier estrategias de mantenimiento al fin de cuentas se agrupara en la categoría de mantenimiento correctivo o en la categoría de mantenimiento preventivo.

3.2.1 Mantenimiento correctivo. En la categoría de mantenimiento correctivo, se agrupa todas las estrategias y tipos de mantenimiento que se realizan después de que se ha presentado una falla, el estándar ISO 14224:2016 referencia dos tipos de mantenimiento, el mantenimiento inmediato y el mantenimiento diferido.

Figura 11. Estructura Categoría Mantenimiento Correctivo



Fuente: CEN, EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. ISO 14224:2016, Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. Bruselas: ISO 2016. P. 50.

El mantenimiento inmediato es aquel que se realiza con la mayor prontitud posible ante la ocurrencia de una falla, la tención se realiza de emergencia, por lo general se incurre en sobre costos y grandez esfuerzos para que el equipo entre en operación en el menor tiempo posible.

El mantenimiento diferido es aquel que al presentarse la falla, puede ser realizado en el momento que se considere oportuno, sin necesidad de incurrir en sobrecostos de logística y de atención prioritaria como ocurre con el mantenimiento inmediato, el cual se debe realizar de emergencia en la mayor brevedad posible, se incluye en la categoría de mantenimiento diferido el mantenimiento correctivo planificado, el cual tiene como estrategia dejar correr los equipos a la falla, al ser esta la estrategia se tiene previsto que la falla ocurra y se tiene un plan previsto para atenderla.

Los mantenimientos correctivos deben ser registrados para evaluar la confiabilidad de un equipo o sistema, incluyendo el mantenimiento correctivo corrido a la falla, cuando se presentan múltiples fallas en el mismo equipo, o cuando se presentan fallas críticas en equipos críticos, se requiere realizar análisis de causa raíz, basados en las características de la falla (modos, mecanismos y causas de falla), pudiendo llegar a requerirse la implementación de mejoras para evitar que las fallas se vuelvan a presentar, para extender la vida útil o incrementar la capacidad para detectar con anticipación la ocurrencia de las fallas.

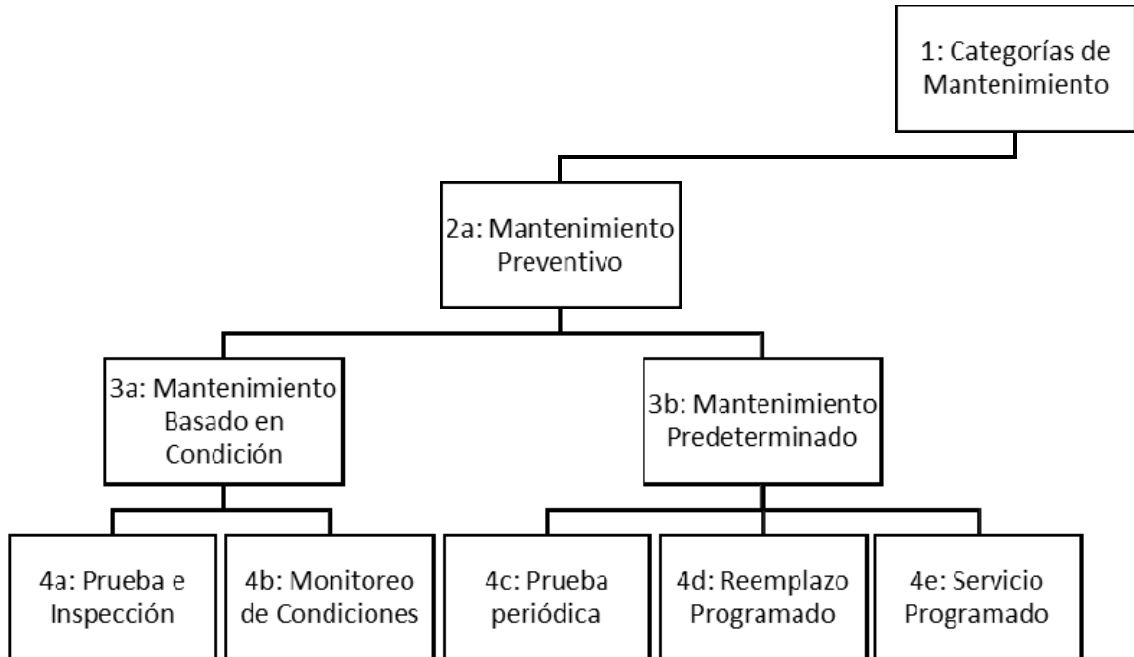
3.2.2 Mantenimiento preventivo. En la categoría de mantenimiento preventivo, se agrupa todas las estrategias y tipos de mantenimiento que se ejecutan antes de que se presente la falla, en otras palabras comprende los diferentes tipos de mantenimiento que se realizan sobre el activo con el fin de evitar que la falla se materialice, el estándar ISO 14224:2016 presenta en la categoría de mantenimiento preventivo dos subcategorías denominadas, mantenimiento basado en condición y mantenimiento predeterminado, las cuales agrupan a su vez diferentes técnicas de inspección o tipos de intervención del activo, la siguiente imagen muestra la estructura de la categoría de mantenimiento preventivo de acuerdo al estándar ISO 14224:2016.

Se recomienda que las actividades de mantenimiento preventivo se registren de la misma manera que las acciones correctivas en los sistemas de información del mantenimiento, con el fin de tener:

- La hoja de vida completa de un equipo con todas las fallas y los mantenimientos realizados.
- Historial de los recursos utilizados en las rutinas de mantenimiento ejecutadas, incluyendo horas – hombre, repuestos, insumos.
- Registro de los tiempos totales de inactividad del activo y disponibilidad total de equipos.

- Estado del equilibrio entre el mantenimiento preventivo y correctivo.

Figura 12. Estructura Categoría Mantenimiento Preventivo



Fuente: CEN, EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. ISO 14224:2016, Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. Bruselas: ISO 2016. p. 50.

3.2.2.1 Mantenimiento basado en condición. El mantenimiento basado en condición se fundamenta en la ejecución de pruebas e inspecciones y en el monitoreo de condiciones, lo cual permite recopilar información del estado actual del activo, a partir de la cual se analiza y se determina las tareas de mantenimiento que se deben ejecutar basado en la condición del activo.

3.2.2.2 Mantenimiento predeterminado. De acuerdo a la norma UNE-EN 13306², el mantenimiento predeterminado es el mantenimiento preventivo que se realiza con intervalos de tiempo establecidos o con un número de definido de unidades de funcionamiento, sin realizar un análisis previo de la condición del equipo.

El mantenimiento predeterminado tiene como base la ejecución de pruebas periódicas, el reemplazo programado de componentes y la ejecución de servicios programados, un ejemplo son las rutinas de mantenimiento definidas por el fabricante, las cuales se ejecutan independiente del estado actual de los componentes y sistemas de un equipo.

3.3 FILOSOFÍAS DE MANTENIMIENTO

El TPM (Mantenimiento Productivo Total), RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad), y RBM (Mantenimiento Basado en el Riesgo), no son tipos diferentes de mantenimiento, en su lugar deben ser entendidos como filosofías que han sido desarrolladas para la óptima aplicación de los diferentes tipos de mantenimiento existentes, el desarrollo de estas estrategias permite alcanzar importantes resultados cuando su implementación es un proceso apoyado por la dirección y los diferentes niveles de la fuerza laboral de las compañías.

Los siguientes son los principales componentes de estas filosofías o estrategias de mantenimiento.

² UNE, ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN. UNE-EN 13306, Mantenimiento. Terminología del mantenimiento. Madrid: UNE 2018. p. 16.

Cuadro 5. Componentes, TPM – RCM – RBM.

COMPONENTES TPM	COMPONENTES RCM	COMPONENTES RBM
<ul style="list-style-type: none"> • Amplia la acción del mantenimiento productivo por medio de pequeños grupos de trabajo. • Redefinición de roles y responsabilidades de los operarios y técnicos en actividades de mantenimiento. • Incremento de la disponibilidad del equipo, soportado en trabajo en equipo entre las áreas de operaciones y mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estrategia para la elaboración de un plan de mantenimiento que disminuya los tiempos de parada por averías. • Incremento de la disponibilidad de planta. • Disminución de los costos de mantenimiento. • Analisis de todas los potenciales fallas, estableciendo rutinas o acciones que eviten que se produzcan las fallas identificadas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer los periodos de inspección basado en riesgos - RBI, centrado en los equipos con mayor nivel de riesgo. • El principal objetivo es la seguridad y la confiabilidad. • Estimación y evaluación del riesgo, estableciendo los niveles de aceptación. • Optimización de planes de mantenimiento, con el objetivo de reducir la probabilidad de las fallas que exceden los niveles de aceptación

Fuente: Elaboración propia.

4. MARCO CONCEPTUAL

Teniendo en cuenta que las estrategias de mantenimiento del Sistema de Generación del Campo Entrerrios, es una estrategia netamente de mantenimiento preventivo, que incluso se encuentra fuertemente enfocada en las rutinas recomendadas por el fabricante, se puede afirmar que la base de la estrategia es un mantenimiento basado en el tiempo – TBM, en donde la ejecución de las rutinas de mantenimiento se deberían programar y ejecutar teniendo en cuenta el horómetro que marca las horas de operación de las diferentes unidades.

Siendo el TPM (Mantenimiento Productivo Total), una significativa mejora del mantenimiento productivo, cuyo objetivo es el incremento de la disponibilidad de los equipos, como resultado del trabajo en equipo entre las áreas de operaciones y mantenimiento, optimizando la actual estrategia de mantenimiento con la implementación de cambios menores que permiten obtener mejores resultados, sin incurrir en cambios bruscos en la estrategia de mantenimiento y sin requerir fuertes cambios tecnológicos o altas inversiones. Razón por la cual se profundiza en el marco conceptual que rodea al TPM.

4.1 SIGNIFICADO DE TPM

D.R. KIRAN autor de la obra *TOTAL QUALITY MANAGEMENT KEY CONCEPTS AND CASE STUDIES*, registra en su obra el significado de cada una de las siglas del acrónimo TPM, en la siguiente imagen se presenta el significado dado por el autor³, en la cual se puede identificar que la base de la filosofía TPM, consiste en involucrar a toda la organización, con el objetivo de lograr una alta productividad, sustentado en la confiabilidad operacional de los equipos.

³ D.R., Kiran. Total Quality Management. Key concepts and case studies. United Kingdom: Elsevier Ltd. 2017. p.178.

Cuadro 6. Significado de TPM.



Fuente: Elaboración propia.

4.2 DEFINICIÓN DE TPM

El TPM (Mantenimiento Productivo Total), 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 fallos” 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. La obtención de cero pérdidas se logra a través del trabajo de pequeños equipos⁴.

⁴ AGUILAR, Mauricio. Mantenimiento Productivo Total. Material de asignatura. Especialización Gerencia de Mantenimiento, cohorte XXXIII. Bogotá: UIS. 2020.

4.3 ORIGEN DEL TPM

El enfoque planificado para el mantenimiento preventivo se introdujo en Japón desde los Estados Unidos en la década de 1950. Seiichi Nakajima del Instituto Japonés de Mantenimiento de Plantas (JIPM) se le atribuye ser pionero en el desarrollo del enfoque a través de las etapas de mantenimiento preventivo (basado en el tiempo), mantenimiento productivo (predictivo / basado en la condición) y luego en el mantenimiento productivo total (Nakajima, 1988)⁵.

El JIPM identifica cinco factores críticos de éxito para obtener beneficios del TPM:

- Maximizar la efectividad de los equipos.
- Desarrollar un sistema de mantenimiento productivo para la vida útil del equipo.
- Involucrar a todos los departamentos que planifican, diseñan, usan o mantienen equipos en la implementación de TPM.
- Involucrar activamente a todos los empleados, desde la alta dirección hasta los trabajadores de planta.
- Promover el TPM a través de la gestión motivacional: actividades autónomas en pequeños grupos.

Este enfoque aporta una nueva perspectiva hacia la gestión de equipos en todos los niveles del negocio. Si un cliente tiene solo 2 h de stock, entonces ningún proveedor podría tener una avería de más de 2 h. Haciendo que procesos poco confiables deban aumentar las existencias, consumiendo dinero en el aumento del stock.

⁵ McCARTHY, Dennis y RICH Nick. Lean TPM: A Blueprint for Change 2a ed. United Kingdom: Elsevier Ltd. 2015. p.40-42.

El objetivo de TPM es "mejorar la efectividad del equipo al involucrar a todos aquellos que impactan en él proceso con actividades de grupos pequeños" respaldado por un poderoso proceso de mejora multifuncional. TPM identificó seis fuentes de pérdidas por los cuales se presenta la brecha entre los niveles de efectividad actuales que puede tener un negocio y el 100% de efectividad que se podría alcanzar, los siguientes son las seis fuentes de desperdicio.

- Fallas de equipos
- Ajustes de equipos innecesarios
- Operación sin carga y paradas menores
- Perdida de velocidad
- Perdidas de arranque
- Perdidas de reproceso

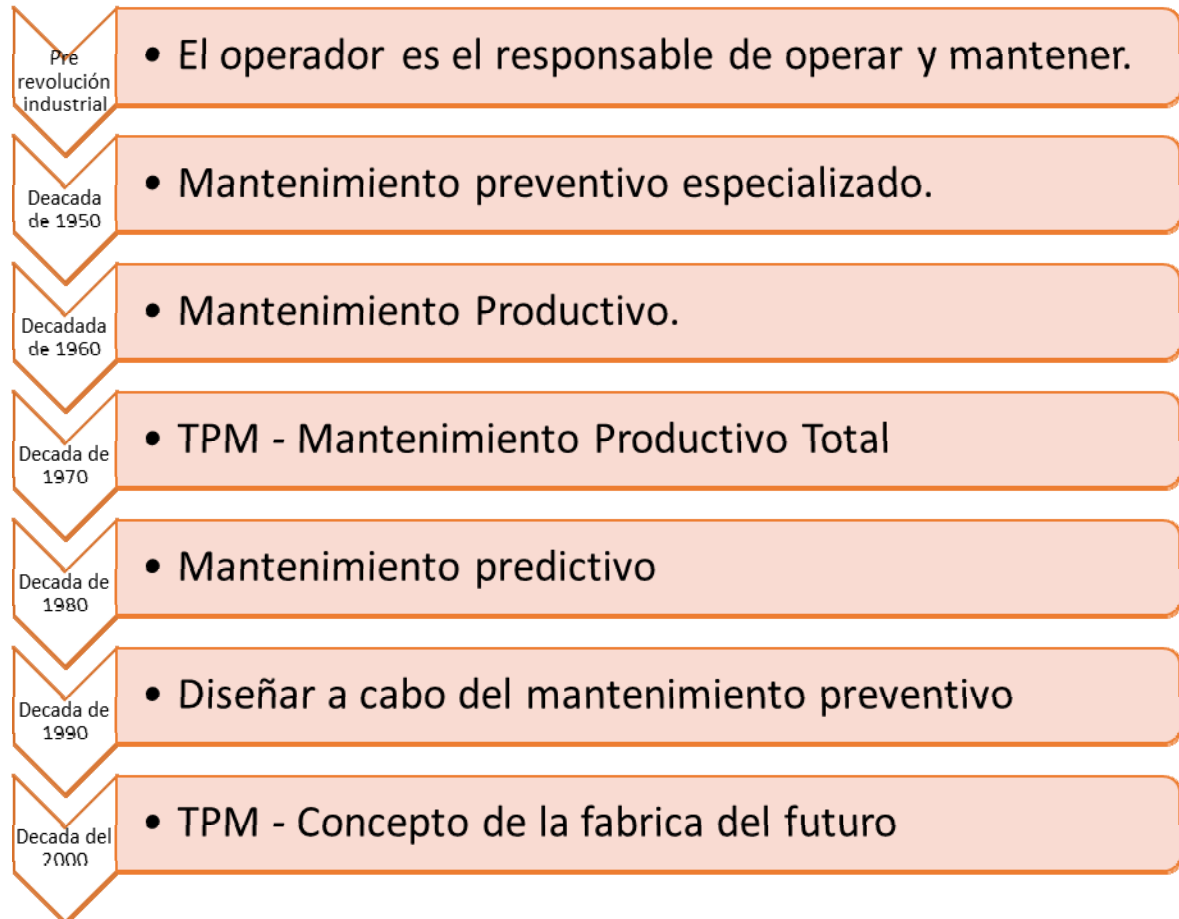
4.4 EVOLUCIÓN DEL TPM

El TPM es un proceso en evolución desde la introducción del mantenimiento preventivo en Japón desde los Estados Unidos (Deming). Sin embargo, el concepto principal del TPM que es el del operador de producción ocupándose del mantenimiento de rutina que requiere su máquina, se remonta al escenario industrial de la preguerra y el desarrollo de la actual filosofía de TPM se remonta a la década de 1.950. Posterior debido al alto nivel de automatización, el mantenimiento de ellos equipos se hizo complejo, llegando a requerirse personal de mantenimiento más especializado, llevando a Seiichi Nakajima considerado el padre del TPM⁶, a regresar los trabajos de mantenimiento de rutina al operador de producción, enfocando así la atención del departamento de mantenimiento en los

⁶ D.R., Kiran. Total Quality Management. Key concepts and case studies. United Kingdom: Elsevier Ltd. 2017. p.203-204.

trabajos de mantenimiento mayores y especializados, en la siguiente imagen se presenta un resumen de la evolución del TPM en las últimas décadas.

Figura 13. Evolución del TPM.



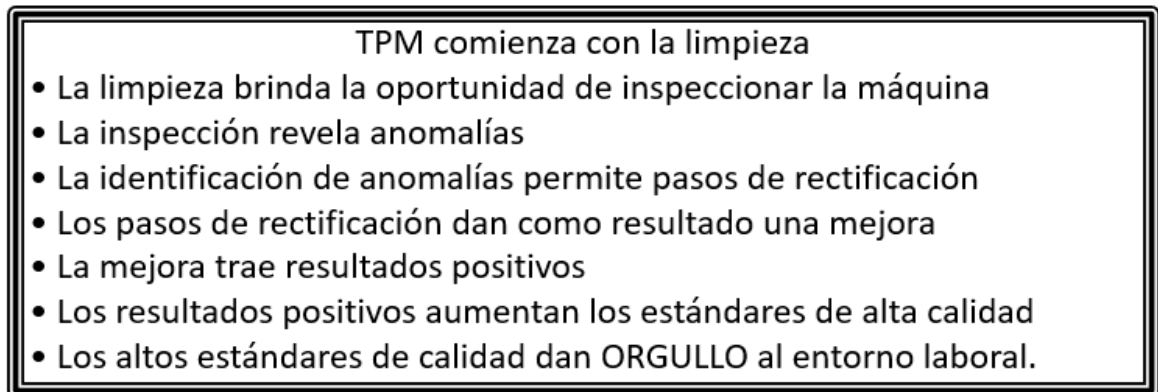
Fuente: Elaboración propia.

4.5 TPM COMIENZA CON LA LIMPIEZA

Es importante entender que, de los procesos de operación y el mantenimiento, depende la productividad de una empresa, estas áreas deben funcionar al tiempo, si la una anda la otra también, es importante saber que con tareas sencillas de

limpieza se puede alcanzar altos estándares de mantenimiento como lo podemos ver en la siguiente imagen.

Cuadro 7. TPM inicia con la limpieza.



Fuente: D.R., Kiran. Total Quality Management. Key concepts and case studies. United Kingdom: Elsevier Ltd. 2017. p.180.

De la imagen se resalta como ha partir de los trabajos sencillos de limpieza, se obtienen beneficios tan importantes como tener la oportunidad de realizar actividades de inspección de la máquina, en dichas inspecciones se revelan anormalidades, a las anormalidades se les realiza mejoras que producen resultados positivos que incrementan los estándares de calidad generando un gran orgullo en el entorno laboral.

Con las maquinas ocurre como con nuestro cuerpo, el cual cepillamos y limpiamos constantemente, acudiendo al medico solo en caso de enfermedades mayores, de la misma forma las rutinas de limpieza y lubricación de las maquinas las debe realizar sus operadores, solo el mantenimiento preventivo, el mantenimiento especializado y las averías mayores deben asignarse a los especialistas y al departamento de mantenimiento⁷.

⁷ D.R., Kiran. Total Quality Management. Key concepts and case studies. United Kingdom: Elsevier Ltd. 2017. p.205-206.

Se pueden categorizar siete tipos de anomalías, los cuales se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 1. Categorías de anomalías.

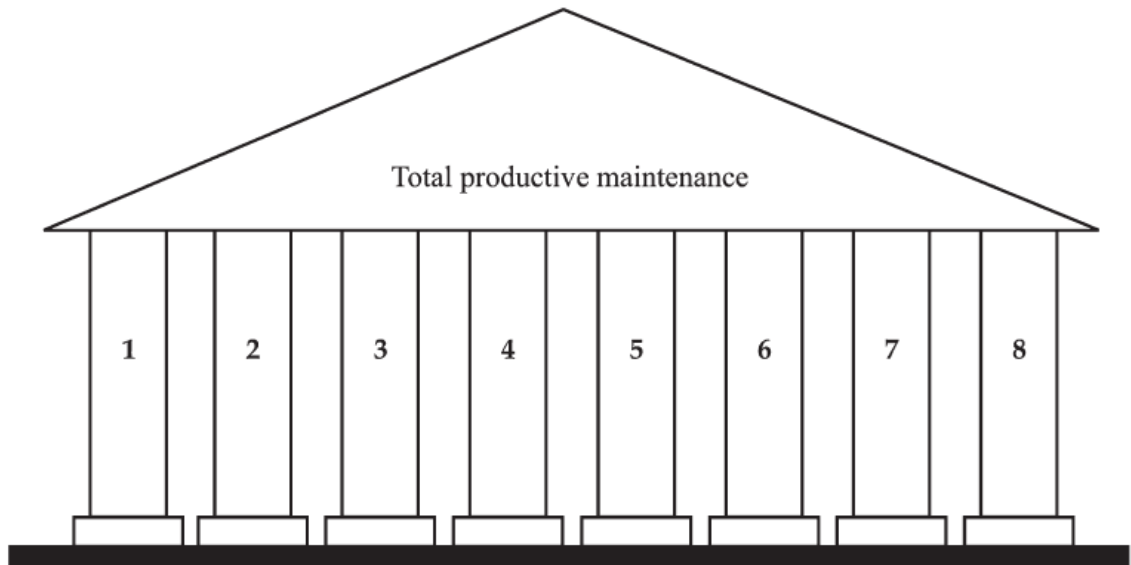
CATEGORIA	EJEMPLOS
Defectos menores	Contaminación de polvo, suciedad, aceite, grasa y óxido. Daños por agrietamiento, aplastamiento, astillado, flexión, y deformación. Funciona vibrando, descentrado, desgastado. Aflojamiento de correas y cadenas. Ruido inusual, sobrecalentamiento, vibraciones y decoloraciones. Obstrucciones, acumulaciones de escombros y mal funcionamiento.
Incumplimiento de condiciones básicas	Lubricación deficiente, lubricante sucio, y fugas de lubricante. Suministro de lubricante sucio, entradas de aceite deformadas, canales defectuosos. Tuercas y tornillos sueltos, roscas cruzadas, arandelas inadecuadas.
Lugares inaccesibles para	Limpieza de cubiertas, deficiencias para mantenimiento, y espacio disponible. Posición y orientación adecuada de la instrumentación, Posición adecuada de entradas de lubricante, altura y niveles. Apriete de tornillería y aplicación de palancas. Operación de la máquina, posición de válvulas, interruptores y niveles. Ajuste de la posición de indicadores de presión y otros.
Fuentes de Contaminación	Fugas de producto, derrames y dispersiones. Fugas de materia prima, dispersiones y desbordamientos. Fugas de lubricantes contaminados con combustible u otros fluidos. Fugas de aire comprimido, vapores y gases de combustión. Fugas de líquidos de productos a medio terminar, y aguas residuales. Desechos de baches, empaques y productos no conformes.
Fuentes defectuosas	Inclusiones de materias extrañas, insectos y óxido. Sacudidas, colisiones y vibraciones. Infiltraciones y humedad. Perforaciones de mallas y tamaños de grano no deseados. Inadecuado calentamiento, mezcla y evaporación. Mezclas no homogéneas, evaporación y presencia de gotas de agua.
Elementos innecesarios o no operativos	Bombas, ventiladores y tanques. Conexiones de tubería, amortiguadores y válvulas no deseados. Pirómetros y galgas no referenciadas. Cableado y conexiones de equipos eléctricos. Accesorios, herramientas de corte, moldes y carters. Repuestos de equipos en standby y materiales auxiliares.
Espacios inseguros	Superficies irregulares, resbaladizos, salientes y agrietados. Gradas irregulares, muy empinadas y sin pasamanos. Luminarias tenues, sucias, fundidas y cubiertas rotas. Cubiertas de maquinaria rotativa desplazadas, sin guardas y sin paradas de emergencia. Cables, ganchos y aparejos de equipos de elevación y grúas. Sustancias especiales, gases tóxicos y falta de ropa de protección.

Fuente: Elaboración propia.

4.6 LOS OCHO PILARES DEL TPM

Los japoneses establecieron 8 pilares que sostienen la estructura del TPM, los cuales se presentan en la siguiente imagen.

Figura 14. Los ocho pilares del TPM.



1. Mejora enfocada (Kobetsu Kaizen): Mejora continua en pequeños pasos.
2. Mantenimiento planificado: Centrado en aumentar la disponibilidad de equipos y reducción de las fallas.
3. Gestión Temprana: Sistema para iniciar la producción de un nuevo producto y un nuevo equipo en un tiempo mínimo.
4. Educación y capacitación: Formación de trabajadores autónomos con habilidades y técnicas para el mantenimiento autónomo.
5. Mantenimiento autónomo (Jishu Hozen): Mantener el equipo por uno mismo.
6. Mantenimiento de calidad (Hinshitsu Hozen): Condiciones de maquina que no permitan la ocurrencia de defectos y control de condiciones para mantener cero defectos.
7. Eficiencia Administrativa: Oficina de trabajo eficiente que elimine pérdidas.
8. Seguridad, salud y ambiente – HSE: Crear un sitio de trabajo seguro y saludable, sin accidentes identificando áreas peligrosas, preservando el medio ambiente.

Fuente: D.R., Kiran. Total Quality Management. Key concepts and case studies. United Kingdom: Elsevier Ltd. 2017. p.182-183.

4.6.1 Primer pilar Mejoras Enfocadas. Para la ejecución de actividades de mejora es recomendable seguir un paso a paso documentando el progreso de forma visual, la siguiente tabla muestra el paso a paso recomendado por Tokutaro Suzuki en su obra TPM en industrias de proceso⁸.

Tabla 2. Procedimiento paso a paso pilar Mejoras Enfocadas

ACTIVIDAD / PASO	DETALLE
Paso 1: Selección de tema de mejora	<ol style="list-style-type: none"> 1. Seleccionar y registrar tema 2. Formar equipo de proyecto 3. Planificar actividades
Paso 2: Comprender la situación	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identificar procesos cuello de botella 2. Medir fallos, defectos y otras perdidas 3. Usar líneas de fondo para establecer objetivos.
Paso 3: Descubrir y eliminar anomalías	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sacar a la luz infatigablemente todas las anomalías. 2. Restaurar el deterioro y corregir las pequeñas deficiencias. 3. Establecer las condiciones básicas del equipo.
Paso 4: Analizar causas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Estratificar y analizar perdidas 2. Aplicar técnicas analíticas 3. Emplear tecnología específica, fabricar prototipos, conducir experimentos
Paso 5: Plan de mejora	<ol style="list-style-type: none"> 1. Diseñar propuestas de mejora y preparar planos 2. Comparar la eficiencia y los costos de las propuestas 3. Considerar los efectos peligrosos y posibles desventajas
Paso 6: Implantar mejora	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar un plan de mejora 2. Practicar la gestión temprana 3. Facilitar instrucciones para el equipo mejorado
Paso 7: Verificar resultados	<ol style="list-style-type: none"> 1. Evaluar los resultados en el tiempo conforme avanza el proyecto de mejora 2. Verificar si se han logrado los objetivos 3. Si no se han logrado reiniciar en el paso 3.
Paso 8: Consolidar beneficios	<ol style="list-style-type: none"> 1. Definir estándares de control para mantener los resultados 2. Formular estándares de trabajo y manuales 3. Retroalimentar información al programa de mantenimiento preventivo

Fuente: Elaboración propia.

⁸ SUZUKI, Tokutaro. TPM en industrias de proceso. Madrid: TGP-Hoshin. 1995. p.52-53.

4.6.2 Segundo pilar Mantenimiento Planeado. Montar un sistema de mantenimiento planeado requiere bastante trabajo, no es posible intentar hacerlo todo a la vez. Razón por la cual se recomienda la siguiente secuencia de pasos requiriéndose cooperación de todos los departamentos relevantes en cada uno de ellos⁹.

Tabla 3. Procedimiento paso a paso pilar Mantenimiento Planeado

PASO	ACTIVIDAD
Paso 1: Evaluar el equipo y comprender la situación actual de partida	<ol style="list-style-type: none"> 1. Preparar o actualizar los registros de los equipos 2. Evaluar los equipos: establecer criterios de evaluación, priorizar los equipos y seleccionar equipos y componentes para PM 3. Definir rangos de fallas 4. Comprender la situación: medir el número, frecuencia y severidad de fallos y pequeñas paradas; MTBF; costos de mantenimiento; tasas de mantenimiento de averías; etc. 5. Establecer objetivos de mantenimiento (indicadores, resultados)
Paso 2: Revertir el deterioro y corregir debilidades	<ol style="list-style-type: none"> 1. Establecer condiciones básicas, revertir el deterioro y eliminar los agentes que causan el deterioro acelerado (apoyar el mantenimiento autónomo) 2. Poner en práctica actividades de mejora orientada para corregir debilidades y ampliar los periodos de vida 3. Tomar medidas para impedir la ocurrencia de fallos idénticos o similares 4. Introducir mejoras para reducir los fallos de proceso
Paso 3: Crear un sistema de gestión de información	<ol style="list-style-type: none"> 1. Crear un sistema de gestión de datos de fallas 2. Crear un sistema de gestión de mantenimiento (historiales de máquinas, planificación de mantenimiento, planificación de inspecciones, etc.) 3. Crear un sistema de gestión de presupuestos de equipos 4. Crear sistemas para controlar repuesto, planos, datos técnicos, etc.
Paso 4: Crear un sistema de mantenimiento periódico	<ol style="list-style-type: none"> 1. Preparación del mantenimiento periódico (control de unidades de reserva, repuestos, instrumentos, lubricantes, planos, datos técnicos, etc.) 2. Preparar el diagrama de flujo del sistema de mantenimiento periódico 3. Seleccionar equipos a mantener y formular un plan de mantenimiento 4. Actualizar estándares (materiales, trabajo, inspección, aceptación)
Paso 5: Crear un sistema de mantenimiento predictivo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Introducir técnicas de diagnóstico de equipos (formar a diagnosticadores, comprar equipos de diagnóstico) 2. Preparar diagrama de flujo del sistema de mantenimiento predictivo 3. Seleccionar equipo y componentes para mantenimiento predictivo y ampliar gradualmente el sistema 4. Desarrollar equipos y tecnologías de diagnóstico
Paso 6: Evaluar	<ol style="list-style-type: none"> 1. Evaluar el sistema de mantenimiento planeado

⁹ SUZUKI, Tokutaro. TPM en industrias de proceso. Madrid: TGP-Hoshin. 1995. p.178-179.

PASO	ACTIVIDAD
el sistema de mantenimiento planeado	<ol style="list-style-type: none"> 2. Evaluar la mejora en la confiabilidad, numero de fallos y pequeñas paradas, MTBF, frecuencia de fallos, etc. 3. Evaluar la mejora de la mantenibilidad, tasa de mantenimiento, MTTR, etc. 4. Evaluar los ahorros en los costos, gastos de mantenimiento, mejora en la distribución de los fondos para mantenimiento

Fuente: Elaboración propia.

4.6.3 Tercer pilar Gestión Temprana. El siguiente procedimiento asegura que la gestión temprana de equipos y productos evolucione eficazmente¹⁰.

Tabla 4. Procedimiento paso a paso pilar Gestión Temprana

PASO	ACTIVIDAD
Paso 1: Investigar y analizar la situación existente	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar un diagrama de la actual gestión temprana 2. Identificar problemas en el diagrama 3. Detallar los mecanismos empleados para prevenir problemas identificados en cada fase ene puesta en servicio 4. Identificar los problemas ocurridos en las pruebas piloto, en las pruebas de producción y en el arranque a gran escala y las acciones correctivas tomadas 5. Identificar los retrasos ocurridos durante la producción piloto, pruebas de operación y arranque a gran escala 6. Recopilar toda la información relacionada con el diseño de productos, y equipos, con altos niveles de operabilidad, aseguramiento de calidad, mantenibilidad, confiabilidad, seguridad y competitividad
Paso 2: Establecer un sistema de gestión temprana	<ol style="list-style-type: none"> 1. Investigar y esquematizar la estructura básica del sistema de gestión temprana requerido y definir su aplicación 2. Investigar y establecer un sistema para acumular y usar la información requerida para la gestión temprana 3. Diseñar y revisar los estándares necesarios para operar los sistemas de los anteriores dos pasos
Paso 3: Depurar el nuevo sistema y facilitar información	<ol style="list-style-type: none"> 1. Avanzar y evolucionar paso a paso en cada fase de la gestión temprana 2. Formar al personal en las técnicas y estándares requeridos para funcionar con el nuevo sistema 3. En cada paso evaluar el nuevo sistema en función del grado de comprensión del personal, la eficiencia del uso de las técnicas, la eficacia de las retroalimentaciones, etc. 4. Usar los resultados de esta evaluación para modificar el sistema, los estándares y documentos
Paso 4: Aplicar	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ampliar la aplicación del nuevo sistema a todas las áreas

¹⁰ SUZUKI, Tokutaro. TPM en industrias de proceso. Madrid: TGP-Hoshin. 1995. p.222-224.

PASO	ACTIVIDAD
el nuevo sistema ampliando su radio de acción	2. Trabajar en la optimización de los costos del ciclo de vida y en intensificar el uso de la información en el diseño MP 3. Identificar los problemas de cada fase de la gestión temprana y cada tema a los que se aplica el nuevo sistema. Analizar cualquier problema que ocurra luego de entrar en servicio nuevas instalaciones. 4. Estandarizar métodos para el cierre de desfases producidos en las fases tempranas y lograr un arranque vertical en las fechas programadas

Fuente: Elaboración propia.

4.6.4 Cuarto pilar Educación y Entrenamiento. Para asegurar la eficiencia de la formación que requiere el personal operador en la implementación del mantenimiento autónomo, hay que desarrollar sistemáticamente los siguientes pasos¹¹.

Tabla 5. Procedimiento paso a paso pilar Educación y Entrenamiento

PASO	ACTIVIDAD
Paso 1: Analizar el programa de formación actual, establecer políticas y estrategias	Se recomienda hacer una profunda revisión del actual programa de formación, comprobando su efecto en la capacidad y especialización de las personas. Se debe identificar los problemas persistentes y perfilar políticas, metas y prioridades claras para un programa de formación que resuelva estos problemas, estas políticas, metas y prioridades servirán para guiar la acción a través de los siguientes pasos.
Paso 2: Elaborar un programa de formación para mejora de las capacidades de mantenimiento y operación	El personal de planta de planta debe pasar de ser técnicos de una especialidad o equipo a adquirir conocimientos teóricos y prácticos en múltiples especialidades. Para lograr personas competentes en cada nivel, la empresa debe elaborar un programa de formación desde lo básico a lo intermedio y a lo avanzado. Cada empresa debe diseñar su propio sistema ajustado a su equipo siendo necesario evaluar los programas de formación y reelaborarlos con las mejoras que sean necesarias.
Paso 3: Practica de la formación en mantenimiento y operaciones	Se debe elaborar un curriculum considerando los equipos de la empresa, determinando los niveles de capacidad requeridos, decidiendo los elementos específicos a enseñar y el tiempo requerido para su desarrollo y practica en los propios puestos de trabajo.
Paso 4: Proyectar y desarrollar un programa de formación permanente	La formación básica del personal se debe enfatizar en formación del propio trabajo y en el autodesarrollo. Paralelamente es esencial elaborar un programa de desarrollo de capacidades a largo plazo, que constituye un plan de formación permanente que debe ser ajustado a las necesidades de las personas, a los lugares particulares de trabajo, permitiendo afrontar

¹¹ SUZUKI, Tokutaro. TPM en industrias de proceso. Madrid: TGP-Hoshin. 1995. p.268-282.

PASO	ACTIVIDAD
	con éxito el ritmo del progreso técnico y de la automatización.
Paso 5: Promover un entorno que estimule el autodesarrollo	Los empleados deben reforzar sus habilidades y desarrollar capacidades por si mismos a través del trabajo diario. Sin embargo, cuando las personas están demasiado ocupadas en las tareas de rutina el autodesarrollo pierde prioridad, razón por la cual las empresas deben crear entornos en el que los empleados puedan perseguir sus metas individuales
Paso 6: Evaluar las actividades y planificar el futuro	Las actividades de formación se deben evaluar periódicamente y se comprueba el progreso de los individuos en los objetivos de desarrollo, capacidades y especialidades alcanzados. Periódicamente se debe revisar los sistemas, procesos y programas de formación que requiere la empresa, que ayuden al personal a conocer sus trabajos y equipos.

Fuente: Elaboración propia.

4.6.5 Quinto pilar Mantenimiento Autónomo. La implementación del mantenimiento autónomo se realiza en siete pasos, iniciando por la limpieza hasta llegar a la plena autogestión¹².

Tabla 6. Procedimiento paso a paso pilar Mantenimiento Autónomo

PASO	ACTIVIDAD
Paso 1: Realizar limpieza inicial	Eliminar el polvo y la suciedad del equipo Descubrir irregularidades como pequeños defectos, fuentes de contaminación, lugares inaccesibles y fuentes de defectos de calidad Eliminar elementos innecesarios, raramente usados y simplificar el equipo
Paso 2: Eliminar las fuentes de contaminación y lugares inaccesibles	Reducir el tiempo dedicado a dejar en orden el equipo, eliminando las fuentes de polvo y suciedad, evitando dispersión y mejorando las partes de limpieza, chequeo, lubricación, apriete o difícil manipulación.
Paso 3: Establecer estándares de limpieza, lubricación y apretado de pernos	Formular estándares de trabajo que ayuden a mantener la limpieza, lubricación y apriete de pernos a niveles adecuados con mínimo tiempo y esfuerzo Mejorar la eficiencia del trabajo de inspección introduciendo controles visuales
Paso 4: Realizar la inspección general del equipo	Facilitar formación sobre técnicas de inspección con base en manuales Poner en condición óptima a elementos individuales del equipo mediante la inspección general Modificar el equipo para facilitar el chequeo, Hacer un uso extenso de los

¹² SUZUKI, Tokutaro. TPM en industrias de proceso. Madrid: TGP-Hoshin. 1995. p.268-282.

PASO	ACTIVIDAD
	controles visuales
Paso 5: Realizar inspecciones generales de los procesos	Facilitar instrucción sobre los rendimientos de procesos, operaciones y ajustes, adiestrar sobre el manejo de anomalías con el fin de mejorar la confiabilidad operacional y tener operarios competentes Impedir las duplicidades u omisiones en la inspección, incorporando a la inspección periódica de cada equipo estándares provisionales de inspección, limpieza y reposición del proceso entero o del área
Paso 6: Mantenimiento autónomo sistemático	Instaurar el mantenimiento de calidad y de seguridad estableciendo claros procedimientos y estándares. Mejorar los procedimientos de preparación y reducir el trabajo en proceso Establecer un sistema de autogestión para mejorar el <i>¡Sujo</i> en el lugar de trabajo, las piezas de repuesto, herramientas, trabajo en curso, productos finales, datos, etc.
Paso 7: Practica plena de la auto-gestión	Desarrollar actividades de mejora y estandarizarías de acuerdo con los objetivos y políticas, y reducir costes eliminando el desperdicio en los lugares de trabajo Mejorar los equipos <i>¡levando</i> registros precisos del mantenimiento (p.e., MTBF) y analizando los datos sistemáticamente

Fuente: Elaboración propia.

4.6.6 Sexto pilar Mantenimiento de Calidad. Los siguientes son los pasos para poner en práctica el mantenimiento de calidad¹³.

Tabla 7. Procedimiento paso a paso pilar Mantenimiento de Calidad

PASO	DETALLE
Paso 1: Preparar matriz GA	Analizar las relaciones entre la calidad y los equipos/procesos: Chequear Las características de calidad Investigar Los tipos de defectos y los subprocesos donde se dan los defectos Evaluar seriamente los tipos de defectos
Paso 2: Preparar tabla de análisis de condiciones inputs-producción	Chequear deficiencias en las condiciones inputs-producción para cada tipo de defecto en cada subproceso Chequear si los estándares existen y se siguen
Paso 3: Preparar cuadro del problema	Clarificar <i>¡as</i> condiciones inputs-producción para los problemas de cada subproceso Actuar prontamente contra problemas que puedan atacarse en el punto. Determinar cuidadosamente medidas contra los

¹³ SUZUKI, Tokutaro. TPM en industrias de proceso. Madrid: TGP-Hoshin. 1995. p.263-264.

PASO	DETALLE
	problemas que no puedan tratarse inmediatamente Estratificar los tipos de defectos, diseñar técnicas de investigación y planificar medidas
Paso 4: Evaluar la seriedad de los problemas (FMEA 1}	Este paso orienta el esfuerzo de mejora del equipo: Priorizar los problemas valorando su efecto sobre el tipo de los defectos de calidad Decidir por anticipado la escala de evaluación
Paso 5: Usar el análisis P-M para rastrear hasta las causas de los problemas	Para los problemas más serios según análisis precedente, clarificar el fenómeno Investigar usando técnicas como análisis PM y proponer medidas
Paso 6: Evaluar el efecto de las medidas propuestas (FMEA 2)	Realizar una evaluación preliminar de la situación post mejora usando FMEA
Paso 7: Implantar las mejoras	Proceder a la implementación de las mejoras
Paso 8: Revisar las condiciones inputs producción	Revisar las condiciones inputs-producción identificadas en el paso 2 Chequear si las condiciones inputs-producción son apropiadas y correctas
Paso 9: Consolidar y confirmar los puntos a chequear	Usar los resultados del paso 8 para resumir los elementos de inspección Preparar una matriz de chequeo de la calidad
Paso 10: Preparar una tabla de control de componentes de calidad	Los estándares deben ser numéricos y observable Asegurar la calidad a través de condiciones de control estrictas

Fuente: Elaboración propia.

4.6.7 Séptimo pilar Eficiencia Administrativa. Los siguientes son los pasos a seguir para establecer un programa de mantenimiento autónomo administrativo. Es importante seguirlo paso a paso haciendo una auditoria antes de dar el siguiente paso¹⁴.

Tabla 8. Procedimiento paso a paso pilar Eficiencia Administrativa

PASO	MEJORA
Paso 1: Hacer limpieza e inventarios	Eliminar elementos innecesarios de oficinas e instalaciones comunes, y eliminar polvo y suciedad Entorno: verificar la temperatura, humedad, ventilación, luz natural y

¹⁴ SUZUKI, Tokutaro. TPM en industrias de proceso. Madrid: TGP-Hoshin. 1995. p.338.

PASO	MEJORA
iniciales	artificial, acústica, etc Local/equipos/«layout»*: limpiar, verificar, y reordenar mesas, mesas comunes, máquinas
Paso 2: Identificar y tratar problemas	identificar y corregir los defectos ocultos, deficiencias y pérdidas. (Investigar los fallos ocultos, ignorados, y defectos disfrazados por suciedad y los artículos de desecho.) Ejemplos: Acondicionadores de aire ruidosos, sitios desagradables Equipo de oficina deficientemente posicionado, sillas con altura errónea, funcionamiento deficiente, averías Iluminación y ventilación deficientes, colores no apropiados Equipos y accesorios que no encajan bien, pasillos y puntos de paso deficientes Suelos y paredes dañados y sucios
Paso 3: Atacar las fuentes de contaminación	Eliminar las fuentes de desechos, suciedad y pérdidas. Hacer más accesibles los puntos de inspección difícil. Reducir el número de lugares que deben limpiarse y chequearse, y acortar el tiempo requerido. Eliminar pérdidas en la fuente
Paso 4: Preparar estándares y manuales	Formular estándares de acción que permitan la limpieza y chequeo fiables, y evitar pérdidas
Paso 5: Formar y entrenar	Preparar programas de formación revisando y sistematizando los conocimientos y capacidades necesarios. Poner en práctica y supervisar el programa de formación, y mejorarlo constantemente investigando mejores métodos de formación
Paso 6: Realizar inspección general	Usar manuales de chequeo para entrenar en capacidades de chequeo. Identificar y eliminar las causas de deficiencias mediante inspección general Aumentar los controles visuales Revisar y mejorar los sistemas, y preparar estándares y manuales. Promover la tecnología de oficinas
Paso 7: Establecer plena autogestión	Aumentar el rendimiento administrativo y la eficiencia mediante mejoras basadas en la propia iniciativa de los empleados Mantener y mejorar el control visual

Fuente: Elaboración propia.

4.6.8 Octavo pilar HSE. En la siguiente tabla se presenta un programa para la revisión de la seguridad como parte integral de un programa de desarrollo del TPM, considerando que los accidentes y la contaminación se originan en los lugares de trabajo.

El programa debe iniciar con un plan de desarrollo basado en los propios lugares de trabajo, las instalaciones y los materiales allí presentes¹⁵.

Tabla 9. Procedimiento paso a paso pilar HSE

PASO	ACTIVIDAD
Paso 1: Limpieza inicial	Formación para la anticipación de riesgos y detección de problemas de seguridad Identificación de riesgos y medidas protectoras
Paso 2: Acción contra fuentes de contaminación y puntos inaccesibles	Mejorar estándares Aumentar seguridad de equipo, enlomo y trabajo
Paso 3: Preparar estándares provisionales	Promocionar ejercicios de seguridad individual y controles visuales Organizar ejercicios de trabajo con avisos verbales
Paso 4: Inspección general del equipo	Realizar formación sobre seguridad usando ejemplos reales
Paso 5: Inspección general del proceso	Mejorar la supervisión de condiciones Implantar medidas específicas para evitar deficiencias de operación Revisar diagramas de tubería/instrumentación
Paso 6: Sistematizar el mantenimiento autónomo	Revisar estándares - mejora continua
Paso 7: Establecer plena autogestión	Auditorias periódicas de seguridad por la dirección

Fuente: Elaboración propia.

4.7 LOS CINCO CEROS DE TPM Y AUMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD

Los esfuerzos de la dirección de una organización se centran en disminuir los factores que incrementan los retrasos en la producción y provocan pérdidas en la rentabilidad de la empresa. Las empresas que implementan TPM por lo general dan a conocer lo anterior por medio de anuncios y carteles con los cinco ceros, los cuales al mantenerlos al mínimo se contribuirá al logro de los objetivos de la dirección.

¹⁵ SUZUKI, Tokutaro. TPM en industrias de proceso. Madrid: TGP-Hoshin. 1995. p.347-350.

Los cinco ceros son:

- Cero averías
- Cero defectos
- Cero accidentes
- Cero contaminaciones
- Cero inventarios

Una implementación precisa de TPM incrementa la productividad si:

- Se ha desarrollado una cultura empresarial clara para la constante mejora de la eficiencia de la organización.
- Si existe un enfoque estandarizado para prevenir pérdidas conocidas o desconocidas.
- Si todos los departamentos participan para formar una organización multidisciplinaria para alcanzar las cero pérdidas.
- Si se siguen todos los pasos de implementación como una hoja de ruta y no como un menú rápido.
- Finalmente, TPM proporcionara las facilidades para alcanzar la excelencia operativa.

Contrario a los entornos de producción tradicionales, en TPM el operador de la maquina está capacitado para realizar un gran numero de las tareas diarias de mantenimiento simple y de localización de fallas. El operador puede entender la máquina, identificar potenciales problemas, corregirlos antes de que afecten la producción, disminuyendo el tiempo de inactividad y reduciendo los costos de producción.

Se ocupa de la limpieza diaria, verifica los niveles de lubricante, enciende los equipos, verifica el flujo de aceite y demás parámetros operativos antes de comenzar el trabajo productivo, al identificar cualquier defecto lo reporta al supervisor para asegurar la atención inmediata.

4.8 MOTIVOS POR LOS CUALES LOS OPERADORES NO ADOPTAN EL TPM

Los siguientes son los principales motivos por los cuales los operadores no adoptan el TPM como una forma de vida¹⁶.

- Desconocen el por que y donde, se deben realizar las comprobaciones periódicas del equipo.
- No tienen claridad de las rutinas de lubricación de los equipos, y de los puntos de lubricación.
- Cuando se logra identificar una anomalía en medio de la rutina, no se encuentran capacitados para abordarla adecuadamente.
- El operador no es consciente de las perdidas generadas por los tiempos de inactividad de la máquina.

4.9 EFECTIVIDAD TOTAL DEL EQUIPO (OEE)

La efectividad total del equipo cuantifica el desempeño de una unidad de producción, en relación a su capacidad diseñada, en los periodos en los que este programada para operar¹⁷.

¹⁶ D.R., Kiran. Total Quality Management. Key concepts and case studies. United Kingdom: Elsevier Ltd. 2017. p.208-209.

¹⁷ D.R., Kiran. Total Quality Management. Key concepts and case studies. United Kingdom: Elsevier Ltd. 2017. p.209-210.

El indicador OEE fracciona el rendimiento de una unidad productiva en tres componentes diferentes pero medibles, Disponibilidad, Rendimiento y Calidad.

Disponibilidad: Tiempo de funcionamiento / Tiempo de producción planificado

Rendimiento: Tiempo de funcionamiento neto / tiempo de funcionamiento

Calidad: Tasa o porcentaje de las piezas buenas de la producción total

$$OEE = Availability \times Performance \times Quality$$

Cuando el índice OEE es deficiente, se pueden presentar hasta seis importantes pérdidas.

Tabla 10. Seis principales categorías de pérdidas por indicador OEE deficiente.

PRINCIPALES CATEGORIAS DE PERDIDAS POR INDICADOR OEE DEFICIENTE	
1	Planes detallados de trabajo o Eventos externos no planificados
2	Fallas > 5 minutos
3	Paradas menores < 5 minutos
4	Perdida de velocidad
5	Rechazos de producción
6	Rechazos de puesta en marcha

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta una tabla de resumen de las seis grandes pérdidas, la cual resulta ser muy práctica, en la tabla se puede identificar el componente medible del indicador OEE al cual se encuentra asociada cada una de las seis categorías de pérdidas, se indican las razones de origen de las pérdidas y las contramedidas o acciones que se pueden tomar para cada caso.

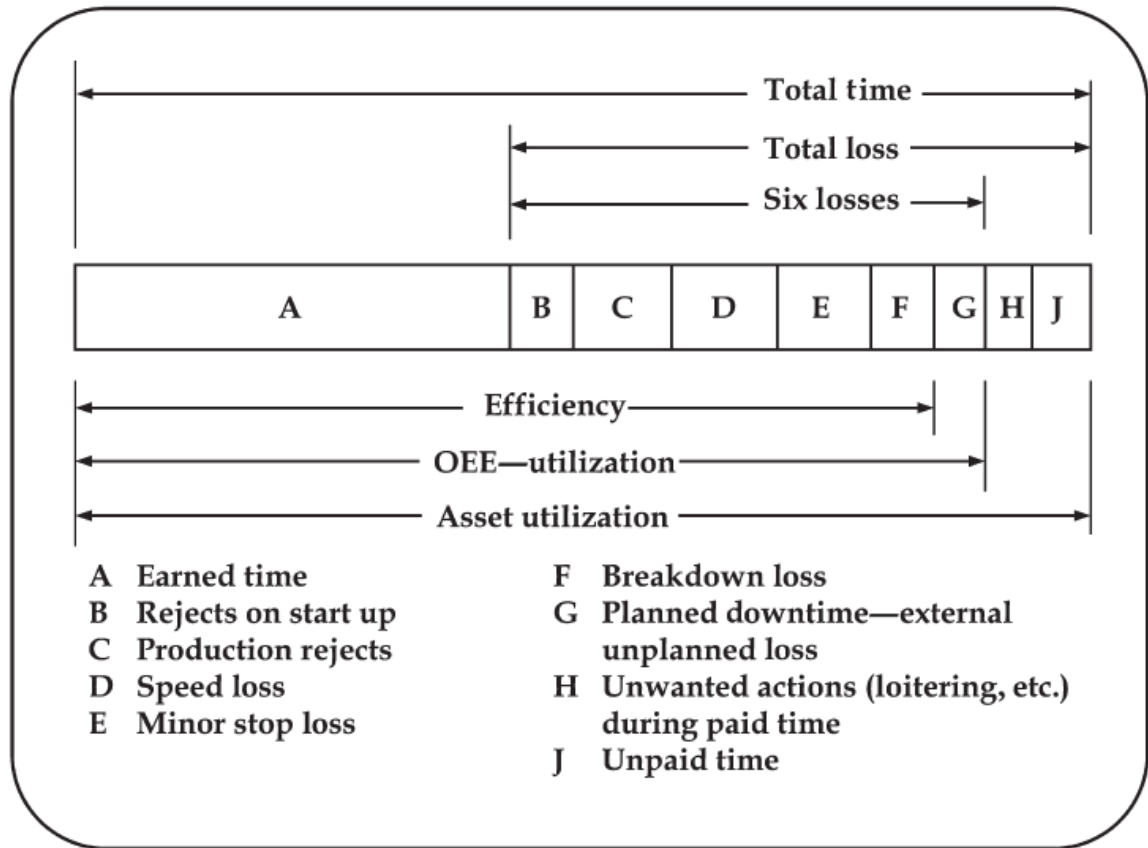
Cuadro 8. Seis principales pérdidas por OEE deficiente.

No.	Medida OEE	Categoría de seis pérdidas	Razón de la pérdida	Contramedidas
1	Disponibilidad	Tiempo de Inactividad planificado o evento externo no planificado	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cambios 2. Mantenimiento planificado 3. Escasez de material 4. Escasez de mano de obra 	<ul style="list-style-type: none"> • Gestión planificada del tiempo de inactividad • Organización del lugar de trabajo 5S • Planificación ABC
2	Disponibilidad	Averías	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fallo del equipo 2. Fallo de un componente importante 3. Mantenimiento no planificado 	<ul style="list-style-type: none"> • Kaizen Blitz • ProACT • Análisis de raíz de la causa • Cuidado de activos
3	Desempeño	Paradas menores	<ol style="list-style-type: none"> 1. Producto caído 2. Obstrucción 3. Bloqueo 4. Desalineación 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de oportunidades • Organización del lugar de trabajo 5S • Rutinas de gestión • Auditorías de paradas menores de línea
4	Desempeño	Pérdida de velocidad	<ol style="list-style-type: none"> 1. Funcionamiento a velocidad inferior a la nominal 2. Operador no capacitado que no puede correr a velocidad nominal 3. Desalineación 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de oportunidades IFA • Optimización de balance de línea • Rutinas de gestión
5	Calidad	Rechazos de producción	<ol style="list-style-type: none"> 1. Producto fuera de especificación 2. Producto dañado 3. Chatarra 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de oportunidades IFA • Six Sigma • Prueba de error
6	Calidad	Rechazos de arranque	<ol style="list-style-type: none"> 1. Producto fuera de especificación al inicio de la ejecución 2. Desecho creado antes del funcionamiento nominal después del cambio 3. Producto dañado después de la actividad de mantenimiento planificada 	<ul style="list-style-type: none"> • Gestión planificada del tiempo de inactividad • Organización del lugar de trabajo 5S • Estándar de Procedimientos Operativos • Ajustes de precisión

Fuente: D.R., Kiran. Total Quality Management. Key concepts and case studies. United Kingdom: Elsevier Ltd. 2017. p.186.

En la siguiente imagen se presenta de forma gráfica como las seis pérdidas impactan en el tiempo de utilización de los activos respecto al tiempo total en el que se encuentran disponibles. El objetivo es incrementar significativamente el tiempo A que corresponde al tiempo ganado en el activo, el cual tiende a verse reducido por un total de pérdidas que se encuentra compuesto por H acciones no deseadas, por J tiempo de operación no pago y B, C, D, E, F y G que corresponden a las seis grandes pérdidas, las cuales se pueden controlar e incluso reducir con las acciones propuestas en la anterior tabla.

Figura 15. Imagen de las seis pérdidas por OEE.

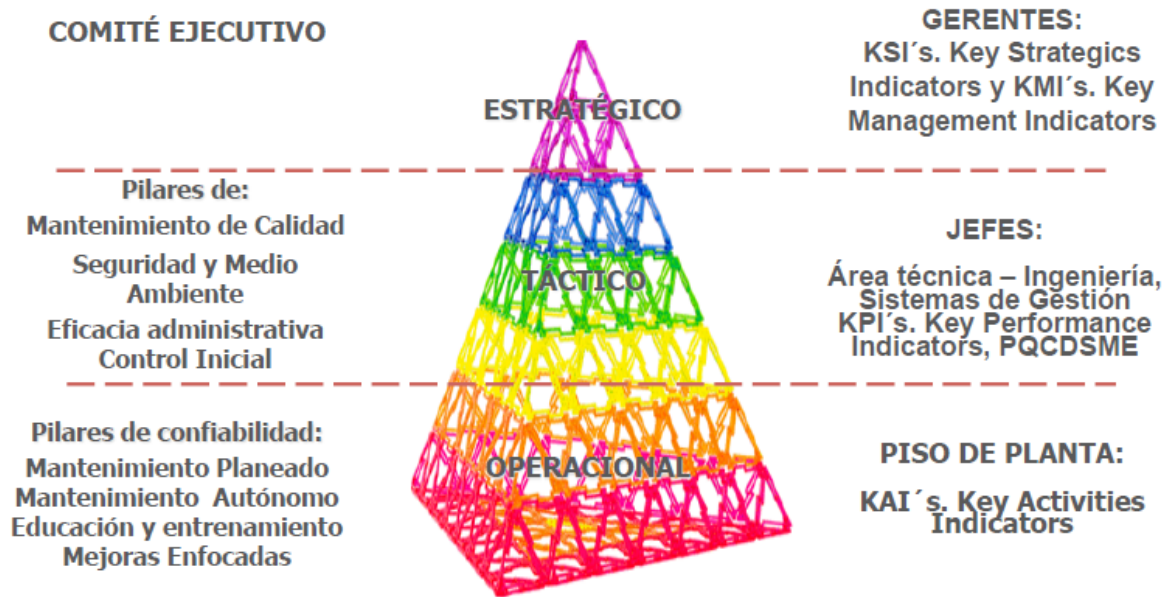


Fuente: D.R., Kiran. Total Quality Management. Key concepts and case studies. United Kingdom: Elsevier Ltd. 2017. p.187.

4.10 NIVELES DEL TPM

4.10.1 Los tres niveles holísticos de TPM. Los niveles holísticos del TPM son tres, el primer nivel es el operacional en el cual se emplean los pilares de mantenimiento planeado, mantenimiento autónomo, educación y mantenimiento y mejoras enfocadas, el segundo nivel es el táctico, en el cual influyen los pilares de mantenimiento de calidad, HSE, eficiencia administrativa y control inicial, el tercer nivel es el Estratégico que contiene las decisiones estratégicas tomadas por el comité ejecutivo. La siguiente imagen muestra la estructura de los niveles.

Figura 16. Los tres niveles holísticos de TPM.

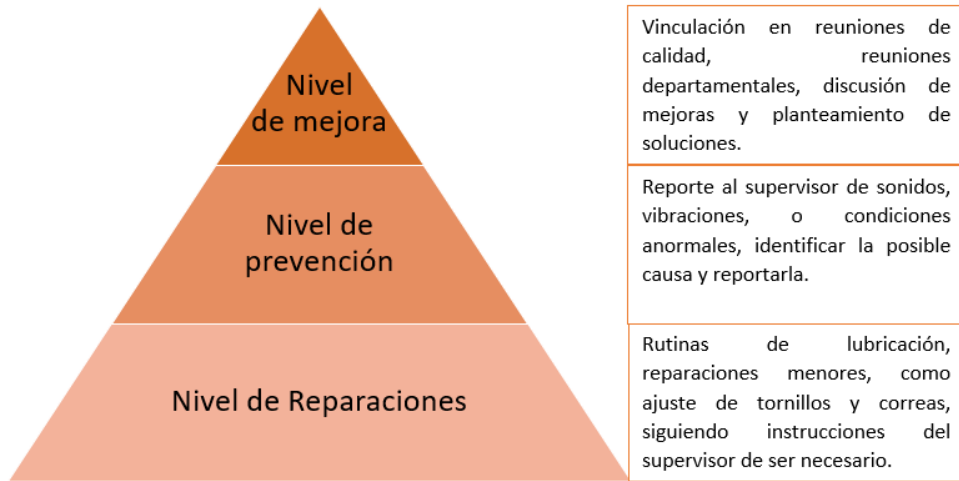


Fuente: AGUILAR, Mauricio. Mantenimiento Productivo Total. Material de asignatura. Especialización Gerencia de Mantenimiento, cohorte XXXIII. Bogotá: UIS. 2020.

4.10.2 Los tres niveles de mantenimiento autónomo en TPM. Los tres niveles de mantenimiento autónomo son los niveles en que los operadores se pueden ubicar dependiendo del tipo de gestión en mantenimiento que desarrollan, el primer nivel es el nivel de reparaciones de TPM, el segundo nivel es el de prevención de TPM y el tercer nivel es el de mejora de TPM, en la siguiente pirámide se presentan los niveles¹⁸.

¹⁸ D.R., Kiran. Total Quality Management. Key concepts and case studies. United Kingdom: Elsevier Ltd. 2017. p. 210.

Figura 17. Los tres niveles de mantenimiento autónomo en TPM.



Fuente: Elaboración propia.

4.11 LOS CINCO OBJETIVOS DE TPM¹⁹

1. El objetivo principal de TPM es mejorar la eficiencia productiva. Identifica y examina todas las pérdidas que ocurren, ya sean pérdidas por tiempo de inactividad o pérdidas de velocidad o pérdidas por defectos.
2. TPM logra un mantenimiento autónomo al motivar a los operadores a asumir la responsabilidad de las tareas de mantenimiento de rutina.
3. TPM adopta un enfoque sistemático para todas las actividades de mantenimiento. Identificando el nivel y la naturaleza del mantenimiento preventivo para la máquina y el equipo, y desarrollando estándares para el monitoreo de condiciones. Considerando los operadores como los dueños de las máquinas que

¹⁹ D.R., Kiran. Total Quality Management. Key concepts and case studies. United Kingdom: Elsevier Ltd. 2017. p.210-212.

se ocupan de su cuidado general y el personal de mantenimiento como los especialistas que brindan apoyo a las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo.

4. TPM define las responsabilidades de los operadores y del personal de mantenimiento, y las habilidades que cada uno de estos requieren para llevar a cabo sus funciones. TPM requiere una continua y apropiada capacitación, siendo el departamento de mantenimiento el responsable de capacitar a los operadores en el mantenimiento de rutina y menor.

5. TPM trabaja en establecer de forma temprana los aspectos de mantenimiento de los equipos. Su objetivo es avanzar hacia el mantenimiento cero mediante un programa de mantenimiento preventivo (MP). Analizando las causas de fallas y la mantenibilidad de los equipos en las etapas de diseño, fabricación, montaje, y puesta en servicio del equipo.

4.12 PROCEDIMIENTO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL TPM

D.R. KIRAN en su obra *TOTAL QUALITY MANAGEMENT KEY CONCEPTS AND CASE STUDIES*, nos presenta el siguiente procedimiento para la implementación del TPM²⁰.

1. Estudiar el historial de los equipos, registros de mantenimiento, etc., y elaborar un informe preliminar relacionado con la necesidad de implementación del TPM.
2. Obtener de la alta dirección el compromiso para la implementación del TPM.

²⁰ D.R., Kiran. Total Quality Management. Key concepts and case studies. United Kingdom: Elsevier Ltd. 2017. p.187-188.

3. Socializar el proyecto de implementación de TPM, con todos los interesados, jefes de departamento, supervisores, sindicato, colaboradores.
4. Definir las metas y las normas para los parámetros del TPM, como los estándares de efectividad y disponibilidad de equipo.
5. Desagregar los trabajos de mantenimiento en las siguientes tres clases:
 - Trabajos de mantenimiento de rutina que podrían ser ejecutados por el operador:
 - Limpieza y conservación de equipos.
 - Ajustes y reparaciones menores como el apriete de tornillos.
 - Monitoreo de condiciones en línea, con ayuda del supervisor de producción.
 - Trabajos que deben ser ejecutados por personal de mantenimiento:
 - Trabajos de fallas importantes.
 - Ejecución de ordenes de mantenimiento y purgas.
 - Paradas de planta para la ejecución de mantenimientos preventivos.
 - Verificaciones mayores y monitoreo de condiciones fuera de línea.
 - Paradas mayores y reparaciones.
 - Trabajos que deben ser realizados por grupos de servicio técnico y de planeación:
 - Todo el mantenimiento preventivo planeado de equipos eléctricos.
 - Alteraciones en el diseño de los equipos para adecuarlos al mantenimiento.
 - Elaboración de las listas de verificación periódica.
 - Inspecciones especializadas y monitoreo de condiciones.
 - Control de inventario de repuestos.
 - Subcontratación de trabajos de mantenimiento.
 - Diseño de documentos y formatos para el mantenimiento de mantenimiento.

6. Hacer los ajustes necesarios en los grupos de operación, mantenimiento y planeación, necesarios para la adaptación a la desagregación de los trabajos de mantenimiento del anterior punto y realizar designaciones específicas del personal cuando sea necesario y posible.
7. Introducción del concepto de mantenimiento autónomo en el grupo de producción.
8. Procurar la asistencia y cooperación del personal de producción, en los trabajos de atención de fallas importantes y paradas de planta, en conjunto con el personal de mantenimiento. Generando sentido de pertenencia y capacitando en aspectos relevantes de la maquina y su mantenimiento.
9. Promover medidas preventivas de mantenimiento.
10. Evaluar los resultados del TPM con respecto a las metas establecidas.
11. Asegurar que se mantenga el sistema implementado por lo menos durante un año. Estar dispuesto a responder y resolver cualquier inquietud o consulta del personal interesado en el sistema.

5. TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

5.1 REPORTES DE FALLA

Como buena práctica de seguimiento a la confiabilidad, cada que se genera un evento que afecta la entrega continua de energía al campo se debe elaborar en conjunto por parte del operador, supervisor y si el evento lo requiere con apoyo del personal de mantenimiento un reporte de falla en un formato pre-establecido (ver cuadro 9) donde se deben diligenciar ordenadamente los principales hechos que describan lo sucedido como lo son que fue lo que sucedió, donde, cuando, antecedentes de la falla, como se dio la secuencia de eventos de la falla y sus respectivos hallazgos, acompañado de un registro fotográfico significativo relacionado con el fallo y un análisis 5 por qué.

Cuadro 9. Recorte de formato de reporte de falla.

 		FORMATO PARA REPORTE DE FALLA PARA EVENTOS MENORES		Versión: 3.0 Código:	
REPORTE DE FALLA:					
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA					
¿Qué?					
Detalle del Evento					
2020-03-27					
16:52:32 Salida total de Generadores Guascor por baja presión de GAS					
¿Dónde?					
Campo:	Entrerrios		Fecha del Reporte	2020-03-27	
Equipo que Fallo	Generador # 1,2,3,4,5		TAG del Equipo	N/A	
Componente o Parte en falla	TRAILER DE GNC		Serie:	S06279	
Modo de Falla	Obstrucción congelamiento de condensados				
¿Cuándo?					
Sobre el Evento			Después del Evento		
Fecha del Evento	2020-03-27	Horómetro	N/A	Fecha de Disponibilidad del Equipo	2020-03-27
Hora del Evento	16:52:32	Numero de Arranques	N/A	Hora de Disponibilidad del Equipo	17:18:00
Sobre el Sistema					
Tiempo de No Disponibilidad del Sistema	00:25:28		Hora Energización TR20500	N/A	
Antecedentes del Evento:					
Numero de Aviso	N/A		Cuantas veces ha pasado:	2020 (1 veces)	
Antecedentes del Evento: Ya se han presentado casos similares en la operación de Generación 2020-03-27 16:52:32 Salida del G-4 falla baja presión de aceite - 16:52:34 Baja presión de GAS 16:52:32 Salida del G-1 Falla baja presión de aceite 16:52:32 Salida del G-3 Falla Mínima tensión de RED					

Fuente: Elaboración propia.

El llevar este tipo de documentación como lo son los reportes de falla de cada uno de los eventos sucedidos de forma disciplinada y constante (**Shitsuke**) permite que con los datos se puedan consolidar y clasificar posteriormente en una tabla o un listado de eventos (ver tabla 13 recorte del Anexo C). Este tipo de documento genera la posibilidad de llevar una trazabilidad de las fallas presentadas. Este documento es algo un poco más sencillo y practico de diligenciar que un RCA (Análisis Causa Raíz) y facilita la gestión y manejo para fallas que no son de alto impacto.

5.2 TABLA DE EVENTOS

Este documento permite la organización (**seiton**) de los datos cronológicamente en el orden que se van presentando, de ahí se contabilizan y clasifican (**Seiri**) con formulaciones sencillas como “=CONTAR.SI(N2:N122;"Alta temperatura") ello con el fin de cuantificar que eventos son los que más generan impacto en la producción durante un determinado periodo de tiempo. Para facilitar el conteo mediante la formulas es importante estandarizar (**Seiketsu**) la identificación de los diferentes modos de falla que se presentan en los respectivos eventos ver cuadro 10.

Cuadro 10. Recorte de tabla de eventos.

ID	FECHA	SISTEMA	TAG	Hora de inicio	Hora de Finalización	Downtime	Tipo de evento	Tipo de Mantenimien	OBSERVACIONES	Parte que falla	Modo de falla	Sistema que fallo	Downtime mes	Horas
118	3/03/2020	GENERACIÓN	EG-5	8:08:00 a. m.	9:12:00 a. m.	1	NP	Correctivo	08:08 Se presenta caída de la carga (bombas de inyección y pozos 6,7,8) por disparo de del interruptor Tr2500 y seccionador # 2. En el portico, 09:12 Sar normaliza carga del campo. 8:35 sale de línea Gen# 5 para realizar lavado de radiador, 11:30 entra en línea el gen# 5 en modo de reparo.11:40 Gen # 6 queda disponible.	TBD	Otras fallas Falla línea de media tensión	TBD		
119	14/03/2020	GENERACIÓN		1:26:00 p. m.	1:45:00 p. m.	0,316666667	NP	Operativo	13:26:01 salida del sistema de Generacion. parada subita de los Generadores, 1-3-4-5, Por descarga atmosférica 13:45 Entran en línea Generacion en espera de carga por parte de la operadora.	Fusible	Descarga atmosférica	SPT		
120	26/03/2020	GENERACIÓN	EG-2	2:34:00 p. m.	3:00:00 p. m.	0,433333333	NP	Operativo	14:34 Se presenta salida de generación en el momento de sacar el Gen 2 para quedar con 4 Generadores. Maniobra solicitada por PS y concertada con Petromil. 14:38 Gen#1 encendido 15:00 PS inicia a subir carga al sistema / 15:45 PS normaliza la carga del campo		Otras fallas AI	TBD		
121	27/03/2020	GENERACIÓN		4:52:00 p. m.	5:18:00 p. m.	0,433333333	NP	Operativo	16:52 se presenta Shutdown Salida por baja presión de GAS / 17:18 PS inicia a subir carga al sistema / 18:00 PS normaliza la carga del campo	Manifold 1".	Obstrucción congelamiento de condensados	Suministro Gas	Marzo	2,18

Fuente: Elaboración propia.

5.3 MALOS ACTORES

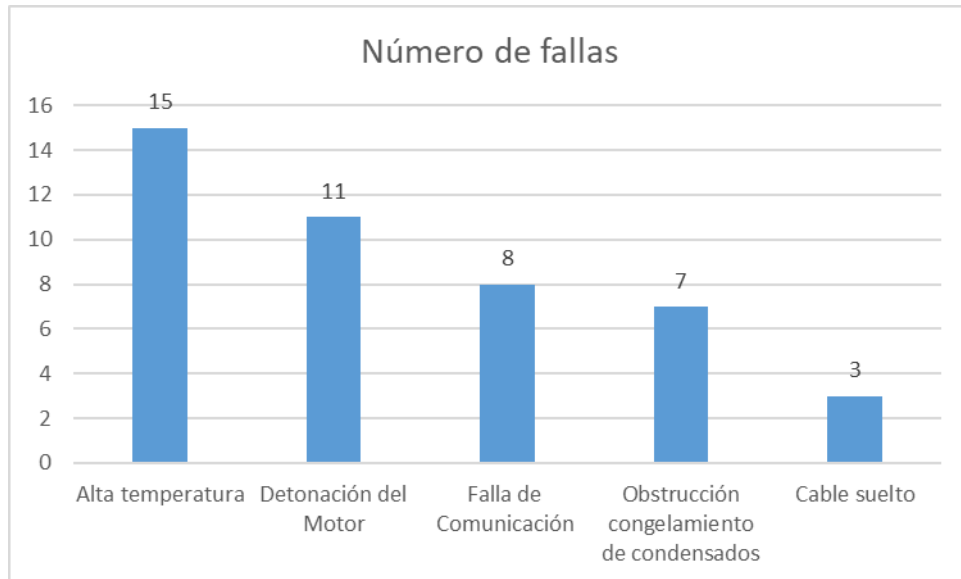
Al clasificar y ordenar los modos de falla se llega a tener tablas de resumen como la del cuadro 11, el cual al graficarla nos muestra el orden de los malos actores del sistema de generación ver figura 18 ordenadas por su recurrencia de izquierda a derecha.

Cuadro 11. Resumen de eventos.

Modo de falla	Número de fallas
Alta temperatura	15
Detonación del Motor	12
Falla de Comunicación	8
Obstrucción congelamiento de condensados	7
Cable suelto	3

Fuente: Elaboración propia.

Figura 18. Malos actores.

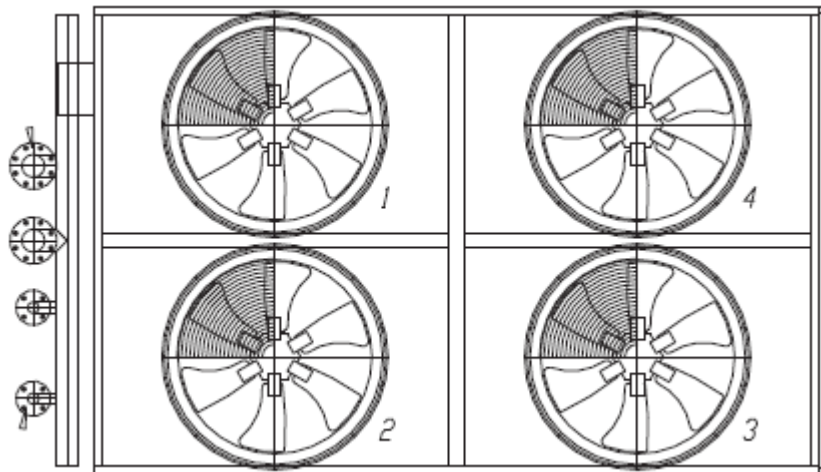


Fuente: Elaboración propia.

5.3.1 Alta temperatura de motor. En la tabla de eventos del Anexo C se observa que es uno de los malos actores que ocasionó mas fallas. Siendo 15 fallas por este concepto. La falla por alta temperatura se genera en su mayoría por falla en los aeroenfriadores de los generadores. Cada generador posee 4 aero-enfriadores de los cuales por diseño tienen 2 alimentaciones para los 4 motores siendo una alimentación compartida para cada 2 aero-enfriadores, de esta forma cuando falla un motor se dispara la proteccion eléctrica compartida quedando sin alimentacion 2 motores simultaneamente.

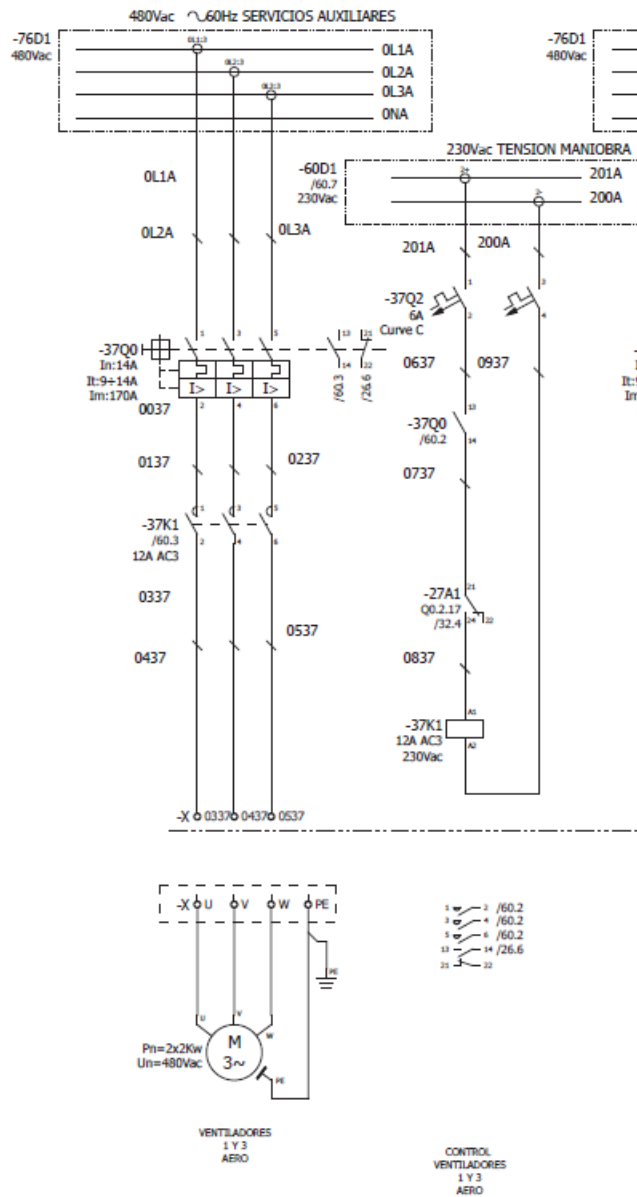
Cuando se ocasiona la parada de un generador por falla de un motor de aeroenfriador la solución mas inmediata es suspender la alimentación eléctrica al motor en falla y dejar operando el generador con 3 motores aero-enfriadores. Por ello una de las mejoras que ayudarían a minimizar este problema es la independización de los circuitos de manera que cada uno de los motores tenga su respectivo guardamotor y cableado desde el respectivo cuadro de control, de esta forma cuando halla una falla de aeroenfriador automaticamente se dispararía un solo motor y automaticamente el generador entraría a operar con 3 aeroenfriadores sin ocasionar disparo del generador por alta temperatura.

Figura 19. Recorte de plano vista en planta de Aero-enfriadores.



Fuente: recorte de página 237 siemens manual de instalación VEC002647 al 51_A SGE-56SL

Figura 20. Recorte de plano electrico actual de Aero-enfriadores.



Fuente: recorte de página 145 siemens manual de instalación VEC002647 al 51_A SGE-56SL.

Por otra parte estos motores son de una potencia promedio de 2 kW y su operación es intermitente dependiendo de la temperatura del refrigerante, su continuo ciclaje (arranque parada) hace que los rodamientos no den la durabilidad deseada y en promedio llegan a fallar estando cercanos a las 10000 horas de uso. Otra mejora que podría aumentar esta durabilidad de sus rodamientos es

reemplazar los contactores por arrancadores suaves para evitar el impacto generado en cada ciclo de arranque.

Fotografía 9. Aeroenfriadores.



Fuente: Elaboración propia.

Otra razón para que el sistema de refrigeración pierda eficiencia y trabaje de manera forzada, con mayores intervalos de operación de los aeroenfriadores y a una temperatura más elevada es la contaminación del radiador con polvo presente en el ambiente, por ello es importante la ejecución periódica y disciplinada del lavado de radiadores cada 1440 horas (ver fotografía 10).

Fotografía 10. Rutina de lavado de radiador.



Fuente: Elaboración propia

Con la disposición actual de equipos el punto de conexión de los GTM tiene cercanía con los generadores, los tractocamiones que los mobilizan deben llegar hasta ese punto generando exeso de polvo en el ambiente debido a que el tramo carretable no es pavimentado. Una de las oportunidades de mejora para disminuir la contaminación por polvo presente en el ambiente es evaluar la viabilidad tecnico-económica de pavimentar esa zona, aplicarle mas gravilla o reubicar el punto de cargue y descargue de los GTM.

5.3.2 La detonación de motor. En la tabla de eventos del Anexo C se observa que es uno de los malos actores que ocasionó mas fallas . Siendo 11 fallas por este concepto dadas entre los meses cercanos a octubre de 2019. Los motores llegan al punto de generar detonaciones por falta de calibración de válvulas (ver fotografía 12), por desajuste mecanico en las culatas o por alteraciones en la carburación de los motores.

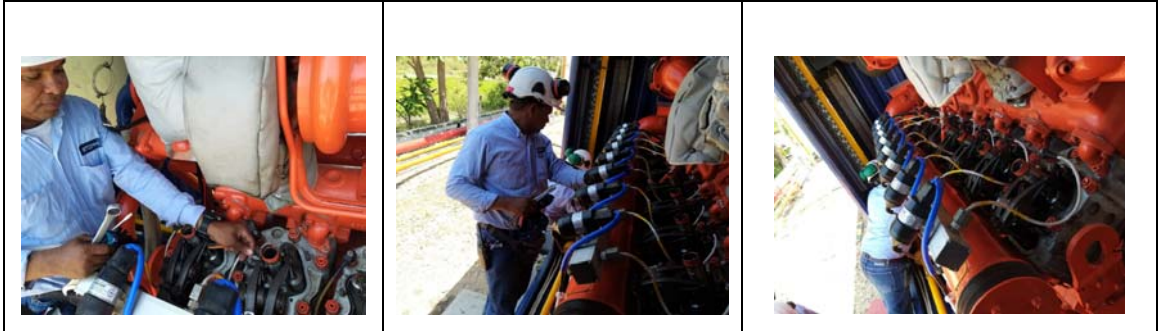
La pantalla o HMI de cada generador posee un SOE secuenciador de eventos en el cual se puede identificar los eventos que se generan en orden cronológico, para identificar el piston genera la detonación se observa el led activado en modulo detcon (ver fotografía 11 recuadro central) y se compara con el orden de encendido (ver fotografía 11 recuadro derecho) el cual es tomado de una de las placas del motor.

Fotografía 11. Detonación de motor.



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 12. Calibración de válvulas.



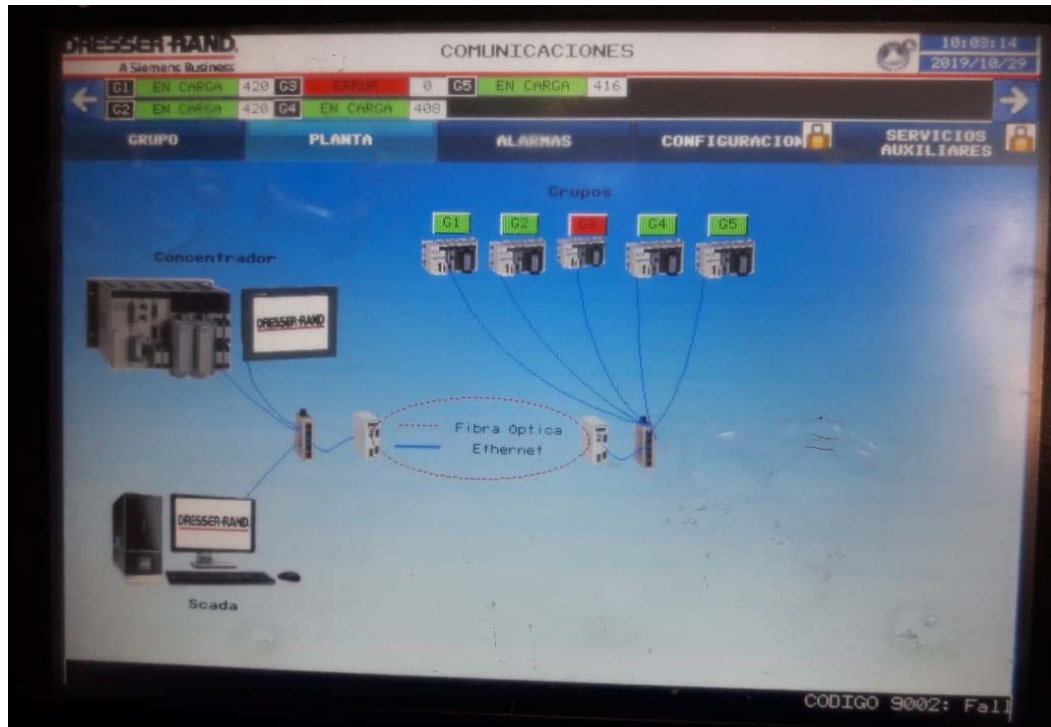
Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la fotografía 12 la tarea de calibración de válvulas se debe realizar de manera disciplinada en cada generador cada que se acumulen 2500 horas de operación, dado que es una tarea de bastante cuidado y un poco dispendiosa es importante que el operador en turno apoye la ejecución al electromecánico que realiza la tarea.

Para la verificación de la carburación de los generadores se requiere poseer un analizador de oxígeno, computador portátil, el software y la interfase para rajustar el módulo de combustión, por esta razón es una tarea que se sugiere debe ser realizada exclusivamente por el personal de mantenimientos mayores, dentro del plan de mantenimiento se sugiere realizar esta tarea cada 2500 horas de operación.

5.3.3 Falla de comunicaciones. En la tabla de eventos del Anexo C se observa que es uno de los malos actores Siendo 8 fallas por este concepto. La falla de comunicaciones se genera por pérdida de sincronía en las comunicaciones entre el concentrador principal y uno de los generadores.

Fotografía 13. Topología de red.



Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Fotografía 13 la topología de red empleada en este proyecto es tipo estrella donde de la comunicación hacia cada generador desde un switch principal se realiza con un solo cable lo cual hace que sea un sistema un poco vulnerable debido a que no hay redundancia en cableado. Adicional a esto los accesorios y el cableado empleado para este fin no son que suelen tener las redes ethernet industriales.

Dado que es uno de los malos actores con tercera posición en impactos hacia la operación una posible mejora para darle más robustez al sistema de comunicaciones es el reemplazo del cableado y accesorios por tipo industrial, evaluar la viabilidad técnica para cambiar la topología del conexionado actual tipo estrella por tipo anillo, otra opción de mejora a evaluar es el reemplazo de los tramos largos de utp que están cercanos a los 70 metros por cableado en fibra óptica.

5.3.4 Obstrucción por congelamiento de condensados. En la tabla de eventos se observa que es uno de los malos actores Siendo 7 fallas por este concepto. El Gas llega a campo en los GTM a alta presión, antes de pasar por la estación de reducción de presión PRP el gas pasa por líneas de diámetro de 1", el alto flujo a través de los accesorios genera descenso de temperatura lo cual unido a la presencia de condensados en los GTM desencadena en congelamiento temporal de las líneas, obstrucciones y finalmente generando la pérdida de presión en el sistema en general y el apagado de todos los generadores por falta de gas combustible.

Debido a que el taponamiento se está presentando en puntos en los cuales técnicamente es poco viable la separación de condensados por los métodos tradicionales Para darle mejoría a este tema se debe asegurar la metodología adecuada para asegurar la ausencia de condensados en los GTM, para ello se requiere poder hacer un seguimiento trazable al drenado de los módulos con una periodicidad razonable.

5.3.5 Cable suelto. En la tabla de eventos se observa que es uno de los malos actores Siendo 3 fallas por este concepto. Debido a que los motores son equipos rotativos sometidos a vibración constante, se generan continuamente desajustes en el cableado.

Dentro de las actividades de mantenimiento preventivo rutinario están algunas como inspección de bujías, la limpieza de cabina y ejecución de rutina de retorqueo al cuadro de control, estas actividades se deben ejecutar cada 730 horas y requieren parada del equipo para su respectiva intervención de manera segura y de forma que no se ponga en riesgo la confiabilidad del sistema.

Al revisar el torqueo de las conexiones periódicamente en cierta forma se asegura que se tenga una mejor confiabilidad de los equipos individualmente y al realizar

esta tarea disciplinadamente en todos los equipos aumenta la confiabilidad global al sistema.

Dado que para la operación del sistema de generación se lleva a cabo por personal con competencias de tecnico electricista con tarjeta conte esta es una tarea que se e puede asignar al personal de operación.

5.3.6 Otras fallas. Manga Fisurada, Bajo voltaje, Falla línea de media tensión, Descarga atmosférica, Alta reactiva, Sistema detección de incendio, Falla en regulación de voltaje, Pérdida de aislamiento corto. Estas fallas tienen poca recurrencia.

5.4 HISTORIAL DE FALLA SISTEMA GENERACION.

Otra de las ventajas de la organización y clasificación de los datos es poder sacar estadísticas como el número de horas de indisponibilidad total generadas mensualmente, ello al graficarlo nos arroja visualmente el comportamiento de la indisponibilidad en función del tiempo.

En la figura 21 se tienen las horas totales de indisponibilidad por mes del sistema de generación de energía. Como se puede observar los meses de septiembre y octubre de 2019 se llegaron a niveles críticos de indisponibilidad generando afectaciones económicas reflejadas en la facturación de esos periodos.

Estos incrementos en las afectaciones del mes octubre de 2019 se generaron debido a la entrada a falla del generador 4 el primero de octubre el cual tuvo afectación en el piston numero 16, posterior a este evento el 19 de octubre se generó otro evento de detonación en el generador 3 el cual presentó anomalías en el sistema de balancines de las válvulas por lo tanto hubo que sacarlo previamente para servicio de mantenimiento de las 10.000 horas.

Los incrementos de indisponibilidad de octubre de 2019 dejaron como lección aprendida que es imprescindible priorizar la ejecución de los planes de mantenimiento aun cuando ello implique reducción en la producción para evitar llegar a tener indisponibilidades forzosas.

Figura 21. Grafico de indisponibilidad en horas.



Fuente: Elaboración propia

6. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

6.1 ANALISIS DE MALOS ACTORES.

A partir del tratamiento de la información realizado en el capítulo anterior, al historial de eventos de las unidades del sistema de generación Entrerrios, se logra identificar los principales malos actores en los cuales se origina el problema de generación que se pretende solucionar, para lo cual es necesario analizar cada uno de estos malos actores, identificar las posibles causas y plantear mejoras apalancadas en los pilares de TPM que permitan generar soluciones al problema en estudio.

Se realiza un análisis de los principales malos actores, los cuales se presentan en la siguiente tabla de acuerdo a la cantidad de fallas presentadas de cada uno de ellos. Es importante señalar que la ocurrencia de estos malos actores originan la salida de una o varias de las unidades de generación del sistema y en ocasiones la salida en cascada de todas las unidades dejando el sistema de generación completamente fuera de servicio, con las pérdidas en la generación que ello representa.

Tabla 11. Malos actores identificados.

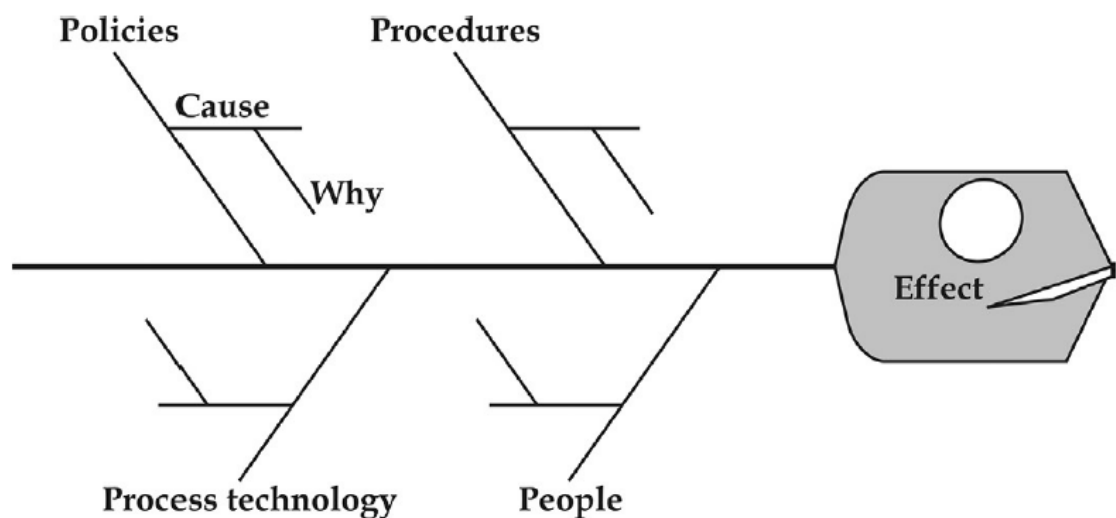
MALOS ACTORES	NUMERO DE FALLAS	PORCENTAJE
Altas temperaturas	15	34%
Detonaciones de motor	11	25%
Fallas de comunicación	8	18%
Congelamiento de condensados	7	16%
Cableado suelto	3	7%
TOTAL, DE FALLAS	44	100%

Fuente: Elaboración propia.

El análisis se realiza a partir de los modos y efectos de falla documentados en la información primaria del anterior capítulo (registro de eventos campo Entrerrios), a partir de los cuales se establecen relaciones de causa y efecto aplicando las 4Ps usados en el caso de los servicios industriales²¹, dado que el caso de estudio es el servicio de generación de energía de un campo petrolero. Donde las 4Ps son Políticas: Políticas; Procedures: Procedimientos; Process technology: Procesos tecnológicos y People: Personal.

El siguiente es un diagrama de pescado (diagrama de Ishikawa) para el caso de servicios industriales, el cual facilita el análisis causa – efecto, considerando las 4Ps, para la identificación de las posibles causas raíz ante un evento o efecto determinado.

Figura 22. Diagrama de Ishikawa para servicios industriales.



Fuente: D.R., Kiran. Total Quality Management. Key concepts and case studies. United Kingdom: Elsevier Ltd. 2017. p.280-282.

²¹ D.R., Kiran. Total Quality Management. Key concepts and case studies. United Kingdom: Elsevier Ltd. 2017. p.280-282.

6.1.1 Análisis Causa – Efecto, Altas Temperaturas. En la tabla de malos actores se puede apreciar que las Altas Temperaturas presentaron 15 fallas del total de 44, representando el 34% de las fallas que ocasionan que el sistema de generación deje de operar. Lo anterior debido a que por altas temperaturas se sale la unidad que presenta el problema y luego en cascada se salen las demás unidades por la alta demanda de carga que tiene el campo Entrerrios.

Realizado el análisis causa – efecto de la falla de Altas Temperaturas bajo los parámetros de las 4Ps se identificaron las siguientes causas principales.

Tabla 12. Principales causas de altas temperaturas.

PARAMETRO	PRINCIPALES CAUSAS IDENTIFICADAS
Políticas	<p>Se ha dejado de usar el refrigerante recomendado por el fabricante y se ha reemplazado por uno de fabricación propia de Petromil, este cambio no ha sido estudiado a fondo, se ha identificado que el nuevo refrigerante se ensucia y pierde sus características físicas (cambio de color verde a amarillo quemado) en menos tiempo que el refrigerante original.</p> <p>Se da prioridad a la producción del campo Entrerrios, dejando de sacar las unidades de operación para la ejecución de actividades de mantenimiento, al extremo de aplazar rutinas necesarias como el cambio de refrigerante y el cambio de aceite, los cuales afectan directamente la eficiencia del sistema de refrigeración, sin analizar que el no ejecutar estas actividades impacta directamente en la eficiencia y disponibilidad de las unidades.</p>
Procedimientos	<p>Acumulación de suciedad en las aspas de los ventiladores de los aeroenfriadores, los procedimientos de limpieza no son acordes a la tasa de acumulación de suciedad, causando fallas en los ventiladores.</p>
Procesos tecnológicos	<p>Cada unidad cuenta con un aeroenfriador de cuatro ventiladores, los ventiladores tienen un conexionado que al fallar un ventilador hace que se salga un segundo ventiladores, disminuyendo al 50% la capacidad de enfriamiento, lo cual hace que la unidad salga de servicio por altas temperaturas, dependiendo de la operación, la salida de una unidad puede generar un efecto en cascada, sacando de operación todo el sistema de generación.</p> <p>Las unidades trabajan al limite de carga debido a la carga generada por la alta energía reactiva del campo Entrerrios, la cual se origina por que el factor de potencia del campo es muy bajo, llevando al limite las unidades de generación.</p>
Personal	<p>El personal no tiene claridad de la importancia de la limpieza y de evitar contaminaciones, como un recurso para garantizar la operación y facilitar las inspecciones y el hallazgo de anomalías.</p>

Fuente: Elaboración propia.

6.1.2 Análisis Causa – Efecto, Detonaciones de Motor. En la tabla de malos actores se puede apreciar que las Detonaciones de Motor presentaron 11 fallas del total de 44, representando el 25% de las fallas que ocasionan que el sistema de generación deje de operar. Lo anterior debido a que por altas temperaturas se sale la unidad que presenta el problema y luego en cascada se salen las demás unidades por la alta demanda de carga que tiene el campo Entrerrios.

Realizado el análisis causa – efecto de la falla de Detonaciones de Motor bajo los parámetros de las 4Ps se identificaron las siguientes causas principales.

Tabla 13. Principales causas de detonaciones de motor.

PARAMETRO	PRINCIPALES CAUSAS IDENTIFICADAS
Políticas	<p>Se da prioridad a la producción del campo Entrerrios, dejando de sacar las unidades de operación para la ejecución de actividades de mantenimiento, aplazando las siguientes actividades de mantenimiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Calibración de válvulas, al no realizarse estas actividades de forma periódica las válvulas dejan de cerrar, generándose carbonizaciones y sobrecalentamientos (detonaciones). • Calibraciones de combustión, dejando de hacerse el ajuste de la mezcla aire/combustible se incurre en ineficiencias en la combustión que promueven la generación de las detonaciones. <p>No se analiza, que el no ejecutar estas actividades, se impacta directamente en la eficiencia y disponibilidad de las unidades.</p>
Procedimientos	<p>Se ha dejado de realizar la rectificación de culatas, que el fabricante recomienda realizar a las 10.000 horas de operación, estas actividades en parte se han dejado de ejecutar por la no disponibilidad de los repuestos necesarios (válvulas, kits de empaques y kit del turbo) para poder hacer las calibraciones.</p>
Procesos tecnológicos	<p>Las unidades trabajan al límite de carga debido a la carga generada por la alta energía reactiva del campo Entrerrios, la cual se origina por que el factor de potencia del campo es muy bajo, llevando al límite las unidades siendo una probabilidad de detonaciones del motor.</p>
Personal	<p>No se identifican causas atribuibles al personal</p>

Fuente: Elaboración propia.

6.1.3 Análisis Causa – Efecto, Fallas de Comunicación. En la tabla de malos actores se puede apreciar que las Fallas de Comunicación presentaron 8 fallas del total de 44, representando el 18% de las fallas que ocasionan que el sistema de generación deje de operar. Lo anterior debido a que el distribuidor no reconoce la unidad que tiene problemas de generación y al tartar de distribuir la carga en las demás unidades se genera un desbalance que provoca el shutdown de todo el sistema.

Realizado el análisis causa – efecto de las fallas de comunicación bajo los parámetros de las 4Ps se identificaron las siguientes causas principales.

Tabla 14. Principales causas de fallas de comunicación.

PARAMETRO	PRINCIPALES CAUSAS IDENTIFICADAS
Políticas	No se identifican causas atribuibles a políticas.
Procedimientos	Acumulación de suciedad en tableros y conexiones, el sistema de generación del campo Entrerrios se encuentra en un área destapada, donde transitan constantemente tractomulas generando oleadas de polvo y suciedad que se precipitan sobre los equipos generando problemas de conexión y comunicación. El distribuidor de carga no identifica la unidad, intenta distribuir la carga en las demás unidades, generándose un desbalance y el posterior shutdown del sistema.
Procesos tecnológicos	La red del sistema de generación del campo Entrerrios, tiene un diseño tipo estrella y cuenta con materiales de una clasificación inferior a los requerimientos que exige el campo.
Personal	El personal no tiene claridad de la importancia de la limpieza y de evitar contaminaciones, como un recurso para garantizar la operación y facilitar las inspecciones y el hallazgo de anomalías.

Fuente: Elaboración propia.

6.1.4 Análisis Causa – Efecto, Congelamiento de Condensados. En la tabla de malos actores se puede apreciar que las Fallas por congelamiento de condensados presentaron 7 fallas del total de 44, representando el 16% de las fallas que ocasionan que el sistema de generación deje de operar.

Este problema se origina en el sistema de alimentación de gas combustible, concretamente en las restricciones como tubbings y racores de los GTM, en donde se presenta congelamiento de los condensados de las balas de los GTM al pasar el gas por dichas restricciones, cuando se presenta este problema se suspende el suministro de gas combustible a todas las unidades del sistema de generación provocando su salida de operación.

Realizado el análisis causa – efecto por congelamiento de condensados bajo los parámetros de las 4Ps se identificaron las siguientes causas principales.

Tabla 15. Principales causas de fallas por congelamiento de condensados.

PARAMETRO	PRINCIPALES CAUSAS IDENTIFICADAS
Políticas	No se identifican causas atribuibles a políticas.
Procedimientos	El congelamiento que se presenta en los GTM no es del gas, sino de los condensados los cuales no son debidamente drenados antes de realizar el cargue y suministro de gas combustible, si bien la actividad de drenado no es responsabilidad de mantenimiento, si es un problema que impacta directamente la confiabilidad del sistema.
Procesos tecnológicos	No se identifican causas atribuibles a procesos tecnológicos.
Personal	No se identifican causas atribuibles a personal.

Fuente: Elaboración propia.

6.1.5 Análisis Causa – Efecto, Cables Suelos. En la tabla de malos actores se puede apreciar que las Fallas por congelamiento de condensados presentaron 3 fallas del total de 44, representando el 7% de las fallas que ocasionan que el sistema de generación deje de operar. Este problema se presenta en tableros de control y PLC que se encuentran en cercanía al generador.

Realizado el análisis causa – efecto por cables sueltos bajo los parámetros de las 4Ps se identificaron las siguientes causas principales.

Tabla 16. Principales causas de fallas por cables sueltos.

PARAMETRO	PRINCIPALES CAUSAS IDENTIFICADAS
Políticas	Se da prioridad a la producción del campo Entrerrios, dejando de sacar las unidades de operación para la ejecución de actividades de mantenimiento, aplazando actividades de retorqueo de conexiones en tableros de control, lo cual se agudiza por las vibraciones propias de la operación de los generadores.
Procedimientos	No se identificaron causas atribuibles a procedimientos.
Procesos tecnológicos	El tipo de borneras no es el adecuado, ya que se debería contar con borneras que no se vean afectadas por la constante vibración de las unidades durante su operación.
Personal	No se identifican causas atribuibles a personal.

Fuente: Elaboración propia.

6.2 ACCIONES DE MEJORA.

El objetivo de la propuesta basada en TPM, es el de reducir o eliminar las pérdidas originadas por la fallas, en búsqueda de alcanzar los cinco ceros descritos en el capítulo 4, a partir del análisis causa – efecto que permitió identificar las principales causas de los malos actores, se presenta el tipo de pérdida y el componente impactado por cada una de ellas en la estructura del indicador de efectividad total del equipo OEE.

Tabla 17. Tipo de pérdidas de las principales causas de los malos actores.

MALOS ACTORES	PRINCIPALES CAUSAS	TIPO DE PERDIDA	COMPONENTE AFECTADO OEE
Altas temperaturas	Cambio de refrigerante sin estudiar impactos de la decisión	Eventos no planificados	Disponibilidad
	Rutinas de mantenimiento sin ejecutar por ventanas operativas	Fallas de equipos	Disponibilidad
	Acumulación de suciedad (polvo), falta de limpieza	Fallas de equipos	Disponibilidad
	Operación al límite de carga por alta energía reactiva	Fallas de equipos	Disponibilidad
Detonaciones de motor	Rutinas de mantenimiento sin ejecutar por ventanas operativas.	Fallas de equipos	Disponibilidad
	Ausencia de repuestos para mantenimientos mayores como	Eventos no planificados	Disponibilidad

	rectificación de culatas		
	Operación al límite de carga por alta energía reactiva	Fallas de equipos	Disponibilidad
Fallas de comunicación	Acumulación de suciedad (polvo), falta de limpieza	Fallas de equipos	Disponibilidad
	Diseño y materiales deficientes y de menor clasificación al requerido	Fallas de equipos	Disponibilidad
Congelamiento condensados	Falta de drenaje de condensados	Eventos no planificados	Disponibilidad
Cableado suelto	Rutinas de mantenimiento sin ejecutar por ventanas operativas.	Fallas de equipos	Disponibilidad
	Materiales no son los adecuados para el nivel de vibraciones expuesto	Fallas de equipos	Disponibilidad

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar el componente del indicador de efectividad total del equipo impactado es el de confiabilidad, lo cual coincide con el impacto que estos malos actores ocasionan en el cumplimiento de las metas del sistema de generación.

6.3 PILARES Y OBJETIVOS DEL TPM DE LA PROPUESTA.

En el anterior numeral se puede apreciar la existencia de causas que son comunes para varios malos actores, como las ventanas operativas que solo priorizan la operación y no ceden el tiempo necesario para la ejecución de las rutinas de mantenimiento y la acumulación de suciedad y falta de limpieza en sitios críticos como ventiladores de enfriamiento y tableros de control. Basado en lo anterior se presenta la propuesta para dar solución a las principales causas de los malos actores y los pilares de TPM con los cuales se podrá implementar las mejoras que se relacionan a continuación.

Tabla 18. Pilares y objetivos a implementar²².

PRINCIPALES CAUSAS	MEJORA	PILAR TPM	OBJETIVO DEL PILAR
Cambio de refrigerante sin estudiar impactos de la decisión	Estudiar el impacto de los cambios antes de implementarlos generando los ajustes que el plan de mantenimiento requiera	Mejoras Enfocadas	Maximizar la eficiencia global de los equipos
Rutinas de mantenimiento sin ejecutar por ventanas operativas	Instalar una unidad adicional de generación, de forma temporal o permanente y poner al día las actividades de mantenimiento que se han dejado de ejecutar	Mtto Planeado	Eliminar fallos, apoyando el proceso productivo para lograr las metas
Acumulación de suciedad (polvo), falta de limpieza	Programar actividades de limpieza y asegurar que estas se ejecuten, implementando tarjetas de reporte	Mtto Autónomo	Mantener las condiciones básicas (limpieza, lubricación y ajuste)
Operación al límite de carga por alta energía reactiva	Instalar un banco de condensadores que eleve el factor de potencia mejorando la carga del campo	Mejoras Enfocadas	Maximizar la eficiencia del sistema productivo a través de la eliminación de las pérdidas
Ausencia de repuestos para mantenimientos mayores como rectificación de culatas	Programar las actividades de mantenimiento mayor, asegurando los recursos necesarios para su ejecución	Mtto Planeado	Lograr la efectividad de la gestión de mantenimiento
Acumulación de suciedad (polvo), falta de limpieza	Mejorar las condiciones del campo en las zonas de tránsito de las tractomulas para disminuir niveles de polvo	Mejoras Enfocadas	Maximizar la eficiencia del sistema productivo a través de la eliminación de las pérdidas
Diseño y materiales deficientes y de menor clasificación al requerido	Evaluar la posibilidad de cambio de materiales de mejor clasificación y conexiónado en anillo	Mejoras Enfocadas	Maximizar la eficiencia global de los equipos y el proceso
Falta de drenaje de condensados	Implementar control de drenaje de condensados de los GTM para usar en la operación	Mtto Autónomo	Llevar y mantener el equipo en su estado ideal
Materiales no son los adecuados para el nivel de vibraciones expuesto	Evaluar la pertinencia y posibilidad de cambio de los conectores por unos que sean anti vibraciones	Mejoras Enfocadas	Maximizar la eficiencia global de los equipos y el proceso

Fuente: Elaboración propia.

²² AGUILAR, Mauricio. Mantenimiento Productivo Total. Material de asignatura. Especialización Gerencia de Mantenimiento, cohorte XXXIII. Bogotá: UIS. 2020.

Las mejoras propuestas para dar solución a los malos actores, pueden ser desarrolladas soportándose en los pilares del TPM indicados en la tabla anterior, se propone realizar una implementación de los pilares de Mejoras Enfocadas, Mantenimiento Planeado y Mantenimiento Autónomo, que permita desarrollar las mejoras identificadas, buscando optimizar el actual plan de mantenimiento y mejorando sus resultados en cuanto a confiabilidad del sistema de generación.

6.4 PROPUESTA DEL PILAR DE MEJORAS ENFOCADAS.

Utilizando como guía los pasos de implementación del pilar de Mejoras Enfocadas, se propone abordar la implementación de aquellas mejoras que implican generar cambios en el sistema, buscando de esta forma que los cambios sean analizados con el fin de identificar la actualización que por ellos requiera el actual plan de mantenimiento.

6.4.1 Paso 1: Selección de mejora. En este paso se define las mejoras que se requiere implementar, se debe conformar el equipo de trabajo responsable de la implementación y se realiza la planificación de las actividades. Las mejoras que se proponen implementar con el pilar de mejoras enfocadas son:

- Estudiar el impacto de los cambios antes de implementarlos generando los ajustes que el plan de mantenimiento requiera, como el caso del cambio de refrigerante, el cual se realizó sin determinar que su tasa de degradación, requiere que la actividad de cambio de refrigerante se realice con una frecuencia menor a la recomendada por el fabricante para el refrigerante original. Esta mejora debe servir para todo cambio que se realice en el sistema de generación del campo Entrerrios.
- Instalar un banco de condensadores que eleve el factor de potencia del campo mejorando los niveles de energía reactiva, con esta mejora se busca mejorar las condiciones de carga que debe atender el sistema de

generación, mejorando los parámetros de operación y por tanto la eficiencia de las unidades.

- Mejorar las condiciones del campo en las zonas de tránsito de las tractomulas para disminuir niveles de polvo, las mejoras pueden ir desde acondicionar el área con agregado pétreo que disminuya el levantamiento de polvo, hasta pavimentar el área de generación, la decisión que se tome debe ser estudiada evaluando su pertinencia y viabilidad.
- Evaluar la pertinencia y posibilidad de cambio de materiales como conectores por unos que sean anti vibraciones, y de mejor clasificación para los requerimientos del sistema de generación.

6.4.2 Paso 2: Comprender la situación. Cada una de las mejoras relacionadas en el anterior paso, deben ser estudiadas de forma independiente por el equipo de trabajo, midiendo los fallos y las pérdidas que se generan en cada situación, permitiendo establecer los objetivos a abordar con la implementación de las mejoras bajo el pilar de mejoras enfocadas.

6.4.3 Paso 3: Describir y eliminar anormalidades. Exponer las anormalidades a partir de los malos actores a partir de los cuales se determinó las principales causas que los originan, buscando restaurar el deterioro presentado, corregir las deficiencias y establecer las condiciones básicas de los equipos.

6.4.4 Paso 4: Analizar las causas. En cada uno de los proyectos de mejora se debe analizar las pérdidas presentadas, emplear técnicas analíticas y experimentaciones teóricas que permitan analizar que las causas identificadas realmente sean las que provocan los malos actores que afectan el sistema de generación.

6.4.5 Paso 5: Plan de Mejora. Se debe diseñar propuestas para las mejoras requeridas, las propuestas deben ser comparadas entre ellas en cuanto a su eficiencia y costos, considerando los efectos peligrosos y posibles desventajas, estas comparaciones deben de determinar el plan de mejora que conviene implementar, se recomienda en este punto evaluar la viabilidad técnica y financiera de la mejora definida.

6.4.6 Paso 6: Implementar la mejora. Una vez se ha definido el plan de mejora y se ha verificado su viabilidad técnica y financiera, se debe estructurar y ejecutar un plan de implementación con enfoque en la gestión temprana, en el cual se establezca los cambios del sistema y los nuevos requerimientos tanto en operación como en mantenimiento, se deben actualizar los procedimientos existentes o generar nuevos procedimientos que se requieran, generando instrucciones claras y específicas para el personal que opera y mantiene el equipo o sistema mejorado.

6.4.7 Paso 7: Verificar resultados. Las mejoras implementadas deben ser evaluadas en el tiempo, por lo cual se recomienda crear un programa de seguimiento que permita medir los resultados del proyecto de mejora, verificando que los objetivos establecidos se cumplan. En este punto si los objetivos no han sido alcanzados, se debe retomar desde el paso 3.

6.4.8 Paso 8: Consolidar beneficios. Al obtener buenos resultados y alcanzar los objetivos, se debe definir estándares que permitan mantener los resultados, se debe actualizar procedimientos y manuales y retroalimentar el mismo programa de mantenimiento preventivo.

6.5 PROPUESTA DEL PILAR DE MANTENIMIENTO PLANEADO.

Utilizando como guía los pasos de implementación del pilar de Mantenimiento Planeado, se propone abordar la aplicación de aquellas mejoras que buscan que las actividades del plan de mantenimiento se puedan ejecutar sin que se genere conflictos con la operación del sistema, generando cambios en el plan de mantenimiento que garantice la disponibilidad de los recursos, tanto personal como repuestos y consumibles, y que permita reducir al máximo los tiempos de ejecución de las rutinas para aprovechar al máximo los espacios que las ventanas operativas puedan asignar al área de mantenimiento.

6.5.1 Paso 1: Evaluar el equipo y comprender el problema actual. Se debe evaluar el estado actual de los equipos y comprender muy bien su comportamiento, definir los rangos de falla, medir el número, la frecuencia y la severidad de los fallos, definir los tiempos de paradas programadas, los costos de los mantenimientos y finalmente se debe establecer los objetivos de mantenimiento (indicadores y resultados). Para este caso es importante evaluar el impacto que ha generado el no entregar las unidades a mantenimiento por parte de operaciones, dilatando o dejando de realizar rutinas importantes como la calibración de válvulas, la calibración de combustión, cambios de aceite y refrigerante e incluso la ejecución de mantenimientos mayores como la rectificación de culatas.

6.5.2 Paso 2: Revertir el deterioro y corregir debilidades. Con este paso se busca establecer las condiciones básicas de los equipos, revertir el deterioro y eliminar los agentes que lo causan, apoyando así el mantenimiento autónomo. Se deben corregir las debilidades, impedir la ocurrencia de fallos idénticos o similares e introducir mejoras para la reducción de fallos de proceso.

6.5.3 Paso 3: Crear un sistema de gestión de información. Este paso es importante ya que no se cuenta con un sistema de información para la gestión de mantenimiento.

Se recomienda llevar el registro de los datos de fallas y crear un sistema de gestión de mantenimiento en el cual se registre los historiales de máquinas, la planificación del mantenimiento y de las inspecciones, el presupuesto de los equipos, control de repuestos, planos, manuales y fichas técnicas. El sistema de información puede ser creado incluso en Excel, es importante que se estandarice los formatos, los procedimientos y la herramienta, el registro de la información se debe realizar de forma rigurosa y veraz.

6.5.4 Paso 4: Crear un sistema de mantenimiento periódico. En este paso se genera un plan de mantenimiento basado en el tiempo, el cual debe cumplirse ya sea que el equipo opere los ciclos o haya transcurrido el tiempo establecido.

Un plan de mantenimiento basado en el tiempo debe tener control de unidades de reserva, de repuestos, de insumos como lubricantes y refrigerantes, información técnica como planos y manuales, el plan de mantenimiento periódico debe estar estructurado en un diagrama de flujo, debe estar claramente establecido cuales son los equipos y las rutinas a ejecutar y los recursos a emplear incluyendo el tiempo de intervención.

Como para el sistema de generación ya se cuenta con un plan de mantenimiento basado en el tiempo, se propone hacer una revisión con el fin de identificar oportunidades de mejora, que permita garantizar la disponibilidad de los recursos y disminuir los tiempos de intervención.

6.5.5 Paso 5: Crear un sistema de mantenimiento predictivo. En este paso se introducen técnicas de diagnóstico, lo cual comprende adquirir equipos de diagnóstico, elaborar los procedimientos y formar al personal en las técnicas.

También se incluye la estructura del sistema de mantenimiento predictivo, para lo cual se recomienda generar un diagrama de flujo del sistema, que se integre con la estrategia de mantenimiento. Con el tiempo se puede enriquecer este sistema ampliando su alcance y aplicando nuevas tecnologías de diagnóstico.

La implementación de este paso puede ser muy importante en casos, como los del sistema de generación del campo Entrerrios, en donde la operación no para y producir es el principal objetivo, en casos como este una estrategia de mantenimiento predictivo puede ser la mejor opción para aplazar algunas rutinas de mantenimiento de forma segura, siempre a la luz de la seguridad de un diagnóstico bien realizado.

6.5.6 Paso 6: Evaluar el sistema de mantenimiento planeado. Este paso es primordial para establecer si la estrategia establecida está dando los resultados esperados, es indispensable evaluar la mejora en la confiabilidad, verificar la reducción del número y frecuencia de fallos, evaluar la mejora de la mantenibilidad, de la tasa de mantenimiento, es importante determinar si se ha presentado ahorro en los costos y gastos de mantenimiento.

6.6 PROPUESTA DEL PILAR DE MANTENIMIENTO AUTÓNOMO.

Utilizando como guía los pasos de implementación del pilar de Mantenimiento Autónomo, se busca articular actividades de mantenimiento básicas como la limpieza, conservación de equipos y reporte temprano de anomalías con el área de operaciones, quienes deben entender y asumir el compromiso no solo de

operar sino de mantener los activos dentro de sus condiciones básicas de operación.

6.6.1 Paso 1: Realizar limpieza inicial. El primer paso que consiste en mantener una buena limpieza, es bastante básico y sencillo, pero tiene un propósito muy importante como se indicó en el numeral 4.5, la limpieza no solo facilita las actividades de inspección y la identificación de fallas, también impacta directamente en el incremento de los estándares de calidad y el orgullo en el ambiente de trabajo.

Este paso aportara directamente a la solución de los fallos por altas temperaturas si se garantiza la limpieza de las aspas de los ventiladores de los aeroenfriadores de las unidades y en los fallos de comunicación asociados a suciedad en contactos y en tableros de control.

6.6.2 Paso 2: Eliminar las fuentes de contaminación. En este paso se debe identificar las fuentes de polvo y suciedad, lo cual permitirá reducir el tiempo dedicado al orden del equipo, para poder enfocarlo en chequeos de parámetros, actividades de inspección para la identificación temprana de fallas y actividades de retorqueo.

En este paso es importante enfocar los esfuerzo para eliminar la fuente de polvo que afecta varios equipos del sistema de generación, para lo cual se propone evaluar la conveniencia de pavimentar el área en el que circula las tractomulas y los GTM, en caso de que no haya viabilidad en el costo – beneficio, se recomienda mejorar las condiciones del área instalando una capa de material de cantera, tipo triturado de alta granulometría el cual disminuirá considerablemente la contaminación por polvo y suciedad.

6.6.3 Paso 3: Establecer estándares de limpieza, lubricación y retorqueo. Se debe estandarizar las actividades de limpieza, lubricación y retorqueo, para que estas actividades impacten en los equipos y en las zonas en donde se es más propenso a incurrir en fallos por contaminación, por falta de lubricación y por falta de aplicación de torque, al estandarizar estas actividades se eliminaría problemas por suciedad y por falta de torque como los ocurridos en los conectores de los tableros de control que se aflojan al verse afectados por la constante vibración de la operación.

6.6.4 Paso 4: Inspección general del equipo. Este paso busca que el personal de operaciones sea formado en técnicas de inspección, con el fin de que mediante inspecciones generales se identifique la pérdida de condiciones básicas de operación e incluso la existencia de pequeños eventos que puedan escalar a fallas mayores.

6.6.5 Paso 5: Inspecciones generales de proceso. Este paso busca que el personal de operaciones sea formado en el manejo temprano de anomalías, con el fin de mejorar la confiabilidad operacional, logrando operarios competentes, se busca evitar la omisión de inspecciones mediante estándares a cumplir por parte del operador.

En este paso se puede asegurar que en los estándares de inspección quede incluidos todos los equipos o sistemas que puedan tener una afectación directa en la operación del sistema de generación, como ocurre con el congelamiento de condensados en los GTM, si bien el suministro de gas combustible no es responsabilidad ni del área de operaciones, ni del área de mantenimiento, al depender de un área externa, si impacta directamente la operación cuando se presenta el congelamiento en el suministro de gas, solo por no haberse ejecutados las rutinas de drenaje, en este punto se podría implementar dentro del estándar de

inspección el verificar el reporte de drenado de condensados por parte del proveedor.

6.6.6 Paso 6: Mantenimiento autónomo sistemático. En este paso se establece un sistema de autogestión para mejorar los procesos y procedimientos y estandarizar y estandarizar el mantenimiento, mejorando la disponibilidad y por ende los procesos productivos.

6.6.7 Paso 7: Practica plena de la autogestión. En este paso se desarrolla actividades de mejora y estandarización alineadas a los objetivos y políticas, con el propósito de reducir costos eliminando las perdidas en los lugares de trabajo y el de mejorar los equipos mediante el registro preciso de la información de mantenimiento y el posterior análisis sistemático de la información para la implementación de mejoras continuas.

7. CONCLUSIONES

- Se expuso los malos actores que impactan directamente la operación del sistema de generación del campo Entrerrios y mediante un ejercicio de causa efecto se identificaron sus principales causas, a partir de las cuales se hizo un ejercicio de identificación de los pilares de TPM a implementar.
- Se identificaron cuales serían los pilares aplicables de TPM, que servirán como base para la optimización del plan de mantenimiento del sistema de generación del campo Entrerrios, con el cual se podrá mejorar los niveles de cumplimiento de prestación del servicio.
- Se propuso abordar las mejoras que requieren las principales causas que se identificaron a los malos actores, bajo el enfoque de tres pilares de TPM, más exactamente con el pilar de Mejoras Enfocadas, el pilar de Mantenimiento Planeado y el pilar de Mantenimiento Autónomo, de los cuales se considera se puede obtener un impacto positivo directo a la actual gestión del mantenimiento del sistema de generación.
- En el anexo F se presenta una mejora al plan de mantenimiento, sin embargo la implementación de los pilares de Mantenimiento Autónomo y Mantenimiento Planeado, deben arrojar un programa o estándar de mantenimiento con sinergia entre las áreas de operaciones y mantenimiento, que reduzcan los tiempos de intervención y que permitan establecer ventanas operativas en las que se pueda ejecutar de forma eficiente el programa de mantenimiento.
- Como resultado de la implementación del pilar de Mantenimiento Planeado, se deberá alcanzar un estándar que responda a las necesidades del

contexto operacional de los equipos del sistema de generación, se enfatiza en la importancia de los pasos 3, 4 y 5 de este pilar y el posterior seguimiento con la implementación del paso 6.

- Se plantearon mejoras técnicas al sistema de generación que permitan mejorar el cumplimiento de las metas propuestas, como la instalación de un banco de baterías que permita bajar la energía reactiva del campo, incrementando el factor de potencia, la propuesta de mejorar el área del sistema de generación con la pavimentación o vertimiento de material pétreo de alta granulometría que disminuya los niveles de polvo y contaminación.

8. RECOMENDACIONES

- Se recomienda evaluar la viabilidad técnica y el costo – beneficio de cada una de las mejoras propuestas en esta monografía, así como de todas aquellas alternativas de solución que emerjan de la implementación de los pilares de TPM, con el fin de determinar que las propuestas puedan ser ejecutadas y estructurarlas de forma que arrojen los resultados esperados.
- Se recomienda estudiar y si es viable aplicar las soluciones propuestas, siguiendo el paso a paso de los pilares de Mejoras Enfocadas, Mantenimiento Planeado y Mantenimiento Autónomo.
- Se recomienda, durante y después de la implementación hacer seguimiento a los resultados de las mejoras implementadas y evaluar el cumplimiento de los objetivos establecidos, de no cumplirse se recomienda reevaluar la estrategia, implementar y continuar con el seguimiento de los resultados.
- Se recomienda actualizar y retroalimentar el plan de mantenimiento propuesto, con las mejoras que se establezcan durante la implementación de los pilares TPM propuestos.

BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR, Mauricio. Mantenimiento Productivo Total. Material de asignatura. Especialización Gerencia de Mantenimiento, cohorte XXXIII. Bogotá: UIS. 2020.

CEN, EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. ISO 14224:2016, Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. Bruselas: ISO 2016. P. 50-53.

D.R., Kiran. Total Quality Management. Key concepts and case studies. United Kingdom: Elsevier Ltd. 2017. p.178 - 188, 280 - 282.

McCARTHY, Dennis y RICH Nick. Lean TPM: A Blueprint for Change 2a ed. United Kingdom: Elsevier Ltd. 2015. p.40-42.

PERTUZ, Alberto. Principios de Mantenimiento. Material de asignatura. Especialización Gerencia de Mantenimiento, cohorte XXXIII. Bogotá: UIS. 2019.

Petróleos Sudamericanos. Filosofía de Operación Campo Entrerrios. P 1-12.

SIEMENS, Mantenimiento Motores Gas Natural SFGLD A 1200 RPM, Capitulo 5 Instrucciones de Mantenimiento – Pautas de Mantenimiento.

SIEMENS, Manual de Instalación VEC002647 al 51_A SGE-56SL.

SUZUKI, Tokutaro. TPM en industrias de proceso. Madrid: TGP-Hoshin. 1995. p.52-53, 178-179, 222-224, 263-264, 268-282, 338, 347-350.

UNE, ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN. UNE-EN 13306, Mantenimiento. Terminología del mantenimiento. Madrid: UNE 2018. p. 16.