



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM) PARA LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE LA FÁBRICA DE TORNILLOS, PERNOS Y TUERCAS TOPESA S.A.

AUTOR: QUISHPE CHICAIZA FAUSTO DANILO

DIRECTOR: CRNL. (S.P.) Ing. DIAZ TOCACHI JUAN

SANGOLQUÍ

2016



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

CERTIFICADO DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM) PARA LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE LA FÁBRICA DE TORNILLOS, PERNOS Y TUERCAS TOPESA S.A.**” realizado por el señor **QUISHPE CHICAIZA FAUSTO DANILO**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **QUISHPE CHICAIZA FAUSTO DANILO** para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 29-07-2016

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir 'Juan Díaz Tocachi', escrita sobre una línea horizontal que sirve como línea de firma.

CRNL. (S.P.) Ing. Juan Díaz Tocachi
DIRECTOR



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **FAUSTO DANILO QUISHPE CHICAIZA**, con cédula de identidad N° 1720595055, declaro que este trabajo de titulación **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM) PARA LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE LA FÁBRICA DE TORNILLOS, PERNOS Y TUERCAS TOPESA S.A.”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 21-07-2016

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir 'Fausto D. Quishpe Ch.'.

FAUSTO D. QUISHPE CH.

C.C: 1720595055



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, **FAUSTO DANILO QUISHPE CHICAIZA**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM) PARA LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE LA FÁBRICA DE TORNILLOS, PERNOS Y TUERCAS TOPESA S.A.”** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 21-07-2016

FAUSTO D. QUISHPE CH.

C.C: 1720595055



Quito, 20 de Julio del 2016

Señores:
Carrera de Ingeniería Mecánica
Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE
Presente.-

De mi consideración:

Asunto: Conformidad de elaboración e implementación de proyecto de grado.

Es muy grato dirigirme a Uds. Con la finalidad de expresarles mis cordiales saludos y a la vez manifestarles que conforme a los trabajos realizados, he recibido de manera conforme para la empresa el trabajo: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM) PARA LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE LA FÁBRICA DE TORNILLOS, PERNOS Y TUERCAS TOPESA S.A.”**

Realizado por el Sr. **FAUSTO DANILO QUISHPE CHICAIZA** con CI: **1720595055**, como requisito previo a la obtención del título de ingeniero mecánico. En razón de lo expuesto, cumpro con informar sobre la aceptación de los trabajos, documentos levantados, programación de actividades e implementación del sistema de mantenimiento productivo total como parte del proyecto.

Sin otro particular y con las estimas de mi mayor consideración, me suscribo a Uds.

Atentamente,

Eco. Mauricio Moreira
GERENTE GENERAL TOPESA S.A.

PANAMERICANA SUR KM. 14.5 PARQUE INDUSTRIAL TURUBAMBA
Teléfonos: 2974156 - 2974157- 2974158
Fax : (5932) 269 0702
E-mail : topesa@andinanet.net
Casilla : 17-01-571 Quito Ecuador
www.topesa.com.ec

DEDICATORIA

Al Creador de todas las cosas, Dios:

Por haberme bendecido con salud, fortaleza y sabiduría a lo largo de toda mi carrera.

A mis padres, Carmelita y Fausto:

A mi viejita, que siempre tiene una sonrisa dibujada en sus labios y derrama una lágrima sincera cuando me ve mal, que me formó con buenos sentimientos, hábitos y valores. A mi viejo que es un hombre de pocas palabras pero siempre supo dar muestras de cariño cuando más lo necesitaba, que junto a mi mami, día a día luchan por que nunca nos falte nada. Por todo el inmenso apoyo y amor incondicional que me brindan, por creer en mí y apoyarme en cada etapa de mi vida, este logro es para ustedes.

A mi hermanita, Jenny:

En quien siempre vi un ejemplo de esfuerzo y superación, que desde niño traté de seguir sus pasos y vi con ojos de admiración, quien siempre creyó en mí y apoyó mis locuras, sin ti este proyecto no se habría podido terminar. Te quiero mucho flaquita.

A mis amig@s:

Quienes han compartido su tiempo a lo largo de toda mi vida universitaria, el colegio y la escuela, que supieron brindarme su amistad y estuvieron en las buenas y malas. Su presencia en mi vida es una gran fortuna para mí. Que Dios los bendiga.

Danilo...

AGRADECIMIENTOS

Quiero extender un sincero agradecimiento al Eco. Mauricio Moreira, gerente general de TOPESA S.A., por la apertura y facilidad brindada para el desarrollo de este proyecto.

Al Ing. Jaime Marcillo, jefe de producción, por su tiempo y colaboración en cada etapa del plan.

Al Ing. Paúl Jácome, jefe de planta, por compartir sus conocimientos y orientarme en el avance y culminación de este trabajo.

Al equipo de operadores, taller mecánico, control de la calidad, en si todos quienes forman parte de esta gran empresa ecuatoriana.

Al Ing. Juan Díaz, director de este trabajo de titulación, por su tiempo y apoyo desde el inicio del proyecto, sus conocimientos, orientaciones y paciencia han sido fundamentales para mi formación como profesional.

Finalmente quiero agradecer a todas y cada una de las personas que se preocuparon y me brindaron el aliento necesario para poder culminar esta etapa de mi vida. De todo corazón mil gracias.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARATULA	
CERTIFICADO DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
CARTA DE CONFORMIDAD	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTOS.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvi
RESUMEN.....	xx
ABSTRACT	xxi

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Marco institucional TOPESA S.A.....	2
1.2.1 Política de calidad	2
1.2.2 Objetivos de calidad.....	3
1.3 Definición del problema	3
1.4 Justificación	4
1.5 Alcance.....	5
1.6 Objetivos.....	5
1.6.1 Objetivo general	5
1.6.2 Objetivos específicos	5

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1	Mantenimiento industrial	8
2.2	Sistemas de mantenimiento.....	9
2.3	Gestión del mantenimiento industrial	10
2.3.1	Acciones del mantenimiento industrial	11
2.3.1.1	Inspección.....	11
2.3.1.2	Servicio	11
2.3.1.3	Reparación.....	12
2.3.1.4	Modificación	12
2.3.1.5	Fabricación	12
2.3.1.6	Montaje	12
2.3.1.7	Cambio.....	13
2.4	Fases de la gestión del mantenimiento.....	13
2.4.1	Fase estática.....	13
2.4.1.1	Previsión de las actividades.....	13
2.4.1.2	Planeación de las actividades.....	14
2.4.1.3	Organización de las actividades	14
2.4.2	Fase dinámica.....	14
2.4.2.1	Actividades de Integración.....	15
2.4.2.2	Actividades de Dirección / Ejecución	15
2.4.2.3	Actividades de Control	15
2.5	Ingeniería de mantenimiento	16
2.5.1	Mantenimiento predictivo	16
2.5.2	Mantenimiento preventivo	17
2.5.3	Mantenimiento correctivo	18
2.5.3.1	Mantenimiento Correctivo de Emergencia	18
2.5.3.2	Mantenimiento Correctivo Programado	19
2.5.4	Mantenimiento Modificativo.....	19
2.5.5	Filosofías de mantenimiento	20
2.5.5.1	RCM (Reliability Centered Maintenance).....	20
2.5.5.2	TPM (Total Productive Maintenance).....	21
2.5.6	Niveles de intervención de las acciones de mantenimiento	21

2.5.6.1	I Escalón de mantenimiento.....	22
2.5.6.2	II Escalón de mantenimiento.....	23
2.5.6.3	III Escalón de mantenimiento.....	23
2.5.6.4	IV Escalón de mantenimiento	24
2.5.6.5	V Escalón de mantenimiento	24
2.6	Mantenimiento Productivo Total (TPM).....	25
2.6.1	Pilares del TPM.....	27
2.6.1.1	Pilar I: Mejoras enfocadas.....	28
2.6.1.2	Pilar II: Mantenimiento Autónomo	29
2.6.1.3	Pilar III: Mantenimiento Planificado.....	31
2.6.1.4	Pilar IV: Mantenimiento de la calidad	32
2.6.1.5	Pilar V: TPM en áreas administrativas	33
2.6.1.6	Pilar VI: Seguridad, Salud y Medio Ambiente	34
2.6.1.7	Pilar VII: Educación y Entrenamiento.....	35
2.6.1.8	Pilar VIII: Prevención del Mantenimiento	36
2.6.2	Planeación	36
2.6.2.1	Pronóstico de la carga de mantenimiento	37
2.6.2.2	Capacidad de mantenimiento	38
2.6.2.3	Organización del mantenimiento.....	38
2.6.2.4	Programación del mantenimiento	39
2.6.3	Implementación.....	40
2.6.3.1	Compromiso de la alta gerencia	41
2.6.3.2	Campaña de difusión del método	41
2.6.3.3	Crear organizaciones para promover el TPM	42
2.6.3.4	Políticas y metas para el TPM	42
2.6.3.5	Plan Piloto.....	42
2.6.3.6	Inicio de la implementación.....	42
2.6.3.7	Mejora en la efectividad de los equipos e instalaciones	43
2.6.3.8	Establecer un programa de mantenimiento autónomo	43
2.6.3.9	Establecer el programa de mantenimiento.....	44
2.6.3.10	Entrenamiento para mejorar capacidades de operación y mantenimiento	44
2.6.3.11	Establecimiento del sistema, buscando condiciones ideales de seguridad, higiene y ambiente de trabajo	44

2.6.3.12	Implantación plena del TPM	45
2.6.4	Resultados	45
2.7	Factores del mantenimiento.....	46
2.7.1	Confiabilidad (Reliability).....	46
2.7.2	Mantenibilidad (Maintainability)	46
2.7.3	Disponibilidad (Availability).....	47
2.7.3.1	Disponibilidad Inherente (Ai)	48
2.7.3.2	Disponibilidad Alcanzada (Aa)	48
2.7.3.3	Disponibilidad Operacional (Ao).....	49
2.8	Índices de gestión	50
2.8.1	Índice de gestión de la producción	50
2.8.2	Índice de gestión de mantenimiento.....	51
2.8.2.1	Referentes a la marcha de las instalaciones.....	52
2.8.2.2	Relativos a los recursos empleados	52

CAPÍTULO 3

INVESTIGACIÓN EXPLORATORIA Y DIAGNÓSTICA

3.1	Proceso productivo en la fabricación de pernos, tuercas y tornillos	55
3.1.1	Almacenamiento de materia Prima	58
3.1.2	Trefilado	59
3.1.3	Prensado.....	60
3.1.4	Forjado	61
3.1.5	Ranurado	62
3.1.6	Roscado	63
3.1.7	Roscado de tuercas	64
3.1.8	Matrizado	65
3.1.9	Punteado.....	66
3.1.10	Lavado y Secado.....	67
3.1.11	Troquelado y Cortado.....	68
3.1.12	Tratamientos Térmicos.....	69
3.1.13	Acabados Superficiales.....	70
3.1.14	Área de mantenimiento	71
3.2	Inventario técnico de la maquinaria y equipos de producción.....	73
3.3	Condición de operación actual de la maquinaria y equipos	80

3.3.1	Diagnóstico y análisis de la situación actual	86
3.3.2	Estimación de la vida útil de maquinaria y equipos	92
3.3.3	Obtención de la información existente	94
3.4 Categorización y diferenciación de la maquinaria y equipos de producción	98

CAPÍTULO 4

DISEÑO Y DESARROLLO DEL SISTEMA DE MANTENIMIENTO

PRODUCTIVO TOTAL

4.1	Elaboración de documentos y formatos previos al plan de mantenimiento	105
4.1.1	Fichas técnicas de máquina	105
4.1.2	Órdenes de trabajo.....	108
4.1.3	Registro de acciones de mantenimiento	109
4.2	Determinación de las acciones del mantenimiento autónomo	112
4.2.1	Primer escalón	112
4.2.2	Segundo y tercer escalón.....	114
4.3	Determinación de las periodicidades del mantenimiento autónomo	116
4.3.1	Primer, segundo y tercer escalón.....	117
4.4	Desarrollo del software	122
4.4.1	Documentación técnica de equipos y maquinaria	123
4.4.2	Planes de mantenimiento.....	124
4.4.3	Órdenes de trabajo.....	128
4.4.4	Plantilla del personal	129
4.4.5	Suministros y control de materiales.....	130
4.4.6	Histórico de equipos.....	131

CAPÍTULO 5

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

PRODUCTIVO TOTAL

5.1	Planeamiento y gerencia del proyecto	133
5.2 Capacitación a los operadores de la maquinaria y mecánicos de mantenimiento	134
5.2.1	Destreza.....	135

5.2.2	Niveles de destrezas	135
5.2.3	Evaluación de la situación actual del personal	135
5.2.4	Análisis de necesidades	136
5.2.4.1	Desempeño deseado	137
5.2.4.2	Desviaciones entre el desempeño real y el esperado	137
5.2.4.3	Causas fundamentales	137
5.2.4.4	Soluciones apropiadas	138
5.2.4.5	Selección	139
5.2.5	Diseño del programa de capacitación	139
5.3	Implementación y puesta en marcha	141
5.4	Evaluación del sistema TPM	142
5.5	Validación del proyecto	148
CAPÍTULO 6		
ESTUDIO ECONÓMICO Y FINANCIERO DEL PROYECTO		
6.1	Estudio económico	150
6.1.1	Costos directos	150
6.1.1.1	Costos de materiales directos	150
6.1.1.2	Costo de mano de obra directa	151
6.1.2	Costos indirectos	151
6.1.3	Costo Total	151
6.2	Estudio financiero	152
6.2.1	Valor actual neto	153
CAPÍTULO 7		
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		
7.1	Conclusiones	155
7.2	Recomendaciones	157
BIBLIOGRAFÍA		159
ANEXOS		160

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Niveles de Mantenimiento	21
Tabla 2 Índices de gestión de mantenimiento referentes a la marcha de las instalaciones	52
Tabla 3 Índices de gestión del mantenimiento relativos a los recursos humanos.....	52
Tabla 4 Almacenamiento de materia prima	58
Tabla 5 Trefilado	59
Tabla 6 Prensado.....	60
Tabla 7 Forjado	61
Tabla 8 Ranurado	62
Tabla 9 Roscado	63
Tabla 10 Roscadora de tuercas	64
Tabla 11 Matrizado.....	65
Tabla 12 Punteado	66
Tabla 13 Lavado y secado.....	67
Tabla 14 Troquelado y cortado.....	68
Tabla 15 Tratamientos térmicos.....	69
Tabla 16 Acabados superficiales	70
Tabla 17 Área de mantenimiento.....	71
Tabla 18 Maquinaria y equipos existentes en la planta de producción de TOPESA S.A. a Diciembre de 2015	73
Tabla 19 Clasificación de la gravedad del fallo	81
Tabla 20 Clasificación de la probabilidad de ocurrencia	82
Tabla 21 Clasificación de la probabilidad de detección.....	83
Tabla 22 Formato F.M.E.A.....	87

Tabla 23 Análisis modal de fallos y efectos – Prensa P1	88
Tabla 24 Estimación de la vida útil - prensas	93
Tabla 25 Obtención de la información existente	94
Tabla 26 Matriz de categorización y diferenciación de maquinaria	99
Tabla 27 Categorización y diferenciación de maquinaria - prensas	101
Tabla 28 Resultados de la categorización y diferenciación de maquinaria..	103
Tabla 29 Ficha técnica Prensa P8	107
Tabla 30 Formato orden de trabajo.....	108
Tabla 31 Formato registro de acciones de mantenimiento.....	111
Tabla 32 Acciones de mantenimiento 1er escalón - Pbroca.....	113
Tabla 33 Acciones de mantenimiento 2do y 3er escalón – Pbroca	115
Tabla 34 Acciones y periodicidades particulares – Pbroca	117
Tabla 35 Periodicidad de las acciones – Pbroca.....	120
Tabla 36 Programa de capacitación TPM.....	140
Tabla 37 Índices de fundamentos de producción - prensas.....	142
Tabla 38 Costo de herramientas y suministros	150
Tabla 39 Costo de equipos de cómputo y muebles de oficina	150
Tabla 40 Costo de software y capacitación.....	151
Tabla 41 Costo de mano de obra directa.....	151
Tabla 42 Costo de Misceláneos.....	151
Tabla 43 Costo total.....	151
Tabla 44 Fuentes de financiamiento.....	152
Tabla 45 Flujo de efectivo TPM.....	153
Tabla 46 Valor actual neto TPM.....	153

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ingeniería del mantenimiento y gestión del mantenimiento	8
Figura 2 Diagrama de los sistemas de mantenimiento	10
Figura 3 Pilares del TPM.....	27
Figura 4 Pilar I	28
Figura 5 Círculo de Deming	29
Figura 6 Pilar II.....	29
Figura 7 Fases del Mantenimiento Autónomo.....	30
Figura 8 Pilar III.....	31
Figura 9 Pilar IV	32
Figura 10 Pilar V	33
Figura 11 Pilar VI.....	34
Figura 12 Pilar VII.....	35
Figura 13 Pilar VIII	36
Figura 14 Función del pronóstico de la carga de mantenimiento en un sistema de mantenimiento.....	37
Figura 15 Sistema en cascada.....	39
Figura 16 Etapas y fases de la implementación del TPM.....	40
Figura 17 Indicadores claves de desempeño del TPM	45
Figura 18 Disponibilidad en función de la confiabilidad y mantenibilidad	48
Figura 19 Planta de Producción TOPESA S.A.	55
Figura 20 Proceso productivo TOPESA S.A.	56
Figura 21 Bodega de materia prima	58
Figura 22 Proceso de trefilado - Trefiladora.....	59
Figura 23 Proceso de prensado - Prensa de estampación en frío	60
Figura 24 Proceso de forjado – Forja.....	61

Figura 25 Proceso de ranurado – Ranuradora Ra2	62
Figura 26 Proceso de roscado - Roscadora de peines planos	63
Figura 27 Proceso de roscado de tuercas – Roscadora de tuercas RT9.....	64
Figura 28 Proceso de matrizado – Matrizadora M2.....	65
Figura 29 Proceso de punteado - Punteadora Punt A.....	66
Figura 30 Proceso de lavado y secado	67
Figura 31 Proceso de Troquelado – Troquel B6.....	68
Figura 32 Proceso de Tratamientos térmicos - Horno	69
Figura 33 Proceso de acabados superficiales – Tambor de inmersión.....	70
Figura 34 Área de mantenimiento.....	71
Figura 35 N° de operadores VS Procesos de producción.....	72
Figura 36 N° de equipos VS Procesos de producción.....	72
Figura 37 Estimación de la vida útil de maquinaria y equipos	94
Figura 38 Porcentaje de maquinaria que cuenta con su ficha técnica	95
Figura 39 Porcentaje de maquinaria que posee un registro de Acc. Mtto.	96
Figura 40 Porcentaje de maquinaria que cuenta con el manual de operación	96
Figura 41 Porcentaje de maquinaria que cuenta con suministros	96
Figura 42 Porcentaje de maquinaria que posee un registro de órdenes de trabajo	97
Figura 43 Porcentaje de maquinaria que posee un registro de fallas.....	97
Figura 44 Categorización del mantenimiento	102
Figura 45 Periodicidad de las acciones de mantenimiento - Pbroca	119
Figura 46 Ponderación de las acciones de mantenimiento – Pbroca.....	121
Figura 47 Módulos del sistema GMAO.....	122
Figura 48 Menú definiciones.....	123

Figura 49 Ventana maquinaria.....	124
Figura 50 Ingreso de acciones de mantenimiento	124
Figura 51 Listado de maquinaria	125
Figura 52 Asignación de tareas de mantenimiento	126
Figura 53 Pantalla del plan de mantenimiento	126
Figura 54 Máquinas asignadas al plan de mantenimiento	126
Figura 55 Reporte del plan de mantenimiento	127
Figura 56 Ventana orden de trabajo.....	128
Figura 57 Listado de suministros.....	129
Figura 58 Control de suministros usados	129
Figura 59 Ventana empleados	130
Figura 60 Ventana ingreso de suministros	130
Figura 61 Inventario de suministros.....	131
Figura 62 Control de material utilizado	131
Figura 63 Histórico de equipos	132
Figura 64 Etapas gerencia del mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo programado.....	134
Figura 65 Etapas gerencia del mantenimiento correctivo emergente.....	134
Figura 66 Forma para la evaluación trabajador – destrezas	136
Figura 67 Interacción de los factores que ocasionan deficiencias en el desempeño.....	138
Figura 68 Programa de capacitación	139
Figura 69 Sistema de capacitación.....	140
Figura 70 Disponibilidad Operacional Prensa P1.....	143
Figura 71 Disponibilidad – Mantenimiento correctivo	143
Figura 72 Disponibilidad – Mantenimiento preventivo	144

Figura 73 Disponibilidad de maquinaria	146
Figura 74 Utilización de maquinaria	146
Figura 75 Rendimiento de maquinaria.....	147
Figura 76 Aprovechamiento de maquinaria	147

RESUMEN

El sistema que gestionaba el mantenimiento de los equipos de producción de TOPESA S.A., no se encontraba debidamente organizado ni sistematizado, los registros de producción mostraban las horas que las máquinas han estado fuera de operación, que en un promedio anual eran de un 20%, debido a ello la planta presentaba paros inesperados y una inadecuada disponibilidad de maquinaria, el 90% de las acciones de mantenimiento eran de carácter correctivo emergente. Para solucionar esta problemática, se diseñó un sistema de mantenimiento productivo total, con el fin de asegurar una adecuada disponibilidad de maquinaria y evitar paros por fallos inadvertidos. Se levantó el inventario técnico (83 equipos), y para diagnosticar sus condiciones de operación, se utilizó el método F.M.E.A., el cual en una gran mayoría mostró un índice de prioridad de riesgo mayor a 100. Al categorizarlos y diferenciarlos, 71 equipos se situaron en una categoría B. Para determinar las acciones de mantenimiento autónomo se tomó en cuenta los manuales del fabricante y la experiencia del equipo de mantenimiento y operadores de maquinaria. Detalladas las tareas, se programó y organizó la implantación de las mismas, calculando las periodicidades mediante el método gráfico. Al evaluar el sistema se calculó los índices de: disponibilidad, utilización, rendimiento y aprovechamiento. Los cuales mostraron un adecuado porcentaje de maquinaria dentro de la normativa requerida. El proyecto incluye un software de apoyo, con el cual se tendrá una base de datos actualizada de los equipos de producción, y facilitará la gestión y gerencia del plan.

PALABRAS CLAVE:

- **MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL TPM**
- **MANTENIMIENTO AUTÓNOMO**
- **ANÁLISIS MODAL DE EFECTOS Y FALLOS F.M.E.A.**
- **CATEGORIZACIÓN Y DIFERENCIACIÓN DE MAQUINARIA**

ABSTRACT

The system manages the maintenance of production equipment of the factory TOPESA S.A., it was not properly organized and systemized, the production records proved the hours that the machines have been out of operation, in an annual average were 20%, because of that the production plant has unexpected shutdowns and unequal availability of machinery, 90% of maintenance actions were emerging corrective. To solve this problem, it has designed a system of total productive maintenance, in order to ensure adequate availability of machinery and avoid shutdowns for inadvertent failures. The technical inventory was realized (83 equipments), and to diagnose the operating conditions of the machinery, the method used was Failure Mode and Effect Analysis F.M.E.A., which showed a large majority with a risk level indicator greater than 100. The all equipments were categorized and differentiated, 71 equipments were placed in a category B. To determine the autonomous maintenance actions took into account the manufacturer's manuals and the experience of equipment maintenance and operators. Once detailed tasks, it is programmed and organizes the implantation of this, the periodicities were calculated by the graphical method. To evaluate the system were calculated the next indexes: availability, utilization, performance and exploitation. Which showed an appropriate percentage of machinery within the required standards. This project includes software support, which will have a database updated of production equipment and it facilitates maintenance management.

KEY WORDS:

- **TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE TPM**
- **FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS F.M.E.A.**
- **AUTONOMOUS MAINTENANCE**
- **CATEGORIZATION AND DIFFERENTIATION OF MACHINERY**

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

Mantenimiento productivo total es la traducción de Total Productive Maintenance (TPM), su origen se ha discutido en diversos escenarios. Algunos autores afirman que nace a fines de la década de los 60, debido al plan que se usaba en la planta Nippondenso CO., una manufacturera de partes eléctricas automotrices de Japón; mientras otros, aseguran que se inició por los manufactureros americanos hace más de cuarenta años.

El primer ejemplo de TPM utilizado en Europa para ofrecer un rendimiento de clase mundial, fue desarrollado por Volvo, en Bélgica, que ganó el premio Productive Maintenance (PM) por su trabajo en el taller de pintura. Se lo puede considerar como la ciencia médica de las máquinas, es un sistema de gestión que evita pérdidas innecesarias en el sistema de producción. Su objetivo es incrementar notablemente la productividad a partir de aumentar la moral de los empleados y la satisfacción laboral. Seiichi Nakajima, un empleado del “Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM)” definió los conceptos de TPM, al confirmar su implementación y resultados óptimos en cientos de fábricas japonesas.

TOPESA S.A. es una empresa ecuatoriana, que tiene como actividad económica principal la fabricación y comercialización de elementos de fijación tales como: tornillos, pernos, remaches, tuercas y otros. Se encuentra ubicada en el sur de la ciudad de Quito D.M., dentro del Parque Industrial del Sur, Panamericana Sur km 14 ½, Av. Turubamba S61-30 y calle G.

El proceso productivo de la empresa se realiza mediante la modalidad de bajo pedido, es decir, de una manera discontinua. Para que un lote de producción pueda pasar de una operación a la siguiente, este debe estar completamente terminado, es por ello que si existen paradas innecesarias en alguno de los

procesos, todo el lote se retrasa y evidentemente el proceso siguiente no puede empezar su operación.

En su actual escenario industrial ha experimentado considerables pérdidas en la planta de producción, todo esto debido a la no disponibilidad de maquinaria a tiempo requerido, paros innecesarios para acciones correctivas en los equipos, mano de obra ociosa y bajo rendimiento de las máquinas al operar por debajo de la velocidad nominal. Todos estos aspectos relacionados con la calidad, son de gran importancia para la empresa en términos de tiempo, material y reputación ganada.

El sistema que gestiona el mantenimiento de los equipos y maquinaria, necesarios en el proceso productivo, no se encuentra organizado ni sistematizado, debido a ello han surgido inconvenientes en la forma en la que se ejecutan las acciones de mantenimiento, las mismas que no están programadas ni planificadas, se realiza en la mayoría de los casos un mantenimiento correctivo emergente, que como es de esperarse ocasiona más pérdidas y retrasos que los que se tendría con un mantenimiento preventivo y predictivo.

En su afán de mejora continua y para hacer frente a los anteriores problemas mencionados, la Fábrica de Tornillos, Pernos y Tuercas TOPESA S.A. se ve en la necesidad de diseñar e implementar un sistema de mantenimiento productivo total en su planta de producción.

1.2 Marco institucional TOPESA S.A.

1.2.1 Política de calidad

“TOPESA S.A. la primera industria del país que fabrica y comercializa: tornillos, pernos, tuercas y otros elementos de sujeción de alta calidad, cumpliendo con las normas ANSI, ASTM e ISO, satisface los requerimientos de sus clientes gracias a la mejora continua de sus procesos y a su personal calificado.” (TOPESA S.A.; Política de calidad, 2015)

1.2.2 Objetivos de calidad

- Cumplir con la entrega de productos especificados por nuestros clientes en el tiempo acordado.
- Mejorar continuamente los procesos de la empresa.
- Desarrollar las competencias del personal para incrementar su eficiencia. (TOPESA S.A.; Objetivos de calidad, 2015)

1.3 Definición del problema

En un día normal de producción en la fábrica TOPESA S.A., están operativas 10 prensas, 2 matrizadoras, 6 roscadoras, 2 punteadoras, 1 ranuradora, y 3 troqueles, entre otros equipos que la empresa posee y entran en operación según sean los requerimientos. Cabe recalcar que cada máquina posee diferente capacidad y distinto utilaje, es así, que al presentarse situaciones emergentes en dos distintos equipos, y más los trabajos de mantenimiento acumulados, da lugar a una excesiva carga de mantenimiento que el departamento encargado no puede satisfacer.

El 90% de las acciones de mantenimiento ejecutadas son correctivas emergentes; es decir, actividades de reparación o modificación cuando el fallo ya se ha producido, enfatizamos que todo esto va de la mano con el funcionamiento a una velocidad inferior de la capacidad de los equipos, generando paros innecesarios y elevando costos de mantenibilidad.

La documentación actual no permite recopilar información histórica del funcionamiento de cada equipo. No existen fichas técnicas, registros de órdenes trabajo ni reportes de fallos. Ésta falta de seguimiento y control de las actividades o acciones de mantenimiento, genera incertidumbre con respecto de cuan óptimo sea el aprovechamiento y rendimiento de la maquinaria.

Como es evidente, la planta de producción de TOPESA S.A. no cuenta con un sistema de mantenimiento planeado. Toda la gestión se resume en acciones correctivas emergentes. Para dar solución a este problema se han propuesto las siguientes variables de solución:

Diseñar e implementar un sistema de mantenimiento productivo total en la planta de producción de TOPESA S.A., elaborando un nuevo plan de mantenimiento que incluirá a todo el personal, producción, mantenimiento y alta dirección, brindando una adecuada disponibilidad de maquinaria.

Recopilar información existente e implementar un sistema de control de actividades de mantenimiento, con el fin de verificar el cumplimiento del programa y obtener una base de datos que permita el estudio del mantenimiento predictivo y preventivo. Todo esto se gestionará apoyado en un software diseñado expresamente para este sistema de mantenimiento.

1.4 Justificación

TOPESA S.A. no posee un sistema de mantenimiento adecuado para su planta de producción, registros de producción muestran que, la disponibilidad de las máquinas en un promedio anual es de un 80%, después de la implementación del proyecto se obtendrá una disponibilidad de entre el 90 y 94 %, optimizando los recursos disponibles y aumentando la eficiencia global de los equipos. Con lo que se generan significativos ahorros económicos.

Por otro lado, al realizar mantenimientos correctivos la fábrica genera desperdicios, los mismos que, con un nuevo sistema de mantenimiento se logrará un control de los mismos, de esta manera se realizará una adecuada gestión ambiental, necesaria no sólo para satisfacer la normatividad, sino para disminuir en lo posible el impacto ambiental y estético para la planta de producción y sus alrededores.

Dentro de los objetivos del sistema de mantenimiento productivo total, está minimizar futuros gastos del mantenimiento correctivo, que obviamente surgen por la no presencia de mantenimientos programados.

El plan de mantenimiento estará diseñado para que sea susceptible a futuras modificaciones; es decir, se podrán realizar cambios añadiendo o retirando actividades, maquinaria, recursos, etc.

La ejecución de este proyecto se justifica en vista de la necesidad que la planta de producción de TOPESA S.A., enfrente los entornos de una mala organización del mantenimiento, todo esto por medio de un sistema de mantenimiento productivo total debidamente organizado y sistematizado.

1.5 Alcance

Al finalizar exitosamente el proyecto se tendrá una base de datos amigable, fácilmente actualizable de los equipos y maquinaria que forman parte del proceso productivo de TOPESA S.A. Se implementará y entregará el nuevo sistema de mantenimiento, con resultados válidos al parametrizar los objetivos planteados, asegurando así un porcentaje adecuado de disponibilidad de maquinaria, necesaria para cumplir con las programaciones de producción, basado en el mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo apoyado por ordenador.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema de mantenimiento productivo total (TPM) para el sistema de producción de TOPESA S.A., a fin de evitar paros por fallos inadvertidos que afectan a la productividad.

1.6.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar la situación actual en la que se encuentran los equipos de producción de la planta de TOPESA S.A., como punto de partida.
- Analizar el sistema de producción y considerar posibles mejoras.
- Categorizar y diferenciar la maquinaria de producción.
- Jerarquizar y sistematizar la maquinaria de producción.
- Determinar las acciones y periodicidades del mantenimiento autónomo.

- Capacitar al personal de operadores y mantenimiento, en los niveles considerados del TPM
- Reducir futuros gastos de mantenimiento correctivo, intensificando la inversión del preventivo a fin de alargar la vida útil de la maquinaria.
- Implementar el sistema de mantenimiento productivo total.
- Validar el proyecto de investigación.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Mantenimiento industrial

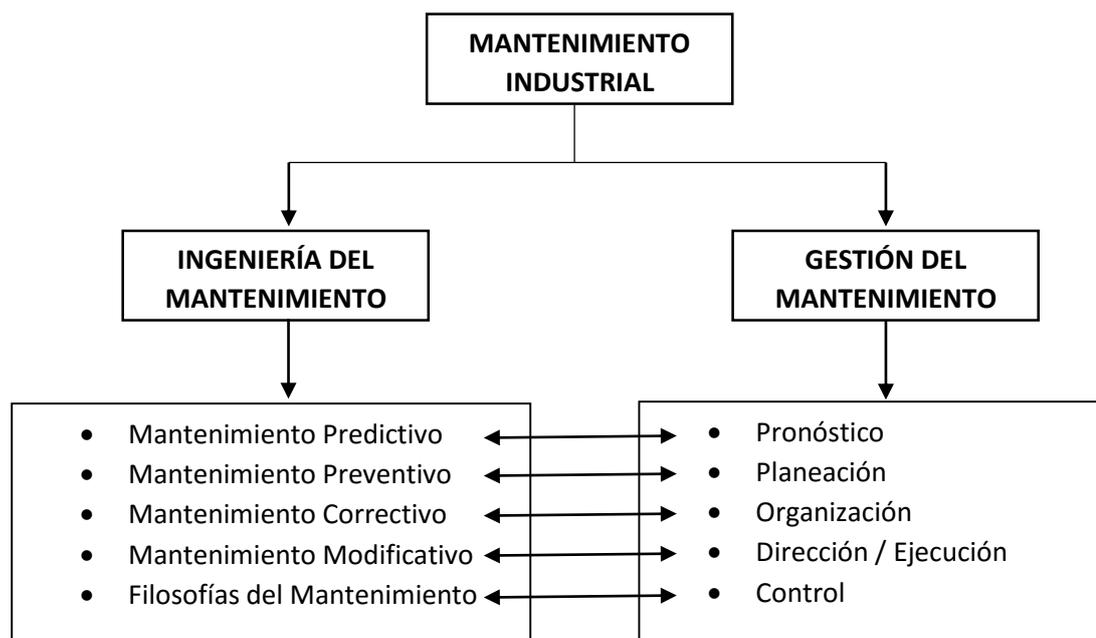


Figura 1 Ingeniería del mantenimiento y gestión del mantenimiento

El mantenimiento se puede definir como la función empresarial a la que se encomienda el control del estado de las instalaciones de todo tipo, llevando a cabo un conjunto de técnicas destinadas a conservar dichas instalaciones, maquinaria y equipos durante el mayor tiempo posible, reduciendo los tiempos de estadía en caso de llegar a fallar.

Todas estas actividades pueden englobarse en:

- Prevenir y/o corregir averías
- Cuantificar y/o evaluar el estado de las instalaciones.
- Dirigir y controlar los diferentes sistemas y ejecuciones
- Desarrollar estudios económicos - financieros

Son misiones de mantenimiento:

- La vigilancia permanente y/o periódica
- Las acciones preventivas
- Las acciones correctivas (reparaciones)
- La sustitución de maquinaria

Los objetivos implícitos son:

- Generar una adecuada disponibilidad de los equipos, conforme el requerimiento de producción.
- Reducir los costes al mínimo compatible con el nivel de disponibilidad necesario, ejecutando con mayor intensidad las acciones del preventivo
- Mejorar la confiabilidad de máquinas e instalaciones, minimizando la estadía (tiempo muerto) de la maquinaria
- Especializar al departamento de mantenimiento en el desarrollo de nuevas tecnologías para facilitar la mantenibilidad de las instalaciones.

2.2 Sistemas de mantenimiento

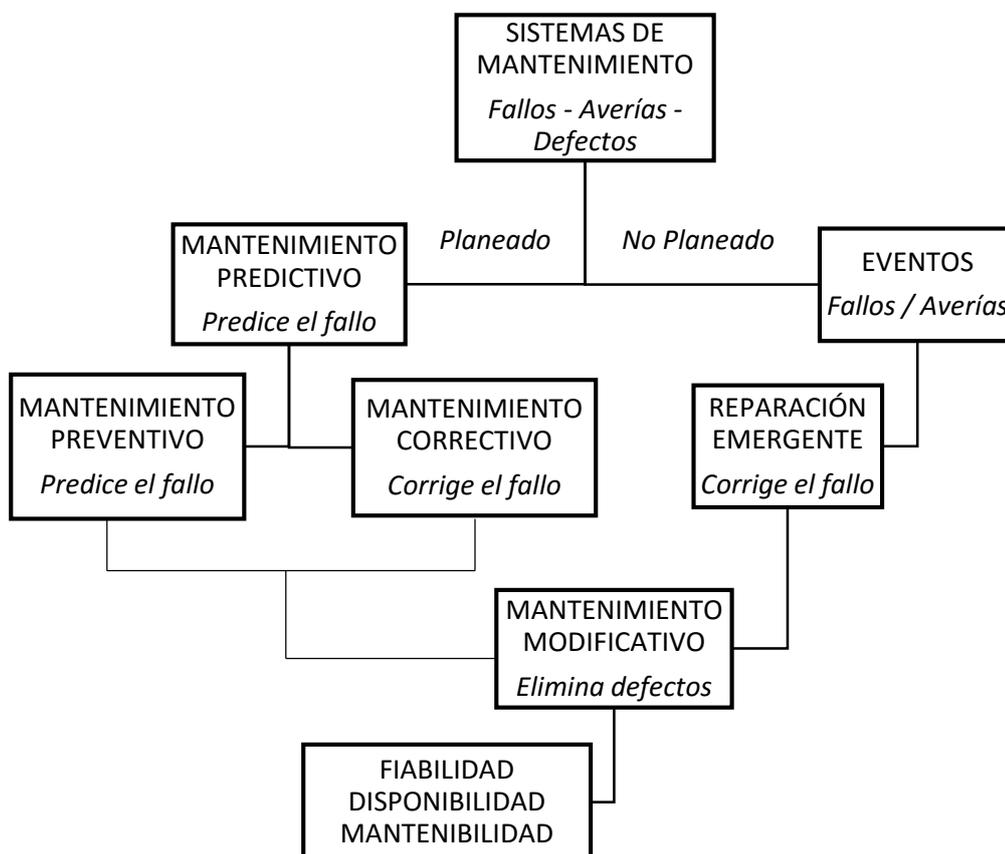


Figura 2 Diagrama de los sistemas de mantenimiento

Los sistemas de mantenimiento juegan un papel muy importante en las operaciones y producción de las empresas, algunos de ellos no solamente centran su atención en la tarea de corregir fallos, sino que también tratan de actuar antes de la aparición de los mismos sobre los activos.

Son una herramienta de planificación y control para la gestión eficaz del mantenimiento de todo equipo e instalación industrial. Tienen como objetivos mejorar la fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad funcional, así mismo como reducir los costos de mantenimiento a su vez que mejora la calidad del producto.

2.3 Gestión del mantenimiento industrial

El mantenimiento es una de las actividades más importantes dentro del proceso productivo, pues permite asegurar la correcta disponibilidad de maquinaria, permite una mayor productividad y mejora los costos de producción. El mantenimiento industrial se lo define como el control constante de las instalaciones (en el caso de una planta) o de los componentes (en el caso de un producto), necesarios para garantizar el funcionamiento regular y el buen estado de conservación de un sistema.

Es la combinación de actividades mediante las cuales la maquinaria, equipos y sistemas se mantienen en, o se restablece a, un estado en el que pueden realizar las funciones asignadas. Es por ello que para realizar una adecuada gestión referente al mantenimiento es necesario conocer a cabalidad las características de la máquina, lo que nos permitirá identificar en que momento, en que periodo del proceso productivo se podría producir una avería, o cambio de condición en algún elemento del equipo.

La ingeniería de mantenimiento clasifica en siete grupos principales a todas las acciones:

1. Inspección.

2. Servicio.
3. Reparación.
4. Modificación.
5. Fabricación.
6. Montaje.
7. Cambio.

2.3.1 Acciones del mantenimiento industrial

2.3.1.1 Inspección

Se puede definir a las inspecciones como un conjunto de operaciones y servicios de mantenimiento aplicados en forma periódica y/o continua a los equipos e instalaciones de la planta, con el fin de mantener su condición de operabilidad y reducir posibilidades de falla, antes de que puedan presentarse y generar una parada no deseada del sistema.

Niveles de inspección:

- **Ligera:** Superficial, con poca instrumentación.
- **Profunda:** Con instrumentación y herramientas complejas.
- **Abierta:** El equipo se abre o se desmonta.
- **Cerrada:** No es necesario abrir o desarmar el equipo, se realiza con equipos de diagnóstico.

2.3.1.2 Servicio

Son actividades que se encargan de mantener la apariencia y propiedades físicas de los equipos en óptimas condiciones a fin de adecuar el sitio de trabajo necesario para la supervivencia de la máquina, algunos ejemplos de acciones de servicio son: limpieza, pintura, desinfección, desoxidación, etc. Puede ser sistémico y rutinario.

2.3.1.3 Reparación

Es la actividad que consiste en corregir defectos, sustituir partes o piezas de sistemas o equipos, que han cesado de ejecutar su función principal, para que vuelvan a operar eficientemente, son de tres clases: reparación menor, reparación media y reparación mayor.

2.3.1.4 Modificación

La modificación altera el diseño de los equipos, para simplificar la operación y el mantenimiento o para satisfacer necesidades funcionales específicas.

Las Modificaciones pueden ser de tres clases:

- **Simplificación:** Operación, mantenimiento y costo.
- **Adaptación:** Aumentar el volumen de producción o cambio de producto.
- **Por necesidad:** Obsolescencia, reemplazos y repuestos.

2.3.1.5 Fabricación

Consiste en la manufactura de piezas, partes, repuestos o herramientas de difícil adquisición para mantenimiento, con el fin de reparar, modificar o realizar servicio a maquinarias y equipos.

2.3.1.6 Montaje

Consiste en establecer, y poner en operación normal equipos nuevos o reconstruidos. Sus ventajas son:

- El adiestramiento que adquieren los operadores.
- Transferencia de experiencia y tecnología.

2.3.1.7 Cambio

Implica el reemplazo de partes, sistemas o equipos que han agotado su vida útil, y su reparación o recuperación ya no es económicamente rentable, por otros totalmente nuevos.

Estas actividades deben fundamentarse en:

- Necesidades de modernización.
- Ajustes en las líneas de producción.
- Aumento de la capacidad productiva.
- Aumento de la calidad del producto.
- Incremento de la seguridad.

2.4 Fases de la gestión del mantenimiento

2.4.1 Fase estática

En esta primera etapa resaltan las siguientes actividades:

- Previsión.
- Planeación.
- Organización.

2.4.1.1 Previsión de las actividades

En donde la principal prioridad es determinar el objetivo previsto mediante el análisis de las alternativas e investigaciones de los medios disponibles, es decir, analizamos el punto al cual están dirigidos los esfuerzos para satisfacer la necesidad. Es aquí en donde debemos formularnos la pregunta ¿Qué se puede hacer?

2.4.1.2 Planeación de las actividades

Analiza y estudia las alternativas para lograr los objetivos, ¿Qué se va hacer? Dentro de esta etapa, identificamos las siguientes actividades:

- Determinación de la filosofía de mantenimiento.
- Elaboración del pronóstico de la carga de mantenimiento.
- Planeación de la capacidad de mantenimiento.
- Organización del programa del mantenimiento.
- Presupuestación de las acciones y recursos de mantenimiento.

2.4.1.3 Organización de las actividades

Ya en este punto debemos organizar los recursos materiales con el talento humano. Hacernos la pregunta ¿Cómo se van a realizar las operaciones? Para ello debemos definir las funciones, que determinan y aclaran cómo deben dividirse y agruparse las actividades en cada estación de trabajo. Asignamos obligaciones, que determinan la responsabilidad exacta de cada cargo y a su vez determinamos estándares de tiempo.

Finalmente se deben establecer jerarquías, que definen los niveles en el organigrama al igual que su relación formal de dependencia.

2.4.2 Fase dinámica

En esta segunda fase tenemos las siguientes actividades:

- Integración.
- Dirección.
- Control.

2.4.2.1 Actividades de Integración

Tienen por objeto la incorporación de los recursos adecuados y el talento humano, necesarios para la realización de los programas. ¿Con quién y con qué se va realizar las actividades?

Comprende:

- Reclutamiento para cubrir los puestos asignados.
- Selección de candidatos idóneos.
- Capacitación para el desempeño de sus funciones.
- Desarrollo del talento Humano.
- Determinación de necesidades.
- Selección y adquisición de recursos.
- Instalación y conservación de recursos.

2.4.2.2 Actividades de Dirección / Ejecución

Ya con un apropiado plan de mantenimiento establecido, es necesaria una adecuada dirección y ejecución del mismo. Para ello debemos tener en cuenta los siguientes puntos:

- Coordinación.
- Integración.
- Capacitación.
- Comunicación.
- Liderazgo.

2.4.2.3 Actividades de Control

Es necesario llevar en todo momento un control sobre la marcha del plan de mantenimiento, para ello debemos realizar acciones como:

- Control de los trabajos de mantenimiento.
- Control de los inventarios de mantenimiento.
- Control de costos de las acciones de mantenimiento.
- Control de calidad de las acciones de mantenimiento.
- Control del rendimiento del talento humano.

2.5 Ingeniería de mantenimiento

En una misma empresa conviven varios tipos de mantenimiento, se diferencian entre sí por el carácter de las tareas que incluyen, los tipos de mantenimiento básicos más aceptados por los diferentes autores son:

- Mantenimiento Predictivo.
- Mantenimiento Preventivo.
- Mantenimiento Correctivo (emergente y programado).
- Mantenimiento Modificativo.
- Filosofías de Mantenimiento.

2.5.1 Mantenimiento predictivo

La mayoría de las fallas se producen lenta y progresivamente. En algunos casos se presentan indicios que pueden advertir su aparición en un futuro. El mantenimiento predictivo es un conjunto de actividades de monitoreo, medición y diagnóstico continuo o periódico sobre la evolución o tendencia de variables medibles en un sistema, y sus valores establecidos como aceptables para dichas características, las mismas que pueden ser: Temperatura, presión, vibraciones, rigidez, viscosidad, contenido de humedad, impurezas, niveles de fluido, desgaste, etc.

Dentro de sus principales ventajas tenemos:

- Seguimiento continuo o discreto del defecto hasta antes de su posible fallo.
- Reducción en tiempos muertos o estadías.
- Registro de la historia de una característica en análisis, sumamente útil ante fallos repetidos.
- Paradas programadas de los equipos.
- Menos intervención de la mano de obra en mantenimiento.
- Seguridad y confianza en los puestos de trabajo.

Como algunos de sus inconvenientes podemos citar:

- Inversión costosa en equipos de medición.
- Capacitación y conocimientos para generar un registro de todos los antecedentes.

2.5.2 Mantenimiento preventivo

Es el conjunto de actividades programadas de antemano, que tienen por misión mantener un nivel de servicio asignado a los equipos. Este tipo de mantenimiento trata de prevenir la aparición de fallas. El éxito estriba en el análisis detallado del programa de toda y cada una de las máquinas y en el cumplimiento estricto de las actividades.

Se realiza en un momento en que no se está produciendo, cuenta con una periodicidad programada, está destinado a un área en particular y a ciertos equipos específicamente, a su vez que permite a la empresa contar con un historial de todos los equipos. La base de información para un mantenimiento preventivo surge de fuentes internas y externas a la organización.

Fuentes internas: Son registros o historiales de reparaciones, archivos de los equipos con sus listados de partes, especificaciones, planos, archivos de inventarios de piezas y partes de repuesto, archivos del personal disponible en mantenimiento.

Fuentes externas: Recomendaciones sobre el mantenimiento, que efectúa el fabricante de cada máquina o equipo.

Sus principales ventajas son:

- Lograr una mayor vida útil de las máquinas e incrementar su eficiencia y calidad en el trabajo que realizan.
- Disminuir los costos por reparación.
- Definir las acciones de mantenimiento a programar y la periodicidad más racional para su ejecución.
- Incrementar la disponibilidad, la seguridad ante riesgos sobre el personal y el cuidado del medio ambiente.

Dentro de las desventajas tenemos:

- Paradas de inspección, importantes en unidades de funcionamiento continuo.
- Desmontaje total o parcial de un equipo.
- Limitación de la vida útil de los elementos que se cambiaron con antelación a la llegada a su estado límite (sobremantenimiento), incrementando los costos de mantenimiento.

2.5.3 Mantenimiento correctivo

Conjunto de acciones de reparación, y sustitución de elementos deteriorados por repuestos que se realizan cuando aparece el fallo, el objetivo principal es poner en marcha el equipo lo más rápido posible y con el mínimo coste. Existen dos tipos de mantenimiento correctivo:

2.5.3.1 Mantenimiento Correctivo de Emergencia

Se realiza su intervención cuando el fallo se ha producido, restituyendo la capacidad de trabajo a la máquina. Entre sus principales acciones están overhauls mayores en donde se realiza un desmontaje total o reparación

general del equipo. Este tipo de mantenimiento no requiere de estudios ni investigaciones para su accionar (eventual), se logra un máximo aprovechamiento de la vida útil de los elementos, pero cabe recalcar que la ocurrencia del fallo es aleatoria, es decir, en el momento menos esperado y menos deseado.

Otro inconveniente de este sistema, es tener siempre en stock piezas o repuestos de difícil adquisición, pues muchos elementos que pueden fallar suelen requerir de una gestión de compra, como es el caso de equipos importados, en donde varias de sus partes no podrían ser encontradas en el mercado nacional.

2.5.3.2 Mantenimiento Correctivo Programado

De la misma forma que el anterior, corrige la falla antes de que se presente una eventualidad de fallo, la diferencia es que el grado de gravedad es mucho menor. En este caso se realizan acciones de overhauls medias y menores, es decir, se efectúan reparaciones medias con desmontajes parciales, las mismas que pueden ser programadas para ser realizadas en un futuro próximo. En resumen, se programa la parada de la máquina, pero antes de hacerlo se van acumulando tareas a realizar que no se podían realizar con el equipo en funcionamiento. Si bien los fallos ocurren de manera inesperada, muchas de las paradas pueden ser programadas para evitar la aparición de los mismos.

2.5.4 Mantenimiento Modificativo

Este tipo de mantenimiento realiza acciones que modifican una instalación o equipo, para eliminar un cierto tipo de defecto, este clase de modificaciones pueden ser de diferentes magnitudes, por ejemplo la sustitución de materiales, elementos o componentes en un equipo, cambios en el diseño de una pieza, modificación de la disposición de las piezas entre

sí, modificaciones en la instrumentación, modificaciones en sistemas de control, etc.

Con esto podemos reducir o eliminar fallos en los equipos de producción debidos a un mal diseño o errores de cálculo, o fallos producidos por el mal uso de la maquinaria, pues muchas de las veces se emplean equipos en aplicaciones para las que no han sido diseñados, y sobre todo por someterlos a cargas superiores de trabajo especificadas por el fabricante.

2.5.5 Filosofías de mantenimiento

2.5.5.1 RCM (Reliability Centered Maintenance)

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad o RCM por sus siglas en inglés, es una técnica más para elaborar un plan de mantenimiento. Inicialmente fue desarrollado para la Aviación Civil Norteamericana en los años 60s como una necesidad para reducir los accidentes aéreos.

El análisis de RCM comienza con la redacción y listado de las funciones deseadas del equipo y sus asociadas, las fallas funcionales o estados de falla identifican todos los estados indeseables del sistema, para cada modo de falla deben indicarse los efectos de falla asociados.

El principal objetivo del RCM es reducir al mínimo el costo por mantenimiento, enfocándose así en las funciones más importantes de los sistemas y evitando acciones de mantenimiento innecesarias.

Este enfoque de mantenimiento posee una serie de aspectos positivos, entre los cuales tenemos:

- Un lenguaje técnico común, sencillo y fácil de entender para todos los empleados, permitiendo al equipo de trabajo saber qué hacer y cómo hacer para obtener los resultados esperados.
- Permite diferenciar entre efectos y consecuencias de falla.
- Permite diferenciar entre falla funcional y modos de falla.

- Se puede visualizar la categoría de las consecuencias del fallo evidente de un equipo, estas son: consecuencias de seguridad, consecuencias sobre el medio ambiente, consecuencias operacionales, consecuencias no operacionales, consecuencias de fallas ocultas.

En resumen, la productividad global del Departamento de Mantenimiento debe mejorarse mediante una forma de trabajo más avanzada, proactiva, planificada y no realizando acciones de mantenimiento inútiles.

2.5.5.2 TPM (Total Productive Maintenance)

Esta filosofía se asocia con paros, calidad y costes en los procesos de producción industrial. Se puede denotar como un sistema que pretende orientar a una empresa o proceso de producción a un nivel de excelencia ideal, en donde no se presenten accidentes, averías y defectos.

Mantenimiento: Mantener el sistema hombre–máquina–material en óptimas condiciones.

Productivo: Enfocado a la utilización eficaz de todos los recursos

Total: Implica a la totalidad del personal.

Para una descripción más detallada de esta filosofía, se recomienda revisar el ítem 2.6 “*Mantenimiento Productivo Total (TPM)*”.

2.5.6 Niveles de intervención de las acciones de mantenimiento

Todas las tareas / acciones que se deben efectuar para que el medio o sistema continúe trabajando de una manera adecuada y dentro de los parámetros requeridos, deben ser clasificadas y asignadas a los actores que deben participar en la ejecución de las mismas, a este tipo de intervenciones la ingeniería en mantenimiento lo clasifica de la siguiente manera:

Tabla 1

Niveles de Mantenimiento

NIVELES	DESCRIPCIÓN
---------	-------------

LOCALIZACIÓN	ALCANCE	
ORGÁNICO U ORGANIZACIONAL	1er. ESCALÓN	Lo realiza el usuario dueño, operador y/o su ayudante. Autónomo, línea de fabricación
	2do. ESCALÓN	Realizado por el mecánico de fabricación o el departamento de mantenimiento
INTERMEDIO O DE APOYO	3er. ESCALÓN	Mecánicos especialistas, talleres móviles semifijos o de compañía.
	4to. ESCALÓN	Mecánicos más especializados que los del III escalón. Instalaciones equipadas con herramientas y equipos especializados
DE FÁBRICA O DEPÓSITO	5to. ESCALÓN	Ingenieros de la fábrica productora del equipo, talleres de servicio a nivel nacional.

2.5.6.1 I Escalón de mantenimiento

Los instructivos o manuales de operación, comprenden todo el conjunto de acciones simples necesarias a la explotación del equipo, y realizadas a los elementos de fácil acceso. Pudiendo no ser con la ayuda de herramientas o medios auxiliares que se encuentran incorporados a la máquina. Acciones como limpieza, lubricación, regulación, calibración, inspección, ajustes simples previstos por el fabricante de la máquina se realizan en el sitio operacional.

Misión:

Entretimiento diario y semanal.

Localización:

Sitio Operacional de la máquina.

Ejecutor:

Usuario, dueño, operador, ayudante.

2.5.6.2 II Escalón de mantenimiento

Se incluyen todo el conjunto de acciones que necesitan de procedimientos simples y/o de equipamiento de sostén (integrados al medio), de complejidad superior al I escalón. Comprenden los controles de performance, regulaciones, reparaciones por intercambio estándar de elementos o subconjuntos (reemplazo fácil), u operaciones menores de mantenimiento.

Misión:

Entretimiento mensual, trimestral o semestral, revisiones, reglajes y ajustes ligeros, cambios menores.

Localización:

En el taller de fabricación, en la obra, en el campamento.

Ejecutor:

Mecánicos de planta, equipos de obra, mecánicos por especialidades.

2.5.6.3 III Escalón de mantenimiento

Incluyen el conjunto de acciones que necesitan de procedimientos complejos y/o de equipamiento de sostén de utilización. Identificación y diagnóstico de averías, reparación por cambio de componentes funcionales, reparaciones mecánicas menores, regulaciones generales, operaciones delicadas, reparaciones por intercambio de subconjuntos y/o componentes, en talleres móviles o semifijos.

Estas acciones pueden ser efectuadas por un técnico calificado con la ayuda de procedimientos detallados y de equipos de sostén previstos en las instrucciones de mantenimiento.

Misión:

Cambiar conjuntos y piezas, realizar reparaciones menores, ajustes, suministro de recambios, overhaul menor.

Localización:

Talleres de apoyo directo, donde se precisen talleres semifijos y móviles.

Ejecutor:

Equipos de mantenimiento, vehículos, herramientas, materiales, repuestos.

2.5.6.4 IV Escalón de mantenimiento

Se incluye todo el conjunto de acciones donde se necesitan una especialización en una tecnología en particular por parte del personal que va a efectuar la tarea. Se incluye en este nivel las reparaciones para remplazo de subconjuntos, y componentes, reparaciones especializadas, verificación de aparatos de medición, etc., dejando totalmente excluidas las operaciones de renovación y/o reconstrucción del medio.

Misión:

Reparación media u overhaul medio.

Localización:

Talleres especializados dentro y/o fuera de la empresa.

Ejecutor:

Equipos de mantenimiento, vehículos, herramientas, materiales, repuestos.

2.5.6.5 V Escalón de mantenimiento

Incluye el conjunto de acciones donde los procedimientos a emplear implican un saber hacer, acudiendo a tecnologías particulares, procesos y/o equipamiento especial de resguardo industrial. Estas tareas son de carácter puntual y no forman parte de nuestra actividad de mantenimiento, a menos que tengamos comprada la patente.

Comprenden las intervenciones de renovación, reconstrucción, de reparaciones importantes, modificaciones, las cuales son efectuadas por el constructor (fabricante) o por una empresa especialista o talleres centrales,

con la capacidad suficiente como para fabricar, renovar, reconstruir el equipo según se requiera y los equipos de sostén definidos allegados a la fabricación.

Misión:

Reparaciones mayores, reconstrucción, modificación, innovación, repotenciación.

Localización:

Países de los fabricantes y proveedores de depósito en el país del usuario.

Ejecutor:

Ingenieros de fábrica.

2.6 Mantenimiento Productivo Total (TPM)

Como se expresó anteriormente esta filosofía de mantenimiento busca lograr cero defectos, cero descomposturas y cero accidentes en todas las áreas funcionales de una empresa. Todo esto es posible lograr mediante la implementación de un mantenimiento autónomo, que es llevado a cabo por los propios operarios de producción, lo que implica la participación de todo el personal en todos los niveles de la organización.

La principal diferencia entre el TPM y otros conceptos, es que en este sistema de gestión los operadores son involucrados en el proceso de mantenimiento. El concepto de “Yo (operadores de producción) manejo, Tu (departamento de mantenimiento) arregla” No se sigue.

Dentro de sus principales características se encuentran:

- Mejorar la eficacia global, es decir conseguir el uso más eficaz del equipo.
- Establecer un sistema de mantenimiento productivo en toda la empresa, incluye la prevención del mantenimiento, mantenimiento preventivo y mantenimiento relacionado con las mejoras.

- Exige la participación de todos los departamentos relacionados con la producción, operarios del equipo y operarios del área de mantenimiento.
- Todos los empleados están activamente involucrados, desde la alta dirección hasta los operarios.
- Proporciona y lleva a cabo planes de mantenimiento, basados en actividades autónomas.
- Operar las máquinas incluso durante el almuerzo. (El almuerzo es para los operadores y no para las máquinas).
- Lograr el 100% de éxito en la entrega de la mercadería según lo que requiera el cliente.
- Mantener un ambiente libre de accidentes.
- Acciones de mantenimiento en todas las etapas del ciclo de vida del equipo.
- Procesos de mantenimiento fundamentados en la utilización profunda del conocimiento que el personal de fabricación posee sobre los procesos productivos y el desempeño de los equipos.

2.6.1 Pilares del TPM

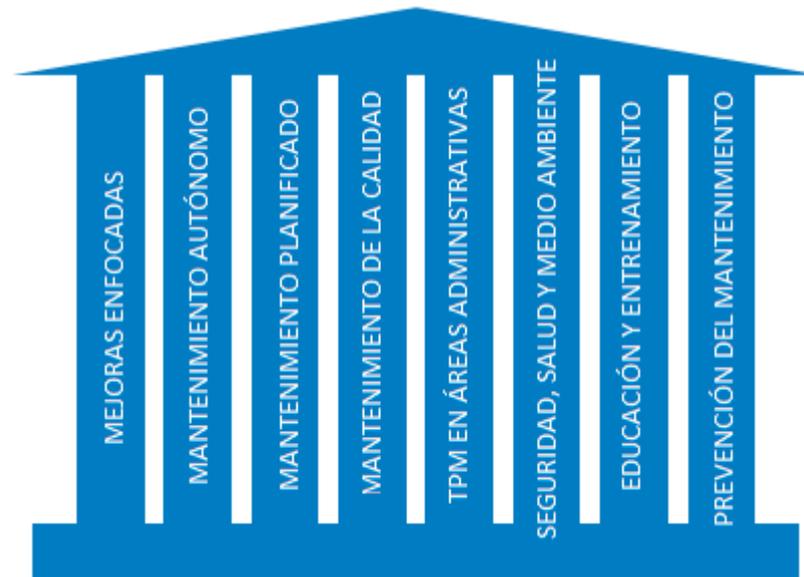


Figura 3 Pilares del TPM

La misión de cada pilar es reducir las pérdidas hasta su completa eliminación, en primer lugar antes de iniciar la implementación del TPM, la alta dirección tiene que entender que este sistema es parte de un programa de cambio cultural a largo plazo, que no se trata de una iniciativa para el departamento de producción. Se trata de un mecanismo por el cual transformamos nuestro entorno de trabajo y la forma en que trabajamos.

2.6.1.1 Pilar I: Mejoras enfocadas

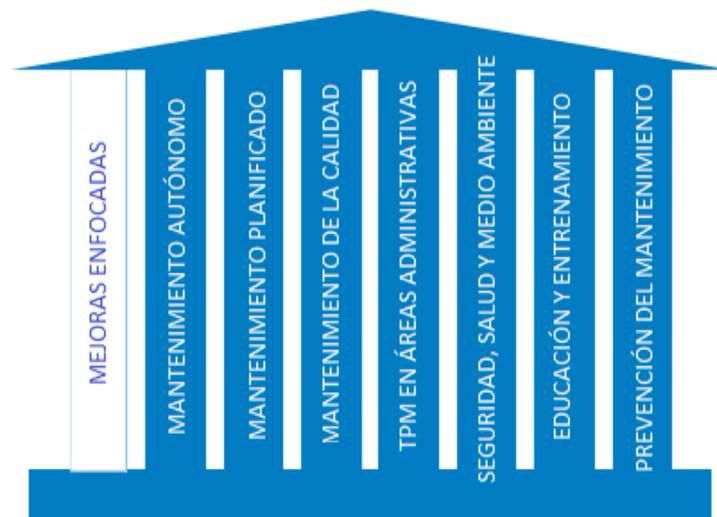


Figura 4 Pilar I

El primer pilar del TPM es la mejora enfocada, el cual sigue un conjunto estructurado de medidas alineadas con el círculo de Deming, también llamado PDCA por sus siglas en inglés.

- Plan (Planear): en esta fase el equipo pone su meta, analiza el problema y define el plan de acción
- Do (Hacer): Una vez que tienen el plan de acción este se ejecuta y se registra.
- Check (Verificar): Luego de cierto tiempo se analiza el resultado obtenido.

- Act (Actuar): Una vez que se tienen los resultados se decide si se requiere alguna modificación para mejorar.

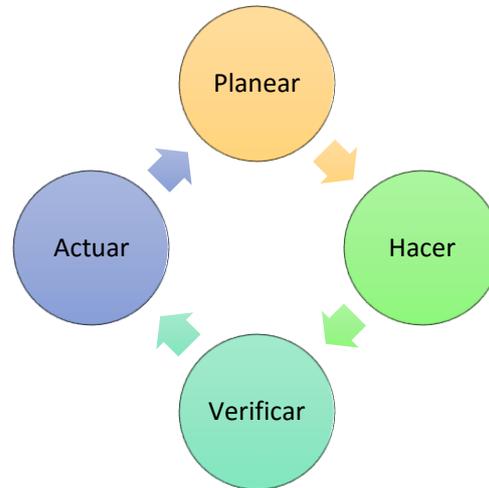


Figura 5 Círculo de Deming

Este pilar se basa en la comprensión y análisis de los diferentes tipos de pérdida que afectan a una organización, opera a un nivel estratégico e identifica los criterios para la selección de proyectos. Además de mejorar la eficiencia, reducir los defectos y mejorar el desempeño de seguridad debido a la eliminación de pérdidas, el pilar de mejora enfocada asegura que el enfoque adoptado es consistente y repetible, para con esto asegurar la sostenibilidad.

2.6.1.2 Pilar II: Mantenimiento Autónomo

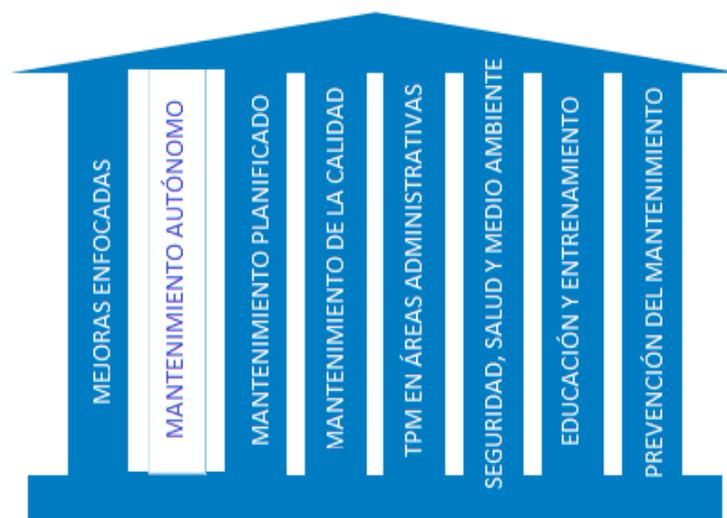


Figura 6 Pilar II

Mantenimiento autónomo es el segundo de los ocho pilares del TPM, su objetivo principal es cambiar la mentalidad de los operadores, pasar de un ambiente reactivo a trabajar de una manera más proactiva, para lograr condiciones óptimas que eliminan paradas innecesarias, así como la reducción de defectos y averías.

Las actividades del mantenimiento autónomo se dividen en tres fases:

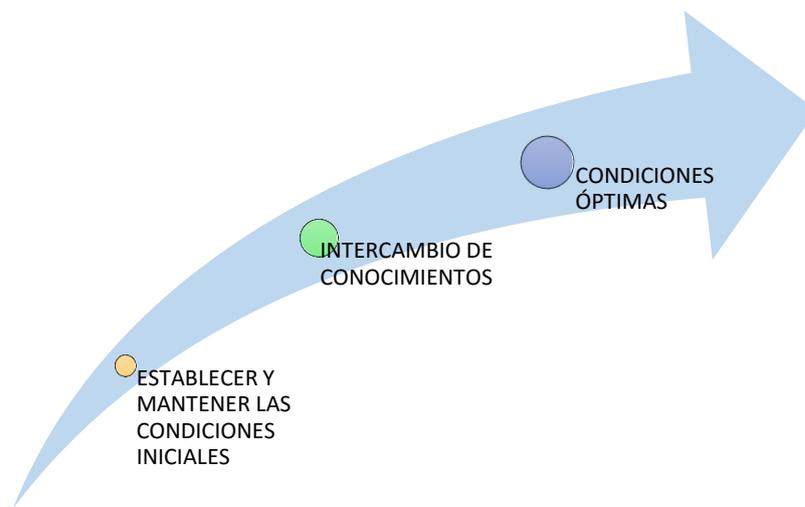


Figura 7 Fases del Mantenimiento Autónomo

La primera fase establece y mantiene las condiciones básicas de los equipos, a través de la restauración y la eliminación de las causas de deterioro forzado y fuentes de contaminación. Las normas que se introducen para garantizar que las condiciones se mantengan son, la limpieza, inspección, ajuste y lubricación.

La segunda fase aumenta las capacidades del equipo mediante el intercambio de conocimientos entre operarios y el departamento de mantenimiento, mejorando las condiciones básicas estándar.

Durante la tercera fase, los operadores se adecuan a las máquinas como equipos auto dirigidos, reduciendo aún más las pérdidas al obtener una mejora continua del rendimiento y las condiciones de los equipos.

El despliegue del Mantenimiento Autónomo mejorará la eficacia total del equipo, mediante la reducción de la pérdida de rendimiento y el aumento de

la disponibilidad del equipo. Además habrá una mejora medible en los niveles de compromiso y capacidad de los empleados.

2.6.1.3 Pilar III: Mantenimiento Planificado

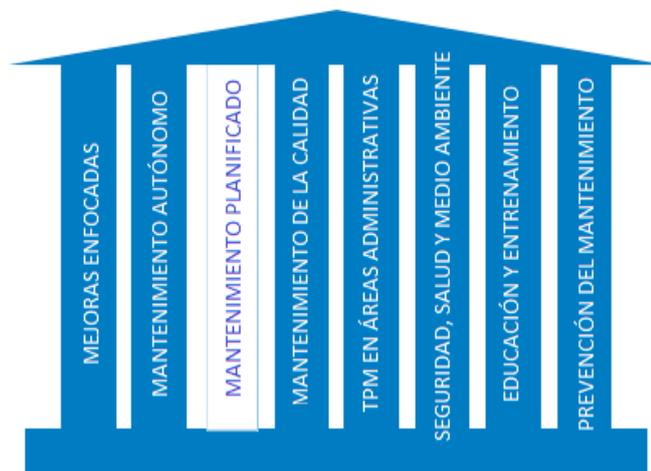


Figura 8 Pilar III

Mantenimiento Planificado es el tercer pilar del TPM y su objetivo es lograr cero averías. Para ello se sigue un enfoque estructurado estableciendo un sistema de gestión que extiende la fiabilidad de los equipos a un coste óptimo. Las actividades que engloban este pilar son dirigidas por el equipo de mantenimiento, dando prioridad a los equipos e implica la evaluación del desempeño y costos del mantenimiento actual, todo esto con el objetivo de establecer una condición básica estándar sostenible para la eliminación de las causas de averías.

En este punto los sistemas de gestión de la información se utilizan para proporcionar datos detallados sobre el proceso de mantenimiento y el uso de piezas de repuesto, el personal debe identificar el enfoque óptimo para el mantenimiento del equipo, comenzando con un mantenimiento periódico, antes de introducir en mantenimiento predictivo.

El principal beneficio de la implementación de Mantenimiento Planeado es la reducción de las averías, lo que conduce a la reducción de costes y mejora

de la eficiencia de la máquina. El pilar también contribuirá a mejorar la calidad y rendimiento de seguridad.

2.6.1.4 Pilar IV: Mantenimiento de la calidad

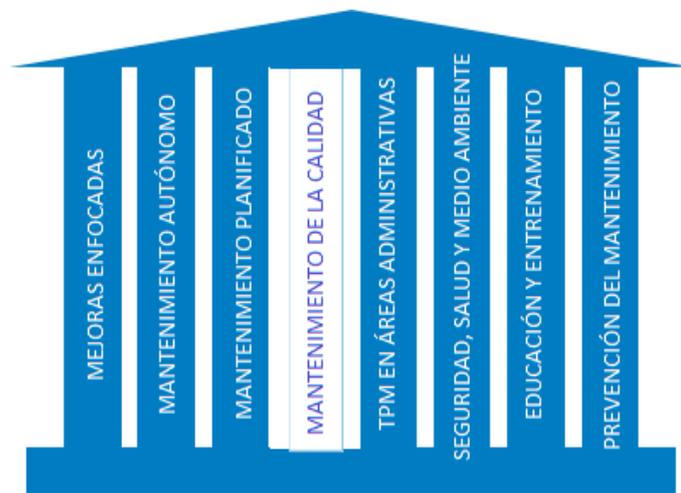


Figura 9 Pilar IV

Mantenimiento de la calidad es el cuarto pilar del TPM y tiene por objeto garantizar las condiciones de cero defectos. Para ello, debe existir la comprensión y el control de las interacciones entre los procesos de recursos humanos, materiales, máquinas y métodos, evitando así que se produzcan fallas. La clave está en prevenir los defectos antes de que aparezcan, en lugar de la instalación de sistemas de inspección rigurosos para detectar el defecto después de que se ha producido.

El deterioro forzado debe ser abolido, los problemas de proceso deben ser eliminados y cualquier variación de los materiales debe estar bajo control. Los operadores y el mantenimiento deben tener la capacidad necesaria para mantener las condiciones del equipo.

2.6.1.5 Pilar V: TPM en áreas administrativas

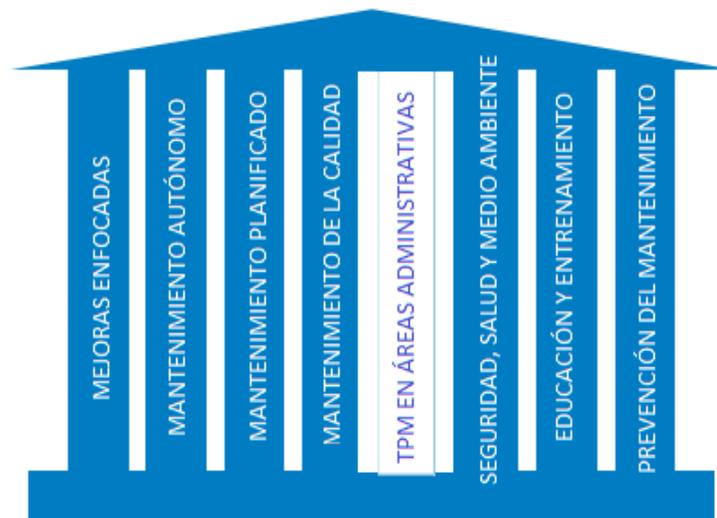


Figura 10 Pilar V

TPM en áreas administrativas es el quinto pilar y se concentra en todas las áreas que proporcionan funciones administrativas y de apoyo a la organización. El pilar aplica los principios del TPM clave en la eliminación de los desechos y las pérdidas de estos departamentos.

La etapa de preparación inicial para el pilar asegura que las metas y objetivos para cada departamento están alineados con la visión y misión de la organización. Beneficia a las organizaciones mediante la eliminación de las pérdidas en los sistemas administrativos a través de toda la organización y en la cadena de suministro extendida. Esto ofrece la reducción de costos en los gastos generales de la organización, así como la mejora y el apoyo a la sostenibilidad de la eficiencia del proceso de fabricación.

2.6.1.6 Pilar VI: Seguridad, Salud y Medio Ambiente

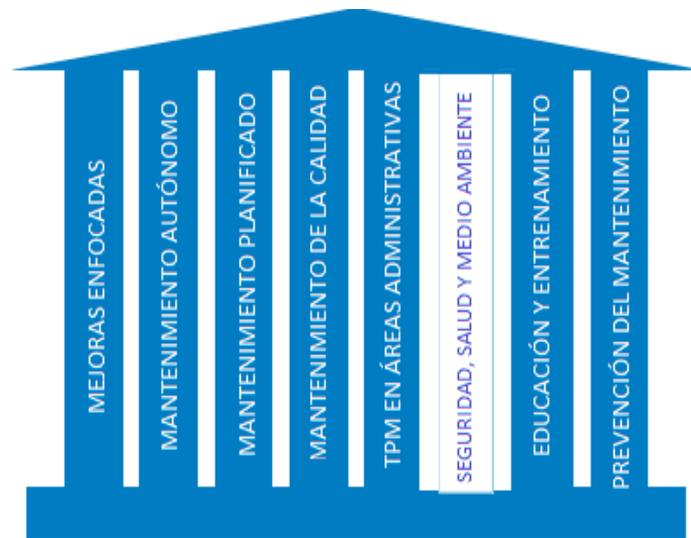


Figura 11 Pilar VI

Seguridad, Salud y Medio Ambiente es el sexto pilar del TPM y pone en práctica una metodología para conducir hacia el logro de cero accidentes. Engloba la seguridad relacionada con cero accidentes, cero sobrecarga (estrés físico y mental y la tensión en los empleados) y cero contaminación ambiental.

Las actividades de este pilar proponen la eliminación de forma reactiva de las causas de incidentes que se han producido, para evitar que vuelvan a ocurrir, y proactivamente reducir el riesgo de futuros incidentes potenciales apuntando hacia cero accidentes y peligros potenciales.

Los beneficios inmediatos de la aplicación de este pilar son para prevenir la recurrencia de accidentes con pérdida de tiempo y reducir el número de accidentes menores, así como la prevención de fallas en el sistema ambiental. Esto tiene un ahorro económico directo en el costo de la contención, la investigación y la indemnización, así como el impacto reputacional.

2.6.1.7 Pilar VII: Educación y Entrenamiento

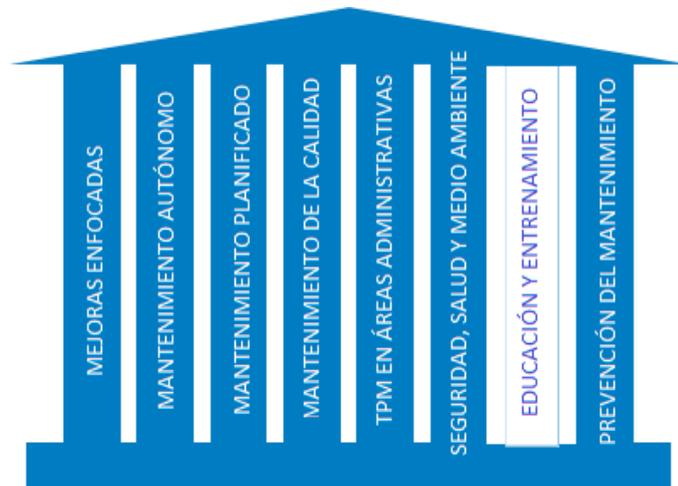


Figura 12 Pilar VII

Educación y Entrenamiento es el séptimo pilar del TPM. Asegura que el personal esté entrenado en las habilidades identificadas como esenciales tanto para su desarrollo personal y para la correcta implementación del TPM, en línea con las metas y objetivos de la organización.

Se definen inicialmente, el conocimiento y las habilidades necesarias para la realización de cada trabajo, en términos tanto de la complejidad de los conocimientos necesarios y el número de personas capaces para apoyar las necesidades del negocio.

Este plan es implementado y evaluado para asegurar que la actividad genera las capacidades mejoradas de destino. El aumento de las habilidades y el desempeño de todo el personal, es esencial para la implementación exitosa de TPM. Sin una sólida formación de pilar de la educación y entrenamiento, el impacto de los tres primeros pilares no será sostenible.

Un potencial humano desaprovechado crea residuos sustanciales dentro de una organización. La educación y entrenamiento crea un entorno corporativo que es capaz de maximizar el potencial de todos los empleados y responder positivamente al clima cambiante de los negocios, los avances tecnológicos y de gestión de la innovación.

2.6.1.8 Pilar VIII: Prevención del Mantenimiento

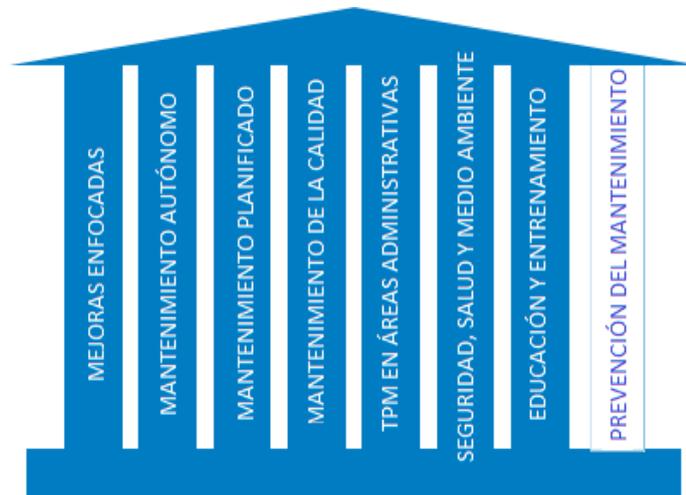


Figura 13 Pilar VIII

Es el último pilar del TPM y tiene como objetivo implementar nuevos productos y procesos con rampa vertical, y reducir al mínimo los plazos de desarrollo. Por lo general, se despliega después de los primeros cuatro pilares, se basa en el aprendizaje capturado desde otros pilares, incorporando mejoras en la próxima generación de productos y diseño del equipo.

Hay dos partes en este pilar: La gestión del equipo y gestión de productos. Ambos enfoques se centran en el uso de las lecciones de las experiencias anteriores para eliminar el potencial de pérdidas a través de las etapas de planificación, desarrollo y diseño.

2.6.2 Planeación

Las actividades de planeación generalmente son:

1. Pronóstico de la carga de mantenimiento
2. Capacidad de mantenimiento
3. Organización del mantenimiento
4. Programación del mantenimiento

2.6.2.1 Pronóstico de la carga de mantenimiento

La carga de mantenimiento en una planta dada varía aleatoriamente y, entre otros factores, puede ser una función de la edad del equipo, el nivel de uso, la calidad del mantenimiento, factores climáticos y las destrezas de los trabajadores de mantenimiento. El pronóstico de la carga de mantenimiento es esencial para alcanzar un nivel deseado de eficacia y utilización de los recursos, y sin éste muchas de las funciones de mantenimiento no pueden realizarse bien.

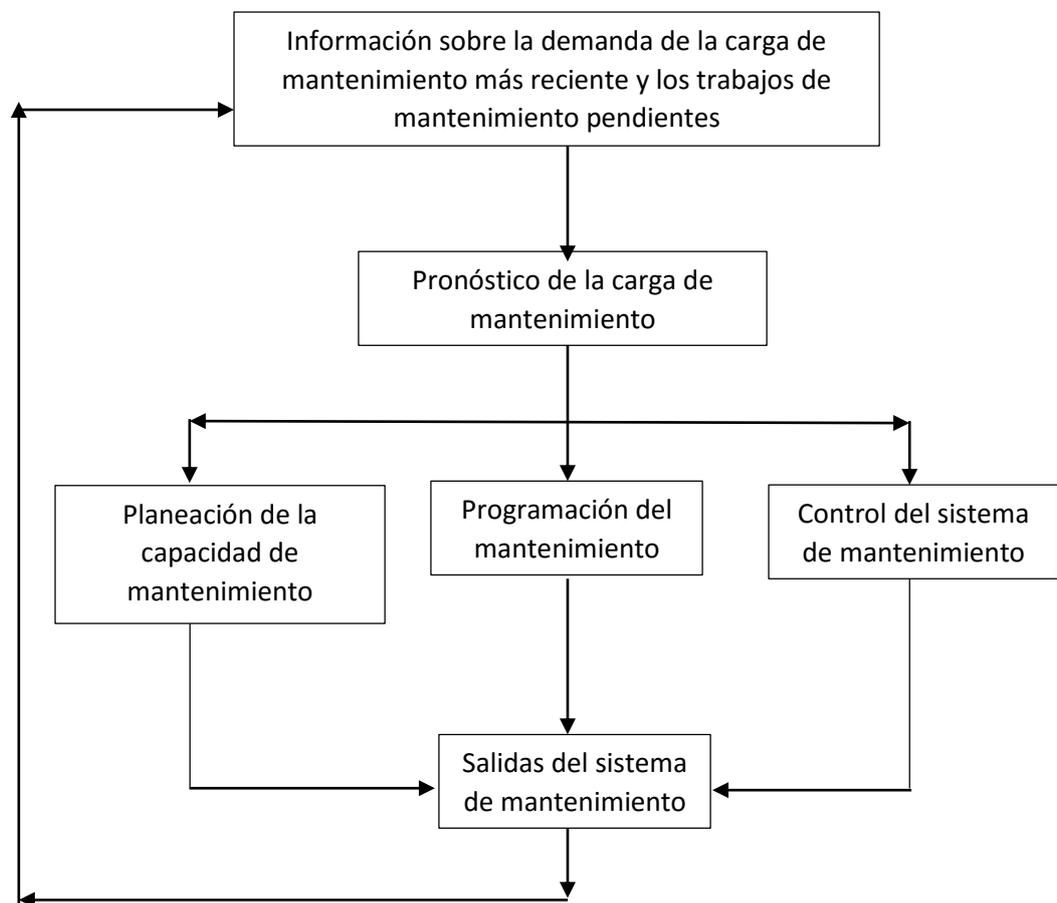


Figura 14 Función del pronóstico de la carga de mantenimiento en un sistema de mantenimiento

Fuente: (Duffuaa, Raouf, & Campbell, 2000)

2.6.2.2 Capacidad de mantenimiento

La capacidad de mantenimiento determina los recursos necesarios para satisfacer la demanda de trabajos de mantenimiento. Estos recursos incluyen:

- Mano de obra
- Materiales
- Refacciones
- Equipo y herramientas

Debido a que la carga de mantenimiento es una variable aleatoria, no se puede determinar el número exacto de los diversos tipos de técnicos. Por lo tanto, sin pronósticos razonablemente exactos de la demanda futura de trabajos de mantenimiento, no sería posible realizar una planeación adecuada de la capacidad a largo plazo. Para utilizar mejor sus recursos de mano de obra, las organizaciones tienden a emplear una menor cantidad de técnicos de la que han anticipado, lo cual probablemente dará por resultado acumulación de trabajos de mantenimiento pendientes. Estos pueden desarrollarse mediante el uso de horas extras o con la ayuda de contratistas. Los trabajos pendientes también pueden desahogarse cuando la carga de mantenimiento es menor que la capacidad.

Ésta es la principal razón de mantener una reserva de trabajos pendientes, la estimación a largo plazo es una de las áreas críticas de la planeación de la capacidad de mantenimiento, pero que aún no ha sido bien desarrollada.

2.6.2.3 Organización del mantenimiento

Dependiendo de la carga de mantenimiento, el tamaño de la planta, las destrezas de los trabajadores, etc., el mantenimiento se puede organizar por departamentos, por área o en forma centralizada.

En algunos casos, puede implantarse una solución de compromiso, denominada sistema en cascada. Este sistema permite que las unidades de

mantenimiento del área de producción se enlacen con la unidad de mantenimiento central. Como se muestra en la siguiente figura.

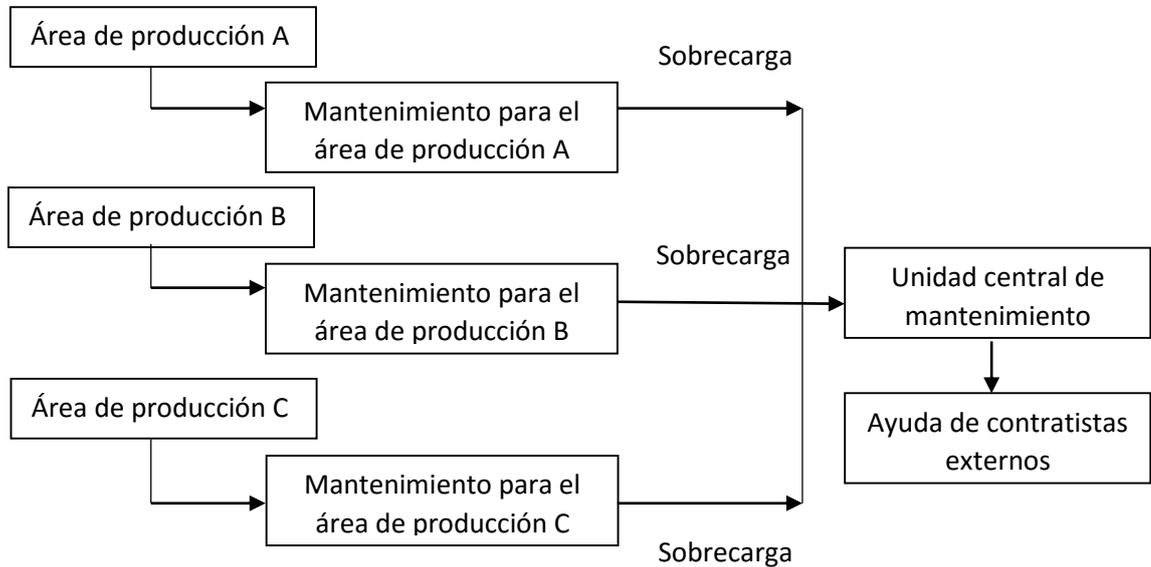


Figura 15 Sistema en cascada

Fuente: (Duffuaa, Raouf, & Campbell, 2000)

2.6.2.4 Programación del mantenimiento

Existen distintos niveles de programación, entre los cuales tenemos:

A nivel de presupuesto anual, también llamados “TRABAJOS EXTRAORDINARIOS”, se trata de una programación a largo plazo (1 año o más). El trabajo se puede cuantificar, prever medios necesarios, tiempo de ejecución en incluso se dispone de elementos de juicio para determinar la fecha de comienzo.

Existe una programación a medio plazo (semanal o mensual) en la que se puede prever:

- Carga de mantenimiento preventivo, resultante de dividir la carga total anual en bloques homogéneos para cada período. Normalmente, esta programación se suele hacer semanalmente.

- El resto lo constituye la carga de mantenimiento correctivo, no urgente, que por tanto, debe ser cuantificado en horas y preparado adecuadamente para asegurar su duración y calidad.

Por último, es imprescindible realizar una programación diaria (corto plazo, turno o jornada) donde se desarrolla y concreta el programa anterior (semanal/mensual) y en el que se insertan los trabajos urgentes e imprevistos.

2.6.3 Implementación

La responsabilidad del mantenimiento y conservación de los equipos y maquinaria de una planta es responsabilidad de todos los empleados, para una adecuada implementación y mejora del TPM existen una serie de pasos y etapas que se deben seguir.

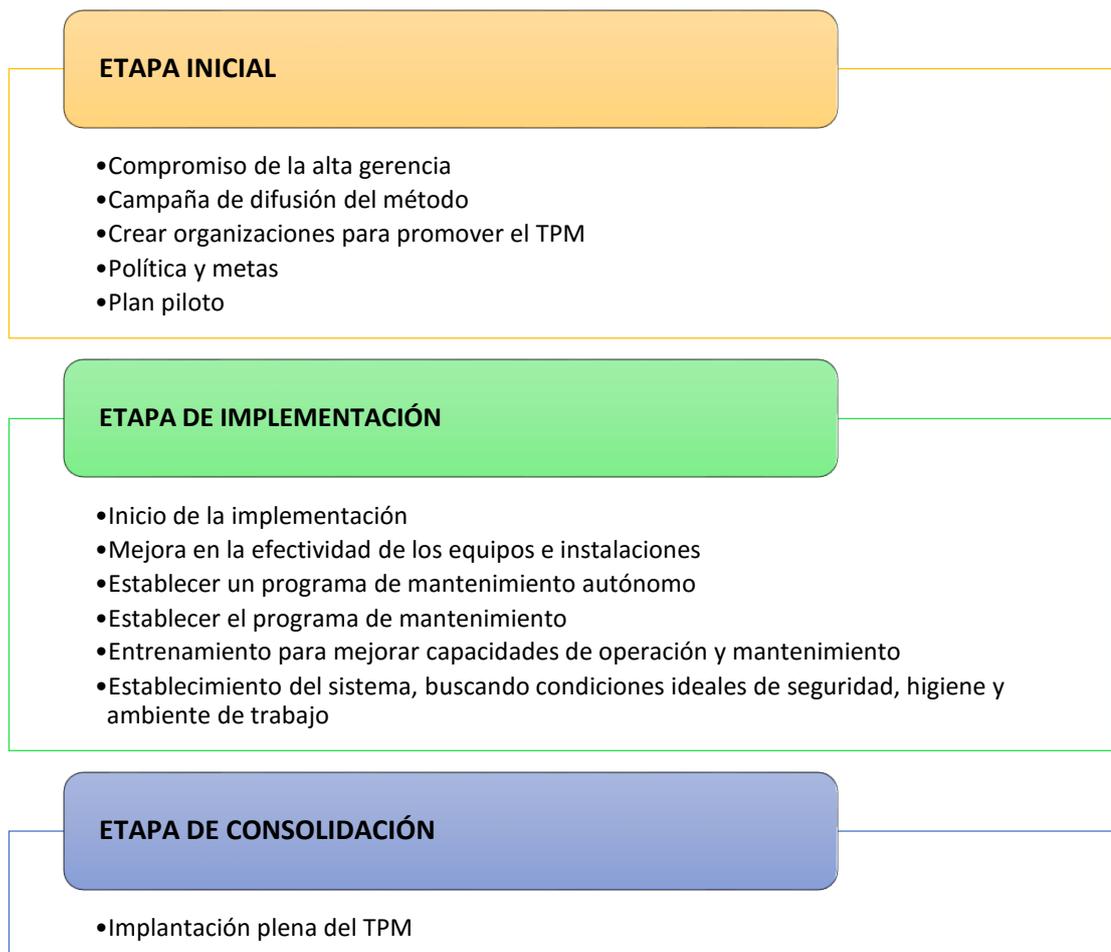


Figura 16 Etapas y fases de la implementación del TPM

2.6.3.1 Compromiso de la alta gerencia

Como primer paso en el desarrollo de esta filosofía es el anuncio oficial de la decisión de implantar el TPM, pues es muy importante el compromiso por parte de la alta gerencia y todos los niveles, debe ser divulgado indicando las intenciones y expectativas con relación al método.

La gerencia debe estar consciente y segura de cumplir los siguientes puntos y así obtener el éxito esperado.

- Verificar personalmente el nivel de compromiso y comprensión de los colaboradores, a través de visitas a las áreas de trabajo.
- Desarrollar todas las actividades con actitudes positivas, brindando elogios por el esfuerzo del trabajo realizado.
- Mostrar interés en los problemas y ofrecer la ayuda oportuna cuando estos se presenten.
- Usar críticas constructivas y cuando se presenten incertidumbres, hablar de manera abierta siempre en búsqueda de soluciones.

2.6.3.2 Campaña de difusión del método

El TPM no funciona cuando se trata de colocarlo inmediatamente después de la decisión de la alta gerencia, su implementación demanda una adecuada capacitación y educación previa.

En este punto se deben identificar las posibles resistencias que puedan existir frente al TPM, pues se ha presentado en varios estudios la división de tareas en los trabajadores, (los operarios manejan los equipos, y los encargados del mantenimiento lo reparan), o a menudo la línea de producción teme que se incremente la carga de trabajo, es por ello que una adecuada información dejará de lado aquellas ideas erróneas que aparecen sin fundamentos.

2.6.3.3 Crear organizaciones para promover el TPM

La estructura promocional TPM se basa en una matriz organizacional, en este paso se deben crear grupos de trabajo que estarán bajo la dirección de los directores de departamentos, como el éxito depende de la selección, tanto el jefe como los grupos de trabajo deben ser seleccionados en el ámbito de las personas más responsables para desempeñar estas funciones.

2.6.3.4 Políticas y metas para el TPM

Se deben definir las metas a ser obtenidas como: porcentajes de reducción de fallas, porcentajes de incremento de la disponibilidad, porcentajes de aumento de la productividad, etc. Estas metas se deben establecer tomando como referencia los valores actuales. Como toma mínimo tres años moverse hacia la eliminación de defectos y averías a través del TPM, una política de dirección básica debe ser, comprometerse con la filosofía e incorporar procedimientos concretos de desarrollo en el plan de dirección general a medio y largo plazo.

2.6.3.5 Plan Piloto

Se debe establecer un plan piloto para el seguimiento desde la preparación para la introducción hasta su implementación definitiva, para posibilitar la verificación de los progresos obtenidos, establecer parámetros actuales y comparar con el desarrollo cambiando los esquemas, si fuese necesario. Como el TPM se destina al perfeccionamiento de los recursos humanos y de los equipos e instalaciones, tanto sus objetivos iniciales como sus respectivos resultados pueden llevar algún tiempo para ser alcanzados.

2.6.3.6 Inicio de la implementación

Durante la fase de preparación (pasos 1-5) la dirección y el staff profesional juegan el rol dominante. Sin embargo, a partir de este punto, los

trabajadores individuales deben cambiar desde sus rutinas de trabajo diario tradicionales y empezar a practicar el TPM. Es recomendable realizar una visita a todas las áreas con preguntas directas a los empleados para verificar si comprendieron plenamente los objetivos a ser alcanzados a través del TPM.

2.6.3.7 Mejora en la efectividad de los equipos e instalaciones

El staff de ingeniería y mantenimiento, los supervisores de línea, y los miembros de pequeños grupos se organizan en equipos de proyecto que harán mejoras para eliminar las pérdidas. El grupo debe seleccionar una línea de equipos donde se presente un “cuello de botella”, que genera pérdidas crónicas en la cual sea posible alcanzar la perfección a través de esfuerzos continuos. Los trabajadores van ir mejorando los estándares de la empresa y al hacerlo podrán llegar a tener estándares de muy alto nivel y alcanzar los objetivos de la empresa. Es por esto que es importante que los estándares nuevos creados por mejoras o modificaciones sean analizados y contemplen siempre la seguridad, calidad y productividad de la empresa.

2.6.3.8 Establecer un programa de mantenimiento autónomo

Como anteriormente se expresó el mantenimiento autónomo es ejecutado por los propios operarios de producción, le permite al operador controlar su propio equipo y puede ser desarrollado en seis pasos:

1. Inspección de limpieza, que tiene como objetivo descubrir anomalías, corregir pequeñas deficiencias y establecer las condiciones básicas de trabajo.
2. Medidas defensivas contra suciedad y mejora para eliminar fugas de lubricante, aire o agua.
3. Formulación de estándares de trabajo, buscando crear el hábito de cuidado de los equipos, siguiendo las condiciones básicas de acuerdo a las pautas diseñadas.
4. Inspección autónoma, que tiene como finalidad que los operadores puedan detectar problemas y corregir pequeños daños.

5. Estandarización, que está destinada a establecer y mantener las condiciones de control de los equipos.
6. Control autónomo, destinado a dar continuidad a las actividades de mejora continua, aprovechando al máximo los conocimientos obtenidos en los pasos anteriores.

2.6.3.9 Establecer el programa de mantenimiento

Implantación de la metodología en el equipo piloto, normalizando y transformando en rutina, todo aquello que fue suministrado en el paso anterior. Como hemos mencionado anteriormente, el mantenimiento programado, debe coordinarse con las actividades de mantenimiento autónomo, de forma que los departamentos puedan funcionar de manera sistematizada y organizada.

2.6.3.10 Entrenamiento para mejorar capacidades de operación y mantenimiento

Una compañía que implante el TPM debe invertir en entrenamiento que permita a los empleados gestionar apropiadamente el equipo. En adición al entrenamiento en técnicas de mantenimiento, los operarios deben afinar también sus capacidades en operación.

2.6.3.11 Establecimiento del sistema, buscando condiciones ideales de seguridad, higiene y ambiente de trabajo

- Análisis e implantación de “Recomendaciones de seguridad”.
- Implantación de estímulos a la notificación de condiciones inseguras en el trabajo y de perjuicio al medio ambiente.
- Planteamiento y búsqueda de la meta: “cero accidentes y cero desperdicios”.

2.6.3.12 Implantación plena del TPM

El paso final en el programa de desarrollo del TPM es perfeccionar la implantación del TPM y fijar metas futuras aún más elevadas. Durante este período de estabilización cada uno trabaja continuamente para mejorar los resultados TPM.

2.6.4 Resultados

Cuando aún existen vacíos en ver cómo puede ayudar el TPM a la empresa, su implantación pierde fuerza y orientación, por tanto, es esencial monitorear permanentemente su eficacia para mantener los esfuerzos en la ruta debida. Para evaluar los resultados logrados a través de la implementación del TPM, se deben evaluar las siguientes salidas en la producción:

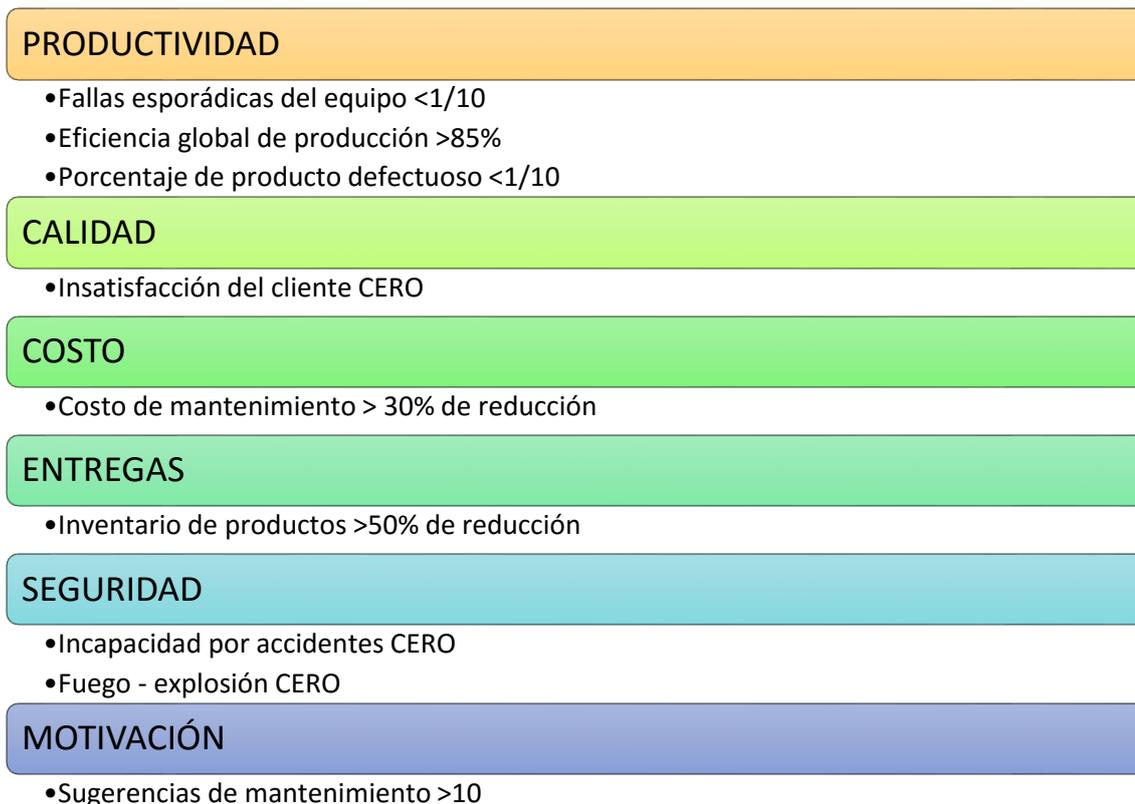


Figura 17 Indicadores claves de desempeño del TPM

2.7 Factores del mantenimiento

2.7.1 Confiabilidad (Reliability)

Es la capacidad de un componente, equipo o sistema para desempeñar su función básica, en un período de tiempo determinado y bajo condiciones estándares de operación. Otra definición importante de confiabilidad es; la probabilidad de que un ítem funcione de una manera satisfactoria cuando es explotado bajo condiciones de operación y mantenimiento especificadas por un período de tiempo determinado. La confiabilidad de un equipo o producto puede ser expresada a través de la expresión:

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

$$\lambda = \frac{N^{\circ} \text{ Fallos}}{\text{Tiempo Operacional}} = \frac{1}{MTBF}$$

Donde:

$R(t)$ = Confiabilidad de un equipo en un tiempo t dado

e = constante Neperiana ($e=2.303\dots$)

λ = Tasa de fallas (número total de fallas por período de operación)

t = tiempo

$MTBF$ = Tiempo medio entre fallos

La confiabilidad es la probabilidad de que no ocurra una falla de determinado tipo, para una misión definida y con un nivel de confianza dado.

2.7.2 Mantenibilidad (Maintainability)

La mantenibilidad se puede definir como la expectativa que se tiene de que un equipo o sistema pueda ser colocado en condiciones de operación dentro de un periodo de tiempo establecido, cuando la acción de mantenimiento es ejecutada de acuerdo con procedimientos prescritos.

La mantenibilidad es la capacidad de un sistema a ser mantenido, las acciones de mantenimiento son aplicables a lo largo de todo el ciclo de vida de la

maquinaria o equipo. De manera análoga a la confiabilidad, la mantenibilidad puede ser estimada con ayuda de la expresión:

$$M(t) = 1 - e^{-u*t}$$

Donde:

$M(t)$ = es la función mantenibilidad, que representa la probabilidad de que la reparación comience en el tiempo $t=0$ y sea concluida satisfactoriamente en el tiempo t (probabilidad de duración de la reparación).

e = constante Neperiana ($e=2.303\dots$)

u = Tasa de reparaciones o número total de reparaciones efectuadas con relación al total de horas de reparación del equipo.

t = tiempo previsto de reparación (MTTR).

2.7.3 Disponibilidad (Availability)

La disponibilidad, objetivo principal del mantenimiento, puede ser definida como la confianza de que un componente o sistema que sufrió mantenimiento, ejerza su función satisfactoriamente para un tiempo dado. En la práctica, la disponibilidad se expresa como el porcentaje de tiempo en que el sistema está listo para operar o producir, esto en sistemas que operan continuamente.

Matemáticamente la disponibilidad puede ser expresada como:

$$A = \frac{TP}{TP + TM} * 100\%$$

Donde;

TP = Tiempo Produciendo

TM = Tiempo muerto por mantenimiento

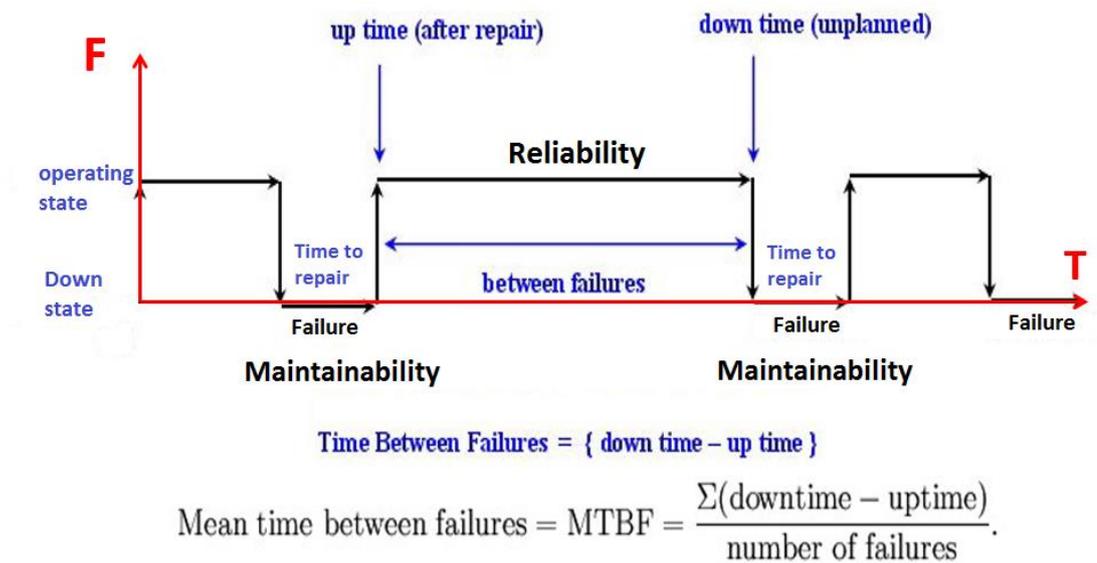


Figura 18 Disponibilidad en función de la confiabilidad y mantenibilidad

2.7.3.1 Disponibilidad Inherente (A_i)

Es el nivel esperado de disponibilidad debido al comportamiento del mantenimiento correctivo únicamente. Está determinada por el diseño del equipo. No incluye los tiempos logísticos, ni los tiempos administrativos, ni los tiempos de demora en los suministros. Asume que los repuestos y personal están 100 por ciento disponibles sin retraso alguno.

$$A_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Donde;

$MTBF$ = Tiempo medio entre fallos

$MTTR$ = Tiempo medio de reparación

2.7.3.2 Disponibilidad Alcanzada (A_a)

Es el nivel esperado de disponibilidad debido al comportamiento del mantenimiento correctivo y planeado (predictivo y preventivo). Depende del

diseño del equipo. También asume que los repuestos y personal están 100 por ciento disponibles sin retraso alguno.

$$Aa = \frac{MTBM}{MTBM + \bar{M}}$$

$$MTBM = \frac{1}{\frac{1}{MTBMc} + \frac{1}{MTBMp}}$$

$$\bar{M} = \frac{\frac{MTTR}{MTBMc} + \frac{Mp}{MTBMp}}{\frac{1}{MTBMc} + \frac{1}{MTBMp}}$$

Donde:

$MTBM$ = Tiempo Medio Entre Mantenimiento

\bar{M} = Tiempo medio de mantenimiento activo.

\bar{M}_p = Tiempo medio de mantenimiento planeado.

2.7.3.3 Disponibilidad Operacional (A_o)

Es la probabilidad de que un elemento funcionará satisfactoriamente en un punto dado en el tiempo, es decir, es una medida de la disponibilidad media de un período de tiempo e incluye todas las fuentes de tiempo de inactividad, tales como el tiempo de inactividad administrativa, el tiempo de inactividad logística, etc. Incluye los mantenimientos correctivos y planeados (predictivo y preventivo).

$$A_o = \frac{MTBM}{MTBM + TMM}$$

Donde:

$MTBM$ = Tiempo Medio Entre Mantenimiento

TMM = Tiempo Muerto Medio

$$TMM = MTTR + MPMT + LDT + ADT$$

Donde:

$MTTR$ = Tiempo medio de reparación

MPMT = Tiempo medio entre mantenimientos planeados (predictivo y preventivo).

LDT = Tiempo medio de inactividad logística

ADT = Tiempo medio de inactividad administrativa

2.8 Índices de gestión

2.8.1 Índice de gestión de la producción

Productividad puede definirse como la relación entre la cantidad de bienes y servicios producidos y la cantidad de recursos utilizados. Estos índices son muy importantes ya que nos ayudan a evaluar el rendimiento monetario y la calidad de las políticas sociales, para poder efectuar comparaciones entre empresas con el fin de poder detectar los factores que explican el crecimiento económico.

$$Productividad = \frac{Outputs}{Inputs}$$

$$Productividad = \frac{Eficacia}{Eficiencia}$$

$$Productividad = \frac{\sum Bienes + \sum Servicios + \sum Desperdicios}{\sum Trabajo + \sum Materiales + Capital Inver. + Energía + otros}$$

Con el fin de medir el progreso de la productividad, generalmente se emplea el índice de Productividad (P) como punto de comparación:

$$P = \frac{Productividad Observada}{Estándar de Productividad} * 100$$

La productividad observada es la productividad medida durante un periodo definido (día, semana, mes, año) en un sistema conocido (taller, empresa, sector económico, departamento, mano de obra, energía, país) El estándar de productividad es la productividad base o anterior que sirve de referencia (Período Base).

2.8.2 Índice de gestión de mantenimiento

Estos índices deben permitir el control y dirección de las actividades, a fin de detectar cómo marchan las decisiones tomadas y poder perfeccionarlas. A continuación se muestran las fórmulas para el cálculo de los principales índices de gestión del mantenimiento:

$$\text{Rendimiento } (R) = \frac{\text{Producción real del período}}{\text{Plan de producción del período}} * 100 (\%)$$

Este índice sintetiza el buen control del proceso productivo y el estado de funcionamiento de las instalaciones.

$$\text{Aprovechamiento } (A) = K_d * K_{ut} * R * 10^{-4}$$

Donde:

K_d = Disponibilidad

K_{ut} = Utilización

R = Rendimiento

El aprovechamiento nos resume el resultado de la producción frente a los presupuestos.

$$\text{Utilización } (K_{ut}) = \frac{TP}{TP + TM^*}$$

Donde;

TP = Tiempo Produciendo

TM^* = Tiempo muerto por cualquier causa

$$C_{M/P} = \frac{\text{Costo Total del Mtto.}}{\text{Costo Total de Producción}} * 100\%$$

El índice de costo relativo de mantenimiento respecto a los costos de producción ($C_{M/P}$), ayuda a ver el mantenimiento como un factor más del costo de producción.

2.8.2.1 Referentes a la marcha de las instalaciones

Tabla 2

Índices de gestión de mantenimiento referentes a la marcha de las instalaciones

CLASIFICACIÓN	DENOMINACIÓN	POSIBLE NORMATIVA
Fundamentos de	<i>Disponibilidad (K_d)</i>	90 – 94 %
Producción	<i>Utilización (K_{ut})</i>	85 – 90 %
	<i>Rendimiento (R)</i>	100 – 110 %
	<i>Aprovechamiento (A)</i>	85 %
Fundamentales	$\frac{\text{Costo Total Mtto.}}{\text{Costos Totales Producción}} * 100\%$	5 – 7 %
Estructurales	$\frac{\text{Costo Total Mtto.}}{\text{Valor Medios Básicos}} * 100\%$	4 – 10 %
	$\frac{\text{Plantilla Mtto.}}{\text{Plantilla Total Entidad}} * 100\%$	11 – 27 %

Fuente: (Cruz Rabelo, 2008)

2.8.2.2 Relativos a los recursos empleados

Tabla 3

Índices de gestión del mantenimiento relativos a los recursos humanos

CLASIFICACIÓN	DENOMINACIÓN	POSIBLE NORMATIVA
Internos sobre	$\frac{\text{Técnicos Mtto.}}{\text{Total Trab. Mtto.}} * 100\%$	5 – 10 %
Recursos		
Humanos	$\frac{\text{Total Trab. Mtto.}}{\text{Total Trab. Entidad}} * 100\%$	11 – 27 %

	$\frac{\text{Trab. Indirectos Mtto.}}{\text{Total Trab. Entidad}} * 100\%$	14 – 30 %
	$\text{Ausentismo} = \frac{H - h. ausencia}{H - h. plan. Mtto.} * 100\%$	2 – 3 %
Internos sobre Trabajos Mtto.	$\frac{H - h. Trab. planif.}{H - h. Totales Mtto} * 100\%$	30 – 75 %
	$\frac{H - h. Totales Mtto}{H - h. Asist. Trab. Mtto.} * 100\%$	70 – 80 %
	$\frac{H - h. Trab. no. planif}{H - h. Totales Mtto} * 100\%$	30 – 40 %
Internos sobre costos	$\frac{\text{Costo Mtto. Planif.}}{\text{Costo Total Mtto.}} * 100\%$	20 %
	$\frac{\text{Costo Mano de Obra Total}}{\text{Costo Total Mtto.}} * 100\%$	40 – 50 %
	$\frac{\text{Costo Materiales}}{\text{Costo Total Mtto.}} * 100\%$	20 – 25 %

Fuente: (Cruz Rabelo, 2008)

CAPÍTULO 3

INVESTIGACIÓN EXPLORATORIA Y DIAGNÓSTICA

3.1 Proceso productivo en la fabricación de pernos, tuercas y tornillos

La planta de producción de TOPESA S.A. cuenta con un polígono industrial de 4200 m² de área útil, en el cual se encuentran distribuidos los diferentes equipos y maquinaria necesarios para la producción. La distribución de los equipos, así como las respectivas áreas para cada proceso se muestran en el lay-out del anexo A.



Figura 19 Planta de Producción TOPESA S.A.

El proceso productivo inicia con la emisión de la orden de producción, donde se describe la secuencia de las operaciones para cada tipo de producto, tipo de material, código del producto, porcentaje de desperdicio, número de piezas, kilogramos requeridos y observaciones. Partiendo de la materia prima disponible en bodega, inician en operación diferentes máquinas necesarias para fabricar los diferentes productos que la empresa oferta a sus clientes, entre ellas: prensas, matrizadoras, roscadoras, ranuradoras, troqueles,

roscadoras de tuercas punteadoras, entre otras. La fabricación de todos los elementos de sujeción se basa en la secuencia de las siguientes operaciones:

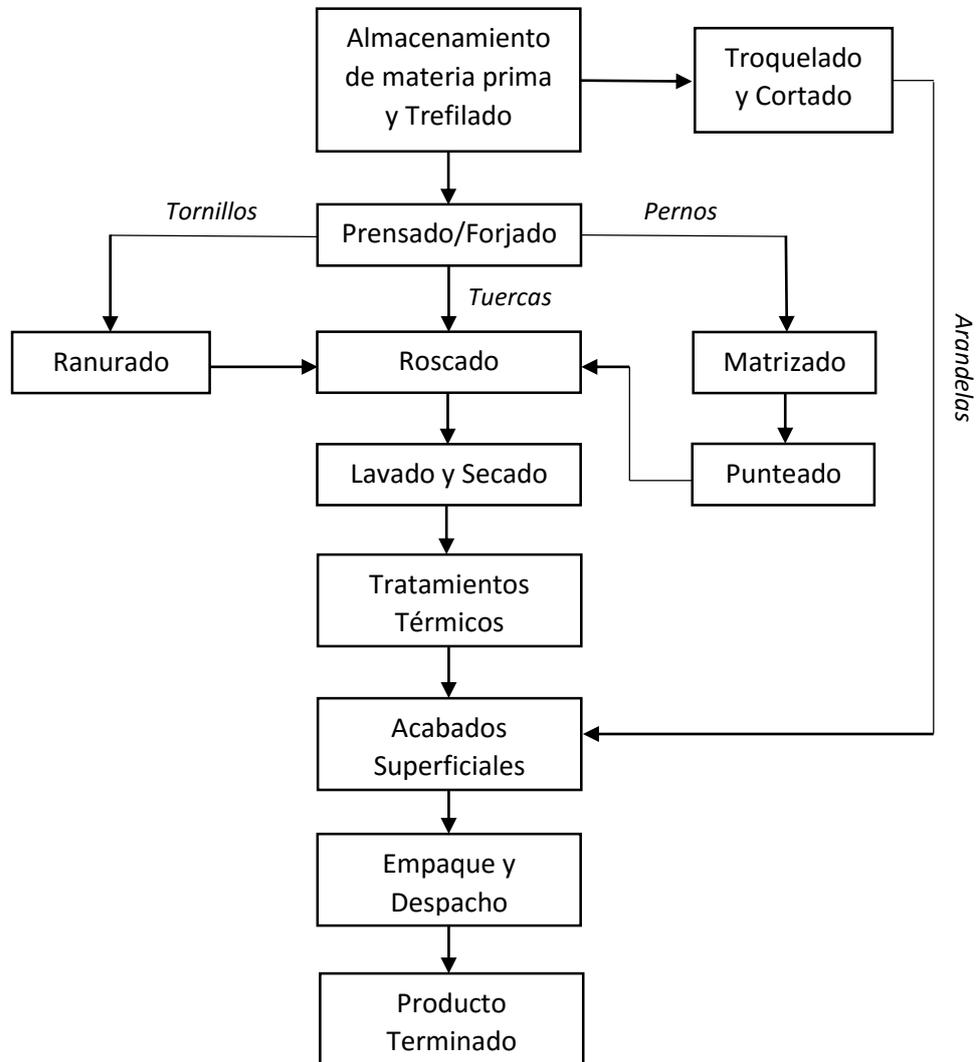


Figura 20 Proceso productivo TOPESA S.A.

Toda la maquinaria posee una adecuada iluminación natural y artificial, el piso es de hormigón armado con pequeñas irregularidades, como medida de seguridad todo el personal usa calzado antideslizante punta de acero, todos los equipos se encuentran expuestos a las condiciones ambientales, factores causantes de humedad y corrosión, el cableado y tomas de energía se hallan debidamente aislados y ubicados.

A continuación se describe cada proceso, valorando la cantidad de equipos en estado operativo y los operarios encargados de los mismos.

3.1.1 Almacenamiento de materia Prima

Tabla 4

Almacenamiento de materia prima

DESCRIPCIÓN

Para la fabricación de un perno o tornillo por estampación en frío, partimos de la materia prima, la cual se encuentra en forma de alambón de diferentes diámetros y tipos de acero, dependiendo del producto a fabricar.

CODIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN

Todos los alambones poseen su respectivo código de identificación para su breve despacho. Entre los principales tenemos alambre de acero al carbono C -1010, C -1018, y C -1022. El operario cuenta con 2 montacargas en estado operativo para el despacho, pesaje y almacenamiento del producto.

N° EQUIPOS: 2

N° OPERADORES: 1



Figura 21 Bodega de materia prima

3.1.2 Trefilado

Tabla 5
Trefilado

DESCRIPCIÓN	
<p>En ciertas ocasiones cuando no se posee un diámetro exacto en el alambón, es necesario reducir su sección haciéndolo pasar a través de un orificio cónico practicado en una herramienta llamada dado, a esta operación se la conoce como trefilado.</p>	
CODIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN	
<p>Para la ejecución de esta operación se cuenta con 2 trefiladoras codificadas y numeradas como Trefil 1 y Trefil 2.</p>	
N° EQUIPOS: 2	N° OPERADORES: 1



Figura 22 Proceso de trefilado - Trefiladora

3.1.3 Prensado

Tabla 6

Prensado

DESCRIPCIÓN

Los alambrones son colocados en una máquina de estampación en frío. La cabeza del perno es moldeada y recortada con precisión por una matriz. Cada una de las diferentes máquinas de prensado es equipada con un juego de matrices de diferentes tamaños.

CODIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN

La maquinaria utilizada son 15 prensas horizontales para prensado en frío codificadas y numeradas desde la P1 a la P15, una prensa punta de broca (Pbroca) y una prensa multiestación (PM).

N° EQUIPOS: 17

N° OPERADORES: 7



Figura 23 Proceso de prensado - Prensa de estampación en frío

3.1.4 Forjado

Tabla 7

Forjado

DESCRIPCIÓN

Proceso de deformación en caliente, este tipo de forja consiste en colocar la pieza entre dos matrices que al cerrarse conforman una cavidad con la forma y dimensiones que se desean obtener para la pieza, involucra la aplicación de esfuerzos de compresión que exceden la resistencia de fluencia del metal, usando impacto o presión gradual para formar la pieza, este proceso se realiza para la conformación de pernos de diámetros superiores a 12 mm y una longitud mayor a 102 mm.

CODIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN

La forja cuenta con su respectivo código y placa de identificación fáciles de observar.

N° EQUIPOS: 1

N° OPERADORES: 1



Figura 24 Proceso de forjado – Forja

3.1.5 Ranurado

Tabla 8

Ranurado

DESCRIPCIÓN

Esta operación se realiza para generar un canal o ranura a lo largo de la cabeza del perno o tornillo, necesario para la utilización de un desarmador plano o según sea la especificación del cliente.

CODIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN

La maquinaria utilizada son 3 ranuradoras numeradas desde la Ra1 a la Ra3, cada una con su respectivo código y placa de identificación fácil de observar

N° EQUIPOS: 3

N° OPERADORES: 1



Figura 25 Proceso de ranurado – Ranuradora Ra2

3.1.6 Roscado

Tabla 9

Roscado

DESCRIPCIÓN

El roscado de los diferentes elementos de sujeción es realizado por las máquinas de roscado para varios tamaños, una vez realizado el conformado de la cabeza y cuerpo del elemento, este pasa a través de peines planos que mediante un proceso de arranque de viruta dan la rosca adecuada según sea la necesidad.

CODIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN

La maquinaria utilizada son 11 roscadoras de peines planos codificadas y numeradas desde la R1 a la R11, una roscadora de rodillos (RR) y una roscadora tangencial (R Tan)

N° EQUIPOS: 13

N° OPERADORES: 5



Figura 26 Proceso de roscado - Roscadora de peines planos

3.1.7 Roscado de tuercas

Tabla 10

Roscadora de tuercas

DESCRIPCIÓN	
<p>A diferencia del roscado de pernos o tornillos, que se realiza mediante peines planos, en el roscado de tuercas se utilizan máquinas herramientas que funcionan a manera de machuelos.</p>	
CODIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN	
<p>La maquinaria utilizada son 9 roscadoras de tuercas codificadas y numeradas desde la RT1 a la RT10, el equipo RT3 se encuentra fuera de operación</p>	
N° EQUIPOS: 9	N° OPERADORES: 3



Figura 27 Proceso de roscado de tuercas – Roscadora de tuercas RT9

3.1.8 Matrizado

Tabla 11

Matrizado

DESCRIPCIÓN

Proceso mecánico mediante el cual se labran los elementos de sujeción en relieve, prensándolos dentro de un molde, como por ejemplo pernos de cabeza hexagonal.

CODIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN

La maquinaria utilizada son 3 matrizadoras codificadas y numeradas desde la M1 a la M3, cada máquina equipada con un juego de matrices de diferentes tamaños.

N° EQUIPOS: 3

N° OPERADORES: 1



Figura 28 Proceso de matrizado – Matrizadora M2

3.1.9 Punteado

Tabla 12
Punteado

DESCRIPCIÓN	
<p>Proceso por el cual se elimina el exceso de material existente en la punta de los elementos de fijación, o se realiza un bisel en la punta de los pernos y tornillos, según sean los requerimientos.</p>	
CODIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN	
<p>La maquinaria utilizada son 3 punteadoras codificadas y numeradas como Punt M, Punt A y Punt P.</p>	
N° EQUIPOS: 3	N° OPERADORES: 1



Figura 29 Proceso de punteado - Punteadora Punt A

3.1.10 Lavado y Secado

Tabla 13

Lavado y secado

DESCRIPCIÓN

Los pernos y tornillos son sumergidos en diésel para eliminar y limpiar todas las impurezas de aceite de los procesos de prensado, matrizado y roscado. Luego son secados en una centrífuga para eliminar el diésel que pueda quedar en la superficie.

CODIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN

La maquinaria utilizada es una centrífuga que lleva por código lavado y secado.

N° EQUIPOS: 1

N° OPERADORES: 1



Figura 30 Proceso de lavado y secado

3.1.11 Troquelado y Cortado

Tabla 14

Troquelado y cortado

DESCRIPCIÓN

El troquelado es un método de corte en frío, en forma y tamaño predeterminado, la acción ejercida entre un punzón y una matriz actúa como una fuerza de cizallamiento en el material a procesar una vez que el punzón ha penetrado en este, es así como se elaboran las diferentes arandelas.

CODIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN

La maquinaria utilizada son 9 troqueles de 60 y 40 toneladas de capacidad, codificados y numerados desde el troquel B1 al B11, y una prensa vertical codificada como cortadora CORT, exceptuando el equipo B7, B8, B9, que se encuentran fuera de operación.

N° EQUIPOS: 9

N° OPERADORES: 2



Figura 31 Proceso de Troquelado – Troquel B6

3.1.12 Tratamientos Térmicos

Tabla 15

Tratamientos térmicos

DESCRIPCIÓN	
<p>Conjunto de operaciones de calentamiento y enfriamiento, bajo estándares controlados de temperatura, tiempos y velocidad, de los elementos de fijación con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas.</p>	
CODIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN	
<p>En esta parte del proceso productivo de TOPESA S.A., toda la tornillería y demás productos que necesiten mejorar sus propiedades mecánicas, son sometidos a tratamientos térmicos en un único horno que lleva por código HM</p>	
N° EQUIPOS: 1	N° OPERADORES: 2



Figura 32 Proceso de Tratamientos térmicos - Horno

3.1.13 Acabados Superficiales

Tabla 16

Acabados superficiales

DESCRIPCIÓN	
<p>Una vez terminada la conformación de los diferentes productos, los mismos pasan por el proceso de acabados superficiales, el galvanizado electrolito utilizado por la empresa consiste en sumergir en baños salinos los tomillos, pernos y demás elementos, para brindarles un recubrimiento anticorrosivo. A más del galvanizado, se ofrecen acabados superficiales de pavonado negro y tropicalizado</p>	
CODIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN	
<p>La maquinaria utilizada son 4 tambores giratorios de inmersión codificados y numerados desde el tambor 1 al tambor 4</p>	
N° EQUIPOS: 4	N° OPERADORES: 3



Figura 33 Proceso de acabados superficiales – Tambor de inmersión

3.1.14 Área de mantenimiento

Tabla 17

Área de mantenimiento

DESCRIPCIÓN

El área de mantenimiento es la encargada de proporcionar oportuna y eficientemente, los servicios que requiera la empresa en materia de mantenimiento, que hasta la fecha han sido de carácter correctivo emergente o modificativo.

CODIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN

Entre la diversa maquinaria utilizada en el área de mantenimiento tenemos: 3 taladros, 4 tornos, 1 rectificadora, 2 cepilladoras, 1 sierra de vaivén, 1 fresadora, 1 afiladora de herramientas, 1 prensa de rodillos y 1 compresor

N° EQUIPOS: 15

N° OPERADORES: 6



Figura 34 Área de mantenimiento

Las siguientes gráficas relacionan el número de operadores y número de equipos vs los procesos de producción, como podemos observar es un claro indicador de las áreas que mayor capacidad de trabajo poseen, y los sectores a priorizar.

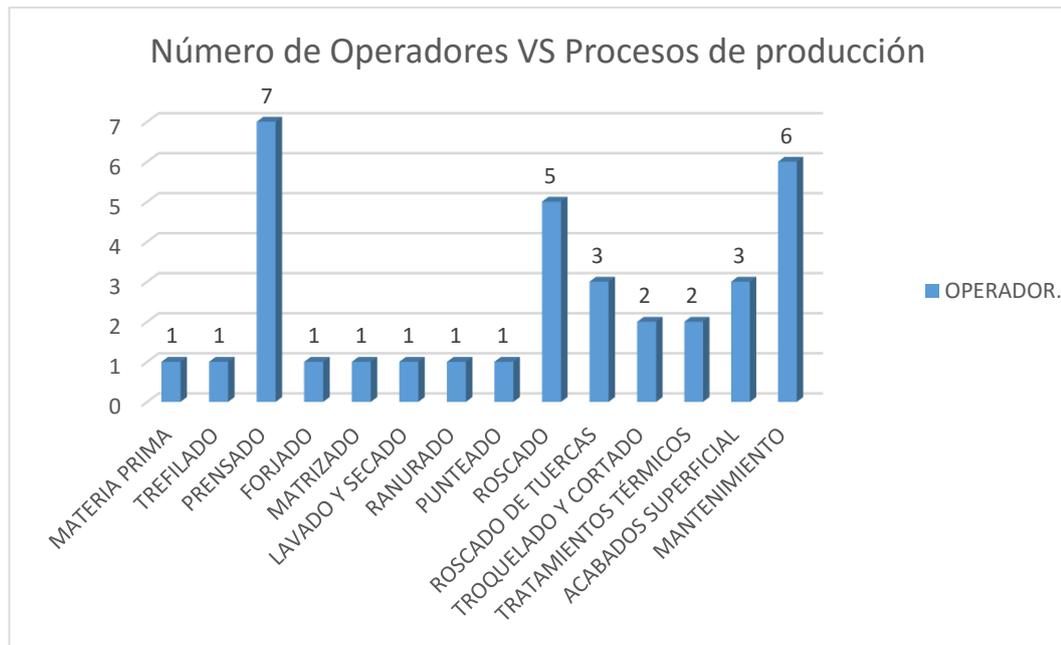


Figura 35 N° de operadores VS Procesos de producción

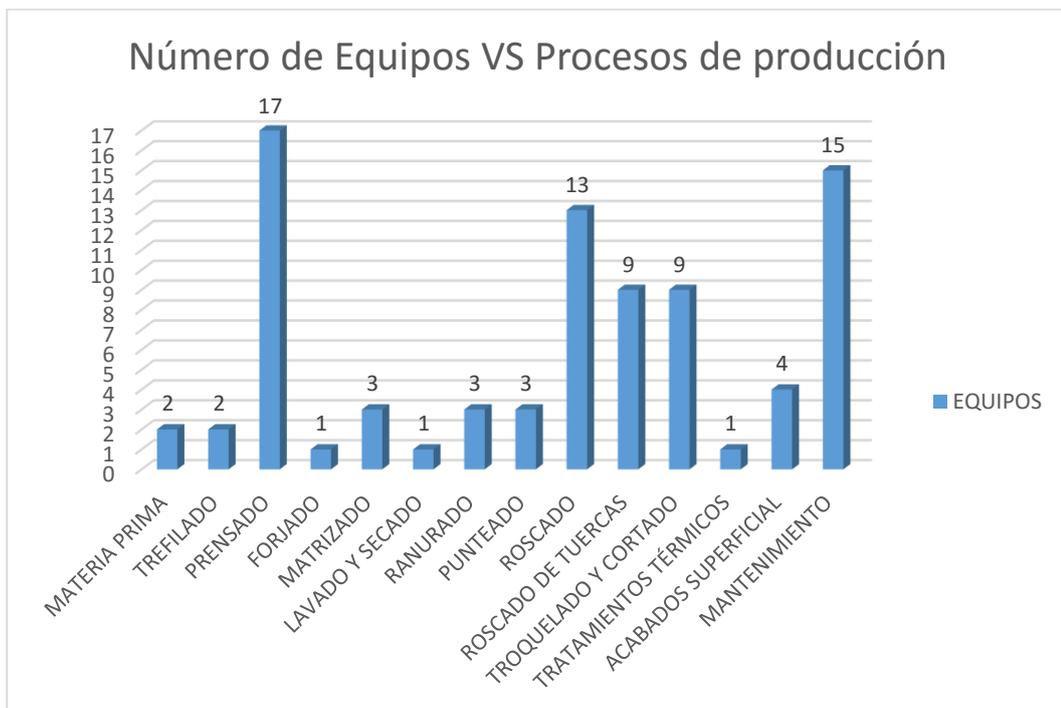


Figura 36 N° de equipos VS Procesos de producción

3.2 Inventario técnico de la maquinaria y equipos de producción

Tabla 18

Maquinaria y equipos existentes en la planta de producción de TOPESA S.A. a Diciembre de 2015

PRENSAS					
Ord	Código	Descripción	Fabricante	Número de serie	Año De Fabricación
1	P1	Prensa FIDE	Industrias FIDE S.A.	482	1979
2	P2	Prensa PRDA.3	ATELIERS J. HANREZ	3.1.67489	1965
3	P3	Prensa CH-10	CHUN ZU Machinery Industry	80381 - 1	1976
4	P4	Prensa PRD.1	ATELIERS J. HANREZ	3.1.64431	1964
5	P5	Prensa PRD.1	ATELIERS J. HANREZ	3.1.63558	1964
6	P6	Prensa EFO-50	MEKIFASA S.A.L.	32203	1988
7	P7	Prensa National	National Machinery	36811	1978
8	P8	Prensa National	National Machinery	41224	1978
9	P9	Prensa PRD.n	ATELIERS J. HANREZ	S/E	1964
10	P10	Prensa National	National Machinery	36578	1978
11	P11	Prensa FA-15N-51	Sheen Tzar Co. Ltd.	H0502	2005
12	P12	Prensa ZW - 5	Sheen Tzar Co. Ltd.	006	2006
13	P13	Prensa ZW - 5	Sheen Tzar Co. Ltd.	005	2006
14	P14	Prensa ZW - 5	Sheen Tzar Co. Ltd.	030	2006

Continua →

PRENSAS					
Ord	Código	Descripción	Fabricante	Número de serie	Año De Fabricación
14	P14	Prensa ZW - 5	Sheen Tzar Co. Ltd.	030	2006
15	P15	Prensa ZW - 5	Sheen Tzar Co. Ltd.	031	2006
16	Pbroca	Prensa ST - 1606	Sheen Tzar Co. Ltd.	4044	2004
17	PM	Prensa Multiestación	Shanghai Minghao Machinery Co.; Ltd.	MH-L2000*W160*650MM	2015
18	Forja	Forja National	National Machinery	25136	1978
MATRIZADORAS					
Ord	Código	Descripción	Fabricante	Número de serie	Año De Fabricación
19	M1	Matrizadora FIDE	Industrias FIDE S.A.	474	1979
20	M2	Matrizadora MRT.4	ATELIERS J. HANREZ	3.1.6.3811	1964
21	M3	Matrizadora CT - 8	CHUN ZU Machinery Industry	80378 - 6	1976
ROSCADORAS					
Ord	Código	Descripción	Fabricante	Número de serie	Año De Fabricación
22	R1	Roscadora de peines GV-4-30	Talleres SASPI	126/79	1979
23	R2	Roscadora de peines RFA.3	ATELIERS J. HANREZ	3.1.67490	1965
24	R3	Roscadora de peines GV-3	Talleres SASPI	S/E	1979
25	R4	Roscadora de peines R4	S/E	S/E	1979

Continúa →

ROSCADORAS					
Ord	Código	Descripción	Fabricante	Número de serie	Año De Fabricación
26	R5	Roscadora de peines GV-2-10	Talleres SASPI	125/79	1979
27	R6	Roscadora de peines GV-1	Talleres SASPI	124/79	1979
28	R7	Roscadora de peines EWM	E.W.Menn KG - Maschinenfabrik	GW 51	1965
29	R8	Roscadora de peines R8	WATERBURY FARREL N°30	S/E	1979
30	R9	Roscadora de peines ST-5R-53	SHEEN TZAR CO. LTD	0600A	2006
31	R10	Roscadora de peines ST-5R-53	SHEEN TZAR CO. LTD	C001	2015
32	R11	Roscadora de peines ST-6R-80	SHEEN TZAR CO. LTD	T002	2015
33	R Tan	Roscadora Tangencial GMH-1	AB. HULTSFREDS MEK. VERKSTAD	6546	1973
34	RR	Roscadora de rodillos SENY	CIMAHESA	D-30 E	1973
RANURADORAS					
Ord	Código	Descripción	Fabricante	Número de serie	Año De Fabricación
35	Ra1	Ranuradora MRA-80	Talleres SASPI	128/79	1979
36	Ra2	Ranuradora MRA-50	Talleres SASPI	127/79	1979
37	Ra3	Ranuradora SASPI	Talleres SASPI	S/E	1979
TROQUELES Y CORTADORA					
Ord	Código	Descripción	Fabricante	Número de serie	Año De Fabricación
38	B1	Troquel BV-45	ARISA S.A.	3555	1985

Continúa →

TROQUELES Y CORTADORA					
Ord	Código	Descripción	Fabricante	Número de serie	Año De Fabricación
39	B2	Troquel EP25	GOSMETA	MG662564	1985
40	B3	Troquel B3	S/E	S/E	1985
41	B4	Troquel B4	S/E	S/E	1985
42	B5	Troquel T.20V	PRESSE RAIMONDI	142118	1985
43	B6	Troquel T.20V	PRESSE RAIMONDI	148078	1985
44	B10	Troquel BC-45	ARISA S.A.	3663	1985
45	B11	Troquel T.60R	PRESSE RAIMONDI	149378	1985
46	CORT	Cortadora 8-C	THE LEWIS MACHINE COMPANY	8C-146-5C	1985
ROSCADORAS DE TUERCAS					
Ord	Código	Descripción	Fabricante	Número de serie	Año De Fabricación
47	RT 1	Roscadora de Tuercas NUTAP	NUTAP	4372	1977
48	RT 2	Roscadora de Tuercas NUTAP	NUTAP	4371	1977
49	RT 4	Roscadora de Tuercas NT-2-5	SNOW MANUFACTURING CO.	M40488-2-278	1977
50	RT 5	Roscadora de Tuercas NT-2-5	SNOW MANUFACTURING CO.	M40488-1-278	1977
51	RT 6	Roscadora de Tuercas NT-1-5	SNOW MANUFACTURING CO.	M40487-2-278	1977

Continua →

ROSCADORAS DE TUERCAS					
Ord	Código	Descripción	Fabricante	Número de serie	Año De Fabricación
52	RT 7	Roscadora de Tuercas SRT 13	ENGINEERING SUPPLY	B20150421	2015
53	RT 8	Roscadora de Tuercas SRT 13	ENGINEERING SUPPLY	B20150421	2015
54	RT 9	Roscadora de Tuercas SRT 13	ENGINEERING SUPPLY	B20150421	2015
55	RT 10	Roscadora de Tuercas SRT 13	ENGINEERING SUPPLY	B20150421	2015
TALADROS					
Ord	Código	Descripción	Fabricante	Número de serie	Año De Fabricación
56	Tal 1	Taladro Famagrin	Funymaq	99	1995
57	Tal 2	Taladro Arboga	Arboga Maskiner	S/E	1979
58	Tal 3	Taladro OR-250IF	ORBIT MACHINE TOOLS	6384	1979
PUNTEADORAS					
Ord	Código	Descripción	Fabricante	Número de serie	Año De Fabricación
59	Punt M	Punteadora Manual	S/E	S/E	1976
60	Punt A	Punteadora Automática MPA-120	Talleres SASPI	123/79	1979
61	Punt P	Ranuradora de puntas ST-C100	SHEEN TZAR CO. LTD	C001	2015
TREFILADORAS					
Ord	Código	Descripción	Fabricante	Número de serie	Año De Fabricación
62	Trefil 1	Trefiladora BD-63/500	FISAM	BD-63/500	1966
63	Trefil 2	Trefiladora BD-63/600	FISAM	BD-63/600	1966

Continúa →

TORNOS					
Ord	Código	Descripción	Fabricante	Número de serie	Año De Fabricación
64	Torno 1	Torno TS-40bf	TA SHING MACHINE WORKS LTD	4022	1971
65	Torno 2	Torno GK195	STOREBRO BRUCKS AB.	16016	1980
66	Torno 3	Torno M-180-E	JASHÖNE	S/E	1980
67	Torno 4	Torno Colchester	THE COLCHESTER LATHE CO. LTD.	S/E	1990
RECTIFICADORA					
Ord	Código	Descripción	Fabricante	Número de serie	Año De Fabricación
68	Rect	Rectificadora Stefor	CASTANO PRIMO	RTA 500	1980
CEPILLADORAS					
Ord	Código	Descripción	Fabricante	Número de serie	Año De Fabricación
69	Cepill 1	Cepilladora N° 1	FEJOLA	H-3	1975
70	Cepill 2	Cepilladora N° 2	SOUTH BEND	S/E	1975
SIERRA					
Ord	Código	Descripción	Fabricante	Número de serie	Año De Fabricación
71	Sierra	Sierra de vaiven	S/E	SABI-18	1979
FRESADORA					
Ord	Código	Descripción	Fabricante	Número de serie	Año De Fabricación
72	Fresa	Fresadora Universal FC-1	DUPLOMATIC	73070442	1980
AFILADORA DE HERRAMIENTAS					
Ord	Código	Descripción	Fabricante	Número de serie	Año De Fabricación
73	Afil.	Afiladora de herramientas	Clarkson Mark II	MT1092	1980

Continua →

PRENSA DE RODILLOS					
Ord	Código	Descripción	Fabricante	Número de serie	Año De Fabricación
74	P.ROD	Prensa de Rodillos	ULECIA	S/E	1985
HORNO					
Ord	Código	Descripción	Fabricante	Número de serie	Año De Fabricación
75	HM	Horno de Tratamientos Térmicos	IPSEN INDUSTRIES FURNACES	CN734-61	2015
COMPRESOR					
Ord	Código	Descripción	Fabricante	Número de serie	Año De Fabricación
76	Comp	Compresor de Tornillo PCT-30A	PORTEN	LGFB201501-4860	2015
ACABADOS SUPERFICIALES					
Ord	Código	Descripción	Fabricante	Número de serie	Año De Fabricación
77	Tamb 1	Tambor giratorio de inmersión	PROGALVANO	S/E	2000
78	Tamb 2	Tambor giratorio de inmersión	PROGALVANO	S/E	2000
79	Tamb 3	Tambor giratorio de inmersión	S/E	S/E	2014
80	Tamb 4	Tambor giratorio de inmersión	S/E	S/E	2014
LAVADORA Y SECADORA					
Ord	Código	Descripción	Fabricante	Número de serie	Año De Fabricación
81	LS	Centrifuga de lavado y secado	S/E	818	1966
MONTACARGAS					
Ord	Código	Descripción	Fabricante	Número de serie	Año De Fabricación
82	Montc 1	Montacargas Toyota	Toyota	S/E	1976
83	Montc 2	Montacargas Heli	Heli	S/E	2005

3.3 Condición de operación actual de la maquinaria y equipos

Una vez realizado el inventario técnico de toda la maquinaria y equipos que forman parte del proceso productivo de TOPESA S.A., se efectuará el diagnóstico y análisis de la situación actual de una forma más detallada, aplicando el método Análisis modal de fallos y efectos o F.M.E.A conocido por sus siglas en inglés (FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS).

El F.M.E.A es un método orientado a lograr el aseguramiento de la calidad, que mediante un análisis sistemático contribuye a identificar y prevenir los modos de fallo, tanto en un producto como en un sistema. Aunque la técnica se aplica fundamentalmente para analizar un producto o proceso en su fase de diseño, este método es válido para cualquier tipo de proceso o situación, entendiendo que los procesos y sistemas se encuentran en todos los ámbitos de la empresa. Para efectuar el presente estudio se desarrolló la hoja de análisis: “**Tabla 22 Formato F.M.E.A**”.

A continuación se indican los pasos necesarios para la aplicación del método.

Paso 1: Nombre del producto, sistema o componente

En la primera columna del formato F.M.E.A se escribe el nombre del sistema o subsistema sobre el que se va a aplicar. También se incluyen todos los subconjuntos y los componentes que forman parte del mismo, es útil complementar tal identificación con códigos que eviten posibles confusiones.

Paso 2: Operación o función

La segunda columna se completa con distinta información según se esté realizando un F.M.E.A de diseño o proceso. En nuestro caso, se detallará la función de cada subsistema que forma parte del equipo analizado.

Paso 3: Modo de fallo

Un modo de fallo significa que un elemento o sistema no satisface o no funciona de acuerdo con la especificación, o simplemente no se obtiene lo que se espera de él. Para complementar la tercera columna se recomienda comenzar con una revisión de estudios realizados anteriormente, relacionados con el producto o proceso que se está analizando. En el caso de

no poseer esta información se recomienda acogerse a experiencias anteriores, proporcionadas por el operador del equipo o el personal a cargo.

Paso 4: Efecto/s del fallo

Suponiendo que el fallo potencial ha ocurrido, en esta columna se describirán los efectos del mismo. Los efectos corresponden a los síntomas. Generalmente hacen referencia al rendimiento o prestaciones del sistema.

Cuando se analiza una parte o componente se tendrá también en cuenta la repercusión en todo el sistema, lo que ofrecerá una descripción más clara del efecto. Si un modo de fallo tiene muchos efectos, a la hora de evaluar, se elegirá el más grave.

Paso 5: Gravedad del fallo “S”

Este índice está íntimamente relacionado con los efectos del modo de fallo, el índice de gravedad o también llamado de Severidad es independiente de la frecuencia y de la detección. En la siguiente tabla se muestra la relación entre los efectos del fallo y el índice de severidad. En cada empresa se debería contar con tablas similares adaptadas al producto, servicio, diseño o proceso concreto para el que se vaya a utilizar.

Tabla 19

Clasificación de la gravedad del fallo

GRAVEDAD	CRITERIO	VALOR
Muy baja Repercusiones imperceptibles	Fallo de pequeña importancia, no genera efecto real alguno sobre el rendimiento del sistema.	1
Baja Repercusiones irrelevantes	Este tipo de fallo origina un ligero inconveniente en el sistema. Es fácilmente subsanable.	2-3
Moderada Defectos de relativa importancia	El fallo produce cierto disgusto e insatisfacción en el rendimiento del sistema.	4-6
Alta	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado el sistema. Produce un grado de insatisfacción elevado.	7-8
Muy alta	Modalidad de fallo potencial muy crítico que afecta en gran medida o totalidad el funcionamiento del sistema.	9-10

Fuente: (Bestratén Belloví, Orriols Ramos, & Mata París, 2004)

Paso 6: Causa del fallo

En esta columna se reflejan todas las causas potenciales de fallo atribuibles a cada modo de fallo. La causa potencial de fallo se define como indicio de una debilidad del diseño o proceso cuya consecuencia es el modo de fallo. Las causas relacionadas deben ser lo más concisas y completas posibles, de modo que las acciones correctoras y/o preventivas puedan ser orientadas hacia las causas pertinentes.

Entre las causas típicas de fallo podrían citarse las siguientes: porosidad, uso de material incorrecto, sobrecarga, daño de manipulación, utilaje incorrecto, etc.

Paso 7: Probabilidad de ocurrencia “O”

Ocurrencia se define como la probabilidad de que una causa específica se produzca y dé lugar al modo de fallo. El índice de la ocurrencia representa más bien un valor intuitivo más que un dato estadístico matemático, a no ser que se dispongan de datos históricos de fiabilidad o se haya modelizado y previsto éstos. En esta columna se pondrá un valor de probabilidad de ocurrencia de la causa específica.

Tal y como se acaba de decir, este índice de frecuencia está íntimamente relacionado con la causa de fallo, y consiste en ponderar la probabilidad de ocurrencia en una escala del 1 al 10, como se indica en la tabla siguiente:

Tabla 20

Clasificación de la probabilidad de ocurrencia

FRECUENCIA	CRITERIO	VALOR
Muy baja	Ningún fallo se ha dado en el pasado, pero es concebible.	1
Baja	Existencia de fallos en procesos similares, es razonable esperable en la vida del sistema, aunque poco probable que suceda.	2-3
Moderada	Defecto aparecido ocasionalmente en procesos similares, probablemente aparecerá algunas veces en la vida del sistema.	4-5
Alta	El fallo se ha presentado con cierta frecuencia en el pasado, en procesos similares o previos procesos que han fallado.	6-8
Muy alta	Fallo casi inevitable, es seguro que el fallo ocurrirá frecuentemente.	9-10

Fuente: (Bestratén Belloví, Orriols Ramos, & Mata París, 2004)

Para reducir el índice de frecuencia, hay que emprender una o dos acciones:

- Cambiar el diseño, para reducir la probabilidad de que la causa de fallo pueda producirse.
- Incrementar o mejorar los sistemas de prevención y/o control que impiden que se produzca la causa de fallo.

Paso 8: Controles actuales

En esta columna se reflejarán todos los controles existentes en la actualidad para prevenir las causas del fallo y detectar el efecto resultante.

Paso 9: Probabilidad de no Detección “D”

Si durante el proceso se produce un fallo o cualquier “output” defectuoso, se trata de averiguar cuan probable es que no lo “detectemos”, pasando a etapas posteriores, generando los consiguientes problemas y llegando en último término a afectar al equipo o subsistema analizado.

A continuación se muestra un ejemplo de tabla que relaciona la probabilidad de que el defecto sea percibido y el índice de no-detección.

Tabla 21

Clasificación de la probabilidad de detección

DETECTABILIDAD	CRITERIO	VALOR
Muy Alta	El fallo es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes.	1
Alta	El fallo, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría en alguna ocasión escapar a un primer control, aunque sería detectado con toda seguridad a posteriori.	2-3
Mediana	El fallo es detectable y posiblemente no involucre a mayores inconvenientes.	4-5
Pequeña	El fallo es tal naturaleza que resulta difícil detectarlo con los procedimientos establecidos hasta el momento.	6-8
Improbable	El fallo no puede detectarse. Casi seguro que ocasionará paradas inesperadas.	9-10

Fuente: (Bestratén Belloví, Orriols Ramos, & Mata París, 2004)

Es necesario no confundir control y detección, pues una operación de control puede ser eficaz al 100%, pero la detección puede resultar nula si las piezas no conformes son finalmente enviadas por error al cliente.

Paso 10: Índice de Prioridad de Riesgo (IPR)

El Índice de Prioridad de Riesgo (IPR) es el producto de la probabilidad de ocurrencia, la gravedad, y la probabilidad de no detección, y debe ser calculado para todas las causas de fallo. El IPR es usado con el fin de priorizar la causa potencial del fallo para posibles acciones correctoras.

$$IPR = S * O * D$$

Donde:

S = Gravedad de fallo

O = Probabilidad de ocurrencia

D = Probabilidad de No detección

No se establece un criterio de clasificación de tal índice. No obstante un IPR inferior a 100 no requeriría intervención salvo que la mejora fuera fácil de introducir y contribuyera a mejorar aspectos de calidad del producto, proceso o equipo.

El ordenamiento numérico de las causas de modos de fallo por tal índice ofrece una primera aproximación de su importancia, pero es la reflexión detenida ante los factores que las determinan, lo que ha de facilitar la toma de decisiones para la acción preventiva. Como todo método cualitativo su principal aportación es precisamente el facilitar tal reflexión.

Paso 11: Acción correctora

En este paso se incluye una descripción breve de la acción correctora recomendada. Para las acciones correctoras es conveniente seguir un cierto orden de prioridad en su elección. El orden de preferencia en general será el siguiente:

1. Cambio en el diseño del producto, servicio o proceso general.
2. Cambio en el proceso de fabricación, (en el caso de un producto).

3. Incremento del control o de la inspección.

Siempre hay que mirar por la eficiencia del proceso y la minimización de costes de todo tipo, generalmente es más económico reducir la probabilidad de ocurrencia de fallo que dedicar recursos a la detección de fallos.

No obstante, la gravedad de las consecuencias del modo de fallo debería ser el factor determinante del índice de prioridad del riesgo. O sea, si se llegara al caso de dos situaciones que tuvieran el mismo índice, la gravedad sería el factor diferencial que marcaría la prioridad.

Paso 12: Definir responsables

En esta columna se indicarán los responsables de las diferentes acciones propuestas y, si se cree preciso, las fechas previstas de implantación de las mismas.

Paso 13: Acciones implantadas

En esta columna se reflejarán las acciones realmente implantadas que pueden, en algunos casos, no coincidir con las propuestas inicialmente recomendadas.

Paso 14: Nuevo Índice de Prioridad de Riesgo

Como consecuencia de las acciones correctoras implantadas, los valores de la probabilidad de ocurrencia (O), la gravedad (S), y/o la probabilidad de no detección (D) habrán disminuido, reduciéndose, por tanto, el Número de Prioridad de Riesgo. Si a pesar de la implantación de las acciones correctoras, no se cumplen los objetivos definidos en algunos modos de fallo, es necesario investigar, proponer el implantar nuevas acciones correctoras, hasta conseguir que el IPR sea menor que el definido en los objetivos. Una vez conseguido que los IPR de todos los modos de fallo estén por debajo del valor establecido, se da por concluido el F.E.M.A.

3.3.1 Diagnóstico y análisis de la situación actual

El análisis efectuado a Diciembre de 2015, se realizó mediante el método análisis modal de fallos y efectos, mediante la ayuda de la Tabla 22 “Formato F.M.E.A”, detallaremos el estudio realizado a cada equipo que forma parte del proceso productivo y que se encuentra dentro del inventario técnico especificado en el ítem 3.2. En la tabla 23 se muestra un ejemplo del análisis realizado a un equipo del proceso de prensado, los estudios de cada máquina se encuentran detallados en el Anexo B.

Tabla 22
Formato F.M.E.A

		ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (F.M.E.A)						Elaborado por:	Danilo Quishpe							
								Aprobado por:	Ing. Paúl Jácome							
								Revisión #:								
								Fecha:								
PROCESO:		<input type="text"/>	RESPONSABLE:		<input type="text"/>											
MÁQUINA / EQUIPO:		<input type="text"/>	HOJA N°		<input type="text"/>											
CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN:		<input type="text"/>	FECHA DE REVISIÓN:		<input type="text"/>											
1. Nombre del subsistema o componente	2. Operación o función	3. Modo de fallo	4. Efectos del fallo	5. Gravedad del fallo "S"	6. Causas del fallo	7. Probabilidad de ocurrencia "O"	8. Controles actuales	9. Probabilidad de no detección "D"	10. Índice de prioridad de riesgo	11. Acción correctora	12. Responsables	13. Acciones implantadas	VALORACIÓN			IPR
													S	O	D	

Tabla 23

Análisis modal de fallos y efectos – Prensa P1

		ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (F.M.E.A)								Elaborado por:		Danilo Quishpe				
										Aprobado por:		Ing. Paúl Jácome				
										Revisión #:		1				
										Fecha:		01-Dec-15				
Proceso	Prensado			Responsable				Producción								
Máquina / Equipo	Prensa de estampación en frío			Hoja N°				1								
Código de identificación	P1			Fecha de revisión				01-Dec-15								
1. Nombre subsistema o componente	2. Operación o función	3. Modo de fallo	4. Efectos del fallo	5. Gravedad del fallo "S"	6. Causas del fallo	7. Probabilidad de ocurrencia "O"	8. Controles actuales	9. Probabilidad de no detección "D"	10. Índice de prioridad de riesgo	11. Acción correctora	12. Responsables	13. Acciones implantadas	VALORACIÓN			IPR
													S	O	D	
Motor eléctrico	Transforma la energía eléctrica en movimiento	Sobrecarga de trabajo	Aumento en el consumo de corriente eléctrica	4	Mala instalación eléctrica	1	Relés controladores	6	24	Inspecciones continuas	Mantenimiento	Inspecciones programadas	3	1	4	12
		Aumento / Disminución de tensión	Daños en el embobinado	5	Sobre explotación de la máquina	1		5	25				4	1	4	16

Continua →

		ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (F.M.E.A)										Elaborado por:		Danilo Quishpe		
		Aprobado por:		Ing. Paúl Jácome		Revisión #:		1		Fecha:		01-Dec-15				
		Proceso		Prensado		Responsable		Producción								
		Máquina / Equipo		Prensa de estampación en frío		Hoja N°		2								
Código de identificación		P1		Fecha de revisión		01-Dec-15										
1. Nombre subsistema o componente	2. Operación o función	3. Modo de fallo	4. Efectos del fallo	5. Gravedad del fallo "S"	6. Causas del fallo	7. Probabilidad de ocurrencia "O"	8. Controles actuales	9. Probabilidad de no detección "D"	10. Índice de prioridad de riesgo	11. Acción correctora	12. Responsables	13. Acciones implantadas	VALORACIÓN			IPR
													S	O	D	
Bomba de lubricación	Bompear el fluido lubricante	Obstrucción en los circuitos de lubricación	Desgaste prematuro de las piezas del equipo	6	Residuos de material en el tanque de almacenamiento	3	Ninguno	6	108	Limpieza	Operador	Limpieza programada	5	3	4	60
Sistema eléctrico	Alimenta y controla la energía eléctrica en los diferentes subsistemas	Desconexión de los contactores, conectores y terminales eléctricos	Mala funcionalidad o sobrecarga en los componentes	4	Mala instalación eléctrica	1	Relés controladores	6	24	Verificaciones continuas	Mantenimiento	Verificaciones programadas	4	1	4	16
Mecanismo cigüeñal biela	Transmite el movimiento del motor hacia los diferentes subsistemas	Desbalance del cigüeñal	Ruido, transmisión incompleta del movimiento	7	Sobreexplotación del equipo	3	Inspecciones aleatorias	5	105	Inspecciones continuas	Operador	Inspecciones programadas	5	2	4	40

Continua →

		ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (F.M.E.A)										Elaborado por:		Danilo Quishpe		
												Aprobado por:		Ing. Paúl Jácome		
												Revisión #:		1		
												Fecha:		01-Dec-15		
Proceso		Prensado			Responsable					Producción						
Máquina / Equipo		Prensa de estampación en frío			Hoja N°					3						
Código de identificación		P1			Fecha de revisión					01-Dec-15						
1. Nombre subsistema o componente	2. Operación o función	3. Modo de fallo	4. Efectos del fallo	5. Gravedad del fallo "S"	6. Causas del fallo	7. Probabilidad de ocurrencia "O"	8. Controles actuales	9. Probabilidad de no detección "D"	10. Índice de prioridad de riesgo	11. Acción correctora	12. Responsables	13. Acciones implantadas	VALORACIÓN			IPR
													S	O	D	
Mecanismo de alimentación	Alimenta la máquina con materia prima y regula la longitud que tendrá el perno o tornillo	Retroceso del material	Longitud incorrecta del elemento de fijación	8	Desajuste en los rodillos	5	Calibración al inicio de la jornada	6	240	Verificaciones aleatorias	Control de calidad, jefatura de planta	Verificaciones programadas	6	4	3	72
Mecanismo de corte	Corta el material a la longitud establecida	Pérdida de ángulo en el cuchillo	Mal recalque	9	Mala calibración	5	Aprobación previa a la puesta en marcha	6	270	Verificaciones aleatorias	Control de calidad	Verificaciones programadas	7	4	3	84

Continua →

		ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (F.M.E.A)										Elaborado por:		Danilo Quishpe		
		Aprobado por:		Ing. Paúl Jácome		Revisión #:		1		Fecha:		01-Dec-15				
Proceso		Prensado				Responsable				Producción						
Máquina / Equipo		Prensa de estampación en frío				Hoja N°				4						
Código de identificación		P1				Fecha de revisión				01-Dec-15						
1. Nombre subsistema o componente	2. Operación o función	3. Modo de fallo	4. Efectos del fallo	5. Gravedad del fallo "S"	6. Causas del fallo	7. Probabilidad de ocurrencia "O"	8. Controles actuales	9. Probabilidad de no detección "D"	10. Índice de prioridad de riesgo	11. Acción correctora	12. Responsables	13. Acciones implantadas	VALORACIÓN			IPR
													S	O	D	
Mecanismo de estampación	Realiza el recalque y seguidamente el conformado de la cabeza del perno o tornillo	Rotura de estampa	Mala simetría en el producto terminado	9	Desajuste del porta estampa	6	Verificaciones aleatorias	7	378	Verificaciones continuas	Control de calidad	Verificaciones programadas	6	5	3	90
		Fisuras en el punzón	Mal recalque, mala estampación	9	Mala calibración	5	Verificaciones aleatorias	7	315	Verificaciones continuas	Control de calidad, jefatura de planta	Inspecciones programadas	7	4	3	84
Mecanismo de expulsión	Expulsa la pieza estampada de la matriz	Rotura del buril	Atascamiento del producto terminado	8	Holgura inadecuada en la matriz	4	Inspecciones aleatorias	4	128	Inspecciones continuas	Operador	Inspecciones programadas	7	4	3	84

Resultados Obtenidos:

Como podemos observar, en ciertos modos de fallo existen índices de prioridad de riesgo que sobrepasan el valor de 100, el método de análisis modal de fallos y efectos, nos permite dar una primera impresión del impacto que se tendría al implantar un plan de mantenimiento productivo total, dentro del cual constan acciones preventivas y correctivas, designando equipos de trabajo responsables de la ejecución de las mismas, y con lo cual lograremos reducir el IPR a un valor adecuado que nos permita controlar futuros fallos inesperados.

3.3.2 Estimación de la vida útil de maquinaria y equipos

El análisis para la estimación de la vida útil, se basó en los catálogos de los principales fabricantes, aproximando las horas de trabajo de cada equipo a sus años de operación. Por medio del uso de tablas de depreciación de activos fijos, podemos estimar la maquinaria que se encuentran dentro de su vida útil remanente y los equipos que han sobrepasado su vida útil recomendada, pero aún siguen en estado operativo. En la Tabla 24 “Estimación de la vida útil - prensas”, se muestra un ejemplo del estudio efectuado al grupo de equipos que conforman el proceso de prensado.

La estimación de la vida útil de toda la maquinaria, se encuentra detallada en el Anexo C

Tabla 24

Estimación de la vida útil - prensas

PRENSAS			
Código	Descripción	Años de operación	Depreciación [años]
P1	Prensa FIDE	30	20
P2	Prensa PRDA.3	45	20
P3	Prensa CH-10	30	20
P4	Prensa PRD.1	45	20
P5	Prensa PRD.1	45	20
P6	Prensa EFO-50	30	20
P7	Prensa National	30	20
P8	Prensa National	35	20
P9	Prensa PRD.n	45	20
P10	Prensa National	35	20
P11	Prensa FA-15N-51	10	20
P12	Prensa ZW-5	9	20
P13	Prensa ZW-5	9	20
P14	Prensa ZW-5	9	20
P15	Prensa ZW-5	9	20
Pbroca	Prensa ST-1606	11	20
PM	Prensa Multiestación	1	20
Forja	Forja National	35	20

Resultados Obtenidos:

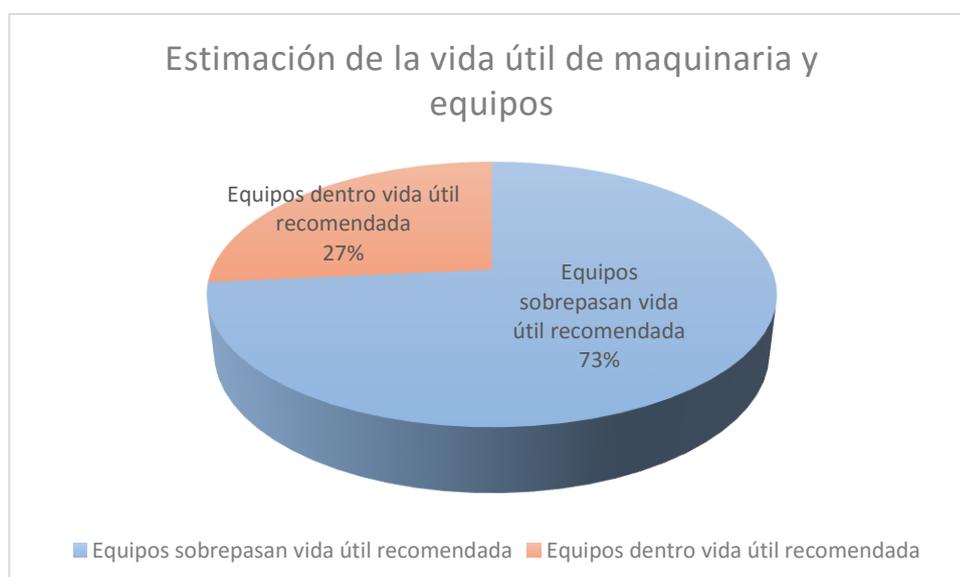


Figura 37 Estimación de la vida útil de maquinaria y equipos

Luego de efectuar el presente análisis, los resultados muestran un 73% (61 equipos) con un periodo de operación que sobrepasa la vida útil recomendada, que como es de esperarse han sufrido correcciones emergentes y mantenimientos modificativos, lo que refleja una mayor cantidad de maquinaria propensa a sufrir fallos inesperados, sin embargo sus condiciones operacionales muestran un favorable desempeño productivo, que luego de implementarse acciones de mantenimiento predictivo y preventivo mejorarán su disponibilidad.

El 27% restante correspondiente a 22 equipos, se encuentran en condiciones óptimas de operación, incluso varios equipos dentro de este porcentaje, apenas se encuentra empezado su vida útil.

3.3.3 Obtención de la información existente

En este ítem describiremos la documentación que hasta la fecha, el departamento de mantenimiento posee para la ejecución de las acciones que se realizan, para lo cual se propone una lista de documentos a cumplir, que servirán como base para la elaboración del plan de mantenimiento. La tabla 25 muestra el checklist diseñado para comprobar la documentación existente correspondiente a la maquinaria del proceso de prensado. El restante de información del remanente de equipos se encuentra adjunto en el Anexo D

Tabla 25

Obtención de la información existente

PRENSAS							
Código	Descripción	Ficha Técnica de Maquina	Manual de Operación	Registro de Acc. Mtto.	Suministros	Ordenes de trabajo	Registro de fallas
P1	Prensa FIDE	No	Si	No	Si	No	No
P2	Prensa PRDA.3	No	No	No	Si	No	No
P3	Prensa CH-10	No	Si	No	Si	No	No
P4	Prensa PRD.1	No	Si	No	Si	No	No

Continua →

PRENSAS							
Código	Descripción	Ficha Técnica de Maquina	Manual de Operación	Registro de Acc. Mitto.	Suministros	Ordenes de trabajo	Registro de fallas
P5	Prensa PRD.1	No	Si	No	Si	No	No
P6	Prensa EFO-50	No	No	No	Si	No	No
P7	Prensa National	No	No	No	Si	No	No
P8	Prensa National	No	Si	No	Si	No	No
P9	Prensa PRD.n	No	No	No	Si	No	No
P10	Prensa National	No	No	No	Si	No	No
P11	Prensa FA-15N-51	No	Si	No	Si	No	No
P12	Prensa ZW-5	No	Si	No	Si	No	No
P13	Prensa ZW-5	No	Si	No	Si	No	No
P14	Prensa ZW-5	No	Si	No	Si	No	No
P15	Prensa ZW-5	No	Si	No	Si	No	No
Pbroca	Prensa ST-1606	No	No	No	Si	No	No
PM	Prensa Multiestación	No	No	No	Si	No	No
Forja	Forja National	No	Si	No	Si	No	No

Resultados Obtenidos:

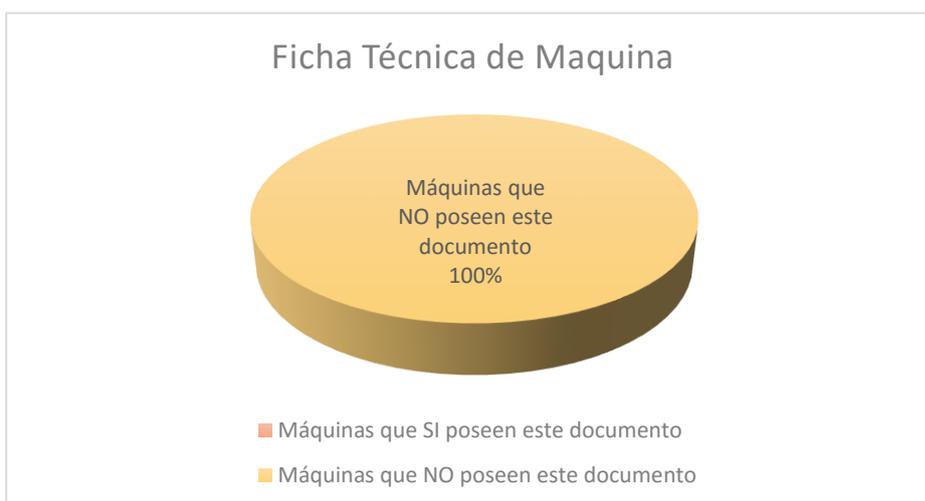


Figura 38 Porcentaje de maquinaria que cuenta con su ficha técnica



Figura 39 Porcentaje de maquinaria que posee un registro de Acc. Mtto.

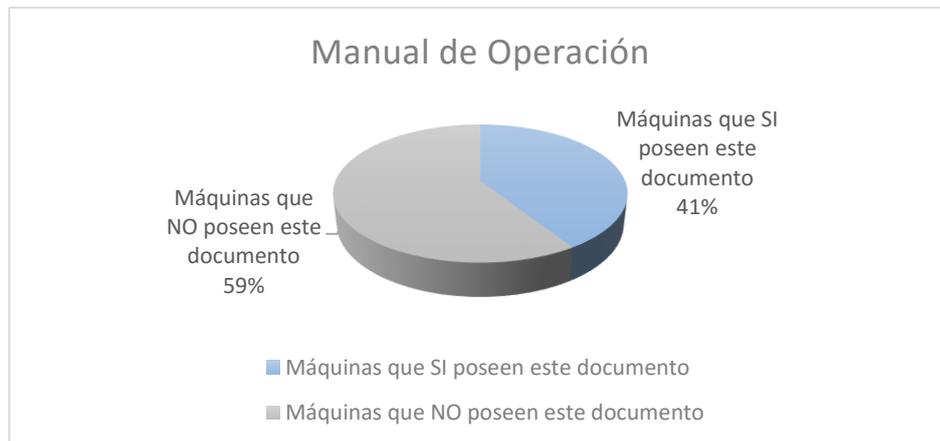


Figura 40 Porcentaje de maquinaria que cuenta con el manual de operación

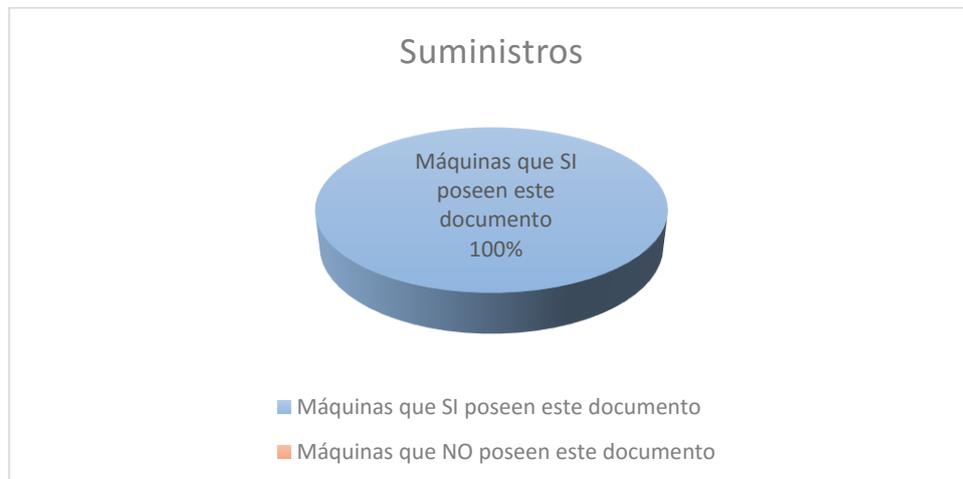


Figura 41 Porcentaje de maquinaria que cuenta con suministros

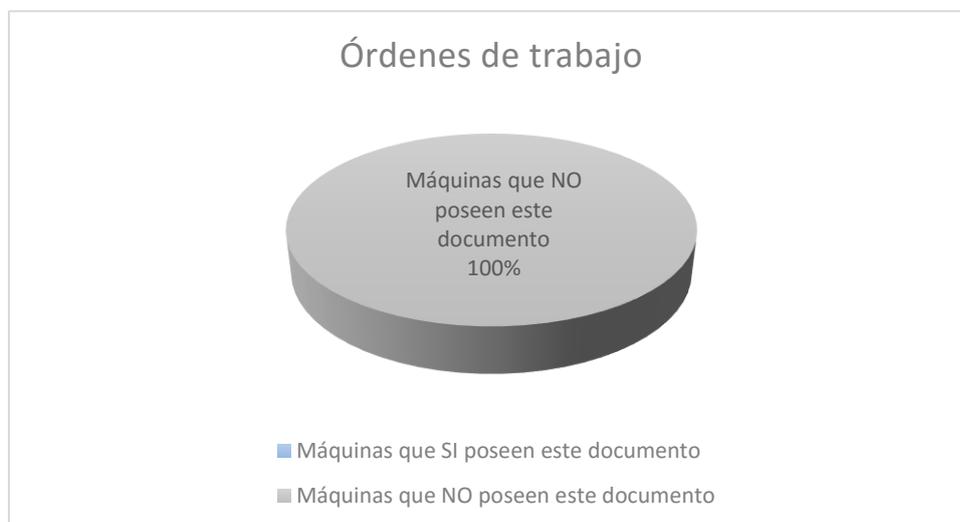


Figura 42 Porcentaje de maquinaria que posee un registro de órdenes de trabajo



Figura 43 Porcentaje de maquinaria que posee un registro de fallas

Una vez concluido el presente estudio, como se puede apreciar desde la figura 38 hasta la 43, el 100% de todos los equipos (83 equipos) no poseen varios documentos importantes en un sistema de mantenimiento, tales como fichas técnicas, registros de acciones de mantenimiento, órdenes de trabajo y registros de fallas, por el contrario, el 41% (34 equipos) sí cuentan con su respectivo manual de operación, lo que facilita la identificación, diferenciación y categorización de la maquinaria, finalmente es importante recalcar que toda

la maquinaria goza de suministros necesarios para su adecuada mantenibilidad.

El diseño de los formatos de fichas técnicas, órdenes de trabajo y el registro de acciones de mantenimiento, se encuentra detallado en el ítem 4.1 *Elaboración de documentos y formatos previos al plan de mantenimiento*

3.4 Categorización y diferenciación de la maquinaria y equipos de producción

En la actualidad, la acción del mantenimiento sobre las máquinas debe poseer un nivel de intensidad racional, entiéndase por intensidad a la cantidad de operaciones que se planifican y la periodicidad con que se ejecutan. No es tarea fácil determinar la intensidad que debe tener el mantenimiento programado sobre la máquina dada. Existen tres líneas de trabajo para solucionar este asunto:

1. La aceptación de las recomendaciones del fabricante.
2. La búsqueda de puntos óptimos que detectan el nivel adecuado de la intensidad del mantenimiento, una dificultad de este método radica en lo difícil de obtener la información necesaria. La deficiencia que posee es que trata por igual a todas las máquinas, no considerando sus particularidades en el proceso de producción.
3. Diferenciar y categorizar las máquinas para asignarle la atención necesaria, acorde con sus características.

Esta última línea de trabajo tiene como objetivo, dedicar el esfuerzo de los diferentes sistemas de mantenimiento en forma diferenciada a cada equipo, con el propósito de lograr la mayor eficiencia en el trabajo, sin afectar a la producción, optimizando recursos humanos y materiales, y desagregando su presupuesto. Para categorizar y diferenciar la maquinaria emplearemos diversos parámetros basados en la tabla 26.

Tabla 26

Matriz de categorización y diferenciación de maquinaria

PARAMETRO DE CATEGORIZACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN	CATEGORÍA		
		A	B	C
INTERCAMBIABILIDAD	Posibilidad de ser sustituida en su función productiva por otra máquina de la planta	Irreemplazable	Reemplazable por 1 o 2 maq.	Reemplazable por cualquier otra
RÉGIMEN DE OPERACIÓN	Forma en la que la máquina toma parte en el proceso productivo	Producción continua	Producción seriada	Trabaja en días alternos
NIVEL DE UTILIZACIÓN	Tiempo y frecuencia en que las máquinas son utilizadas en la jornada de trabajo	Utilizada entre el 90% al 100%	Solo una parte de la jornada	Poco utilizada Trabajos de apoyo o compl.
PARÁMETRO CARACTERÍSTICO	Garantiza la cantidad y calidad de su producción	Opera al nivel más elevado del parámetro	Opera al nivel medio del parámetro	Opera al nivel más bajo del parámetro
MANTENIBILIDAD	Facilidad, rapidez y seguridad de ejecutar el mtto.	Baja mantenibilidad	Mantenibilidad media	Mantenibilidad elevada
CONSERVABILIDAD	Resistencia a las condiciones del medio ambiente operacional	Necesitan condiciones especiales de protección	Necesitan protección normal	Pueden operar bajo condiciones severas
GRADO/AUTOMATIZACIÓN	Grados de libertad en las que se puede trabajar sin la acción del operador	Automática	Semi-automática	Opera manualmente
VALOR ACTUAL DE LA MAQ.	Valor en el momento de realizar el análisis	Posee un alto valor	Posee un valor medio	Posee el valor mas bajo
FACILIDAD DE APROVISIÓN	Garantía de obtener repuestos estándar y suministros	Dificultades serias de obtención	Asegurado algunos rubros	Grandes posibilidades de suministro
SEGURIDAD OPERACIONAL	Riesgo que la máquina puede causar sobre el hombre	Maquina muy peligrosa	Medianamente peligrosa	Poco peligrosa
CONDICIONES DE EXPLOTACIÓN	Condiciones que caracterizan el trabajo de la máquina	Condiciones severas	Condiciones normales	Condiciones favorables
AFECTACIÓN AL MEDIO AMBIENTE	Posibilidad de afectación al medio ambiente, tanto el trabajo como los fallos	Crean afectaciones severas	Afecta en alguna medida	No afecta en ningún caso

Para máquinas categoría “A”: El objetivo del mantenimiento será lograr la mayor disponibilidad al costo que sea necesario, debe darse preferencia a la aplicación del mantenimiento predictivo, se aplican todas las acciones correspondientes al mantenimiento predictivo y su periodicidad, la variación de trabajo sin fallo (mínimo admisible) de la máquina guiarán el accionar del predictivo, el mantenimiento correctivo deberá ser el mínimo y de ocurrir se le dará la máxima prioridad.

Para máquinas categoría “B”: Debe darse preferencia a la aplicación del mantenimiento preventivo tratando de alargar el MTBF, el objetivo del mantenimiento será lograr la reducción de los costos a expensas de una menor disponibilidad de las máquinas, el accionar del preventivo estará supeditado a la economía y a la experiencia que se tenga sobre sus técnicas y los resultados, el mantenimiento correctivo deberá ser el mínimo , y de ocurrir se le dará prioridad variable que van de normal a urgente, dependiendo de la criticidad de la máquina dentro de la producción y la holgura de tiempo para su reparación.

Para máquinas categoría “C”: Como el MTTR manifiesta gran holgura sin afectar la producción, a la ejecución de las acciones correctivas se le da la menor prioridad, debe darse preferencia a la aplicación del MC tratando de alargar el máximo el MTBF, y reduciendo los costos de mantenimiento al mínimo, el accionar del predictivo será el mínimo y podrá estar supeditado a las inspecciones organolépticas y a la experiencia de los operadores y mecánicos.

La tabla 27 muestra un ejemplo de la matriz de categorización y diferenciación efectuada a un grupo de prensas, en donde se puede apreciar la ponderación de cada parámetro y subsecuentemente la categoría con la cual se registrará cada equipo. El estudio completo de cada maquinaria se encuentra detallado en el Anexo E.

Tabla 27

Categorización y diferenciación de maquinaria - prensas

PARAMETRO DE CATEGORIZACIÓN	PRENSAS																																									
	Prensa FIDE			Prensa PRDA.3			Prensa CH-10			Prensa PRD.1			Prensa PRD.1			Prensa EFO-50			Prensa National			Prensa National			Prensa PRD.n			Prensa National			Prensa FA-15N-51			Prensa ZW - 5			Prensa ZW - 5					
	P1			P2			P3			P4			P5			P6			P7			P8			P9			P10			P11			P12			P13					
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C			
INTERCAMBIABILIDAD	x			x			x				x			x		x				x		x				x			x			x			x			x				
RÉGIMEN DE OPERACIÓN	x			x			x			x			x					x			x			x			x	x			x			x			x					
NIVEL DE UTILIZACIÓN	x			x			x			x			x					x			x			x			x	x			x			x			x					
PARÁMETRO CARACTERÍSTICO		x				x			x			x			x			x			x			x			x			x			x			x			x			
MANTENIBILIDAD		x			x				x			x			x			x			x			x			x	x					x			x			x			
CONSERVABILIDAD		x			x				x			x			x			x			x			x			x			x			x			x			x			
GRADO/AUTOMATIZACIÓN		x			x				x			x			x			x			x			x			x			x			x			x			x			
VALOR ACTUAL DE LA MAQ.		x				x			x			x			x			x			x			x			x			x			x			x			x			
FACILIDAD DE APROVISIÓN		x			x				x			x			x			x			x			x			x			x			x			x			x			
SEGURIDAD OPERACIONAL	x			x			x			x			x			x			x			x			x			x			x			x			x					
CONDICIONES DE EXPLOTACIÓN		x			x				x			x			x			x			x			x			x			x			x			x			x			
AFECTACIÓN AL MEDIO AMBIENTE	x			x			x			x			x			x			x			x			x			x			x			x			x					
SUMATORIA	5	7	0	6	4	2	5	7	0	5	6	1	5	6	1	5	7	0	3	8	1	4	7	1	3	4	5	3	8	1	6	6	0	6	6	0	6	6	0	6	6	0
CATEGORIA	B			A			B			B			B			B			B			C			B			A			A			A								

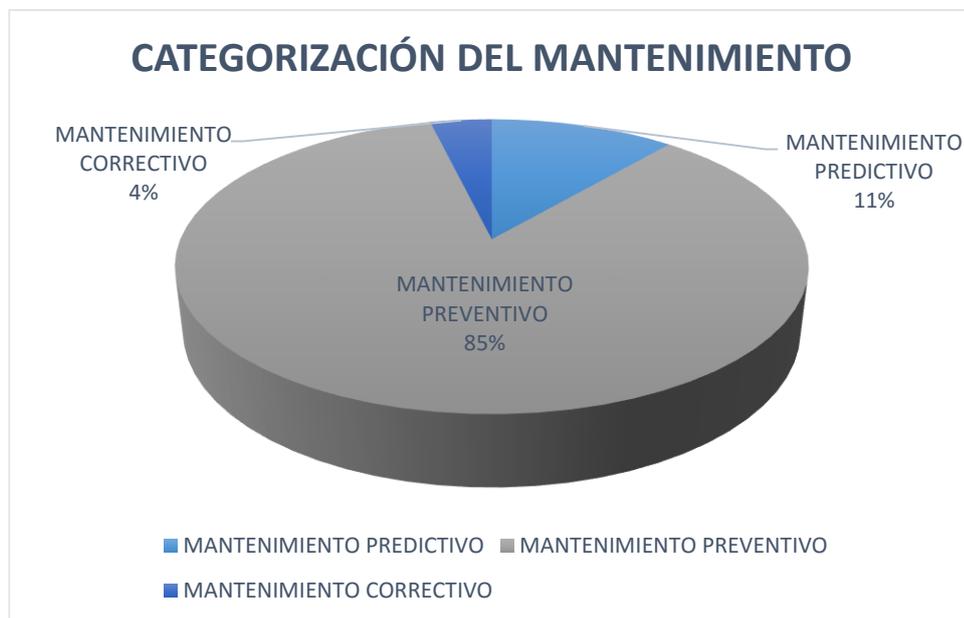


Figura 44 Categorización del mantenimiento

Terminada la categorización y diferenciación podemos estimar que un 11% de toda la maquinaria, es decir 9 equipos estarán sujetos a las acciones que conlleve un adecuado mantenimiento predictivo, el 85 %, 71 equipos, serán programados bajo los lineamientos del preventivo, mientras el 4% restante, 3 equipos, coexistirán dentro un mantenimiento correctivo, los resultados de una manera más detallada se reflejan en la tabla 28.

El reporte de resultados completo se encuentra en el Anexo F.

Tabla 28

Resultados de la categorización y diferenciación de maquinaria

PRENSAS						
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CATEGORÍAS			RESULTADOS	CONCLUSIONES
		A- PREDICTIVO	B - PREVENTIVO	C - CORRECTIVO		
P1	Prensa FIDE	5	7	0	Sobresale el mantenimiento preventivo, seguido de un adecuado mantenimiento predictivo, el mantenimiento correctivo es nulo	El mantenimiento a programar y ejecutar será el preventivo
P2	Prensa PRDA.3	6	4	2	Destaca el mantenimiento predictivo, junto con un adecuado mantenimiento preventivo, el mantenimiento correctivo es mínimo	De preferencia se debe programar y ejecutar un mantenimiento predictivo, dejando a las acciones preventivas y correctivas con un mínimo impacto
P3	Prensa CH-10	5	7	0	Sobresale el mantenimiento preventivo, seguido de un adecuado mantenimiento predictivo, el mantenimiento correctivo es nulo	El mantenimiento a programar y ejecutar será el preventivo
P4	Prensa PRD.1	5	6	1	Sobresale el mantenimiento preventivo, seguido de un adecuado mantenimiento predictivo, el mantenimiento correctivo es mínimo	De preferencia se debe programar y ejecutar un mantenimiento preventivo, dejando a las acciones predictivas y correctivas con un mínimo impacto
P5	Prensa PRD.1	5	6	1	Sobresale el mantenimiento preventivo, seguido de un adecuado mantenimiento predictivo, el mantenimiento correctivo es mínimo	De preferencia se debe programar y ejecutar un mantenimiento preventivo, dejando a las acciones predictivas y correctivas con un mínimo impacto
P6	Prensa EFO-50	5	7	0	Sobresale el mantenimiento preventivo, seguido de un adecuado mantenimiento predictivo, el mantenimiento correctivo es nulo	El mantenimiento a programar y ejecutar será el preventivo
P7	Prensa National	3	8	1	Sobresale el mantenimiento preventivo, seguido de un adecuado mantenimiento predictivo, el mantenimiento correctivo es mínimo	De preferencia se debe programar y ejecutar un mantenimiento preventivo, dejando a las acciones predictivas y correctivas con un mínimo impacto
P8	Prensa National	4	7	1	Sobresale el mantenimiento preventivo, seguido de un adecuado mantenimiento predictivo, el mantenimiento correctivo es mínimo	De preferencia se debe programar y ejecutar un mantenimiento preventivo, dejando a las acciones predictivas y correctivas con un mínimo impacto

Continua →

PRENSAS						
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CATEGORÍAS			RESULTADOS	CONCLUSIONES
		A - PREDICTIVO	B - PREVENTIVO	C - CORRECTIVO		
P9	Prensa PRD.n	3	4	5	Predomina el mtto. Correctivo, el mtto. Preventivo y Predictivo son importantes en igual media	Se pueden ejecutar acciones correctivas sin el temor de paros innecesarios, no se deben dejar de lado actividades preventivas y predictivas
P10	Prensa National	3	8	1	Sobresale el mantenimiento preventivo, seguido de un adecuado mantenimiento predictivo, el mantenimiento correctivo es mínimo	De preferencia se debe programar y ejecutar un mantenimiento preventivo, dejando a las acciones predictivas y correctivas con un mínimo impacto
P11	Prensa FA-15N-51	6	6	0	El mantenimiento predictivo y preventivo son iguales en ponderación, se debe dar mayor prioridad al mtto. Predictivo	Un adecuado mtto. Predictivo mejorará la disponibilidad de maquinaria, sin dejar de lado las acciones de mayor importancia en el sistema de mantenimiento preventivo
P12	Prensa ZW-5	6	6	0	El mantenimiento predictivo y preventivo son iguales en ponderación, se debe dar mayor prioridad al mtto. Predictivo	Un adecuado mtto. Predictivo mejorará la disponibilidad de maquinaria, sin dejar de lado las acciones de mayor importancia en el sistema de mantenimiento preventivo
P13	Prensa ZW-5	6	6	0	El mantenimiento predictivo y preventivo son iguales en ponderación, se debe dar mayor prioridad al mtto. Predictivo	Un adecuado mtto. Predictivo mejorará la disponibilidad de maquinaria, sin dejar de lado las acciones de mayor importancia en el sistema de mantenimiento preventivo

CAPÍTULO 4

DISEÑO Y DESARROLLO DEL SISTEMA DE MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL

4.1 Elaboración de documentos y formatos previos al plan de mantenimiento

Previo al diseño del plan de mantenimiento es necesario contar con varios documentos que faciliten el manejo de información y ayuden a la gerencia del sistema de gestión del TPM, los estudios realizados en las secciones anteriores muestran que el 100% de maquinaria no cuenta con varios de estos documentos, entre la documentación principal tenemos: fichas técnicas, órdenes de trabajo y registro de acciones de mantenimiento.

4.1.1 Fichas técnicas de máquina

La finalidad de este documento es resumir las características técnicas de un equipo, máquina, componente o subsistema, con el suficiente detalle para ser utilizada por un especialista o personal a cargo. Los criterios en la elaboración de las fichas de máquina fueron:

- Logo perteneciente a TOPESA S.A.
- Foto actualizada de cada máquina
- Identificación:
 - Máquina – Equipo
 - Fabricante
 - País de origen
 - Capacidad mínima
 - Capacidad máxima
 - Marca – Modelo

- Serie / N°
- Año de fabricación
- Estado de operabilidad
- Código correspondiente según el plano de distribución de planta
- Características técnicas del motor:
 - Tipo
 - Fabricante
 - País de origen
 - Serie / N°
 - Frame
 - N° Fase
 - RPM
 - Potencia
 - Año de fabricación
 - Frecuencia, voltaje y amperaje
 - Marca, tipo y número de bandas
- Características técnicas de la bomba de lubricación
 - Tipo
 - Fabricante
 - País de origen
 - Serie / N°
 - Frame
 - Potencia
 - Frecuencia, voltaje y amperaje
 - RPM

A continuación se muestra el formato completo de una ficha técnica y como debe ser llenada, las fichas técnicas de toda la maquinaria y equipos se encuentran en el Anexo G.

Tabla 29

Ficha técnica Prensa P8

FICHA TÉCNICA DE MAQUINARIA			
MÁQUINA - EQUIPO	PRENSA DE ESTAMPACIÓN EN FRÍO	MODELO	S/E
FABRICANTE	NATIONAL MACHINERY	SERIE/N°	41224
ORIGEN	OHIO - U.S.A.	AÑO	1978
CAPACIDAD MÍNIMA $\phi \times L$	3.40 x 25 mm	ESTADO	OPERATIVO
CAPACIDAD MÁXIMA $\phi \times L$	4.0 x 19 mm	CÓDIGO	P8
FOTO DE LA MÁQUINA - EQUIPO		MOTOR	
		FABRICANTE	GENERAL ELECTRIC
		ORIGEN	U.S.A.
		TIPO	5K213BN217A
		SERIE/N°	HK
		FRAME	213T
		N° FASE	TRIFÁSICO
		RPM	1755
		POTENCIA	7 1/2 Hp
		AÑO	S/E
		50 Hz	Voltaje: -- Amperaje: --
60 Hz	Voltaje: 230 / 460 V Amperaje: 21.6 / 10.8 A		
BANDAS		FABRICANTE	DAYCO
		TIPO	BP 100
		N° DE BANDAS	2
BOMBA DE LUBRICACIÓN			
FABRICANTE	DELCO	50 Hz	Voltaje: 220 / 440 V
MOTOR TIPO	1J8124CI		Amperaje: 2.2 / 1.1 A
ORIGEN	U.S.A.		rpm: 1145
SERIE/N°	G-77	60 Hz	Voltaje: 230 / 460 V
FRAME	56C		Amperaje: 2.2 / 1.1 A
POTENCIA	1/2 Hp		rpm: 1150

4.1.2 Órdenes de trabajo

En el proceso de diseño del plan de mantenimiento se estableció usar órdenes de trabajo en la cual se detallarán las actividades que han sido preestablecidas con anterioridad, o acciones a ser ejecutadas para una tarea que se encuentre fuera del cronograma de mantenimiento, es decir, una actividad que suscite en el transcurso de la jornada laboral, que no haya sido prevista y requiera de un soporte físico de documentos relevantes a la misma, tales como órdenes firmadas, planos, manuales, etc.

Tabla 30

Formato orden de trabajo

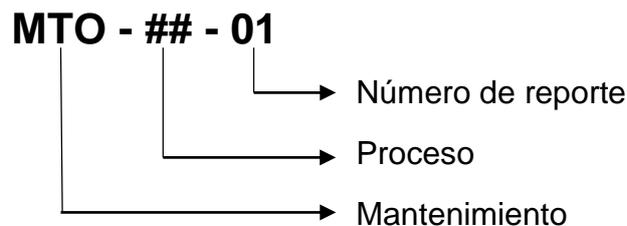
ORDEN DE TRABAJO N° 0000001							
EMISIÓN							
FECHA:				MÁQUINA:			
HORA:				SOLICITADO POR:		NOMBRE:	
PRIORIDAD (Urgente - Normal - Baja)						CARGO:	
						FIRMA:	
TRABAJO REQUERIDO:							
OBSERVACIONES:							
PARA SER LLENADO POR EL PERSONAL OPERATIVO							
INICIO DE LA ACTIVIDAD	FECHA:			FINAL DE LA ACTIVIDAD	FECHA:		
	HORA:				HORA:		
REALIZADO POR				FIRMA:			
TRABAJO REALIZADO:							
OBSERVACIONES:							
PARA SER LLENADO POR EL SUPERVISOR (RECIBE CONFORME)							
RECIBIDO POR				FECHA			FIRMA:
				HORA			
OBSERVACIONES:							

4.1.3 Registro de acciones de mantenimiento

Es sumamente importante llevar un registro de todas las acciones de mantenimiento que se realicen desde la puesta en marcha del plan, de esta manera se obtendrá una base de datos que ayudará en estudios posteriores del mantenimiento predictivo y preventivo, encaminará a la empresa hacia una cultura de mejora continua, además de que la información recopilada será la base para futuras certificaciones tales como la ISO 9001 y fiscalizaciones ambientales o de gestión de riesgos.

Para satisfacer todos estos requerimientos, los criterios imprescindibles dentro del registro de acciones de mantenimiento fueron:

- El número de reporte, para el cual la simbología utilizada será:



Proceso

Tr: Trefilado	Pr: Prensado	Fo: Forjado	Ma: Matrizado
Ro: Roscado	Ra: Ranurado	Pu: Punteado	Tro: Troquelado
RT: Roscado de tuercas	MP: Materia Prima	AS: Acabados Superficiales	TT: Tratamientos Térmicos
MM: Maquinaria de Mantenimiento	LS: Lavado y secado		

- Orden de trabajo N°.
- Código de las acciones de mantenimiento (cada acción dentro del plan de mantenimiento tendrá un código, en el ítem 4.2 se especifica cada una de ellas).

- Horas empleadas en la ejecución del trabajo solicitado.
- Área o proceso.
- Máquina o equipo.
- Operador
- Fecha y hora de entrega del equipo en estado operativo
- Tipo de mantenimiento: predictivo, preventivo, modificativo y correctivo (emergente o programado).
- Descripción del trabajo realizado.
- Acciones correctivas ejecutadas.
- Registro fotográfico.
- De igual manera es necesario evaluar los suministros utilizados en la ejecución de estas actividades, detallando la cantidad, unidad y código respectivo a cada suministro.

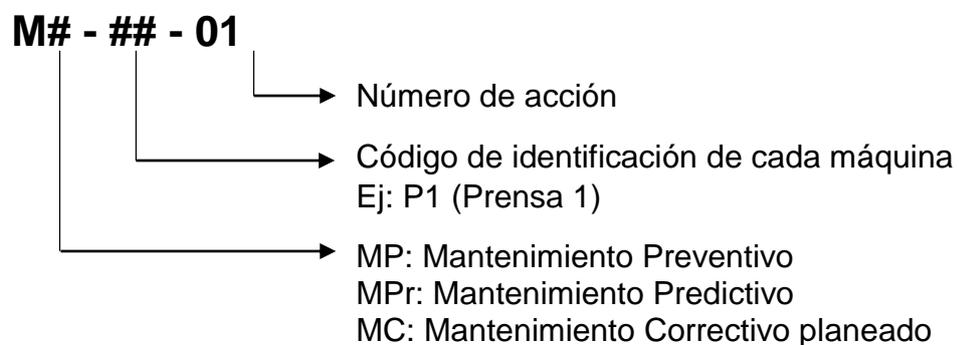
En la tabla 31 se muestra el diseño del formato para el registro de las acciones de mantenimiento

4.2 Determinación de las acciones del mantenimiento autónomo

Las acciones de mantenimiento se elaboraron con base en los manuales del fabricante, la experiencia de los operadores de maquinaria y el equipo de mantenimiento, para establecer las operaciones y sus periodicidades particulares se tomó en cuenta los resultados obtenidos en el método análisis modal de fallos y efectos (F.M.E.A) y en la diferenciación y categorización de las máquinas.

Para la correcta ejecución del plan de mantenimiento se han organizado las acciones dentro de los tres primeros escalones, dejando a los operadores y sus ayudantes a cargo del cumplimiento de todo el primer escalón, mientras las acciones del segundo y tercer escalón serán realizadas por el área o departamento de mantenimiento.

Es indispensable establecer un sistema de codificación para las acciones que contempla el plan, de esta manera se facilitará la identificación y la labor del personal a cargo. La simbología utilizada será:



4.2.1 Primer escalón

Como ya se expresó anteriormente, las acciones de primer escalón serán ejecutadas por los operadores de cada equipo, por lo cual se deberá capacitar al personal encargado y deberán contar con la información detallada del plan de mantenimiento. En el ítem 5.2 *“Capacitación a los operadores de la maquinaria y mecánicos de mantenimiento”* se detallará la ejecución de esta necesidad. Para verificar el cumplimiento de cada acción, el control estará a cargo del área de mantenimiento.

A continuación se muestra un ejemplo de las actividades de primer escalón de la prensa Pbroca.

Tabla 32

Acciones de mantenimiento 1er escalón - Pbroca

ACCIONES DE MANTENIMIENTO					
Elaborado por	Danilo Quishpe	MÁQUINA - EQUIPO	PRENSA DE ESTAMPACIÓN EN FRÍO	Pbroca	
Aprobado por	Ing. Paúl Jácome				
	Ing. Jaime Marcillo				
ACCIONES OBLIGATORIAS DURANTE EL MANTENIMIENTO					
* Utilizar siempre el equipo de protección personal (mandil/overol, calzado de seguridad, guantes de cuero, tapones auditivos, gafas de seguridad).					
ESCALÓN	CÓDIGO	ACCIONES	RESPONSABLE	HERRAMIENTAS E INSUMOS	PERIODICIDAD PARTICULAR
PRIMER	MP-Pbroca-01	Inspección visual del equipo en general, informar y registrar cualquier anomalía existente.	Operador y/o ayudante	Inspección Visual	Cada 8 horas
PRIMER	MP-Pbroca-02	Limpieza general, retirar los residuos de material presentes en la máquina y en el sitio de trabajo.	Operador y/o ayudante	Escoba, brocha, franela o wipe	Cada 8 horas
PRIMER	MP-Pbroca-03	Calibrar la máquina de manera adecuada, con el utilaje y matricería respectiva para cada equipo.	Operador y/o ayudante	Utilaje y matricería correspondiente a cada equipo	Cada 8 horas
PRIMER	MP-Pbroca-04	Verificar el nivel de aceite en el depósito de la bomba. Nunca accionar la bomba si el aceite está por debajo del nivel mínimo.	Operador y/o ayudante	Aceite SAE 40 o Equivalente (Aceite ISO 150)	Cada 8 horas
PRIMER	MP-Pbroca-05	Verificar que la bomba de lubricación este funcionando.	Operador y/o ayudante	Aceite SAE 40 o Equivalente (Aceite ISO 150)	Cada 8 horas
PRIMER	MP-Pbroca-06	Inspeccionar la temperatura de los cojinetes, sintiendo con la mano si la temperatura se ha elevado, aprovechando cualquier paro de la máquina.	Operador y/o ayudante		Cada 4 horas
PRIMER	MP-Pbroca-07	Limpiar y engrasar los carros y partes móviles generales para prevenir su oxidación.	Operador y/o ayudante	Brocha, franela o wipe	Cada 160 Horas
PRIMER	MP-Pbroca-08	Dejar salir el agua del tambor auxiliar de agua.	Operador y/o ayudante	Torquímetro, destornilladores, juego de llaves	Cada 240 Horas

Continua →

PRIMER	MP-Pbroca-09	Verificar y ajustar la válvula de distribución y el grado de circulación en el lubricador.	Operador y/o ayudante	Torquímetro, destornilladores, juego de llaves	Cada 240 Horas
PRIMER	MP-Pbroca-10	Lubricar los tornillos de elevación, de orientación y los costados del cargador.	Operador y/o ayudante	Alvania Greases 2	Cada 150 Horas
PRIMER	MP-Pbroca-11	Limpia el carro del mecanismo de la pieza a trabajar, lubricarlo apropiadamente.	Operador y/o ayudante	Alvania Greases 3	Cada 160 Horas
PRIMER	MP-Pbroca-12	Engrasar el engranaje en el eje, el mecanismo posicionador y los engranajes en la caja de cambios.	Operador y/o ayudante	Grasa para engranes Alvania Greases 3	Cada 240 Horas
PRIMER	MP-Pbroca-13	Limpia de toda impureza el tanque de recolección del aceite lubricante.	Operador y/o ayudante	Brocha, franela o wipe	Cada 240 Horas
PRIMER	MP-Pbroca-14	Reemplazar el aceite lubricante, para evitar el desgaste de las piezas. Nunca llenar el tanque si este está sucio o con sobras de aceite usado.	Operador y/o ayudante	Aceite SAE 40 o Equivalente (Aceite ISO 150)	Cada 240 Horas

NOTA: Es importante recalcar que cada máquina dispone instalado sus respectivo horómetro.

4.2.2 Segundo y tercer escalón

Las acciones de segundo y tercer escalón serán desarrolladas por el departamento de mantenimiento. Para la ejecución del grupo de tareas pertenecientes tanto al primer, segundo y tercer escalón, se deberá seguir la programación del ítem 4.3 *“Determinación de las periodicidades del mantenimiento”*.

A continuación se muestra el grupo de tareas de segundo y tercer escalón perteneciente al equipo prensa de broca, las acciones de mantenimiento de todos los equipos, desde el primer hasta el tercer escalón se encuentran detalladas en el Anexo H.

Tabla 33

Acciones de mantenimiento 2do y 3er escalón – Pbroca

ACCIONES DE MANTENIMIENTO					
Elaborado por	Danilo Quishpe	MÁQUINA - EQUIPO	PRENSA DE ESTAMPACIÓN EN FRÍO	Pbroca	
Aprobado por	Ing. Paúl Jácome				
	Ing. Jaime Marcillo				
ACCIONES OBLIGATORIAS DURANTE EL MANTENIMIENTO					
* Utilizar siempre el equipo de protección personal (mandil/overol, calzado de seguridad, guantes de cuero, tapones auditivos, gafas de seguridad).					
ESCALÓN	CÓDIGO	ACCIONES	RESPONSABLE	HERRAMIENTAS E INSUMOS	PERIODICIDAD PARTICULAR
SEGUNDO	MP-Pbroca-15	Inspeccionar la seguridad de los tornillos y demás componentes que a menudo vibran.	Taller mecánico	Torquímetro, destornilladores, juego de llaves	Cada 150 Horas
SEGUNDO	MP-Pbroca-16	Verificar el correcto funcionamiento del panel de mando.	Taller mecánico	Multímetro	Cada 160 Horas
SEGUNDO	MP-Pbroca-17	Lubricar los rodamientos de todo el sistema.	Taller mecánico	Grasa para rodamientos Alvania Greases 3	Cada 400 Horas
SEGUNDO	MP-Pbroca-18	Limpia y lubricar las partes del disco y de la placa sujetadora.	Taller mecánico	Alvania Greases 2	Cada 400 Horas
SEGUNDO	MP-Pbroca-19	Engrasar el tornillo y la tuerca en el mecanismo de elevación de la pieza a trabajar.	Taller mecánico	Alvania Greases 2	Cada 500 Horas
TERCERO	MP-Pbroca-20	Inspeccionar el sistema mecánico en búsqueda de posibles anomalías, documentar cualquier imperfecto en el registro de fallas.	Taller mecánico	Inspección Visual	Cada 500 Horas
TERCERO	MP-Pbroca-21	Cambiar las bandas del sistema mecánico.	Taller mecánico	Bandas de transmisión según la ficha técnica	Cada 1200 Horas
TERCERO	MP-Pbroca-22	Realizar una inspección y limpieza eléctrica de los relés, contactores, conectores y terminales eléctricos.	Taller mecánico	Multímetro, Spray limpia conectores	Cada 1000 Horas
TERCERO	MPr-Pbroca-01	Control del estado de contaminación del lubricante - Prueba de mancha (Spot-test)	Taller mecánico	Papel de filtro	Cada 80 Horas

Continua →

TERCERO	MPr-Pbroca-02	Control del estado de degradación del lubricante - Prueba de viscosidad aproximada.	Taller mecánico	Viscosímetro	Cada 80 Horas
TERCERO	MPr-Pbroca-03	Análisis y control de vibraciones.	Taller mecánico	Vibrómetro	Cada 1000 Horas
TERCERO	MPr-Pbroca-04	Control y verificación de la tensión en las bandas.	Taller mecánico	Krikít Tensión Gauge	Cada 1200 Horas
TERCERO	MC-Pbroca-01	Desmontar la bomba de lubricación y realizar una limpieza de todo el sistema, documentar cualquier anomalía.	Taller mecánico		Cada 1200 Horas

4.3 Determinación de las periodicidades del mantenimiento autónomo

Una vez detalladas las acciones para un adecuado mantenimiento, se programa y organiza la ejecución de las mismas, pues no se completa la tecnología si no se determina y establece la periodicidad para ejecutar tales tareas. Para el cálculo de la periodicidad existen alternativas generales:

1. Cuando se tienen datos sobre la fiabilidad de la máquina y sistema, así como los datos económicos relacionados con su comportamiento en las condiciones concretas de explotación.
2. Cuando no hay datos sobre el comportamiento del sistema. En este caso se pueden utilizar las recomendaciones del fabricante y si no existen para el sistema que se analiza, se debe situar una periodicidad que coincida con la que recomienda el fabricante para otros sistemas del mismo equipo. Otra alternativa es apelar a la experiencia del personal a cargo o del departamento de mantenimiento.

Ya que TOPESA S.A. no cuenta con estudios previos sobre la fiabilidad de los equipos, ni datos relacionados con la explotación de la maquinaria, enfocaremos este estudio en el numeral 2, donde el método que nos ayudará a implantar las periodicidades requeridas será el método gráfico, que a continuación se muestra un ejemplo de su accionar.

4.3.1 Primer, segundo y tercer escalón

Cada sistema de una máquina que deba ser atendido con una acción de mantenimiento requiere una periodicidad propia y en general diferente. Una máquina que posee un grupo de sistemas, tendría que ser detenida casi a diario para ejecutar dichas tareas, lo cual no es conveniente dado el alto valor de la hora de trabajo. Este problema se resuelve con la correcta elaboración del gráfico del accionar del mantenimiento.

Para ejemplificar este método usaremos las acciones y periodicidades particulares del equipo Pbroca:

Tabla 34

Acciones y periodicidades particulares – Pbroca

ORD	ESCALÓN	CÓDIGO	ACCIONES	PERIODICIDAD PARTICULAR
1	PRIMER	MP-Pbroca-07	Limpiar y engrasar los carros y partes móviles generales para prevenir su oxidación.	Cada 160 Horas
2	PRIMER	MP-Pbroca-08	Dejar salir el agua del tambor auxiliar de agua.	Cada 240 Horas
3	PRIMER	MP-Pbroca-09	Verificar y ajustar la válvula de distribución y el grado de circulación en el lubricador.	Cada 240 Horas
4	PRIMER	MP-Pbroca-10	Lubricar los tornillos de elevación, de orientación y los costados del cargador.	Cada 150 Horas
5	PRIMER	MP-Pbroca-11	Limpiar el carro del mecanismo de la pieza a trabajar, lubricarlo apropiadamente.	Cada 160 Horas
6	PRIMER	MP-Pbroca-12	Engrasar el engranaje en el eje, el mecanismo posicionador y los engranajes en la caja de cambios.	Cada 240 Horas

Continua →

7	PRIMER	MP-Pbroca-13	Limpiar de toda impureza el tanque de recolección del aceite lubricante.	Cada 240 Horas
8	PRIMER	MP-Pbroca-14	Reemplazar el aceite lubricante, para evitar el desgaste de las piezas. Nunca llenar el tanque si este está sucio o con sobras de aceite usado.	Cada 240 Horas
9	SEGUNDO	MP-Pbroca-15	Inspeccionar la seguridad de los tornillos y demás componentes que a menudo vibran.	Cada 150 Horas
10	SEGUNDO	MP-Pbroca-16	Verificar el correcto funcionamiento del panel de mando.	Cada 160 Horas
11	SEGUNDO	MP-Pbroca-17	Lubricar los rodamientos de todo el sistema.	Cada 400 Horas
12	SEGUNDO	MP-Pbroca-18	Limpiar y lubricar las partes del disco y de la placa sujetadora.	Cada 400 Horas
13	SEGUNDO	MP-Pbroca-19	Engrasar el tornillo y la tuerca en el mecanismo de elevación de la pieza a trabajar.	Cada 500 Horas
14	TERCERO	MP-Pbroca-20	Inspeccionar el sistema mecánico en búsqueda de posibles anomalías, documentar cualquier imperfecto en el registro de fallas.	Cada 500 Horas
15	TERCERO	MP-Pbroca-21	Cambiar las bandas del sistema mecánico.	Cada 1200 Horas
16	TERCERO	MP-Pbroca-22	Realizar una inspección y limpieza eléctrica de los relés, contactores, conectores y terminales eléctricos.	Cada 1000 Horas

Continúa →

17	TERCERO	MPr-Pbroca-01	Control del estado de contaminación del lubricante - Prueba de mancha (Spot-test)	Cada 80 Horas
18	TERCERO	MPr-Pbroca-02	Control del estado de degradación del lubricante - Prueba de viscosidad aproximada.	Cada 80 Horas
19	TERCERO	MPr-Pbroca-03	Análisis y control de vibraciones.	Cada 1000 Horas
20	TERCERO	MPr-Pbroca-04	Control y verificación de la tensión en las bandas.	Cada 1200 Horas
21	TERCERO	MC-Pbroca-01	Desmontar la bomba de lubricación y realizar una limpieza de todo el sistema, documentar cualquier anomalía.	Cada 1200 Horas

La solución consiste en establecer una periodicidad básica para detener la máquina y ejecutar no solo una acción, sino un grupo de ellas, de manera que se logre la mayor efectividad en la atención preventiva, para solucionar el ejemplo de las periodicidades del equipo Pbroca, se escogió una periodicidad básica de 120 horas, con lo cual el gráfico que se obtendría es el siguiente:

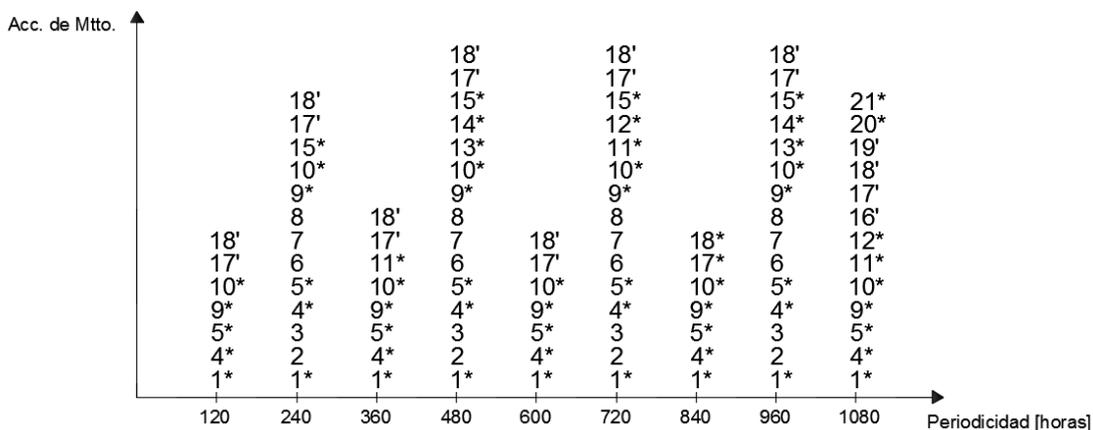


Figura 45 Periodicidad de las acciones de mantenimiento - Pbroca

A las operaciones señaladas con asteriscos (*) se les ha reducido su periodicidad de atención, mientras a las señaladas con apóstrofe (') se les ha aumentado.

Cuando a una acción se le aumenta su periodicidad, se afecta la fiabilidad del sistema y se reducen los costos de mantenimiento. Lo contrario sucede cuando se disminuye la periodicidad. Esto se debe tomar muy en cuenta al elaborar el gráfico, pues hay muchas posibilidades según se haya escogido la periodicidad básica, de esta manera existirán variantes que sean adecuadas para máquinas categoría "A" o "B" (cuando predominen las reducciones de la periodicidad) y otras más convenientes para máquinas categoría "C" (cuando predominen los aumentos de periodicidad).

Como recordaremos los resultados obtenidos en el ítem 3.4 "Categorización y diferenciación de la maquinaria" mostraron que la mayoría de equipos están categorizados dentro un mantenimiento predictivo y preventivo, es decir máquinas categoría "A" y "B".

Tabla 35
Periodicidad de las acciones – Pbroca

PERIODICIDADES DE MANTENIMIENTO						
Elaborado por	Danilo Quishpe		MÁQUINA - EQUIPO	PRENSA DE ESTAMPACIÓN EN FRÍO	Pbroca	
Aprobado por	Ing. Paúl Jácome					
	Ing. Jaime Marcillo					
ACCIONES OBLIGATORIAS DURANTE EL MANTENIMIENTO						
* Utilizar siempre el equipo de protección personal (mandil/overol, calzado de seguridad, guantes de cuero, tapones auditivos, gafas de seguridad).						
ORD	ESCALÓN	CÓDIGO	PERIODICIDAD PARTICULAR (Horas)	PERIODICIDAD BÁSICA (c/120Horas)	ORD(*)	OBSERVACIÓN
1	PRIMER	MP-Pbroca-07	160	120	1*	Disminuye la periodicidad
2	PRIMER	MP-Pbroca-08	240	240	2	Mantiene la periodicidad
3	PRIMER	MP-Pbroca-09	240	240	3	Mantiene la periodicidad
4	PRIMER	MP-Pbroca-10	150	120	4*	Disminuye la periodicidad
5	PRIMER	MP-Pbroca-11	160	120	5*	Disminuye la periodicidad
6	PRIMER	MP-Pbroca-12	240	240	6	Mantiene la periodicidad
7	PRIMER	MP-Pbroca-13	240	240	7	Mantiene la periodicidad
8	PRIMER	MP-Pbroca-14	240	240	8	Mantiene la periodicidad
9	SEGUNDO	MP-Pbroca-15	150	120	9*	Disminuye la periodicidad
10	SEGUNDO	MP-Pbroca-16	160	120	10*	Disminuye la periodicidad
11	SEGUNDO	MP-Pbroca-17	400	360	11*	Disminuye la periodicidad
12	SEGUNDO	MP-Pbroca-18	400	360	12*	Disminuye la periodicidad
13	SEGUNDO	MP-Pbroca-19	500	480	13*	Disminuye la periodicidad
14	TERCERO	MP-Pbroca-20	500	480	14*	Disminuye la periodicidad
15	TERCERO	MP-Pbroca-21	1200	240	15*	Disminuye la periodicidad
16	TERCERO	MP-Pbroca-22	1000	1080	16'	Aumenta la periodicidad
17	TERCERO	MPr-Pbroca-01	80	120	17'	Aumenta la periodicidad
18	TERCERO	MPr-Pbroca-02	80	120	18'	Aumenta la periodicidad
19	TERCERO	MPr-Pbroca-03	1000	1080	19'	Aumenta la periodicidad
20	TERCERO	MPr-Pbroca-04	1200	1080	20*	Disminuye la periodicidad
21	TERCERO	MC-Pbroca-01	1200	1080	21*	Disminuye la periodicidad

En la tabla 35 se muestra en detalle la reducción o aumento de las periodicidades particulares, nótese como en su gran mayoría existen acciones marcadas con asteriscos (*), en menor porcentaje (24%) existen acciones que no se vieron afectadas en su periodicidad particular, y al 19 % restante se les ha aumentado, por todo lo expuesto, este gráfico resulta apropiado para la máquina Pbroca que se encuentra en una categoría “B”. Las periodicidades de todos los equipos se encuentran detalladas en el Anexo I.

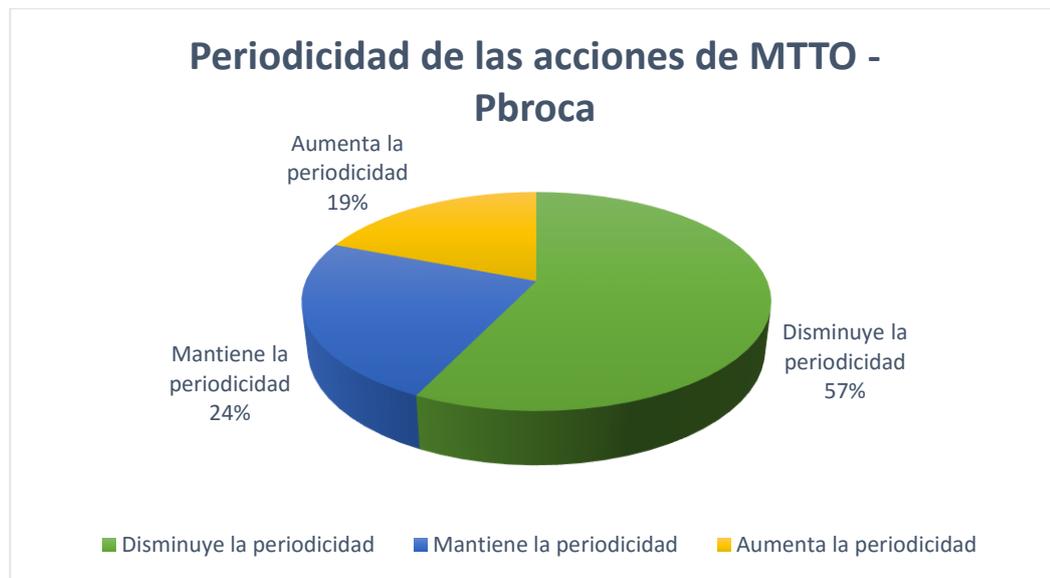


Figura 46 Ponderación de las acciones de mantenimiento – Pbroca

4.4 Desarrollo del software

El presente sistema informático radica en un software que ha sido diseñado con el apoyo del departamento de sistemas y de acuerdo a las necesidades particulares en lo que concierne a la gestión del mantenimiento de la Fábrica de Tornillos Pernos y Tuercas TOPESA S.A. A continuación se presenta una descripción general del software, para conocer detalladamente la estructura, funciones y uso del programa, se recomienda al usuario referirse al Anexo J “Manual de usuario del Software de mantenimiento” del presente proyecto.

En la siguiente figura se muestran los módulos de los que está compuesto el paquete o solución informática que se ha diseñado para la gestión del mantenimiento asistida por ordenador (GMAO).

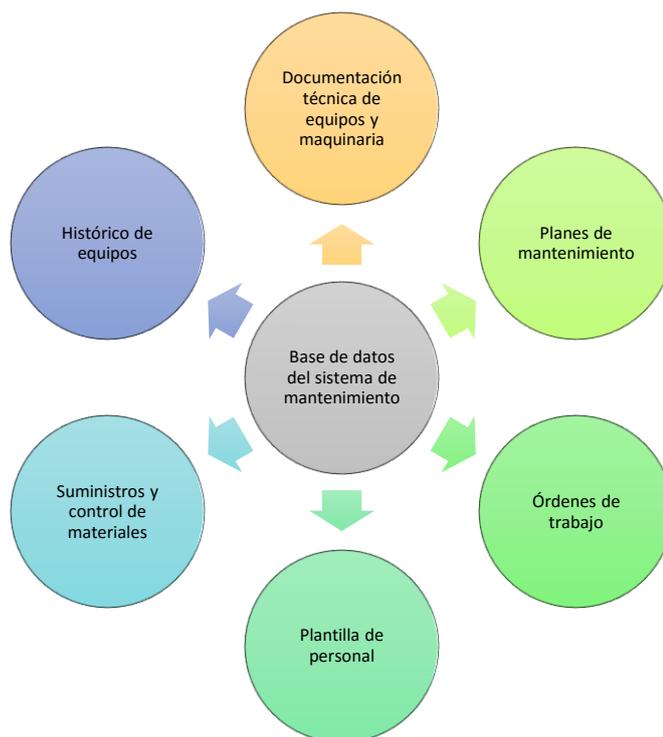


Figura 47 Módulos del sistema GMAO

4.4.1 Documentación técnica de equipos y maquinaria

En el menú definiciones encontraremos la opción maquinaria, la cual nos permitirá alimentar la base de datos, ingresando nuevos equipos o modificando la información que se encuentre cargada en el sistema, para lo cual se diseñó la pantalla maquinaria mostrada en la figura 48, en donde el usuario podrá visualizar de manera fácil la ficha técnica y tendrá a su disposición las principales características técnicas correspondientes a cada equipo, como por ejemplo: código, fabricante, capacidad, modelo, serie, año de fabricación, etc.

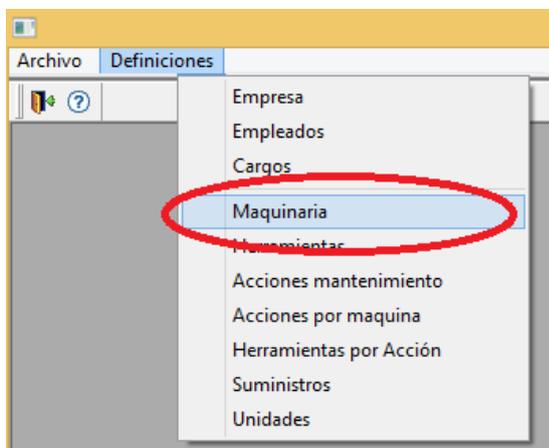


Figura 48 Menú definiciones

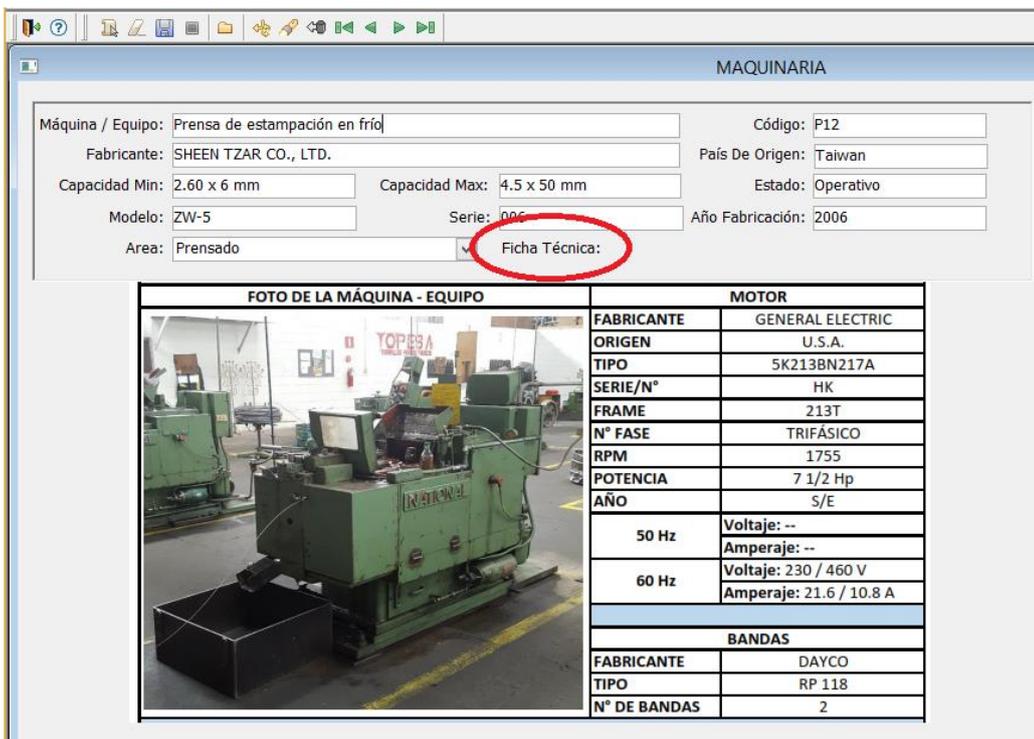


Figura 49 Ventana maquinaria

4.4.2 Planes de mantenimiento

Una vez cargada en la base de datos toda la maquinaria con sus respectivas características técnicas, se registran cada una de las acciones de mantenimiento, con su concerniente periodicidad y se la designa a cada equipo. Para ello se diseñó las ventanas mostradas a continuación:

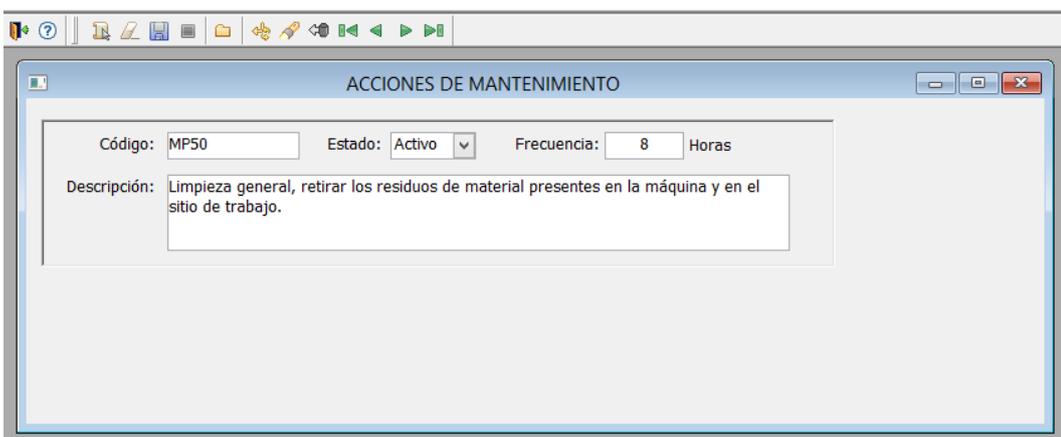


Figura 50 Ingreso de acciones de mantenimiento

Para asignar un conjunto de acciones a un equipo en específico, lo seleccionamos de la lista de maquinaria marcando con un click la casilla

correspondiente, de esta manera se desplegarán todas las acciones de mantenimiento que han sido cargadas en la base de datos.

Maquina	Código	Modelo	Serie	M
Prensa de estampación en frío	P7	5645	36811	<input type="checkbox"/>
Prensa de estampación en frío	P8	S/E	41224	<input type="checkbox"/>
Prensa de estampación en frío	P9	PRD.n	S/E	<input type="checkbox"/>
Prensa de rodillos	PROD	S/E	S/E	<input type="checkbox"/>
Prensa multiestación	PM	S/E	MH-L2000*W160 *6	<input type="checkbox"/>
Prensa punta de broca	Pbroca	ST-1606	04044	<input type="checkbox"/>
Punteadora automática	PUNT A	MPA-120	123/79	<input type="checkbox"/>
Punteadora de puntas	PUNT P	ST-C100	C001	<input type="checkbox"/>
Punteadora manual	PUNT M	S/E	S/E	<input type="checkbox"/>
Ranuradora	Ra1	MRA-80	128/79	<input type="checkbox"/>
Ranuradora	Ra2	MRA-50	127/79	<input type="checkbox"/>
Ranuradora	Ra3	S/E	S/E	<input type="checkbox"/>
Rectificadora	RECT	S/E	RTA500	<input type="checkbox"/>
Roscadora de peines planos	R1	GV-4-30	126/79	<input type="checkbox"/>
Roscadora de peines planos	R10	ST-5R-53	C001	<input type="checkbox"/>

Figura 51 Listado de maquinaria

Seguidamente seleccionamos una por una las tareas a ser registradas para el mantenimiento de la maquinaria especificada, y grabamos esta información dando click en aceptar.

Código	Descripción	M	D
MP77	Verificar el nivel de aceite en el depósito de la bomba. Aceite SAE 40 o Equivalente (Aceite ISO 150)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MP119	Verificar el nivel de aceite en el depósito de la bomba. Aceite Shell Tonna 33 o equivalente (Mobilgear 626)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MP80	Verificar el nivel de aceite en el depósito de la bomba. Texaco Meropa Lub 5 o equivalente (Aceite ISO 460)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MP11	Verificar el nivel de aceite especializado de compresor. Nunca operar si esta por debajo del nivel mínimo.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MP30	Verificar el nivel de aceite motor.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MP31	Verificar el nivel de combustible.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MP29	Verificar el nivel de líquido refrigerante.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MP100	Verificar el nivel de lubricante para el cabezal fijo, nunca operar si el nivel está por debajo de lo mínimo permitido.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MP89	Verificar el nivel de lubricante para el husillo de la muela, nunca operar si el nivel está por debajo de lo mínimo permitido.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MP99	Verificar el nivel de lubricante para la caja Norton, nunca operar si el nivel está por debajo de lo mínimo permitido.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MP117	Verificar que la bomba de lubricación esté funcionando. Aceite Gulf R-121 o equivalente (Aceite ISO 150)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MP82	Verificar que la bomba de lubricación este funcionando. Aceite SAE 40 o equivalente (Aceite ISO 150)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MP120	Verificar que la bomba de lubricación este funcionando. Aceite Shell Tonna 33 o equivalente (Mobilgear 626)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MP10	Verificar que la temperatura y presión actual del equipo no varíen drásticamente.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MP105	Verificar y ajustar la palanca de bloqueo del contrapunto.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MP59	Verificar y ajustar la válvula de distribución y el grado de circulación en el lubricador.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Aceptar

Figura 52 Asignación de tareas de mantenimiento

Para elaborar un plan de mantenimiento se deberán llenar los campos mostrados en la figura 53, en esta ventana agregaremos el nombre del plan, el personal que desarrolló y aprobó las actividades, acciones obligatorias, observaciones y medidas de seguridad que se deben tener en cuenta para la ejecución de todas las tareas detalladas.

PLAN MANTENIMIENTO

Descripción: Plan de Mantenimiento Matrizadoras Fecha Registro: 27/06/2016

Elaborado por: Quishpe Chicaiza Danilo

Revisado por: Jácome Nacimba Edison Paul

Aprobado por: Marcillo Jaime

Accion Obligatoria: Utilizar siempre el equipo de protección personal (mandil/overol, calzado de seguridad, guantes de cuero, taponos auditivos, gafas de seguridad).

Observacion:

Tipo Mantenimiento Maquinas

Preventivo Predictivo Correctivo

Figura 53 Pantalla del plan de mantenimiento

Al seleccionar la opción máquinas se desplegará el listado de maquinaria del cual deberemos escoger únicamente los equipos que formaran parte de este plan, por ejemplo para el plan de mantenimiento matrizadoras, seleccionaremos la matrizadora M1, M2 y M3.

PLAN MANTENIMIENTO

Descripción: Plan de Mantenimiento Matrizadoras Fecha Registro: 27/06/2016

Elaborado por: Quishpe Chicaiza Danilo

Revisado por: Jácome Nacimba Edison Paul

Aprobado por: Marcillo Jaime

Accion Obligatoria: Utilizar siempre el equipo de protección personal (mandil/overol, calzado de seguridad, guantes de cuero, taponos auditivos, gafas de seguridad).

Observacion:

Maquinas

Código	Maquina	Acción
M1	M1 / Matrizadora	<input type="checkbox"/>
M2	M2 / Matrizadora	<input type="checkbox"/>
M3	M3 / Matrizadora	<input type="checkbox"/>

Figura 54 Máquinas asignadas al plan de mantenimiento

Para visualizar los equipos con sus respectivas acciones de mantenimiento, se recuperan los datos asignados para cada equipo, es decir; el software recupera las acciones de mantenimiento, las periodicidades, las herramientas, los responsables, y los presenta en un documento que tiene la facilidad de ser buscado por máquina y fecha de elaboración.

Reportes Plan Mantenimiento

Plan mantenimiento		
Descripción	Fecha	
Plan de mantenimiento Lavadora y Secadora	12/07/2016	<input type="checkbox"/>
Plan de Mantenimiento Matrizadoras	27/06/2016	<input checked="" type="checkbox"/>
Plan de mantenimiento Montacargas	14/07/2016	<input type="checkbox"/>

Maquinas		
Código	Maquina	
M1	Matrizadora	<input checked="" type="checkbox"/>
M2	Matrizadora	<input type="checkbox"/>
M3	Matrizadora	<input type="checkbox"/>

ACCIONES DE MANTENIMIENTO

Elaborado Por: Quishpe Chicaiza Fausto Danilo	Fecha: 27/06/2016
Revisado Por: Jácome Nacimba Edison Paúl	MÁQUINA - EQUIPO Matrizadora M1
Aprobado Por:	

ACCIÓN OBLIGATORIA

Utilizar siempre el equipo de protección personal (mandil/overol, calzado de seguridad, guantes de cuero, tapones auditivos, gafas de seguridad).

MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Código	Acción	Responsables	Herramientas e Insumos	Frecuencia
MPS2	Verificar el nivel de aceite en el depósito de la bomba, nunca accionar la bomba si está por debajo del nivel mínimo. Aceite SAE 40 o equivalente (Aceite ISO 150)	Ayudante Operador	Aceite SAE 40 o Equivalente (Aceite ISO 150)	8 Horas

Figura 55 Reporte del plan de mantenimiento

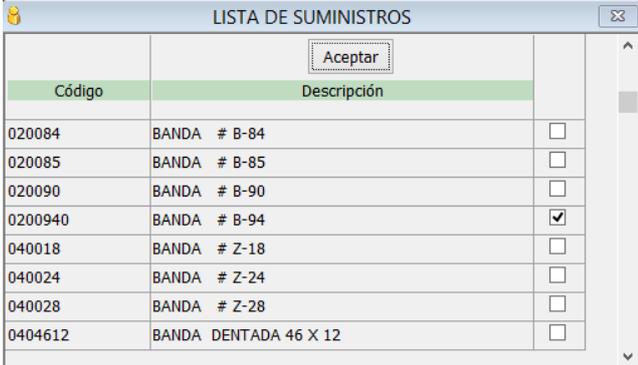
4.4.3 Órdenes de trabajo

Las órdenes de trabajo son documentos mediante los cuales se solicita la ejecución de tareas de mantenimiento de carácter imprevisto, o de acciones que han sido preestablecidas con anterioridad y se encuentran cargadas en la base de datos del software. Es así como se lleva un registro de todos los trabajos de mantenimiento que se realicen desde la puesta en marcha del sistema, así como los suministros utilizados y las fechas en las cuales se ejecutaron mencionadas tareas. Todo esto con la finalidad de crear una bitácora de cada máquina, que ayudará al estudio de fallos y el consumo de suministros.

The screenshot shows a software window titled "ORDEN DE TRABAJO". It is divided into several sections for data entry. The top section, labeled "Máquina", contains fields for "Número Orden" (4), "Fecha Orden" (27/07/2016 00), "Solicitado Por" (Edison Paúl), and "Prioridad" (NORMAL). Below this is a text area for "Trabajo Requerido" (Control and verification of tension in the bands) and "Observaciones" (Usar Kriket tensión gague). The middle section, titled "PARA SER LLENADO POR EL EJECUTOR", includes fields for "Inicio Actividad" (28/07/2016 08:30), "Fin Actividad" (28/07/2016 10:00), and "Realizado Por" (Fausto Danilo). It also has a text area for "Trabajo Realizado" (Cambio de banda B#94) and "Observaciones" (La banda presentaba avanzado desgaste). A button labeled "Suministros" is circled in red. The bottom section, titled "PARA SER LLENADO POR EL SUPERVISOR", includes a dropdown for "Recibido Por" (Edison Paúl) and a text area for "Observaciones" (Sin novedad). A "SAVE" button is visible in the top right corner of the window.

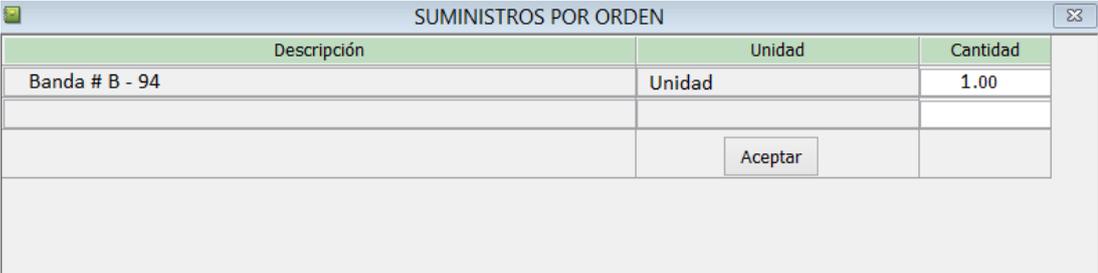
Figura 56 Ventana orden de trabajo

Como se puede observar, la ventana orden de trabajo cuenta también con el botón de suministros, el cual nos permite acceder al listado de materiales disponibles para la ejecución de las tareas de mantenimiento, dentro del inventario seleccionamos los usados y detallamos la cantidad, de esta manera se lleva un control de lo utilizado en la ejecución de cada trabajo de mantenimiento.



Código	Descripción	
020084	BANDA # B-84	<input type="checkbox"/>
020085	BANDA # B-85	<input type="checkbox"/>
020090	BANDA # B-90	<input type="checkbox"/>
0200940	BANDA # B-94	<input checked="" type="checkbox"/>
040018	BANDA # Z-18	<input type="checkbox"/>
040024	BANDA # Z-24	<input type="checkbox"/>
040028	BANDA # Z-28	<input type="checkbox"/>
0404612	BANDA DENTADA 46 X 12	<input type="checkbox"/>

Figura 57 Listado de suministros



Descripción	Unidad	Cantidad
Banda # B - 94	Unidad	1.00

Figura 58 Control de suministros usados

4.4.4 Plantilla del personal

Esta nueva aplicación informática incorpora información que, según la normativa de la empresa, es necesaria y viable disponer de los operadores, técnicos y profesionales responsables del cumplimiento y supervisión de las acciones de mantenimiento, información que entre las principales particularidades tendrá: nombres completos, número de identificación personal y cargo designado. Para el registro de toda esta información se presenta la siguiente ventana.

The screenshot shows a window titled 'EMPLEADOS' with a toolbar at the top. The main area contains a form with the following fields:

- No. Identificación: 1711910859
- Cargo: Jefe de planta (dropdown menu)
- Apellidos: Jácome Nacimba
- Nombres: Edison Paúl

Figura 59 Ventana empleados

4.4.5 Suministros y control de materiales

Es importante llevar un control de los suministros y materiales utilizados en la ejecución de las tareas de mantenimiento, para ello el sistema contempla adecuadamente el control del consumo de los suministros al especificarlos en cada orden de trabajo, o detallarlos en el registro de acciones de mantenimiento, las ventanas que permiten grabar en la base de datos un nuevo suministro y llevar el control de lo utilizado, detallando el material usado, su unidad, cantidad y código, son las siguientes:

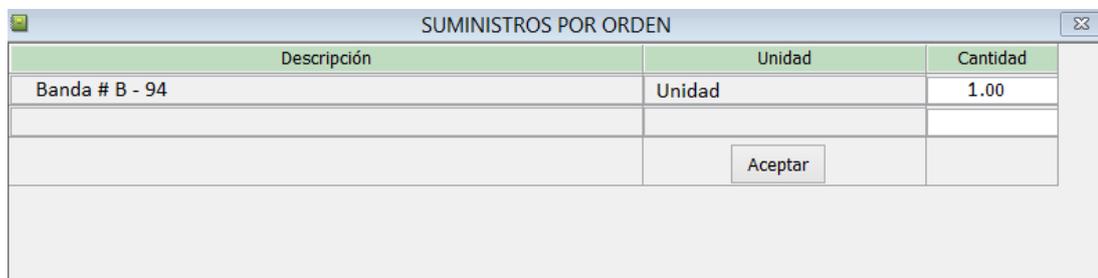
The screenshot shows a window titled 'SUMINISTROS' with a toolbar at the top. The main area contains a form with the following fields:

- Código: 0204207
- Unidad: Unidad (dropdown menu)
- Descripcion: RODAMIENTO RODILLO # 4207

Figura 60 Ventana ingreso de suministros

The screenshot shows a window titled 'LISTA DE SUMINISTROS' with a toolbar at the top. The main area contains a table with the following columns: Código, Descripción, and a checkbox column. An 'Aceptar' button is located at the top right of the table area.

Código	Descripción	
020084	BANDA # B-84	<input type="checkbox"/>
020085	BANDA # B-85	<input type="checkbox"/>
020090	BANDA # B-90	<input type="checkbox"/>
0200940	BANDA # B-94	<input checked="" type="checkbox"/>
040018	BANDA # Z-18	<input type="checkbox"/>
040024	BANDA # Z-24	<input type="checkbox"/>
040028	BANDA # Z-28	<input type="checkbox"/>
0404612	BANDA DENTADA 46 X 12	<input type="checkbox"/>

Figura 61 Inventario de suministros


SUMINISTROS POR ORDEN		
Descripción	Unidad	Cantidad
Banda # B - 94	Unidad	1.00
Aceptar		

Figura 62 Control de material utilizado

4.4.6 Histórico de equipos

La importancia del histórico de equipos radica en que nos dan un respaldo de como han sucedido los trabajos de mantenimiento, se lleva un registro de las tareas que se realizan a los equipos, nos ayudan a dar una evaluación del servicio que se brinda como departamento y a su vez nos forma un respaldo en cuanto a labores de mantenimiento dentro de la planta.

Para visualizar el reporte de todas las acciones que se han ejecutado, se presenta la ventana mostrada en la figura 63, en donde se ordenan las órdenes de trabajo por máquina y fecha de elaboración, seguidamente el software recupera la información perteneciente a cada orden, lo presenta en un formato fácil de interpretar y que tiene la opción de ser impreso. De esta manera se lleva un control histórico de las tareas ejecutadas y los suministros utilizados en cada máquina que ha estado sometida a mantenimiento.

Histórico de Equipos

Imprevistos
 Planificadas

Ordenes de Trabajo

No. Orden	Fecha Orden	Acción	
		P4 / Prensa de estampación en frío	
5	27/07/2016	Control del estado de contaminación del lubricante - Prueba de mancha (Spot-test)	<input checked="" type="checkbox"/>
6	27/07/2016	Análisis y control de vibraciones.	<input type="checkbox"/>

FABRICA DE TORNILLOS PERNOS Y TUERCAS TOPESA S.A.
 Dirección: Av. Turubamba S61-130 y calle G. Panamericana Sur Km 14 1/2 Parque Industrial Sur
 RUC: 1790006840001

ORDEN DE TRABAJO Nº:	5	MÁQUINA:	P4	Prensa de estampación en frío	
FECHA:	27/07/2016	SOLICITADO POR:	Quishpe Chicaiza Fausto Danilo	FIRMA:	
PRIORIDAD:	NORMAL				
TRABAJO REQUERIDO:	Control del estado de contaminación del lubricante - Prueba de mancha (Spot-test)				
OBSERVACIONES:					

PARA SER LLENADO POR EL EJECUTOR

INICIO DE LA ACTIVIDAD	FECHA:	FINAL DE LA ACTIVIDAD	FECHA:
REALIZADO POR:			FIRMA:
TRABAJO REALIZADO:			
OBSERVACIONES:			

Figura 63 Histórico de equipos

CAPÍTULO 5

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL

5.1 Planeamiento y gerencia del proyecto

En este punto, ya una vez diseñado y desarrollado el sistema de mantenimiento productivo total, debemos planear y controlar su ejecución. Como se explicó en el ítem 2.6.2 *Planeación del TPM*, existe una serie de actividades para su correcta gerencia, para lo cual elaboramos los siguientes diagramas de procesos.

En la figura 64 se detallan las etapas para el planeamiento y gerencia del mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo programado.

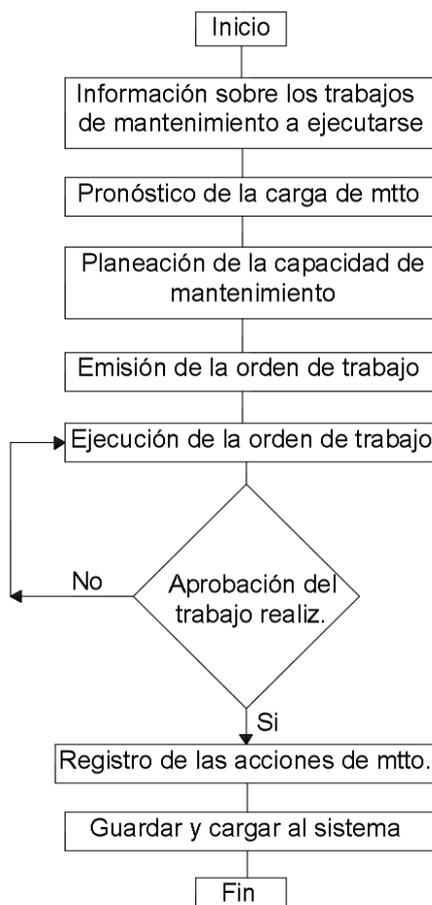


Figura 64 Etapas gerencia del mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo programado

En la figura 65 se detallan las etapas para el planeamiento y gerencia del mantenimiento correctivo emergente.

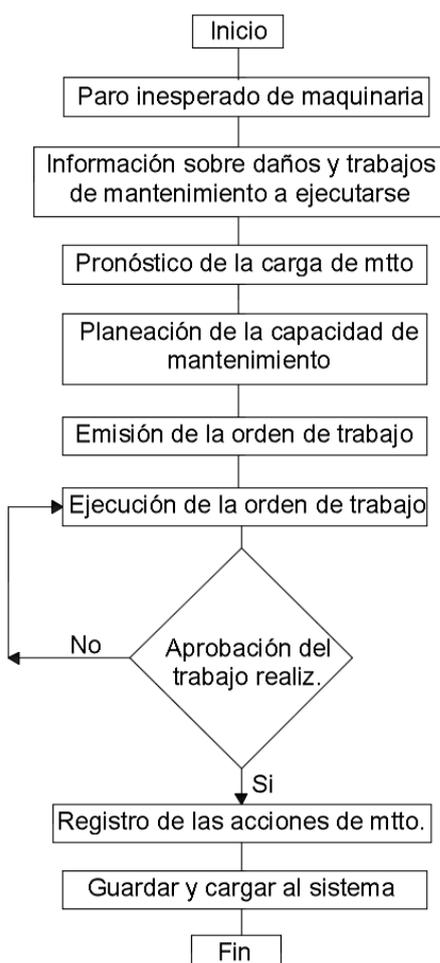


Figura 65 Etapas gerencia del mantenimiento correctivo emergente

5.2 Capacitación a los operadores de la maquinaria y mecánicos de mantenimiento

La gestión del mantenimiento se considera una función que incluye las actividades necesarias para mantener funcionando los equipos e instalaciones en los niveles deseados. Entre todos los factores necesarios, los programas de capacitación en mantenimiento son un punto muy importante,

resulta imperativo que el personal de mantenimiento adquiriera la tecnología y las habilidades requeridas que le permitan desarrollar todo su potencial.

5.2.1 Destreza

La destreza puede definirse como la habilidad de una persona para realizar una actividad específica, las habilidades que requieren los trabajadores de mantenimiento son diferentes a las que poseen los trabajadores de producción, hasta el desarrollo del presente proyecto el trabajo de los operadores de producción era rutinario y, como tal, requería menos información para procesar que el trabajo de mantenimiento. Es por ello que surge la necesidad de capacitar al personal de operadores y mantenimiento, en los niveles considerados del TPM.

5.2.2 Niveles de destrezas

Es necesario identificar los niveles de destreza que tienen los trabajadores antes de poder implantar un programa de capacitación. Existen cuatro niveles de destrezas:

- Nivel 1: La persona carece de conocimiento teórico y habilidad práctica
- Nivel 2: La persona está familiarizada con la teoría pero carece de capacitación práctica
- Nivel 3: La persona posee experiencia práctica pero carece de conceptos teóricos
- Nivel 4: La persona está familiarizada adecuadamente con los aspectos teóricos y tiene competencia práctica.

5.2.3 Evaluación de la situación actual del personal

Para levantar un inventario de destrezas que posee el personal, es esencial preparar una lista de las tareas típicas que el trabajador realiza en su máquina, así como las tareas potenciales futuras por realizar. En la figura 66 se detalla la forma para evaluar las destrezas de cada trabajador, en ella se muestran

las tareas típicas que se van a realizar en el equipo, junto con las tareas potenciales futuras, así como el nivel de destrezas requerido para la ejecución de dichas actividades.

FORMA PARA LA EVALUACIÓN TRABAJADOR - DESTREZAS								
Elaborado por:		Danilo Quishpe		Evaluador:				Máquina
Aprobado por:		Ing. Paúl Jácome		Proceso:				
		Ing. Jaime Marcillo		Fecha:				
Observaciones:								
Nivel de destreza requerido		Operador N°1		Operador N°2		Operador N°3		NECESIDAD TOTAL
		Nombre:		Nombre:		Nombre:		
Actividades necesarias		Nivel de destreza	Diferencia	Nivel de destreza	Diferencia	Nivel de destreza	Diferencia	
Operación del equipo	4	3	1	3	1	3	1	3
Identificación de anomalías de mal funcionamiento	4	3	1	3	1	3	1	3
Diagnóstico del equipo	4	3	1	3	1	3	1	3
Seguridad	4	2	2	3	1	4	0	3
Conocimientos fundamentales	3	2	1	3	0	3	0	1
Total	19		6		4		3	13

Figura 66 Forma para la evaluación trabajador – destrezas

5.2.4 Análisis de necesidades

Resulta primordial que un trabajador posea las destrezas necesarias para realizar una tarea dada, aunque en muchos de los casos esto no resulta suficiente, pues existen factores que afectan el desempeño de los trabajadores, entre los cuales podemos nombrar: motivación, disponibilidad de las herramientas necesarias, etc.

Para determinar las deficiencias en el desempeño de los trabajadores, existe un proceso que se basa en los siguientes 5 pasos:

- Identificar el desempeño deseado.
- Identificar las desviaciones entre el desempeño esperado y el real.
- Identificar las causas fundamentales de las deficiencias.
- Identificar soluciones apropiadas.
- Seleccionar y aplicar las soluciones apropiadas.

5.2.4.1 Desempeño deseado

El desempeño de un trabajador generalmente comprende, aunque no está limitado a:

- Detección de anomalías en el equipo.
- Corrección de las anomalías.
- Mantenimiento del equipo.

5.2.4.2 Desviaciones entre el desempeño real y el esperado

La diferencia entre el desempeño esperado y el real puede juzgarse por los retrabajos que un trabajador de mantenimiento tiene que hacer.

5.2.4.3 Causas fundamentales

Las causas de deficiencias en el desempeño generalmente caen en alguna de las siguientes categorías:



Figura 67 Interacción de los factores que ocasionan deficiencias en el desempeño

- *Factores motivacionales:* Los trabajadores tal vez conozcan el trabajo, tengan todo lo que necesitan, pero carezcan de la motivación para realizar el trabajo al nivel de los estándares requeridos.
- *Factor de conocimiento y destrezas:* Los trabajadores tal vez no sean capaces de realizar sus trabajos debido a que no poseen el conocimiento y las destrezas requeridas.
- *Factores organizacionales:* Los trabajadores tal vez sepan cómo realizar sus trabajos, pero carezcan de las herramientas, referencias y equipos requeridos.

5.2.4.4 Soluciones apropiadas

Para dar solución a las deficiencias en el desempeño, deben examinarse los siguientes aspectos como causas probables:

- Estándares de trabajo.
- Herramientas y equipo.
- Incentivos necesarios.

5.2.4.5 Selección

Después de identificar las soluciones apropiadas, éstas deben aplicarse. La capacitación comúnmente se descuida y pospone. Para evitar que esto ocurra, se debe formalizar un programa adecuado de capacitación.

5.2.5 Diseño del programa de capacitación

Hoy por hoy la mayor parte de empresas recurren a la automatización de sus equipos y al empleo de sistemas de manufactura flexibles. El mantenimiento de estos equipos plantea un reto al equipo de mantenimiento, pues aumenta la demanda de personal con habilidades múltiples. Los ingenieros, técnicos y operadores deberán ser capacitados en todos los niveles, avanzando paso a paso desde las habilidades elementales, pasando por las básicas e intermedias, hasta las más avanzadas. A continuación se muestra el bosquejo para el programa de capacitación.

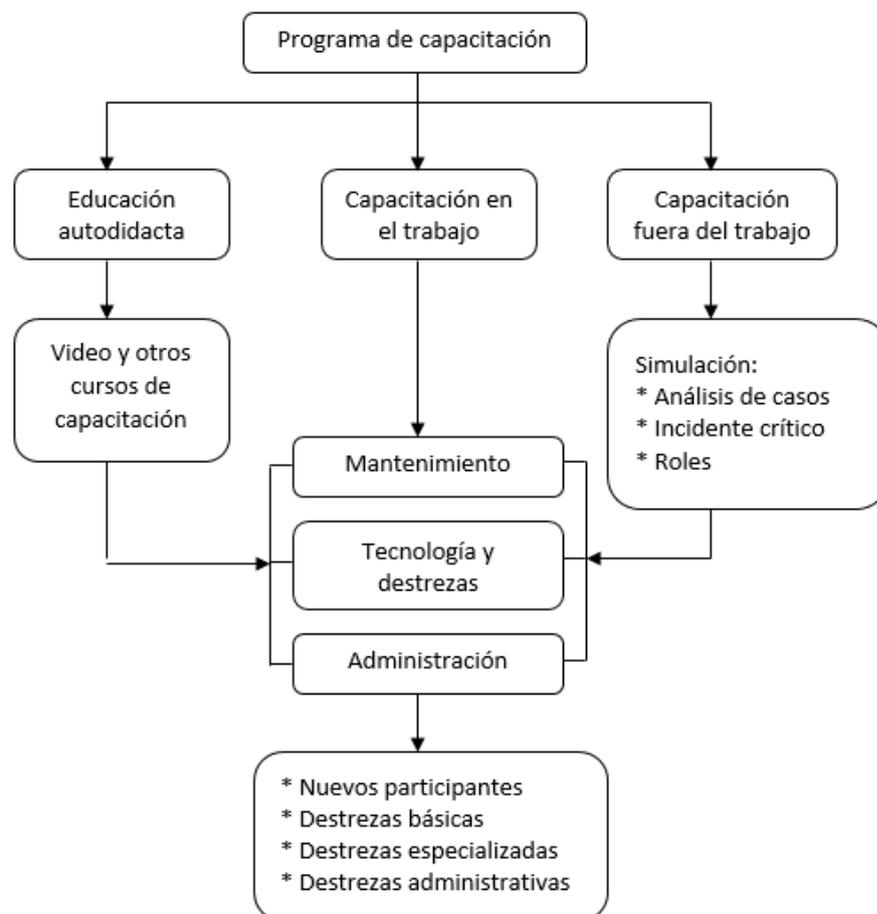


Figura 68 Programa de capacitación

Para satisfacer todos estos requerimientos se diseñó el sistema de capacitación mostrado en la figura 69, en donde los cursos programados abarcan los diferentes niveles deseados en el TPM, partiendo de un nivel básico hasta llegar a un avanzado, y para lo cual apelamos a la experiencia de los operadores y personal de mantenimiento más antiguos en la empresa, sumándole a esto el criterio de los ingenieros de planta, producción y área administrativa. En la tabla 36 se muestra de una manera más detallada el programa y los contenidos impartidos.

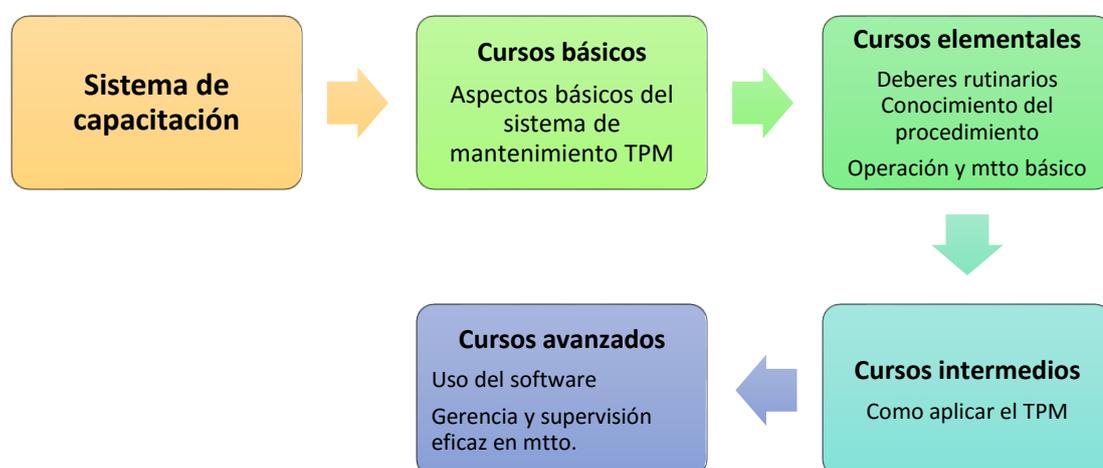


Figura 69 Sistema de capacitación

Tabla 36

Programa de capacitación TPM

CAPACITACIÓN	TIEMPO	TEMPORADA
Cursos Básicos: <ul style="list-style-type: none"> • Iniciación del TPM • ¿Qué es? • ¿Cómo funciona? • Sus principios y ventajas 	10 horas	1er mes, luego de la aprobación de la implementación

Continua →

Cursos elementales: <ul style="list-style-type: none"> • Deberes rutinarios • Conocimientos del procedimiento • Operación y mantenimiento básico 	12 horas	2do mes, luego de terminado el curso de conocimientos básicos
Cursos Intermedios: <ul style="list-style-type: none"> • Como aplicar el TPM • Usos de formatos y registros • Mantenimiento Autónomo • Mantenimiento Planeado 	12 horas	3er mes
Cursos Avanzados: <ul style="list-style-type: none"> • Uso del software • Gerencia y supervisión eficaz del mantenimiento 	10 horas	4to mes

5.3 Implementación y puesta en marcha

Concluidos todos los ítems descritos con anterioridad, se dio la implementación y puesta en marcha del plan de mantenimiento productivo total en TOPESA S.A., no es estrictamente necesario acabar de redactar el plan para poner en marcha cada uno de los escalones y rutas de mantenimiento que lo componen, pero si hay que tener en cuenta diversos puntos explicados a continuación:

- Debemos asegurarnos que todo lo que se especifica en el plan es realizable, antes de ponerlo en marcha hay que verificar cada una de las tareas, detallando en lo posible como ejecutar la misma y describiendo las herramientas que sean necesarias.
- Se debe designar una o varias personas que serán las encargadas de ejecutar las acciones: En el ítem *4.2 Determinación de las acciones de mantenimiento autónomo*, se implanto un responsable para cada tarea.
- En las primeras semanas tras la puesta en marcha, debemos supervisar la ejecución de las tareas, dialogando con el personal

encargado, registrando sus inquietudes y sugerencias, creando una cultura de mejora continua.

- No es necesario poner en marcha todo el conjunto de acciones de mantenimiento a la vez, resulta más efectivo ponerlas en funcionamiento escalonadamente área por área.

5.4 Evaluación del sistema TPM

Para validar la ejecución del presente proyecto, usaremos los índices, detallados en el ítem 2.8 *Índices de gestión del mantenimiento*, ya que estos permitirán la dirección, control y verificación de las tareas realizadas, es decir evaluarán las decisiones tomadas y facilitarán la gestión del mantenimiento. Cabe recalcar que desde la puesta en marcha del plan, han transcurrido 4 meses, los cuales nos han ayudado a dar una primera evaluación del TPM que a continuación mostramos.

Tabla 37

Índices de fundamentos de producción - prensas

INDICES DE FUNDAMENTOS DE PRODUCCIÓN						
Ord	Código	Descripción	Disponibilidad	Utilización	Rendimiento	Aprovechamiento
			%	%	%	%
1	P1	Prensa FIDE	93	98	98	88,95
2	P2	Prensa PRDA.3	92	89	99	81,08
3	P3	Prensa CH-10	89	88	109	85,37
4	P4	Prensa PRD.1	94	83	108	84,26
5	P5	Prensa PRD.1	92	90	89	73,69
6	P6	Prensa EFO-50	94	89	109	91,19
7	P7	Prensa National	89	88	109	85,37
8	P8	Prensa National	92	87	108	86,44
9	P9	Prensa PRD.n	92	90	89	73,69
10	P10	Prensa National	93	87	107	86,57
11	P11	Prensa FA-15N-51	88	89	110	84,19
12	P12	Prensa ZW - 5	93	90	107	89,56
13	P13	Prensa ZW - 5	92	87	108	86,44
14	P14	Prensa ZW - 5	93	89	107	88,56
15	P15	Prensa ZW - 5	84	84	107	75,50
16	Pbroca	Prensa ST - 1606	93	88	109	89,21
17	PM	Prensa Multiestación	94	89	110	92,03

La tabla 37 muestra los índices de fundamentos de producción del grupo de equipos pertenecientes al proceso de prensado, el remanente de resultados se encuentran detallados en el Anexo K. La mayoría de equipos cumple con

la normativa especificada en la *Tabla 2 Índices de gestión de mantenimiento referentes a la marcha de las instalaciones*. Para ejemplificar el cálculo usaremos los datos de la prensa P1, que en el transcurso de todo este tiempo ha mostrado la siguiente tendencia de trabajo.

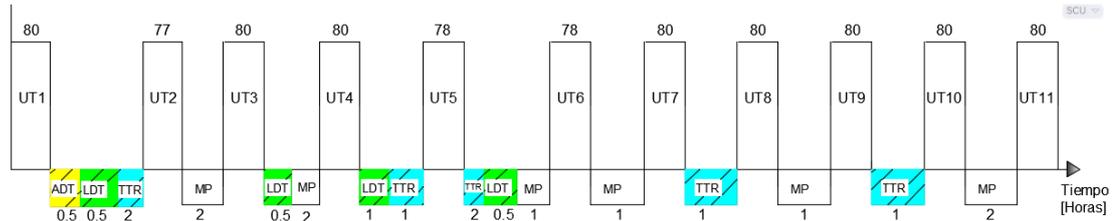


Figura 70 Disponibilidad Operacional Prensa P1

$$A_o = \frac{MTBM}{MTBM + TMM}$$

$$TMM = MTTR + MP + LDT + ADT$$

$$MTBM = \frac{1}{\frac{1}{MTBM_c} + \frac{1}{MTBM_p}}$$

Mantenimiento correctivo

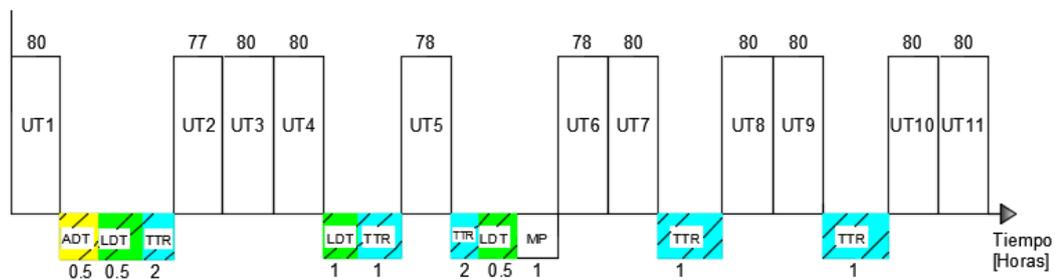


Figura 71 Disponibilidad – Mantenimiento correctivo

$$MTBM_c = \frac{80 + 237 + 78 + 158 + 160 + 160}{6} = 145.5 \text{ horas}$$

$$MTTR = \frac{3 + 2 + 3.5 + 1 + 1}{5} = 2.1 \text{ horas}$$

Mantenimiento Preventivo

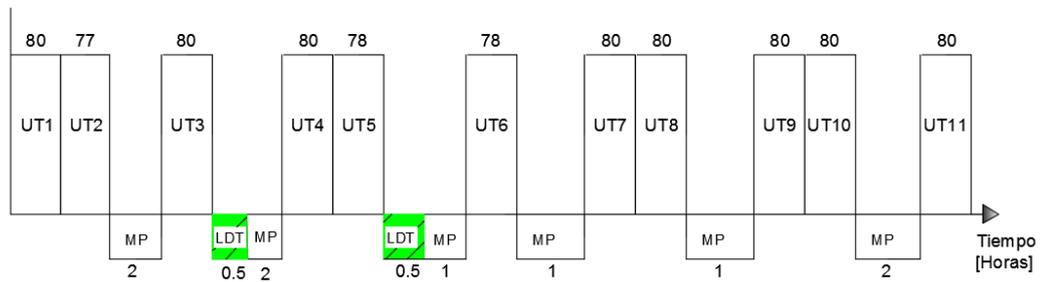


Figura 72 Disponibilidad – Mantenimiento preventivo

$$MTBM_p = \frac{157 + 80 + 158 + 78 + 160 + 160 + 80}{7} = 124.7 \text{ horas}$$

$$M_p = \frac{2 + 2.5 + 1.5 + 1 + 1 + 2}{6} = 1.6 \text{ horas}$$

$$MTBM = \frac{1}{\frac{1}{MTBM_c} + \frac{1}{MTBM_p}}$$

$$MTBM = \frac{1}{\frac{1}{145.5} + \frac{1}{124.7}}$$

$$MTBM = 67.11 \text{ horas}$$

$$TMM = MTTR + MP + LDT + ADT$$

$$TMM = 2.1 + 1.6 + 0.625 + 0.5$$

$$TMM = 4.825 \text{ horas}$$

$$A_o = \frac{MTBM}{MTBM + TMM}$$

$$A_o = \frac{67.11}{67.11 + 4.825} * 100\%$$

$$A_o = 93 \%$$

$$\text{Utilización } (K_{ut}) = \frac{TP}{TP + TM^*}$$

$$TP = \frac{80 + 77 + 80 + 80 + 78 + 78 + 80 + 80 + 80 + 80 + 80}{11}$$

$$TP = 79.36 \text{ horas}$$

$$TP = \frac{3 + 2 + 2.5 + 2 + 3.5 + 1 + 1 + 1 + 1 + 2}{11}$$

$$TP = 1.9 \text{ horas}$$

$$\text{Utilización } (K_{ut}) = \frac{79.36}{79.36 + 1.9} * 100\%$$

$$\text{Utilización } (K_{ut}) = \frac{79.36}{79.36 + 1.9} * 100\%$$

$$\text{Utilización } (K_{ut}) = 97.6 \%$$

$$\text{Rendimiento } (R) = \frac{\text{Producción real del período}}{\text{Plan de producción del período}} * 100 (\%)$$

$$\text{Rendimiento } (R) = \frac{490 \text{ Kg}}{500 \text{ Kg}} * 100 (\%)$$

$$\text{Rendimiento } (R) = 98 \%$$

$$\text{Aprovechamiento } (A) = A_o * K_{ut} * R * 10^{-4}$$

$$\text{Aprovechamiento } (A) = 93 * 97.6 * 98 * 10^{-4}$$

$$\text{Aprovechamiento } (A) = 88.95 \%$$

Como podemos observar la prensa P1 luego de la puesta en marcha del plan, cumple con las normativas al aumentar su disponibilidad operacional a un 93%, su utilización a un 97.6%, su rendimiento hoy es de un 98% y finalmente el aprovechamiento es de 88.95%. A continuación se muestran los resultados de los cálculos efectuados a todos los equipos de producción



Figura 73 Disponibilidad de maquinaria

Como podemos observar, el 80% de todos los equipos se encuentra dentro de la normativa, que especifica que la disponibilidad de cada maquinaria debe encontrarse entre el 90 – 94%, dejando al 20% restante bajo este nivel requerido. Lo cual es un claro indicador de la mejora en cuanto a disponibilidad de maquinaria, obviamente se espera que con el transcurso del tiempo y la ejecución del plan, el porcentaje menor a la normativa vaya decreciendo.



Figura 74 Utilización de maquinaria

En cuanto a la utilización, el 87% de toda la maquinaria cumple con el requerimiento de estar entre el 85 – 90%, presentando el 13% sobrante aún paros innecesarios, por causas distintas al mantenimiento.



Figura 75 Rendimiento de maquinaria

El rendimiento en los meses de estudio, bajo el control y direccionamiento de los responsables delegados, ha dejado un 83% de equipos operando en un porcentaje superior al 100%, claramente este índice muestra la efectividad que posee la implantación de un plan de mantenimiento, pues se logró controlar el bajo rendimiento de las máquinas al operar por debajo de la velocidad nominal.

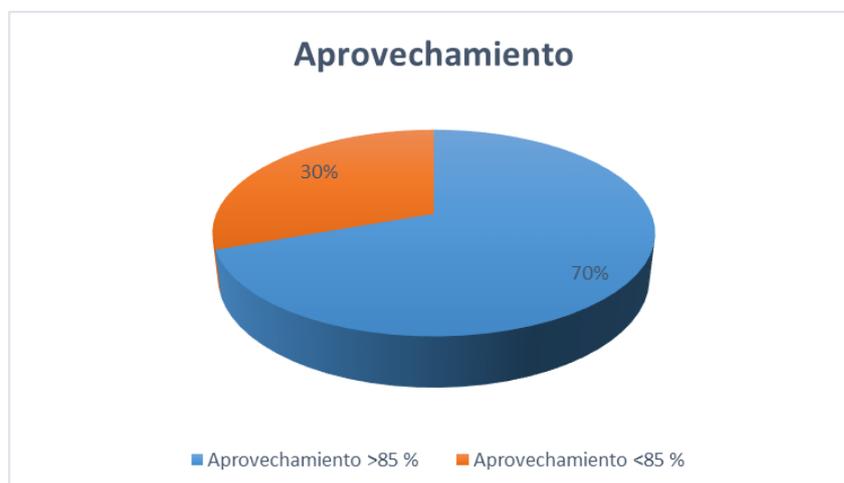


Figura 76 Aprovechamiento de maquinaria

Como recordamos la mayor cantidad de equipos se encuentran dentro de las normativas de disponibilidad, utilización y rendimiento, obteniendo un beneficio reflejado en el 70% de maquinaria con un aprovechamiento mayor al 85%.

5.5 Validación del proyecto

Luego de un periodo mayor a los 4 meses de la implantación y puesta en marcha del plan de mantenimiento, cumpliendo con los objetivos planteados en el ítem 1.6, los mismos que fueron evaluados en el capítulo 7 y una vez valorados los indicadores de desempeño detallados en el inciso anterior, los cuales muestran resultados satisfactorios, exponiendo un adecuado porcentaje de disponibilidad, utilización y rendimiento en la mayoría de equipos, se da la validación del presente proyecto por parte de la Fábrica de Tornillos, Pernos y Tuercas TOPESA S.A., para constancia de lo cual se emite la carta de conformidad presente al inicio de este documento.

CAPÍTULO 6

ESTUDIO ECONÓMICO Y FINANCIERO DEL PROYECTO

6.1 Estudio económico

El presente análisis pretende determinar el costo económico que representa el diseño e implementación del plan de mantenimiento productivo total para TOPESA S.A.

6.1.1 Costos directos

6.1.1.1 Costos de materiales directos

Tabla 38

Costo de herramientas y suministros

Herramientas y suministros					
ORD	Descripción	Unid.	Cant.	P. Unitario (USD)	P. Total (USD)
1	Torquímetro Force 6474660s	u	2	150,00	300,00
2	Comparador de reloj Mitutoyo 543-783B	u	1	157,20	157,20
3	Vibrómetro M&A INSTRUMENTS INC	u	1	275,00	275,00
4	Krikrit Tension Gauge	u	4	20,17	80,68
4	Viscosímetro analógico PCE-RVI 1	u	1	590,00	590,00
6	Herramientas varias	u	1	100,00	100,00
				Total	1502,88

Tabla 39

Costo de equipos de cómputo y muebles de oficina

Equipos de cómputo y muebles de oficina		
ORD	Descripción	Valor (USD)
1	Computador Intel core i5	500,00
2	Mueble de oficina	75,00
Total		575,00

Tabla 40

Costo de software y capacitación

Software y capacitación		
ORD	Descripción	Valor (USD)
1	Software de mantenimiento	3.500,00
2	Capacitación	400,00
Total		3.900,00

6.1.1.2 Costo de mano de obra directa

Tabla 41

Costo de mano de obra directa

Mano de obra directa					
ORD	Descripción	Unid.	Cantidad	V. Unitario (USD)	Valor total (USD)
1	Asesoramiento TOPESA S.A.	horas	50,00	25,00	1.250,00
2	Asesoramiento ESPE	horas	40,00	30,00	1.200,00
3	Labor estudiantil	horas	400,00	5,00	2.000,00
Total					4.450,00

6.1.2 Costos indirectos

Tabla 42

Costo de Misceláneos

Misceláneos		
ORD	Descripción	Valor (USD)
1	Transporte	150,00
2	Material de papelería	50,00
3	Textos	120,00
Total		320,00

6.1.3 Costo Total

Tabla 43

Costo total

Costo total del proyecto		
ORD	Descripción	Costo (USD)
1	Herramientas y suministros	1.502,88
2	Equipos de cómputo y muebles de oficina	575,00
3	Software y capacitación	3.900,00
4	Recursos Humanos	4.450,00
5	Misceláneos	320,00
Total		10.747,88

6.2 Estudio financiero

A diferencia de otras actividades productivas en donde el fruto es un artículo o producto terminado, y se habla entonces de costos de producción, en el ámbito del mantenimiento el objetivo final es situar a la máquina, equipo o sistema de trabajo en condiciones tales que recupere la capacidad de operación perdida.

En la tabla 44 se detalla cada fuente de financiamiento, necesaria para analizar los flujos de efectivo que se destinaron para el desarrollo del presente estudio. La tabla 45 evalúa el flujo de efectivo con las inversiones y costos respectivos; el presupuesto inicial que se destinó para el diseño e implantación del TPM fue de 8.200,00 USD y en los años subsiguientes para la gestión del mantenimiento será de 3.200,00 USD, la proyección del plan de mantenimiento es de 5 años, ya que terminado este plazo de tiempo la empresa pretende realizar nuevas inversiones sujetas a posibles cambios y mejoras.

Tabla 44

Fuentes de financiamiento

ORD	RUBRO	FUENTES DE FINANCIAMIENTO			TOTAL (USD)
		INVESTIGADOR	ESPE	TOPESA S.A.	
1	Herramientas y suministros			1.502,88	1.502,88
2	Equipos de computo y muebles de oficina			575,00	575,00
3	Software y capacitación			3.900,00	3.900,00
4	Recursos Humanos	2.000,00	1.200,00	1.250,00	4.450,00
5	Misceláneos	320,00			320,00
TOTAL (USD)		2.320,00	1.200,00	7.227,88	10.747,88

Tabla 45

Flujo de efectivo TPM

FLUJO DE EFECTIVO TPM						
Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Saldo inicial efectivo (A)	0,00	972,12	3.772,12	6.572,12	8.872,12	11.672,12
Ingresos (B)						
Asignación TPM	8.200,00	3.200,00	3.200,00	3.200,00	3.200,00	3.200,00
Ingresos Totales	8.200,00	3.200,00	3.200,00	3.200,00	3.200,00	3.200,00
Efectivo Disponible (A+B)	8.200,00	4.172,12	6.972,12	9.772,12	12.072,12	14.872,12
Desembolsos (C)						
Herramientas y suministros	1.502,88					
Equipos de cómputo y muebles de oficina	575,00			500,00		
Software	3.500,00					
Capacitación	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00
Recursos Humanos	1.250,00					
Total de desembolsos	7.227,88	400,00	400,00	900,00	400,00	400,00
Flujo neto de efectivo (A+B-C)	972,12	3.772,12	6.572,12	8.872,12	11.672,12	14.472,12

Como se puede observar al término del tercer año de implantación del TPM, la empresa recuperará la inversión inicial, pudiendo así volver a invertir o realizar cambios en el sistema de mantenimiento.

6.2.1 Valor actual neto

Es un criterio de evaluación de proyectos, el cual plantea que el proyecto debe aceptarse si su valor actual neto (VAN) es igual o superior a cero, donde el VAN es la diferencia entre todos sus ingresos y egresos expresados en moneda actual.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+i)^n}$$

Donde:

F_t = Son los flujos de dinero en cada periodo t

I_0 = Es la inversión realiza en el momento inicial (t = 0)

n = Es el número de periodos de tiempo

i = Es el tipo de descuento o tipo de interés exigido a la inversión

Tabla 46

Valor actual neto TPM

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Flujo neto de efectivo	972,12	3.772,12	6.572,12	8.872,12	11.672,12	14.472,12

$$\begin{aligned}i &= 10\% \\ \text{VNA} &= \$ 32.575,81 \\ \text{VAN} &= \$ \mathbf{25.347,93}\end{aligned}$$

Al traer los flujos de efectivo comprendidos desde el año 1 al año 5, tenemos un valor neto actual de 32.575,81 USD, la diferencia entre este valor y la inversión inicial, la cual es de 7.227,88 USD, nos da un valor actual neto (VAN) igual a 25.347,93 USD, lo cual evidentemente es un valor mayor a cero y por ende el proyecto es viable, cabe resaltar que como anteriormente se expresó este tipo de proyectos no generan ningún tipo de interés, en estos casos para poder aplicar la fórmula del VAN se utiliza el porcentaje de riesgo país, que al 17 de junio del 2016 es de 10%.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- Se logró el objetivo principal del proyecto, al diseñar e implementar un sistema de mantenimiento productivo total en el sistema de producción de TOPESA S.A., la empresa validó el proyecto y emitió la carta de conformidad presente al inicio de este documento
- El diagnóstico de la situación en la que se encontraba el sistema de producción y las condiciones de operación de la maquinaria, se determinó mediante el análisis modal de fallos y efectos F.M.E.A., el cual mostró en la mayoría de equipos un índice de prioridad de riesgo mayor a 100, lo que nos dio una primera impresión de los modos de fallo.
- La estimación de la vida útil de maquinaria y equipos, mostró a un 73% con un periodo de operación que sobrepasa la vida útil recomendada, lo que reflejaba una mayor cantidad de maquinaria propensa a sufrir fallos inesperados, el 27% restante se encuentra en condiciones óptimas de operación.
- En cuanto a la información que manejaba el área de mantenimiento, el 100% de todos los equipos no contaban con varios documentos necesarios en un sistema de mantenimiento, tales como fichas técnicas, registros de órdenes de trabajo y acciones de mantenimiento. Solo el 41% de la maquinaria poseía el respectivo manual de operación.
- Para la categorización y diferenciación de maquinaria se emplearon diversos parámetros detallados en la tabla 26, finalizado el estudio se obtuvo un 11% de equipos centrado en el mantenimiento preventivo,

un 85% administrado bajo los lineamientos del preventivo y un 4% en el correctivo.

- Para determinar las acciones de mantenimiento se tomó en cuenta los manuales del fabricante y la experiencia del equipo de mantenimiento y operadores de maquinaria. Una vez detalladas las tareas para un adecuado TPM, se programó y organizó la ejecución de las mismas calculando las periodicidades mediante el método gráfico.
- Para minimizar los gastos del mantenimiento correctivo, se intensificaron las acciones preventivas, pues como recordaremos los resultados obtenidos en el ítem 3.4 “Categorización y diferenciación de la maquinaria” mostraron que la mayoría de equipos están categorizados dentro un mantenimiento predictivo y preventivo, es decir máquinas categoría “A” y “B”.
- Se diseñó el programa de capacitación mostrado en el ítem 5.2.5 y detallado en la tabla 36, se capacitó al personal de operadores y mantenimiento en tres niveles considerados para el presente proyecto, las acciones del primer escalón serán ejecutadas por los operarios de cada equipo y las del segundo y tercer escalón serán desarrolladas por el equipo de mantenimiento.
- La implementación del plan se dio de manera escalonada, área por área y supervisando la ejecución de las acciones, intensificando los factores motivacionales en el personal.
- Para evaluar el sistema TPM se calculó los índices de: disponibilidad, utilización, rendimiento y aprovechamiento. El primer índice mostró que el 80% de todos los equipos se encuentra dentro de una disponibilidad del 90 – 94%. En cuanto a la utilización, el 87% de toda la maquinaria cumple con el requerimiento de estar entre el 85 – 90%, El rendimiento en los meses de estudio, bajo el control y direccionamiento de los responsables delegados, ha dejado un 83% de equipos operando en un porcentaje superior al 100%. Finalmente el 70% de maquinaria opera con un aprovechamiento mayor al 85%.

- Se diseñó e implemento el software para facilitar la gestión del mantenimiento de la planta de producción de TOPESA S.A., con el cual se tendrá una base de datos actualizada de los equipos que forman parte del proceso productivo, y se llevará un registro de las acciones de mantenimiento.
- Finalmente podemos concluir que se obtuvieron todos los objetivos planteados y se logró de manera satisfactoria el alcance del presente proyecto.

7.2 Recomendaciones

- A partir de la puesta en marcha y en los meses siguientes, se recomienda a los encargados motivar al personal y congratular las acciones bien realizadas, con el fin cambiar la mentalidad de los operadores, y pasar de un ambiente reactivo a trabajar de una manera más proactiva.
- Se recomienda a la empresa no dejar de lado los programas de capacitación, pues es muy importante que el personal de operadores y mantenimiento adquieran la tecnología y habilidades que les permitan mejorar sus destrezas y desarrollar todo su potencial.
- Para realizar cualquier actividad dentro de la planta de producción, se recomienda por medio de la unidad de seguridad y salud ocupacional de TOPESA S.A, controlar el uso adecuado de los equipos de protección personal.
- Es sumamente importante que el computador en el departamento de mantenimiento, sea monitoreado periódicamente y no se le dé un uso inadecuado, que pueda infectar el software de mantenimiento con posibles amenazas informáticas.
- Para evitar contratiempos e inconvenientes en relación al software de gestión de mantenimiento, se recomienda al encargado registrarse al manual de usuario.

BIBLIOGRAFÍA

- Bestratén Belloví, M., Orriols Ramos, R. M., & Mata París, C. (2004). *Análisis modal de fallos y efectos*. AMFE. Madrid - España: SEAT, S.A.
- Castellanos Torres, P. X., & Hurtado Argüello, M. D. (2005). *Método de implementación del mantenimiento total productivo (TPM) en el grupo de trabajo amazónico y levantamiento de la base de datos para el software de mantenimiento API/PRO (Versión 5.0) en el CEMAT - CEE*. Sangolquí: ESPE.
- Cruz Rabelo, E. M. (2008). *INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO - Formación en mantenimiento para el ingeniero mecánico* (Segunda ed.). Argentina: Nueva Librería S.R.L.
- Duffuaa, S., Raouf, A., & Campbell, J. D. (2000). *SISTEMAS DE MANTENIMIENTO - Planeación y control* (Primera ed.). México, D.F.: LIMUSA S.A.
- Guerra V., M. A., & Segura S., L. J. (2006). *Diseño e implementación de un plan integral de mantenimiento y seguridad industrial para el taller de estructuras metálicas de la FMSB "Santa Bárbara" S.A.* Sangolquí: ESPE.
- Jácome Nacimba, E. P. (2016). *Implementación de medidas técnicas de prevención en el proceso productivo de TOPESA S.A. para controlar factores de riesgos físicos y ergonómicos*. Quito: EPN.
- Medrano Pilataxi, D. R., & Vega Gaona, B. X. (2012). *Diseño e implementación de un plan integral de mantenimiento y calibración de las máquinas del laboratorio de procesos de manufactura de la Escuela Politécnica del Ejército*. Sangolquí: ESPE.
- Owen, D. (27 de Diciembre de 2015). *Total Productive Maintenance*. Obtenido de Industry Forum Business Excellence Through Inspired People:
<https://www.industryforum.co.uk/wp-content/uploads/sites/6/2011/05/Total-Productive-Maintenance-Overview-Low-Res.pdf>
- Riera Chavez, J. J. (2012). *Diseño e implementación de un sistema de mantenimiento industrial asistido por computador para la empresa Cubiertas del Ecuador KUBIEC S.A. en la planta Esthela*. Sangolquí: ESPE.
- Sapag Chain, N., & Sapag Chain, R. (2008). *Preparación y evaluación de proyectos*. Bogotá: McGraw-Hill.
- Venkatesh, J. (17 de Diciembre de 2015). *An Introduction to Total Productive Maintenance (TPM)*. Obtenido de Plant Maintenance Resource Center:
<http://faculty.nps.edu/dl/sysengineering/se3302/pdf/anintroductiontototalproductivemaintenance.pdf>
- Villanueva, E. D. (2007). *La productividad en el mantenimiento industrial*. México D.F.: Grupo Editorial Patria.

ANEXOS