



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**MINIMIZACIÓN DE PAROS NO PROGRAMADOS EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE
AGREGADOS, MEDIANTE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

Jorge Adán Nij Aguilar

Asesorado por el Ing. Ernesto Daniel Alvarado Jiménez

Guatemala, marzo de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MINIMIZACIÓN DE PAROS NO PROGRAMADOS EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE
AGREGADOS, MEDIANTE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JORGE ADÁN NIJ AGUILAR

ASESORADO POR EL ING. ERNESTO DANIEL ALVARADO JIMÉNEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, MARZO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|------------|--|
| DECANO | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| VOCAL I | Ing. Angel Roberto Sic García |
| VOCAL II | Ing. Pablo Christian de León Rodríguez |
| VOCAL III | Ing. José Milton de León Bran |
| VOCAL IV | Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez |
| VOCAL V | Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez |
| SECRETARIA | Inga. Lesbia Magalí Herrera López |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|-------------|--|
| DECANO | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| EXAMINADORA | Inga. Priscila Yohana Sandoval Barrios |
| EXAMINADORA | Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas |
| EXAMINADOR | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |
| SECRETARIA | Inga. Lesbia Magalí Herrera López |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

MINIMIZACIÓN DE PAROS NO PROGRAMADOS EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE AGREGADOS, MEDIANTE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 21 de agosto de 2015.

Jorge Adán Nij Aguilar

Guatemala Enero de 2017

Ing. Jose Francisco Gómez Rivera
Director de escuela
Ingeniería Mecánica Industrial
Facultad de ingeniería
Presente

Le deseo lo mejor en sus actividades diarias.

Por este medio atentamente le informo que como asesor del estudiante universitario de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, **JORGE ADÁN NIJ AGUILAR**, con carné: 200915325, procedí a revisar el trabajo de graduación titulado: **“MINIMIZACIÓN DE PAROS NO PROGRAMADOS EN LA LINEA DE PRODUCCION DE AGREGADOS, MEDIANTE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO”**.

Habiéndole dado el respectivo seguimiento y considero que el mismo cumple con sus objetivos, beneficiando a la empresa donde se llevo a cabo el proyecto por lo tanto lo doy por aprobado. Solicitando realizar los trámites respectivos

Atentamente,

Ernesto Daniel Alvarado Jiménez
Ingeniero Mecánico Industrial
Cof. 7995

Ernesto Daniel Alvarado Jiménez
Ingeniero Mecánico Industrial
Cofegiado No. 7995



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **MINIMIZACIÓN DE PAROS NO PROGRAMADOS EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE AGREGADOS, MEDIANTE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO**, presentado por el estudiante universitario **Jorge Adán Nij Aguilar**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. Francisco Arturo Hernández Arriaza
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, enero de 2017.

/mgp



El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **MINIMIZACIÓN DE PAROS NO PROGRAMADOS EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE AGREGADOS, MEDIANTE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO**, presentado por el estudiante universitario **Jorge Adán Nij Aguilar**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. José Francisco Gómez Rivera
DIRECTOR a.i.
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, marzo de 2017.

/mgp



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **MINIMIZACIÓN DE PAROS NO PROGRAMADOS EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE AGREGADOS, MEDIANTE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO**, presentado por el estudiante universitario: **Jorge Adán Nij Aguilar**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
DECANO



Guatemala, marzo de 2017

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por permitirme la vida para culminar mis estudios universitarios.
- Mis padres** Por apoyarme en cada paso de la búsqueda de mis metas personales, y por su paciencia, amor y honestidad
- Mis hermanos** Por demostrar su apoyo en los momentos más difíciles de mi carrera.
- Mis tíos** A todos los que fueron partícipes de mis éxitos, en especial a mi tía Lidia Nij (q. e. p. d.)
- Mis abuelos** Por enseñarme el significado del trabajo duro y la determinación.

AGRADECIMIENTOS A:

| | |
|---|--|
| Universidad de San Carlos de Guatemala | A mi <i>alma mater</i> , por permitirme ser partícipe de una enseñanza integradora de todos los estratos sociales de la fragmentada sociedad guatemalteca. |
| Facultad de Ingeniería | Por brindarme las herramientas necesarias para lograr emprender mí camino al profesionalismo. |
| Mis amigos de la Facultad | Mis amigos, los cuales me brindaron su apoyo y cariño durante este largo viaje en la universidad. |
| Ing. César Alfredo Nij Reyes | Por brindarme su apoyo en la realización de mi trabajo de tesis. |
| Ing. Ernesto Daniel Alvarado Jiménez | Por la disposición de su tiempo y paciencia para la realización de este trabajo. |

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|-------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES..... | XI |
| LISTA DE SÍMBOLOS | XV |
| GLOSARIO | XVII |
| RESUMEN..... | XIX |
| OBJETIVOS..... | XXI |
| INTRODUCCIÓN..... | XXIII |
| | |
| 1. ANTECEDENTES GENERALES | 1 |
| 1.1. Cemix S.A..... | 1 |
| 1.1.1. Ubicación..... | 1 |
| 1.1.2. Historia | 1 |
| 1.1.3. Planeación estratégica | 2 |
| 1.1.3.1. Misión | 2 |
| 1.1.3.2. Visión..... | 2 |
| 1.1.3.3. Valores | 2 |
| 1.1.4. Gama de productos | 3 |
| 1.1.5. Línea de adhesivos..... | 4 |
| 1.1.5.1. Pegamix original | 4 |
| 1.1.5.2. PSP | 5 |
| 1.1.5.3. Amu | 6 |
| 1.1.5.4. Adeblok..... | 7 |
| 1.1.6. Estructura organizacional | 7 |
| 1.1.6.1. Gerencia de operaciones..... | 8 |
| 1.1.6.2. Gerencia de comercialización..... | 8 |
| 1.1.6.3. Gerencia de finanzas..... | 8 |

| | | |
|----------|---|----|
| 1.2. | Paros no programados..... | 9 |
| 1.2.1. | Definición..... | 9 |
| 1.2.2. | Causas de los paros no programados..... | 10 |
| 1.2.3. | Causas comunes y causas especiales de variación en el proceso productivo | 10 |
| 1.2.3.1. | Variación por causas no atribuibles, comunes o por azar..... | 11 |
| 1.2.3.2. | Causas especiales (o atribuibles)..... | 11 |
| 1.3. | Línea de producción..... | 12 |
| 1.3.1. | Definición..... | 12 |
| 1.3.2. | Tipos de producción | 12 |
| 1.3.2.1. | Producción continua..... | 12 |
| 1.3.2.2. | Producción por lotes..... | 13 |
| 1.3.2.3. | Producción por pedido | 13 |
| 1.4. | Agregados de construcción..... | 13 |
| 1.4.1. | Definición..... | 13 |
| 1.4.2. | Agregados calizos | 14 |
| 1.4.3. | Materia prima utilizada para el proceso..... | 14 |
| 1.4.3.1. | Piedra caliza | 14 |
| 1.4.4. | Proveedores de materia prima | 15 |
| 1.4.4.1. | Cantera..... | 15 |
| 1.5. | Mantenimiento..... | 16 |
| 1.5.1. | Definición..... | 16 |
| 1.5.2. | Enfoque del mantenimiento..... | 17 |
| 1.5.2.1. | Enfoque de las acciones de mantenimiento..... | 17 |
| 1.5.2.2. | Enfoque de la organización | 18 |
| 1.5.2.3. | Enfoque logístico integral de creación..... | 18 |

| | | |
|------------|---|----|
| 1.5.2.4. | Enfoque de las habilidades y competencias..... | 18 |
| 1.5.2.5. | Enfoque de la gestión económica del mantenimiento. | 19 |
| 1.5.3. | Tipos de mantenimiento | 20 |
| 1.5.3.1. | Mantenimiento correctivo o por fallas .. | 20 |
| 1.5.3.2. | Mantenimiento preventivo..... | 20 |
| 1.5.3.2.1. | Mantenimiento preventivo basado en el uso o tiempo | 21 |
| 1.5.3.2.2. | Mantenimiento preventivo basado en la condición..... | 21 |
| 1.5.3.3. | Mantenimiento de modificación del diseño | 21 |
| 1.5.3.4. | Mantenimiento predictivo o condicional..... | 22 |
| 2. | DIAGNÓSTICO SITUACIONAL | 23 |
| 2.1. | Descripción de los procesos productivos de la empresa | 23 |
| 2.1.1. | Producción de polvo de piedra | 24 |
| 2.1.2. | Formulación de <i>batch</i> | 24 |
| 2.2. | Costos de mantenimiento | 25 |
| 2.2.1. | Análisis de costos de mantenimiento..... | 26 |
| 2.2.1.1. | Costos mensuales | 26 |
| 2.2.1.2. | Costos semestrales | 27 |
| 2.2.1.3. | Costos anuales | 28 |
| 2.3. | Proveedores de mantenimiento..... | 28 |
| 2.3.1. | Proveedores de elementos mecánicos | 28 |

| | | | |
|--------|----------|--|----|
| | 2.3.1.1. | Prosain | 28 |
| | 2.3.1.2. | Abinsa | 28 |
| 2.3.2. | | Proveedores de lubricantes..... | 29 |
| | 2.3.2.1. | Lubricantes internacionales de Guatemala (LUISA) | 29 |
| 2.3.3. | | Proveedores de servicios | 29 |
| | 2.3.3.1. | System | 29 |
| | 2.3.3.2. | Talleres Einstein..... | 29 |
| 2.3.4. | | Proveedores fuera del país | 30 |
| | 2.3.4.1. | William`s Crusher | 30 |
| | 2.3.4.2. | Carrier | 30 |
| 2.4. | | Proveedores de materia prima | 31 |
| | 2.4.1. | Tipo de materia prima | 31 |
| | 2.4.1.1. | Análisis químicos de la materia prima | 31 |
| | 2.4.2. | Ubicación de proveedores..... | 31 |
| 2.5. | | Procedimientos actuales de mantenimiento..... | 32 |
| | 2.5.1. | Registro histórico de mantenimiento | 32 |
| | 2.5.1.1. | Tipos de fallas | 32 |
| | 2.5.1.2. | Tiempo estimado de fallas..... | 33 |
| | 2.5.1.3. | Causas de fallas..... | 33 |
| | 2.5.2. | Procedimiento estándar actual | 34 |
| | 2.5.2.1. | Procedimiento de acuerdo a falla | 34 |
| | 2.5.2.2. | Procedimientos de acuerdo a materia prima en proceso..... | 35 |
| | 2.5.2.3. | Procedimientos de emergencia | 36 |
| 2.6. | | Herramientas de análisis de problemas | 37 |
| | 2.6.1. | Análisis de problemas | 37 |
| | 2.6.1.1. | Análisis de árbol de problemas | 37 |

| | | | |
|--------|----------|---|----|
| | 2.6.1.2. | Análisis Ishikawa de causa y efecto | 37 |
| | 2.6.1.3. | Análisis de Pareto..... | 38 |
| 2.6.1. | | Análisis de costos | 42 |
| | 2.6.1.1. | Análisis beneficio-costo | 42 |
| 3. | | PROPUESTA PARA LA MINIMIZACIÓN DE PAROS NO PROGRAMADOS..... | 45 |
| 3.1. | | Plan de mantenimiento preventivo | 45 |
| | 3.1.1. | Políticas adaptables al mantenimiento preventivo .. | 45 |
| | 3.1.2. | Elementos del plan de mantenimiento..... | 46 |
| 3.2. | | Inventario de instalaciones | 46 |
| | 3.2.1. | Hoja de inventario de instalaciones. | 48 |
| 3.3. | | Inventario de maquinaria | 49 |
| | 3.3.1. | Clasificación de maquinaria..... | 49 |
| | 3.3.1.1. | Índice de clasificación para los gastos de mantenimiento ICGM | 50 |
| | 3.3.1. | Localización en el proceso..... | 53 |
| | 3.3.2. | Descripción de procedimiento de máquina..... | 53 |
| | 3.3.3. | Faja Transportadora Goodyear..... | 53 |
| | 3.3.4. | Secador Carrier modelo 2460s..... | 54 |
| | 3.3.5. | Tornillo transportador Wam modelo ES 168.7.220..... | 55 |
| | 3.3.6. | Molino de piedras William`s crusher Mod. 20849 ... | 56 |
| 3.4. | | Inventario de insumos y repuestos de mantenimiento..... | 57 |
| | 3.4.1. | Control de inventario..... | 57 |
| | 3.4.1.1. | Teoría de Inventario..... | 58 |
| | 3.4.2. | Máquinas-herramientas | 60 |
| | 3.4.3. | Equipo de seguridad..... | 60 |
| | 3.4.4. | Insumos de mantenimiento..... | 61 |

| | | |
|----------|---|----|
| 3.4.4.1. | Lubricantes..... | 61 |
| | 3.4.4.1.1. Aceites | 62 |
| | 3.4.4.1.2. Grasas..... | 62 |
| 3.4.4.2. | Elementos mecánicos | 62 |
| 3.4.4.3. | Descripción de los elementos mecánicos | 63 |
| | 3.4.4.3.1. Cojinetes | 63 |
| | 3.4.4.3.2. Chumaceras..... | 66 |
| | 3.4.4.3.3. Martillos pulverizadores..... | 67 |
| | 3.4.4.3.4. Guardas | 69 |
| | 3.4.4.3.5. Fajas transportadoras ... | 69 |
| | 3.4.4.3.6. Tornillos transportadores | 71 |
| | 3.4.4.3.7. Bandas..... | 73 |
| | 3.4.4.3.8. Cadenas..... | 73 |
| | 3.4.4.3.9. Motores eléctricos..... | 74 |
| 3.5. | Disponibilidad de insumos y repuestos | 75 |
| | 3.5.1. Proveedores nacionales..... | 75 |
| | 3.5.2. Proveedores internacionales..... | 78 |
| 3.6. | Identificación de nuevos proveedores | 79 |
| | 3.6.1. Creación de base de datos de nuevos proveedores | 80 |
| 3.7. | Definición de procedimientos | 81 |
| | 3.7.1. Diagrama de procesos | 82 |
| | 3.7.2. Diagrama de flujo de procedimiento..... | 83 |
| | 3.7.3. Diagrama de recorrido..... | 83 |
| 3.8. | Planificación de actividades de mantenimiento..... | 83 |
| 3.9. | Planeación del mantenimiento preventivo..... | 84 |

| | | |
|------------|--|-----|
| 3.9.1. | Órdenes de trabajo | 85 |
| 3.9.2. | Planeación de los recursos..... | 86 |
| 3.9.2.1. | Mano de obra..... | 87 |
| 3.9.2.1.1. | Perfil del puesto..... | 87 |
| 3.9.2.2. | Capacidad de la mano de obra..... | 88 |
| 3.10. | Programación del mantenimiento preventivo..... | 90 |
| 3.10.1. | Programa a largo plazo | 90 |
| 3.10.2. | Programa semanal | 91 |
| 3.10.3. | Programación diaria..... | 91 |
| 4. | IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA..... | 93 |
| 4.1. | Diagrama de recorrido de maquinaria | 93 |
| 4.2. | Codificación de maquinaria | 95 |
| 4.2.1. | Codificación por antigüedad | 95 |
| 4.2.2. | Codificación por proceso | 96 |
| 4.3. | Identificación de puntos críticos de mantenimiento | 97 |
| 4.3.1. | Punto crítico de control del programa de mantenimiento | 98 |
| 4.4. | Diagrama de flujo de procedimientos de mantenimiento..... | 100 |
| 4.4.1. | Procedimientos estandarizados..... | 100 |
| 4.4.1.1. | Flujo de operaciones de la tarea de mantenimiento preventivo..... | 100 |
| 4.4.1.2. | Flujo de operaciones de registro de datos..... | 102 |
| 4.4.2. | Procedimientos de programación de rutina diaria. | 104 |
| 4.4.2.1. | Procedimientos de lubricación..... | 104 |
| 4.4.2.1.1. | Nivelación de lubricante..... | 104 |
| 4.4.2.1.2. | Cambio de lubricante.. | 106 |

| | | | |
|------|------------|---|-----|
| | 4.4.2.1.3. | Procedimientos de seguridad | 107 |
| | 4.4.2.2. | Procedimientos de soldadura | 108 |
| | 4.4.2.2.1. | Soldadura de Oxi-Acetileno | 108 |
| | 4.4.2.2.2. | Soldadura de arco eléctrico..... | 109 |
| | 4.4.2.2.3. | Procedimientos de seguridad | 110 |
| | 4.4.3. | Procedimientos de emergencia | 111 |
| 4.5. | | Mantenimiento preventivo. Programación a largo plazo..... | 112 |
| | 4.5.1. | Cronograma mensual..... | 112 |
| | 4.5.2. | Programa semanal..... | 116 |
| | 4.5.2.1. | Revisiones periódicas | 117 |
| | 4.5.3. | Revisión diaria..... | 119 |
| 4.6. | | Documentos de registro | 120 |
| | 4.6.1. | Registro de fallas..... | 121 |
| | 4.6.2. | Orden de trabajo | 122 |
| | 4.6.3. | Requerimiento de insumos..... | 123 |
| | 4.6.4. | <i>Check list</i> mensual y semanal | 124 |
| | 4.6.5. | Revisión diaria..... | 126 |
| | 4.6.6. | Seguimiento de mantenimiento | 127 |
| | 4.6.7. | Accidentes laborales | 127 |
| 5. | | MEJORA CONTINUA | 129 |
| | 5.1. | Análisis de datos | 129 |
| | 5.1.1. | Métricas de salida | 129 |

| | | | |
|------|----------|---|-----|
| | 5.1.1.1. | Evaluación de métricas para el programa de mantenimiento del molino de piedra | 130 |
| | 5.1.2. | Auditoría de puntos críticos de mantenimiento | 133 |
| | 5.1.2.1. | Cartas de control | 133 |
| | 5.1.3. | Auditoría del punto crítico de unidades en <i>stock</i> de bodega..... | 139 |
| | 5.1.4. | Relación beneficio-costos de mantenimiento | 140 |
| | 5.1.5. | Costos de implementación..... | 141 |
| 5.2. | | Capacitación de personal de mantenimiento..... | 142 |
| | 5.2.1. | Conceptos básicos de mantenimiento | 142 |
| | 5.2.2. | Introducción del plan de mantenimiento | 144 |
| | 5.2.2.1. | Entender la estrategia y aplicar con base en la madurez de la empresa.... | 144 |
| | 5.2.2.2. | Vincular y alinear la idea del programa de mantenimiento al plan estratégico general de la empresa y a los índices de mejora global. | 145 |
| | 5.2.2.3. | Asignar los recursos apropiados..... | 145 |
| | 5.2.2.4. | Entrenar al personal apropiado, aplicación de la estrategia y cambio cultural | 145 |
| | 5.2.2.5. | Implementar el plan razonablemente. | 146 |
| | 5.2.2.6. | Coordinar los esfuerzos dentro de la organización. | 146 |
| | 5.2.2.7. | Difundir resultados..... | 146 |
| | 5.2.2.8. | Ser constante en propósito, paciencia y visión a largo plazo | 147 |
| | 5.2.3. | Normas de seguridad industrial | 147 |

5.2.3.1. Equipo de protección personal 147

5.2.3.2. Capacitaciones en seguridad 148

5.2.3.3. Seguridad y maquinaria..... 148

5.2.3.4. Señalización 149

5.2.3.5. Extintores 149

CONCLUSIONES..... 151

RECOMENDACIONES 153

BIBLIOGRAFÍA..... 155

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|-----|---|----|
| 1. | Organigrama general | 9 |
| 2. | Cantera | 16 |
| 3. | Elaboración de mortero de cemento- arena | 23 |
| 4. | Diagrama de proceso productivo | 24 |
| 5. | Procedimiento de mantenimiento de acuerdo a la falla | 34 |
| 6. | Procedimiento de acuerdo al material en proceso | 35 |
| 7. | Procedimiento de emergencia..... | 36 |
| 8. | Análisis Ishikawa para paros no programados..... | 38 |
| 9. | Principio de Pareto..... | 39 |
| 10. | Gráfica de análisis de Pareto de paros | 41 |
| 11. | Sistema abierto | 47 |
| 12. | Sistema cerrado o cibernético..... | 47 |
| 13. | Sistema y subsistemas..... | 48 |
| 14. | Secador Carrier | 55 |
| 15. | Tornillo transportador Wam..... | 56 |
| 16. | Martillos del molino de piedra..... | 57 |
| 17. | Representación del tamaño de lote económico | 59 |
| 18. | Perfiles de cojinetes | 65 |
| 19. | Chumacera de caja montada | 66 |
| 20. | Chumacera de brida para 2 tornillos | 67 |
| 21. | Sección transversal de pulverizador de flujo inferior (martillos) | 68 |
| 22. | Sección transversal de pulverizador de flujo inferior (guardas)..... | 69 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 23. | Tornillo transportador en planta de concreto | 72 |
| 24. | Tornillo transportador alimentando silos | 72 |
| 25. | Nomenclatura básica de cadena | 74 |
| 26. | Acciones de un proceso..... | 82 |
| 27. | Diagrama de recorrido del proceso y maquinaria | 94 |
| 28. | Diagrama de distribución de maquinaria (perfil) | 94 |
| 29. | Gráfica de bañera | 95 |
| 30. | Diagrama de flujo de procedimientos de la ejecución de mantenimiento preventivo..... | 101 |
| 31. | Diagrama de flujo de procedimientos de registro de datos | 103 |
| 32. | Diagrama de flujo de procedimientos de nivelación de aceite a maquinaria..... | 105 |
| 33. | Diagrama de flujo de procedimientos de cambio de lubricante..... | 106 |
| 34. | Diagrama de flujo de procedimientos de cambio de lubricante..... | 107 |
| 35. | Diagrama de flujo de procedimientos soldadura Oxi-Acetilénica | 108 |
| 36. | Diagrama de flujo de procedimiento de trabajo de soldadura al arco eléctrico | 109 |
| 37. | Diagrama de flujo de procedimientos de seguridad al soldar | 110 |
| 38. | Diagrama de flujo de procedimiento de trabajo de emergencia..... | 111 |
| 39. | Ejemplo de formulario de registro de fallas en Access | 120 |
| 40. | Hoja de registro de fallas | 121 |
| 41. | Hoja de registro de orden de trabajo..... | 122 |
| 42. | Ejemplo de formulario de ingreso de almacén en Access | 123 |
| 43. | Hoja de requerimiento de almacén | 124 |
| 44. | <i>Check list</i> mensual y semanal | 125 |
| 45. | Ejemplo de <i>check list</i> diario | 126 |
| 46. | Hoja de registro de accidentes..... | 128 |
| 47. | Gráfica de control para X media de tamaño de cara de martillo | 137 |
| 48. | Costo mínimo de conservación..... | 141 |

TABLAS

| | | |
|--------|--|----|
| I. | Información técnica Pegamix original..... | 4 |
| II. | Información técnica PSP..... | 5 |
| III. | Información técnica Amu..... | 6 |
| IV. | Información técnica Adeblok..... | 7 |
| V. | Costos mensuales..... | 26 |
| VI. | Estimación de costos..... | 27 |
| VII. | Fallas en el molino de piedras..... | 32 |
| VIII. | Tiempo estimado entre fallas por máquina..... | 33 |
| IX. | Lista de comprobación para aplicación de Pareto..... | 40 |
| X. | Beneficios y costos actuales..... | 43 |
| XI. | Criterios para la elaboración del código de máquina..... | 51 |
| XII. | Criterios para la elaboración del código de trabajo..... | 52 |
| XIII. | Comparación de los tipos de rodamiento..... | 64 |
| XIV. | Disponibilidad de productos Prosain..... | 76 |
| XV. | Disponibilidad de productos Abinsa..... | 76 |
| XVI. | Disponibilidad de Luisa..... | 77 |
| XVII. | Disponibilidad de servicio de System..... | 77 |
| XVIII. | Disponibilidad de servicio Talleres Einstein..... | 78 |
| XIX. | Disponibilidad William's Patent Crusher..... | 78 |
| XX. | Disponibilidad Carrier..... | 79 |
| XXI. | Ubicación de proveedores nuevos..... | 80 |
| XXII. | Perfil del técnico de mantenimiento..... | 88 |
| XXIII. | Codificación de maquinaria por antigüedad..... | 96 |
| XXIV. | Codificación según el proceso..... | 97 |
| XXV. | Puntos críticos de control mantenimiento..... | 99 |

| | | |
|---------|---|-----|
| XXVI. | Inventario de conservación | 113 |
| XXVII. | Programa de mantenimiento mensual de molino de piedras | 115 |
| XXVIII. | Programa de mantenimiento mensual o 1000 horas de secador..... | 115 |
| XXIX. | Programa de mantenimiento mensual de faja transportadora | 116 |
| XXX. | Programa de mantenimiento mensual del tornillo transportador 1..... | 116 |
| XXXI. | Programa semanal de mantenimiento | 118 |
| XXXII. | Programación de punto crítico de control | 119 |
| XXXIII. | Interpretación de métricas | 132 |
| XXXIV. | Métricas de mantenimiento..... | 132 |
| XXXV. | Asignación de la carta de control..... | 135 |
| XXXVI. | Datos para carta de control X media..... | 136 |
| XXXVII. | Análisis beneficio-costos después de programa..... | 140 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado |
|-------------------------|---------------------|
| Hp | Caballo de fuerza |
| CaCO₃ | Carbonato de calcio |
| cm² | Centímetro cuadrado |
| ° | Grado |
| g | Gramo |
| Kw/h | Kilowatts hora |
| Km | Kilómetro |
| % | Porcentaje |
| Q | Quetzales |
| t/h | Toneladas hora |
| u | Unidades |

GLOSARIO

| | |
|---------------------------|---|
| ANSI | Instituto Nacional Americano de Estandarización. |
| Azul de metileno | Prueba de laboratorio para la caracterización de agregados finos. |
| <i>Batch</i> | Unidad de medida que representa la totalidad de materia prima que conforma un producto. |
| Bitácora | Registro diario de actividades. |
| <i>Check list</i> | Hoja de control que dispone de un símbolo gráfico para representar que se ha realizado una tarea. |
| ISO | Organización Internacional de Estandarización. |
| Ligante | Compuesto adhesivo que mantiene unidos dos elementos. |
| <i>Outsourcing</i> | Delegar actividades propias a una empresa subcontratada. |

RESUMEN

La empresa fabrica y comercializa productos adhesivos con base de cemento, los cuales se utilizan para pegar pisos y azulejos. También produce cementos decorativos, niveladores y boquillas. Cuenta con 75 empleados, y también participa en el mercado de depósitos de agua. La empresa no cuenta con un departamento de mantenimiento como tal, entonces sus actividades de mantenimiento se ven afectadas por la falta de organización, lo que se traduce en un aumento de los paros de la línea de producción de agregados, reduciéndose así la capacidad de producción y a la vez la productividad de la línea.

En este trabajo, una vez expuesto el problema, se selecciona un tipo de programa de mantenimiento que cubra las necesidades actuales de la empresa, teniendo en mente los alcances y las limitaciones. Se exponen y se profundizan los puntos más importantes del programa de mantenimiento preventivo, con el objetivo de mudar del tipo de mantenimiento correctivo actual y, a la vez, se introducen nuevos conceptos en materia de mantenimiento que sirven para controlar el sistema en su totalidad y promover mejoras continuas que ayudarán al planificador de mantenimiento a ser más preciso en sus labores.

Finalmente, se exponen los resultados obtenidos a lo largo de 4 meses, entre los cuales se observa una mejora significativa, y se incentiva al seguimiento del programa con el objetivo de continuar las etapas naturales del sistema de mantenimiento, que son de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo.

OBJETIVOS

General

Minimizar los paros no programados en la línea de producción de agregado mediante un programa de mantenimiento preventivo.

Específicos

1. Reducir los costos de mantenimiento correctivo generados en la empresa.
2. Optimizar el proceso con el uso adecuado de insumos de mantenimiento.
3. Minimizar los costos de reproceso de la materia prima.
4. Establecer un sistema de registro de mantenimiento.
5. Crear un sistema de base de datos para mejorar el control de inventario de mantenimiento.
6. Implementar rutinas de mantenimiento preventivo entre el personal de mantenimiento.
7. Implementar prácticas de mejora continua para los procesos.

INTRODUCCIÓN

Las tendencias de producción actuales se presentan de tal manera que la producción debe satisfacer la mayoría de demanda existente en el mercado, con el fin de no perder la competitividad y ceder espacio a nuevas industrias emergentes. Para que las empresas mantengan su nivel productivo son necesarios estándares de producción que satisfagan al cliente en calidad, tiempo de entrega, volumen de entrega y servicio al consumidor.

Uno de los factores importantes que asegura que se cubran las necesidades de producción es la conservación de los equipos productivos, buscando mantener, en buenas condiciones y en funcionamiento el mayor tiempo posible, las máquinas que realizan los trabajos de transformación de la materia prima. Esta conservación se consigue mediante un programa de mantenimiento adaptado a distintas políticas, como pueden ser políticas basadas en el fallo, en el tiempo de vida del sistema, en reingeniería y en la predicción técnica de fallas.

El programa de mantenimiento debe contar con puntos básicos con los cuales se busca estandarizar el proceso que debe seguir una tarea de mantenimiento. Entre los puntos importantes se mencionan la organización de los materiales necesarios para la tarea de mantenimiento y la identificación de los subsistemas que componen la línea de producción y de sus elementos mecánicos críticos que tienen mayor probabilidad de falla.

Para entender el proceso de producción de la línea de agregado se modela esta como un sistema que cuenta con subsistemas, y estos subsistemas a la vez cuentan con componentes. De esta manera se divide a la línea para lograr identificar cada segmento que necesita mantener la calidad económica del servicio. El sistema cuenta con entradas (materia prima), salidas (producto) y con un ciclo de retroalimentación y control cuyo objetivo es el de determinar las variaciones en las salidas del sistema para poder tomar acciones de control.

Debido a que en la empresa no existe un programa de mantenimiento formal, se plantea un programa preventivo que tiene como objetivo reducir los paros por falla de máquina, aplicando una serie de rutinas diarias para controlar los puntos críticos, programando semanalmente actividades de revisión de equipos y efectuando un cronograma mensual que refleje las actividades más largas del programa de mantenimiento. Se introduce el concepto de registros de mantenimiento para generar datos históricos que puedan ser consultados para implementar controles y mejoras. La teoría de inventarios se implementa para atender las necesidades del departamento de material y repuestos de mantenimiento de forma oportuna, agilizando las tareas de reparación, lubricación, ajuste, limpieza y demás.

Para controlar el sistema se tienen índices de estándares internacionales como disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad, para establecer los parámetros de funcionamiento de un programa de mantenimiento en desarrollo. Adicionalmente se introduce el concepto de beneficio-costo, el cual indicará si el programa está generando beneficios monetarios a la empresa y si debe seguir siendo financiado.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. Cemix S.A.

Empresa de origen mexicano que opera en seis países a través de veinte plantas productivas y veintitrés centros de distribución, donde se ofrecen las siguientes líneas de productos:

- Instalación y recubrimientos cerámicos y pétreos
- Recubrimiento decorativo y protección de muros
- Concreto decorativo
- Impermeabilizantes
- Almacenamiento de agua y rotomoldeo

1.1.1. Ubicación

La planta productiva guatemalteca se encuentra ubicada en el kilómetro 29,3, carretera CA-9 sur, de Amatitlán, Amatitlán.

1.1.2. Historia

En el año 1978 la empresa inicia operaciones en una pequeña planta en Monterrey, Nuevo León, saliendo al mercado con un adhesivo para la instalación de azulejos. En 1983 se lanza al mercado AMU, el primer adhesivo modificado para la instalación de piso nuevo sobre el existente. También se lanza la línea de estucos ADEBLOK.

Para el año 1987 la empresa ya cuenta con 8 plantas productivas en México y, en el año 1993, inicia operaciones Cemix Centroamérica, con sede en Guatemala, para atender los mercados de Centro y Sudamérica. En el 2011 entra en operaciones Cemix Industries, con dos plantas productivas en Houston Texas y otra en Phoenix Arizona.

1.1.3. Planeación estratégica

1.1.3.1. Misión

“Bajar el costo de la construcción, ofreciendo productos innovadores que simplifiquen los sistemas tradicionales y mejoren la calidad de las obras”¹.

1.1.3.2. Visión

“Fabricar productos innovadores que simplifiquen los sistemas tradicionales, mejoren la calidad de la construcción y permitan reducir el costo final de las obras. No percibimos la innovación sin un claro enfoque a la simplicidad”².

1.1.3.3. Valores

- “Integridad: nos conducimos con estricto apego a la verdad. No mentimos y no inculpamos a los demás. Somos honestos y honrados. Actuamos siempre con principios éticos y con legalidad.

¹ *Quiénes somos*. [en línea] < <http://www.cemix.com/Pages/Nosotros/QuienesSomos.aspx> > [Consulta: 12 de enero de 2016].

² *Enfoque*. [en línea] < <http://www.cemix.com/Pages/Nosotros/Enfoque.aspx> > [Consulta: 12 de enero de 2016].

- **Excelencia:** nos interesamos en el desempeño excelente de los procesos propios y los del entorno. Buscamos permanentemente la máxima calidad en lo que realizamos.
- **Espíritu de trabajo:** trabajamos hacia la consecución de una meta en común, para el beneficio del grupo. Anteponemos los intereses del equipo sobre los personales, fomentamos la participación e integración de los demás.
- **Compromiso:** estamos predispuestos a actuar proactivamente, buscando ir más allá de lo esperado. Implica generar acciones concretas enfocadas al beneficio del negocio, demostrando lealtad y fidelidad a la compañía. Buscamos nuevas oportunidades de solución a los problemas”³.

1.1.4. Gama de productos

Existen varios productos para la industria de la construcción, materiales que se emplean en procesos de instalación y enboquillamiento de revestimientos cerámicos y de piedra ornamental. La fabricación de estos materiales y sus especificaciones están normadas conforme a los requisitos y procedimientos del Instituto de Normas Nacionales Norteamericanas (ANSI).

Los productos se conocen de forma general como Morteros Adhesivos base de Cemento, los cuales son una mezcla de Cemento Portland , agregados y otros aditivos.La empresa, específicamente, fabrica el mortero adhesivo base de cemento modificado con látex, el cual está conformado por Cemento Portland, agregado y aditivo especial a base de látex (ANSI 118.4).

³Valores. [en línea] < <http://www.cemix.com/Pages/Nosotros/Valores.aspx> > [Consulta: 12 de enero de 2017]

1.1.5. Línea de adhesivos

Los adhesivos que maneja la empresa son:

1.1.5.1. Pegamix original

Adhesivo en polvo base de cemento para la instalación de recubrimientos de alta y media absorción de humedad. Por sus características es utilizado para la instalación de todo tipo de áreas residenciales y comerciales. Entre sus usos se pueden mencionar:

- Pegar losas de mármol, granito, piedra natural, cerámica y pétreos
- Cemento prefabricado
- Para tráfico ligero a intenso
- Para proyectos de vivienda masiva

Tabla I. Información técnica de Pegamix original

| CARACTERISTICA | DESCRIPCION |
|--|-------------------------|
| Color | Blanco y gris |
| Tiempo de almacenaje | 12 meses |
| Proporción de agua mezclada | 4,8 lts / 20kg |
| Vida de la mezcla en recipiente a 22°C | 2 horas |
| Tiempo abierto a 21°C-25°C | > 50 minutos |
| Tiempo para ajustes a 21°C-25°C | 30 minutos |
| Fraguado inicial | > 1 hora |
| Fraguado final | < 3 horas |
| Resistencia al corte a 7 días en azulejo | > 14 Kg/cm ² |

Fuente: hoja técnica de Pegamix.

1.1.5.2. PSP

Adhesivo en polvo base de cemento modificado con polímeros que incrementan la adhesividad para instalar piezas de nula absorción de humedad, como los porcelanatos. Entre sus usos recomendados pueden mencionarse:

- Pegar porcelanatos, granito, mármol, piedra natural, losetas cerámicas, losetas de vidrio.
- Empaste para concreto pulido, concreto celular, *block*, ladrillo, cerámica existente, paneles de yeso y cemento.
- Tráfico ligero o intenso.
- Instalación de piso sobre piso en tráfico ligero.

Tabla II. Información técnica de PSP

| CARACTERISTICA | DESCRIPCION |
|--|-------------------------|
| Color | Blanco y gris |
| Tiempo de almacenaje | 12 meses |
| Proporción de agua mezclada | 5 lts / 20kg |
| Vida de la mezcla en recipiente a 22°C | 2 horas |
| Tiempo abierto a 21°C-25°C | > 50 minutos |
| Tiempo para ajustes a 21°C-25°C | 30 minutos |
| Fraguado inicial | 6 horas |
| Fraguado final | 14 horas |
| Resistencia al corte a 7 días en azulejo | > 21 Kg/cm ² |

Fuente: hoja técnica de producto de Cemix.

1.1.5.3. Amu

Adhesivo en polvo base de cemento multiusos con polímeros, diseñado para instalación de revestimientos vidriados y pétreos con máxima adherencia. Entre sus usos recomendados se encuentran:

- Unir porcelanatos, mármol, piedra natural, granito, losetas cerámicas, losetas de vidrio, cantera, mosaicos en piscinas.
- Para empaste de cemento arena, concreto pulido, concreto celular, *block* de barro, ladrillo, piso, azulejo existente, paneles de yeso o cemento.
- Instalaciones de adherencia extrema como piso nuevo sobre viejo en exteriores, resistente a la intemperie y los cambios bruscos de temperatura.

Tabla III. Información técnica de Amu

| CARACTERISTICA | DESCRIPCION |
|--|-------------------------|
| Color | Blanco y gris |
| Tiempo de almacenaje | 12 meses |
| Proporción de agua mezclada | 2.6 lts / 20kg |
| Vida de la mezcla en recipiente a 22°C | 2 horas |
| Tiempo abierto a 21°C-25°C | > 50 minutos |
| Tiempo para ajustes a 21°C-25°C | 30 minutos |
| Fraguado inicial | 6 horas |
| Fraguado final | 14 horas |
| Resistencia al corte a 7 días en azulejo | > 21 Kg/cm ² |

Fuente: hoja técnica de producto de Cemix.

1.1.5.4. Adeblok

Recubrimiento en polvo base de cemento diseñado para recubrir muros de *block*. Adeblok sustituye el sistema tradicional de zarpeo, afine, pintura y sellado de muros y cielos en un solo paso. Sus usos son los siguientes:

- Recubre superficies de *block*, barro, concreto celular y mortero base de cemento-arena.
- Uso en interior y exterior.

Tabla IV. Información técnica de Adeblok

| CARACTERISTICA | DESCRIPCION |
|---------------------------------|--------------------------|
| Densidad del producto en polvo | 1100 kg/m ³ |
| Porcentaje de agua mezclada | 20% |
| Resistencia a la compresión | 60-80 kg/cm ² |
| Porcentaje de absorción de agua | 2 a 4% |
| Fraguado inicial | 3 a 6 horas |
| Fraguado final | 6 a 9 horas |

Fuente: hoja técnica de producto de Cemix.

1.1.6. Estructura organizacional

Para sus labores industriales, Cemix se divide en tres gerencias, las cuales deben presentar informes de sus labores a un director general. Estas gerencias son:

1.1.6.1. Gerencia de operaciones

Esta gerencia tiene a su cargo la gestión de las operaciones productivas de la planta, específicamente las involucradas con los esfuerzos para cumplir con la producción pronosticada. La gerencia de operaciones recibe retroalimentación de tres gerentes:

- Gerente de producción: tiene a su cargo el análisis de índices de desempeño de la línea de producción, mediante la delegación de funciones al jefe de producción.
- Gerente de control de calidad: verifica y revisa el cumplimiento de las normas a las que el producto está sujeto para velar que el cliente final reciba un producto de alta calidad y desempeño.
- Gerente de logística: encargado de las líneas de distribución del producto.

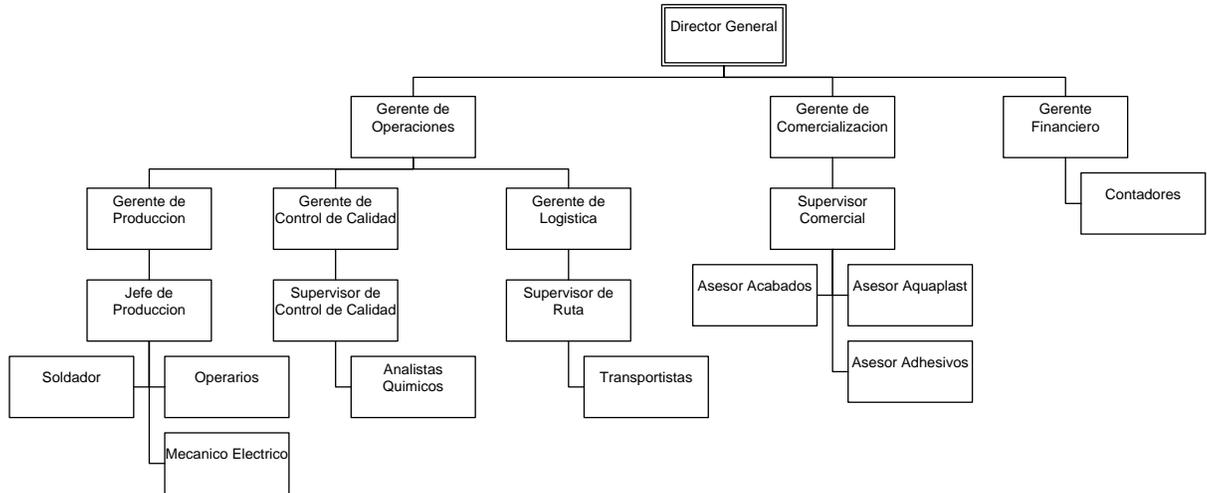
1.1.6.2. Gerencia de comercialización

El gerente de comercialización impulsa nuevos proyectos de ampliación del mercado del producto y analiza, mediante una mezcla de mercado, la forma de distribución más eficiente para cada producto que la empresa produce. Está auxiliado por un supervisor comercial, quien revisa las metas de ventas alcanzadas en el año en curso y presenta resultados al gerente comercial.

1.1.6.3. Gerencia de finanzas

Revisa y audita el flujo del dinero a lo largo de todas las fases de producción y comercialización, y coteja los datos de ganancias con los datos de gastos y rendimiento mensual.

Figura 1. Organigrama general



Fuente: Cemix de Centroamérica.

1.2. Paros no programados

Los tiempos muertos son, junto a las pérdidas por velocidad y pérdidas de calidad, los factores a minimizar mediante un plan de mantenimiento.

1.2.1. Definición

Los paros no programados ocurren debido a la falta de planificación de un entorno controlado en el que se anticipan las fuentes de falla que podrán frenar las metas de producción, restándole a la empresa la capacidad óptima de manufactura.

1.2.2. Causas de los paros no programados

La variación de la capacidad entre procesos sugiere que en la línea de producción se encuentran cuellos de botella donde la materia prima se procesa a velocidad más lenta y, por lo tanto, a un ritmo de producción más lento. Esto puede atribuirse a la antigüedad de las máquinas que trabajan en conjunto con maquinaria moderna. El largo tiempo de puesta a punto de la línea de producción se debe a la poca planificación de actividades de mantenimiento con procesos establecidos en donde no se estandarizan estos procesos y no existe un control estricto sobre ellos. Las detenciones imprevistas de máquinas son causa frecuente de un paro no programado y son consecuencia de la falta de un plan de mantenimiento preventivo. En este sentido, la administración debe implementar sistemas de control para decidir ante qué tipo de problemas se debe actuar antes que el problema en un entorno productivo empeore. También es de vital importancia observar en forma oportuna si los métodos actuales de trabajo cumplen los objetivos.

1.2.3. Causas comunes y causas especiales de variación en el proceso productivo

Todos los procesos productivos tienen variaciones que se generan a partir de los factores 6M:

- Materiales
- Maquinaria
- Medición
- Mano de obra
- Métodos
- Medio ambiente

Estos factores influyen en las variables de salida del producto en forma natural y también aportan variaciones especiales o fuera de lo común, debido a que las 6M sufren cambios (desgaste, desajuste, errores, descuidos, fallas, entre otros).

1.2.3.1. Variación por causas no atribuibles, comunes o por azar

Aportaciones naturales de las 6M que, ocasionalmente, llevan a los paros no programados, suceden diariamente y presentan una gran oportunidad de mejora para reducir los paros no programados mediante la anticipación de fallas por medio de ensayos no destructivos, métodos estadísticos de predicción de fallas de maquinaria, capacitación de mano de obra de mantenimiento, actualización de métodos y rutinas y plan de mantenimiento preventivo.

1.2.3.2. Causas especiales (o atribuibles)

Son situaciones o circunstancias súbitas que no se encuentran permanentemente en el proceso: falla ocasionada por el mal funcionamiento de un elemento mecánico, una mala operación de montaje por parte del operario de mantenimiento y otros. A menudo pueden ser identificadas y eliminadas si se cuenta con un registro histórico, así como con los conocimientos y condiciones, medios de capacitación al personal operativo de mantenimiento y la correcta elección de proveedores de insumos.

Línea de producción

A continuación se examina detalladamente la línea de producción.

1.2.4. Definición

Se agrupan un extenso número de productos que tienen usos semejantes y características físicas muy parecidas, por lo que constituyen una línea de producción, la cual, mediante el conjunto armonizado de subsistemas como neumáticos, hidráulicos, mecánicos, electrónicos y demás, transforman o integran la materia prima en otros productos.

1.2.5. Tipos de producción

El tipo de producción es la forma en la que una empresa organiza y realiza sus operaciones para lograr una secuencia lógica entre las etapas del proceso productivo.

1.2.5.1. Producción continua

El sistema de producción continua es utilizado en empresas que elaboran productos sin muchas modificaciones por un largo período, el ritmo de producción es elevado y las operaciones de la línea se ejecutan sin interrupción o cambios. Si el producto siempre es el mismo y el proceso productivo no cambia, el sistema puede perfeccionarse.

1.2.5.2. Producción por lotes

Las empresas que producen por lotes producen una cantidad limitada de cierto producto cada vez. Esa cantidad limitada se denomina lote de producción. Los lotes son calculados para satisfacer cierta demanda o volumen de ventas en un determinado período. En la producción por lotes el plan de producción se basa en la demanda, con lo cual la empresa puede aprovechar de mejor manera los recursos y con mayor grado de libertad

1.2.5.3. Producción por pedido

La producción comienza solamente después de haber recibido el pedido o encargo del cliente. En primer lugar, la empresa promociona el producto o servicio al mercado objetivo; cuando se recibe el pedido se prepara para producir. El plan de cotización pasa a ser utilizado para planear el trabajo a realizar con el fin de atender al cliente. Para llevar a cabo la producción se relacionan dos factores:

- Relación de las materias primas necesarias
- Relación de la mano de obra especializada

1.3. Agregados de construcción

A continuación se examinan los agregados de construcción.

1.3.1. Definición

Con el término de agregados hace referencia a los materiales destinados a la elaboración del hormigón u concreto, material estructural y de construcción,

estos conformados por las arenas (agregado fino) y las gravas (agregado grueso). Los agregados o áridos constituyen cerca del 80% del volumen en una mezcla de concreto. Los agregados no solamente se utilizan como composición del concreto. Una clasificación más amplia los coloca como agregados para concretos y morteros, agregados para concretos asfálticos, agregados para carreteras, agregados industriales, agregados ligeros, todos estos mediante su mezcla con aglomerantes de activación hidráulica (cementos, cales) o ligantes asfálticos.

1.3.2. Agregados calizos

Para los procesos de trituración se presenta la roca caliza como abundante y económica. Se emplean comúnmente en la capa de firmes y en pocas ocasiones como agregado en capas de rodadura. Los agregados provenientes de caliza muestran facilidad de adhesividad, por lo que su uso predomina en ligantes. Estos agregados para concreto, obtenidos de la piedra caliza geológicamente formada de sedimentos calcáreos, están compuestos principalmente por carbonato de calcio (77%) y carbonato de magnesio (13%). Los agregados producidos de la trituración de esta roca se caracterizan por tener una alta absorción y gran cantidad de finos.

1.3.3. Materia prima utilizada para el proceso

A continuación se da noticia de la materia prima más útil para este proceso.

1.3.3.1. Piedra caliza

Es una roca de tipo sedimentaria propia de las localidades tropicales. Está compuesta en su mayoría por carbonato de calcio (CaCO_3) y en pequeñas

cantidades magnesita ($MgCO_3$) y otros carbonatos. A la piedra caliza también se le suman materiales no deseables como arcilla, siderita, hematita y cuarzo, que pueden modificar el color y el grado de coherencia de la propia roca. A pesar de ser un material muy pesado, la piedra caliza es fácilmente procesable, degradada, desmenuzable y soluble en ácido clorhídrico. Su utilización es muy extensa en el área de la construcción, principalmente en la fabricación del cemento, en forma de grava y arena fragmentada en la composición del concreto. Materia prima para la industria del cemento tipo *Portland*, cal hidratada, agregados pétreos y también puede ser usada como elemento principal junto a otros agregados para fabricar morteros de cal, estucos y lechadas para el acabado de pisos, paredes y techos.

1.3.4. Proveedores de materia prima

A continuación se habla del proveedor existente de materia prima.

1.3.4.1. Cantera

La extracción minera de rocas para la industria de la construcción se realiza mediante una mina a cielo abierto llamada Cantera. La cantera se ubica en una zona de abundantes formaciones rocosas particulares y de esta se obtienen usualmente rocas industriales, ornamentales y agregados o áridos. Las principales rocas obtenidas de una cantera son los mármoles, granitos, calizas y pizarras, aunque estas rocas también contienen algunos minerales. Para la extracción de rocas en cantera se comienza con pozos superficiales que van aumentando de tamaño a medida que las rocas son removidas.

Una cantera puede ser de dos tipos: de explotación de rocas y de grava y rocas. La cantera para rocas de dimensión está destinada a la extracción de

grandes bloques que son usados para la manufactura de baldosas, azulejos, lajas, tejas y mesadas. Las canteras de grava y rocas de partículas pequeñas son especiales para agregados ornamentales o industriales.

Figura 2. **Cantera**



Fuente: MAMLOUK, Michael S.; ZANIEWSKI, John P. *Materiales para ingeniería civil*. p. 168.

1.4. Mantenimiento

A continuación se exponen los aspectos más importantes relacionados con el mantenimiento.

1.4.1. Definición

Es el control constante y sistemático de las instalaciones y componentes, así como el conjunto de trabajos de reparación y revisión necesarios que garantizan el funcionamiento regular y estado de conservación de un proceso en general. Se entiende la importancia de la necesidad de la evolución del área

de mantenimiento para adaptarse a las necesidades de una industria cambiante.

1.4.2. Enfoque del mantenimiento

La labor de mantenimiento es un proceso en constante evolución que ha desarrollado diversas tácticas, técnicas, tecnologías y acciones que convierten al departamento mantenimiento en un sistema que interactúa con otros para lograr un objetivo en común. A continuación se mencionan los distintos enfoques del mantenimiento a través del tiempo.

1.4.2.1. Enfoque de las acciones de mantenimiento

En este momento se observan las primeras acciones, técnicas y tecnologías que llevan al personal de mantenimiento a realizar acciones puramente correctivas y que se relacionan con la producción al corregir los paros imprevistos ordenados en forma prioritaria. Al ver sobrepasadas las acciones correctivas, como consecuencia del aumento del ritmo de producción, es necesaria la aparición de una nueva actividad que tiene como objetivo reducir las paradas repentinas de los equipos con acciones preventivas y predictivas. Las acciones preventivas están acompañadas de un programa maestro que determina tareas planeadas o programadas, utilizando mecanismos de manejo y recolección de información histórica para generar simulaciones fiables del comportamiento del equipo y así prever los repuestos específicos y a la vez concretar directrices de contratación o subcontratación de personal.

1.4.2.2. Enfoque de la organización

En este espacio se identifican las tácticas que adopta el departamento de mantenimiento en un sistema organizado. Entre las más importantes están: Mantenimiento Productivo Total (TPM), Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC), Mantenimiento centrado en habilidades y competencias (PMO).

1.4.2.3. Enfoque logístico integral de creación

Este espacio del enfoque de mantenimiento utiliza herramientas y parámetros que se interesan en medir los resultados del plan previamente establecido y recopilar la suficiente información para crear un sistema de costeo propio del departamento de mantenimiento, y en general para aplicar métodos de control de las actividades realizadas.

1.4.2.4. Enfoque de las habilidades y competencias

La capacitación constante del personal operativo fomenta el desarrollo y la mejora continua en las tareas diarias. Se recomienda la formación de grupos de trabajo promoviendo la utilización de herramientas de análisis de problemas, como por ejemplo el árbol de problemas, análisis modal de fallos y efectos de equipos, diagrama de Ishikawa o análisis de Pareto.

En esta etapa también se pretende profundizar en el uso de herramientas de análisis económico, como pueden ser la investigación de operaciones y el control de inventarios de mantenimiento, mediante métodos como ABC, método de doble compartimiento, Pedido Cíclico o método mínimo-maximo.

1.4.2.5. Enfoque de la gestión económica del mantenimiento

Para muchas empresas el control del costo de mantenimiento es una parte importante de la gestión económica, al considerar la fabricación de un producto o brindar un servicio como un proceso. Se pretende integrar todo el conocimiento de los enfoques previos para manejar con mayor flexibilidad y éxito los costos implicados en el mantenimiento.

En la gestión económica del mantenimiento el flujo monetario que lo conforma se podría dividir en Activo (generación de riqueza, adición de valor al producto) y Pasivo (costo, inversión o gasto). La gestión del mantenimiento requiere que las acciones recurrentes de mantenimiento generen aumento de la capacidad de producción y agreguen valor y mejora continua, con el fin de generar una ventaja competitiva en el mercado. Los departamentos de mantenimiento se convierten en un centro de costo elevado, convirtiéndose en un factor muy importante y crítico en la gestión de activos. Para alcanzar dicha gestión sobresalen:

- Aumento de la disponibilidad y del tiempo operacional sin fallas o reparaciones de la línea de producción (aumento de la confiabilidad y mantenibilidad).
- Inversión en investigación y desarrollo enfocado al mantenimiento.
- Reducción de los tiempos de reparación y mantenimiento planeado (reducción de tiempos correctivos, preventivos, predictivos, de demora de insumos).

1.4.3. Tipos de mantenimiento

A continuación se examinan los tipos de mantenimiento.

1.4.3.1. Mantenimiento correctivo o por fallas

Son las actividades que se realizan con el fin de reparar o sustituir los elementos deteriorados en el momento de la falla. Este sistema resulta aplicable en sistemas complejos, en componentes electrónicos o en los que es imposible predecir los fallos y en los procesos que pueden ser interrumpidos en cualquier momento y durante cualquier tiempo. Para estas acciones no hay planeación ni programación, y su utilización es común cuando los costos de otras estrategias de mantenimiento no pueden justificarse. A pesar de la mayor ventaja de este tipo de mantenimiento, que es la utilización de los elementos mecánicos toda su vida útil, se presenta el inconveniente que la falla repentina conlleva un paro no programado de la línea de producción, lo que se traduce en pérdidas monetarias.

Dependiendo de la urgencia de la reparación correctiva, se puede optar por aplicar una reparación para poner en marcha nuevamente el equipo, sin analizar la causa de falla raíz y la reparación definitiva que se emplea cuando se cuenta con un alto grado de experiencia y se deduce fácilmente la causa raíz.

1.4.3.2. Mantenimiento preventivo

Es el conjunto de actividades programadas con anticipación, tales como inspecciones regulares, pruebas, reparaciones, entre otros, con el objetivo de reducir la frecuencia y el impacto de los fallos en una línea de producción.

1.4.3.2.1. Mantenimiento preventivo basado en el uso o tiempo

Se refiere a la frecuencia de revisión de acuerdo a las horas de funcionamiento o un horizonte de tiempo y calendario establecidos. Para lograr el éxito deseado es necesario un nivel alto de planeación, rutinas y manual de procedimientos.

1.4.3.2.2. Mantenimiento preventivo basado en la condición

Tipo de mantenimiento que busca maximizar la vida útil del elemento mecánico, con lo cual se consigue una reducción de los costos asociados de mantenimiento. La condición del equipo se analiza vigilando parámetros clave para su funcionamiento, como variables que son determinadas por la condición del mismo.

1.4.3.3. Mantenimiento de modificación del diseño

Las estrategias modificativas se llevan a cabo cuando se ha recurrido a un análisis de las causas raíz de fallas del diseño actual del proceso, en donde se determina que realizando modificaciones al equipo se puede lograr que alcance un nivel aceptable de funcionalidad. Dicha estrategia implica mejoras, inversión, expansión de fabricación, capacidad y reingeniería. Requiere una elevada coordinación de los departamentos de mejora, mantenimiento, producción y otros dentro de la organización.

1.4.3.4. Mantenimiento predictivo o condicional

Utiliza métodos avanzados de análisis para inspeccionar y evaluar los parámetros de funcionamiento de un equipo. Estudia constantemente los factores internos y externos asociados al proceso de operación de una máquina y predice la aparición de fallas en el futuro. La predicción de los parámetros de funcionamiento involucra las matemáticas, estadística, pronósticos, correlaciones, aleatorios, multivariantes, y se puede realizar en forma periódica siempre y cuando se tenga disponibilidad de la planta, según el proceso y el tipo de inversión que se puede realizar.

2. DIAGNÓSTICO SITUACIONAL

2.1. Descripción de los procesos productivos de la empresa

La empresa recibe diferente materia prima de diversas fuentes, de la cuales alguna se recibe preprocesada, como el cemento tipo Portland y la cal, y otra, como la roca caliza, se recibe de las canteras nacionales de forma natural y es procesada en la planta para producir el agregado que constituye determinado producto.

Figura 3. **Elaboración de mortero de cemento-arena**

| Morteros de cemento y arena | | | | | |
|-----------------------------|-----------------------|-------|--|--|--------------------------------|
| Tipo de mortero | Proporción en volumen | | kg cemento por m ³ de mortero | Empleo preferente | Resistencia kg/cm ² |
| | Cemento | Arena | | | |
| Ricos | 1 | 1 | 800 | Bruñidos y revoques impermeables. | 160 |
| | 1 | 2 | 600 | Enlucidos, revoque de zócalos, corrido de cornisas | |
| | 1 | 3 | 450 | Bóvedas tabicadas, muros muy cargados, enlucidos de pavimento, enfoscados. | |
| Ordinarios | 1 | 4 | 380 | Bóvedas de escalera, tabiques de rasilla. | 130 |
| | 1 | 5 | 300 | Muros cargados, fábrica de ladrillos, enfoscados. | 98 |
| Pobres | 1 | 6 | 250 | Fábricas cargadas. | 75 |
| | 1 | 8 | 200 | Muros sin carga. | 50 |
| | 1 | 10 | 170 | Rellenos para solado. | 30 |

Fuente: *Mortero de cemento-arena.*

https://www.uclm.es/ing_rural/Hormigon/Temas/Morteros.pdf.

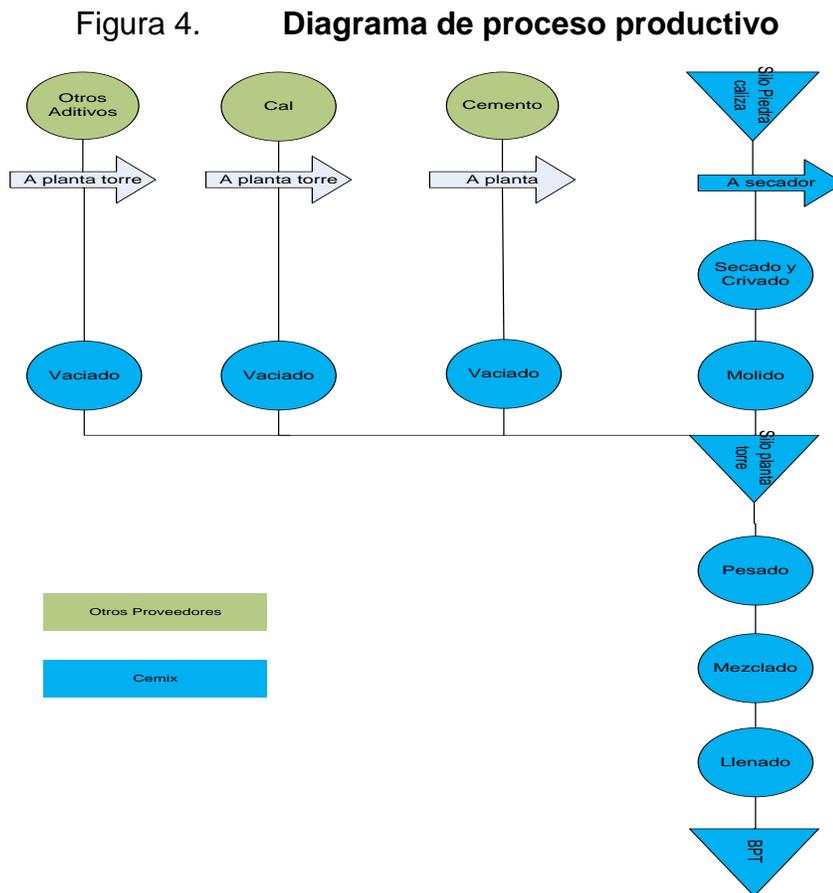
[Consulta: 21 de noviembre de 2016]

2.1.1. Producción de polvo de piedra

En este proceso se transforman las propiedades físicas de la roca caliza extraída en forma natural de la cantera, convirtiéndola en polvo de piedra que se utiliza como agregado para la formulación del producto final.

2.1.2. Formulación de *batch*

En este proceso se toman los productos almacenados en la planta torre y se procede a realizar la mezcla de los mismos para formular el *batch* correspondiente a cada producto en particular.



Fuente: elaboración propia.

2.2. Costos de mantenimiento

Para una empresa que busca mejorar la eficiencia de sus procesos, el control de los costos asociados a cada departamento es fundamental, recordando que la eficiencia se consigue mediante la reducción de los insumos de entrada y aumentando los productos de salida. Es necesaria la implementación de métodos de registro, planificación y reducción de costos. El costo de mantenimiento cuenta con muchos componentes, entre los cuales pueden incluirse los siguientes:

- Costo directo de mantenimiento
- Costo de deterioro del equipo
- Costo de calidad de las especificaciones por falla de maquinaria
- Costo de paro no programado
- Costo de exceso de mantenimiento
- Costo de mal manejo de inventario, duplicidad o falta de equipo

Adicionalmente a la clasificación antes mencionada, las normas internacionales contables presentan la siguiente clasificación de los costos de mantenimiento:

- Costos fijos de mantenimiento: estos costos no se ven influenciados por el volumen de producción, porque están asociados a las acciones planeadas de mantenimiento.
- Costos variables de mantenimiento: estos gastos se generan cuando ocurren fallas o reparaciones no planeadas, o son de carácter modificativo o correctivo no planeado.

2.2.1. Análisis de costos de mantenimiento

En la empresa, la planificación de los recursos destinados a producción se programa para todo el año de operaciones y, al no contar con una gerencia de mantenimiento, se destina una parte de este presupuesto a mantenimiento.

2.2.1.1. Costos mensuales

A falta de una planificación por parte del personal de mantenimiento, los costos incurridos por mes no se clasifican y solo se registran en forma general en el presupuesto anual. Solo se reportan los costos especiales que se generan si sucede una emergencia de mantenimiento a la cual se deban destinar más recursos de lo planificado. De ser así se hace una solicitud al director general.

Tabla V. Costos mensuales

| DESCRIPCION | PORCENTAJE ESTIMADO DE COSTO MENSUAL |
|---|--------------------------------------|
| Costo directo | 35% |
| Costo de deterioro del equipo | No hay registro |
| Costo de la calidad de producto (reproceso) | 5% |
| Costo de paro no programado | 30% |
| Costo de exceso de mantenimiento | 10% |
| Costo de mal manejo de inventario, duplicidad o falta de equipo | 20% |

Fuente: elaboración propia, con base en análisis de campo.

El análisis de este cuadro revela, por ejemplo, que si del presupuesto se destinara un monto de Q. 100 000,00 anuales para mantenimiento,

mensualmente se estarían empleando Q. 8 333,33. Esto quiere decir que los costos mensuales de mantenimiento están distribuidos de la siguiente manera:

Tabla VI. **Estimación de costos**

| COSTO | En Quetzales mensuales |
|--------------------------|-------------------------------|
| Directo de mantenimiento | 2916,00 |
| Deterioro | NA |
| Reproceso | 416,66 |
| Paro no programado | 2499,99 |
| Exceso de mantenimiento | 833,33 |
| Mal manejo inventario | 1666,66 |

Fuente: elaboración propia.

De este análisis hipotético se puede observar que si se reducen los costos de calidad de producto, de paro no programado, de exceso de mantenimiento (correctivo), y si se orienta de mejor manera el inventario, el ahorro podría llegar a ser de Q. 5, 416,64 mensuales.

2.2.1.2. Costos semestrales

Al no contar con un registro semestral específico para mantenimiento, las oportunidades de mejora se reducen, al no poder tomar decisiones en cuanto a los gastos para la segunda mitad del año. En este registro se deben incluir índices como:

- Costo de personal subcontratado
- Costo indirecto de mantenimiento
- Costo por accidentes laborales

2.2.1.3. Costos anuales

Debido a que el departamento de producción absorbe los costos de las tareas de mantenimiento actuales, los costos anuales de mantenimiento se distribuyen en los costos de operación.

2.3. Proveedores de mantenimiento

A continuación se aborda el tema de los proveedores de mantenimiento.

2.3.1. Proveedores de elementos mecánicos

2.3.1.1. Prosain

Empresa con 27 años en el mercado, presta los servicios técnicos y de taller de electromecánica de tipo industrial, donde se realizan ajustes relacionados al mantenimiento preventivo. También ofrecen el servicio de vulcanización e instalación de fajas transportadoras.

2.3.1.2. Abinsa

Empresa que se especializa en la venta de rodamientos, bandas de transmisión de potencia y poleas, retenedores de aceite, cadenas, uniones, *sprockets*, herramientas para extracción de cojinetes y lubricantes, grasas y aceites. Adicionalmente, ofrece capacitaciones, importación y asesorías en campo

2.3.2. Proveedores de lubricantes

2.3.2.1. Lubricantes internacionales de Guatemala (LUISA)

Distribuidor de productos Chevron en el país desde hace 15 años. Actualmente se especializa en productos Valvoline y provee lubricantes para las industrias de energía, construcción, transporte, talleres de servicio. Cuenta con programas de capacitación, asesoría de campo y servicio de análisis de aceite y desgaste de piezas.

2.3.3. Proveedores de servicios

2.3.3.1. System

Empresa que presta servicios de mantenimiento a motores eléctricos, rebobinado, venta e importación de motores; servicio de medición de consumo eléctrico y economía de plantas, así como capacitaciones y asesoría técnica en campo.

2.3.3.2. Talleres Einstein

Presta los servicios de rebobinado de motores, mantenimiento preventivo y predictivo, instalaciones eléctricas industriales como acometidas eléctricas, atención a subestaciones, iluminación de edificios, centros de carga para líneas de producción y estudios de calidad de energía. Talleres Einstein es miembro activo de la acreditación EASA para servicios electromecánicos.

2.3.4. Proveedores fuera del país

Estos proveedores están sujetos a otros factores para la entrega de los productos que fabrican, debido a que son equipos especializados, los cuales muchas veces se fabrican particularizados a las necesidades de cada cliente, planta o aplicación. Es necesario acudir a ellos cuando se requiere un cambio de equipo.

2.3.4.1. William`s Crusher

Empresa fundada en 1871, líder en la fabricación de pulverizadores, con más de 500 molinos patentados. Cuenta con molinos adaptados a las necesidades de cada cliente. Entre sus productos destacados se pueden mencionar los pulverizadores de martillos, molinos rotatorios, trituradora, separadores de aire, así como el servicio de fabricación a medida, que consiste en visitar a los clientes potenciales y ofrecer la fabricación de acuerdo a el proceso de cada uno.

2.3.4.2. Carrier

Los secadores Carrier emplean tecnología de vibración en el proceso de secado de agregado. Esta empresa fue establecida en el año 1950 y provee soluciones de secado de material de acuerdo al proceso de cada cliente. Entre sus productos más importantes se mencionan los transportadores vibratorios, alimentadores de agregado, secadores de cama fluida y secadores giratorios. Atienden a las industrias de agregado, químicas, plásticas y agrícolas.

2.4. Proveedores de materia prima

A continuación se exponen aspectos relacionados con la materia prima utilizada en el proceso de molido y formulación del material adhesivo.

2.4.1. Tipo de materia prima

- Piedra caliza: rocas carbonatadas compuestas de calcita, tienen estructura de grano fino, algunas calizas son casi calcita pura, mientras que en otros casos contienen materiales parecidos a la arcilla y varios óxidos como impurezas.

2.4.1.1. Análisis químicos de la materia prima

Para el análisis del polvo de piedra caliza se realiza el ensayo de azul de metileno, el cual tiene por objetivo observar el porcentaje de arcillas y absorción del material. El ensayo consiste en generar un valor de azul: cantidad de azul de metileno absorbido por 100 gr finos en 200 cm³ de agua destilada.

En el agitador de paletas se introduce el material más agua en una disolución de azul de metileno, después se deposita una gota de muestra en filtro. El ensayo es positivo cuando aparece una aureola de color azul alrededor del depósito.

2.4.2. Ubicación de proveedores

- Cantera el Rodeo S.A: 12 calle final 29-00 z-18 San Rafael
- Distribuidora La Roca: 12 Calle 1-25 z-10 Géminis 10 torre norte 11-6

2.5. Procedimientos actuales de mantenimiento

2.5.1. Registro histórico de mantenimiento

A falta de un departamento de mantenimiento, la responsabilidad de este en la planta es del gerente de producción, por lo cual no hay un seguimiento de mantenimiento, solo se cuenta con una bitácora inicial del técnico, donde se detallan diariamente las actividades realizadas que luego se envían al gerente de producción. Esta bitácora carece de algún sistema estandarizado de registro, por lo que solo el técnico de mantenimiento sabe interpretar los datos que en ella se consignan lo cual dificultaría si en dado caso se cambiara de técnico, poder establecer una cronología de actividades realizadas con anterioridad.

2.5.1.1. Tipos de fallas

Las fallas más comunes se deben a fatiga de elementos mecánicos que sobrepasan su vida útil o desgaste de piezas por material en proceso. También se encuentran fallas eléctricas por la antigüedad del cableado de las instalaciones al aire libre de la planta.

Tabla VII. **Fallas en el molino de piedras**

| TIPO DE FALLA | FALLA MENSUAL |
|-------------------------------|---------------|
| Desgaste de martillos | 8 |
| Desgaste severo de guardas | 4 |
| Sobrecarga de motor eléctrico | 4 |

Fuente: elaboración propia.

2.5.1.2. Tiempo estimado de fallas

No hay un tiempo estimado entre fallas, debido a que solo se maneja un mantenimiento correctivo y no existe registro de fallas frecuentes. En la bitácora se puede observar por fechas las veces que se presentan fallas. Se tiene con mayor frecuencia el paro del molino, seguido por el del secador. El tiempo estimado entre falla se distribuye de la siguiente manera:

Tabla VIII. Tiempo estimado entre fallas por máquina

| MAQUINA | TIEMPO ENTRE FALLAS |
|------------------------|---------------------|
| Molino de piedras | 10 días |
| Secador | 40 días |
| Tornillo transportador | 35 días |
| Faja transportadora | 30 días |

Fuente: Elaboración propia, con base en análisis de campo.

2.5.1.3. Causas de fallas

La causa de falla frecuente la falta de suministros de mantenimiento y la capacidad de reacción ante una falla, así como el grado técnico de algunos mecánicos, quienes se limitan a realizar reparaciones rápidas y no garantizadas. También debe tomarse en cuenta la antigüedad del equipo y el ritmo de producción.

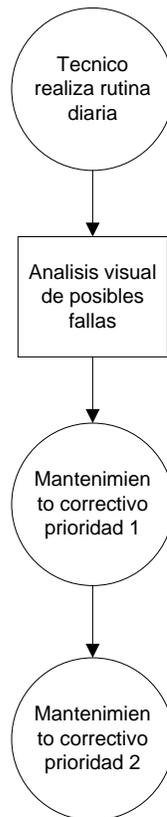
2.5.2. Procedimiento estándar actual

A continuación se explican algunos aspectos relacionados al procedimiento estándar de mantenimiento.

2.5.2.1. Procedimiento de acuerdo a falla

Cuando una falla ocurre, el técnico deja la tarea de mantenimiento correctivo menos prioritaria y acude a atender la falla que genera peligro de paro de línea de producción. El procedimiento observado es el siguiente:

Figura 5. **Procedimiento de mantenimiento de acuerdo a la falla**

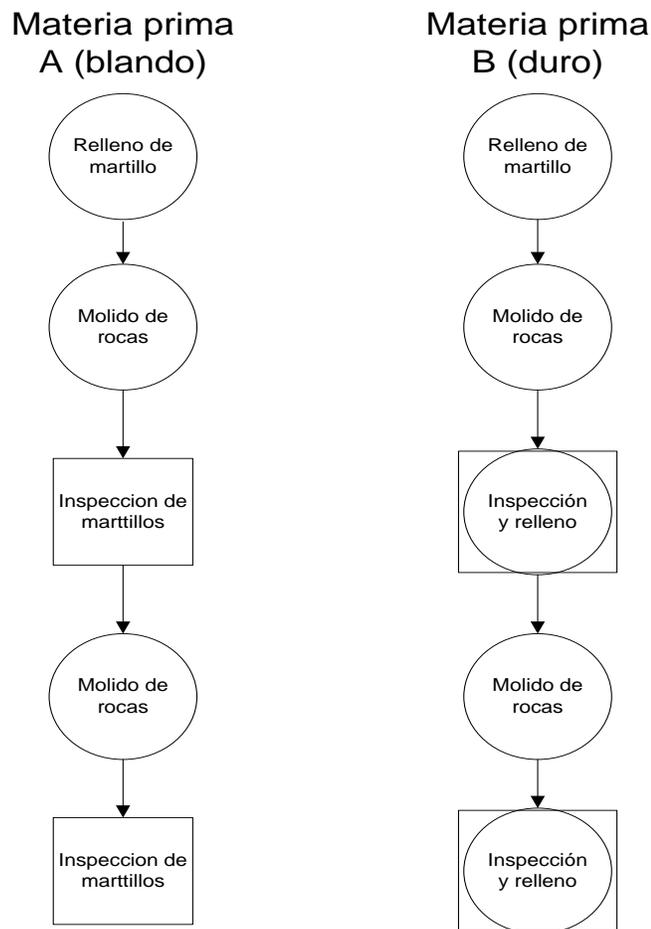


Fuente: elaboración propia.

2.5.2.2. Procedimientos de acuerdo a materia prima en proceso

Se observa que los elementos mecánicos más propensos a desgaste son los martillos del pulverizador de piedra y eso se debe a la dureza del material, porque de dos distribuidores de materia prima, un material es más duro en un distribuidor que en otro. A continuación se detalla el procedimiento de mantenimiento de acuerdo a la materia prima a procesar en el molino de piedra.

Figura 6. Procedimiento de acuerdo al material en proceso



Fuente: elaboración propia.

2.5.2.3. Procedimientos de emergencia

Los procedimientos de emergencia se caracterizan porque el técnico debe emplear el tiempo necesario y dejar las actividades de mantenimiento correctivo previamente establecidas, y enfocar todos los recursos en recuperar el sistema.

Figura 7. Procedimiento de emergencia



Fuente: elaboración propia.

2.6. Herramientas de análisis de problemas

Cuando aparece una falla que genera un problema en la línea de producción, es imprescindible investigar las causas de este problema a fin de encontrar el problema raíz que muchas veces está oculto debajo de obstáculos menos importantes. El gerente, supervisor o técnico de mantenimiento debe analizar los problemas, en conjunto con el personal a sus órdenes y jerarquizarlos para poder resolverlos en orden de importancia.

2.6.1. Análisis de problemas

A continuación se examinan algunas técnicas de análisis de problemas.

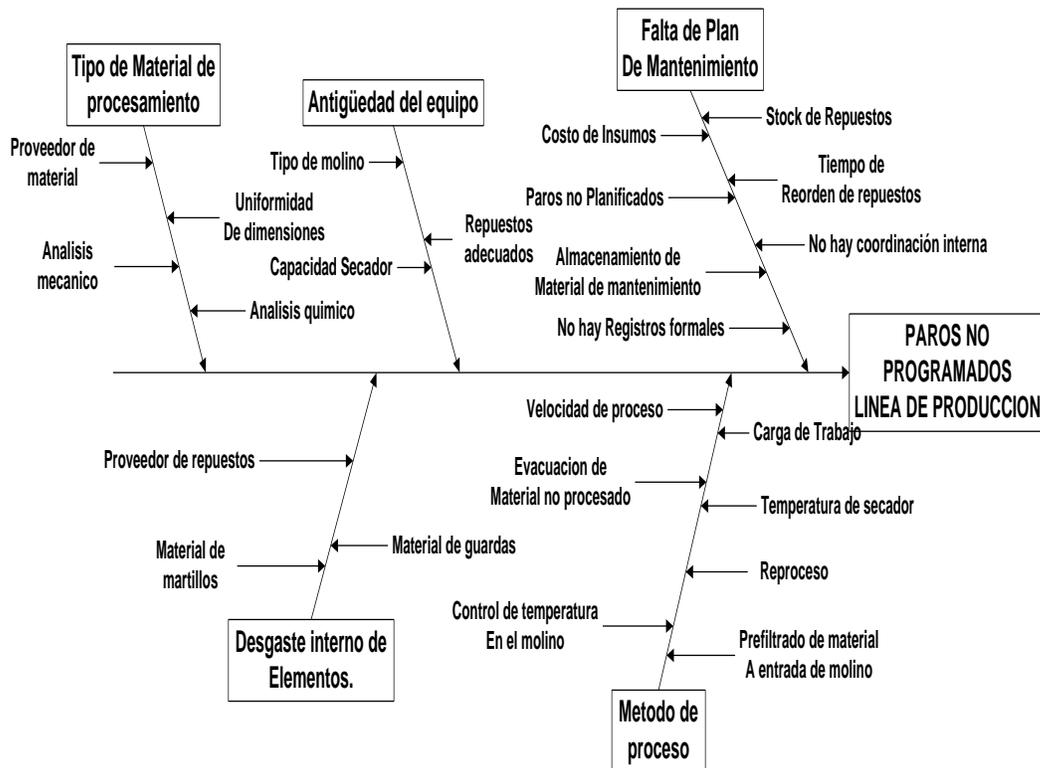
2.6.1.1. Análisis de árbol de problemas

El análisis de la línea de producción refleja que la mayoría de problemas son causados en el pulverizador de piedra, el cual recibe una carga de trabajo elevada, además de que los repuestos son suministrados por una compañía extranjera que provoca la mayor cantidad de paros de la línea.

2.6.1.2. Análisis Ishikawa de causa y efecto

Se enfoca el análisis de causa y efecto en la línea de producción de agregados de piedra y el costo que se genera por sus paros no programados. Se observa que la falta de un plan de mantenimiento preventivo eleva el costo que generan los equipos de la línea de producción, tanto en el desgaste mecánico de sus elementos como en los paros no programados o tiempos muertos.

Figura 8. **Análisis Ishikawa para paros no programados**

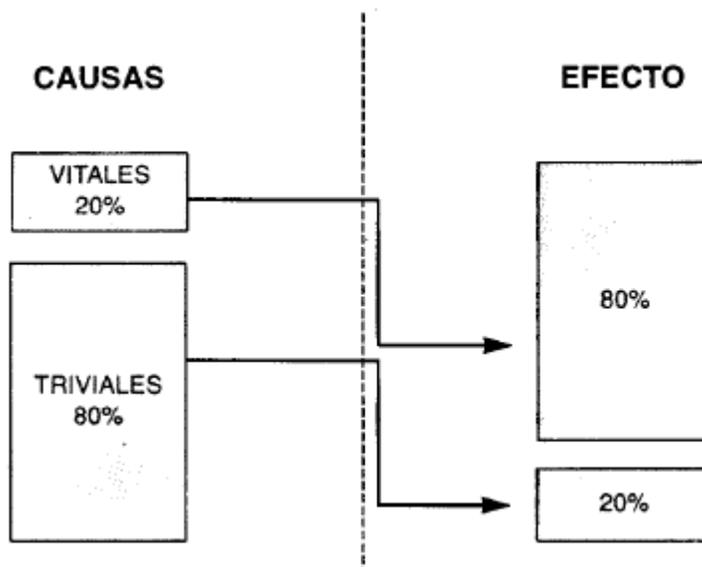


Fuente: elaboración propia.

2.6.1.3. **Análisis de Pareto**

Wilfredo Pareto expuso que el efecto ocasionado por varias causas puede analizarse en una tendencia definida según el siguiente gráfico:

Figura 9. Principio de Pareto



Fuente: DOUNCE VILLANUEVA, Enrique. *La productividad en el mantenimiento industrial*. p. 112.

Esto quiere decir que para cualquier proceso se observa que aproximadamente el 20% de las causas originan el 80% de efectos, mientras el 80% de las causas restantes son responsables tan solo del 20% de efectos. Lo importante de este principio es que se puede aplicar a casi cualquier situación o análisis, por lo que conociendo las causas vitales podrá reducirse la mayoría de efectos en el sistema.

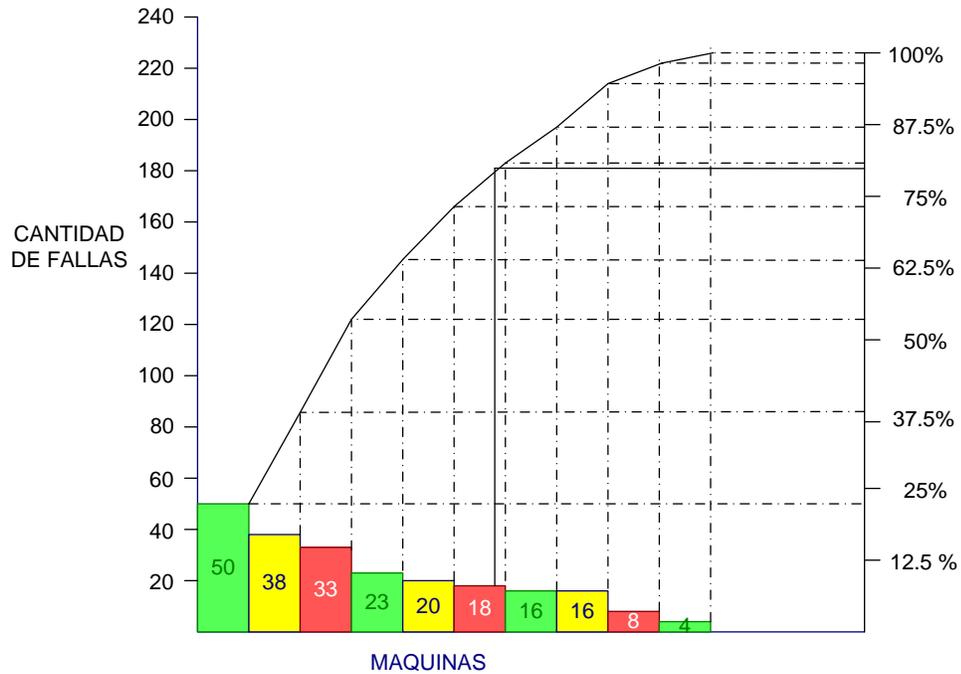
A continuación se propone el análisis de Pareto para las fallas causantes de paros no programados:

Tabla IX. **Lista de comprobación para aplicación de Pareto**

| LISTA DE COMPROBACION DE FALLAS CAUSANTES DE PAROS | | | | |
|---|--------------------------|-----------------------|------------|--------------------|
| EQUIPO | CAUSA DE PAROS | FALLAS ANUALES | % | % ACUMULADO |
| Molino | Martillos pulverizadores | 50 | 22,1238 | 22,1238 |
| Molino | Guardas | 38 | 16,8141 | 38,9379 |
| Molino, secador | Motores eléctricos | 33 | 14,6017 | 53,5396 |
| Molino, secador, transportador | Cojinetes | 23 | 10,1769 | 63,7165 |
| Molino, secador transportador | Chumaceras | 20 | 8,8495 | 72,566 |
| Secador | Bandas | 18 | 7,9646 | 80,5306 |
| Transportador | Fajas transportadoras | 16 | 7,0796 | 87,6102 |
| Transportador | Tornillo transportador | 16 | 7,0796 | 94,6898 |
| Secador | Ventiladores | 8 | 3,5398 | 98,2296 |
| Secador | Quemadores | 4 | 1,7699 | 100 |
| | TOTALES | 226 | 100 | 100 |

Fuente: elaboración propia, con base en análisis de campo.

Figura 10. Gráfica de análisis de Pareto de paros



Fuente: elaboración propia.

Analizando de forma gráfica, puede verificarse que los paros vitales corresponden a un 80% de los efectos en el sistema de producción de agregados. Los equipos que presentan mayores incidencias son:

- Molino
- Secador
- Transportadores de materia prima

Por lo que será más eficiente empezar a tratar los problemas que generan un mayor efecto en el sistema y enfocar los esfuerzos del programa del mantenimiento preventivo en estas fallas.

2.6.1. Análisis de costos

2.6.1.1. Análisis beneficio-costo

Método utilizado para comparar dos alternativas en un proyecto. El B/C como criterio de comparación en este caso se empleará inicialmente con las condiciones observadas en la planta con el método de mantenimiento actual y se comparará con el B/C del programa de mantenimiento final. Para la comparación se toman los siguientes parámetros:

- Si B/C es mayor o igual a 1,0 el programa de mantenimiento ha tenido éxito.
- Si B/C es menor que 1,0 el programa de mantenimiento no ha alcanzado el éxito esperado.

El análisis de costo-beneficio busca identificar un punto donde se mida el aporte del programa de mantenimiento al beneficio bruto que produce la producción de agregado. El costo actual del mantenimiento podría representar poco beneficio relacionado a factores como la utilización de mano de obra en horas extra, reproceso del producto y el costo de mantener una línea en espera de producir, el cual, frente a un paro no programado, se eleva conforme el tiempo.

Tabla X. **Beneficios y costos actuales**

| COSTOS | | BENEFICIOS | |
|-----------------------------------|-----------------|------------------------------|---------------------|
| DESCRIPCIÓN | COSTO TOTAL (Q) | DESCRIPCIÓN | BENEFICIO TOTAL (Q) |
| Costo directo | 5950 | HORAS DE PRODUCCIÓN CONTINUA | 22100 |
| Costo de deterioro | No hay reg. | | |
| Costo de reproceso | 850 | | |
| Costo de paro no programado | 5100 | | |
| Costo de exceso de mantenimiento | 1700 | | |
| Costo de mal manejo de inventario | 3400 | | |
| TOTAL ESTIMADO | 17000,00 | TOTAL ESTIMADO | 22100 |

Fuente: elaboración propia.

Del análisis anterior se obtiene la relación

$$B/C = 22100/17000 = 1,3$$

Esto quiere decir que para un costo promedio y un beneficio promedio por mes, en la empresa se generan Q. 0,3 por cada Q. 1,00 de inversión en el mantenimiento actual, aun cuando se tengan varios paros de equipos en los que el beneficio bruto salga afectado.

3. PROPUESTA PARA LA MINIMIZACIÓN DE PAROS NO PROGRAMADOS

3.1. Plan de mantenimiento preventivo

Para la implementación de un plan de mantenimiento preventivo en el área de procesamiento de piedra caliza se deben programar actividades cuyo objetivo sea disminuir la frecuencia de los fallos y minimizar el impacto en que se puede transmitir un fallo, como puede ser la generación de tiempos muertos, la disminución de la capacidad de producción, los atrasos de los pedidos para los clientes, la alteración de las métricas KPI y los accidentes laborales.

3.1.1. Políticas adaptables al mantenimiento preventivo

Evaluando el tiempo en que se origina el fallo y el tiempo de ejecución de la tarea de mantenimiento se tienen las siguientes políticas:

- Política de mantenimiento que se basa en la vida útil del sistema en la que se efectúan tareas de mantenimiento preventivo en intervalos predeterminados.
- Política de mantenimiento de inspección, en la cual la tarea de mantenimiento preventivo se lleva a cabo después de haber realizado varias tareas de mantenimiento condicional, como inspecciones a intervalos.
- Política de mantenimiento que se basa en el examen o evaluación según las condiciones observadas en el elemento o sistema.

- Política basada en la oportunidad, en la que se programan paros generales y se realiza mantenimiento correctivo y mantenimiento preventivo simultáneamente

Estas políticas de mantenimiento siguen una estrategia definida por el usuario, técnico supervisor o jefe de mantenimiento.

3.1.2. Elementos del plan de mantenimiento

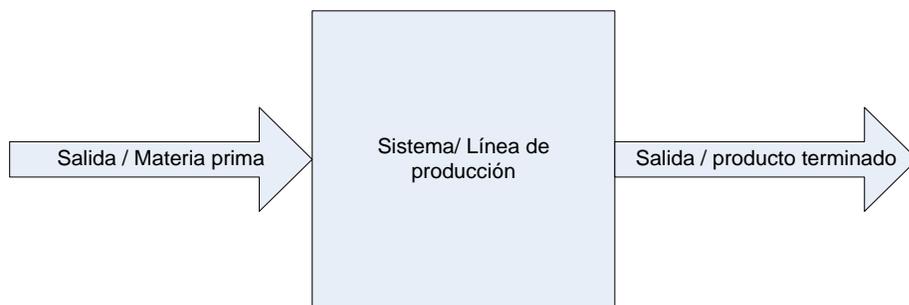
La correcta ejecución del mantenimiento preventivo que cuenta con una planeación, previsión, control y recopilación de datos, requiere establecer una política fija para un horizonte de tiempo en que puede estar sujeta a revisión para su mejora continua o aplicación anticipada de la política, la cual consta de asignación de tareas sujetas a la política, control de los factores que afectan el desempeño de la tarea de mantenimiento y análisis de datos recopilados después de efectuada la tarea de mantenimiento.

3.2. Inventario de instalaciones

El inventario de instalaciones se realiza listando todas las instalaciones donde se deben incluir las piezas de un sitio con el objetivo de identificación porque, dada la complejidad de una línea de producción, se hace necesario utilizar un modelo que defina límites de información dentro del proceso. A partir de definido un modelo se consigue un sistema que se conforma de un conjunto de partes o de eventos que pueden considerarse como algo simple y completo. La teoría de sistemas provee una forma de pensamiento sobre la totalidad de la línea de producción. Existen dos tipos de sistemas básicos:

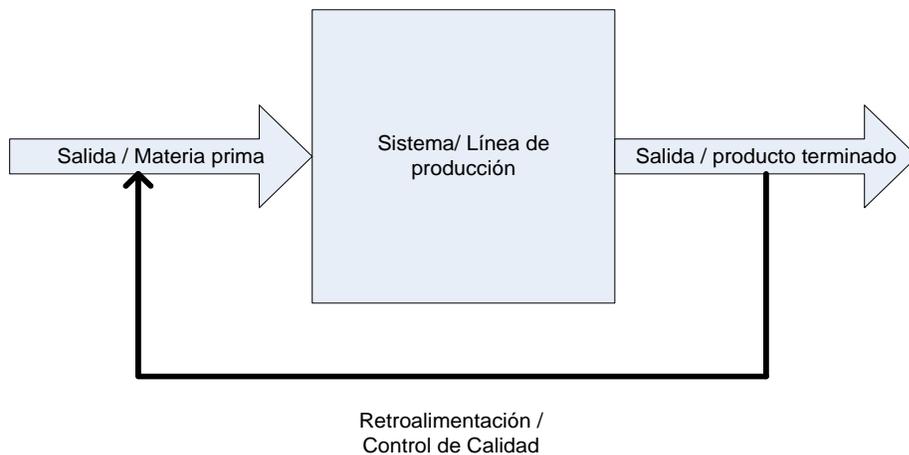
- Sistemas abiertos: sistemas que dependen del ambiente exterior para las entradas y salidas.
- Sistemas cibernéticos o cerrados: utilizan tipos de mecanismos de retroalimentación e información para su autocontrol.

Figura 11. **Sistema abierto**



Fuente: elaboración propia.

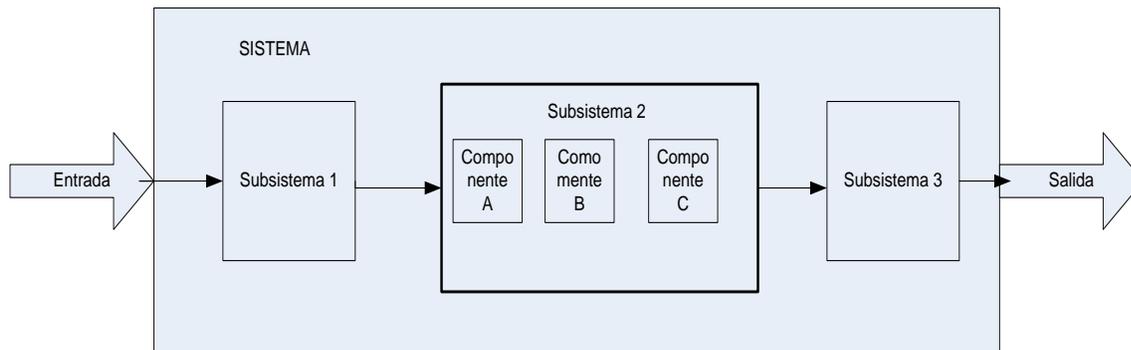
Figura 12. **Sistema cerrado o cibernético**



Fuente: elaboración propia.

El sistema está conformado por componentes o elementos relacionados entre sí, los cuales, agrupados, se denominan subsistemas y ayudan a analizar los procesos a detalle.

Figura 13. **Sistema y subsistemas**



Fuente: elaboración propia.

Para la línea de producción de agregado se toma como base el análisis de sistemas, para realizar un inventario de instalaciones que podrá ser aplicado a otras áreas productivas de la empresa según sea el caso.

3.2.1. Hoja de inventario de instalaciones

En la hoja de inventario deben listarse los subsistemas y sus componentes que conforman el sistema a analizar, en este caso, la línea de producción de agregado. Se debe definir un tipo de codificación para denotar:

- Identificación de la instalación
- Ubicación de la instalación
- Tipo
- Prioridad

3.3. Inventario de maquinaria

Al igual que en el inventario de instalaciones, es de vital importancia crear un sistema eficaz que permita identificar de manera única cada elemento de la línea de proceso. Se tiene que desarrollar un sistema de clave y codificación de prioridades que apoye al técnico de mantenimiento en el proceso de su identificación. La capacitación al operario es importante para poder reconocer la maquinaria y algunos de los elementos mecánicos que forman parte del proceso productivo.

3.3.1. Clasificación de maquinaria

La maquinaria se puede clasificar e identificar según se den diversos factores como pueden ser:

- Consumo energético
- Tiempo de proceso
- Antigüedad
- Prioridad

Esta clasificación dependerá de lo que se requiera evaluar o implementar en el sistema o línea de producción, como por ejemplo, si se requiere una evaluación de costos de producción, entonces las máquinas se clasificarían según su consumo energético en KW/H, combustible/min, según sea el tipo de alimentación que requiere la máquina para su funcionamiento. En cuanto al tiempo de proceso, este es valioso para aquellos análisis de tomas de tiempo, cuellos de botella, análisis de teorías de colas y todas aquellas actividades en las cuales el tiempo de proceso de cierto equipo necesita ser evaluado.

La clasificación según la antigüedad toma importancia cuando se necesita evaluar el desempeño de la maquinaria frente al tiempo que lleva instalada en la empresa, y también frente a las ventajas o desventajas económicas que representa una maquinaria moderna.

La clasificación de prioridad se basa en análisis cuantitativos y cualitativos como, por ejemplo, diagrama de Pareto, análisis de probabilidades, análisis causa-efecto, árbol de problemas mediante los cuales se puede identificar el equipo según la importancia en el sistema, ya que un paro repentino puede causar grandes pérdidas económicas a la empresa.

3.3.1.1. Índice de clasificación para los gastos de mantenimiento ICGM

Como complemento a la clasificación general de instalaciones y maquinaria, se presenta el método de índice de clasificación de gastos de mantenimiento que, junto con el gráfico de Pareto de costos, logran decidir entre los recursos vitales, importantes y triviales. Este índice utiliza dos códigos:

- Código de máquina: este engloba los recursos que se atenderán (equipos, instalaciones y construcciones).
- Código de trabajo: el tipo de trabajo que recibirá la máquina o recurso.

El código ICGM, método simplificado, se elabora mediante un comité de personal de la empresa que tenga conocimiento y experiencia en la conservación de los equipos hasta la fecha, producción y costos de la planta. Este comité analiza el inventario de maquinaria y las instalaciones de recursos. Debe tomarse en cuenta que es necesario realizar las reuniones correspondientes para evaluar el inventario de maquinaria y asignar un código

de acuerdo a su prioridad relativa, que será el código de máquina. Los criterios a seguir son los siguientes:

Tabla XI. **Criterios para la elaboración del código de maquina**

| CODIGO | CONCEPTO |
|--------|---|
| 10 | RECURSOS VITALES: estos tienen relación con varios procesos. Las fallas de este recurso crean problemas de gran magnitud, por ejemplo, líneas de vapor, gas, aire comprimido, calderas, hornos, subestaciones eléctricas. |
| 9 | RECURSOS IMPORTANTES: son parte de la línea de producción pero su función no es vital, aunque sin ellos el equipo vital no funcionaría. Estos recursos no están duplicados o no tienen equipo de respaldo, como montacargas, grúas, transportadores de material, etc. |
| 8 | RECURSOS DUPLICADOS EN LÍNEA DE PRODUCCIÓN: similares a los anteriores pero cuentan con respaldo |
| 7 | RECURSOS QUE INTERVIENEN EN FORMA DIRECTA EN LA PRODUCCIÓN: estos son los sistemas de inspección de calidad, equipos de medición, equipos de prueba, manejo de materiales y máquinas de inspección. |
| 6 | RECURSOS AUXILIARES DE PRODUCCIÓN SIN REEMPLAZO: aire acondicionado para área de pruebas, equipos móviles, equipo para surtimiento de materiales de almacén. |
| 5 | RECURSOS AUXILIARES DE PRODUCCION CON REEMPLAZO |
| 4 | RECURSOS DE EMBALAJE Y PINTURA |
| 3 | EQUIPOS GENERALES: vehículos de transporte de materiales o productos, camiones de carga, equipos de recuperación de desperdicios, etc. |
| 2 | EDIFICIOS PARA LA PRODUCCIÓN Y SISTEMAS DE SEGURIDAD: alarmas, pasillos, almacenes, calles o estacionamientos. |
| 1 | EDIFICIOS E INSTALACIONES ESTÉTICAS: todo aquello que no tiene participación directa en producción. |

Fuente: DOUNCE VILLANUEVA, Enrique. *Productividad en el mantenimiento industrial*. p. 103

Después de haber establecido el código de máquina, se procede con el código de trabajo realizado según los siguientes criterios:

Tabla XII. **Criterios para la elaboración del código de trabajo**

| COD. | DESCRIPCION DE TRABAJOS |
|------|--|
| 10 | PAROS: comprenderán los trabajos realizados para atender las causas de pérdida del servicio de la calidad esperada proporcionado por las máquinas, instalaciones y construcciones, vitales o importantes; o aquellos trabajos de seguridad hechos para evitar pérdidas de vidas humanas o alteraciones a la integridad física de los individuos. |
| 9 | ACCIONES PREVENTIVAS URGENTES: todo trabajo tendiente a eliminar los paros o conceptos discutidos en el punto anterior, que pudieran seguir en inspecciones, pruebas, avisos de alarmas, etc. |
| 8 | TRABAJOS DE AUXILIO A PRODUCCIÓN: modificaciones para optimizar la producción, o surgidas por cambio de producto o mejora del mismo. |
| 7 | ACCIONES PREVENTIVAS NO URGENTES: todo trabajo tendiente a eliminar a largo plazo los paros; lubricaciones, atención a desviaciones con consecuencias a largo plazo, trabajos para reducir la labor repetitiva, entre otros. |
| 6 | ACCIONES PREVENTIVAS GENERALES: trabajos para eliminar paros, acciones preventivas urgentes y donde no se hayan visualizado posibles fallas |
| 5 | ACCIONES RUTINARIAS: trabajos en máquina o equipos de repuesto, en herramientas de conservación y rutinas de seguridad. |
| 4 | ACCIONES PARA MEJORÍA DE CALIDAD: trabajos para mejorar los resultados de producción y de conservación. |
| 3 | ACCIONES PARA LA DISMINUCIÓN DEL COSTO: los trabajos realizados a minimizar los costos de producción y conservación que no estén considerados en ninguna de las anteriores categorías (mejoras del factor de potencia de la planta, introducir mejoras de conservación de energía de la caldera, implementación de métodos de ahorro de agua potable). |
| 2 | ACCIONES DE SALUBRIDAD Y ESTÉTICA: los trabajos que aseguren la salubridad y conservación de muebles e inmuebles donde el personal de limpieza no puede intervenir, debido a los riesgos de seguridad que presenta el equipo por atender (pintura o aseo en lugares como subestación eléctrica, salas de computación y servidores, etc.) |
| 1 | ACCIONES DE ASEO Y ORDEN: trabajos de distribución de herramientas y aseo de instalaciones del departamento de mantenimiento. |

Fuente: DOUNCE VILLANUEVA, Enrique. *Productividad en el mantenimiento industrial*. p. 104

Por lo que el índice de clasificación de los gastos de mantenimiento está dado por:

$$ICGM = CM \times CT$$

Donde:

CM= código de máquina

CT= código de trabajo

3.3.1. Localización en el proceso

Los diagramas, como el diagrama de recorrido, son herramientas para el registro de las instalaciones y maquinaria. En este se puede observar de forma gráfica, mediante un plano a escala, la localización de las diferentes máquinas en el proceso, con lo cual se logra que el operario de mantenimiento logre ubicar y realizar con mayor facilidad las tareas asignadas en el programa de mantenimiento.

3.3.2. Descripción de procedimiento de máquina

La descripción del procedimiento de la maquinaria toma ciertos datos técnicos o referencias de la hoja técnica del equipo, que el personal de mantenimiento puede usar para complementar las tareas de mantenimiento, reunir información en cuanto a límites teóricos de operación del equipo e implementar mejoras.

3.3.3. Faja transportadora Goodyear

Faja transportadora de PVC para trabajo pesado marca Goodyear. Esta faja cumple con la función de transportar la materia prima del silo de almacenamiento número 1 a la primera etapa del proceso. Tiene un largo de recorrido de aproximadamente 3 metros, montada sobre rodillos de 4" de diámetro, fabricados en acero 705, montados sobre cojinetes 6042 ZZ / marca

SKF. La faja es impulsada mediante un motor eléctrico de 1 hp, la banda sin peso puede alcanzar una velocidad de 20 km/h, mientras que con peso su funcionamiento se regula a una velocidad para que entregue 3 t/h.

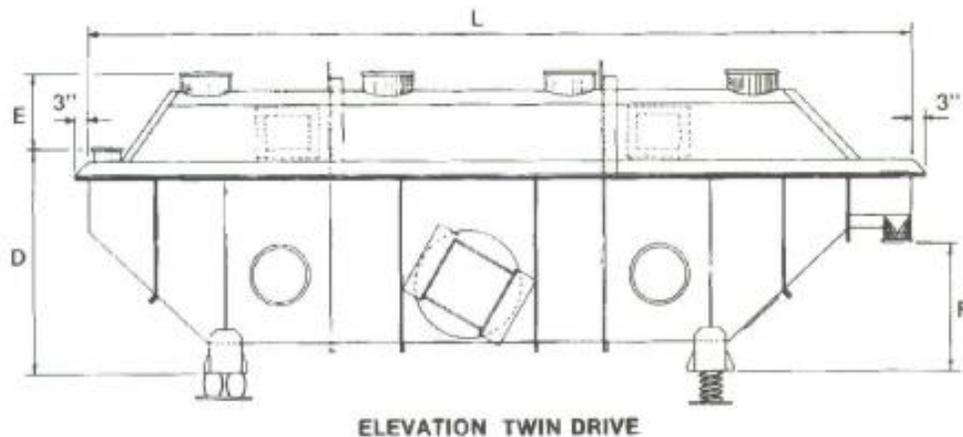
3.3.4. Secador Carrier modelo 2460s

Secador Carrier de tipo *vibrating fluid bed dryer/cooler*, esto quiere decir que el secador tiene tres procesos incorporados que son:

- Vibración: la vibración realiza la función de separar la materia prima por tamaños específicos.
- Secador: esta función eleva la temperatura de la materia prima, con lo cual se consigue eliminar la humedad natural del material.
- Humedecedor: para algunas aplicaciones se necesita que el material alcance cierta humedad.

El secador cuenta con dos motores de 1 hp que trabajan simultáneamente en un mecanismo de rotación de leva, el cual suavemente hace vibrar el material mientras se inyecta aire caliente a una temperatura de 648⁰C. El sistema está montado sobre cargadores de hule y resorte helicoidal de 9" de altura, cuenta con sistemas de ángulo de cama vibratoria y velocidad ajustable.

Figura 14. **Secador Carrier**

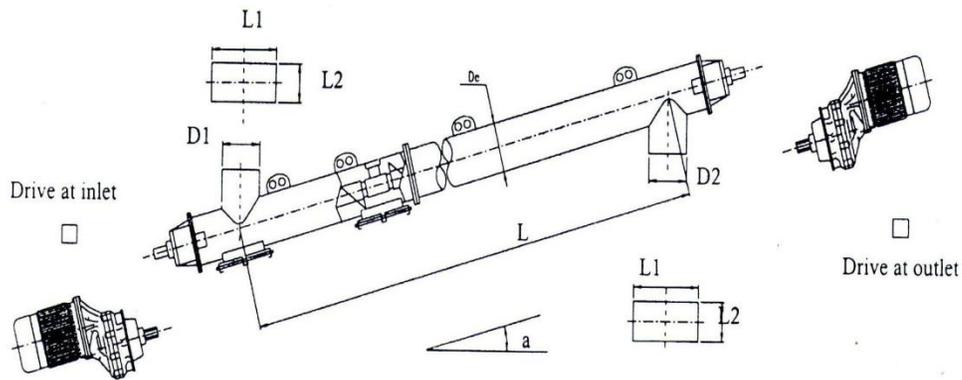


Fuente: CARRIER VIBRATING EQUIPMENT INC. *Carrier's fluid flow brochure*. p. 4

3.3.5. Tornillo transportador Wam modelo ES 168.7.220

Estos tornillos cumplen la función de movilizar el material seco y molido a los respectivos silos de almacenamiento. Tienen una longitud de aproximadamente 7 metros y un diámetro de 168 mm. Son movidos por un conjunto de motor eléctrico Nema de 2.2 Kw 3 hp y una caja reductora de par motor de 2 hp, con lo que se consigue movilizar el material a lo largo del tornillo sin fin. El tornillo es fabricado de acero al carbón con acabados finos. Estos materiales le proveen de alta durabilidad. Puede movilizar máximo hasta 29 t/h de materia prima y en inclinaciones de 0° a 45°. Su configuración incluye 1 chumacera inicial y 1 chumacera final, así como 1 chumacera intermedia, las cuales sostienen el eje motor principal del tornillo sin fin.

Figura 15. **Tornillo transportador Wam**



Fuente: WAM INC. tubular *Screw Conveyors* Catalog. p. 2.

3.3.6. Molino de piedras William`s crusher Mod. 20849

El molino cumple la función de reducir la piedra caliza a arena, la cual se une como agregado a la mezcla de los otros materiales para producir los diferentes productos de construcción. El molino está conformado por:

- Martillo
- Guardas
- Eje motor
- Motor eléctrico

Los martillos trabajan a una velocidad de 1200 RPM y pesan alrededor de 50 Lb cada uno, admitiendo máximo una diferencia de 0,35 lb en el desgaste. Los martillos están fabricados de aleación específica para la materia prima que se procesará. El eje es movido por un motor marca Emerson R926 100 hp 230V.

Figura 16. **Martillos del molino de piedra**



Fuente: Cemix de Guatemala.

3.4. Inventario de insumos y repuestos de mantenimiento

Para el control de las operaciones de mantenimiento se necesita registrar los insumos y repuestos con que se cuenta para la tarea de mantenimiento preventivo, por lo que se debe escoger un sistema que se adapte al flujo de materiales y clasificar cada insumo o repuesto mediante un solo criterio, el cual debe ser entendible y analizable por el técnico de mantenimiento que solicita los repuestos y por el encargado de bodega que despachará el repuesto.

3.4.1. Control de inventario

El control de inventario es una técnica para mantener insumos y repuestos en niveles deseados, con los cuales se logran reducir los costos de mantener un artículo en existencia y evitar el costo que se generaría al no mantener los repuestos o insumos disponibles.

3.4.1.1. Teoría de inventario

El manejo de inventarios se puede dividir en dos modelos:

- Inventario determinístico: en este se conoce la cantidad demandada de repuestos.
- Inventario estocástico: en este la cantidad demandada de repuestos puede variar a lo largo del tiempo.

Entre los componentes del manejo de un inventario se mencionan:

- Costo de ordenar el repuesto
- Costo de almacenaje
- Costo por faltante de repuesto (costo que genera una máquina detenida por falta de repuesto).

Para representar el modelo de inventario que mejor se ajusta al flujo de materiales de mantenimiento en Cemix, se utiliza un sistema de inventarios que de seguimiento a cada artículo que se solicita, y se entrega al usuario de mantenimiento. El modelo a implementar es el tamaño de lote económico (EOQ). El sistema establece que se conoce la demanda “d” de repuestos por unidad de tiempo. También supone que se ordenan los repuestos a una cantidad fija de “Q” unidades y se consideran los siguientes costos:

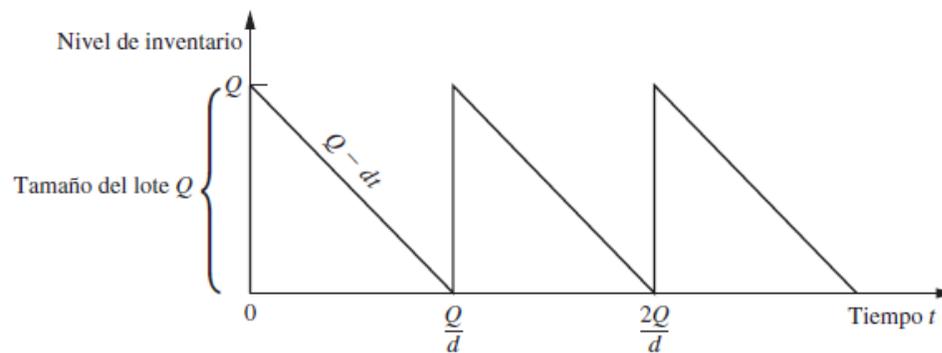
K= costo de orden

c= costo de artículo

h= costo de almacenaje

El objetivo básico de este sistema de manejo de inventario es el de monitorear cuándo se debe ordenar nuevamente para que los costos sean mínimos.

Figura 17. **Representación del tamaño de lote económico**



Fuente: HILLIE, Frederick; LIBERMAN, Gerald. *Introducción a la investigación de operaciones*. p. 778

$$T = \frac{dK}{Q} + dc + \frac{hQ}{2}$$

Donde:

T= costo total por el ciclo de trabajo

d= demanda del repuesto

K= costo de ordenar

Q= unidades solicitadas

h= costo de almacenaje por unidad

Debido a que el objetivo del lote económico es el de minimizar los costos en inventario, entonces se minimiza la ecuación anterior y se obtiene:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2dK}{h}}$$

Donde Q^* representa la cantidad que realmente se debe ordenar para mantener mínimos los costos asociados del inventario.

Para conocer el punto donde se debe realizar otra orden al proveedor basta con calcular un tiempo promedio de la cantidad óptima y la demanda conocida como sigue:

$$R = \frac{Q^*}{d}$$

3.4.2. Máquinas-herramientas

Esta categoría comprende generalmente herramientas de propósitos especiales que se solicitan por tiempo indefinido en préstamo, siempre que el técnico las solicita para la tarea de mantenimiento dependiendo de la capacitación que se tenga en el uso correcto de las herramientas, estas tienen una duración larga y usualmente se reemplazan o se reparan a petición del usuario, por lo que su rotación es lenta.

3.4.3. Equipo de seguridad

Bajo las normas actuales de gestión y estandarización de procesos, es necesario contar con un inventario de equipo de seguridad industrial, debido a que de acuerdo a las leyes locales que protegen al trabajador, la empresa puede incurrir en multas y costos asociados a accidentes laborales. Entre los costos asociados a los accidentes laborales se pueden mencionar las indemnizaciones, la pérdida de producción por paro de máquina y la pérdida de

mercado por mala reputación, por no contar con un plan de salud y seguridad ocupacional.

3.4.4. Insumos de mantenimiento

Son todos aquellos materiales que se utilizan en la tarea de mantenimiento y pueden ser empleados tanto en mantenimientos preventivos como mantenimientos correctivos. Se debe contar con una existencia de estos insumos, los cuales pueden ser de alta o baja rotación.

3.4.4.1. Lubricantes

Los efectos generales del rozamiento entre superficies, también llamada fricción están entre los principales causantes de falla de los elementos mecánicos, pero mediante un correcto plan de lubricación y estudio del desgaste pueden minimizarse las fallas y aumentar el tiempo de vida de los mecanismos.

La tribología se describe como la ciencia y tecnología que reúne el estudio sistemático de la fricción, el desgaste y los medios para minimizar los efectos del desgaste de las superficies mediante lubricación. La fricción y el desgaste se ven influenciados por los tipos de materiales, condiciones de las superficies, esfuerzos en los puntos de contacto, velocidades y temperatura de trabajo. Los lubricantes están comprendidos entre una categoría llamada del mantenimiento normal, debido a que su uso no es especializado pero el requerimiento mensual es definido. Según la aplicación, los lubricantes se subdividen en:

3.4.4.1.1. Aceites

Muy eficaces en procesos de alta velocidad, mantienen un régimen de película alta. Entre sus cualidades físicas se pueden mencionar que no son conductores y disipan rápidamente el calor. Los aceites provienen de origen mineral o natural y pueden estar constituidos por aditivos o por otros aceites, con los cuales se puede modificar su viscosidad y temperatura.

3.4.4.1.2. Grasas

Se les llama así a los lubricantes en estado sólido o semisólido y su constitución se basa en jabones, producto de la reacción entre potasio, calcio y ácidos grasos, aceite mineral y otros aditivos. Entre sus propiedades se pueden mencionar su fácil adhesión a las superficies y su alta viscosidad.

3.4.4.2. Elementos mecánicos

Los elementos mecánicos o repuestos de mantenimiento se almacenan con la finalidad de reducir los tiempos muertos del sistema, por tener un equipo detenido por falta de repuestos. Se puede establecer una división entre elementos o piezas según las siguientes categorías:

- Precio de los elementos mecánicos o repuestos
- Elementos mecánicos especiales con tiempo de entrega mayor
- Elementos mecánicos ordinarios
- Elementos mecánicos o repuestos de poco consumo
- Elementos mecánicos críticos

3.4.4.3. Descripción de los elementos mecánicos

Se realiza la descripción de los elementos mecánicos más propensos a fallar en la línea de producción de agregados, con el fin de que se puedan categorizar e inventariar de manera más eficiente, incorporando información general sobre sus aplicaciones.

3.4.4.3.1. Cojinetes

Elementos mecánicos cuya principal función es la de permitir el movimiento relativo entre dos componentes de maquinaria, reduciendo el índice de fricción y soportando altas cargas. Se le llama cojinete con contacto de rodadura, balero o rodamiento, y están contruidos de diversas configuraciones, entre las cuales se mencionan el cojinete de bolas, el cojinete de rodillos y el cojinete de agujas. Entre los tipos de cargas se encuentran:

- Cargas radiales: las cargas actúan a lo largo del radio del cojinete.
- Cargas axiales: también llamadas de empuje, se producen en forma paralela a la línea central del eje.
- Cargas combinadas: los cojinetes se someten a cargas radiales y axiales, las cuales crean una carga resultante.

Existen cuatro partes esenciales en un cojinete de rodamiento:

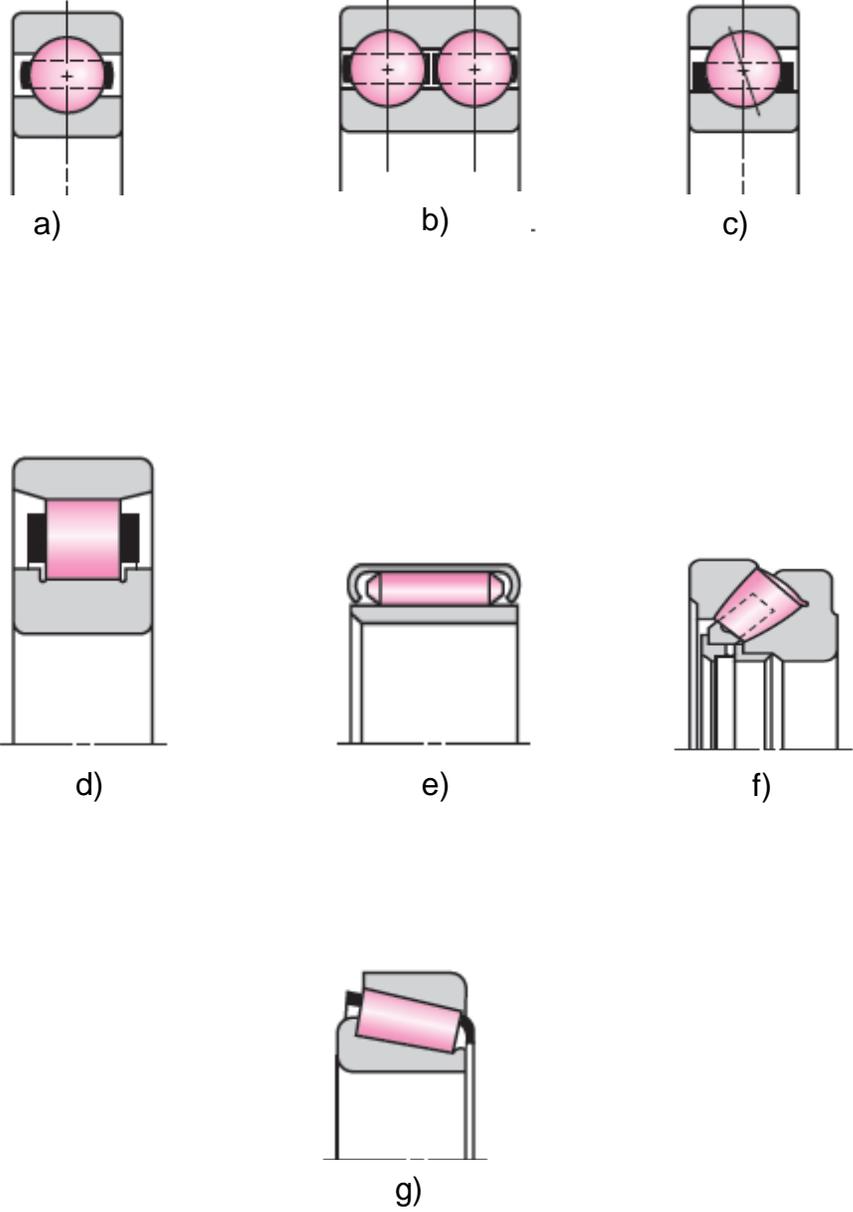
- Anillo exterior
- Anillo interior
- Elemento rodante
- Separado

Tabla XIII. **Comparación de los tipos de rodamiento**

| | TIPO DE RODAMIENTO | CAPACIDAD DE CARGA RADIAL | CAPACIDAD DE CARGA DE EMPUJE | CAPACIDAD DE DESALINEAMIENTO |
|----|---|---------------------------|------------------------------|------------------------------|
| a) | Una hilera de bolas con ranura profunda | Buena | Regular | Regular |
| b) | Doble hilera de bolas con ranura profunda | Excelente | Buena | Regular |
| c) | Contacto angular | Buena | Excelente | Mala |
| d) | Rodillos cilíndricos | Excelente | Mala | Regular |
| e) | Rodillos de agujas | Excelente | Mala | Mala |
| f) | Rodillos esféricos | Excelente | Regular a buena | Excelente |
| g) | Rodillos cónicos | Excelente | Excelente | Mala |

Fuente: MOTT, Robert. *Diseño de elementos mecánicos*. P. 600.

Figura 18. **Perfiles de cojinetes**



Fuente: BUDYNAS, Richard. *Diseño en ingeniería mecánica*. p. 551.

3.4.4.3.2. Chumaceras

Existen amplios tipos de maquinaria pesada y maquinaria especializada, para las cuales se seleccionan elementos motrices que giran sobre rodamientos montados. Los rodamientos montados o chumaceras presentan estas ventajas:

- Montaje directo de la unidad de rodamiento a armazón
- No se requiere cuna de montaje maquinado al armazón
- Ajuste de la distancia entre centros
- Adaptación al desgaste o estiramiento de piezas de ensamble

Entre las desventajas puede mencionarse el alto factor de desalineamiento.

Figura 19. **Chumacera de caja montada**



Fuente: *Chumacera de caja montada*. <http://www.rodamientosvictoria.com>. [Consulta: 20 de junio de 2016].

Figura 20. **Chumacera de brida para 2 tornillos**



Fuente: *Chumacera de brida para dos tornillos*. <http://www.prorodcali.com/chumacera.html>.
[Consulta: 20 de junio de 2016].

Los cojinetes montados o chumaceras se utilizan mayormente en transportadores, transmisiones por cadenas o fajas, y brindan facilidad de instalación al poder modificar la distancia entre centros de cojinetes. Se adaptan durante el funcionamiento al estiramiento de los elementos o piezas de ensamble.

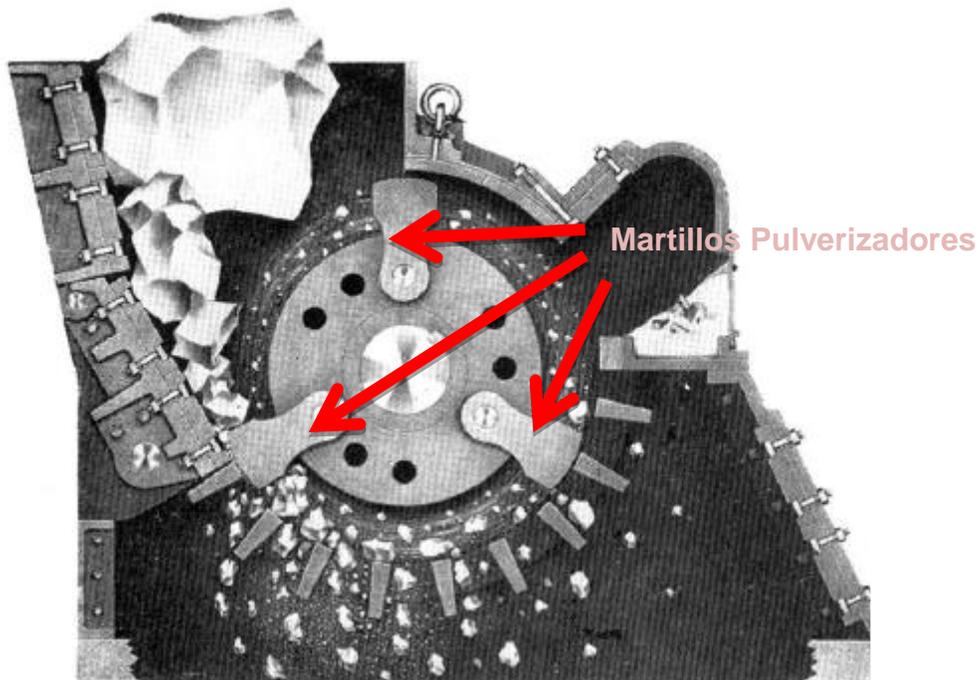
3.4.4.3.3. Martillos pulverizadores

Los martillos pulverizadores, junto con las guardas o platos, son la pieza fundamental del molino pulverizador de rocas, debido a que son los elementos mecánicos que conllevan mayor desgaste y carga de trabajo por ciclo. Los martillos son fabricados de aleaciones de acero, generalmente con un grado de dureza teóricamente mayor al material que se pulveriza. Existen dos tipos de molino pulverizador:

- Pulverizadores de flujo superior: este tipo de molinos pulverizadores utiliza guardas perforadas o barras de desgaste para pulverizar materiales de dureza media a suave. El material a pulverizar determina la construcción del martillo.
- Pulverizadores de flujo inferior: usa martillos reversibles, especialmente diseñados, que trabajan junto con guardas o platos de desgaste, con lo cual se consiguen productos uniformes con menor mantenimiento.

Se observará con mayor detenimiento al tipo de flujo inferior, por ser el tipo de molino instalado en la planta.

Figura 21. **Sección transversal de pulverizador de flujo inferior (martillos)**

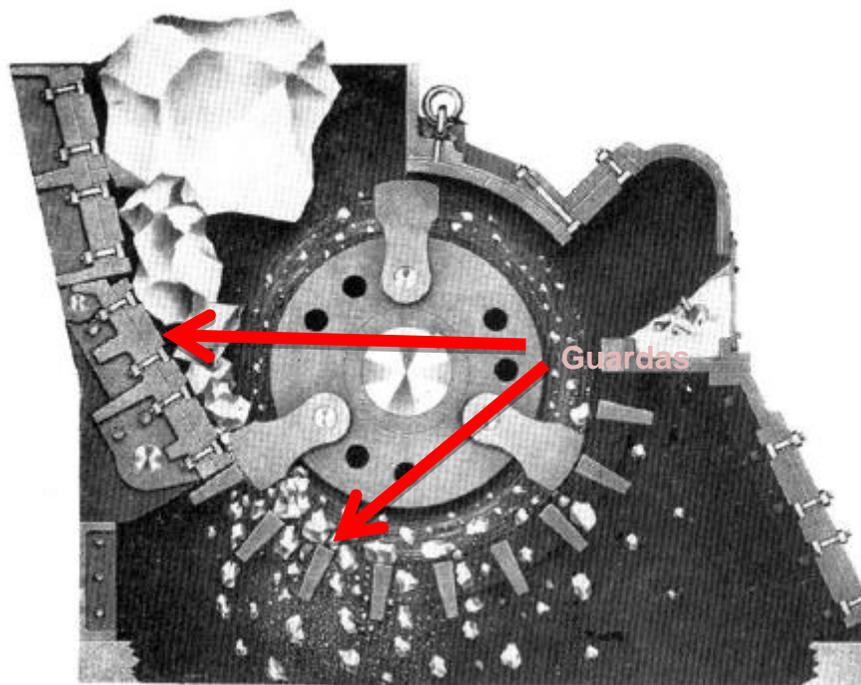


Fuente: WILLIAM'S CRUSHERS. *Service Manual*. p. 38.

3.4.4.3.4. Guardas

Guardas o barras de desgaste están fabricadas de la misma aleación de los martillos pulverizadores y de diferentes formas geométricas. Cumplen la función de sujeción de la materia prima para su pulverización.

Figura 22. **Sección transversal de pulverizador de flujo inferior (guardas)**



Fuente: WILLIAM'S CRUSHERS. *Service Manual*. p. 41.

3.4.4.3.5. Fajas transportadoras

El flujo del material a procesar entre los subsistemas que conforman la línea de producción se realiza mediante el movimiento del material a una velocidad constante mediante fajas transportadoras. Su facilidad a la adaptación al terreno, su alta tasa de transporte y su capacidad de transportar

variedad de materiales, las convierte en un elemento importante en la línea de producción. Los avances en la fabricación de fajas transportadoras han logrado tasas de transporte desde 10 000,00 Toneladas/hora de material hasta los 50 000,00 t/h, y se pueden hallar en el mercado fajas hasta de 30,00 km de largo por 2,00 metros de ancho. Los sistemas de transporte de material comparten las siguientes características:

- Cumplen la función de transporte o transporte y almacenamiento de materia prima
- Adaptabilidad al terreno
- Flujo unidireccional de la materia prima
- Mecanizadas
- Automatizadas
- Rutas de transporte establecidas

Las fajas se pueden clasificar según el material del que están construidas:

- Fajas de goma: dependiendo de la trayectoria de transporte se fabrican las fajas de goma con perfiles especiales y bordes de contención.
 - Perfil liso: para transporte horizontal de poca inclinación.
 - Perfil nervado: para transporte con pendiente creciente.
 - Perfil rugoso: para transporte horizontal o pendiente creciente pero ampliamente utilizada para transporte de producto terminado.
- Faja de PVC: se utiliza en el transporte para interiores, en sectores específicos como industria alimenticia, cerámica, madera, papel de embalaje y cereales.
 - De trama rígida: se utilizan en transportadores planos.
 - De trama flexible: se utilizan en transportadores de artesa.

En cuanto al acabado de la faja de pvc se toman en cuenta:

- Acabado de con cobertura para rodillos
- Acabado en tejido o grabado k para deslizamiento sobre eje rígido

Dependiendo el material que transporten:

- Blanca alimentaria
- Resistencia a grasa, aceites animales y minerales
- Resistente a la abrasión
- Resistente a cortes
- Antillama

3.4.4.3.6. Tornillos transportadores

Los tornillos transportadores, al igual que las fajas transportadoras, contribuyen al movimiento de producto procesado. Los tornillos transportadores están constituidos por una carcasa hueca y un tornillo sin fin en el interior, el cual es impulsado por un motoreductor en un extremo del tubo. Estos tornillos transportadores presentan la ventaja de que pueden transportar polvo de roca caliza fina a lo largo de trayectorias con ángulos de pendiente altamente pronunciada, incluso logrando alcanzar el transporte de material a un ángulo de 90°. Debido a la característica abrasiva de la piedra caliza fina, así como otros materiales de la producción de concreto, los tornillos transportadores se fabrican en acero con alto contenido de carbón. Entre las características que ofrecen se encuentran las siguientes:

- Diseños modulares adaptables a diversas aplicaciones
- Durabilidad en condiciones extremas de transporte de material abrasivo
- Llenan depósitos de material con alta precisión y velocidad
- Control de alimentación
- Bajo costo

Figura 23. **Tornillo transportador en planta de concreto**



Fuente: WAM INC .*Screws Conveyors Brochure*. p. 2.

Figura 24. **Tornillo transportador alimentando silos**



Fuente: WAM INC .*Screws Conveyors Broschure*. p. 5.

3.4.4.3.7. Bandas

Una banda es un elemento flexible que transmite potencia mediante ejes paralelos y la fricción entre las superficies de la polea y la banda. Las bandas se clasifican de acuerdo a su perfil:

- Banda plana: esta se utiliza para poleas abombadas y es fabricada en uretano y tela impregnada con caucho reforzado mediante la adición de alambre de acero.
- Banda en V: fabricada con tela y cuerda, muy adecuada para altos pares torsionales sin deslizamiento, pero con un reducido espacio entre centros. Es muy utilizada en aplicaciones industriales y automotrices.
- Bandas sincrónicas: dotadas con una serie de dientes paralelos al eje de rotación, los cuales encajan en las poleas dentadas motrices. Este tipo de bandas no se estira ni presenta factor de deslizamiento, por lo que transmite potencia con una relación constante de velocidad, pero al igual que las bandas con perfil V, estas tienen espacio limitado entre centros, su costo es más alto que el de las dos opciones anteriores.

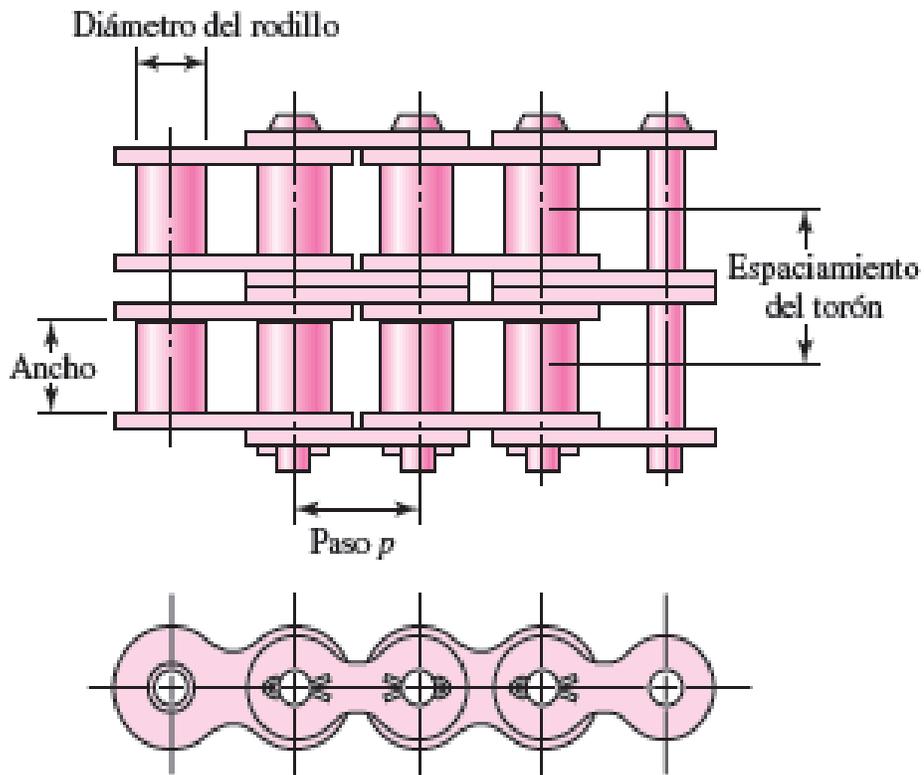
3.4.4.3.8. Cadenas

Al igual que las bandas, las cadenas transmiten par torsional entre dos ejes paralelos, un eje conductor y un eje conducido. La cadena está formada por una serie de eslabones unidos con pernos. Embona en ruedas dentadas llamadas catarinas o *sprockets*. Entre las características de la cadena se pueden mencionar:

- No involucra deslizamiento ni arrastre
- Larga vida útil

- Capacidad de impulsar múltiples ejes

Figura 25. **Nomenclatura básica de cadena**



Fuente: BUDYNAS, Richard G. *Diseño en ingeniería mecánica*. p. 887.

3.4.4.3.9. Motores eléctricos

Los motores eléctricos, aunque son el resultado de un conjunto de componentes, son considerados como elementos mecánicos de transmisión de potencia que realizan un trabajo.

3.5. Disponibilidad de insumos y repuestos

Debido a que el 20 % de los costos del mantenimiento están dados por el mal manejo de inventario, se hace importante analizar cada uno de los elementos que intervienen en la cadena de suministros de insumos y repuestos de mantenimiento. Entre los elementos vitales de esta cadena se pueden reconocer:

- Proveedores
- Almacén de mantenimiento
- Sistema de registro de elementos de mantenimiento
- Manejo de inventario
- Usuario final de mantenimiento

Para mantener un nivel de inventario saludable se hace necesario recopilar información sobre los proveedores de insumos, repuestos y servicios de mantenimiento, para establecer parámetros del tiempo necesario para reabastecer el almacén.

3.5.1. Proveedores nacionales

Se realiza una evaluación de desempeño de cada proveedor, adecuada para el área de productos que ofrece a la empresa. Se hace necesaria una revisión constante de los proveedores para procurar una mejora continua bilateral.

Tabla XIV. Disponibilidad de productos de Prosain

| COD. 1 PROSAIN | | | |
|---------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| PRODUCTOS | CONSUMO PROMEDIO MENSUAL (unidades) | TIEMPO PROMEDIO DE ABASTO (horas) | CAPACIDAD DE ABASTO (unidades) |
| Reparación Faja transportadora (pvc) | 2 | 72 | NA* |
| Fabricación faja transportadora (pvc) | 0,083 | 120 | NA** |
| Cribas | 0,1667 | 20 | 0,1667 |
| Motor eléctrico (venta) | 0,083 | 20 | NA*** |
| Motor eléctrico (reparación) | 2 | 72 | 2 |

Fuente: elaboración propia.

*La reparación se realiza a las fajas ya existentes

** La fabricación se realiza sobre medida

*** Capacidad de abasto dada por la capacidad del motor que se comprará

Tabla XV. Disponibilidad de productos de Abinsa

| COD. 2 ABASTECEDORA INDUSTRIAL S.A. (ABINSA) | | | |
|--|-------------------------------------|-----------------------------------|--|
| PRODUCTOS | CONSUMO PROMEDIO MENSUAL (Unidades) | TIEMPO PROMEDIO DE ABASTO (horas) | CAPACIDAD DE ABASTO MENSUAL (unidades) |
| Cojinete | 25 | 20 | 20 |
| Retenedor | 4 | 20 | 4 |
| Cojinete especial | 3 | 504 | NA* |
| Banda* | | | |
| Cadena** | | | |
| Para los puntos * y ** no se cuenta con información disponible | | | |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Disponibilidad de Luisa**

| COD. 4 LUBRICANTES INTERNACIONALES DE GUATEMALA | | | |
|--|---|--|--|
| PRODUCTOS | CONSUMO PROMEDIO MENSUAL (galones) | TIEMPO PROMEDIO DE ABASTO (horas) | CAPACIDAD DE ABASTO MENSUAL (galones) |
| Aceite | 10 | 24 | 10 |
| Grasa | 2 | 24 | 2 |

Fuente: elaboración propia, con base en investigación de campo.

Tabla XVII. **Disponibilidad de servicio de System**

| COD. 3 SYSTEM | | | |
|---|--|--|---|
| PRODUCTOS | CONSUMO PROMEDIO MENSUAL (Unidades) | TIEMPO PROMEDIO DE ABASTO (horas) | CAPACIDAD DE ABASTO MENSUAL (unidades) |
| Motores eléctricos | N/A | N/A | N/A |
| No aplica análisis debido a que la compra de estos motores se realiza previa autorización especial. Se debe evaluar al proveedor con base en el servicio. | | | |

Fuente: elaboración propia, con base en investigación de campo.

Tabla XVIII. **Disponibilidad de servicio de Talleres Einstein**

| COD. 5 | | TALLERES EINSTEIN | | |
|---|--------------------------------------|-----------------------------------|---|--|
| PRODUCTOS O SERVICIOS | CONSUMO PROMEDIO MENSUAL (servicios) | TIEMPO PROMEDIO DE ABASTO (horas) | CAPACIDAD DE ABASTO MENSUAL (servicios) | |
| Mantenimiento eléctrico a nivel industrial, reparación de equipo eléctrico. | Servicio según contingencias | 3 | N/A | |

Fuente: elaboración propia.

3.5.2. Proveedores internacionales

Los pedidos a los proveedores internacionales requieren de otro tipo de logística para la entrega de los productos, debido a que se ven involucrados otros costos como los trámites aduaneros, almacenaje y transporte, lo cual aumentaría en teoría los costos de mantenimiento.

Tabla XIX. **Disponibilidad de William's Patent Crusher**

| COD. 3 | | William Patent Crusher | | |
|---|-----------------------------------|-----------------------------------|--|--|
| PRODUCTOS | CONSUMO PROMEDIO ANUAL (Unidades) | TIEMPO PROMEDIO DE ABASTO (meses) | CAPACIDAD DE ABASTO MENSUAL (unidades) | |
| Molino de martillos | N/A | Importación 3 meses | N/A | |
| Debido a la configuración del molino, el cual está diseñado específicamente para las necesidades de la planta, este debe ser solicitado mediante autorización especial. | | | | |

Fuente: elaboración propia, con base en análisis de campo.

Tabla XX. Disponibilidad de Carrier

| COD. 3 | | CARRIER | | |
|---|-----------------------------------|-----------------------------------|----|--|
| PRODUCTOS | CONSUMO PROMEDIO ANUAL (Unidades) | TIEMPO PROMEDIO DE ABASTO (meses) | DE | CAPACIDAD DE ABASTO MENSUAL (unidades) |
| Secador de agregado | N/A | Importación meses | 6 | N/A |
| La mayoría de los repuestos del secador pueden conseguirse o fabricarse localmente, pero los repuestos como los sistemas de control deben solicitarse directamente a fábrica a tiempo de importación. | | | | |

Fuente: elaboración propia.

3.6. Identificación de nuevos proveedores

Se propone la identificación de nuevos proveedores para lograr reducir los costos actuales de mantenimiento. El contar con pocos proveedores limita a la empresa con el tiempo de entrega de repuestos y monopolización de precios se busca fomentar la competencia entre proveedores para lograr mejoras en los precios y en el servicio.

3.6.1. Creación de base de datos de nuevos proveedores

Tabla XXI. Ubicación de proveedores nuevos

| PROVEEDOR | INFORMACION DE CONTACTO | DE PRODUCTOS | MARCAS |
|----------------------------|-----------------------------------|--|--|
| Grupo Agint | Info@agint.com | Cojinetes, chumaceras, retenedores, bandas de transmisión de potencia, uniones flexibles | Skf, NTN, Jason |
| Era-Relmo | diana.hidalgo@era-relmo.com | Cojinetes, chumaceras, retenedores, bandas de transmisión de potencia, contactores, | Hardwall, fag, Ina, Jason, Siemens |
| Reigua | ventasreigua@hotmail.com | Reparación y mantenimiento de motores eléctricos | N/A |
| Moaisa | Jorge.garcia@moaisa.com | Reparación y mantenimiento de motores eléctricos | N/A |
| Padova | Jorge.puac@padova.com | Venta, fabricación de fajas transportadoras | Habasit |
| Contec | | Venta, fabricación de fajas transportadoras | |
| Maquinados precisos Loarca | Loarca66@gmail.com | Torno, maquinado de piezas | Especialidad en maquinado de plásticos de ingeniería |
| Industrias unidas setmi | industriasunidassetmi@Hotmail.com | Torno, maquinado de piezas | Especialidad en maquinado de ejes |

Fuente: elaboración propia, con base en investigación de campo.

3.7. Definición de procedimientos

La definición de los procedimientos busca aumentar la productividad mediante la eliminación de los desperdicios de material, tiempo y esfuerzo. El objetivo del trabajo o definición de procedimientos es aumentar la productividad con los mismos recursos, lo que significa una disminución de los costos. Para eso es necesario enfocarse en dos áreas:

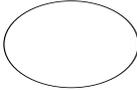
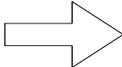
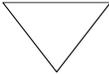
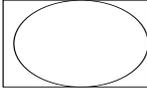
- Simplificación del trabajo: aplicar un procedimiento a cada tarea mediante un análisis previo para poder introducir mejoras. Para esta área se incluyen:
 - Método
 - Proceso
 - Herramientas
 - Equipo
 - Habilidades

- Medida del trabajo: investigación de las condiciones, métodos y en qué tiempo se ejecuta el procedimiento. El objetivo de la medición del trabajo es:
 - Equilibrar las cargas de trabajo por individuo
 - Establecer costos estándar
 - Programar el mantenimiento

3.7.1. Diagrama de procesos

Para definir el proceso es necesario conocer en qué consiste, observar los detalles y registrarlos. Este análisis elimina deficiencias y logra la mejor distribución de la maquinaria, equipo y área de trabajo. Los diagramas de procesos constituyen una herramienta muy valiosa que muestra en forma gráfica los pasos en una cadena de actividades, utilizando símbolos reconocibles.

Figura 26. Acciones de un proceso

| ACTIVIDAD | DEFINICION | SIMBOLO |
|---------------------|--|---|
| Operacion | Ocurre cuando se modifican las características de un objeto o se le agrega algo o se prepara para otra operación, transporte, inspeccion o almacenaje, una operación ocurre cuando da o se recibe informacion o se planea algo |  |
| Transporte | Ocurre cuando un objeto o grupo de ellos son movidos de un lugar a otro, excepto cuando tales movimientos forman parte de una operación o inspeccion |  |
| Inspeccion | Ocurre cuando un objeto o grupo de ellos son examinados para su identificación o para comprobar y verificar la calidad de sus características |  |
| Almacenaje | Ocurre cuando un objeto o grupo de objetos es retenido y protegido contra movimientos o usos no autorizados |  |
| Actividad combinada | Se presenta cuando se desea indicar actividades conjuntas por el mismo operador en el mismo punto de trabajo, los simbolos empleados (operación e inspeccion se combinan en el circulo inscrito en el cuadro |  |

Fuente: GARCÍA, Roberto. *Estudio del trabajo*. p. 42-43.

3.7.2. Diagrama de flujo de procedimiento

Es un diagrama de la secuencia de las operaciones de un proceso. Se utiliza para brindar una imagen clara del proceso para disminuir las esperas, comparar métodos y eliminar tiempo muerto. Para trabajarlo, se unen con una línea las diferentes operaciones, siguiendo el orden natural del procedimiento. El objetivo es visualizar el transporte o la secuencia que siguió el operador de mantenimiento, que puede generar pérdida de tiempo y aumento de costos.

3.7.3. Diagrama de recorrido

Su utilización es muy útil como complemento al diagrama de flujo de procedimiento. Este se realiza cuando existe una cantidad grande de transportes, almacenamientos o demoras. Para su elaboración es necesario un plano a escala de la fábrica, en el que deben estar indicadas las máquinas y las instalaciones fijas. Sobre el plano de la planta de fábrica se dibuja el recorrido utilizando los símbolos ya establecidos.

3.8. Planificación de actividades de mantenimiento.

La planificación tiene como función principal la planeación y programación a corto, mediano y largo plazo de las tareas de mantenimiento. Se deben abarcar todos los trabajos, aparte de los trabajos en cola de espera, a los que se les ha asignado alta prioridad y los mantenimientos correctivos de emergencia. En la etapa de planeación se determinan los elementos y recursos necesarios para llevar a cabo satisfactoriamente la tarea de mantenimiento, mientras que en la etapa de programación se establecen los horarios, fases o pasos de los trabajos planeados, a los que también se les debe controlar,

monitorear y registrar el avance mediante órdenes de trabajo y bitácoras de tareas.

Los equipos industriales y recursos físicos tienden a bajar su fiabilidad con el paso del tiempo y con los ciclos de trabajo a los que están sujetos. Es por esta razón que los fabricantes realizan pruebas y análisis para proporcionar datos estimados del tiempo de vida útil de los equipos y describir métodos de conservación, con lo cual se asegura la calidad de operación. Mediante la planeación y programación se consigue:

- Reducción de costos de mantenimiento.
- Mejorar la calidad de la tarea de mantenimiento mediante la estandarización de procedimientos y asignación de la carga de trabajo.
- Eficiencia en la utilización de la fuerza de trabajo, reduciendo demoras e interrupciones, mejorando la coordinación y supervisión.
- Mantener la fiabilidad del equipo a un nivel aceptable.

3.9. Planeación del mantenimiento preventivo

La planeación es la coordinación de las labores iniciales del mantenimiento preventivo, como por ejemplo la coordinación de los trabajos multidisciplinarios, como trabajos de soldadura, torno, mantenimiento eléctrico, cambio y nivelación de lubricantes, así como velar por el suministro de información del mantenimiento y de información técnica de maquinaria, planos y manuales. También se incluye la comprobación de la disponibilidad de los repuestos e insumos de mayor importancia, el nivel de inventario óptimo que se debe mantener, la preparación de la orden de trabajo, la planeación de la mano de obra, y el estandarizar el tiempo por tarea de mantenimiento. Para llevar a cabo la planificación de la tarea de mantenimiento se sugiere lo siguiente:

- Determinar el trabajo
- Establecimiento de métodos y procedimientos de trabajo
- Pronosticar la carga de trabajo
- Solicitar los repuestos e insumos
- Revisar procedimientos de seguridad industrial
- Priorizar el trabajo
- Indicar las cuentas que se cargarán con los costos del mantenimiento
- Emitir orden de trabajo
- Seguimiento de las labores pendientes de mantenimiento y su control

3.9.1. Órdenes de trabajo

Las órdenes de trabajo son herramientas importantes de registro de datos históricos de mantenimiento, también son elementos básicos en los procedimientos de control, como las auditorías de mantenimiento, y un requisito cuando se busca que una empresa logre acreditarse bajo estándares internacionales como ISO 9000, de gestión de la calidad, y toda la familia de estándares ISO.

Cuando en una orden de trabajo no se pueden colocar detalles más extensos que pertenecen a planeación de reparaciones más extensas, reparaciones generales o proyectos, se utiliza una variante de la orden llamada hoja de planeación de mantenimiento. El planificador es el encargado de llevar la información de las órdenes de trabajo y de llevarlas hasta el técnico de primera línea de mantenimiento, de forma entendible, incluyendo toda la información necesaria solicitada por la planeación y programación. Para este trabajo se presentan dos tipos de órdenes de trabajo:

- Orden de trabajo normal
- Intervención a falla

Debido a que la cadena de mando entre líneas en mantenimiento es pequeña, se destinarán solo 2 copias de orden de trabajo, las cuales están destinadas 1 para el técnico de mantenimiento, para su bitácora propia, y 1 para el planificador, quien se encargará de digitalizarla en el programa Access diseñado, y de guardar la copia como orden física.

3.9.2. Planeación de los recursos

- Planeación a corto plazo: esta incluye planes diarios y semanales y su objetivo se centra en determinar los recursos para realizar las tareas de mantenimiento por adelantado.
- Planeación a mediano plazo: ubicada en un horizonte de tiempo de 1 mes a 1 año, esta planeación se vale de métodos cualitativos y cuantitativos como pronósticos, análisis de estándares de tiempo, herramientas de investigación de operaciones y planeación agregada. Estas herramientas proporcionan detalles de reparaciones generales mayores, construcciones de infraestructura, planes preventivos, paros de planta, entre otros.
- Planeación a largo plazo: estos planes cubren períodos de 3 a 5 años máximo, y su labor principal se enfoca en la renovación de los equipos existentes. Busca nuevas oportunidades de crecimiento al introducir equipos innovadores para la labor de mantenimiento.

3.9.2.1. Mano de obra

Para tomar la decisión de contratar a nuevo personal de mantenimiento se debe evaluar la carga de trabajo por persona. Actualmente solo se cuenta con una persona encargada del mantenimiento de la línea de producción de agregados, quien es supervisada directamente por el gerente de producción.

Para evaluar el desempeño del técnico actual, antes se debe estandarizar el perfil del puesto que desempeñará e identificar claramente las atribuciones para evitar confusiones. Para medir su capacidad de cubrir la mayoría de tareas se debe realizar un muestreo y toma de tiempos a las actividades más recurrentes y calcular la capacidad de mano de obra.

3.9.2.1.1. Perfil del puesto

- Características generales:
 - Título del puesto: Técnico de mantenimiento
 - Reporta a: Gerente de producción
 - Ubicación: Planta

- Funciones:
 - Rutinas diarias de inspección.
 - Intervención de contingencias de mantenimiento correctivo urgente.
 - Generar reportes diarios.
 - Generar reportes semanales.
 - Generar reportes mensuales.
 - Llenar las hojas de control.
 - Análisis visual del estado del equipo.

- Responsabilidades:
 - Velar por la correcta utilización de los insumos
 - Implementar mejoras en la realización de las tareas
 - Solicitar material de mantenimiento
 - Velar por la integridad de la herramienta utilizada
 - Orden del equipo en el lugar de almacenaje
 - Seguimiento a tareas de mantenimiento atrasadas

Tabla XXII. **Perfil del técnico de mantenimiento**

| INFORMACION GENERAL | DESCRIPCION |
|-------------------------|---|
| Escolaridad | Educación de nivel medio, Técnico o especialización en mantenimiento industrial y procesos. |
| Experiencia | 3 años. |
| Conocimientos | Manejo paquete Office. |
| Edad | 27-40 años. |
| Habilidades inmediatas | Relaciones personales, expresión escrita y verbal. |
| Habilidades específicas | Redacción de reportes, interpretación de órdenes, toma de decisiones. |
| Competencias | Procesos de soldadora, maquinado, montaje de equipos. |
| Destrezas | Iniciativa, capacidad cognitiva. |

Fuente: elaboración propia.

3.9.2.2. Capacidad de la mano de obra

La capacidad de la mano de obra se calcula para proporcionar información como los estándares de tiempo, los cuales se utilizan para medir el desempeño de un individuo ante diversas tareas. Esto sirve como un ciclo de control en el que se puede incentivar al técnico de mantenimiento a aumentar su eficiencia. Es importante saber también que para la medición de la capacidad de mano de obra se elige el método de “estudios de tiempo con cronómetro”, porque este

puede determinar con exactitud el tiempo que se necesita para completar la tarea de mantenimiento con pocas observaciones. Este estudio se lleva a cabo cuando se presentan las siguientes condiciones:

- Se inicia una nueva tarea
- Demoras por operación lenta de mantenimiento
- Cuando el sistema de incentivos está basado en el volumen de trabajo
- Se presentan tiempos muertos de máquina o grupos de máquinas

El estudio de tiempos cronometrados se realizara bajo la siguiente distribución:

- Preparación
 - Selección del técnico a evaluar, en este caso sería solo 1
 - Seleccionar la tarea de mantenimiento a cronometrar
 - Análisis del método actual
- Ejecución
 - Dividir la tarea en sus componentes
 - Cronometrar
- Valoración
 - Cálculo de tiempo base valorado
- Suplementos
 - Aplicar demoras, fatigas y condiciones de trabajo
- Tiempo estándar
 - Cálculo de error
 - Cálculo de frecuencia
 - Cálculo de tiempo estándar

3.10. Programación del mantenimiento preventivo

Después de lograr mejorar las condiciones de los recursos disponibles y habiendo generado una orden de trabajo, se sigue con la programación, la cual busca enlazar los recursos y las tareas de mantenimiento y jerarquizarlas, a fin de realizar una secuencia de operaciones para llevar a cabo, empezando por las operaciones prioritarias hasta las operaciones triviales en ciertos puntos del tiempo en la jornada de trabajo. Para lograr que el programa de mantenimiento sea confiable y exitoso se necesitan las siguientes condiciones:

- Clasificar las labores de mantenimiento por prioridades
- Acceder al programa de producción
- Estimaciones con el mínimo de error posible
- Flexibilidad del programa de mantenimiento

La programación de forma general se basa en organizar las actividades en tres niveles: programación de largo plazo o programa maestro de 3 meses a 1 año, programación semanal de 1 semana y el programa diario.

3.10.1. Programa a largo plazo

El programa a largo plazo solicita los materiales y recursos derivados de la planeación. Esta programación es la más flexible de las tres, debido a que debe someterse a revisión constante y actualizarse conforme se va avanzando en los trabajos de mantenimiento. Este programa tiene como base las órdenes de trabajo generadas en la planeación en curso, las órdenes sin ser emitidas y los trabajos en cola de espera.

3.10.2. Programa semanal

Tomando como base el programa de largo plazo, el programa semanal tiene que reunir la información referente a los costos y la mano de obra disponible, para la cual se debe priorizar los trabajos de emergencia. Esta programación utiliza herramientas de análisis para secuenciar las actividades en relación a su prioridad, aunque dependiendo de la envergadura de la empresa se pueden programar por métodos heurísticos o que utilicen la experiencia.

3.10.3. Programación diaria

Se realiza con base en la programación semanal y en ella se busca realizar las prioridades establecidas. Generalmente se preparan un día anterior, pero cuando se incurre en trabajos de emergencia, esta programación se ve interrumpida. Aquí se incluyen los recorridos de inspección normales, las lubricaciones generales y todas aquellas tareas que buscan corregir alguna falla basándose puramente en análisis visual de los diversos sistemas indicadores propios de los equipos.

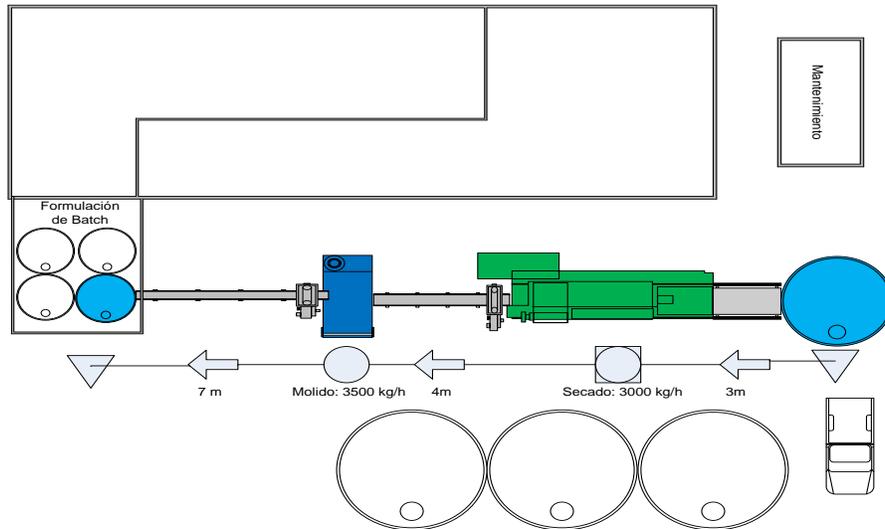
4. IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

4.1. Diagrama de recorrido de maquinaria

Se realiza este diagrama con el objetivo de identificar los subsistemas que componen el sistema (línea de producción de agregado) que se está analizando, para implementar el programa de mantenimiento preventivo. El área ocupada de la línea de producción del agregado en la planta de producción es de 80m² y el sistema se compone principalmente de los siguientes subsistemas:

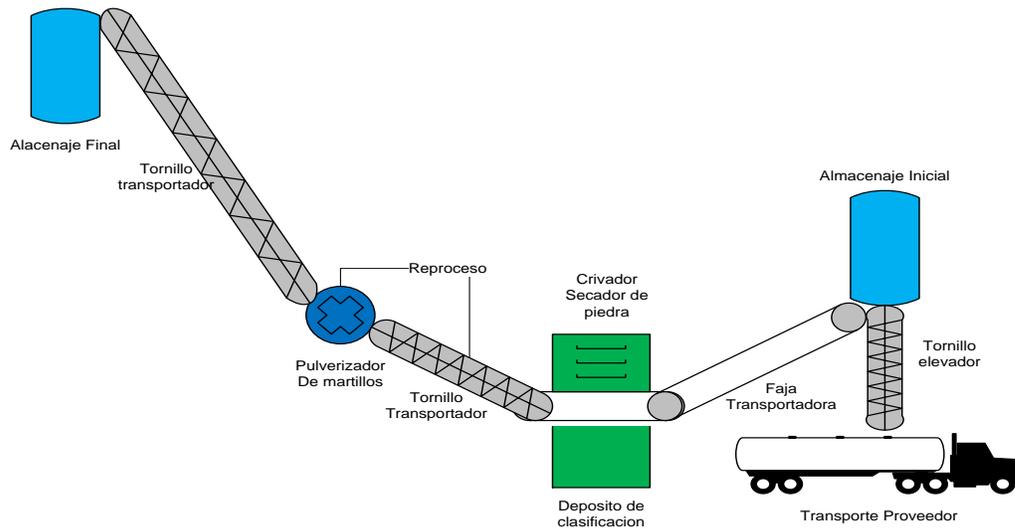
- Almacenaje inicial: contenedores elevados o silos que resguardan el material proveniente de la cantera antes de ser transportado hacia el inicio del proceso.
- Elementos transportadores: conformados por fajas transportadores y tornillos elevadores. Su función es la de mover la materia prima por toda la línea de procesamiento.
- Secador y seleccionador de piedra: este subsistema se encarga de eliminar la humedad natural de la piedra y la selecciona mediante un sistema de cribado según las especificaciones solicitadas por el molino.
- Molino: subsistema cuyo objetivo es el de convertir la piedra caliza en partículas finas, las cuales se convierten en el agregado de la formulación del *batch* de cada línea de producto.
- Almacenaje final: la materia prima procesada se almacena en la planta torre a espera de los elementos con los que se formulará el *batch* final del producto.

Figura 27. Diagrama de recorrido del proceso y maquinaria



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Office Visio 2007.

Figura 28. Diagrama de distribución de maquinaria (perfil)



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Office Visio 2007.

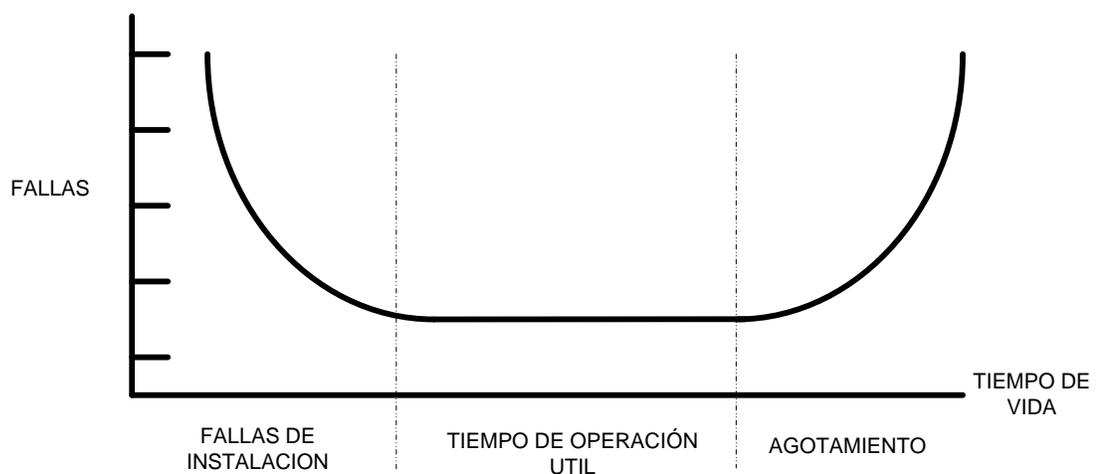
4.2. Codificación de maquinaria

Para atender y programar de mejor manera los requerimientos del mantenimiento preventivo, se deben establecer sistemas de identificación con los que se puedan establecer registros adecuados de mantenimiento con los cuales se realizan estudios para el control del mantenimiento cuyo objetivo es la reducción de costos a medida que se va acercando a una política óptima de mantenimiento basado en la vida del sistema (preventivo).

4.2.1. Codificación por antigüedad

Según diversos análisis, se ha observado que el número de fallas de un equipo no es uniforme a lo largo del tiempo. Esto quiere decir que hay puntos donde el equipo presenta más fallas y un lapso de tiempo donde las fallas permanecen constantes. A este concepto se le llama curva de bañera.

Figura 29. Gráfica de bañera



Fuente: elaboración propia.

Esta codificación es útil para observar los equipos que han llegado a su etapa de agotamiento, para poder tomar decisiones en cuanto al reemplazo del equipo o a reducir la carga de trabajo del mismo, lo cual no es recomendable debido a que la rentabilidad del mismo disminuiría. Este sistema puede utilizarse para registrar el equipo nuevo y compararlo con el tiempo de vida útil recomendado por el fabricante, y con el equipo ya instalado para controlar el desempeño que tiene en la calidad del producto producido.

Tabla XXIII. **Codificación de maquinaria por antigüedad**

| A10L35000 | |
|-----------|--|
| A/B / C | Recién instalada con no más de 1 año / A la mitad de su vida útil +/- 1 año / A 2 años de llegar al final de vida útil |
| 10 | Años de vida útil recomendados por fabricante |
| L/I | Proveedor local / Proveedor internacional |
| 35000 | Costo total de adquisición e instalación en moneda local |

Fuente: elaboración propia.

Se hace la observación de que este sistema no es apto para los trabajos de mantenimiento programado y es puramente un sistema para registro en las bases de datos históricas, por lo que no se utilizará para el diseño del mantenimiento preventivo.

4.2.2. Codificación por proceso

Este sistema sirve para identificar a los equipos, con el fin de asignar a cada uno la tarea de mantenimiento programada correspondiente, evitando confusiones con las órdenes de trabajo. Tomando como base la teoría de sistema se utilizarán las siguientes denotaciones:

- Sistema
- Subsistema
- Componente de subsistema

Tabla XXIV. **Codificación según el proceso**

| A-SE-1-(10) | |
|-------------|---|
| A | Denotación del sistema, en este caso es “agregados”. |
| SE/MO/TR | Denotación del subsistema, en este caso es “secador”, también puede ser “molino”, “transporte”. |
| 1 | Número de referencia del componente específico. |
| (10) | Prioridad de atención basada en el código ICGM. |

Fuente: elaboración propia.

La ventaja de este sencillo sistema es que se pueden localizar con facilidad todos aquellos componentes que necesiten un cambio, reparación o control, dependiendo la política de mantenimiento basada en el tiempo de vida útil. Adicionalmente se pueden clasificar los elementos que tengan mayor prioridad de atención a la falla y que pueden provocar un paro de línea que se traduzca en mayores costos. Este sistema debe ir acompañado de la lista de componentes respectiva, que se puede entrelazar con el inventario de insumos de mantenimiento (en caso de que sean componentes de alta rotación).

4.3. Identificación de puntos críticos de mantenimiento

Los puntos críticos de control son aspectos del sistema en que es propicio tomar las mediciones correspondientes del desempeño, con base en las cuales se toman las decisiones de las tareas de mantenimiento programadas. Estos puntos de control pueden ser:

- Puntos críticos según el proceso: los puntos críticos son tomados con base en las diversas líneas de producción existentes en la planta, por ejemplo, los puntos críticos de la línea de producción de agregado y puntos críticos en la línea de empaque.
- Puntos críticos según la disponibilidad del proveedor: estos puntos críticos suponen que se deben controlar los aspectos de funcionamiento del sistema de producción en los puntos que el proveedor es vital, como puede ser en el almacén de repuestos, la bodega de materia prima y la calidad de los productos suministrados.
- Puntos críticos según la maquinaria: para la tarea de mantenimiento este es el punto crítico de control más importante, debido a que aquí se deben registrar las mediciones del equipo que tiene más incidencia en el resultado final de la producción.

4.3.1. Punto crítico de control del programa de mantenimiento

Para identificar los puntos críticos a los cuales estará ligado el programa de mantenimiento es necesario definir:

- La restricción: este quizás sea el punto crítico de control más importante y necesita ser programado con base en el plan vigente de producción.
- La compuerta: es importante que el sistema reciba el material apropiado para el mantenimiento en el momento justo, para que llegue al punto de restricción de forma oportuna.
- Tareas divergentes: en este punto la tarea de mantenimiento puede llevarse a cabo de varias formas o alternativas.
- Tareas convergentes: en este punto una tarea se puede realizar solo con un material que sea considerado crítico.

A continuación se presenta la identificación de los puntos críticos de control:

Tabla XXV. **Puntos críticos de control mantenimiento**

| SUBSISTEMA | MÉTRICA EVALUAR | A | TIPO PUNTO CONTROL | DE DE RIESGO CONTROL | DE DE NO |
|------------------|--|---|--------------------------|---|----------------|
| Molino | Tamaño de la cara frontal del martillo en mm | | Restricción | Aumento de reproceso, producto conforme | de no |
| Molino | Tamaño de la superficie de rozamiento de la guarda primaria en mm | | Restricción | Aumento de reproceso, producto conforme | de no |
| Molino | Temperatura de funcionamiento del motor eléctrico motriz principal en °C | | Restricción | Paro de línea | |
| Bodega Repuestos | Unidades en <i>stock</i> de repuestos | | Compuerta | Atraso en la tarea de mantenimiento | |
| Secador | Nivel de aceite lubricante en Gal. | | Tarea divergente | Fallas por fricción | |
| Transporte | Grasa de chumaceras | | Tarea divergente | Fallas por fricción | |

Fuente: elaboración propia.

Después de identificar los puntos críticos de control se deben agregar en la programación diaria de acuerdo a un ciclo estructurado que debe ir acorde a las necesidades de producción.

4.4. Diagrama de flujo de procedimientos de mantenimiento

Se debe estandarizar la forma como se realizan y registran las tareas de mantenimiento y se deben establecer los controles adecuados para mejorar los tiempos de aplicación de las tareas.

4.4.1. Procedimientos estandarizados

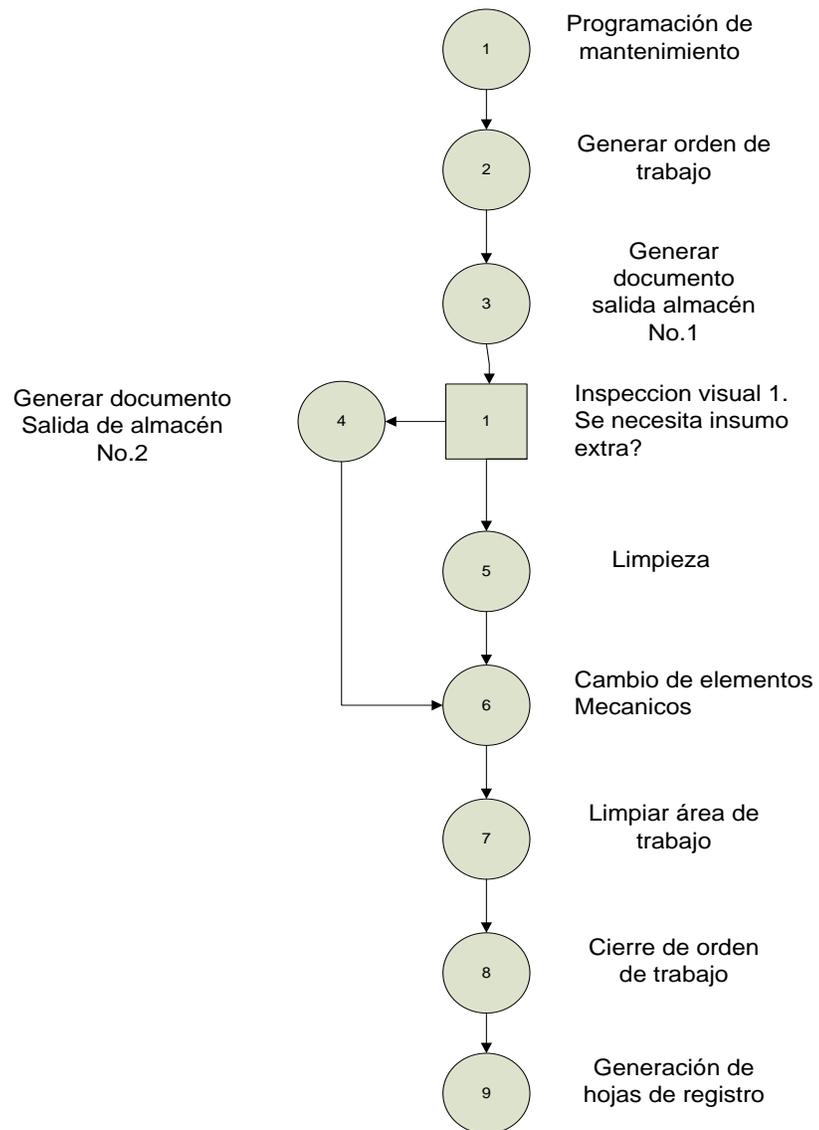
A continuación se presentan los procedimientos estandarizados a implementar en el mantenimiento preventivo para la línea de producción de agregado.

4.4.1.1. Flujo de operaciones de la tarea de mantenimiento preventivo

Para el programa de mantenimiento, como una lista compleja y amplia de tareas que se realizarán al equipo, es necesario un procedimiento estandarizado para permita una forma coordinada de controlar cada paso del proceso de mantenimiento. Las técnicas de control y registro necesitan de una documentación adecuada de los procedimientos, por lo que un procedimiento estandarizado permite visualizar los pasos del mantenimiento en que es necesario registrar una orden de trabajo, salida de almacén, reporte de accidentes, entre otros.

Figura 30. **Diagrama de flujo de procedimientos de la ejecución de mantenimiento preventivo**

| | |
|--|--|
| Empresa: Cemix Sistema: Agregado Departamento: Mantenimiento Elaborado por: Jorge Nij | Fecha: Marzo 2016 Revisado: Gerente de producción Hoja: 1 de 1 |
|--|--|



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Office Visio 2007.

4.4.1.2. Flujo de operaciones de registro de datos

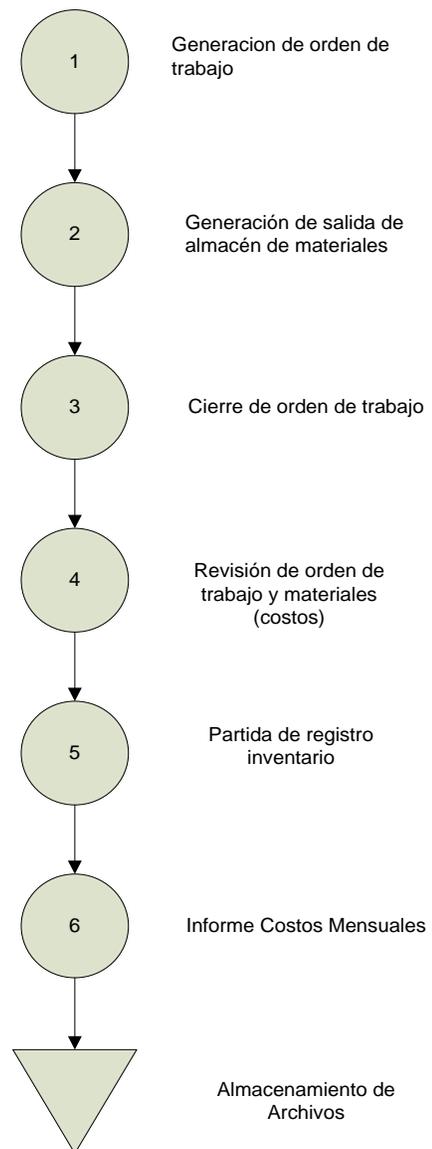
El método de ingreso de información y de registro de datos proporciona una herramienta para la creación de los diferentes índices de análisis administrativos, como pueden ser:

- Análisis de costos
- Análisis de riesgos ocupacionales
- Análisis de oportunidad de mejora
- Índices financieros

Para lograr un mayor control de las salidas del almacén se recomienda el uso de un sistema informático que pueda manejar rangos altos de información. Con este sistema se minimizan los errores humanos en el momento de registros y también se puede usar como base de un historial de los artículos utilizados. Además, este sistema puede enlazar una base de datos que pueda calcular los costos automáticamente por mes, con lo que la labor de control y mejora continua puede ser más eficiente.

Figura 31. Diagrama de flujo de procedimientos de registro de datos

| | |
|--|--|
| Empresa: Cemix Sistema: Agregado Departamento: Mantenimiento Elaborado por: Jorge Nij | Fecha: Marzo 2016 Revisado: Gerente de producción Hoja: 1 de 1 |
|--|--|



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Office Visio 2007.

4.4.2. Procedimientos de programación de rutina diaria

En los procedimientos rutinarios se presenta un mayor índice de desatención del procedimiento estandarizado establecido, debido a que el técnico de mantenimiento muchas veces da por hecho que la información del procedimiento rutinario es clara. A continuación se presentan los procedimientos rutinarios diarios.

4.4.2.1. Procedimientos de lubricación

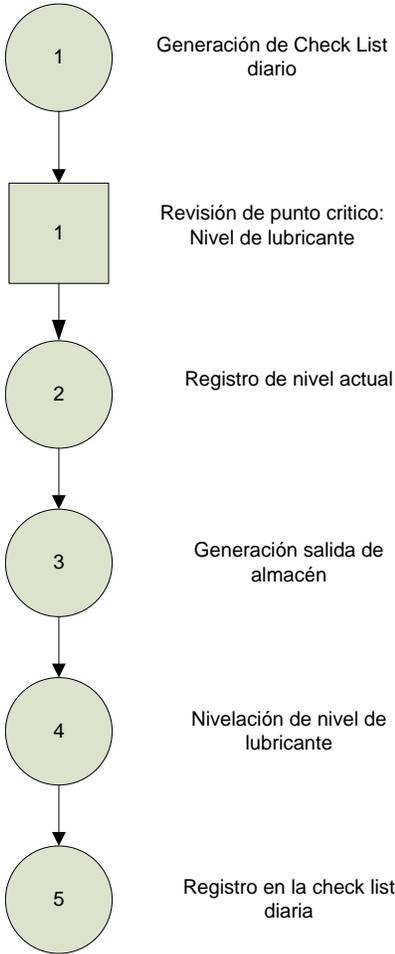
El nivel de lubricante es un punto crítico de control, debido a que la mayoría de los equipos trabajan a cierto régimen de fricción en el que se hace necesario reducir el desgaste mecánico mediante la correcta lubricación. Mantener un régimen de lubricación correcto no solamente reduce el desgaste sino que también evacua el calor generado, reduce los problemas de corrosión y sirve como un medio para examinar el estado interno de la máquina.

4.4.2.1.1. Nivelación de lubricante

Debido a la antigüedad de las máquinas, algunas de estas pierden alrededor de 30% de aceite de su almacenamiento teórico de fábrica, y este se puede perder ya sea en fugas, combustión del mismo lubricante en el caso de los motores de combustión interna, por contaminación severa, entre otros. La nivelación de aceite se recomienda para equipos cuyo análisis de lubricante ha salido satisfactorio, mientras se recomienda sustituir por completo el lubricante cada ciertos ciclos cuando el equipo ha perdido la fase de funcionamiento confiable.

Figura 32. **Diagrama de flujo de procedimientos de nivelación de aceite a maquinaria**

| | |
|--|--|
| Empresa: Cemix Sistema: Agregado Departamento: Mantenimiento Elaborado por: Jorge Nij | Fecha: Marzo 2016 Revisado: Gerente de producción Hoja: 1 de 1 |
|--|--|

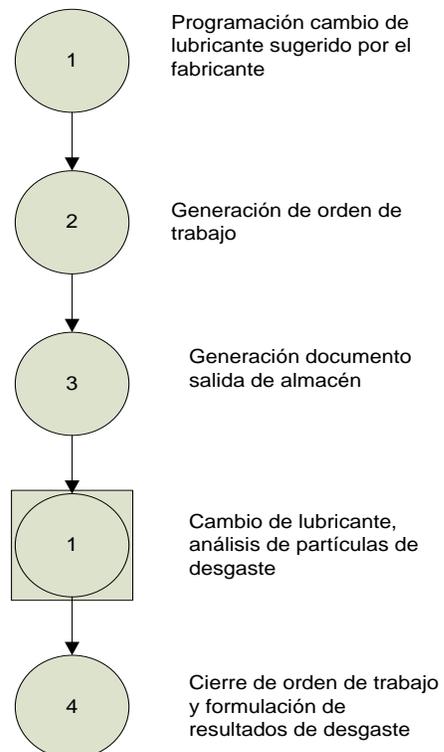
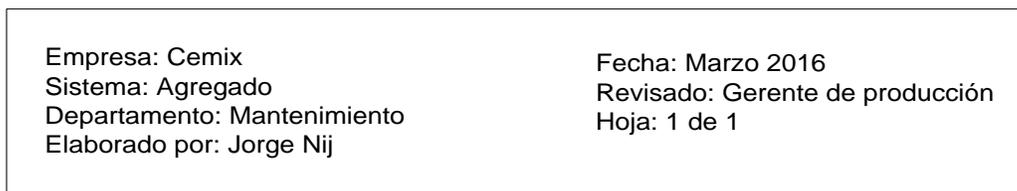


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Office Visio 2007.

4.4.2.1.2. Cambio de lubricante

El cambio de lubricante toma en cuenta el tiempo que sugiere el fabricante para el cambio total del lubricante usado y su disposición correcta al medio ambiente.

Figura 33. **Diagrama de flujo de procedimientos de cambio de lubricante**

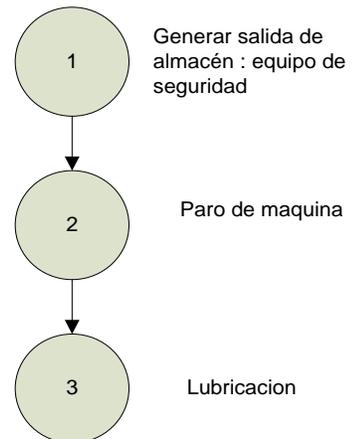
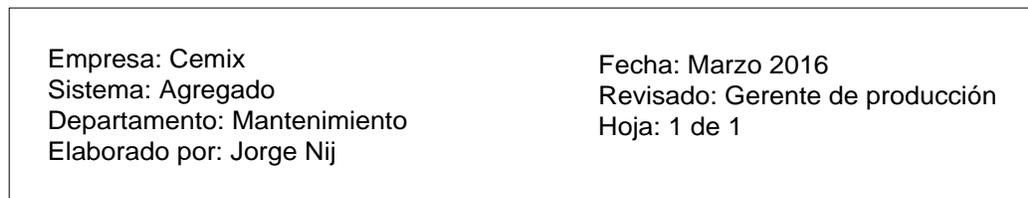


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Office Visio 2007.

4.4.2.1.3. Procedimientos de seguridad

Se hace necesario un procedimiento de seguridad para las tareas rutinarias. Según análisis médico-psicológicos, el operador de mantenimiento suele cometer mayores errores en sus tareas cuando estas son demasiado rutinarias. Esto se debe a un exceso de confianza que se crea por repetir tanto una tarea.

Figura 34. **Diagrama de flujo de procedimientos de cambio de lubricante**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Office Visio 2007.

De este análisis se observa que para cada tarea de cambio de lubricante debe existir una salida de almacén de insumos y una de equipo de seguridad.

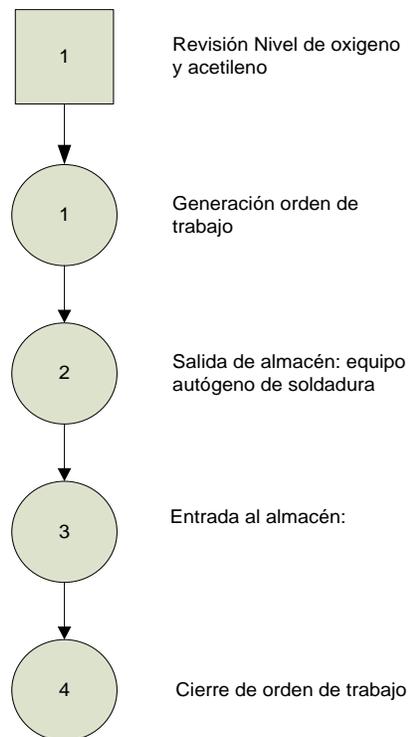
4.4.2.2. Procedimientos de soldadura

Para los procedimientos de soldadura, por su alta utilidad en las tareas de mantenimiento diarias, se hace necesario estandarizar un proceso.

4.4.2.2.1. Soldadura de Oxi-Acetileno

Figura 35. Diagrama de flujo de procedimientos soldadura Oxi-Acetilénica

| | |
|--|--|
| Empresa: Cemix Sistema: Agregado Departamento: Mantenimiento Elaborado por: Jorge Nij | Fecha: Marzo 2016 Revisado: Gerente de producción Hoja: 1 de 1 |
|--|--|

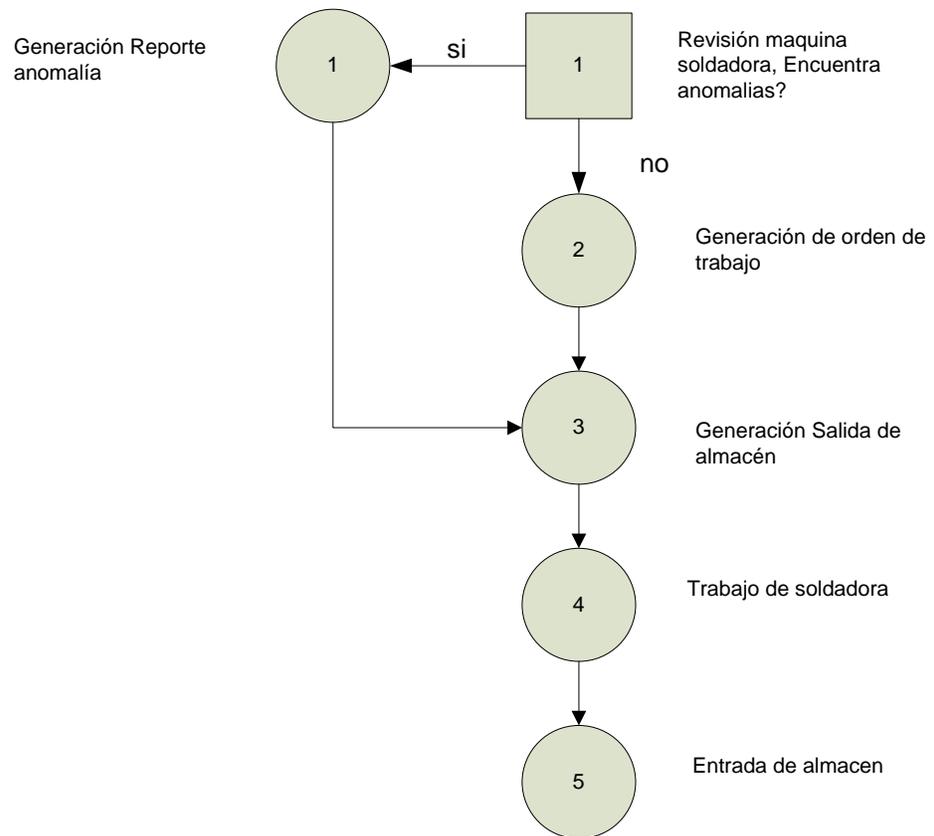


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Office Visio 2007.

4.4.2.2. Soldadura de arco eléctrico

Figura 36. Diagrama de flujo de procedimiento de trabajo de soldadura al arco eléctrico

| | |
|--|--|
| Empresa: Cemix Sistema: Agregado Departamento: Mantenimiento Elaborado por: Jorge Nij | Fecha: Marzo 2016 Revisado: Gerente de producción Hoja: 1 de 1 |
|--|--|

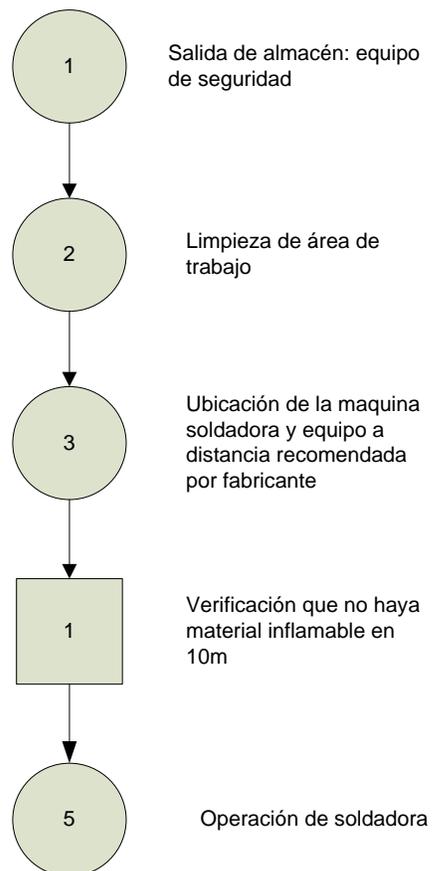


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Office Visio 2007.

4.4.2.2.3. Procedimientos de seguridad

Figura 37. Diagrama de flujo de procedimientos de seguridad al soldar

| | |
|--|--|
| Empresa: Cemix Sistema: Agregado Departamento: Mantenimiento Elaborado por: Jorge Nij | Fecha: Marzo 2016 Revisado: Gerente de producción Hoja: 1 de 1 |
|--|--|



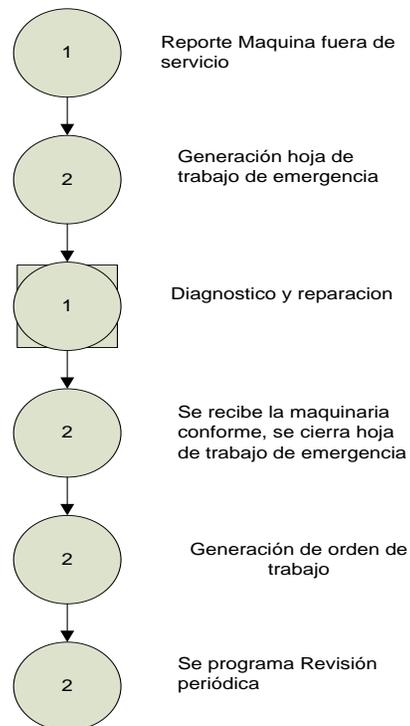
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Office Visio 2007.

4.4.3. Procedimientos de emergencia

Los procedimientos de contingencia para emergencias se realizan en cuanto el técnico reporta una máquina fuera de servicio, entonces se debe recurrir a registrar los datos preliminares y atender la emergencia sin orden de trabajo anticipada.

Figura 38. **Diagrama de flujo de procedimiento de trabajo de emergencia**

| | |
|--|--|
| Empresa: Cemix Sistema: Agregado Departamento: Mantenimiento Elaborado por: Jorge Nij | Fecha: Marzo 2016 Revisado: Gerente de producción Hoja: 1 de 1 |
|--|--|



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Office Visio 2007.

4.5. Mantenimiento preventivo. Programación a largo plazo

El horizonte de tiempo de esta programación abarca desde 1 mes al año en curso, o, dependiendo del tipo de proceso productivo, se puede programar trimestralmente, semestralmente y debe estar coordinado con el departamento de producción y el departamento financiero, con el fin de que el departamento de mantenimiento pueda aprovechar los pronósticos de demanda del producto para programar sus propias tareas, y con el departamento financiero se pueden programar compras de maquinaria especial. Para fines de la programación del mantenimiento al sistema “Agregados”, se establece como horizonte de tiempo mínimo 1 mes, con lo cual se espera un mayor seguimiento de las tareas semanales y diarias.

4.5.1. Cronograma mensual

Con el auxilio del código de maquinaria enunciado anteriormente, y con técnicas de programación de proyectos, se deben generar los avances de las tareas programadas mensualmente, tanto para la gerencia de mantenimiento como para el personal de mantenimiento, y también dejar registrados los índices asociados a las tareas de mantenimiento. Se establecen los parámetros principales para la programación mensual del mantenimiento:

- Establecer inventario de conservación con el código de maquinaria
- Planeación de los recursos disponibles (control de inventario)
- Programa de conservación mensual

Tabla XXVI. **Inventario de conservación**

| | | |
|---|--|------------------------------------|
| Empresa: Cemix S.A. | Programador: Técnico1 | Revisor 2: Gerente de producción** |
| Programación : Mes 2016 | Revisor 1: Bodega* | Revisor 3: auxiliar financiero*** |
| MANTENIMIENTO MENSUAL EQUIPOS INSTALACIONES Y HERRAMIENTAS | | |
| RECURSO | CODIGO | CLASIFICACION |
| Molino | A-MO-0-(10) | Vital |
| Secador | A-SE-0-(9) | Vital |
| Faja transportadora | A-FTR-0-(9) | Vital |
| Tornillo transportador | A-TTR1-0-(8) A-TTR2-0-(8) A-TTR3-0-(8) | Vital |
| Válvula de guillotina | A-AI-1 | Importante |
| Soldadora eléctrica AC/DC | A-MA-6 | Importante |
| Filtro de aire | A-SE-3 | Trivial |
| Tubo reproceso | A-MO-5 | Trivial |
| Barreno eléctrico | A-MA-7 | Trivial |
| Equipo de soldadura autógena | A-MA-8 | Trivial |
| Compresor | A-MA-10 | Trivial |
| Sierra eléctrica | A-MA-11 | Trivial |
| Estanterías | A-BO-1 | Trivial |

Fuente: elaboración propia.

Se elabora el inventario de conservación para el mes de abril de 2016 para el sistema de producción de “Agregados”. Para la interpretación de este inventario se toma el código:

- A: Agregados
- MO: molino
- SE: Secador
- FTR: Faja transportadora
- TTR: Tornillo transportador
- MA: Equipo o herramienta utilizado por el depto. de mantenimiento

- AL: Almacenaje
- BO: Bodega

Los rangos de los códigos ICGM son:

- Rango 10-8 : recursos vitales que se deben atender primero
- Rango 7-5: recursos importantes que se deben atender
- Rango 4-1: recursos que se pueden reprogramar.

Se marca con un * la revisión de bodega, esto quiere decir que para llevar a cabo la programación del mantenimiento, el bodeguero debe observar el inventario físico o inventario por ingresar, para poder realizar las salidas respectivas que requiera cada tarea de mantenimiento.

Se marca con ** la revisión del gerente de producción, quien presenta una programación de la demanda de producto al mes, con la cual se puede decidir si es posible un paro programado a un día específico o un rango de tiempo específico donde se puede asignar una tarea.

Se marca con *** la revisión del auxiliar financiero, la cual toma validez solo cuando en la programación mensual se requiera la incorporación de gastos no planificados para mantenimiento, como pueden ser la adquisición e instalación de maquinaria nueva, o solicitar personal *outsourcing* para una tarea específica vital para la cual el personal de mantenimiento no cuenta con la experiencia adecuada.

Una vez establecidos los equipos, instalaciones o herramientas que se deben programar, se procede a establecer las tareas por recurso para luego poder integrarlas al cronograma mensual.

Tabla XXVII. Programa de mantenimiento mensual de molino de piedras

| A-MO-0(10) MOLINO DE PIEDRAS | | | Tiempo de ejecución: 48 horas |
|------------------------------|-------------|----------------------------------|-------------------------------|
| COMPONENTE | CÓDIGO | TAREA | |
| Martillo pulverizador | A-MO-1-(10) | Cambio de juego de martillo | |
| Guarda principal | A-MO-2-(10) | Cambio de juego de guarda | |
| Eje | A-MO-4-(9) | Medición de alineación axial | |
| Chumacera principal | A-MO-5-(8) | Cambio de grasa | |
| Motor eléctrico | A-MO-6-(8) | Medición de resistencia inducida | |
| Motor eléctrico | A-MO-6-(8) | Cambio de lubricante | |
| Case | A-MO-7-(5) | Sopleteado y limpieza general | |
| Guarda secundaria | A-MO-3-(4) | Relleno de grietas en superficie | |
| Tornillos | A-MO-8-(3) | Ajuste a pares indicados | |
| Molino | A-MO-0-(3) | Pruebas de funcionamiento | |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. Programa de mantenimiento mensual o 1000 horas de secador

| A-SE-0(10) MOLINO DE PIEDRAS | | | Tiempo de ejecución: 24 horas |
|------------------------------|-------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| COMPONENTE | CÓDIGO | TAREA | |
| Cama vibratoria | A-SE-1-(10) | Revisión de levas | |
| Cama vibratoria | A-SE-2-(9) | Revisión de amortiguadores | |
| Soplador | A-SE-3-(9) | Revisión de cojinete de aspa | |
| Quemador | A-SE-4-(8) | limpieza de boquillas | |
| Quemador | A-SE-4-(8) | Revisión general de instalación GLP | |
| Filtro de salida | A-SE-5-(5) | Sopleteado | |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. Programa de mantenimiento mensual de faja transportadora

| A-FTR-0(10) FAJA TRANSPORTADORA | | Tiempo de ejecución: 5 horas |
|---------------------------------|--------------|------------------------------|
| COMPONENTE | CÓDIGO | TAREA |
| Faja | A-FTR-1-(10) | Revisión de desgaste |
| Cojinetes de rodillos | A-FTR-2-(9) | Cambio de grasa |
| Tornillos | A-FTR-3(6) | Ajuste de tornillos |
| Faja transportadora | A-FTR-0 | Limpieza general |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. Programa de mantenimiento mensual del tornillo transportador 1

| A-TTR1-0-(8) Tornillo Transportador 1 | | Tiempo de ejecución: 8 horas |
|---------------------------------------|---------------|--|
| COMPONENTE | CÓDIGO | TAREA |
| Chumacera central | A-TTR1-1-(10) | Engrase de chumacera |
| Chumacera final | A-TTR1-2-(10) | Engrase de chumacera |
| Moto reductor | A-TTR1-3-(8) | Cambio de lubricante |
| Motor eléctrico | A-TTR1-4-(7) | Prueba de funcionamiento |
| Tornillos | A-TTR1-5-(6) | Ajuste general |
| Tornillo transportador | A-TTR1-0 | Revisión de desgaste pared de cilindro |
| Tornillo transportador | A-TTR1-0 | Limpieza general |

Fuente: elaboración propia.

El plan para el tornillo transportador 1 satisface igualmente al tornillo transportador 2 y 3, dado que son los mismos modelos.

4.5.2. Programa semanal

El programa semanal toma como base el programa mensual. En este es posible programar tareas importantes y triviales, las cuales no impliquen que se detenga la línea de producción y que se puedan realizar con menor tiempo.

Para esta programación también se incluyen revisiones periódicas para detección temprana de fallas. Las tareas de la programación semanal pueden verse interrumpidas por tareas de mantenimiento de emergencia, por lo que deben ser flexibles en cuanto a su tiempo de realización pero no deben obviarse, por ningún motivo, debido a que la falta del seguimiento semanal de mantenimiento puede repercutir en una falla importante más adelante. El programa semanal tiene constantes actualizaciones que se van realizando debido al avance de las tareas.

También hay que tomar en cuenta que solo se cuenta con un técnico de mantenimiento, debido a esto las tareas se deben presentar lo más simplificadas que sea posible.

4.5.2.1. Revisiones periódicas

Hay acciones que se convierten en rutinarias a medida que se adopta el programa de mantenimiento preventivo. Todas estas actividades conllevan revisiones periódicas que se realizan con el fin de detectar anomalías, observando los parámetros de funcionamiento anormales del equipo y comparándolos con parámetros normales.

Tabla XXXI. Programa semanal de mantenimiento

| TAREA | COMPONENTE | TIEMPO Horas |
|---|------------|-----------------|
| Prueba válvula guillotina | A-AI-1 | 0,5 |
| Prueba de funcionamiento soldadora | A-MA-6 | 0,5 |
| Sopleteado de filtro de aire | A-SE-3 | 2 |
| Limpieza de atasco del tubo de reproceso | A-MO-5 | 4 |
| Prueba de funcionamiento de barreno eléctrico | A-MA-7 | 0,5 |
| Prueba de equipo de soldadura autógena | A-MA-8 | 0,5 |
| Nivelación de lubricante compresor | A-MA-10 | 1 |
| Prueba de funcionamiento de sierra | A-MA-11 | 0,5 |
| Limpieza de estanterías | A-BO-1 | 3 |
| Nivelación de lubricante motor de molino | A-MO-6 | 1 |
| Nivelación de lubricante secador | A-SE-0 | 1 |

Fuente: elaboración propia.

4.5.3. Revisión diaria

En las revisiones diarias se deben medir los puntos críticos de control en parámetros de tiempo fijos. Para lograr uniformidad en las mediciones, se agregan tareas rutinarias que pueden o no realizarse en el día pero se deben realizar al día siguiente.

Tabla XXXII. Programación de punto crítico de control

| Métrica a Evaluar | Punto Critico | HORAS PARAMETRO | | | | | | |
|--|--|-----------------|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Tamaño de la cara frontal del martillo en mm | A-MO-1 | | | x | | x | | |
| Tamaño de la superficie de rozamiento de la guarda primaria en mm | A-MO-2 | | | x | | x | | |
| Temperatura de funcionamiento del motor eléctrico motriz principal en °C | A-MO-3 | | | | x | | | |
| Nivel de aceite Lubricante en Gal | A-SE-7 | x | | | x | | | |
| Grasa de chumaceras | A-FT-5 A-TTR1-5 A-TTR2-5 A-TTR3-5 | x | | | x | | | |

Fuente: elaboración propia.

4.6. Documentos de registro

Los documentos de registro toman importancia en el mantenimiento planeado dado que con ellos se genera información valiosa para establecer índices con los cuales se pueden controlar mejor las tareas de mantenimiento, los costos incurridos para su realización y los documentos que pueden ser requeridos para auditoria de puntos críticos, auditoria de riesgos, inventario inicial o inventario final, con lo cual la empresa puede aspirar a acreditaciones internacionales. Para asegurar el correcto almacenamiento de la información se propone la implementación de un sistema operativo básico, como lo es Microsoft Access, en el cual se puede guardar gran volumen de datos mediante el ingreso de formularios y tablas.

Figura 39. **Ejemplo de formulario de registro de fallas en Access**

The image shows a screenshot of a Microsoft Access form titled "Formulario Registro de Falla". The form has a blue title bar with standard window controls (minimize, maximize, close). Below the title bar, there are four buttons: "Ingreso", "Busqueda", "Guardar", and "Imprimir". The form contains several input fields: three dropdown menus labeled "Elija un sistema", "Elija un Subsistema", and "Elija un componente"; two text boxes labeled "Reporta" and "Fecha"; and four radio buttons for "Falla parcial", "Intermitente", "Total", and "Catastrofica". At the bottom of the form is a large text area labeled "Descripcion de la falla" with a scrollbar.

Fuente: elaboración propia.

4.6.1. Registro de fallas

Los registros de las fallas toman importancia en el mantenimiento preventivo, debido a que se puede formar un historial de fallas de acuerdo a distintas condiciones de funcionamiento, con lo cual se permitiría al técnico de mantenimiento diagnosticar los distintos tipos de averías antes que sucedan. Este registro de fallas también utilizará una hoja de intervención de mantenimiento de emergencia, en caso de que sea necesario. Antes de digitalizarla en el formulario de registro de Access, la información debe ser comunicada mediante una hoja de registro en el instante de la ocurrencia.

Figura 40. Hoja de registro de fallas

| | |
|--|---|
| REPORTE DE FALLA Departamento: _____ | No. 0001 Fecha: _____ |
| Reporta: _____ | |
| Descripcion de falla: _____ _____ | |
| <input type="checkbox"/> Parcial <input type="checkbox"/> Intermintente <input type="checkbox"/> Total <input type="checkbox"/> Catastrofica | |
| Equipos comprometidos _____ _____ | |
| Solicita Intervencion? | <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO |

Fuente: elaboración propia.

4.6.2. Orden de trabajo

Figura 41. Hoja de registro de orden de trabajo

| ORDEN DE TRABAJO | | No. 0001 | |
|--|-------------|--------------------------------------|-------------|
| Codigo de equipo: | | Fecha: | |
| <input type="checkbox"/> Rutina | | <input type="checkbox"/> Especifica | |
| | | <input type="checkbox"/> Prioritaria | |
| Descripcion General del trabajo: _____ | | | |
| _____ | | | |
| MANO DE OBRA PLANIFICADA | | | |
| Tiempo Est. | Tiempo Real | Descripción | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| MATERIALES PLANIFICADOS | | | |
| Codigo | Descripción | Costo unitario | Costo Total |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| Solicita: _____ | | Autoriza: _____ | |
| Fecha finalización: _____ | | | |

Fuente: elaboración propia.

4.6.3. Requerimiento de insumos

El control de las entradas y salidas del almacén es muy importante, ya que de este control depende el monitoreo del punto crítico de control de las unidades de repuestos e insumos disponibles en bodega. Para el registro de los datos se propone el ingreso y registro mediante un formulario y una base de datos de Microsoft Access.

Figura 42. Ejemplo de formulario de ingreso de almacén en Access

The screenshot shows a Microsoft Access form titled "Salidas y Entradas de almacen". The form has a blue header bar with standard window controls (minimize, maximize, close). Below the header, there are five buttons: "Nueva Entrada", "Nueva Salida", "Buscar", "Guardar", and "Imprimir".

The form contains several input fields:

- "Elija un sistema" (dropdown menu)
- "Elija un Subsistema" (dropdown menu)
- "Elija un componente" (dropdown menu)
- "Solicita/ técnico / proveedor" (text box)
- "Fecha" (dropdown menu)
- "Unidades en Stock (automatico)" (text box)
- "Numero de Re-orden(automatico)" (text box)

There are two radio button options:

- Orden de trabajo
- Compra

Each radio button has an associated text box:

- Next to "Orden de trabajo": "Ingresar numero de orden"
- Next to "Compra": "Ingresar Numero de factura"

At the bottom, there is a large text area with a scroll bar. The text inside reads: "Descripcion de la entrada de almacen / orden de trabajo / compra a proveedor / devoluciones".

Fuente: elaboración propia.

Figura 44. **Check list mensual y semanal**

| | | | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|--------------------|--|--|--|
| CHECK LIST MENSUAL /SEMANTAL DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO | | | | | | No. 0001 Fecha: | | | |
|---|--|--|--|--|--|--------------------|--|--|--|

| PROGRAMACION MENSUAL | | | | | | | | | |
|----------------------|----------|---|----------|---|----------|---|----------|---|--|
| Equipo | Semana 1 | | Semana 2 | | Semana 3 | | Semana 4 | | |
| A-MO-0 | P | ✓ | | | | | | | |
| A-SE-0 | | | | | P | ✓ | | | |
| A-FTR-0 | | | | | | | P | ✓ | |
| A-TTR1-0 | | | P | X | | | | | |

| PROGRAMACION SEMANAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Equipo | L | M | M | J | V | L | M | M | J | V | L | M | M | J | V | L | M | M | J | V |
| A-AL-1 | ✓ | | | | | ✓ | | | | | ✓ | | | | | ✓ | | | | |
| A-MA-6 | ✓ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A-MO-5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A-MA-7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A-MA-8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A-MA-10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A-MA-11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A-BO-1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A-MO-6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A-SE-0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

P: Programado ✓ : Realizado X: No Realizado

Fuente: elaboración propia.

4.6.5. Revisión diaria

Para controlar la revisión diaria de todas las rutinas, el técnico se debe apoyar en una hoja *check list* de los controles que se deben llevar en el transcurso del día. La *check list* se puede realizar para distintos horizontes de tiempo, pero en este caso se propone diaria para aumentar el control sobre todas las tareas de mantenimiento.

Figura 45. Ejemplo de *check list* diario

| | | | |
|--------------------|--|----------|--|
| CHECK LIST DIARIO | | No. 0001 | |
| Sistema: Agregados | | Fecha: | |

| RUTINA DIARIA | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|------------------|---|---|------|---|------|------|---|---|----|----|----|----|
| EQUIPO | HORAS / MEDICION | | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| A-MO-1 | | | ✓ | 55mm | | ✓ | 53mm | | | | | | |
| A-MO-2 | | | ✓ | 33mm | | ✓ | 32mm | | | | | | |
| A-MO-3 | | | | | ✓ | 40°C | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |

✓ : Realizado X: No Realizado

Fuente: elaboración propia.

4.6.6. Seguimiento de mantenimiento

El seguimiento a la programación de mantenimiento se realizará utilizando un diagrama de Gantt, generado por el programa Microsoft Project, el cual puede tomar la base de datos de Access para monitorear y actualizar las tareas que se finalicen, se detengan o se eliminen. La ventaja que presenta este sistema es que se pueden introducir costos estimados para realizar un prorrateo al final de la programación mensual, lo cual puede sugerirse como una herramienta para la planificación del mes siguiente. La licencia de paquetes de Microsoft Office para funciones de administración de proyectos cuesta alrededor de \$ 40,00 al año, con lo cual no se generarían costos mayores en administración.

4.6.7. Accidentes laborales

El registro de los accidentes laborales conlleva dedicación y atención de parte de la persona encargada. En este caso se debe capacitar a cualquier persona para que pueda recopilar esta información, dado que en un accidente laboral pueden suceder una serie de acciones que impidan el correcto y pronto registro y, debido a la gravedad de la situación, muchas veces los registros se dejan para después, con lo que se obvia cierta información importante. Con la información recopilada se podrá calcular:

- Índice de frecuencia
- Índice de gravedad

Figura 46. **Hoja de registro de accidentes**

| | |
|----------------------|----------|
| ACCIDENTES LABORALES | No. 0001 |
| Elaborado por : | Fecha: |

| |
|-------------------------|
| DATOS PERSONALES |
|-------------------------|

Nombre completo: _____
Edad: _____ Sexo: _____
Profesion: _____

| |
|----------------------------|
| INFORMACION LABORAL |
|----------------------------|

Antigüedad profesional: _____ Antigüedad en la empresa _____
Puesto de trabajo: _____
Jefe inmediato: _____

| |
|----------------------------------|
| INFORMACION DEL ACCIDENTE |
|----------------------------------|

Trabajo desempeñado al accidentarse: _____

Causas _____

Descripcion del accidente _____

Días perdidos _____ Incapacidad? _____

Fuente: elaboración propia.

5. MEJORA CONTINUA

5.1. Análisis de datos

Aplicando nuevamente la teoría de sistemas, en este caso el sistema cibernético o cerrado (figura 12), puede observarse que existe una etapa de control en el sistema, la cual apunta a que de las salidas (resultados obtenidos), pueden obtenerse datos para realizar un ciclo de control que permitirá aumentar la eficiencia del proceso y productividad del mismo aplicando mejoras. Las mejoras se presentan a partir del análisis de datos mostrados, como índices, auditorías, control de costos y comparación de los beneficios obtenidos a lo largo de la implementación del programa de mantenimiento.

5.1.1. Métricas de salida

La mayoría de las instituciones que tratan el mantenimiento y enfocan sus esfuerzos en estandarizarlo aceptan tres indicadores internacionales básicos, los cuales ayudan a ejemplificar las medidas de salida del sistema del mantenimiento propuesto. Estos indicadores son:

- **Confiabilidad:** toma como medidas fundamentales los tiempos de falla o frecuencia de las fallas y busca valorar las acciones que se ejecutan en producción para el manejo y operación de los equipos que inciden en las fallas. Se define como $\text{tiempo de operación} / \text{número de fallas}$.
- **Disponibilidad:** esta relación muestra el tiempo útil utilizado frente al tiempo real disponible del sistema para su operación, en otras palabras,

está definido como la duración de los tiempos muertos: (tiempo programado – demoras) / tiempo programado.

- **Mantenibilidad:** mide las actividades de reparación sobre los diferentes equipos, toma el volumen de programación (tareas programadas) definido como tiempo medio de reparación / número de fallas, tiempo de realización de la tarea y demoras, conocido como la tasa de proceso del tiempo del ciclo / tiempo real del ciclo. Esta métrica está estrechamente relacionada con la mano de obra de primera línea o el técnico de mantenimiento en la planta y su evaluación.

5.1.1.1. Evaluación de métricas para el programa de mantenimiento del molino de piedra

Para la evaluación de las métricas se evaluarán primero los índices previos del programa de mantenimiento y luego se compararán con los índices finales, después del programa de mantenimiento.

Disponibilidad= $A=(S-d)/S \times 100$; Porcentaje de tiempo muerto= $100-A$

Donde: S = tiempo de producción programada
 d = tiempo muerto (días)

Confiabilidad= $MTBF = (S-d)/f$;

Donde: f es el número de fallas

Mantenibilidad= $MTTR= d/f$

Se consideran los siguientes datos del mes de diciembre de 2015 para el cálculo de los índices:

- Días de paro de línea= 5 molino + 2 secador + 1 faja transportadora + 2 tornillo transportador = 10=d
- Número de fallas = 10=f

Cálculos de índices antes del programa:

- $A = [(31-10)/ 31]*100 = 67,74 \%$
- Porcentaje tiempo muerto = 32,25 %.
- $MTBF = (31-10)/10 = 2,1 \text{ días}$
- $MTTR = 10/10 = 1 \text{ día}$

Para los cálculos de índices del mes de enero de 2016 se consideran los siguientes datos:

- Días de paro de línea = 4 molino + 3,75 secador
- Número de fallas= 6 fallas

Cálculos de índices después del programa:

- $A = [(31-7,75)/ 31]*100 = 75 \%$
- Porcentaje de tiempo muerto = 25 %.
- $MTBF = (31-10)/10 = 3,875 \text{ días}$
- $MTTR = 10/10 = 1,29 \text{ día}$

La interpretación de las métricas se realiza de la siguiente manera:

Tabla XXXIII. **Interpretación de métricas**

| METRICA | MALA | REGULAR | NORMAL | OPTIMA |
|----------------|---------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Disponibilidad | $\leq 80 \%$ | $81 \% \leq A \leq 90 \%$ | $91 \% \leq A \leq 96 \%$ | $97 \% \leq A \leq 100 \%$ |
| Confiabilidad | ≤ 8 días | $9 \leq MTBF \leq 15$ | $16 \leq MTBF \leq 31$ | $MTBF \geq 32$ |
| Mantenibilidad | > 1 día | $1 < MTTR < 0,75$ | $0,75 < MTTR < 0,40$ | $< 0,40$ |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. **Métricas de mantenimiento**

| METRICA | ANTES DE PROGRAMA | DESPUES DE PROGRAMA |
|----------------|-------------------|---------------------|
| Disponibilidad | 67,74 % | 75 % |
| Confiabilidad | 2,1 | 3,875 |
| Mantenibilidad | 1 | 1,29 |

Fuente: elaboración propia.

A partir de este análisis se observa que, en dos meses de aplicado el programa, se consiguió aumentar la disponibilidad y la confiabilidad de los equipos, sin embargo, se observa también que el tiempo de respuesta para las fallas aumentó, lo cual se puede atribuir al grado de especialización del técnico de mantenimiento actual y a la política de contratación de la empresa, la cual solo tiene a un técnico de mantenimiento para toda la planta.

5.1.2. Auditoría de puntos críticos de mantenimiento

Las auditorías de los puntos críticos son necesarias, dado que estos puntos interfieren en segmentos claves de la producción y su control genera puntos de mejora a partir de los resultados obtenidos de sus evaluaciones.

5.1.2.1. Cartas de control

Los puntos de control expuestos (tabla XXI) presentan variaciones, según diversos factores que afectan al sistema completo, como el concepto que se introdujo en la sección 1.2.3. Las variaciones en el proceso pueden ser dadas por:

- Materiales
- Maquinaria
- Medición
- Mano de obra
- Métodos
- Medio ambiente

Estas variaciones pueden ser clasificadas como comunes o por azar, o variaciones especiales o atribuibles, y para su control se han creado límites expuestos por las cartas de control, que pueden ser:

- Cartas de control para variables
- Cartas de control para atributos

El objetivo de las cartas de control es monitorear y analizar el comportamiento del proceso a través del tiempo. Esto permite distinguir los tipos de variación común o especial, lo cual modela el funcionamiento del proceso.

- Carta de control \bar{X} : esta carta analiza la variación entre medidas medias de los grupos, para detectar cambios en la media del proceso. Esta variable se mide de la siguiente manera:

$$LCS = \bar{X} + A_2\bar{R}$$

$$\text{Linea central} = \bar{X}$$

$$LCI = \bar{X} - A_2\bar{R}$$

Donde:

LCS: límite de control superior.

\bar{X} : promedio de mediciones tomadas.

LCI: límite de control inferior.

A_2 = constante obtenida del cálculo de solo considerar la variabilidad dentro de las muestras, a través de rangos de subgrupos por medio de 3 veces la desviación estándar de las muestras.

\bar{R} = media de rangos de variación obtenidos.

- Carta de control R: analiza variaciones entre rangos de las medidas:

$$LCS = D_3\bar{R}$$

$$\text{Linea central} = \bar{R}$$

$$LCI = D_4\bar{R}$$

Donde:

D_3 = constante obtenida del cálculo de la desviación estándar de los rangos de subgrupos de análisis, para diferentes tamaños de subgrupos cuando en el estudio no se conoce el tamaño del grupo. Se utiliza para el cálculo del límite negativo.

D_4 = constante obtenida del cálculo de la desviación estándar de los rangos de subgrupos de análisis, para diferentes tamaños de subgrupos cuando en el estudio no se conoce el tamaño del grupo. Se utiliza para el cálculo del límite positivo.

Tabla XXXV. **Asignación de la carta de control**

| SUBSISTEMA | METRICA EVALUAR | A CARTA CONTROL | DE RIESGO DE NO CONTROL |
|------------------|--|--------------------|--|
| Molino | Tamaño de la cara frontal del martillo en mm | X media | Aumento de reproceso, producto no conforme |
| Molino | Tamaño de la superficie de rozamiento de la guarda primaria en mm | X media | Aumento de reproceso, producto no conforme |
| Molino | Temperatura de funcionamiento del motor eléctrico motriz principal en °C | X media | Paro de línea |
| Bodega Repuestos | Unidades en Stock de repuestos | No Aplica | Atraso en la tarea de mantenimiento |
| Secador | Nivel de aceite Lubricante en Gal | R media | Fallas por fricción |
| Transporte | Grasa de chumaceras | R media | Fallas por fricción |

Fuente: elaboración propia.

Para ejemplificar el uso de las cartas de control se utilizarán las variables de tamaño de la carta del martillo y el nivel de lubricante en el secador, como se enuncia a continuación con medidas en marzo de 2016. Hay que resaltar que, debido a que se trata de un proceso lento, las cartas de control son dirigidas para medidas individuales, es decir que conforme se van tomando las medidas se registran inmediatamente.

Tabla XXXVI. **Datos para carta de control X media**

| MUESTRA | TAMAÑO DE CARA DE EN MM | RANGO |
|---------|-------------------------|-------|
| 1 | 33 | 0 |
| 2 | 31 | 2 |
| 3 | 32 | 1 |
| 4 | 32 | 0 |
| 5 | 35 | 3 |
| 6 | 34 | 1 |
| 7 | 31 | 3 |
| 8 | 28 | 3 |
| 9 | 30 | 2 |
| 10 | 33 | 3 |
| 11 | 29 | 4 |
| 12 | 33 | 4 |
| 13 | 34 | 1 |
| 14 | 35 | 1 |
| 15 | 30 | 5 |
| Medias | 32 | 2,2 |

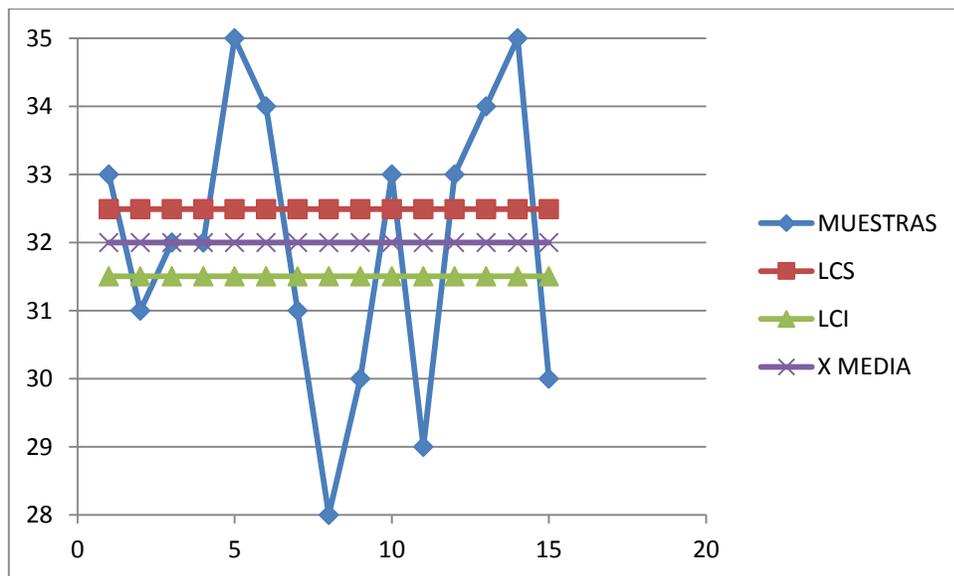
Fuente: elaboración propia.

Se procede a calcular los límites:

- $LCS = 32 + 0,223 * 2,2 = 32,49$
- $LCI = 32 - 0,223 * 2,2 = 31,5049$
- $X \text{ media} = 32$

La gráfica correspondiente a la carta de control queda de la siguiente manera:

Figura 47. **Gráfica de control para X media de tamaño de cara de martillo**



Fuente: elaboración propia.

Los patrones para analizar esta gráfica son los siguientes:

- Patrón 1, desplazamiento o cambios en el nivel de proceso: sucede cuando dos o más puntos salen de los límites de control o hay una

tendencia clara a que los puntos se muevan hacia un solo lado. Los cambios pueden ser por:

- Nuevos trabajadores
 - Cambios en el método de inspección
 - Mayor o menor atención a trabajadores
 - Mejor o peor proceso
- Patrón 2, tendencia en el nivel de proceso: se presenta cuando se observa tendencia a incrementar o disminuir los valores de los puntos y se puede deber a:
 - Deterioro o desajuste gradual de equipo
 - Desgaste de herramienta de corte
 - Acumulación de productos o desperdicio en líneas
 - Calentamiento de máquinas
 - Cambios de medio ambiente
- Patrón 3, ciclos recurrentes (periodicidad): dados por observación de flujo de puntos consecutivos tendientes a crecer, y luego un flujo similar a descender que se repite en ciclos. Las causas de variación son:
 - Cambios periódicos del ambiente
 - Diferencia de las herramientas de medición
 - Cambio regular de máquinas u operarios
 - Efecto sistemático de dos máquinas alternadas
- Patrón 4, mucha variabilidad: es una señal de que en el proceso hay causa especial de mucha variación. Se observa mediante proporciones

de puntos cerca de los límites a ambos lados de la línea y pocos o ningún punto cerca de la media. Las causas pueden ser:

- Sobrecontrol o ajustes innecesarios.
 - Diferencias sistemáticas en la calidad de la materia prima o en métodos de prueba.
 - Control de dos o más procesos en la misma carta.
- Patrón 5, falta de variabilidad (estratificación): todos los puntos se concentran en la parte de la línea central. Las causas son:
 - Equivocación de cálculo de límites
 - La media de datos recopilados (bastante diferentes)
 - “Cuchareo de los resultados”
 - Carta de control inapropiada

Según el análisis, la gráfica muestra un patrón tipo 4 de mucha variabilidad para la medición del tamaño de los martillos, dado que el desgaste que sufren estos está dado por la calidad o dureza de la roca caliza que pulverizarán, como se introdujo en la sección 2.5.2.2 .

5.1.3. Auditoría del punto crítico de unidades en stock de bodega

Se ha decidido realizar la auditoría de este punto mediante métodos diferentes al de las cartas de control, debido a que el manejo de los materiales en bodega depende de muchas variables. La auditoría se realizará mediante inventario mensual, las hojas de registro y el método de Access de almacenamiento de datos de entrada y salida de materiales.

5.1.4. Relación beneficio-costo de mantenimiento

En la sección 2.6.1.1 se introdujo el concepto del análisis beneficio/costo para la línea de producción de agregados, el cual estaba dirigido a analizar el sistema antes del programa de mantenimiento. Ahora se muestra la tabla y la comparación de la relación del beneficio-costo obtenido después del programa de mantenimiento, con el objetivo de analizar si el programa ha presentado mejoría en cuestiones monetarias.

Tabla XXXVII. **Análisis beneficio-costo después de programa**

| COSTOS | | BENEFICIOS | |
|-----------------------------------|-----------------|------------------------------|---------------------|
| DESCRIPCION | COSTO TOTAL (Q) | DESCRIPCION | BENEFICIO TOTAL (Q) |
| Costo directo | 5 250 | HORAS DE PRODUCCION CONTINUA | 22 900 |
| Costo de deterioro | No hay reg. | | |
| Costo de reproceso | 750 | | |
| Costo de paro no programado | 4 500 | | |
| Costo de exceso de mantenimiento | 1 500 | | |
| Costo de mal manejo de inventario | 3 000 | | |
| TOTAL ESTIMADO | 15 000,00 | | |

Fuente: elaboración propia.

El análisis entrega $\text{beneficio-costo} = 22\ 900 / 15\ 000 = 1,55$, lo cual ejemplifica que se ha obtenido una mejoría de Q. 0,55 por cada Q. 1,00 que se

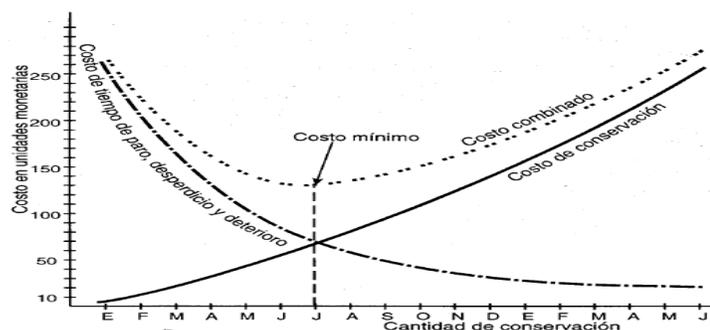
invirtió implementando el programa. El análisis podría realizarse a horizontes de tiempo más amplios, como podría ser cada 6 meses, dependiendo las políticas de control que se quieran implementar y de las mejoras introducidas en el futuro al programa de mantenimiento preventivo. Otras funciones del análisis son:

- Si la relación beneficio-costos es mayor o igual a 1, el proyecto debe seguirse financiando.
- Si la relación beneficio-costos es menor a 1, el proyecto debe dejarse de financiar o replantearlo.

5.1.5. Costos de implementación

Los costos de implementación del programa de mantenimiento deben estar entre límites aceptables por la empresa. Estos costos surgen de la interacción de los costos de conservación y los costos de paro, para dar paso a los costos totales de mantenimiento.

Figura 48. Costo mínimo de conservación



Fuente: DOUNCE VILLANUEVA, Enrique. *Productividad en el mantenimiento industrial*. p.129.

De los análisis después de la implementación del plan se debe monitorear constantemente esta gráfica y atender a que la cantidad de conservación debe mantenerse en parámetros mínimos y máximos para lograr el costo mínimo según el nivel de costos de conservación = $[\text{costo de paro}/\text{costo de conservación}] * 100$, donde el equilibrio es igual a 1.

5.2. Capacitación de personal de mantenimiento

La capacitación constante al personal asegura que las medidas implementadas en el programa de mantenimiento preventivo no se dejen relegadas por acomodo o resistencia al cambio. La comunicación de las nuevas medidas debe estar dirigida al personal en forma que se respete el grado académico, estrato social, religión y demás.

5.2.1. Conceptos básicos de mantenimiento

La pericia técnica de la mano de obra de mantenimiento debe complementarse con otros conocimientos básicos que ayudarán al técnico a realizar mejor su tarea. Entre los conocimientos básicos a implementar en cursos se pueden mencionar:

- Módulo I: importancia de la lubricación en el mantenimiento industrial:
 - Teoría de funcionamiento de lubricación
 - Tipos de fricción
 - Procedencia de los lubricantes
 - Estándares de clasificación de lubricantes

- Módulo II: factores productivos de mantenimiento:
 - Sistemas de información (MS office)
 - Diferencia de herramientas, repuestos e insumos
 - Mantenimiento como función de producción de planta
 - Productividad, eficiencia y eficacia

- Módulo III: generación de ideas para resolución de problemas
 - Mejora continua
 - Métodos cualitativos de análisis de problemas
 - Utilización de lluvia de ideas a nivel operacional
 - Utilización de árbol de problemas a nivel operacional
 - Utilización de Ishikawa a nivel operacional
 - Métodos cualitativos
 - Interpretación de diagrama de Pareto operacional
 - Metodología de las 5s.
 - Seiri (seleccionar)
 - Seiton (ordenar)
 - Seiso (limpiar)
 - Seiketsu (estandarizar)
 - Shitsuke (disciplina)

- Módulo IV: dinámica de las relaciones laborales
 - Trabajo en equipo
 - Condiciones para el trabajo en equipo
 - Reunión o juntas del departamento
 - Metodología de resolución de problemas grupales
 - Pasos en la solución de un problema

- Módulo V: salud y seguridad ocupacional
 - La seguridad es una tarea de todos
 - Legislación laboral

Los módulos anteriormente descritos serán impartidos en bimestres y la asistencia por el personal de mantenimiento debe ser obligatoria. No tendrán costo alguno.

5.2.2. Introducción del plan de mantenimiento

Tomando en cuenta que cualquier estrategia de mejora puede verse ante la situación de enfrentar resistencia al cambio por parte de los operarios de primera línea, por cuestiones personales que pueden llevar al escepticismo, resistencia e incluso oposición, a continuación se enumeran pasos para implementar la estrategia de mejora del programa de mantenimiento:

5.2.2.1. Entender la estrategia y aplicar con base en la madurez de la empresa

Es importante asegurarse que el programa de mantenimiento sea entendido y respaldado por los mandos superiores, los cuales creen firmemente en la necesidad de aplicar el programa de mantenimiento a largo plazo. Si el programa de mantenimiento preventivo es impulsado por un comité débil, entonces los resultados no serán significativos o podrían ser negativos.

5.2.2.2. Vincular y alinear la idea del programa de mantenimiento al plan estratégico general de la empresa y a los índices de mejora global

La puesta en marcha del programa de mantenimiento debe estar en concordancia con la misión, visión y valores de la empresa y su plan estratégico en general, y también estar asociada con los indicadores de mejora. Para alinear la idea del programa es necesario establecer:

- Aporte del programa al plan estratégico de la empresa
- Cómo se alinearán con el plan estratégico
- Delimitación de funciones
- Medición de éxito

5.2.2.3. Asignar los recursos apropiados

La empresa debe estar consciente de la necesidad de mejorar y, de igual manera, debe estar abierta a asignar los recursos necesarios para alcanzar la mejora. Durante el proceso de generación de ideas se pueden obtener muchas estrategias de mejora, pero debido a las exigencias diarias del trabajo algunas personas no pueden participar completamente, lo que se traduce como golpe al entusiasmo del equipo de trabajo.

5.2.2.4. Entrenar al personal apropiado, aplicación de la estrategia y cambio cultural

Los empleados y directivos deben cambiar su forma de pensar y trabajar, dado que se necesita un cambio completo para dar paso al programa de

mejora. La capacitación es el paso crítico; es necesario capacitar en etapas a todos los empleados y directivos.

5.2.2.5. Implementar el plan razonablemente

No se puede esperar resultados inmediatamente mientras el programa de mantenimiento no esté totalmente operante. Cualquier proceso de mejora lleva tiempo y no ocurre en un mes. Un proceso está dado por la curva de aprendizaje del personal que llevará a cabo el programa.

5.2.2.6. Coordinar los esfuerzos dentro de la organización

Todos los departamentos deben vincularse con la mejora, debido a que cuando los resultados no se reflejan en su totalidad, el entusiasmo por la iniciativa disminuye tanto en los directivos como en las áreas que sí alcanzaron el éxito y esperan que las demás áreas trabajen en conjunto.

5.2.2.7. Difundir resultados

La parte motivacional de la introducción del programa es cuando se es parte del éxito de la estrategia. Para que esto ocurra es necesario el reconocimiento dentro de la empresa y la recompensa a la gente que estuvo involucrada y participa en el proyecto de mejora, en este caso el programa de mantenimiento. Los reconocimientos deben ser públicos y pueden tener opción a ser monetarios.

5.2.2.8. Ser constante en propósito, paciencia y visión a largo plazo

El programa actualmente establecido debe mantener el proceso de mejora continua, dado que los máximos resultados no pueden ser observados de la noche a la mañana. Se deben seguir impulsando los proyectos de mejora, los planes de entrenamiento de personal y las iniciativas de liderazgo impulsadas por los directivos.

5.2.3. Normas de seguridad industrial

Los estatutos internacionales para diversas acreditaciones indican que se debe crear un plan de mitigación de riesgos en el que se evalúe el estado actual de la planta y se puedan promover medidas que minimicen los riesgos para el trabajador. Las normas de seguridad y salud ocupacional deben estar en concordancia con las leyes laborales vigentes.

5.2.3.1. Equipo de protección personal

Equipo cuyo objetivo es proteger de uno o varios riesgos la integridad física del trabajador. Estos son de carácter obligatorio y su utilización debe ser debidamente controlada a cada momento por el jefe del departamento de seguridad industrial, los brigadistas y cada persona que haya sido capacitada en las normas básicas, debido a que la seguridad del trabajador es tarea de todos. Los equipos a utilizar son los siguientes:

- Protección respiratoria
- Protección corporal : guantes, botas, casco
- Protección facial

- Reflectantes para labores que se requieren en área de paso de vehículos
- Arnés de 5 puntos para trabajos en altura
- Protección auditiva

5.2.3.2. Capacitaciones en seguridad

Las capacitaciones fomentan el interés y desarrollan las capacidades que el empleado necesita para entender los métodos de trabajo realizados de forma segura y minimizando los riesgos. Para introducir el programa al personal de mantenimiento se pueden promover los siguientes tipos de adiestramiento:

- Seminarios y conferencias
- Capacitación en el área de taller
- Capacitación sobre las tareas específicas

Las diversas enseñanzas sobre seguridad que se apliquen en el departamento deben ser dirigidas sin ánimos de distinguir entre raza, religión, inclinación sexual o estrato social. Estas deben ser impartidas con el único objetivo de que el trabajador pueda desempeñar sus actividades diarias minimizando los riesgos y reportando los actos inseguros que sin control alguno podrían llevarlo a un accidente o a una enfermedad laboral.

5.2.3.3. Seguridad y maquinaria

Dado que se cuenta con diferentes procesos, la maquinaria puede ser muy distinta en cuanto a la materia prima que procesa, su tecnología y la capacidad de producción, sin embargo, todos los equipos deben estar diseñados con un mínimo de dispositivos de seguridad, tanto en marcha como detenidos, y deben estar instalados y mantenidos de tal manera que se facilite

su limpieza y puedan ser alcanzados de manera que las tareas de mantenimiento se realicen sin riesgo. Algunas de las consideraciones de los equipos industriales son las siguientes:

- Fabricados con materiales anticorrosivos y resistentes.
- Superficies redondeadas y sin bordes afilados.
- Señalizados correctamente en sus dispositivos de paro de emergencia para poder ser accionados sin problemas.
- Limpios la mayor parte del tiempo.
- Evitar que tengan fugas de aceite o combustible.

5.2.3.4. Señalización

Se hace importante señalar los ambientes de trabajo para que el trabajador pueda identificar de manera rápida y fácil los riesgos, las protecciones necesarias, las rutas de evacuación normalizadas y los puntos de encuentro. Las distintas señalizaciones pueden clasificarse según su aplicación:

- Informativa
- Obligatoria
- Prohibitiva

5.2.3.5. Extintores

Existen varios tipos de extintores, los cuales pueden ser utilizados debido al proceso productivo de la empresa. La función primordial es la de controlar y extinguir el fuego rápidamente, antes que se propague a otras zonas y se convierta en un incendio. Los diferentes tipos de fuego se clasifican según el material que los origina:

- Clase A: materiales de origen natural como madera, y materiales fibrosos como cartón, papel, telas, gomas y algunos polímeros.
- Clase B: son provocados por líquidos o sólidos inflamables.
- Clase C: se generan a partir de materiales eléctricos como electrodomésticos, motores eléctricos, tomacorrientes, herramientas, fuego de gases como los utilizados en los procesos oxiacetilénicos y el propano.
- Clase D: incendios relacionados con metales.

CONCLUSIONES

1. Los estándares de procedimientos agilizan las tareas de mantenimiento desde el punto de vista de fluidez y de la velocidad de reacción del personal de mantenimiento ante una situación típica, lo cual disminuye los tiempos de paros no programados.
2. Se crearon rutinas y procedimientos para los distintos equipos basados en una clasificación de prioridad, lo que le da mayor importancia a los equipos con mayor riesgo de falla. Esto reduce el costo del mantenimiento correctivo de compra de repuestos de emergencia a un precio mayor u horas extras de labor del personal de mantenimiento.
3. Con el programa de mantenimiento preventivo se calculó que el sistema se mantendría más tiempo en funcionamiento, lo que se refleja en un aumento de producción por día.
4. Con el programa de mantenimiento se demostró que de un sistema de mantenimiento basado en las correcciones de las fallas, se puede ir a un sistema de mantenimiento preventivo, basado en el tiempo de vida del equipo, con el que se busca mantener el sistema de producción en un tiempo de vida útil.
5. El reproceso originado por el desgaste de elementos mecánicos se puede reducir logrando mantener la uniformidad en la producción del agregado, con lo cual se asegura que el cliente reciba producto de mejor calidad.

6. Los índices de salida del sistema mejoraron, evidenciando que los paros no programados se pudieron controlar mediante la planificación, planeación y correcta programación de las actividades que consumen mayor tiempo, disminuyendo los costos de producción por tiempo muerto de máquina.
7. La anticipación a fallas se logra mediante el riguroso plan de rutinas semanales y localización de puntos críticos, los cuales, mediante su medición, pudieron entregar medidas del desenvolvimiento del sistema.
8. La introducción de un sistema de base de datos electrónico garantiza el correcto manejo de grandes volúmenes de información, con lo cual se puede obtener un control mucho más riguroso sobre los puntos más básicos del programa de mantenimiento, como lo son el control de inventario, el registro de fallas y el requerimiento de insumos.

RECOMENDACIONES

1. El modelo de sistema aplicado a la línea de producción indica que en el programa de mantenimiento se deben realizar los controles pertinentes para lograr que el programa no fracase y se puedan alcanzar los objetivos planteados a largo plazo.
2. Las políticas de contratación de personal deben modificarse para que se pueda planificar de mejor manera la mano de obra necesaria para las tareas de mantenimiento, y que la capacidad del proceso no sobrepase la capacidad de mano de obra.
3. Los formatos de hojas de registro descritos en el presente trabajo deben ser revisados periódicamente e ir modificándose para adaptarse al sistema de mantenimiento introducido.
4. Los límites de las cartas y gráficas de control deben ser modificados a medida que el programa de mantenimiento avance en su ejecución, para así poder controlar que las medidas adoptadas se dirijan hacia el objetivo de aumentar la productividad de la línea de producción.
5. Cuando el programa esté enteramente adaptado se recomienda introducir mejoras mediante un programa de mantenimiento predictivo que busque minimizar los costos de mantenimiento.

BIBLIOGRAFÍA

1. BUDYNAS, Richard; NISBETT, Keith. *Diseño en ingeniería mecánica de Shingley*. 8a ed. México: Mcgraw-Hill interamericana. 2008. 1044p.
2. CARRIER VIBRATING EQUIPMENT INC. *Carrier's fluid flow brochure*. United States. 1992. 40p
3. *Catálogo rodamientos*. [en línea]. <<http://www.rodamientosvictoria.com>>. [Consulta: 20 julio de 2016].
4. CHAPMAN, Stephen. *Planificación y control de la producción*. 1ª. ed. México: Pearson Educación. 2006. 288p.
5. *Chumaceras*. [en línea]. <<http://www.prorodcali.com/chumacera.html>>. [Consulta: 20 julio de 2016].
6. DOUNCE VILLANUEVA, Enrique. *Productividad en el mantenimiento industrial*. 2ª. ed. México: Grupo editorial patria. 2007. 341p.
7. DUFUAA, Salih O. *Sistemas de mantenimiento: planeación y control*. 1ª. ed. México: Limusa Willey. 2006. 420p.
8. GARCÍA, Roberto. *Estudio del trabajo*. 2da ed. México: Mcgraw-Hill interamericana editores. 2000. 451p.

9. GUTIÉRREZ, Humberto. *Calidad total y productividad*. 3ª. ed. México: Mcgraw-Hill interamericana editores. 2005. 359p.
10. HILLIER, Frederick; LIEBERMAN, Gerald. *Introducción a la investigación de operaciones*. 9a ed. México: Mcgraw-Hill Interamericana editores. 2010. 961p.
11. MAMLOUK, Michael; ZANIEWSKI, John. *Materiales para ingeniería civil*. 2da ed. Madrid: Pearson educación. 2009. 624 p.
12. MORA, Luis. *Mantenimiento: planeación, ejecución o control*. 1ª. ed. México: Alfa omega grupo editorial. 2009. 528p.
13. *Mortero de cemento-arena*. [en línea] <https://www.uclm.es/ing_rural/Hormigon/Temas/Morteros.pdf> [Consulta: 21 de noviembre de 2016]
14. MOTT, Robert. *Diseño de elementos de máquinas*. 4ta ed. México: Pearson Educación. 2006. 944p.
15. *Quiénes somos. Enfoque. Valores*. [en línea] <<http://www.cemix.com/Pages/Nosotros.aspx> > [Consulta: 12 de enero de 2016].
16. WAM INC. *Wam tubular Screw Conveyors Catalog*. Italia. Pág. 25
17. WILLIAM´S CRUSHERS. *Service Manual*. United States.1985. 158p.