



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

**MEJORA E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN PARA EL MANTENIMIENTO
PREVENTIVO DE LOS EQUIPOS EN PLANTA DE CAL, CEMENTOS PROGRESO,
SOCIEDAD ANÓNIMA**

Gerardo Andrés Cabrera Azurdia

Asesorado por el Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma

Guatemala, marzo de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MEJORA E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN PARA EL MANTENIMIENTO
PREVENTIVO DE LOS EQUIPOS EN PLANTA DE CAL, CEMENTOS PROGRESO,
SOCIEDAD ANÓNIMA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR**

GERARDO ANDRÉS CABRERA AZURDIA
ASESORADO POR EL ING. CARLOS ANÍBAL CHICOJAY COLOMA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, MARZO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|------------|--------------------------------------|
| DECANO | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| VOCAL I | Ing. José Francisco Gómez Rivera |
| VOCAL II | Ing. Mario Renato Escobedo Martínez |
| VOCAL III | Ing. José Milton de León Bran |
| VOCAL IV | Br. Luis Diego Aguilar Ralón |
| VOCAL V | Br. Christian Daniel Estrada Santizo |
| SECRETARIA | Inga. Lesbia Magalí Herrera López |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|------------|------------------------------------|
| DECANO | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| EXAMINADOR | Ing. Julio Cesar Campos Paiz |
| EXAMINADOR | Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma |
| EXAMINADOR | Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda |
| 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:

MEJORA E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS EQUIPOS EN PLANTA DE CAL, CEMENTOS PROGRESO, SOCIEDAD ANÓNIMA

Tema que me fuera asignado por la dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 19 de septiembre de 2017.



Gerardo Andrés Cabrera Azurdia



Guatemala, 11 de enero de 2019
REF.EPS.DOC.955.11.18.

Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Argueta Hernández.

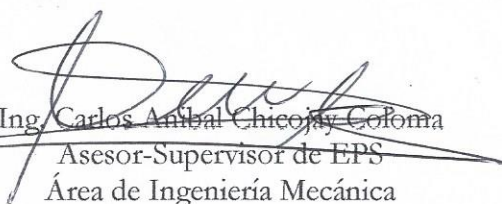
Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Gerardo Andrés Cabrera Azurdia** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 201122759, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **MEJORA E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS EQUIPOS EN PLANTA DE CAL, CEMENTOS PROGRESO, SOCIEDAD ANÓNIMA.**

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica

c.c. Archivo
CACC/ra





Guatemala, 11 de enero de 2019
REF.EPS.D.443.11.18

Ing. Julio César Campos Paiz
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente


Estimado Ingeniero Campos Paiz:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **MEJORA E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS EQUIPOS EN PLANTA DE CAL, CEMENTOS PROGRESO, SOCIEDAD ANÓNIMA**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Gerardo Andrés Cabrera Azurdia** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Carlos Anibal Chicojay Coloma.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS



OAH/ra



USAC

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

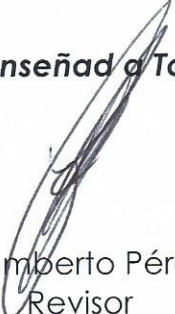
Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.013.2019

El Revisor de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **MEJORA E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS EQUIPOS EN PLANTA DE CAL, CEMENTOS PROGRESO, SOCIEDAD ANÓNIMA** del estudiante **Gerardo Andrés Cabrera Azurdia**, CUI 2277399490101, Reg. Académico No. 201122759 y habiendo realizado la revisión de Escuela, se autoriza para que continúe su trámite en la oficina de Lingüística, Unidad de Planificación.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Revisor
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, enero de 2019

/aej



USAC

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.058.2019

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **MEJORA E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS EQUIPOS EN PLANTA DE CAL, CEMENTOS PROGRESO, SOCIEDAD ANÓNIMA** del estudiante **Gerardo Andrés Cabrera Azurdia, CUI 2277399490101, Reg. Académico No. 201122759** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Julio César Campos Paiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala marzo de 2019

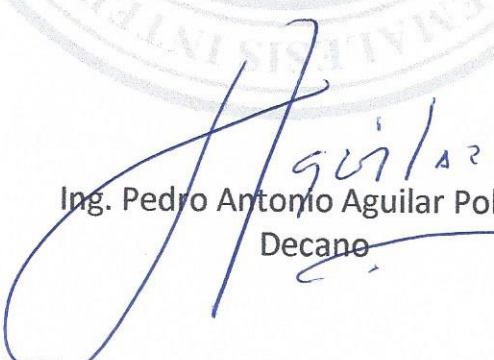
/aej



DTG. 114.2019

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, al Trabajo de Graduación titulado: **MEJORA E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS EQUIPOS EN PLANTA DE CAL, CEMENTOS PROGRESO, SOCIEDAD ANÓNIMA**, presentado por el estudiante universitario: **Gerardo Andrés Cabrera Azurdía**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, marzo de 2019

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por darme la sabiduría y la fuerza para seguir adelante cada día y nunca dejarme caer en los momentos más difíciles; por brindarme el conocimiento y la experiencia para culminar mi carrera profesional.

Mis padres

José María Cabrera Cuevas y Albertina Isabel Azurdia Valle, por el apoyo y esfuerzo incondicional, por el amor y sabios consejos. Estaré agradecido toda la vida con ustedes.

Mi familia

Mis abuelos, tíos y hermanos por su amor y consejos.

AGRADECIMIENTOS A:

| | |
|---|---|
| Dios | Por brindarme la sabiduría, entendimiento y preparación para alcanzar esta meta. |
| Universidad de San Carlos de Guatemala | Por tener la dicha de pertenecer a esta casa de estudios, la cual me enseñó y me forjó para alcanzar mi meta, ser profesional. |
| Facultad de Ingeniería | Por permitirme ser parte de ella y ser el camino para llegar al éxito. Y a los catedráticos por sus enseñanzas, con las cuales adquirí los conocimientos y logré culminar mi carrera profesional. |
| Cementos Progreso, S.A. | Por darme la oportunidad de realizar mi Ejercicio Profesional Supervisado en Planta San Miguel. Agradezco también a los Gerentes y Jefes del Departamento de Mantenimiento por brindarme esta oportunidad de crecimiento y ampliar mis conocimientos en el área de la ingeniería. |

| | | |
|----------|--|----|
| 2. | FASE DE INVESTIGACIÓN..... | 13 |
| 2.1. | Diagnóstico de la situación actual | 13 |
| 2.2. | Cal..... | 14 |
| 2.2.1. | Usos y aplicaciones de la cal | 15 |
| 2.3. | Proceso global de la fabricación de cal | 16 |
| 2.3.1. | Obtención de la piedra caliza | 17 |
| 2.3.2. | Preparación de la piedra | 18 |
| 2.3.3. | Calcinación..... | 18 |
| 2.3.4. | Hidratación | 19 |
| 2.3.5. | Separación | 20 |
| 2.3.6. | Envasado / Empaque / Despacho | 20 |
| 2.4. | Información general y funcionamiento de los hornos verticales | 21 |
| 2.4.1. | Descripción horno de cal Maerz | 21 |
| 2.4.2. | Configuración y funcionamiento del horno | 25 |
| 2.4.2.1. | Sistema de calentamiento de corriente paralela..... | 25 |
| 2.4.2.2. | Precaentamiento del aire de combustión | 26 |
| 2.4.2.3. | Horno de dos cubas | 26 |
| 2.4.2.4. | Lanzas del quemador | 27 |
| 2.4.2.5. | Dispositivo de inversión de marcha | 28 |
| 2.4.2.6. | Dispositivo de alimentación | 29 |
| 2.4.2.7. | Dispositivo de descarga | 30 |
| 2.4.2.8. | Sistema hidráulico | 31 |
| 2.4.3. | Descripción del funcionamiento del horno..... | 32 |
| 2.4.3.1. | Principio de funcionamiento del horno | 33 |

| | | |
|----------|--|----|
| 2.4.4. | Características del horno | 38 |
| 2.4.4.1. | Granulometría de la caliza alimentada | 38 |
| 2.4.4.2. | Ciclos de operación | 39 |
| 2.4.5. | Combustible sólido | 39 |
| 2.4.6. | Aire de proceso..... | 40 |
| 2.5. | La calcinación de caliza y dolomita | 43 |
| 2.5.1. | Caliza..... | 44 |
| 2.5.2. | Formación de la caliza | 44 |
| 2.5.3. | Composición mineralógica..... | 44 |
| 2.5.4. | Datos y características de la caliza..... | 45 |
| 2.5.5. | Calcinación de la caliza | 47 |
| 2.5.6. | Reactividad de la cal..... | 47 |
| 2.5.7. | Influencia del tamaño de partícula sobre el tiempo de permanencia | 47 |
| 2.6. | Proceso por equipo para la fabricación de cal..... | 49 |
| 2.6.1. | Área horno..... | 49 |
| 2.6.1.1. | Extracción de caliza..... | 49 |
| 2.6.1.2. | Pulmón calera..... | 49 |
| 2.6.1.3. | Zaranda vibrante..... | 50 |
| 2.6.1.4. | Faja de alimentación al horno..... | 51 |
| 2.6.1.5. | Estructura del horno | 52 |
| 2.6.1.6. | Tolva alimentación de piedra..... | 53 |
| 2.6.1.7. | Canal vibrante o transportadores vibratorios | 53 |
| 2.6.1.8. | Tolva pesadora..... | 54 |
| 2.6.1.9. | Horno de cal | 55 |
| 2.6.2. | Área hidratadora | 61 |
| 2.6.2.1. | Trituradora de martillos..... | 61 |

| | | | |
|-------|----------|---|----|
| | 2.6.2.2. | Hidratadora..... | 63 |
| | 2.6.2.3. | Separador..... | 63 |
| | 2.6.2.4. | Molino de bolas | 64 |
| | 2.6.3. | Área despacho | 66 |
| 2.7. | | Equipos auxiliares de la planta..... | 67 |
| | 2.7.1. | Bandas de transporte | 67 |
| | 2.7.2. | Sopladores o compresores..... | 68 |
| | 2.7.3. | Elevadores de cangilones | 69 |
| | 2.7.4. | Transportador helicoidal | 70 |
| | 2.7.5. | Colector de polvo | 71 |
| 2.8. | | Descripción del Departamento de Mantenimiento | |
| | | Mecánico..... | 73 |
| | 2.8.1. | Organigrama del Departamento de | |
| | | Mantenimiento..... | 73 |
| 2.9. | | Tipos de mantenimiento | 75 |
| | 2.9.1. | Mantenimiento correctivo | 75 |
| | | 2.9.1.1. Etapas del mantenimiento | |
| | | correctivo..... | 75 |
| | 2.9.2. | Mantenimiento predictivo..... | 76 |
| | 2.9.3. | Mantenimiento preventivo | 77 |
| | 2.9.4. | Mantenimiento proactivo | 78 |
| | 2.9.5. | Mantenimiento basado en riesgo (RbM) | 78 |
| | 2.9.6. | Mantenimiento centrado en confiabilidad | |
| | | (RCM)..... | 80 |
| 2.10. | | Sistema de codificación de activos (HAC's/PNS)..... | 81 |
| | 2.10.1. | Ubicación técnica como HAC | 83 |
| | 2.10.2. | Funciones de las ubicaciones técnicas | 86 |
| | 2.10.3. | Equipo | 86 |
| | 2.10.4. | Sistema de historial de equipos..... | 87 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 2.10.5. | Lista de materiales..... | 87 |
| 3. | FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL | 89 |
| 3.1. | Plan de trabajo | 89 |
| 3.2. | Repuestos críticos | 94 |
| 3.3. | Determinación de los equipos críticos (Criticidad ABC) | 95 |
| 3.4. | Fichas técnicas..... | 100 |
| 3.5. | Diagramas de flujo..... | 104 |
| 3.6. | Revisión y actualización de la estructura de las ubicaciones técnicas | 113 |
| 3.7. | Identificación de equipos en campo | 115 |
| 3.8. | Puestos de trabajo..... | 117 |
| 3.9. | Implementación del mantenimiento preventivo..... | 117 |
| 3.9.1. | SAP | 119 |
| 3.9.2. | Matriz de paros | 120 |
| 3.9.3. | Frecuencias de mantenimiento..... | 123 |
| 3.9.3.1. | Métodos para definir las frecuencias de mantenimiento..... | 123 |
| 3.9.4. | Estrategias de mantenimiento | 124 |
| 3.9.5. | Rutinas de mantenimiento preventivo (PMR's)..... | 127 |
| 3.9.5.1. | Partes de una PMR | 129 |
| 3.9.5.2. | Procedimiento para la ejecución de una PMR..... | 134 |
| 3.9.5.3. | Actividades realizadas para la creación/actualización de PMR'S | 139 |
| 3.9.6. | Balances de carga | 149 |
| 3.9.7. | Planes de mantenimiento | 153 |

| | | |
|-----------|---|-----|
| 3.9.7.1. | Tipos de planes de mantenimiento..... | 155 |
| 3.9.7.2. | Hojas de ruta para mantenimiento..... | 157 |
| 3.9.7.3. | Posición(es) de mantenimiento | 158 |
| 3.9.8. | Procedimiento para la creación y programación de planes de mantenimiento en SAP | 159 |
| 3.9.9. | Lanzamiento de planes de mantenimiento en automático..... | 172 |
| 3.9.9.1. | Pasos para el lanzamiento del <i>job</i> en planes de mantenimiento | 174 |
| 3.9.10. | Orden de trabajo (OT) | 182 |
| 3.9.10.1. | Proceso funcional de la OT | 183 |
| 3.9.10.2. | Proceso de la orden de trabajo | 184 |
| 3.9.11. | Avisos de mantenimiento | 184 |
| 3.9.11.1. | Estructura de un aviso de mantenimiento en SAP..... | 185 |
| 3.9.11.2. | Catálogos para avisos..... | 188 |
| 3.9.11.3. | Avisos generados en planta de cal..... | 188 |
| 3.10. | Gestión de cambio | 190 |
| 3.10.1. | Beneficios de la gestión de activos a nivel de planta..... | 190 |
| 3.11. | Fase de ahorro energético | 194 |
| 3.11.1. | Ahorro energético en sistemas de aire comprimido..... | 195 |
| 3.11.2. | Ventajas de un sistema de aire comprimido correctamente diseñado..... | 197 |

| | | |
|-----------|---|-----|
| 3.11.3. | Demanda artificial | 197 |
| 3.11.4. | Usos inapropiados | 198 |
| 3.11.5. | Perdidas por fugas..... | 200 |
| 3.11.6. | Propuesta de ahorro energético | 203 |
| 3.11.6.1. | Cálculos..... | 205 |
| 3.11.6.2. | Discusión de resultados..... | 208 |
| 3.11.6.3. | Propuesta para el cambio del sistema | 209 |
| 4. | FASE DE DOCENCIA | 217 |
| 4.1. | Presentación del proyecto a trabajadores | 217 |
| 4.2. | Compromiso y mejora continua | 219 |
| 4.3. | Personal encargado de administrar el mantenimiento..... | 220 |
| 4.4. | Implementaciones | 220 |
| 4.4.1. | Equipos críticos | 220 |
| 4.4.2. | Balances de carga | 221 |
| 4.4.3. | Frecuencias del mantenimiento | 221 |
| 4.4.4. | Plan anual de mantenimiento | 222 |
| 4.4.5. | Plan diario/semanal de mantenimiento | 222 |
| 4.4.6. | Otras implementaciones | 223 |
| 4.5. | Factores importantes en el mantenimiento..... | 224 |
| 4.5.1. | Repuestos..... | 224 |
| 4.5.2. | Rutinas de mantenimiento | 224 |
| 4.5.3. | Mano de obra..... | 226 |
| 4.6. | Activos a los que se realizará mantenimiento preventivo | 226 |
| | CONCLUSIONES | 241 |
| | RECOMENDACIONES | 245 |
| | BIBLIOGRAFÍA..... | 247 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | Organigrama Planta San Miguel, Cementos Progreso, S.A..... | 9 |
| 2. | Paso #1: obtención de piedra caliza..... | 17 |
| 3. | Paso #2: preparación de la piedra | 18 |
| 4. | Paso #3: calcinación de la piedra..... | 19 |
| 5. | Paso #4: hidratación de la piedra | 19 |
| 6. | Paso #5: separación de los óxidos no hidratados | 20 |
| 7. | Paso #6: envasado y despacho | 21 |
| 8. | Hornos Maerz rectangulares | 24 |
| 9. | Vista de planta: fijación del número de cuba..... | 27 |
| 10. | Inversión de marcha aire de combustión/gas de escape | 28 |
| 11. | Aire de refrigeración | 29 |
| 12. | Dispositivo de alimentación | 30 |
| 13. | Dispositivo de descarga | 31 |
| 14. | Sistema hidráulico del horno | 32 |
| 15. | Estados de operación (ciclo 1 y ciclo 2) | 34 |
| 16. | Principio de operación..... | 37 |
| 17. | Propiedades del <i>petcoke</i> y madera en polvo | 40 |
| 18. | Aire de proceso del horno | 42 |
| 19. | Tiempos de calcinación para distintos tamaños de caliza..... | 48 |
| 20. | Pulmón calera | 50 |
| 21. | Zaranda vibratoria | 51 |
| 22. | Faja de alimentación al horno 3 | 52 |
| 23. | Canal vibrante | 54 |

| | | |
|-----|--|----|
| 24. | Tolva pesadora | 55 |
| 25. | Compuertas hidráulicas del horno | 56 |
| 26. | Sensores de nivel de las cubas | 57 |
| 27. | Zonas de las cubas..... | 58 |
| 28. | Temperaturas en el revestimiento refractario | 59 |
| 29. | Descarga del horno..... | 60 |
| 30. | Ilustración trituradora de martillos | 62 |
| 31. | Hidratadora de cal..... | 63 |
| 32. | Separador centrífugo | 64 |
| 33. | Molino de bolas..... | 66 |
| 34. | Banda de transporte | 67 |
| 35. | Sopladores de embolo giratorio | 68 |
| 36. | Elevadores de cangilones..... | 69 |
| 37. | Transportador helicoidal | 70 |
| 38. | Filtro de gases de escape..... | 72 |
| 39. | Organigrama del Departamento de Mantenimiento | 74 |
| 40. | Áreas que comprende el sistema de gestión de activos | 82 |
| 41. | Generación del código HAC | 84 |
| 42. | Plan de trabajo..... | 90 |
| 43. | Plan de trabajo, fase 1 y 2 | 91 |
| 44. | Plan de trabajo, fase 3..... | 91 |
| 45. | Plan de trabajo, fase 3 y 4 | 92 |
| 46. | Plan de trabajo, fase 5..... | 93 |
| 47. | Formato de repuestos críticos | 94 |
| 48. | Criterios para la determinación de criticidades | 96 |
| 49. | Formato determinación de equipos críticos | 97 |
| 50. | Formato determinación de equipos críticos | 97 |
| 51. | Actualización de la criticidad ABC en SAP | 98 |
| 52. | Actualización de la clasificación ISO en SAP | 98 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 53. | Ejemplo de ficha técnica | 101 |
| 54. | Ejemplo de ficha técnica | 102 |
| 55. | Ejemplo de ficha técnica | 103 |
| 56. | Diagrama de flujo línea 1 | 106 |
| 57. | Diagrama de flujo línea 1, área de <i>petcoke</i> | 107 |
| 58. | Diagrama de flujo línea 2 | 108 |
| 59. | Diagrama de flujo línea 2, área de <i>petcoke</i> | 109 |
| 60. | Diagrama de flujo alimentación y descarga horno 3 | 110 |
| 61. | Diagrama de flujo línea 3, área <i>petcoke</i> y sopladores | 111 |
| 62. | Diagrama de flujo línea 3, área hidratadora | 112 |
| 63. | Ejemplo de la estructura antigua de la planta de cal..... | 114 |
| 64. | Identificación de equipos..... | 116 |
| 65. | Nuevos puestos de trabajo para la planta de cal | 117 |
| 66. | Proceso del mantenimiento preventivo | 118 |
| 67. | Partes de la matriz de paros | 121 |
| 68. | Frecuencias de paro para hidratadoras..... | 122 |
| 69. | Estrategias por áreas | 125 |
| 70. | Nuevas estrategias para hidratadoras..... | 126 |
| 71. | Ciclo completo de la PMR | 128 |
| 72. | Ejemplo No. 1, PMR mecánica | 132 |
| 73. | Ejemplo No. 2, PMR mecánica | 133 |
| 74. | Dispositivos para aislamiento y bloqueo | 143 |
| 75. | Pruebas de bloqueo en paneles eléctricos..... | 144 |
| 76. | Pruebas de bloqueo en campo | 145 |
| 77. | Inspecciones en campo para actualización de PMR'S..... | 146 |
| 78. | Listado de bloqueos | 147 |
| 79. | Paneles eléctricos en planta de cal..... | 148 |
| 80. | Identificación de flip-on..... | 148 |
| 81. | Grafico del balance de cargas (siguientes 12 paros) | 149 |

| | | |
|------|---|-----|
| 82. | Recuadro del total de órdenes y cantidad de horas/hombre..... | 150 |
| 83. | Balance de cargas, especialidad mecánico | 151 |
| 84. | Fechas de planes programados en SAP | 152 |
| 85. | Ciclo de mantenimiento preventivo | 154 |
| 86. | Paso #1. Plan de mantenimiento preventivo..... | 159 |
| 87. | Paso #2. Plan de mantenimiento preventivo..... | 160 |
| 88. | Paso #3. Plan de mantenimiento preventivo..... | 161 |
| 89. | Paso #3.1. Plan de mantenimiento preventivo..... | 162 |
| 90. | Paso #4. Plan de mantenimiento preventivo..... | 163 |
| 91. | Paso #5. Plan de mantenimiento preventivo..... | 164 |
| 92. | Paso #6. Plan de mantenimiento preventivo..... | 165 |
| 93. | Paso #6.1. Plan de mantenimiento preventivo..... | 166 |
| 94. | Paso #7. Plan de mantenimiento preventivo..... | 167 |
| 95. | Paso #7.1. Plan de mantenimiento preventivo..... | 168 |
| 96. | Paso #9. Plan de mantenimiento preventivo..... | 169 |
| 97. | Paso #10. Programación del plan de mantenimiento..... | 171 |
| 98. | Paso #1. Lanzamiento de <i>job</i> | 175 |
| 99. | Resumen de planes de mantto., especialidad lubricación | 176 |
| 100. | Paso #2. Pegar listado de planes | 177 |
| 101. | Paso #2.1. Confirmar listado de planes | 177 |
| 102. | Paso #3. Ejecutar proceso de fondo | 178 |
| 103. | Paso #4. Parámetros para impresión de fondo..... | 179 |
| 104. | Paso #5. Fecha de inicio del <i>job</i> | 180 |
| 105. | Paso #6. Concluir lanzamiento de planes..... | 181 |
| 106. | Diagrama de flujo de la OT | 183 |
| 107. | Ejemplo de aviso en SAP | 186 |
| 108. | Ejemplo de avisos generados en calera | 189 |
| 109. | Ejemplo de formato para gestión de cambio..... | 193 |
| 110. | Gastos en una instalación de aire comprimido | 194 |

| | | |
|------|--|-----|
| 111. | Porcentaje de energía utilizada por compresores de aire | 196 |
| 112. | Utilización del aire comprimido..... | 196 |
| 113. | Picos en el flujo de aire por mal uso de aire comprimido | 197 |
| 114. | Trituradora de martillos, línea 1 de cal | 203 |
| 115. | Tubería de aire comprimido para enfriamiento de chumaceras | 204 |
| 116. | Agujeros para la salida del aire comprimido..... | 204 |
| 117. | Ventilador Soler & Palau | 210 |
| 118. | Fotografía #1. Presentación de proyecto | 218 |
| 119. | Fotografía #2. Presentación de proyecto | 218 |

TABLAS

| | | |
|-------|---|-----|
| I. | Datos técnicos para hornos PFR | 23 |
| II. | Composición elemental del <i>petcoke</i> | 40 |
| III. | Composición mineralógica | 45 |
| IV. | Propiedades de la caliza | 46 |
| V. | Estructura de las ubicaciones técnicas en planta de cal | 84 |
| VI. | Costos por fugas de aire comprimido..... | 201 |
| VII. | Instalación eléctrica de soplador Soler & Palau | 211 |
| VIII. | Materiales para instalación eléctrica | 212 |
| IX. | Materiales para instalación mecánica | 213 |
| X. | Costo del ventilador..... | 213 |
| XI. | Costo de instalación de ventilador | 214 |
| XII. | Costos en dólares y en quetzales | 214 |
| XIII. | Consumos actuales y ahorros estimados..... | 215 |
| XIV. | Equipos área horno 1 | 226 |
| XV. | Equipos área mesh 200 | 229 |
| XVI. | Equipos área horno 2 | 230 |
| XVII. | Equipos área hidratadora 2 | 232 |

| | | |
|--------|--|-----|
| XVIII. | Equipos área horno 3..... | 234 |
| XIX. | Equipos área hidratadora 3..... | 237 |
| XX. | Total de rutinas de mantenimiento preventivo | 239 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado |
|------------------------|--|
| HP | Caballo de fuerza, unidad de potencia. |
| kJ/kg °C | Calor específico. Cantidad de calor que se necesita por unidad de masa para elevar la temperatura un grado Celsius. |
| W/mK | Conductividad térmica. Flujo térmico de un vatio entre dos planos paralelos de un metro cuadrado cuando la diferencia de temperaturas entre las caras es de un Kelvin. |
| °C | Grado Celsius, unidad de temperatura. |
| Hz | Hertz, unidad de frecuencia. |
| kg | Kilogramo, unidad de masa. |
| kJ | Kilojoules, unidad utilizada para medir energía, trabajo y calor. |
| kWh | Kilovatio por hora, unidad de energía. |
| m³/h | Metros cúbicos por hora, unidad de caudal. |
| Pa | Pascal, unidad de presión. |
| kJ/kg | Poder calorífico. Cantidad de calor que entrega un kilogramo de combustible al oxidarse completamente. |
| Q | Quetzal, moneda guatemalteca. |
| RPM | Revoluciones por minuto. |
| T/d | Toneladas métricas por día. |
| T/hr | Toneladas métricas por hora. |
| V | Voltios, unidad de voltaje. |

GLOSARIO

| | |
|--------------------------|--|
| AAR | <i>After action review.</i> Reunión donde se evalúan los aspectos tratados en el día, con el fin de identificar lo positivo y las áreas por mejorar. |
| Aviso | Describe una actividad de mantenimiento que se debe llevar a cabo. Es una documentación exclusivamente técnica. Puede ser originada por una inspección preventiva. |
| Caliza | Tipo de roca sedimentaria compuesta por calcita (carbonato de calcio, CaCO_3). |
| Disponibilidad | La disponibilidad de un equipo representa el tiempo que está disponible al servicio de la unidad de producción, la cual se calcula en porcentaje en un tiempo determinado. |
| EPP | Equipo de Protección Personal. Se utiliza en la industria para proteger al personal de incidentes (casco, botas, lentes de seguridad, guantes, entre otros). |
| Gestión de cambio | Formato en Excel para dar seguimiento a los cambios de los activos en la planta (nuevos equipos, modificación de equipos o eliminación de equipos). |

| | |
|------------------------|---|
| HAC | <i>Holcim Asset Code.</i> Sistema de codificación de activos según Holcim. |
| ISO | <i>International Organization for Standardization.</i> Organización internacional de normalización. |
| MAC | Núcleo estandarizado de sistemas, técnicas, herramientas y prácticas de mantenimiento en plantas de cemento. |
| Mesh 200 | Cal viva pulverizada con fineza de 74 micras. |
| MTBF | <i>Mid time between fails.</i> Tiempo medio entre fallas |
| MTTR | <i>Mid time to repair.</i> Tiempo medio para reparación. |
| Nixtamalización | La nixtamalización (palabra náhuatl, derivada de nextli = cenizas o cenizas de cal y tamalli = masa de maíz) es un tratamiento térmico-alcalino que se utiliza para ablandar el grano de maíz que da origen a la harina y masa. |
| OHSAS | <i>Occupational health and safety assessment series.</i> Sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional. |
| OT | Orden de trabajo. Sistema de control y de información que suministra instrucciones para realizar una tarea, tiempo para realizar la tarea, repuestos a utilizar, materiales, contratistas, entre otros. |

| | |
|--------------------------|---|
| <i>Petcoke</i> | El <i>petcoke</i> o coque de petróleo es una forma sólida de carbón, producido a partir de la descomposición térmica y polimerización de los residuos que derivan de la destilación del petróleo crudo. Es de color negro o gris oscuro y que puede ser utilizado como combustible. |
| PMR | Rutina de mantenimiento preventivo. Procedimiento de actividades ordenadas y sistemáticas para la ejecución del mantenimiento de una máquina o equipo. |
| PNS | Parts numbering system for spare parts classification and stores. Sistema de numeración de piezas, para clasificación y almacenaje. |
| Puesto de trabajo | Las tareas se registran en el puesto de trabajo para que se pueda calcular el coste de una operación. Además se asigna el puesto de trabajo a un centro de costo. |
| <i>RbM</i> | <i>Risk based maintenance</i> . Mantenimiento basado en riesgo. |
| <i>RCM</i> | <i>Reliability centered maintenance</i> . Mantenimiento centrado en confiabilidad. |
| S.A. | Sociedad anónima. |

| | |
|------------|---|
| SAP | Sistema de aplicaciones y productos para procesamientos de información. |
| TRT | Tasa de rendimiento total. |
| UT | Ubicación técnica. Especifica la estructura y ubicación de los objetos técnicos y se identifica según HAC; las ubicaciones pueden ser una planta o una sección. |

RESUMEN

Las empresas precisan ser competitivas para mantenerse o sobrevivir en el mercado. Para ello deben buscar la mayor disponibilidad operacional de sus equipos y una permanente mejora en los desempeños de las herramientas de producción, dentro de una gestión de calidad total. Esto las obliga a contemplar un desarrollo permanente de las áreas productivas, aumentar el nivel de utilización de los equipos al máximo posible, alargando su vida útil y asegurar el grado de confiabilidad de los equipos.

En el presente proyecto realizado en Planta San Miguel de Cementos Progreso, S.A., se hizo una evaluación al sistema de gestión del mantenimiento de los equipos en la planta de cal para identificar las deficiencias que existen respecto al sistema MAC, con el objetivo de obtener un control de lo que se invierte en el mantenimiento de los equipos y que el mantenimiento de la planta de cal esté desvinculado del sistema MAC.

Mantener la maquinaria en condiciones de rendimiento y disponibilidad aceptables en una fábrica de cal es un factor difícil de lograr, ya que el producto que se maneja es bastante abrasivo. Por esta razón es indispensable contar con un sistema de gestión óptimo y actualizado.

La gestión del mantenimiento es un proceso sistemático donde se debe planear acciones estratégicas mediante procedimientos que lleven una secuencia lógica a fin de conseguir confiabilidad y disponibilidad de los equipos.

Una buena gestión del mantenimiento se logra mediante el control de repuestos, la administración de documentación técnica, la jerarquización de los equipos por niveles de criticidades, equilibrar la carga de trabajo en el mantenimiento y la actualización de las rutinas y planes de mantenimiento.

OBJETIVOS

General

Actualizar e implementar el sistema de gestión del mantenimiento preventivo con el fin obtener un control detallado y una mejor planificación de los recursos que se invierten en los equipos de la planta de cal.

Específicos

1. Analizar el desempeño de los métodos y procedimientos utilizados actualmente en el programa de mantenimiento preventivo.
2. Reducir tiempos y recursos en la gestión del mantenimiento preventivo de los equipos en la planta de cal y que la ejecución del mantenimiento sea la adecuada.
3. Independizar en el sistema de gestión el mantenimiento de la planta de cal con el mantenimiento de la planta de cemento.
4. Conocer y estudiar el sistema SAP (Sistemas, aplicaciones y productos para procesamiento de información) para la actualización y administración de la información de los equipos.
5. Actualizar los diagramas de flujo y la estructura en el sistema SAP.

6. Definir la criticidad de los equipos y crear un listado de los repuestos críticos.
7. Tener la información técnica de los equipos críticos al alcance de todos los encargados de planificar y ejecutar el mantenimiento, a través de las fichas técnicas en el sistema SAP.
8. Balancear la carga de trabajo al momento de realizar el mantenimiento.
9. Revisar y actualizar las actividades, frecuencias y herramientas en las rutinas de mantenimiento preventivo.
10. Crear y actualizar los planes de mantenimiento.

INTRODUCCIÓN

Los adelantos tecnológicos tienden a reducir las necesidades de mano de obra de producción, pero a su vez, el mayor grado de automatización y sofisticación exige un incremento constante de la cantidad y calidad del trabajo de mantenimiento; aumentando paralelamente la complejidad de la gestión y hace necesario optimizar los programas de mantenimiento.

Es importante mencionar que al hablar de optimización, se refiere a lograr una mayor eficiencia en las funciones de administración del programa de mantenimiento, es decir, en: planificar, organizar, controlar, dirigir y evaluar los procedimientos del mismo.

El presente trabajo corresponde al proyecto del Ejercicio Profesional Supervisado y visualiza el estudio y análisis del sistema de gestión del mantenimiento preventivo de la planta de cal, ubicada en el interior de la Planta San Miguel, de la empresa Cementos Progreso S.A. El Departamento de Mantenimiento busca implementar y mejorar el sistema de gestión actual del mantenimiento preventivo aplicando métodos de ingeniería con énfasis en la administración y control de los recursos que se invierten en los equipos.

En el capítulo 1, se describen las generalidades de la empresa y procesos de la producción de cal. El capítulo 2 es la fase de investigación en donde se estudiará la situación actual de la planta, se hará el reconocimiento de los equipos y procesos para la fabricación de cal, así como la recolección de información técnica de los equipos. El capítulo 3 es la fase de servicio técnico profesional la cual consiste en la metodología y técnicas aplicadas en el proyecto tales como: listado de los repuestos críticos, clasificación de los equipos críticos,

actualización de diagramas de flujo, los balances de carga que permitirán homogenizar la carga de trabajo durante el mantenimiento, los puestos de trabajo en SAP de las diferentes especialidades (mecánico, eléctrico, lubricación, instrumentación, entre otras), actualizar las rutinas de mantenimiento, elaborar y programar los planes de mantenimiento de distintas frecuencias (trimestral, paro mayor, entre otras.) y otras gestiones para la mejora del mantenimiento. La capacitación sobre las técnicas y resultados obtenidos a los colaboradores se da en el capítulo 4.

1. GENERALIDADES

1.1. Descripción general de la empresa

Cementos Progreso, S.A. es una empresa guatemalteca cuyo conocimiento de la industria le ha permitido ser reconocida por estándares mundiales. Su función principal es la producción, distribución y venta de cemento, concreto, cal y otros productos para la construcción, acompañados de servicios de valor agregado. La capacidad de producción de clinker es de 1,94 millones de toneladas métricas por año, la capacidad de producción de cemento es de 2,93 millones de toneladas métricas por año y de cal se producen 657 000 toneladas métricas por año.

Cementos Progreso, S.A. se ha dedicado a la producción de cemento, cumpliendo con las normas de calidad establecidas por ASTM (American Society for Testing and Materials) C 595 Y C 1157 y COGUANOR (Comisión Guatemalteca de Normas) NGO 41001.

San Miguel cuenta con instalaciones modernas y altamente tecnificadas que garantizan productos con estándares internacionales de calidad, todo esto respaldado por el sistema de gestión certificado según las Normas Internacionales ISO 9001:2008, ISO 14001:2004 y OHSAS 18001:2007. Además, posee un vivero de producción con una capacidad de 1,3 millones de árboles al año y un sistema de tratamiento de aguas residuales, *wetland*, con el cual se reusa el agua dentro de la planta.

Actualmente cuenta aproximadamente con el 80 % del mercado guatemalteco gracias a la confianza de sus clientes. Entre los productos más conocidos están: cemento UGC (uso general para la construcción), CFB (cemento para fabricar block), cemento pegablock, cemento estructural (5800 PSI), cal hidratada, entre otros.

1.1.1. Historia de Cementos Progreso, S.A. .

Don Carlos Federico Novella Klée, fundador, nació en la Ciudad de Guatemala, en 1871, hijo de Don Giovanni Carlos Girolamo Gaetana Novella Damerio, inmigrante italiano, y de doña María Dolores Catalina Klée Ubico, guatemalteca, hija de inmigrante alemán. En 1892 se graduó de Ingeniero Civil de la Universidad de Lovaina en Bruselas, Bélgica. Bélgica era productor de Cemento Portland. Regresó a Guatemala en 1896, con deseos de hacer realidad el sueño de fundar una empresa cementera.

Fue con mucha visión y con la idea clara de fundar una de las primeras fábricas de cemento en Latinoamérica, que un 18 de octubre de 1899, Don Carlos Federico Novella Kleé creó la empresa Carlos F. Novella y Cia.

La comercialización de cemento empezó en 1901 con la primera planta ubicada en La Pedrera. En 1915 la capacidad de la planta era de 500 sacos diarios.

En 1936 se proyectó una nueva ampliación de la capacidad de la fábrica de La Pedrera, con lo que se iniciaron las exportaciones de cemento a países vecinos. Luego, en 1953 se cambia la razón social de la empresa a Cementos Novella, S.A.

En 1956 se volvió a ampliar la fábrica con la instalación de un nuevo horno en La Pedrera, su capacidad aumenta a 12 000 sacos diarios. Y en 1964 se instala otro horno lo que aumenta la capacidad a 22 000 sacos diarios.

Con el transcurso de los años la demanda del cemento ascendió grandemente y se dio la necesidad de incrementar la producción. En 1965 se adquirió la finca San Miguel, en donde sería construida la segunda planta la cual sería nombrada Planta San Miguel, ubicada en el kilómetro 46,5 carretera al Atlántico, Sanarate, El Progreso.

En 1971 se inició la construcción de la primera línea en la nueva planta. Siete años después, en 1978, se construyó la segunda línea y se legalizó el nombre de Cementos Progreso, S.A. En 1996 se empezó la construcción de la tercera línea que arrancó en 1998. En el 2000 la empresa ya producía 195 000 sacos diarios.

Horcalsa fue fundada en 1899 en las instalaciones de la finca La Pedrera, en Ciudad de Guatemala. En 1991 se instaló la primera línea de producción en la finca San Miguel, con una capacidad instalada de 200 toneladas al día de cal viva.

En 2005 se instala la segunda línea de producción con un horno de 200 toneladas por día, una hidratadora de 720 toneladas por día. Se instala una envasadora y paletizadora de 2 000 sacos por hora.

La más reciente adquisición fue la línea 3, en el 2010. El horno tiene capacidad de producir 400 toneladas al día de cal viva y la hidratadora tiene una capacidad de 330 toneladas por hora de cal hidratada.

En los últimos años, Horcalsa ha desarrollado productos especializados para cada una de las industrias que atiende, por su experiencia en la producción de cal y el soporte técnico con el que cuenta la empresa. Esto la ha llevado a ser líder en cada uno de los segmentos que atiende.

En la actualidad, se atienden clientes en los segmentos industriales y construcción a nivel centroamericano. En industria destacan ingenios azucareros, camaroneras, industrias que requieren tanto del acondicionamiento como tratamiento de aguas y empresas que elaboran alimentos a base de maíz. En la industria de la construcción, Horcalsa se utiliza tanto en vivienda como en infraestructura.

1.1.2. Visión

Compartimos sueños, construimos realidades.

1.1.3. Misión

Producimos y comercializamos cemento y otros materiales para la construcción acompañados de servicios y de alta calidad.

Nos proponemos:

- Dar a nuestro personal la oportunidad de desarrollarse integralmente y reconocer su desempeño.
- Impulsar con nuestros proveedores una relación de confianza, cooperación y beneficio mutuo.

- Contribuir al desarrollo de la comunidad además de proteger y mejorar el medio ambiente.
- Abastecer con eficiencia el mercado y cultivar con nuestros clientes una relación duradera para ser su mejor opción.
- Garantizar a nuestros accionistas una rentabilidad satisfactoria y sostenible.

1.1.4. Política Planta San Miguel

En Planta San Miguel, producimos cemento, cal y productos intermedios, tomando como referencia normas nacionales e internacionales, para nuestro sistema de gestión.

Estamos comprometidos con nuestros colaboradores, comunidades vecinas, clientes, accionistas y demás partes interesadas, a:

- Proteger la industria
 - Lograr la satisfacción de nuestros clientes, asegurando la calidad de nuestros productos y la entrega a tiempo.
 - Proveer un ambiente de trabajo seguro y saludable, identificando peligros y controlando y reduciendo los riesgos laborales, a fin de prevenir incidentes y enfermedades ocupacionales.
 - Utilizar de forma racional y proteger los recursos naturales, previniendo la contaminación ambiental, reduciendo y controlando los impactos ambientales.
 - Mejorar el uso de energía eléctrica y térmica, mediante diseños, productos y servicios energéticamente eficientes; además de asegurar la disponibilidad de información y recursos.

- Mejorar nuestra gestión humana
 - Mejorar continuamente el sistema de gestión y su desempeño.
- Fortalecer nuestras relaciones institucionales y comunitarias
 - Impulsar la gestión social, participando como socio de las comunidades vecinas, autoridades locales y aliados estratégicos.

1.1.5. Valores de la empresa (COVEC)

COVEC es la base que contiene los valores que deben seguir y deben basarse las decisiones que se tomen para alcanzar las metas y los resultados. COVEC significa Código de Valores, Ética y Conducta.

1.1.5.1. Comportamiento ético

Consiste en el esfuerzo constante por vivir cada día de acuerdo con los más altos valores morales.

El criterio para medir ese esfuerzo es el mayor o menor respeto a la dignidad de la persona. Es ético todo aquello que va de acuerdo a la dignidad de la persona y no es ético todo aquello que denigra o rebaja a la persona.

El comportamiento ético que promovemos se desarrolla a través de:

- Lealtad: es proteger los intereses de las personas o instituciones con quienes establecemos compromisos, porque nos entendemos como seres interdependientes

- Responsabilidad: es la capacidad de reconocer y aceptar las consecuencias de los actos que ejecutamos libremente.
- Justicia: es la constancia en dar a las personas e instituciones con las que se tiene relación lo que les corresponde.
- Transparencia: es decir la verdad a quien es debido en el momento debido.

1.1.5.2. Liderazgo genuino

Implica reconocer que todos pueden ser líderes en el entorno y conocerse a sí mismo para poner al servicio de otros y de la organización sus fortalezas para agregar valor y promover el cambio.

El líder genuino visualiza: es proactivo anticipándose ante los cambios del entorno y resuelve problemas analizándolos integralmente. También ejecuta: cumple y exige que se cumpla con los compromisos y metas asignadas, reconoce el cumplimiento y amonesta el incumplimiento. Además, desarrolla: establece y mantiene relaciones de confianza y respeto para promover su crecimiento personal y el de otros. Adicionalmente modela: da el ejemplo con su propio comportamiento, refuerza los comportamientos deseados y rechaza y amonesta los no deseados.

1.1.5.3. Solidaridad

Es acudir con prontitud y eficacia, en la medida de nuestras responsabilidades y capacidades, para satisfacer las necesidades humanas de aquellas personas o comunidades con las que tenemos relaciones profesionales, industriales, comerciales o de convivencia.

1.1.5.4. Compromiso con la sostenibilidad de la empresa

Significa operar de modo eficiente, rentable y responsable con el entorno humano y natural.

- Relación de los 4 valores entre sí:

Nuestra empresa existe gracias a la confluencia de líderes que han encontrado en ellas una vía para desarrollar su alto potencial humano y profesional. Como líderes genuinos, sabemos que hemos de comportarnos con ética para influir positivamente en nuestro entorno. Ese entorno reclama de nosotros solidaridad, pues nuestra empresa será sostenible en la medida en que cuidemos y respetemos ese entorno humano y natural.

1.1.6. Ubicación de la empresa

Planta San Miguel se encuentra ubicada en Finca San Miguel, kilómetro 46,5 Carretera al Atlántico, Sanarate, El Progreso.

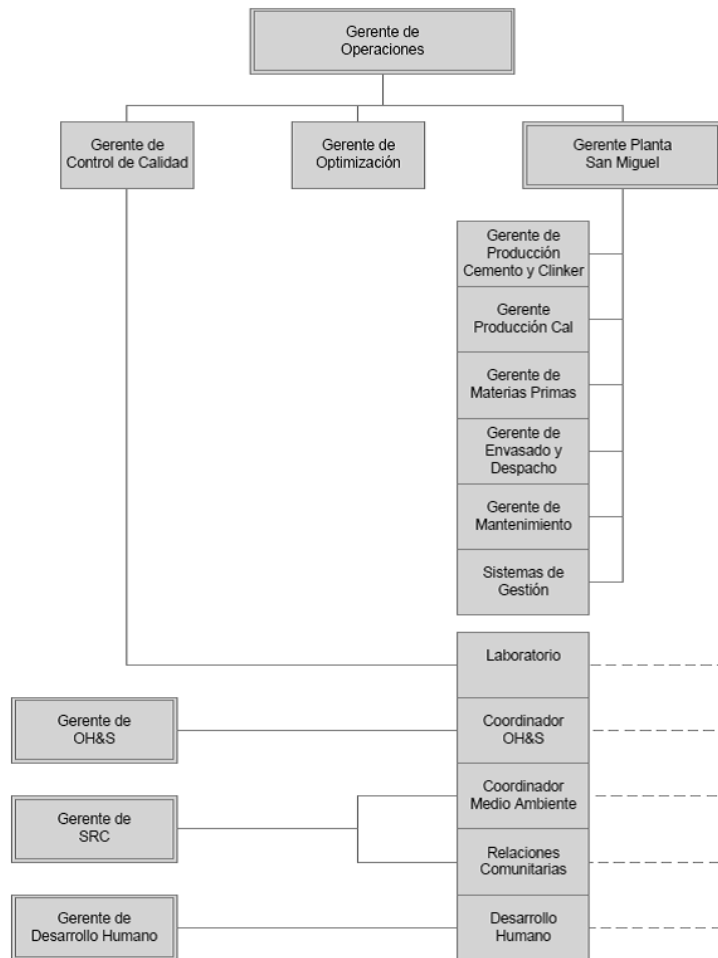
1.1.7. Estructura organizacional

Las estructuras organizacionales son los diferentes patrones de diseño para organizar una empresa, con el fin de cumplir las metas propuestas y lograr el objetivo deseado.

1.1.7.1. Organigrama a nivel gerencial

El organigrama de la empresa es la representación gráfica de la estructura de la organización, es donde se pone de manifiesto la relación que hay entre los diversos cargos que la integran y define la jerarquía existente. El organigrama general de la empresa se presenta a continuación en la figura 1.

Figura 1. Organigrama Planta San Miguel, Cementos Progreso, S.A.



Fuente: Cementos Progreso, S.A., Planta San Miguel.

1.1.8. Productos que elabora la empresa

Los principales productos que se elaboran en Cementos Progreso, S.A., son: Cemento tipo portland, cal viva y cal hidratada.

En el área de cemento se producen diferentes tipos de cemento como:

- Cemento UGC (uso general para la construcción tipo I, 4000 PSI)
- Cemento CFB (tipo II)
- Cemento pegablock
- Cemento estructural (tipo III, 5800 PSI)
- Cemento para pozos petroleros
- Cemento para pavimento
- Cemento CPR (cemento para elementos prefabricados)
- Cemento ARI (tipo IV)
- Cemento ARS (tipo V, para obras marinas)
- Cemento blanco

En la planta de cal se producen los siguientes tipos de cal:

- Cal viva
- Cal hidratada tipo S o especial
- Cal rendidora para obra gris
- Cal hidratada para ingenios
- Hidróxido de calcio para uso industrial

1.2. Descripción del problema

Los altos niveles de productividad que se requieren hoy día, exigen la implementación de un sistema de mantenimiento preventivo que permita aumentar la eficiencia de la producción, la cual es directamente proporcional a la calidad de la información con que se cuenta para llevarla a cabo.

El mantenimiento como cualquier otra actividad en una empresa, necesita contar con una buena administración, lo cual logrará una alta disponibilidad y confiabilidad en los equipos. La administración del mantenimiento preventivo se hace con el fin de organizarlo de una manera racional entre la mano de obra y los medios para obtener resultados óptimos con la mínima inversión en repuestos, materiales y servicios externos.

El mantenimiento preventivo es el que se realiza mediante una programación previa y planificada de actividades con el fin de evitar, en lo posible, la mayor cantidad de daños imprevistos, disminuir los tiempos muertos de producción por fallas en los equipos y, por ende, disminuir costos innecesarios e imprevistos en la misma.

Uno de las principales desventajas que actualmente se presentan en el sistema de gestión del mantenimiento en la planta de cal es que todos los recursos que se invierten en el mantenimiento de los equipos se cargan a los puestos de trabajo de la planta de cemento, esto quiere decir, que no se puede obtener un control de estos recursos y los centros de costo de la planta de cemento se ven afectados en su contabilidad. Debido a esto, el departamento de mantenimiento busca desvincular el mantenimiento de la planta de cal del mantenimiento del área de cemento.

Además, otras de las deficiencias en el mantenimiento es la carencia de balances de carga, no se cuenta con una frecuencia de paro ordenada, en el campo algunos equipos no están debidamente identificados con su HAC, la estructura en el sistema SAP no está actualizada, existen equipos que no tienen rutinas de mantenimiento o están desactualizadas, carecen de planes de mantenimiento anuales o planes de paros mayores, entre otros.

Por lo que este proyecto beneficiará grandemente al Departamento de Mantenimiento y a las tareas en el área de cal. Con la implementación de este proyecto se tendrá el control de los recursos invertidos en los equipos, se tendrán las rutinas de mantenimiento actualizadas y la planificación del mantenimiento será óptima y eficiente.

La implementación de este proyecto abarca el área del horno y la hidratadora de cal, el área de despacho será un proyecto por aparte el cual se llevará a cabo posteriormente.

2. FASE DE INVESTIGACIÓN

2.1. Diagnóstico de la situación actual

Por más de 3000 años, la cal ha sido un ingrediente básico en la construcción. Hoy en día también se ha convertido también en un componente básico para la industria química, para la actividad agrícola y, en particular, para la industria siderúrgica.

En planta Horcalsa se cuentan con tres líneas de producción, la primera línea fue instalada en 1990 con un horno vertical que tiene la capacidad de producir 200 t/d de cal viva y la hidratadora con una capacidad de 15 t/hr. Actualmente la hidratadora de esta línea ya no se utiliza debido a que por los años, este equipo no es lo suficientemente eficiente y genera mayores gastos para la empresa, debido a esto se ha decidido discontinuar este equipo. Ahora únicamente se utiliza el molino de bolas pero únicamente cuando hay demasiada demanda de cal, de lo contrario este equipo regularmente se encuentra parado.

La segunda línea de producción se instaló en el 2005, el horno cuenta con la misma capacidad que el horno 1 y la hidratadora tiene una capacidad de óptima de alimentación de 22 t/h y su capacidad máxima es de 30 t/h.

La tercera línea se instaló en el 2010, el horno tiene una capacidad de 400 t/d de cal viva y la hidratadora tiene una capacidad óptima de alimentación de 24 t/h y su capacidad máxima es de 30 t/h.

Con el transcurso del tiempo se han ido modificando los equipos o se han eliminado para una mejora en el sistema, pero no se ha dado el seguimiento adecuado, ya que el sistema aún se muestran estos equipos; esto genera confusiones al personal de mantenimiento, ya que al momento de ir a campo, estos equipos ya no existen o se han cambiado de ubicación. Durante el proyecto se realizará la gestión de cambio correspondiente a cada equipo que haya sido eliminado o modificado para que no existan confusiones con el personal y en el sistema. Otra de las desventajas actualmente es que la mayoría de las PMR's están desactualizadas o hay equipos que no cuentan con su respectiva PMR de las distintas especialidades (mecánica, eléctrica, instrumentación o lubricación).

2.2. Cal

Se le llama cal a todo producto que proceda de la calcinación de piedras calizas (carbonato de calcio, CaCO_3). La cal viva es el primer producto que se obtiene al calcinar (o someter a temperaturas muy altas) la piedra caliza. Después del proceso de calcinación se procede a la hidratación de la cal, con lo que se obtiene la cal hidratada.

La cal viva, es básicamente óxido de calcio de alta pureza y reactividad, gracias a sus propiedades físico-químicas resultantes de su producción industrial. La principal función del óxido de calcio (CaO) en la industria siderúrgica y en la minería es la remoción de impurezas tales como silicio, fósforo y azufre en el proceso de fabricación del acero y en la extracción de minerales.

2.2.1. Usos y aplicaciones de la cal

La cal en sus diferentes variantes es uno de los químicos más antiguos que el hombre procesó y uno de los más utilizados actualmente, su desempeño en multitud de aplicaciones le ha valido el título de químico versátil; sus bastas aplicaciones abarcan desde la agricultura, la refinación de un gran número de metales, así como la captación de iones radiactivos, se utiliza como lubricante en la perforación de pozos de extracción de petróleo y gas que a su vez quedan estabilizados al endurecer sus paredes por sus efectos de fraguado, ha sido uno de los materiales de construcción que permitió al hombre crear sus grandes civilizaciones dando lugar a grandes edificaciones desde pirámides hasta palacios y edificios, puentes, acueductos y vías de comunicación.

Actualmente sus aplicaciones se han diversificado a la remediación ambiental, utilizándose prácticamente en el tratamiento de aguas contaminadas, de gases exhaustos de procesos industriales y suelos contaminados por orgánicos o metales pesados incluyendo los derrames de petróleo. Forma parte de una enorme cantidad de procesos industriales los cuales no serían económicamente factibles de no ser por este químico versátil, incluidos la refinación del acero, aluminio y cobre, así como la fabricación de pulpa y papel, vidrio y un sinnúmero de procesos de síntesis química.

Y no deja de ser esa cal tan cercana y familiar a nosotros que en nuestra cultura se disfruta de las tortillas por medio del proceso de nixtamalización, pintar nuestros árboles para protegerlos y delinear los campos de fútbol.

Usos en la industria siderúrgica: acción fundente, remoción de azufre, fósforo, sílice y otras impurezas de acero, protección del ladrillo refractario de los hornos y neutralización de ácidos.

Usos en la industria metalúrgica: para producción de cobre, zinc, plomo, plata, níquel, oro, entre otros. Ayuda a flocular sales metálicas, regula el pH, es utilizada en el proceso de trefilado (fabricación de alambre) y como antiadherente para moldes de fundición, especialmente en el lingoteado.

2.3. Proceso global de la fabricación de cal

Debido a que la cal debe cumplir con determinados requerimientos físicos y químicos, se requieren calizas de alta pureza y de un proceso de producción controlado que aseguren un producto de excelente calidad. Seguidamente se detalla el proceso de elaboración de la cal hidratada Horcalsa.

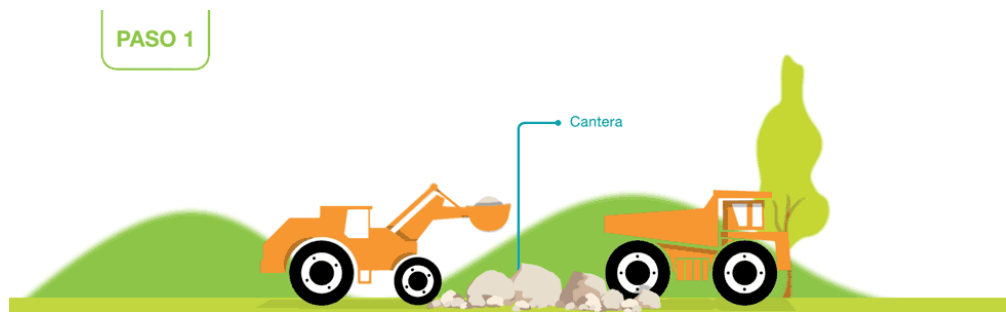
- Obtención de la piedra caliza
- Preparación de la piedra
- Calcinación
- Hidratación
- Molienda
- Envasado y almacenaje

2.3.1. Obtención de la piedra caliza

Comprende todos los procesos que se realizan en la cantera a partir de los cuales se obtiene la piedra caliza, materia prima de este proceso. Dichos procesos consisten en:

- Estudios geológicos mineros, en los que se obtiene la información geológica y geoquímica de las áreas a explotar.
- Extracción de la piedra caliza, que consiste en extraer la materia prima de las canteras. Durante esta etapa se pone especial atención en controlar la composición química, granulometría y humedad de la materia prima, que es la piedra caliza.

Figura 2. Paso #1: obtención de piedra caliza



Fuente: Cementos Progreso, S.A. <http://www.cempro.com/index.php/quienes-somos/procesos-de-produccion/proceso-de-produccion-de-cal>. Consulta: noviembre, 2017.

2.3.2. Preparación de la piedra

Consiste en las trituraciones y tamizajes primarios y secundarios de la piedra caliza. Mediante dicho proceso, se logra dar a las piedras el diámetro requerido para el horno de calcinación.

Figura 3. Paso #2: preparación de la piedra

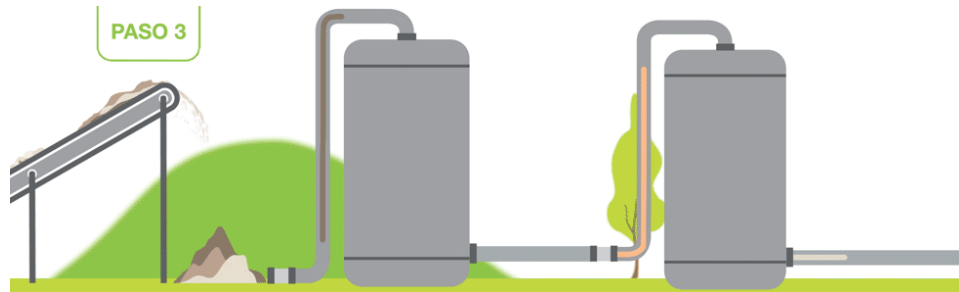


Fuente: Cementos Progreso, S.A. <http://www.cempro.com/index.php/quienes-somos/procesos-de-produccion/proceso-de-produccion-de-cal>. Consulta: noviembre, 2017.

2.3.3. Calcinación

La calcinación consiste en la aplicación de calor para la descomposición (reacción térmica) de la caliza. En este proceso se pierde cerca de la mitad de peso, por la descarbonatación o pérdida del dióxido de carbono de la caliza original. La calcinación es un proceso que requiere mucha energía para que la descarbonatación pueda ocurrir y es en este paso cuando la piedra caliza (CaCO_3) se convierte en cal viva (CaO). En la producción de Horcalsa se utiliza tecnología de punta, con lo que se asegura el buen uso de la energía. En la planta San Miguel, ubicada en Sanarate, se cuenta con un horno vertical regenerativo de última generación, en el que se calcina la piedra caliza en un proceso totalmente controlado y automatizado.

Figura 4. **Paso #3: calcinación de la piedra**

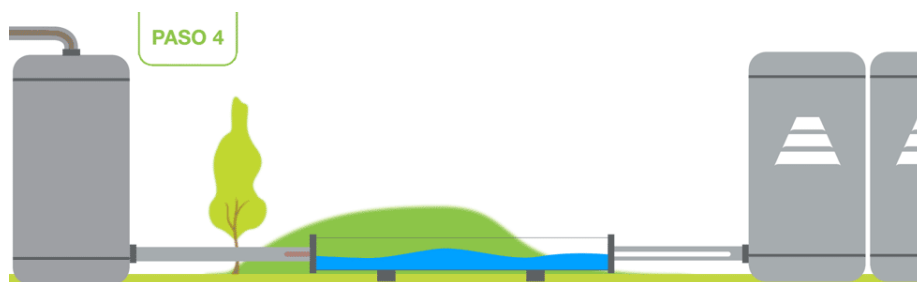


Fuente: Cementos Progreso, S.A. <http://www.cempro.com/index.php/quienes-somos/procesos-de-produccion/proceso-de-produccion-de-cal>. Consulta: noviembre, 2017.

2.3.4. Hidratación

En esta etapa la cal viva (óxido de calcio) es trasladada a una hidratadora, en donde se le agrega agua al producto. Al hidratarse las piedras de cal viva se convierten en cal hidratada (polvo fino de color blanco). El mismo es un proceso exotérmico, el cual consiste en que cuando a la cal viva se le agrega agua, la reacción libera calor.

Figura 5. **Paso #4: hidratación de la piedra**

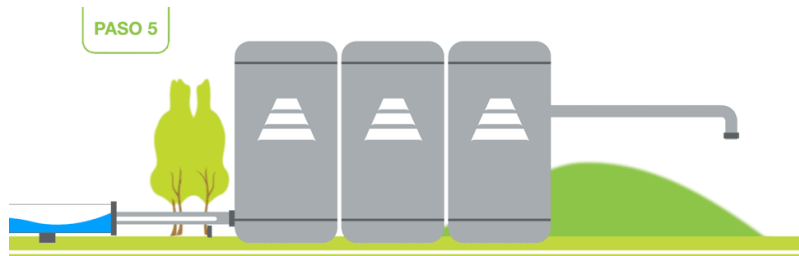


Fuente: Cementos Progreso, S.A. <http://www.cempro.com/index.php/quienes-somos/procesos-de-produccion/proceso-de-produccion-de-cal>. Consulta: noviembre, 2017.

2.3.5. Separación

Consiste en separar de la cal hidratada los óxidos no hidratados (óxidos no hidratados como los de magnesio) y algunos carbonatos conocidos como granza que no lograron ser hidratados en la etapa de hidratación.

Figura 6. **Paso #5: separación de los óxidos no hidratados**



Fuente: Cementos Progreso, S.A. <http://www.cempro.com/index.php/quienes-somos/procesos-de-produccion/proceso-de-produccion-de-cal>. Consulta: noviembre, 2017.

2.3.6. Envasado / Empaque / Despacho

Finalmente, se procede al envasado del producto, el mismo se realiza por medio de una máquina especial de envasado y paletizado. La cal hidratada Horcalsa es empacada en bolsas de papel.

Todos los procesos anteriormente descritos, son completamente industriales. En los mismos se llevan a cabo estrictos controles de calidad que permiten alcanzar las normas requeridas para la fabricación de cal hidratada. Para ello, se determina el cumplimiento de los requerimientos químicos (dióxido de silicio, óxido de aluminio, óxido férrico, óxido de calcio, óxido de magnesio, óxidos no hidratados y dióxido de carbono) y de los requerimientos físicos de fineza y retención de agua. Permitiendo ofrecer un producto de excelente calidad.

Figura 7. **Paso #6: envasado y despacho**



Fuente: Cementos Progreso, S.A. <http://www.cempro.com/index.php/quienes-somos/procesos-de-produccion/proceso-de-produccion-de-cal>. Consulta: noviembre, 2017.

2.4. Información general y funcionamiento de los hornos verticales

Más de 300 millones de toneladas anuales de cal y dolomita se producen en el mundo; una gran parte de estas en hornos verticales.

2.4.1. Descripción horno de cal Maerz

Los hornos Maerz aportan gran parte de las necesidades a nivel mundial más que cualquier otro fabricante de hornos de cal. Estos hornos ofrecen: alta eficiencia térmica, menor consumo de energía, diferentes modelos de hornos, entre otros.

Un horno del tipo PFR (horno vertical, de flujo paralelo regenerativo) consiste de dos cubas verticales interconectadas por medio de un canal de conexión. Ambas cubas interactúan entre ellas. Mientras que una se encuentra en calcinación, la otra está precalentando la piedra. La piedra fluye en paralelo al flujo de los gases calientes cuando una de las cubas está encendida. Éstos son

expulsados a través del canal transversal hacia la cuba que está apagada, permitiendo entonces precalentar la piedra en contraflujo en esta cuba. El flujo de los gases calientes se invierte a intervalos regulares de una cuba a otra para así conseguir el flujo regenerativo de la piedra (la piedra localizada en la zona de precalentamiento del horno trabaja como intercambiador de calor) y aprovechar al máximo el contenido de calor de los gases de escape.

Este modo de calcinación es ideal para la producción de cal de alta reactividad. Los hornos PFR de Maerz pueden calcinar hasta 800 t/d utilizando combustibles gaseosos, líquidos o sólidos, así como sus diferentes combinaciones. Maerz ha diseñado hornos de sección rectangular, circular estándar y de finos, dependiendo de la capacidad de producción solicitada y de la granulometría de la piedra a calcinar.

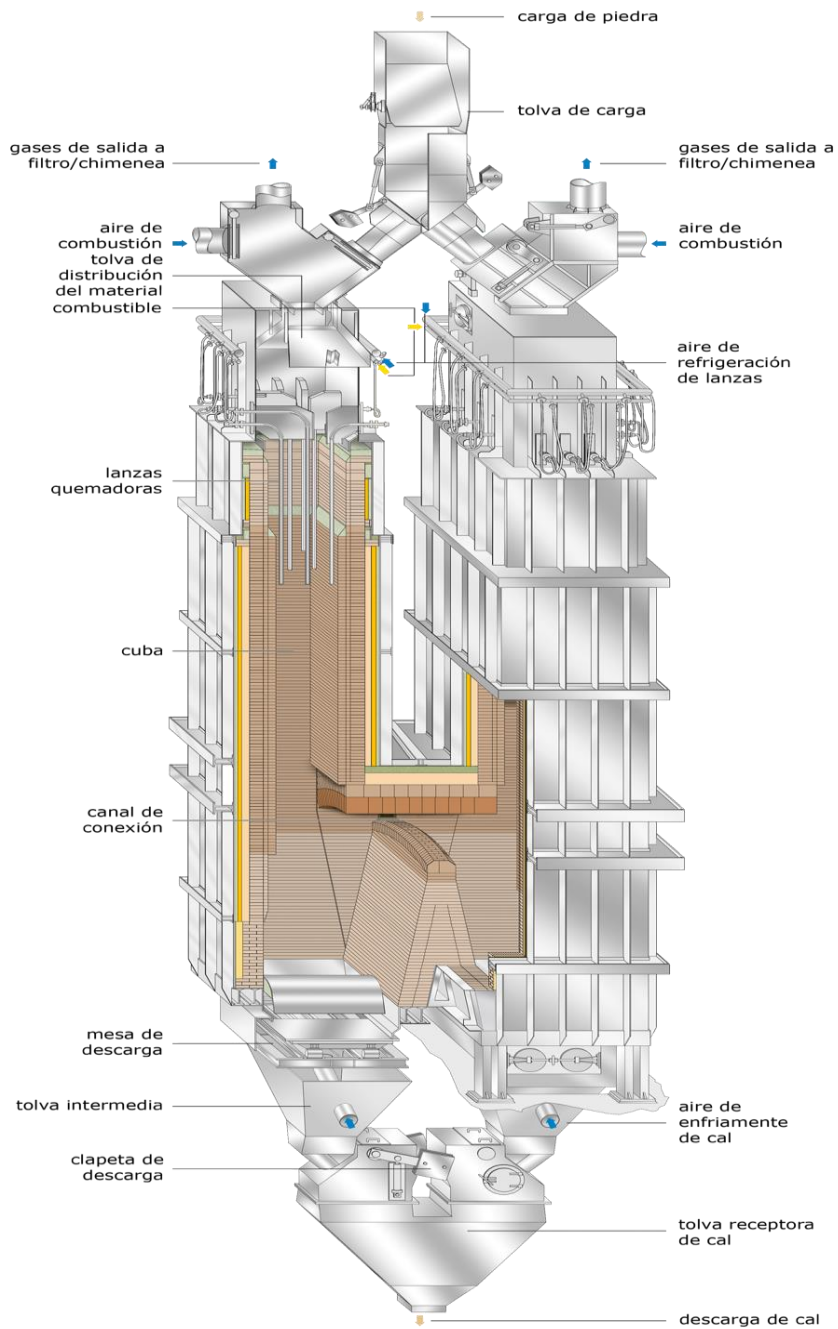
Tabla I. **Datos técnicos para hornos PFR**

| Tipos de horno | | Hornos PFR de sección rectangular | Hornos PFR de sección circular estándar | Hornos PFR de finos o finelime |
|------------------------------|-----------|-----------------------------------|---|--------------------------------|
| Modelo de horno | | E1 – E6 | R1 – R5 | F1 – F3 |
| Capacidad (T/d) | | 100 – 400 | 300 – 800 | 200 – 400 |
| Tamaño de piedra (mm) | | 30 – 120 | 30 – 160 | 15 – 40 |
| Consumo de calor | (kJ/kg) | 3390 – 3650 | 3390 – 3650 | 3310 – 3560 |
| | (kcal/kg) | 810 – 870 | 810 – 870 | 790 – 850 |
| Producto final | | Cal viva de alta reactividad | Cal viva de alta reactividad | Cal viva de alta reactividad |

Fuente: Maerz OFENBAU AG. <https://www.maerz.com/portfolio/pfr-kilns-for-soft-burnt-lime/?lang=es>. Consulta: noviembre, 2017.

Entre los hornos PFR, éste es por su diseño el más simple y ofrece el mejor costo-beneficio: dos cubas de calcinación de sección rectangular o hexagonal conectadas por medio de un canal transversal por donde fluyen los gases de combustión. Este diseño rectangular simplifica su construcción tanto estructural como el revestimiento refractario. El horno se utiliza normalmente para capacidades hasta 400 t/d de cal. Desde al año 1966 Maerz ha instalado más de 200 hornos PFR de sección rectangular alrededor del mundo.

Figura 8. Hornos Maerz rectangulares

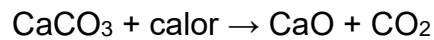


Fuente: Maerz OFENBAU AG. <https://www.maerz.com/portfolio/pfr-kilns-for-soft-burnt-lime/?lang=es>. Consulta: noviembre, 2017.

2.4.2. Configuración y funcionamiento del horno

Un horno de cal es una construcción para obtener cal viva (óxido de calcio) utilizando piedra caliza (carbonato de calcio).

La ecuación química de la reacción es:



Esta reacción tiene lugar hacia 900 °C; aunque para tener velocidad de reacción más alta se suele trabajar a unos 1000 °C. Temperaturas más elevadas se deben evitar; pues la cal quedaría quemada.

2.4.2.1. Sistema de calentamiento de corriente paralela

El sistema de calentamiento de corriente paralela permite crear unas condiciones ideales de combustión.

La llama se mueve en la misma dirección que el material, de modo que la máxima diferencia de temperatura se produce al inicio de la calcinación en la zona de combustión.

La forma de la llama garantiza al final de la calcinación una temperatura mínima, lo que protege a las partículas más pequeñas de material de ser sobrequemadas.

2.4.2.2. Precalentamiento del aire de combustión

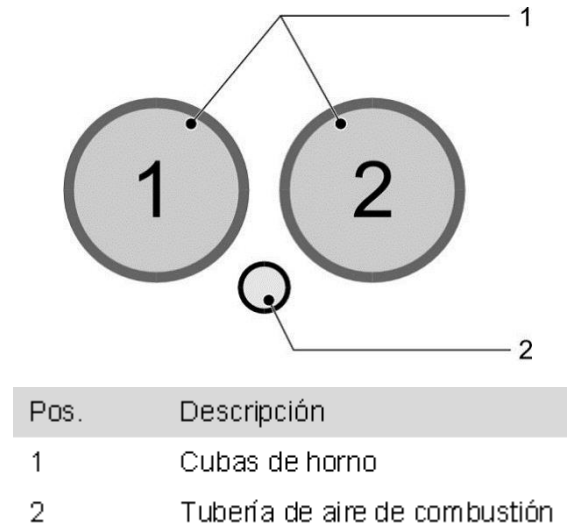
El precalentamiento regenerativo del aire de combustión ofrece una ventaja termodinámica. La zona de precalentamiento de las piedras actúa como regenerador al precalentar el aire de combustión con el calor sobrante de los gases de escape. La propia caliza ejerce como acumulador intermedio del calor. Este proceso regenerativo no reacciona a gases cargados de polvo o corrosivos, pero ofrece una excelente transmisión del calor.

El precalentamiento regenerativo del aire de combustión hace que el horno sea prácticamente independiente del factor de exceso de aire de combustión. Ello facilita el ajuste de la longitud correcta de la llama, pues una mayor cantidad de exceso de aire produce una llama más corta, mientras que una menor cantidad de exceso de aire forma una llama más larga.

2.4.2.3. Horno de dos cubas

El sistema regenerativo y el calentamiento de corriente paralela necesitan de un horno con dos cubas (1 y 2). Ambas cubas son alternativamente cuba de combustión o cuba regenerativa. El canal de unión entre ambas tolvas se sitúa cerca del extremo inferior de la zona de combustión. Los gases del horno abandonan en este punto la cuba de combustión a través de una pila de material y después de pasar por otras pilas más, llegan a la cuba de regeneración. La configuración del canal de unión entre las dos cubas varía en función de la sección de las cubas.

Figura 9. **Vista de planta: fijación del número de cuba**



Fuente: LERCH, Alexander. *Manual de instrucciones: información general y funcionamiento.*
E6 - 400 tpd maerz horno de cal. p. 61.

2.4.2.4. Lanzas del quemador

El combustible es transportado desde un sistema principal a través de una serie de lanzas de acero y distribuido uniformemente sobre la sección de la cuba primaria. Las lanzas penetran por el extremo superior más frío de la zona de precalentamiento y quedan suspendidas libremente en el material a granel descendente verticalmente.

La cuba de regeneración contiene las lanzas y las abastece con aire para enfriarlas y protegerlas contra el polvo.

El caudal de combustible alimentado a las lanzas de la cuba de combustión se regula por medio de un sistema de válvulas, que asegura su distribución uniforme a todas las lanzas.

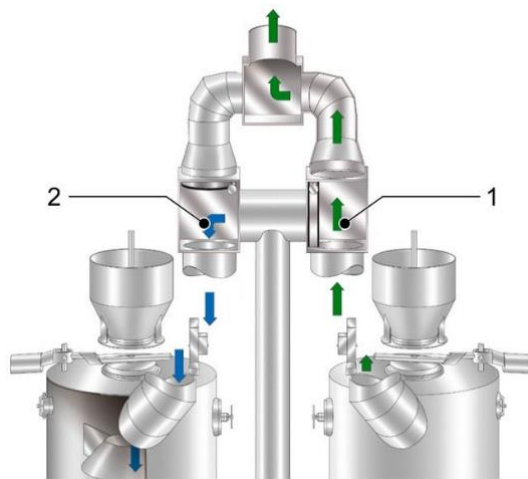
2.4.2.5. Dispositivo de inversión de marcha

El cambio periódico entre cuba de combustión y cuba de regeneración requiere de un dispositivo de inversión de marcha para el combustible, el aire de combustión y los gases de escape.

La alimentación del combustible se cambia a través de compuertas o válvulas automáticas, mientras que el aire de combustión y el gas de escape se cambian a través compuertas de efecto doble o de un cilindro hidráulico.

En la figura 10 se han representado las posiciones de la compuerta de inversión de marcha. La posición (2) muestra la cuba de combustión con la tubería de aporte de aire de combustión abierta. La posición (1) muestra la cuba de regeneración con la tubería de gas de escape abierta hacia la chimenea. Todos los procesos de inversión de marcha se mandan automáticamente.

Figura 10. **Inversión de marcha aire de combustión/gas de escape**

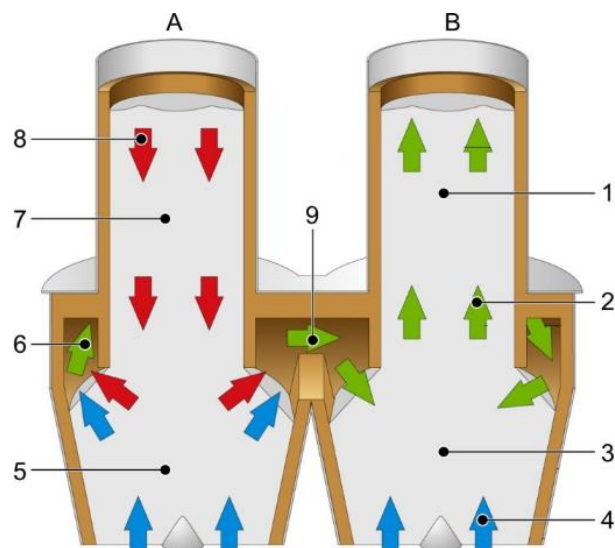


Fuente: LERCH, Alexander. *Manual de instrucciones: información general y funcionamiento.*

E6 - 400 tpd maerz horno de cal. p. 62.

Durante el tiempo de combustión el aire de refrigeración (4) fluye uniforme y continuamente hacia el extremo inferior de las cubas. Antes de la inversión de marcha, las compuertas de alivio de la presión conducen el aire de combustión (8) y de refrigeración al exterior.

Figura 11. **Aire de refrigeración**



| Pos. | Descripción |
|------|-------------------------------------|
| A | Cuba de combustión |
| B | Cuba de regeneración |
| 1 | Gas de escape |
| 2 | Gas de calentamiento |
| 3 | Zona de refrigeración cuba B |
| 4 | Aire de refrigeración |
| 5 | Zona de refrigeración cuba A |
| 6 | Gases de calentamiento canal anular |
| 7 | Zona de combustión cuba A |
| 8 | Aire de combustión |
| 9 | Canal de corriente |

Fuente: LERCH, Alexander. *Manual de instrucciones: información general y funcionamiento.*

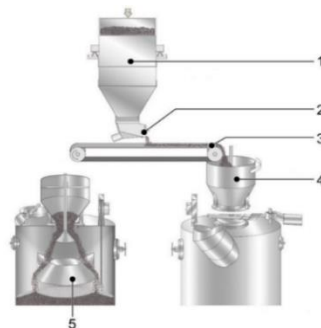
E6 - 400 tpd maerz horno de cal. p. 63.

2.4.2.6. Dispositivo de alimentación

El constante y exacto caudal de paso necesario para un horno con tan elevado rendimiento térmico se garantiza a través del dispositivo de alimentación y descarga.

En cada secuencia de alimentación se aporta a la cuba una determinada cantidad pesada de caliza. Esta piedra fría recoge el exceso de calor producido por los gases calientes. El número de cargas por hora y la duración del período de calentamiento se determinan en base a los correspondientes parámetros de producción. El proceso de alimentación se inicia con la tolva principal del horno (1). Desde aquí la caliza pasa a través de un transportador vibratorio (2) a la banda transportadora reversible (3). Esta banda alimenta a su vez alternativamente uno de los tolvinos rotatorios (4) y éste, a su vez, alimenta las cubas del horno. Las piedras son distribuidas uniformemente y en función de la demanda sobre el distribuidor de piedras (5). El nivel de llenado de la cuba se controla y mantiene constante con ayuda de la señal proporcionada por el controlador de nivel.

Figura 12. Dispositivo de alimentación



Fuente: LERCH, Alexander. *Manual de instrucciones: información general y funcionamiento.*

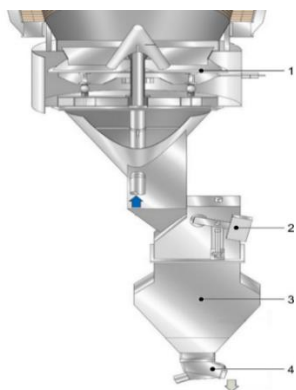
E6 - 400 tpd maerz horno de cal. p. 64.

2.4.2.7. Dispositivo de descarga

La cal calcinada se descarga de las cubas de forma continuada con ayuda de platos de descarga (1) accionados hidráulicamente. El rendimiento de descarga se regula automáticamente a través del mando del horno y se rige por el nivel de llenado de piedras medido en la zona de precalentamiento.

Los platos móviles de descarga (1) se encuentran debajo de la zona de refrigeración de cada una de las cubas. Los platos descargan en un depósito en forma de tolva, que recoge la cal descargada en un período de combustión. El aire de refrigeración penetra a través de estos depósitos y fluye sobre las pilas de cal en los platos de descarga hacia las cubas. Como consecuencia de la elevada presión reinante en el interior del horno, esta zona está herméticamente sellada al aire mediante compuertas accionadas hidráulicamente (2). En cada proceso de inversión de marcha se abren las compuertas, de modo que la cal pueda caer en una tolva intermedia libre de presión (3), que está equipada con un transportador vibratorio (4) para su descarga final.

Figura 13. Dispositivo de descarga



Fuente: LERCH, Alexander. *Manual de instrucciones: información general y funcionamiento.*

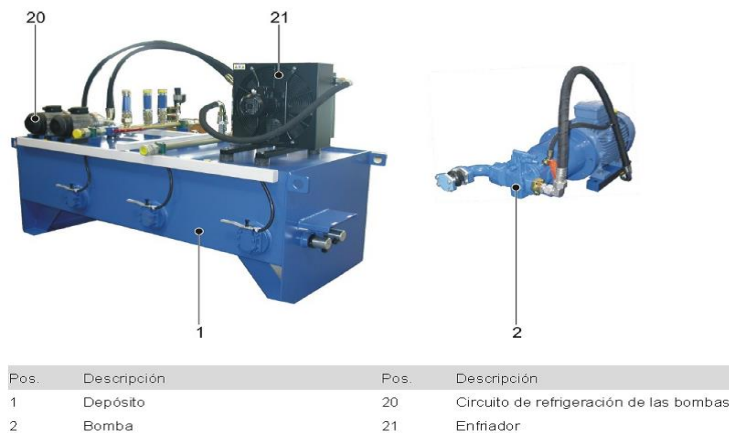
E6 - 400 tpd maerz horno de cal. p. 64.

2.4.2.8. Sistema hidráulico

La mayoría de las compuertas en las tuberías de aporte de aire, la compuerta de inversión de marcha y los dispositivos de alimentación y descarga están accionadas hidráulicamente. Se ha previsto un sistema hidráulico porque con pequeños componentes puede generar una enorme fuerza. Además es un sistema seguro y pobre en mantenimiento.

El grupo hidráulico se aloja en una sala separada que debe disponer de aireación o climatización. Las bombas generan la necesaria presión para el sistema y estas pueden ser separadas manualmente del sistema mediante válvulas de cierre. A través de la válvula esférica principal (para el mantenimiento) es posible separar la unidad completa del sistema restante. Cuando la presión es demasiado elevada se abre la válvula limitadora de presión y despresuriza así el sistema. Cuando la presión es demasiado baja, el manómetro activa una alarma. Con un cierto retraso, esta alarma puede conducir a la desconexión del sistema.

Figura 14. Sistema hidráulico del horno



Fuente: LERCH, Alexander. *Manual de instrucciones: datos específicos y componentes.*

E6 - 400 tpd maerz horno de cal. p. 156.

2.4.3. Descripción del funcionamiento del horno

Con el horno Maerz de cal se produce de forma térmicamente eficiente una cal de alta calidad, calcinada suavemente.

Para conseguir esta elevada eficacia térmica, el horno Maerz de cal dispone de unas características especiales, que ofrecen condiciones ideales de calcinación para la producción de cal viva.

2.4.3.1. Principio de funcionamiento del horno

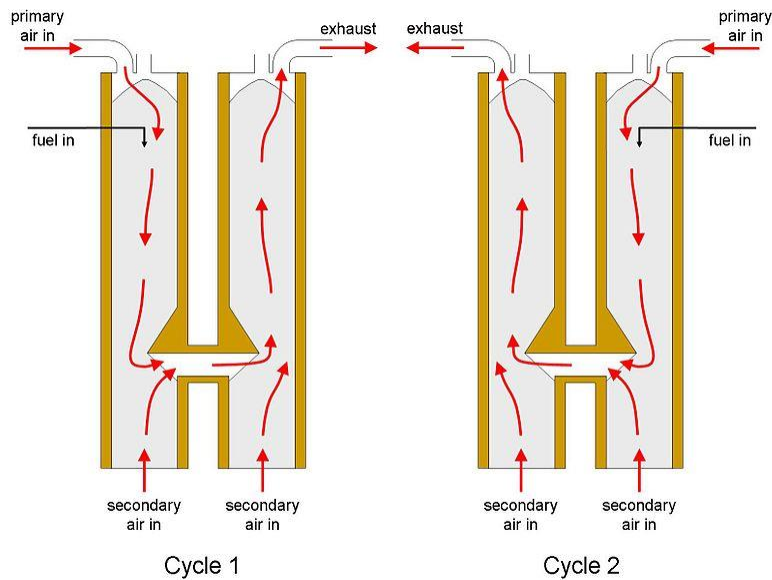
Un horno vertical regenerativo de corrientes paralelas está formado por dos cubas, donde se almacena la piedra que está en proceso de calcinación. El propósito de las dos cubas es aprovechar el calor de los gases de combustión de la cuba calcinante y precalentar el material de la otra cuba por medio de un canal que las une.

Como se observa en el diagrama, al horno entra aire de combustión y de enfriamiento y éstos cumplen su función en la cuba donde se está llevando la calcinación y luego se unen en el canal y salen por la parte superior de cuba que no está calcinando, transfiriendo su calor para precalentar la caliza alimentada y aprovechar esa energía.

Este tipo de horno suele ser llamado regenerativo debido a que su principio y secuencia de operación consta de dos estados (ciclos) alternantes:

- Estado 1: calcinando en la cuba 1, precalentando en la cuba 2
- Estado 2: calcinando en la cuba 2, precalentando en la cuba 1

Figura 15. Estados de operación (ciclo 1 y ciclo 2)



Fuente: Cementos Progreso, S.A., Planta San Miguel.

Estos dos estados se alternan secuencialmente para que la dosificación y distribución de calor y caliza sea uniforme entre las dos cubas. En el primer estado, cuando la cuba 1 calcina, se añade el aire de combustión desde la parte superior de la cuba 1, mientras que el combustible se dosifica en la parte superior a través de las lanzas de dosificación. La llama o brasas se propongan de arriba hacia abajo a lo largo de toda la zona de calcinación. Los gases calientes de combustión alcanzan la parte baja de la cuba, y cruzan hacia la cuba 2 a través del canal de cruce ascendiendo a la parte superior y saliendo por la chimenea de la cuba 2. Al mismo tiempo, se añade aire de enfriamiento por la parte inferior de las dos cubas, con el propósito de enfriar la cal viva descargada y para evitar que los gases se escapen a través de la parte inferior del horno, manteniendo siempre una presión positiva en la descarga. El aire de combustión y aire de refrigeración salen del horno en forma conjunta a través de la chimenea en la parte superior

de la cuba 2, precalentando la piedra alimentada. La dirección del flujo de gases se invierte periódicamente (por lo general de 5-10 veces por hora) de la cuba 1 a la cuba 2 al cambiar del estado 1 al estado 2. El estado 2 comienza tras 8 a 15 minutos.

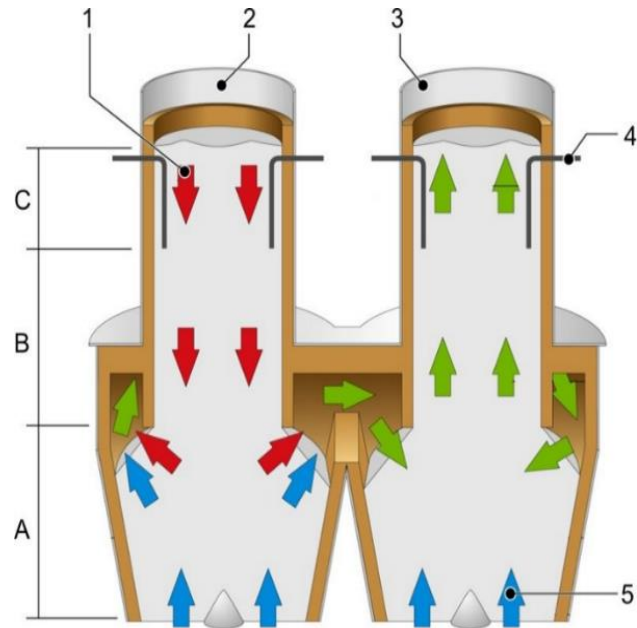
- Reversión sin calcinación y reversión en marcha

En cada ciclo de inversión de marcha es necesario descomprimir primero la cuba. A continuación se descarga la cal calcinada. Finalmente se vuelve a alimentar de nuevo material a la cuba y se aplica presión. Otro posible modo de operación consiste en la alimentación de la cuba de regeneración mientras está todavía en marcha el proceso de combustión. El tiempo de reversión es el tiempo establecido en la secuencia de operación, entre cada ciclo de calcinación, en donde el horno realice los ajustes necesarios para comenzar a calcinar en la cuba contraria. Durante este tiempo, el horno alimenta la piedra si la selección de carga horno cargando durante tiempo de quemado está deshabilitada, abriendo y cerrando las compuertas de carga de caliza y descarga de cal, abriendo las compuertas de alivio del aire de combustión y aire enfriamiento hacia el ambiente. Este tiempo debe ser el menor posible, con el fin que el horno calcine lo más continuo posible. Se ha calculado que el menor tiempo para que el horno haga todas estas tareas para cambiar de cuba a calcinar es 60 segundos, por lo que este valor se debe ingresar en esta sección. Cuando la selección de carga del horno se encuentra durante tiempo de calcinación, el tiempo de reversión deberá de ser de 30 segundos, esto debido a que el horno no carga durante la reversión, por lo que se puede ahorrar ese tiempo.

El horno tiene tres zonas: una zona de precalentamiento en la parte superior, una zona de calcinación o combustión en la parte media, y la zona de enfriamiento o refrigeración en la parte inferior. El ciclaje del horno produce una zona de calcinación larga a una temperatura baja relativamente constante, (alrededor de 950 y 1 050 °C) que es ideal para la producción de cal viva de alta reactividad mediante una calcinación suave o dulce. Con una temperatura de gases entre los 120 °C y temperaturas en la descarga de cal viva entre 80 °C y 100 °C el rango de la pérdida de calor en el horno regenerativo es mínimo y el consumo de combustible es de tan sólo 3,6 MJ/kg. Debido a estas características los hornos regenerativos son hoy en día la tecnología más importante y rentable en términos de costos sustanciales en combustible. Los hornos regenerativos se construyen con una capacidad de entre 150 a 800 toneladas / día, 300 a 450 siendo los más típicos.

La figura 16 muestra el principio de operación del horno de cal y en ella aparecen los dos modos de marcha. Las dos cubas son alimentadas alternativamente con caliza, mientras que la cal es descargada de forma continua desde el fondo de las cubas.

Figura 16. Principio de operación



| Pos. | Descripción |
|------|--------------------------|
| 1 | Aire de combustión |
| 2 | Cuba de combustión |
| A | Zona de refrigeración |
| 3 | Cuba de regeneración |
| 4 | Lanza del quemador |
| B | Zona de combustión |
| 5 | Aire de refrigeración |
| C | Zona de precalentamiento |

Fuente: LERCH, Alexander. *Manual de instrucciones: información general y funcionamiento.*
 E6 - 400 tpd maerz horno de cal. p. 67.

2.4.4. Características del horno

La distribución del calor, la temperatura y el tiempo de permanencia en el horno influyen en las propiedades de la cal viva producida.

El horno puede descargar partículas de tres diferentes categorías:

- No calcinadas completamente.
- Completamente calcinadas a punto.
- Diferentes grados de calcinación/sinterización.

Los primeros dos tipos de partículas tienen una baja densidad geométrica y son altamente reactivos al agua. El otro tipo de partículas tienen una densidad geométrica aumentada y una menor reactividad con agua.

2.4.4.1. Granulometría de la caliza alimentada

El horno Maerz de cal está dimensionado para transformar caliza de las más variadas granulometrías.

- Horno para granulometrías finas

Para granulometrías entre 15 y 40 mm o entre 40 y 80 mm (en casos excepcionales entre 10 y 90 mm).

- Horno estándar

Para granulometrías entre 30 y 70 mm o entre 60 y 120 mm (en casos excepcionales entre 25 y 140 mm).

2.4.4.2. Ciclos de operación

La duración de un ciclo de operación por cuba se sitúa entre 8 y 15 minutos en producción normal.

2.4.5. Combustible sólido

El horno de cal puede funcionar con los siguientes combustibles: 100 % combustible sólido (*petcoke* / madera en polvo), líquidos y gaseosos según convenga. En Horcalsa actualmente se utiliza el *petcoke*, que es un desecho sólido de la refinación del petróleo, el cual es calentado y molido antes de usarse en los hornos de cal viva.

La calidad del combustible se mide como poder calorífico o valor calorífico de dicho combustible. El valor calorífico del *petcoke* puede variar entre 7 000 y 8 000 Kcal/Kg de combustible. Un valor calorífico menor al típico enfriaría el horno y aumenta el riesgo de producir producto no conforme, y un valor calorífico por encima del tipo sobrecalentaría el horno y aumenta el riesgo de formación de bloque por sobre calcinación de la caliza.

El análisis químico elemental del combustible también es importante, pues de este depende el cálculo del aire teórico de combustión. Los porcentajes recomendados para que el *petcoke* tenga una buena combustión son:

Tabla II. **Composición elemental del *petcoke*.**

| Compuesto | Porcentaje |
|----------------------------|------------|
| C | 80 – 90 % |
| H ₂ | 3 – 4 % |
| S | < 6 % |
| O ₂ | < 0.6 % |
| N ₂ | < 0.6 % |
| Cl | < 0.5 % |
| H ₂ O (humedad) | < 0.5 % |

Fuente: CANO, Carlos. *Instructivo de operación calcinación*. p. 38.

Es muy importante que se cumplan los rangos de C y H₂ pues éstos son los únicos que participan en la combustión. Un exceso de S puede ocasionar formación de S₂O gaseoso en los gases de desecho, el cual es indeseable en las operaciones por las repercusiones técnicas que genera.

Figura 17. **Propiedades del *petcoke* y madera en polvo**

| Pet-coke | Valor | Unidad |
|------------------------|----------------------------|--------|
| Poder calorífico Hi | [25'120] | kJ/kg |
| Granulometría | [100% <0.2] [80% <0.09] | mm |
| Volátiles | [6-40] | % |
| Índice de hinchamiento | [<1.5] | % |
| Contenido de ceniza | [<10] | % |
| Humedad libre | [<1.5] | % |
| Azufre | [<5.0] | % |
| Madera en polvo | Valor | Unidad |
| Poder calorífico Hi | [15'909 – 18'840] | kJ/kg |
| Granulometría | [100% <3.0] [80% <1.5] | mm |
| Volátiles | [ca.70] | % |
| Índice de hinchamiento | [1.3] | % |
| Humedad libre | [<12] | % |
| Azufre | [0.02] | % |

Fuente: LERCH, Alexander. *Manual de instrucciones: datos específicos y componentes*.

E6 - 400 tpd maerz horno de cal. p. 14.

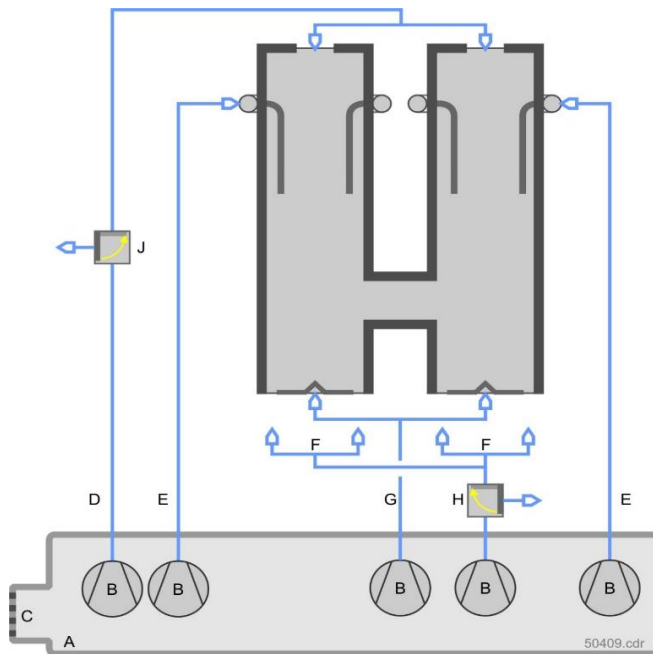
2.4.6. Aire de proceso

- Los soplantes están alojados en una carcasa insonorizada.
- El PLC calcula el aire necesario en función de la producción deseada y del factor de sobrante de aire.
- El mando local sirve para regular manualmente los soplantes.
- El filtro de aspiración depura el aire entrante.
- Las compuertas de alivio se abren durante el tiempo de reversión para descargar la presión del horno.

El aire comprimido se utiliza para diferentes fines:

- Aire para combustión.
- Aire para refrigeración de la cal.
- Aire para refrigeración de las lanzas.

Figura 18. Aire de proceso del horno



| Pos. | Descripción | Pos. | Descripción |
|------|-------------------------------------|------|--|
| A | Carcasa del soplante | F | Aire de refrigeración de la cal exterior |
| B | Soplante | G | Aire de refrigeración de la cal centro |
| C | Filtro de aspiración | H | Compuerta de alivio para aire de refrigeración |
| D | Aire de combustión | J | Compuerta de alivio para aire de combustión |
| E | Aire de refrigeración de las lanzas | | |

Fuente: LERCH, Alexander. *Manual de instrucciones: datos específicos y componentes.*

E6 - 400 tpd maerz horno de cal. p. 96.

2.5. La calcinación de caliza y dolomita

El carbonato en la caliza se desintegra bajo especiales condiciones térmicas y vinculadas al flujo de calor.

La temperatura de desintegración o calcinación se rige por la presión parcial aplicada sobre el dióxido de carbono. Para conseguir que se desintegre el núcleo de la piedra, el correspondiente calor debe traspasar la superficie de la piedra a través de una capa aislante de cal calcinada. Por ello es necesario precalentar la superficie de la piedra. Como una enorme cantidad de este calor puede penetrar en la piedra, la capacidad de circulación del calor admisible se reduce manifiestamente hacia el final del proceso de calcinación.

La alimentación del horno incluye un espectro de tamaños de grano de fino a grueso.

Como los granos finos absorben el calor más rápidamente, la circulación de calor admisible para estos granos desciende después de un breve tiempo de combustión a un valor mínimo.

Los granos más gruesos deben quedar expuestos al calor durante más tiempo hasta alcanzar la calcinación total. Según la carga del horno se va moviendo hacia el final de la zona de calcinación, se reduce el consumo calorífico necesario para el proceso de calcinación.

2.5.1. Caliza

La piedra caliza, se puede encontrar en cualquier parte del mundo; es una importante materia prima para muchas ramas industriales.

2.5.2. Formación de la caliza

La caliza es una de las rocas sedimentarias que más frecuentemente se encuentra en el mundo. La caliza utilizada comercialmente tiene principalmente un origen orgánico. En los océanos se han formado enormes acumulaciones de sedimentos marinos fósiles, a partir de conchas y esqueletos de plantas y animales. La acumulación de algunos sedimentos se produce como consecuencia de una reacción química natural. Debido a la extrema lentitud con la que se descomponen los fósiles que contienen carbonato de calcio y al efecto disolvente del dióxido de carbono se forma bicarbonato de calcio. Este compuesto aparece finalmente en forma de plataformas recarbonatadas. Capa sobre capa, estos sedimentos conforman los enormes depósitos de caliza existentes.

2.5.3. Composición mineralógica

Caliza y dolomita pueden componerse de los siguientes cuatro minerales, con las propiedades físicas que se mencionan en la tabla a continuación:

Tabla III. **Composición mineralógica**

| | Fórmula química | Peso molecular | Peso específico [g/cm³] | Dureza [Escala Mohs] | Cristalización |
|------------------|-------------------------------------|-----------------------|---|-----------------------------|-----------------------|
| Calcita | CaCO ₃ | 100,1 | 2,71 | 3,0 | romboédrico |
| Aragonita | CaCO ₃ | 100,1 | 2,94 | 3,5-4,0 | ortorrómbico |
| Dolomita | CaMg(CO ₃) ₂ | 92,2 | 2,84 | 3,4-4,0 | romboédrico |
| Magnesita | MgCO ₃ | 84,3 | 3,00 | 5,0-4,5 | romboédrico |

Fuente: LERCH, Alexander. *Manual de instrucciones: información general y funcionamiento.*

E6 - 400 tpd maerz horno de cal. p. 39.

Como minerales industriales, la dolomita y la calcita juegan el papel principal.

- Caliza pura (calcita y aragonita) es 100 % carbonato de calcio.
- Dolomita pura contiene 54,3 % de CaCO₃ y 45,7 % de MgCO₃ (30,4 % de CaO; 21,8 % de MgO y 47,8 % de CO₂).

2.5.4. Datos y características de la caliza

En la tabla IV se ofrecen algunos datos y características básicas de la caliza.

Tabla IV. **Propiedades de la caliza**

| Propiedades | Datos |
|-----------------------------------|---|
| Coefficiente de dilatación | 20–50 °C: 0,000005/°C La dilatación total de la caliza durante el proceso de calentamiento desde 20 °C a 800 °C es de aprox. 2–2,5 %. |
| Conductividad térmica | Caliza a 130 °C = 1,6341 W/mK Dolomita a 123 °C = 1,4246 W/mK |
| Calor específico integrado | CaCO₃ |
| | A 100 °C = 0,874 kJ/kg °C (0,209 kcal/kg °C) |
| | A 800 °C = 1,104 kJ/kg °C (0,264 kcal/kg °C) |
| | CaO |
| | A 100 °C = 0,786 kJ/kg °C (0,188 kcal/kg °C) |
| | A 800 °C = 0,887 kJ/kg °C (0,212 kcal/kg °C) |
| Resistencia | Resistencia a la compresión: 10–200 MPa Resistencia al cizallamiento: 5–20 MPa Resistencia a la tracción: 2–7 MPa |
| Propiedades químicas | La caliza y la dolomita no se ven atacadas por el agua libre de CO ₂ . La descomposición solo puede producirse a temperaturas muy elevadas o en la reacción química con potentes ácidos. |

Fuente: LERCH, Alexander. *Manual de instrucciones: información general y funcionamiento.*

E6 - 400 tpd maerz horno de cal. p. 44.

2.5.5. Calcinación de la caliza

Rocas carbonatas se descomponen a elevadas temperaturas. En este proceso se libera CO₂ y se forman óxido de calcio u óxido de magnesio. Según la temperatura del proceso puede obtenerse una serie de productos desde una cal suavemente calcinada hasta de gran dureza.

2.5.6. Reactividad de la cal

La disminución del volumen de poros reduce ostensiblemente la superficie específica de la cal y lleva a una fuerte merma de la reactividad.

La cal viva con una gran cantidad de poros tiene una gran afinidad hacia el agua. La reacción con agua es exotérmica y lleva a la liberación de la energía de hidratación, que puede tomarse como indicador de la reactividad de la cal viva.

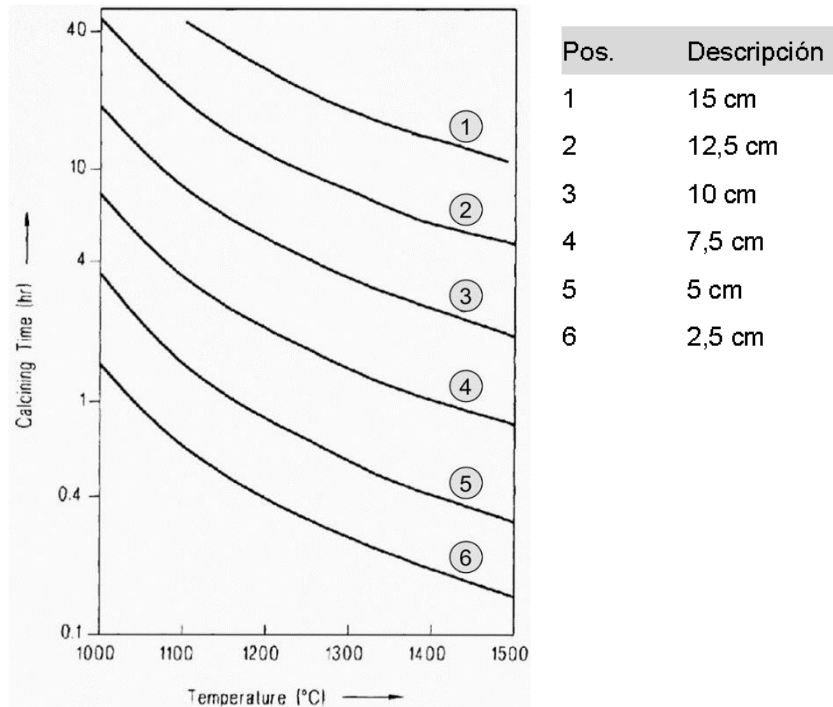
Debido a la influencia del volumen de poros, la reactividad de la cal viva es indirectamente proporcional a la densidad geométrica.

2.5.7. Influencia del tamaño de partícula sobre el tiempo de permanencia

El tamaño de la partícula alimentada al horno influye el tiempo necesario de permanencia para lograr el proceso de calcinación.

En la figura 19 se observa como para una temperatura dada de proceso, el tiempo de permanencia en el horno es más largo para partículas mayores que para pequeñas.

Figura 19. **Tiempos de calcinación para distintos tamaños de caliza**



Fuente: LERCH, Alexander. *Manual de instrucciones: información general y funcionamiento.*
E6 - 400 tpd maerz horno de cal. p. 50.

La influencia que el tamaño de partícula y la temperatura ejercen sobre los mecanismos de calcinación y sinterización conduce a la importante cuestión de la distribución de calor en el horno. Es necesario optimizar la distribución de los huecos abiertos en el apilado de las piedras, para asegurar un flujo uniforme del gas y con ello una transmisión eficiente del calor. Un horno vertical para cal debe diseñarse de forma que el reparto de calor sea uniforme sobre toda su sección. Zonas con un elevado porcentaje de partículas finas pueden llevar a una acumulación de calor y con ello a un sobrecalentamiento local. Las partículas sufren en esta zona un calentamiento superior al permitido, lo que puede producir una elevada y desfavorable densidad geométrica y hasta fenómenos de sinterización y fusión.

La correcta distribución de los tamaños de partícula de la caliza, el tipo de horno y su operación están estrechamente relacionados entre sí, y solo un concepto optimizado de todo ello producirá una cal viva de óptima calidad.

2.6. Proceso por equipo para la fabricación de cal

A continuación se detallan los equipos o áreas críticas para la fabricación de cal viva y cal hidratada.

2.6.1. Área horno

El área del horno se compone desde la extracción de la caliza hasta la descarga del horno.

2.6.1.1. Extracción de caliza

La piedra es extraída de la cantera por medios mecánicos o explosivos. Con el que queda después de la explosión, se forman pilas. Luego esta piedra se transporta en camiones al pulmón de la calera.

2.6.1.2. Pulmón calera

Es el área donde se acumula la piedra caliza. La piedra en esta área tiene una granulometría de 50 – 100 mm; al fondo del pulmón, hay tres canales vibrantes, que alimentan una faja transportadora, la cual a la vez alimenta una zaranda vibrante.

Figura 20. **Pulmón calera**



Fuente: Cementos Progreso, S.A., Planta San Miguel.

2.6.1.3. Zaranda vibrante

Es la que selecciona el material de acuerdo con el tamaño; las piedras que tengan un tamaño menor a 50 mm son extraídas del flujo y caen a una faja de rechazo; la piedra seleccionada cae a la faja de alimentación del horno. Básicamente está constituida por una parrilla de metal, que se encuentra en el fondo de una tolva, la cual está abierta en su parte superior; en uno de sus extremos tiene un agujero por donde pasa la piedra a la faja de alimentación del horno. Todo el conjunto de tolva y parrilla se denomina zaranda vibrante y se encuentra montado en cuatro bases de hule y está conectada a un motor eléctrico por medio de fajas y poleas. Cuando el motor se activa, la polea descentrada de la zaranda gira sobre su propio eje y a la vez describe un círculo, lo que hace que la zaranda vibre y el material con un tamaño menor a los 50 mm pase a través de la parrilla y caiga por el fondo hacia la faja de rechazo.

Figura 21. **Zaranda vibratoria**



Fuente: Simplex Equipamentos Ltda. <http://www.simplex.ind.br/peneiras-vibratorias-inclinadas-2/>. Consulta: julio, 2018.

2.6.1.4. Faja de alimentación al horno

La faja transporta la piedra de una granulometría entre 50 y 100 mm a la tolva de alimentación encima del horno. La capacidad nominal de la faja es de aproximadamente 59 Tm/h. Los canales vibrantes, que se encuentran debajo del pulmón de piedra, están sincronizados con los sensores de nivel (bajo y alto) de la tolva de piedra. El proceso de alimentación empieza cuando el nivel en la tolva está en el punto más bajo; en este momento los canales vibrantes arrancan y funcionan aproximadamente 2 horas, cuando el nivel de piedra en la tolva llega al nivel máximo, los canales vibrantes dejan de funcionar y el proceso de alimentación termina. Todas las fajas transportadoras de piedra, cal o cualquier material abrasivo, están hechas de caucho y reforzadas con nylon.

En la planta de cal se cuentan con dos fajas de alimentación, una faja alimenta al horno 1 y 2 y la otra faja alimenta al horno 3.

Figura 22. **Faja de alimentación al horno 3**



Fuente: Cementos Progreso, S.A., Planta San Miguel.

2.6.1.5. Estructura del horno

En la línea 1 y 2 de cal, los hornos son de las mismas capacidades (200 t/d), en la línea 3 el horno cuenta con una capacidad de 400 t/h. Los tres hornos son de tipo vertical y realizan el mismo proceso aunque cambian en algunas características, como por ejemplo, en los hornos de la línea 1 y 2 únicamente cuentan con 12 lanzas de combustible; el horno de la línea 3 cuenta con 22 lanzas.

Estos hornos están compuestos de arriba hacia abajo, es decir, en la dirección del flujo de piedra, por distintos equipos los cuales son:

2.6.1.6. Tolva alimentación de piedra

La tolva de alimentación es la que almacena la piedra que transporta la faja de alimentación. Esta se encuentra montada arriba de la tolva pesadora. Cuenta con medidores de nivel para evitar que se quede totalmente vacía o que llegue a rebalsarse. En la descarga de la tolva se encuentra un canal vibrante que alimenta la tolva pesadora.

2.6.1.7. Canal vibrante o transportadores vibratorios

La piedra es transportada a la tolva pesadora por medio de un canal vibrante, el cual es controlado directamente por el Control Lógico Programable (PLC) de la tolva pesadora. Al obtener el peso preseleccionado de la piedra, se para el canal vibrante. La velocidad de transporte del vibrador se ajusta de tal forma que se obtiene la cantidad de piedra preseleccionada en 3,5 minutos aproximadamente. El canal vibrante arranca cuando la tolva está vacía y cuando las compuertas de descarga de ésta se encuentran completamente cerradas. El funcionamiento de los canales vibrantes es similar al de la zaranda vibrante, con la diferencia de que en el fondo del canal no es una parrilla, sino una plancha de metal.

Figura 23. **Canal vibrante**



Fuente: Cementos Progreso, S.A., Planta San Miguel.

2.6.1.8. Tolva pesadora

La tolva pesadora está montada entre el horno y la tolva de alimentación, sobre tres celdas pesadoras. Las celdas pesadoras son transductores eléctricos (potenciómetros); en cuanto más peso estén soportando, más se deforman y de esta manera aumenta la cantidad de ohmios en ellas. Con base en la resistencia de las celdas, se calibra el peso. Prácticamente el peso, que es una señal mecánica, es convertida en una señal eléctrica de determinado voltaje, según el peso de la piedra. Estos niveles de voltaje son las señales que determinan cuándo funciona la alimentación de la piedra a la tolva pesadora.

Figura 24. **Tolva pesadora**



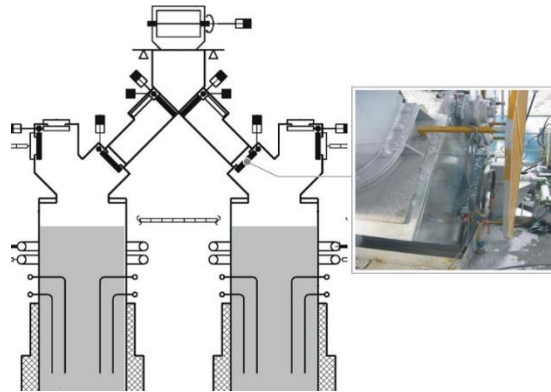
Fuente: Cementos Progreso, S.A., Planta San Miguel.

2.6.1.9. Horno de cal

- Compuertas del horno

Las compuertas de cierre de las cubas se encuentran situadas sobre las mismas. Se cierran mediante contrapesos que se abre hidráulicamente. Las compuertas están selladas mediante guarniciones de caucho-silicona.

Figura 25. **Compuertas hidráulicas del horno**



Fuente: LERCH, Alexander. *Manual de instrucciones: datos específicos y componentes.*
E6 - 400 tpd maerz horno de cal. p. 28.

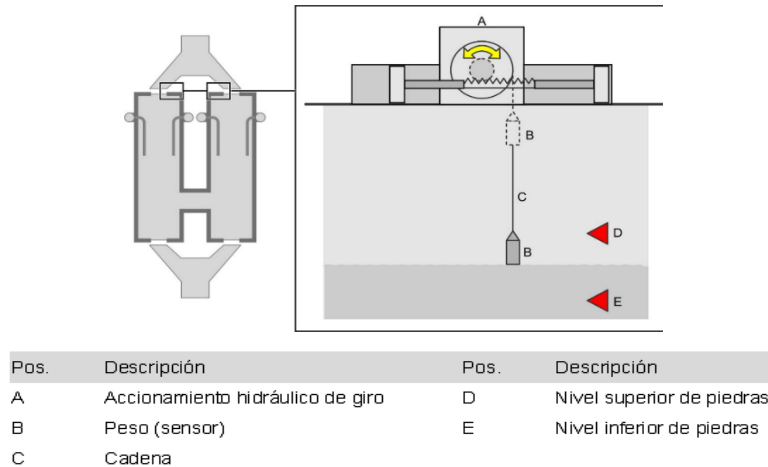
- Estructura del horno

La camisa del horno se compone esencialmente de placas de acero dulce de 10 a 20 mm de grosor. La camisa tiene las siguientes funciones:

- Recoger la presión del interior del horno
 - Sujetar el revestimiento refractario
 - Portar el sistema de alimentación del horno y la carcasa del cabezal del mismo
- Sensores de nivel de las cubas

El sensor de nivel mide de forma continuada el nivel de llenado en cada cuba.

Figura 26. **Sensores de nivel de las cubas**



Fuente: LERCH, Alexander. *Manual de instrucciones: datos específicos y componentes.*
E6 - 400 tpd maerz horno de cal. p. 52.

El PLC regula el nivel correcto de piedras en las dos cubas.

El rendimiento de descarga depende del nivel medido de piedras. El nivel medido en cada momento se compara con una línea teórica para una descarga de piedras precisa y continuada.

- Si el nivel real se sitúa por encima del calculado, se aumentará el rendimiento de descarga.
- Si el nivel medido se sitúa por debajo del calculado, se reducirá el rendimiento de descarga hasta restablecer el equilibrio.
- En cualquier caso nunca se detendrá del todo una mínima cantidad de descarga.

- Revestimiento refractario

El horno de cal se hace funcionar a elevadas temperaturas. La temperatura en las zonas de combustión puede alcanzar temporalmente aprox. unos 1'100°C. Por ello, todas las cubas de horno están revestidas de material refractario.

Figura 27. **Zonas de las cubas**



| Posición | Descripción | Posición | Descripción |
|----------|--------------------------|----------|-----------------------|
| A | Zona de precalentamiento | C | Zona de refrigeración |
| B | Zona de combustión | | |

Fuente: LERCH, Alexander. *Manual de instrucciones: datos específicos y componentes.*

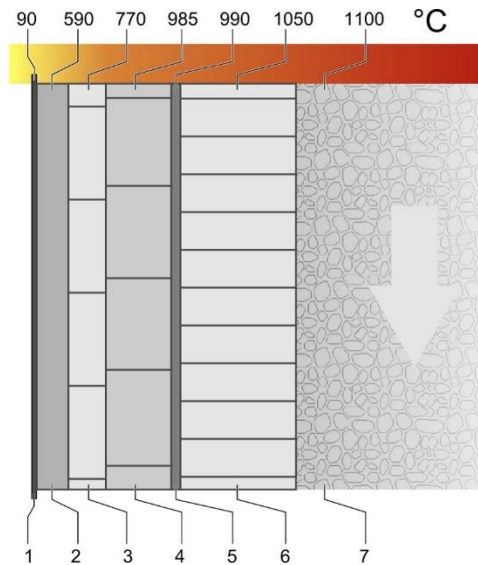
E6 - 400 tpd maerz horno de cal. p. 62.

Las zonas de precalentamiento y refrigeración están revestidas de material resistente a la abrasión, dejado del cual se encuentran piedras de chamota aislantes y un aislamiento.

Las paredes revestidas en la zona de combustión tienen un espesor de alrededor de medio metro. La caliza está en contacto directo con las piedras de magnesita o arcilla, debajo de las cuales se ha dispuesto una armadura de fibra cerámica, que a su vez va provista de una chamota ligera y, naturalmente, un aislante (véase figura 28).

En total, el revestimiento antidesgaste supone la mitad del espesor de pared. La falta de puentes de quemador, su ejecución lisa y su geometría son ventajas sobresalientes del diseño del horno MAERZ.

Figura 28. **Temperaturas en el revestimiento refractario**



| Posición | Descripción | Posición | Descripción |
|----------|--------------------------------------|----------|------------------------------|
| 1 | Camisa del horno | 5 | Estructura de fibra cerámica |
| 2 | Chapa aislante | 6 | Magnesita |
| 3 | Chamota ligera 0,6 g/cm ³ | 7 | Caliza |
| 4 | Chamota ligera 1 g/cm ³ | | |

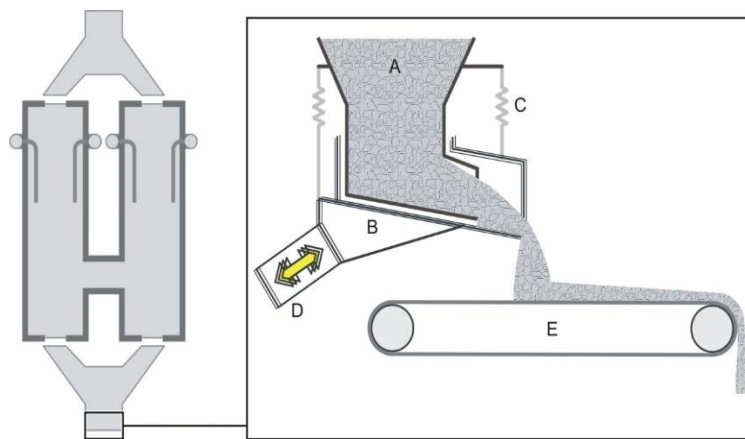
Fuente: LERCH, Alexander. *Manual de instrucciones: datos específicos y componentes.*

E6 - 400 tpd maerz horno de cal. p. 63.

- Descarga: Transportador vibratorio de cal

El transportador vibratorio para cal dosifica la cal calcinada desde la tolva de recogida al sistema de transporte.

Figura 29. **Descarga del horno**



| Posición | Descripción | Posición | Descripción |
|----------|-----------------------------------|----------|--|
| A | Tolva de cal | D | Accionamiento vibratorio |
| B | Transportador vibratorio para cal | E | Sistema de transporte de cal (transportador) |
| C | Suspensión | | |

Fuente: LERCH, Alexander. *Manual de instrucciones: datos específicos y componentes.*

E6 - 400 tpd maerz horno de cal. p. 82.

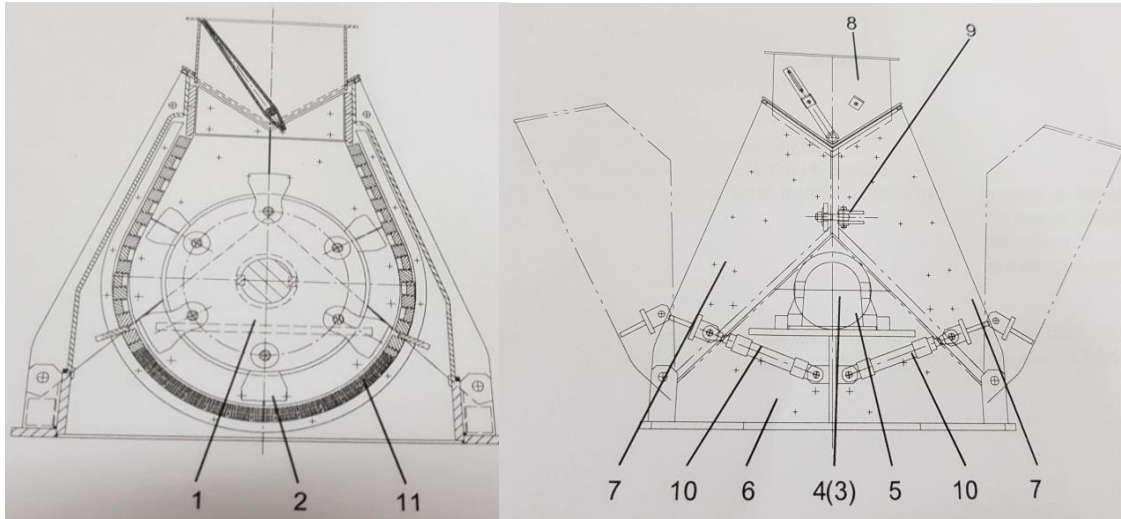
2.6.2. Área hidratadora

El área de la hidratadora empieza desde la trituradora de martillos hasta el almacenamiento en los silos.

2.6.2.1. Trituradora de martillos

Una faja recoge la piedra calcinada en la salida del horno y la transporta hacia la trituradora de martillos. El material entra por la parte superior de la trituradora y abaja por un canal hasta una parrilla, que es una maza cilíndrica que tiene ejes en su periferia y en los cuales se encuentran montados los 52 martillos, que al girar junto con la maza pasan golpeando a la piedra, triturándola contra la parrilla que sirve como tamiz. El material, que ha sido triturado con una granulometría determinada, es transportado por un elevador de cangilones hacia el silo de cal viva, en donde es almacenada.

Figura 30. **Ilustración trituradora de martillos**



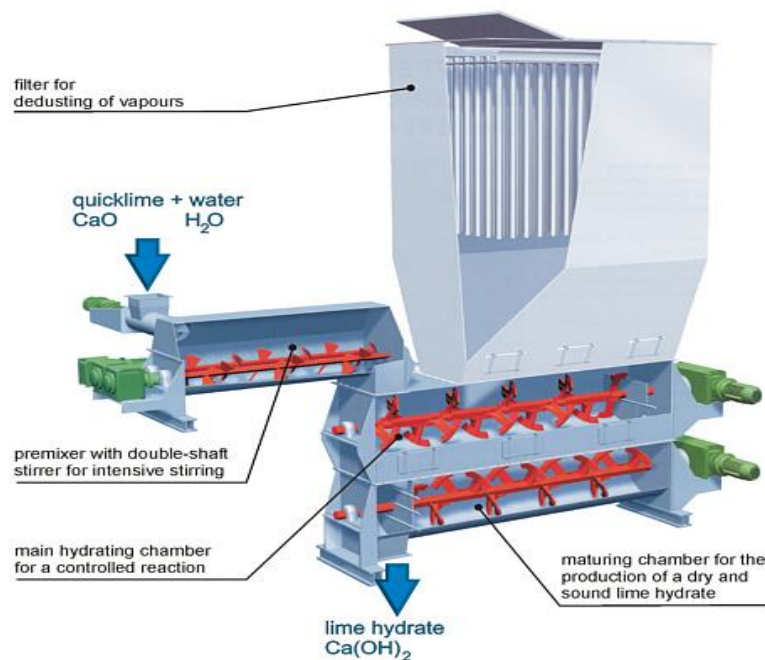
| No. | Partes |
|-----|---|
| 1 | Rotor |
| 2 | Mazos |
| 3 | Cojinete del eje |
| 4 | Cojinete con apoyo libre |
| 5 | Elemento obturador de la carcasa |
| 6 | Parte inferior de la carcasa |
| 7 | Parte abatible |
| 8 | Caja de entrada |
| 9 | Cerradura de la parte abatible |
| 10 | Parte plegable del cilindro hidráulico |
| 11 | Piezas instaladas en el interior tales como: la barra de impacto, las barras de criba, las rejillas, las chapas-tamiz, entre otras. |

Fuente: Maerz OFENBAU AG. *Manual de partes: trituradora.* p. 9.

2.6.2.2. Hidratadora

Un transporte helicoidal (gusano) lleva el material desde la descarga del silo de metal, hasta la parte superior de la hidratadora. El hidratador o máquina de hidratación de tres etapas es donde se lleva a cabo la mezcla de la cal viva con el agua para que suceda la reacción y el óxido de calcio (CaO) se convierta en hidróxido de calcio (Ca(OH)_2). En cada etapa de hidratación se encuentra un mezclador; los mezcladores son ejes en los que van acoplados brazos en su periferia; en el extremo de cada brazo va acoplada una paleta. Cada mezclador tiene distinto tipo y tamaño de paleta según la función que cumpla. Cada mezclador es accionado por un motor eléctrico y un reductor de velocidad. Las hidratadoras tienen una capacidad nominal de 24 t/h de cal hidratada.

Figura 31. Hidratadora de cal

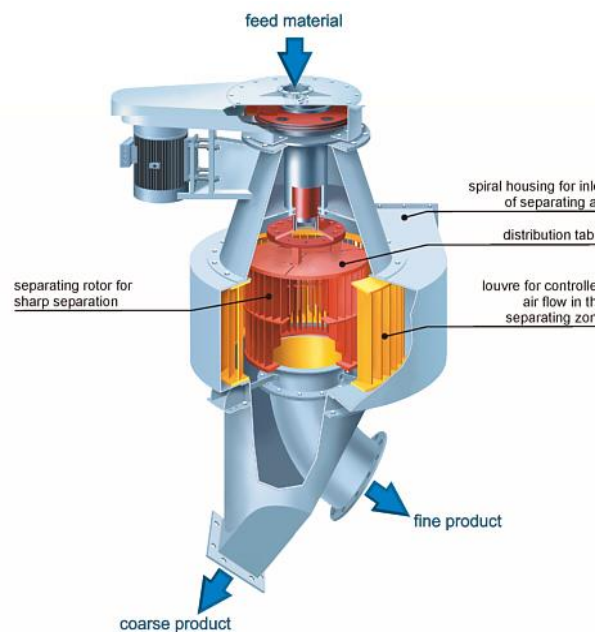


Fuente: Cementos Progreso, S.A., Planta San Miguel.

2.6.2.3. Separador

Desde la salida de la hidratadora, el material es transportado por medio de un transportador helicoidal hacia un elevador de cangilones; el que descarga al material a otro transportador helicoidal que se encuentra en su parte superior, el cual descarga el material en el separador centrifugo. El separador es una carcasa metálica en forma de cono, en el que va alojada una especie de turbina, la cual gira a gran velocidad que hace que los granos más grandes y pesados por efecto de la fuerza centrífuga, sean forzados a la orilla de la carcasa y salgan a través de un conducto hacia un transportador helicoidal, que los lleva al molino de bolas. Los granos más pequeños y con la fineza requerida, caen por gravedad en el centro del separador a un transportador helicoidal, que los lleva a un elevador de cangilones, el cual los descarga en los silos de almacenaje de cal hidratada.

Figura 32. Separador centrifugo



Fuente: Cementos Progreso, S.A., Planta San Miguel.

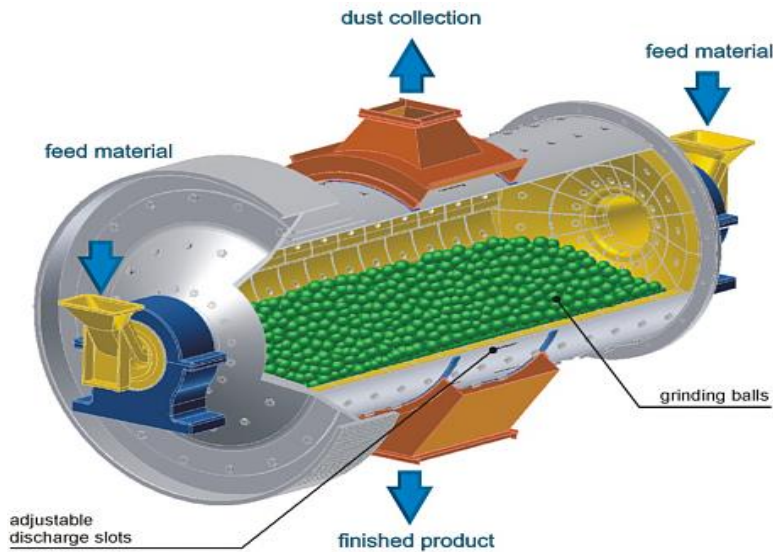
2.6.2.4. Molino de bolas

El molino de bolas consiste principalmente en tubo cilíndrico con extremos en forma de conos laterales donde el material es alimentado (en ambos extremos), que gira por la fuerza de un motor, el cual transmite el movimiento a un reductor de velocidad; en la salida del reductor, un piñón acciona una corona la cual hace girar el molino. El objeto de las bolas es triturar el material hasta llevarlo al tamaño requerido, para que cumpla con la fineza establecida.

El material molido sale por unas ranuras en un arreglo de diafragma en el centro del molino. En la descarga del molino se encuentra un transportador helicoidal que lleva el material a un elevador de cangilones, el cual se encuentra después de la hidratadora; de esta manera el material vuelve a pasar por el separador, con lo que asegura que dicho material se encuentre dentro de los rangos de fineza.

El material con la fineza requerida que sale del separador, descarga a un transportador helicoidal, hacia un elevador de cangilones que lo descarga en la parte superior de los silos de cal hidratada. En el fondo de cada silo, se encuentra una hilera de tres transportadores helicoidales abiertos; esto con el fin de impedir las cavernas que obstruyen el flujo del producto almacenado. Estos transportadores extraen el material de los silos y los descargan a otro transportador helicoidal, que es el encargado de llevarlo al elevador de cangilones que va hacia el área de despacho.

Figura 33. **Molino de bolas**



Fuente: Cementos Progreso, S.A., Planta San Miguel.

2.6.3. **Área despacho**

En ocasiones cuando los requerimientos del consumidor final son bastantes grandes, el material se despacha a granel. Sin embargo, la mayor parte del tiempo el producto se despacha en sacos.

El área de despacho no se contemplará en este proyecto, debido a que es necesario más tiempo y recursos para su ejecución.

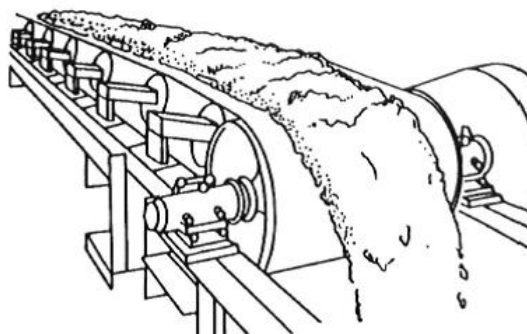
2.7. Equipos auxiliares de la planta

Los equipos auxiliares son los encargados de transportar la cal o aire de proceso de un lado a otro por medio de bandas o tuberías. Algunos de ellos son las bandas transportadoras, elevadores, sopladores, filtros, bombas, entre otros.

2.7.1. Bandas de transporte

Las bandas caminan sobre un armazón de rodillos. El armazón está formado por un rodillo central el cual se encuentra en posición horizontal y los dos de la orilla tienen una inclinación lo que le da al armazón forma en U. El material es descargado en uno de los extremos. La unión de la banda se hace con conectores de placas solidas apernadas; estos conectores se colocan en la parte superior e inferior de la banda por medio de pernos de alta resistencia y dientes en las placas, que ayudan a sujetar la banda. Otros tipos de conexiones utilizadas son los de vulcanizado en caliente y en frío y la unión con grapas. Este tipo de banda en su transmisión tiene un motor eléctrico, fajas trapezoidales, reductor de engranes, chumaceras, sensores de movimiento. Cuentan con detectores de metales y electroimanes para eliminar cualquier material metálico.

Figura 34. **Banda de transporte**



Fuente: Cementos Progreso, S.A., Planta San Miguel.

2.7.2. Sopladores o compresores

Para la alimentación de aire de combustión, enfriamiento de material, enfriamiento de lanzas y para el transporte de combustible sólido, se utilizan compresores rotativos de tres lóbulos; se utiliza este de compresores ya que alcanzan una elevada relación de compresión y el caudal que generan es prácticamente independiente de la resistencia que se pueda generar dentro del horno, a causa de las diferentes granulometrías de la piedra caliza.

Figura 35. **Sopladores de embolo giratorio**

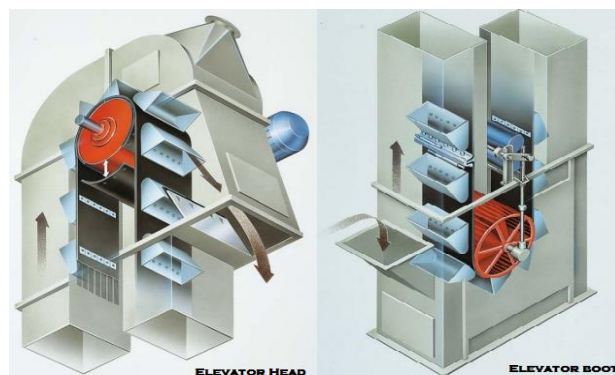


Fuente: Cementos Progreso, S.A., Planta San Miguel.

2.7.3. Elevadores de cangilones

Es una banda ó cadena continua que tiene acoplado un determinado número de cangilones ó canastas. En los extremos del armazón tanto superior como inferior, hay una rueda dentada o polea, según sea cadena o banda. El elevador está alojado dentro de una caja hecha de lámina metálica. Cuando los cangilones pasan alrededor de la rueda dentada inferior, recogen el material acumulado en el fondo de la caja y lo transportan verticalmente hacia arriba, lo descarga en el momento en que giran sobre la rueda dentada instalada en la parte superior del elevador. Los cangilones se fabrican de hierro fundido. La rueda inferior al igual que las chumaceras que la soportan, deben ser especiales ya que muchas veces trabajan sumergidas en el material. El tipo de protección de la chumacera es lo que la hace ser especial; en este caso es recomendable usar una chumacera con protección de laberinto con tabiques radiales. Un elevador de cangilones se compone de: cadena, cangilones, chumaceras, rueda dentada superior e inferior, motor eléctrico, fajas y reductor o también el reductor puede estar acoplado al motor sin la necesidad de fajas de transmisión.

Figura 36. Elevadores de cangilones



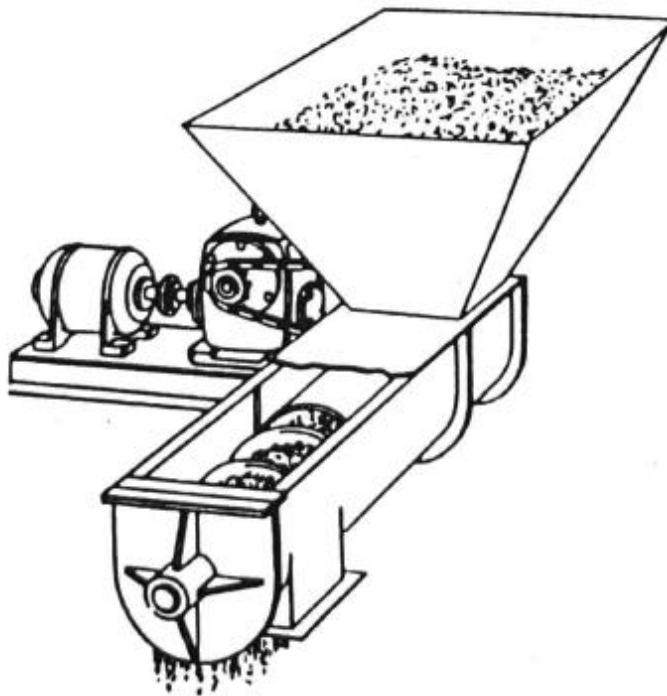
Fuente: NEO CONVEYORS. www.bulkmaterialshandling.in/tag/manufacturer-bucket-elevator/.

Consulta: julio, 2018.

2.7.4. Transportador helicoidal

Son conocidos como gusanos y están formados por un tornillo helicoidal alojado en una carcasa en forma de U. Cuando la longitud del tornillo es tal que se provoca una deflexión, entonces se utilizan cargadores bipartidos con conducto de lubricación para el buje. Los transportadores de este tipo se utilizan para mover los materiales hacia los distintos pasos del proceso. Estos gusanos consumen una considerable cantidad de energía debido a que en su interior se generan altos niveles de fricción. Los componentes de un gusano son: motor-reductor, chumaceras y los cargadores.

Figura 37. Transportador helicoidal



Fuente: Cementos Progreso, S.A., Planta San Miguel.

2.7.5. Colector de polvo

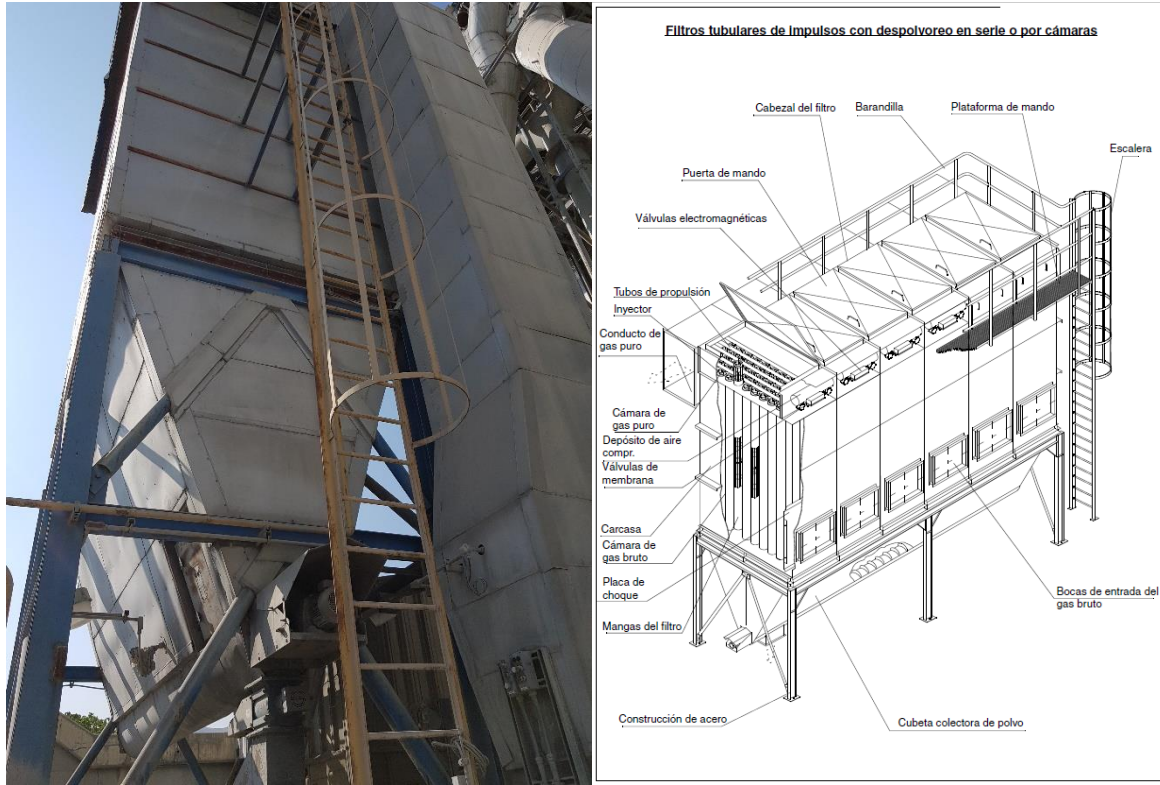
El cemento y la cal son un material que generan y esparcen polvo al ambiente debido a esto se cuentan con varios filtros instalados en toda la planta.

El filtro colector se encarga de eliminar la mayor cantidad de polvo de los gases de desecho para que éstos se puedan liberar al medio ambiente sin contaminación por partículas de polvo. Esta separación la hace por medio de bolsas filtrantes las cuales retienen y descargan el polvo llamado cenizas del filtro a un gusano y se transportan por medio neumático a un silo donde es almacenado y luego desechado.

Los hornos de cal cuentan con un filtro de gases de escape; el ventilador del filtro arrastra los gases de escape del horno a través del filtro. Las mangas filtrantes son limpiadas con aire comprimido. El polvo del filtro es recogido en el transportador helicoidal de descarga y conducido a través de la esclusa celular al recipiente colector. El recipiente colector es una tolva en donde se almacenan las cenizas del horno, las cuales se reprocessan y sirven como combustible sólido del horno.

Si la temperatura del gas de escape es demasiado alta, se alimenta aire frío para evitar daños en el filtro. Si se produce un fallo en el filtro de gas de escape, el horno se para y el gas de escape es conducido a la chimenea directa, tras cambiar la posición de la válvula filtro / chimenea.

Figura 38. Filtro de gases de escape



Fuente: Cementos Progreso, S.A., Planta San Miguel.

2.8. Descripción del Departamento de Mantenimiento Mecánico

El mantenimiento en Planta San Miguel de Cementos Progreso, S.A., se basa en un mantenimiento de clase mundial, para seguir siendo una empresa competitiva. Cuenta con herramientas de software como SAP que apoyan la gestión del mantenimiento. Se cumplen con tareas de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo.

Existe una distribución de mecánicos por áreas, los cuales se encargan de la ejecución de las tareas de mantenimiento indicadas por las órdenes de trabajo, las cuales son programadas por personal encargado directamente de la planificación del mantenimiento.

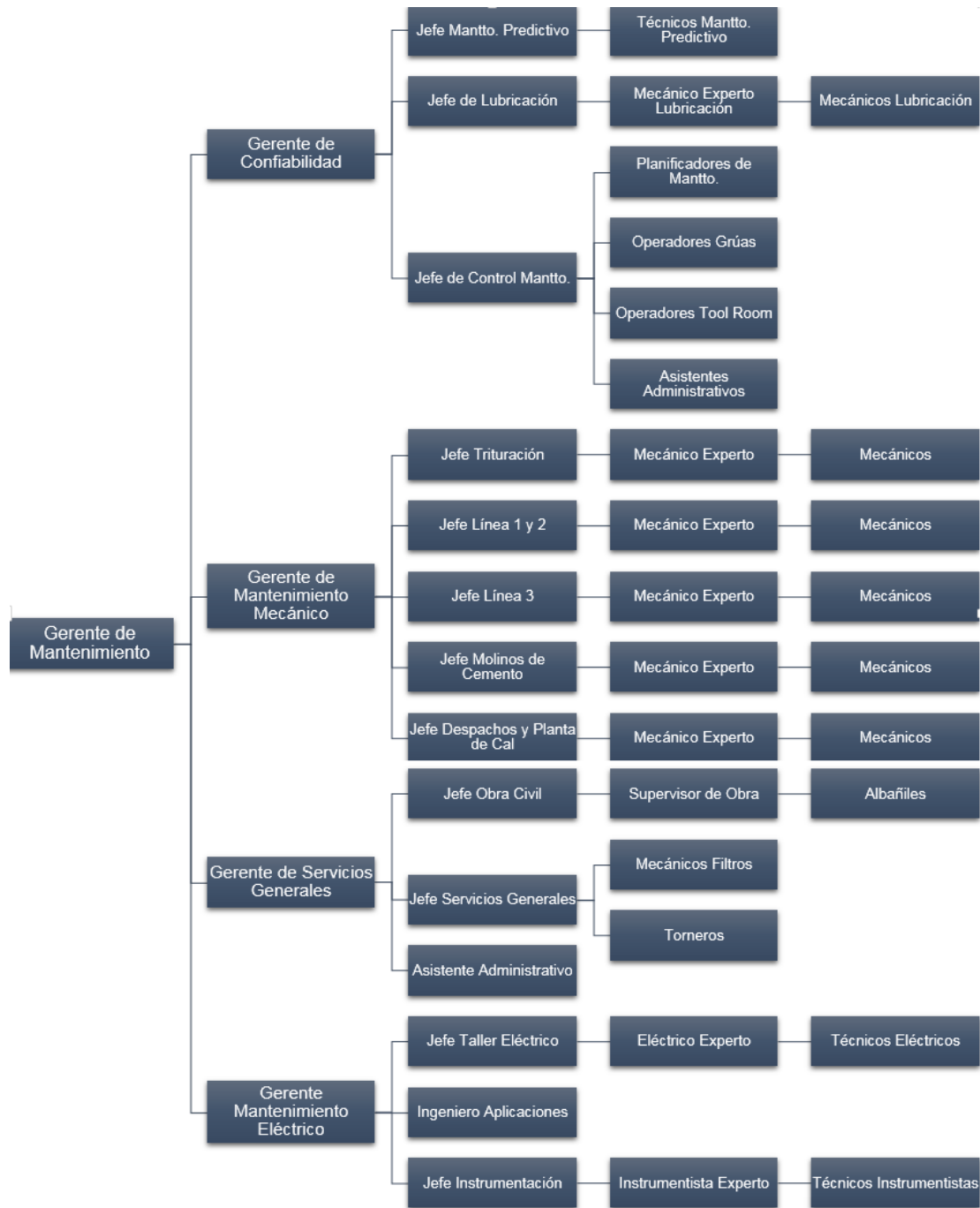
Las funciones de mantenimiento están descentralizadas y existen especialistas para cada área de mantenimiento, se cuenta con un taller eléctrico y mecánico, departamento de planificación y departamento de mantenimiento predictivo.

El Departamento de Mantenimiento Predictivo cumple una función de apoyo para las diferentes áreas de procesos, además es el que se encarga de tomar las mediciones respectivas y de su análisis para planificar con las áreas de procesos las tareas de mantenimiento.

2.8.1. Organigrama del Departamento de Mantenimiento

El Departamento de Mantenimiento está encabezado por el Gerente de mantenimiento que es el encargado de coordinar las actividades, toma de decisiones y ser un enlace con la gerencia.

Figura 39. Organigrama del Departamento de Mantenimiento



Fuente: elaboración propia.

2.9. Tipos de mantenimiento

Esta división de tipos de mantenimiento presenta el inconveniente que cada equipo necesita una mezcla de cada uno de esos tipos, de manera que no podemos pensar en aplicar uno solo de ellos a un equipo en particular. La mezcla más idónea de todos estos tipos de mantenimiento nos la dictarán estrictas razones ligadas al coste de las pérdidas de producción en una parada de ese equipo, al coste de reparación, al impacto ambiental, a la seguridad y a la calidad del producto o servicio, entre otras.

2.9.1. Mantenimiento correctivo

Este es aquel tipo de mantenimiento, en el que la maquinaria, equipo o sistema no define el tiempo en el cual se va a realizar. Se conoce también como mantenimiento de falla, ya que no se anticipa a nada y se espera hasta que el equipo se interrumpa en su funcionamiento para poder intervenir o bien repararse. Este tipo de mantenimiento es propio de las empresas pequeñas y de bajo volumen de producción.

2.9.1.1. Etapas del mantenimiento correctivo

- Identificación del problema raíz y sus posibles causas.
- Estudio de las diferentes opciones para proceder a la reparación.
- Evaluación de las ventajas de cada opción y escoger la mejor o la que mejore el proceso.
- Planear la intervención o reparación de acuerdo con el equipo y el personal que se encuentre disponible en ese momento.

2.9.2. Mantenimiento predictivo

Es aquel tipo de mantenimiento que se basa en pruebas no destructivas, a fin de conocer el desgaste, vibraciones, temperaturas, fracturas o rupturas de una máquina o elemento de máquina, además de ruidos poco usuales o extraños en el funcionamiento de la máquina o elemento de máquina.

En pruebas de desgaste, se suelen tomar muestras del aceite para aquellos equipos que lo utilicen como medio de lubricación, a fin de conocer la magnitud de cuerpos extraños suspendidos en el aceite y así determinar su origen, el cual pudiera ser producto de desgaste de dos elementos mecánicos con insuficiente lubricación o bien impurezas propias por un mal filtrado del aceite lubricante. Para dichas pruebas se utilizan equipos de medición como espectrofotómetros de radiación atómica, que identifican o analizan el aceite lubricante y a su vez los cuerpos extraños como el vanadio, cromo, magnesio, aluminio, cloro, minerales, entre otros. La finalidad del mantenimiento predictivo es tener conocimiento del momento exacto o aproximado del fallo del equipo.

Como parte de estos estudios se debe incluir los siguientes:

- **Vibraciones:** se realizan con aparatos que miden la amplitud de onda en un eje específico o bien en algún elemento de máquina, a fin de determinar la comparación entre los límites normalizados de vibración mostrados por el fabricante en pruebas ideales de instalación del equipo.
- **Temperatura:** se utilizan equipos de termografía como pirómetros, termómetros láser o de contacto, en altas temperaturas, a fin de conocer la magnitud de la fricción existente en un mecanismo específico.

- Fractura: a través de radiografías o químicos especiales que revelen el punto exacto de micro fracturas, o bien fracturas expuestas de un elemento de máquina específico.
- Ruidos: utilización de estetoscopios especiales para maquinaria que revelen posibles elementos sometidos a fricción, vibraciones extremas.

2.9.3. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo es el que se realiza mediante una programación previa y planificada de actividades con el fin de evitar, en lo posible, la mayor cantidad de daños imprevistos, disminuir los tiempos muertos de producción por fallas en los equipos y, por ende, disminuir costos innecesarios e imprevistos en la misma.

El mantenimiento preventivo no es una solución para todos los problemas que se presentan durante un proceso productivo; es simplemente una organización sistemática de lo que tradicionalmente se ha hecho.

Los altos niveles de productividad que se requieren en la actualidad, exigen la implementación de un sistema de mantenimiento preventivo que permita aumentar la eficiencia de la producción, la cual es directamente proporcional a la calidad de la información con que se cuenta para llevarla a cabo.

Cuando se implementa un programa de mantenimiento preventivo, deberá hacerse una primera programación y tener disponible la siguiente información como fuente principal:

- Catálogos del fabricante del equipo.
- Manuales del fabricante del equipo.
- Planos de la maquinaria (diagramas eléctricos, planos mecánicos, planos de suministro de aire comprimido, entre otros).
- Memorias de cálculo, en el caso de que se hayan realizado modificaciones posteriores a su instalación.
- Experiencia de técnicos mecánicos y electricistas que ayuden a responder las preguntas propias de una programación.

2.9.4. Mantenimiento proactivo

El mantenimiento proactivo utiliza técnicas que monitorean las condiciones de operación de las máquinas y equipos (mantenimiento predictivo), las cuales permiten detectar las causas que dan origen a las fallas, para eliminarlas y prolongar la vida del equipo (mantenimiento preventivo), lo cual permite además anticipar las fallas antes que se conviertan en catastróficas. Un mantenimiento proactivo se basa en localizar la causa principal que origina la falla y tomar las medidas necesarias para que no vuelva a fallar y con ello tener una alta confiabilidad del equipo.

2.9.5. Mantenimiento basado en riesgo (RbM)

La metodología de mantenimiento basado en el riesgo se desarrolla en tres módulos principales: la determinación del riesgo, que consiste en la identificación y estimación del riesgo; la evaluación del riesgo el cual considera los criterios de valoración para la comparación con los criterios de aceptación y por último la planeación del mantenimiento considerando los factores de riesgo.

La ocurrencia de fallos inesperados, el tiempo de parada asociado a las fallas, las pérdidas operacionales y los mayores costos de mantenimiento son de los principales problemas para las empresas de transmisión debido al impacto que se tiene en los usuarios. El enfoque de mantenimiento basado en el riesgo complementa una estrategia alternativa para minimizar el impacto resultante de averías o fallas.

La metodología RbM tiene cuatro etapas (Krishnasamy, Khan, & Haddara, 2005): identificación del equipo y su estructura, identificación de los riesgos, evaluación de riesgos y programación del mantenimiento. La metodología, permite estimar el riesgo causada por una falla inesperada en función de la probabilidad y la consecuencia de la falla. Se requiere de una identificación y clasificación de los equipos críticos para valorar el riesgo y lograr llevarlo con medidas de control a un nivel aceptable. La intervención de los equipos se realiza de acuerdo a la prioridad en tiempo, la cual determina la confiabilidad de la unidad constructiva o conjunto de equipos, lo que ayuda a reducir el riesgo general de la planta.

Este tipo de mantenimiento describe un procedimiento sistemático para determinar exactamente el intervalo de pruebas y mantenimiento relacionando la seguridad de los equipos y sus componentes. La medida del riesgo es el tiempo promedio de la tasa de accidentes. El método se basa en reducir el mínimo costo de intervenir la instalación con la restricción que la frecuencia promedio de accidentes se mantiene por debajo un criterio establecido.

Se modelan como eventos básicos las fallas en componentes, las causas más comunes de falla y los errores humanos, la probabilidad de falla es función de los intervalos de prueba y mantenimiento.

Las características de este trabajo son: reducción al mínimo de los costos en la instalación, además de minimizar el riesgo o la falta de disponibilidad, así como el riesgo de falla de los equipos y componentes, inclusión de intervalos de mantenimiento preventivo y costos, además de las pruebas de rutina o inspección, tiempos de espera y la causa común de falla en componentes y errores humanos.

2.9.6. Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)

El RCM (siglas en inglés) es una metodología ampliamente aceptada que ha estado disponible en la industria durante más de 30 años, y ha demostrado ofrecer una estrategia eficiente para la optimización de mantenimiento preventivo, con el objeto principal de reducir los costes de mantenimiento, al mismo tiempo, aumentar la confiabilidad y la seguridad de los equipos. El procedimiento consta de dos etapas: la primera de un análisis inductivo de los fallos potenciales, en el cual típicamente se utiliza una variante del modo de fallo, efectos y análisis de criticidad, para determinar los componentes críticos del sistema; y la segunda la aplicación de los diagramas de decisión lógica llamada lógica de RCM, para especificar las categorías adecuadas del mantenimiento preventivo.

El RCM se basa en la confiabilidad desde el diseño del equipo y su objetivo es preservarla durante el ciclo de la operación, el resultado busca obtener un programa de mantenimiento preventivo que logre los niveles deseados de seguridad y confiabilidad al mínimo costo posible. Es a través del programa preventivo que se logran detectar fallas incipientes y corregirlas antes de que ocurran o causen mayores efectos, igualmente busca reducir la probabilidad de falla.

El enfoque del RCM que le dan las compañías, está dado por la evaluación periódicas de la condición y de los resultados de la experiencia del personal de mantenimiento y no siempre se basa en la condición, sino en otras características como la investigación de los modos de falla, análisis de efectos y la priorización de las funciones.

2.10. Sistema de codificación de activos (HAC's/PNS)

Anteriormente las siglas HAC significaban *Holderbank Asset Code*, con el transcurso del tiempo cambió el significado y ahora se llama *Holcim Asset Code*. HAC forma parte del sistema de gestión de activos de HOLDERBANK en inglés: *Holderbank Assets Management System (HAMS)*.

El objetivo de un sistema de gestión de activos es registrar, desde su fuente, todos los datos relacionados con los activos en los campos técnicos y económicos, para permitir una optimización de la gestión de estos activos, así como de sus costos de mantenimiento.

Es un sistema de identificación de equipos permite la definición de la fiabilidad, actividad y costo de cada equipo. Es un requerimiento básico para la historia de equipos.

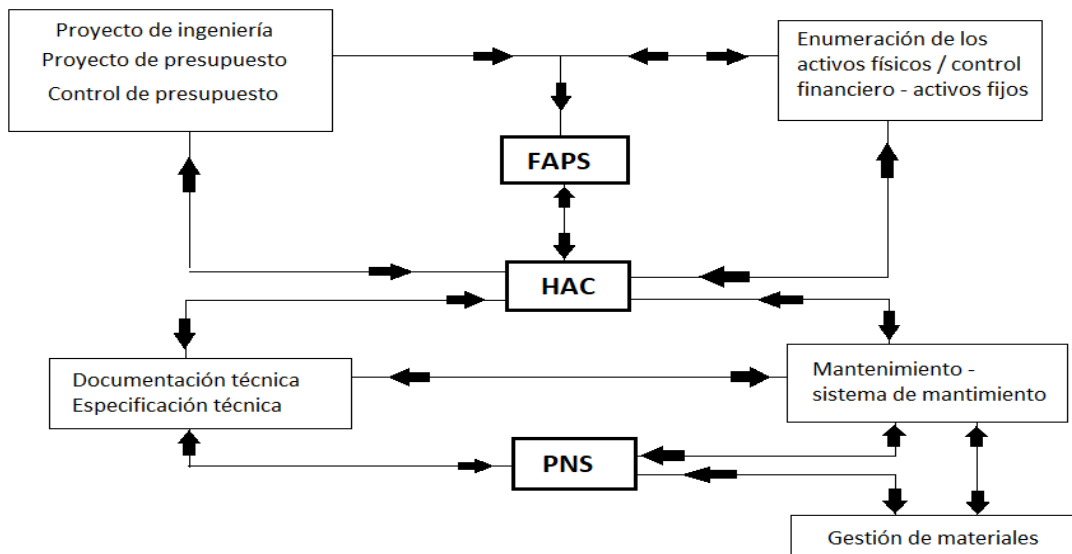
Describe:

- El parque de máquinas a mantener
- Su ubicación física
- Se identifican según HAC

La idea base del HAMS consiste en la elaboración de una serie de sistema de informaciones en relación con los activos, siendo todos estos sistemas compatibles entre sí.

En la figura 40 se muestran las áreas que comprende el sistema de gestión de activos.

Figura 40. **Áreas que comprende el sistema de gestión de activos**



Fuente: Holcim Group Support Ltd. *HAC-Manual Holcim Asset Code*. p. 6.

Donde:

- **FAPS:** *Financial and administrative project management system*. sistema de gestión financiera y administrativa de proyectos.
- **PNS:** *Parts numbering system*. Sistemas de numeración de pieza para clasificación y almacenaje de piezas de repuestos.

2.10.1. Ubicación técnica como HAC

Especifica la estructura y ubicación de los objetos técnicos y se identifica según HAC, las ubicaciones pueden ser una planta o una sección.

Una ubicación técnica es una ubicación individual en una estructura técnica que se estructura en un sistema global según criterios de: espacio físico, técnicos funcionales y de proceso.

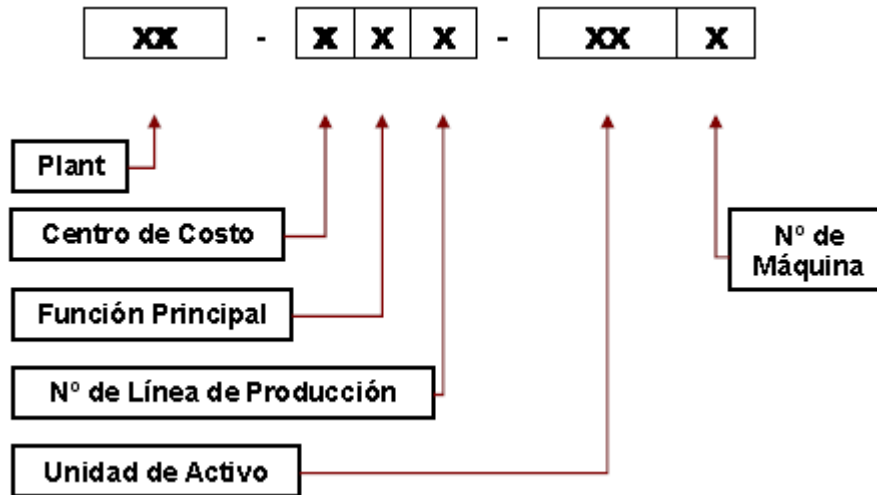
Es posible crear una estructura jerárquica de diversos niveles y la asignación de uno o varios equipos.

El código HAC está definido así: XX.XXN-XXN, los dos primeros caracteres se refieren a la planta. Los siguientes tres caracteres se refieren al grupo. Los últimos tres caracteres se refieren al activo. Las X se usan para alfanuméricos mientras que las N sólo para números.

Los componentes de las unidades de activos o unidades de mantenimiento son clasificados con dígitos adicionales. En caso que varias plantas estén codificadas bajo el mismo código de activo, oficialmente el dígito código de planta debe preceder al código para una fácil referencia entre grupo, activo y componente. Puede usarse como delimitadores los signos “-” y “.”.

Dentro de sistemas de mantenimiento como SAP, el HAC se utilizará para identificar la ubicación de la unidad de mantenimiento del activo. No se utilizará el HAC para identificar o numerar repuestos.

Figura 41. Generación del código HAC



Fuente: Cementos Progreso, S.A., Planta San Miguel.

Tabla V. Estructura de las ubicaciones técnicas en planta de cal

| Posición que identifica la planta | |
|--|-----------------|
| 1 | La Pedrera (LP) |
| 2 | San Miguel (SM) |

| Posición que identifica una sub-planta o división | |
|--|---------|
| 1 | Cemento |
| 2 | Cal |

| Centro de costo o funciones principales | |
|--|----------------------------------|
| 4 | Fabricación de cal viva (horno) |
| 5 | Hidratación de cal (hidratadora) |
| 6 | Ensacado y expedición |

Continuación de la tabla V.

Sub-división de funciones principales

Fabricación de cal viva

| | |
|----|------------------------------|
| 41 | Transporte de piedra caliza |
| 42 | Descarga de piedra caliza |
| 43 | Alimentación al horno |
| 46 | Calcinación de caliza |
| 47 | Enfriamiento/descarga de cal |
| 48 | Inyección de combustible |

Fabricación de cal

| | |
|----|--|
| 53 | Trituración de cal viva |
| 54 | Hidratación de cal |
| 56 | Molienda de cal hidratada |
| 59 | Transporte de cal y almacenamiento a silos |

Ensacado y expedición

| | |
|----|----------------------------|
| 61 | Transporte a la ensacadora |
| 62 | Carga a granel |
| 64 | Ensacado |
| 65 | Carga en sacos |

No. de línea de producción

| | |
|---|----------------|
| 1 | Línea número 1 |
| 2 | Línea número 2 |
| 3 | Línea número 3 |

Fuente: elaboración propia.

Para este proyecto se utilizarán únicamente las ubicaciones técnicas que inician con la numeración 22, ya que estos son los que identifican a los activos en la planta de cal.

Anteriormente para los activos en la planta de cemento se utilizaba 21-463-HR1, ahora se utiliza SM.463-HR1 y además se cuentan con otras estructuras a parte de las mencionadas en la tabla anterior, debido a la variedad de equipos y procesos para la fabricación de cemento.

2.10.2. Funciones de las ubicaciones técnicas

- Emplazamiento
- Código ABC (criticidad)
- Puesto de trabajo responsable
- Planificación y ejecución de las tareas de mantenimiento
- Historia de instalación y uso de equipos
- Contadores y puntos de medida

2.10.3. Equipo

Un equipo es una entidad física que realiza una función para el proceso de fabricación que requiere mantenimiento y control de costos.

Los subsistemas requeridos para llevar a cabo la función especificada se subordinan como conjuntos (siempre y cuando estén montados en la misma estructura) y dependiendo el caso incluyen:

- Instrumentación
- Transmisión principal y auxiliar
- Sistemas hidráulicos y de lubricación
- Estructuras, soportes, ductos y juntas de expansión (se integran en el equipo que los recibe)

2.10.4. Sistema de historial de equipos

Es un sistema el cual lleva el registro histórico de desempeño de cada tiempo de parada, número de fallas, descripción de fallas mayores, actividades de mantenimiento realizadas y costos de mantenimiento.

El objetivo del sistema es permitir un análisis sencillo que muestre la base histórica y el desempeño de todos los equipos.

2.10.5. Lista de materiales

Listado de repuestos requeridos para mantener la disponibilidad de los equipos.

Propósito:

- Identificar los repuestos requeridos para realizar actividades de mantenimiento.
- Planificación del mantenimiento y gestión del inventario.
- Elemento importante en la mantenibilidad.

3. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL

3.1. Plan de trabajo

Un plan de trabajo es una herramienta con la que organizar y simplificar las actividades necesarias para concretar una acción. Con este instrumento podemos planificar y gestionar todos los recursos necesarios para poder ejecutar dicho trabajo. Asimismo, un plan de trabajo nos ayuda a sistematizar toda la información generada, actuando de un excelente instrumento de comunicación.

El plan de trabajo fue la primera tarea realizada en el proyecto, la cual ayudó como guía desde el inicio del EPS hasta la culminación del mismo. En el plan de trabajo se describen todas las actividades a realizar en el proyecto y este se realizó con el programa de Microsoft Project.

Figura 42. **Plan de trabajo**

| |
|---|
| <input type="checkbox"/> Plan Mantto Calera SM |
| <input type="checkbox"/> 1 Trabajos previos (preparación plan) |
| 1.1 Inducción y conocimiento del proceso de mantenimiento |
| 1.2 Asignación de equipo para el proyecto |
| 1.3 Definición y alcance de proyecto |
| <input type="checkbox"/> 1.4 Documentación del proyecto |
| 1.4.1 Definir ubicación para almacenar información |
| <input type="checkbox"/> 1.5 Elaboración del plan de trabajo |
| 1.5.1 Definición de procesos |
| 1.5.2 Elaborar el plan |
| <input type="checkbox"/> 1.6 Elaboración de formatos |
| 1.6.1 Formato levantado datos técnicos |
| 1.6.2 Formato equipos/repuestos críticos |
| 1.6.3 Formato etiquetado y bloqueo |
| 1.6.4 Formato para balance de cargas |
| 1.6.5 Formato presentaciones |
| 1.6.6 Formato alimentación datos para indicadores |
| 1.6.7 Formato de compromisos |
| 1.7 Creación de carpetas para documentación |
| 1.8 Conocimiento previo funcionamiento Planta Cal |
| <input type="checkbox"/> 2 Revisión procesos Planta de Cal |
| <input type="checkbox"/> 3 Objetos técnicos (Lev datos, equipos/ rep. críticos, fichas técnicas). |
| <input type="checkbox"/> 4 Puestos de trabajo por especialidad y estrategias |
| <input type="checkbox"/> 5 Mantenimiento preventivo (planes, voso, rutinas lubricación, PMR's, balance cargas, planes SAP) |

Fuente: elaboración propia.

Figura 43. Plan de trabajo, fase 1 y 2

| |
|--|
| [-] Plan Mantto. Calera SM |
| + 1 Trabajos previos (preparación plan) |
| [-] 2 Revisión procesos Planta de Cal |
| [-] 2.1 Diagrama de flujo |
| 2.1.1 Impresión del diagrama de flujo |
| 2.1.2 Revisión del diagrama de flujo |
| 2.1.3 Aprobación del diagrama de flujo |
| [-] 2.2 Definir los procesos de Planta Cal |
| 2.2.1 Definir las secciones de los procesos (alcance) |
| 2.2.2 Aprobación de las secciones del proceso |
| [-] 2.3 Estructura actual de equipos |
| 2.3.1 Impresión de la estructura en SAP |
| 2.3.2 Revisión de la estructura, ubicación técnica, equipo, conjunto |
| 2.3.3 Comparación estructura SAP vs. diagrama flujo |

Fuente: elaboración propia.

Figura 44. Plan de trabajo, fase 3

| |
|--|
| [-] Plan Mantto. Calera SM |
| + 1 Trabajos previos (preparación plan) |
| + 2 Revisión procesos Planta de Cal |
| [-] 3 Objetos técnicos (Lev datos, equipos/r ep. críticos, fichas técnicas, MRP) |
| [-] 3.1 Levantamiento de datos técnicos en campo |
| [-] 3.1.1 Levantado datos técnicos horno 22-461-HV1 |
| 3.1.1.1 Datos técnicos, mecánicos / servicios |
| 3.1.1.2 Datos técnicos, eléctricos |
| 3.1.1.3 Datos técnicos, instrumentación |
| 3.1.1.4 Datos técnicos, lubricación |
| 3.1.1.5 Identificación de bloqueos y aspectos de seguridad |
| [-] 3.1.2 Levantado datos técnicos hidratadora 22-541-HY1 |
| 3.1.2.1 Datos técnicos, mecánicos / servicios |
| 3.1.2.2 Datos técnicos, eléctricos |
| 3.1.2.3 Datos técnicos, instrumentación |
| 3.1.2.4 Datos técnicos, lubricación |
| 3.1.2.5 Identificación de bloqueos y aspectos de seguridad |
| + 3.1.3 Levantado datos técnicos horno 22-462-HV1 |
| + 3.1.4 Levantado datos técnicos hidratadora 22-542-HY1 |
| + 3.1.5 Levantado datos técnicos horno 22-463-HV1 |
| + 3.1.6 Levantado datos técnicos hidratadora 22-543-HY1 |
| + 3.2 Revisión información técnica (manuales) |
| + 3.3 Fichas técnicas |
| + 3.4 Listado de equipos a identificar en campo |

Fuente: elaboración propia.

Figura 45. **Plan de trabajo, fase 3 y 4**

| |
|---|
| ▣ 3 Objetos técnicos (Lev datos, equipos/ rep. críticos, fichas técnicas, MRP) |
| ▣ 3.1 Levantamiento de datos técnicos en campo |
| ▣ 3.2 Revisión información técnica (manuales) |
| ▣ 3.2.1 Manuales planta |
| 3.2.1.1 Manuales de equipos Horno 461 |
| 3.2.1.2 Manuales de equipos Horno 462 |
| 3.2.1.3 Manuales de equipos Horno 463 |
| 3.2.1.4 Manuales de equipos Hidratadora 1 |
| 3.2.1.5 Manuales de equipos Hidratadora 2 |
| 3.2.1.6 Manuales de equipos Hidratadora 3 |
| ▣ 3.2.2 Equipos y repuestos críticos |
| 3.2.2.1 Listado general de equipos |
| 3.2.2.2 Definir criticidad A B C en formato establecido |
| 3.2.2.3 Listado de repuestos para equipos críticos |
| 3.2.2.4 Ingreso de repuestos a formato establecido |
| 3.2.2.5 Actualizar información en SAP |
| ▣ 3.3 Fichas técnicas |
| ▣ 3.3.1 Creación de fichas técnicas |
| 3.3.1.1 Manuales de equipos Horno 461 |
| 3.3.1.2 Manuales de equipos Horno 462 |
| 3.3.1.3 Manuales de equipos Horno 463 |
| 3.3.1.4 Manuales de equipos Hidratadora 1 |
| 3.3.1.5 Manuales de equipos Hidratadora 2 |
| 3.3.1.6 Manuales de equipos Hidratadora 3 |
| ▣ 3.4 Listado de equipos a identificar en campo |
| 3.4.1 Listado de equipos a identificar en campo |
| ▣ 4 Puestos de trabajo por especialidad y estrategias |
| ▣ 4.1 Crear puestos de trabajo |
| ▣ 4.1.1 Actualización de puestos de trabajo |
| 4.1.1.1 Actualizar puesto de trabajo mecánico |
| 4.1.1.2 Crear puesto trabajo eléctrico cal |
| 4.1.1.3 Crear puesto trabajo instrumentista cal |
| 4.1.1.4 Crear puesto trabajo lubricación cal |
| 4.1.1.5 Crear puesto trabajo servicios Grales cal |
| 4.1.1.6 Crear puesto trabajo colectores cal |
| 4.1.1.7 Crear puesto trabajo predictivo cal |
| 4.1.1.8 Crear puesto trabajo obra civil cal |
| ▣ 4.2 Actualizar puestos de trabajo |
| ▣ 4.3 Definir la estrategia de mantenimiento |
| 4.3.1 Estrategia de mantenimiento |

Fuente: elaboración propia.

Figura 46. **Plan de trabajo, fase 5**

| |
|---|
| [-] Plan Mantto Calera SM |
| + 1 Trabajos previos (preparación plan) |
| + 2 Revisión procesos Planta de Cal |
| + 3 Objetos técnicos (Lev datos, equipos/ rep. críticos, fichas técnicas, MRP) |
| + 4 Puestos de trabajo por especialidad y estrategias |
| [-] 5 Mantenimiento preventivo (planes, voso, rutinas lubricación, PMR's, balance cargas, planes SAP) |
| [-] 5.1 Pruebas de bloqueo y actualización de listado |
| 5.1.1 Pruebas de bloqueo horno 3 |
| 5.1.2 Pruebas de bloqueo horno 1 |
| 5.1.3 Pruebas de bloqueo horno 2 |
| 5.1.4 Pruebas de bloqueo hidratadora 3 |
| 5.1.5 Pruebas de bloqueo hidratadora 2 |
| 5.1.6 Pruebas de bloqueo MESH 200 |
| 5.1.7 Actualización de listado de bloqueos |
| 5.1.8 Creación de avisos en SAP |
| [-] 5.2 Identificación de equipos |
| 5.2.1 Solicitar fabricación de calcomanías |
| 5.2.2 Instalación de calcomanías |
| 5.3 Definición de frecuencias para hornos de cal y mesh 200 |
| [-] 5.4 Gestión de cambio de equipos |
| 5.4.1 Ejecutar formato de gestión de cambio para equipos nuevos y/o modificados |
| [-] 5.5 Revisión y actualización de PMR's |
| [-] 5.5.1 PMR's sección Horno 22-463-HV1 |
| 5.5.1.1 PMR's mecánicas |
| 5.5.1.2 PMR's servicios generales |
| 5.5.1.3 PMR's colectores de polvo |
| 5.5.1.4 PMR's eléctricos |
| 5.5.1.5 PMR's instrumentación |
| 5.5.1.6 PMR's lubricación |
| + 5.5.2 PMR's sección Hidratadora 22-543-HY1 |
| + 5.5.3 PMR's sección Horno 22-462-HV1 |
| + 5.5.4 PMR's sección Hidratadora 22-542-HY1 |
| + 5.5.5 PMR's sección Horno 22-461-HV1 |
| + 5.5.6 PMR's sección MESH 200 |
| + 5.6 Crear balance de carga |
| + 5.7 Elaboración de planes (manual y automático) |
| + 5.8 Generación de posiciones en planes de mantto. |
| + 5.9 Programar planes en SAP |

Fuente: elaboración propia.

3.2. Repuestos críticos

Para tener una buena planificación del mantenimiento preventivo se necesita contar con un listado de los repuestos críticos de cada uno de los equipos, para ello se revisó el historial de cada uno de los equipos y se clasificó extrayendo los repuestos y materiales que tenían un costo alto o que se utilizaba recurrentemente o si era un repuesto especial de la máquina.

La función principal de la planificación de necesidades de material es la de supervisar stocks y, en concreto, crear automáticamente propuestas de pedidos para el departamento de compras y de fabricación (órdenes previsionales, solicitudes de pedido, repartos, entre otros.).

Figura 47. **Formato de repuestos críticos**

| Ubicación técnica | PNS | Descripción del repuesto |
|-------------------|-----------|--|
| 22-543-PD1 | 5409-0385 | SOPORTE SY 20TF |
| | 5807-0098 | BANDA 30" X 1/16" X 3/16" 400° TRANSPORT |
| | 5807-0158 | BANDA 32" X 1/4" X 800 MM |
| | 5807-0193 | BANDA DELTA HEAT PSR 3/16X1/16 34" 205 G |
| | 6932-0002 | RETENEDOR 14x30x7 |
| | 6932-0003 | RETENEDOR 16 x 30 x 7 |
| 22-543-VE1 | 5319-0950 | RODAMIENTO 6310-2RS.C3 = 6310-2RS1/C3 |
| | 5319-1565 | RODAMIENTO 6210-2RS.C3 |
| | 6122-0019 | CORREA V SPA 2500 |

Fuente: elaboración propia.

3.3. Determinación de los equipos críticos (Criticidad ABC)

Las técnicas de análisis de criticidad son herramientas que permiten identificar y jerarquizar por su importancia los activos de una instalación sobre los cuales vale la pena dirigir recursos (humanos, económicos y tecnológicos). En otras palabras, el proceso de análisis de criticidad ayuda a determinar la importancia y las consecuencias de los eventos potenciales de fallos de los sistemas de producción dentro del contexto operacional en el cual se desempeñan.

Existen diversas formas de definir la criticidad de los equipos. Sin embargo, independientemente de la forma en que se realice, este análisis es crucial para obtener un buen plan de mantenimiento. Definiendo de manera correcta los equipos o modos de falla (maneras posibles en las que puede fallar un equipo) es posible saber en qué enfocar la mantención.

Para la determinación y clasificación de los equipos críticos se utilizó el formato que utiliza el departamento de mantenimiento, en las figuras 49 y 50 se puede observar este formato de criticidad ABC.

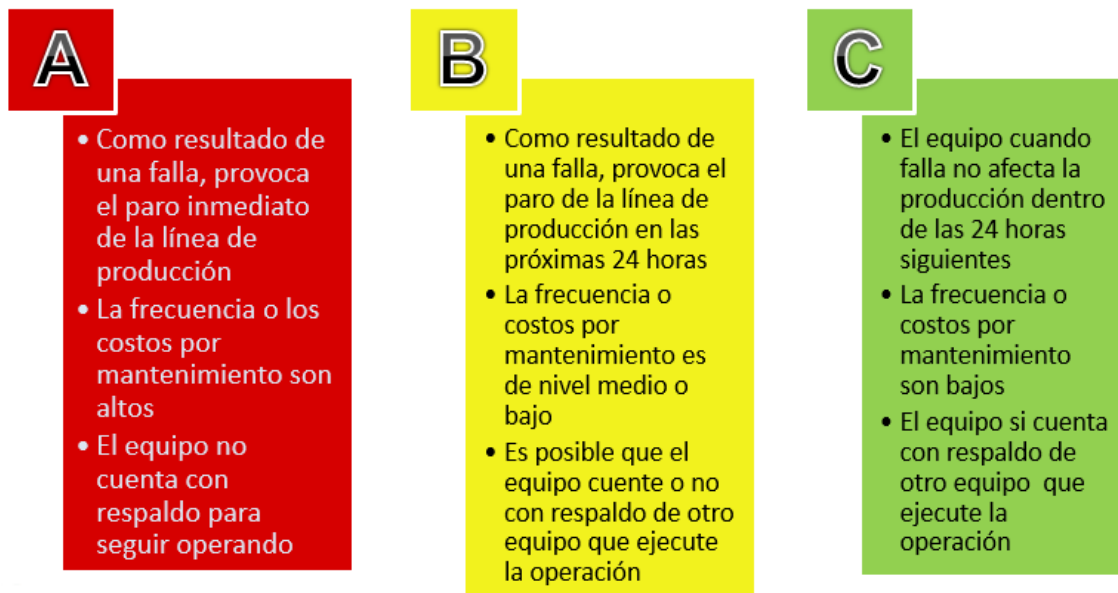
La gestión del mantenimiento en la actualidad requiere de mucho liderazgo, gente que promueva el cambio, que busque no solo que operen las máquinas, sino también que lo hagan acorde a la función para la que fueron diseñadas, que den el producto con la calidad deseada, sin riesgos de accidentes para sus operadores, sin consecuencias adversas al medio ambiente.

En la figura 49 se muestran 3 columnas, las cuales determinan si el equipo afecta la calidad (color celeste), el medio ambiente (color verde) y si afecta la seguridad industrial (color anaranjado). Estos tres parámetros, teóricamente no

cambian la criticidad de los equipos pero son de vital importancia ya que da una visión clara de lo que podría ocurrir si el equipo llegara a fallar, y ayuda a tomar acciones preventivas que eviten el incumplimiento de las normas.

La parte donde se identifica si el equipo es de criticidad A, B o C se muestra en la figura 50. En esta parte del formato se muestran tres criterios importantes a analizar, que son: el equipo tiene incidencia sobre la producción, el grado de mantenibilidad y si el equipo cuenta con otro equipo como respaldo para seguir operando. Dependiendo de estos criterios se podrá conocer el grado de criticidad (figura 48).

Figura 48. **Criterios para la determinación de criticidades**



Fuente: elaboración propia.

Figura 49. Formato determinación de equipos críticos

| cimentos PROGRESO | | NOMBRE DEL DOCUMENTO | | | | | | | | | | |
|-------------------|------------|---|---|-----------------------|----|---------------------------------|----------------------------|----|--|------------------------------------|----|--|
| | | Formato Determinación de Equipos Críticos | | | | | | | | | | |
| Ubicación Técnica | Equipo | Denominación de la ubicación técnica | Denominación de objeto técnico | ¿Afecta a la calidad? | | Crítico para Calidad nuevo dato | ¿Afecta al Medio Ambiente? | | Crítico para Medio Ambiente nuevo dato | ¿Afecta a la Seguridad Industrial? | | Crítico para Seguridad Industrial nuevo dato |
| | | | | si | no | | si | no | | si | no | |
| ÁREA | | | | | | | | | | | | |
| 22-413-CV1 | 22-413-CV1 | ZARANDA VIB. A FAJAS CS2 Y CS3 | ZARANDA VIB. A FAJAS CS2 Y CS3 | 1 | | Q | 1 | | M | 1 | | S |
| 22-433-TY1 | 22-433-TY1 | PESO TOLVA DE PESAJE | PESO TOLVA DE PESAJE | 1 | | Q | | | | | | |
| 22-463-CD1 | 22-463-CD1 | MESA DE DISTRIBUCIÓN CUBA #1 | MESA DE DISTRIBUCIÓN CUBA #1 | 1 | | Q | | | | | | |
| 22-463-CD2 | 22-463-CD2 | MESA DE DISTRIBUCIÓN CUBA #2 | MESA DE DISTRIBUCIÓN CUBA #2 | 1 | | Q | | | | | | |
| 22-463-FT1 | 22-463-FT1 | COLECTOR PRINCIPAL HORNO | COLECTOR PRINCIPAL HORNO | | | | 1 | | M | | | |
| 22-463-HY1 | 22-463-HY1 | HORNO VERTICAL DE CAL LINEA #3 | HORNO VERTICAL DE CAL LINEA #3 | 1 | | Q | 1 | | M | 1 | | S |
| 22-463-SH1 | 22-463-SH1 | SISTEMA HIDRÁULICO HORNO #3 | SISTEMA HIDRÁULICO HORNO #3 | | | | | | | 1 | | S |
| 22-533-TS1 | 22-533-TS1 | TRITURADORA DE MARTILLOS | TRITURADORA DE MARTILLOS | 1 | | Q | 1 | | M | | | |
| 22-543-FT2 | 22-543-FT2 | COLECTOR DE POLVO HIDRATADORA | COLECTOR DE POLVO HIDRATADORA | | | | 1 | | M | | | |
| 22-543-HY1 | 22-543-HY1 | HIDRATADORA #3 | HIDRATADORA #3 | 1 | | Q | 1 | | M | 1 | | S |
| 22-543-PD1 | 22-543-PD1 | 543-PD1 PESADORA ALIMENT. A HIDRATADORA | 543-PD1 PESADORA ALIMENT. A HIDRATADORA | 1 | | Q | | | | | | |
| 22-543-TF1 | 22-543-TF1 | GUSANO ALIMENTACIÓN HIDRATADORA | GUSANO ALIMENTACIÓN HIDRATADORA | | | | | | | | | |
| 22-563-EC1 | 22-563-EC1 | ELEVADOR ALIMENTACIÓN MOLINO | ELEVADOR ALIMENTACIÓN MOLINO | | | | | | | | | |
| 22-563-EC2 | 22-563-EC2 | ELEVADOR RECIRCULACIÓN MOLINO | ELEVADOR RECIRCULACIÓN MOLINO | | | | | | | | | |
| 22-563-EL1 | 22-563-EL1 | SISTEMA LUBRICACIÓN DE MOLINO 563-MB1 | SISTEMA LUBRICACIÓN DE MOLINO 563-MB1 | | | | | | | | | |
| 22-563-FT1 | 22-563-FT1 | COLECTOR DE POLVO MOLINO BOLAS | COLECTOR DE POLVO MOLINO BOLAS | | | | 1 | | M | | | |
| 22-563-MB1 | 22-563-MB1 | MOLINO DE BOLAS | MOLINO DE BOLAS | 1 | | Q | | | | 1 | | S |
| 22-563-SP1 | 22-563-SP1 | SEPARADOR #1 MOLINO | SEPARADOR #1 MOLINO | 1 | | Q | 1 | | M | 1 | | S |
| 22-563-SP2 | 22-563-SP2 | SEPARADOR #2 MOLINO | SEPARADOR #2 MOLINO | 1 | | Q | 1 | | M | 1 | | S |

Fuente: elaboración propia.

Figura 50. Formato determinación de equipos críticos

| cimentos PROGRESO | | NOMBRE DEL DOCUMENTO | | | | | | | | | | ID |
|-------------------|----------------|---|--------------------------------|------------|-----------|-------------------------|-------|------|--|----|----------------------------|------------|
| | | Formato Determinación de Equipos Críticos | | | | | | | | | | FOR-000735 |
| | | | | | | | | | | | | VERSION |
| | | | | | | | | | | | | 2.00 |
| Ubicación Técnica | Equipo | Denominación de la ubicación técnica | INCIDENCIA SOBRE LA PRODUCCION | | | GRADO DE MANTENIBILIDAD | | | EXISTE ALGUN EQUIPO DE BACK-UP/ES EL EQUIPO REDUNDANTE | | Críticidad de mantto nueva | Sum Crit |
| | | | Inmediato | <= 24 hrs. | > 24 hrs. | Alto | Medio | Bajo | SI | NO | | |
| ÁREA | | | | | | | | | | | | |
| 22-413-AP1 | RE0-267 | REDUCTOR FAJA TRANSPORTADORA TUNEL | 150 | 75 | 0 | 100 | 50 | 0 | 0 | 50 | B | 125.0 |
| 22-413-AP2 | RE0-268 | REDUCTOR FAJA DE RECHAZO DESC. ZARAND | | 1 | | | 1 | | 1 | | B | 125.0 |
| 22-413-AP3 | RE0-269 | REDUCTOR FAJA ALIMENTACIÓN HORNO #3 | | 1 | | | 1 | | 1 | | B | 125.0 |
| 22-413-AP4 | RE0-271 | REDUCTOR FAJA RECHAZO GRUESOS ZARANDA | | 1 | | | 1 | | 1 | | B | 125.0 |
| 22-413-AV1 | 22-413-AV1 | ALIMENTADOR 1 DESC. A 413-CS1 | | 1 | | | 1 | | 1 | | B | 125.0 |
| 22-413-AV1/U01 | 22-413-AV1/U01 | GABINETE CONTROL VIBRADOR | | 1 | | | 1 | 1 | 1 | | C | 0.0 |
| 22-413-AV2 | 22-413-AV2 | ALIMENTADOR 2 DESC. A 413-CS1 | | 1 | | | 1 | | 1 | | B | 125.0 |
| 22-413-AV2/U01 | 22-413-AV2/U01 | GABINETE CONTROL VIBRADOR | | 1 | | | 1 | 1 | 1 | | C | 0.0 |
| 22-413-AV3 | 22-413-AV3 | ALIMENTADOR 3 DESC. A 413-CS1 | | 1 | | | 1 | | 1 | | B | 125.0 |
| 22-413-AV3/U01 | 22-413-AV3/U01 | GABINETE CONTROL VIBRADOR | | 1 | | | 1 | 1 | 1 | | C | 0.0 |
| 22-413-AV4 | 22-413-AV4 | ALIMENTADOR 4 DESC. A 413-CS1 | | 1 | | | 1 | | 1 | | B | 125.0 |
| 22-413-AV4/U01 | 22-413-AV4/U01 | GABINETE CONTROL VIBRADOR | | 1 | | | 1 | 1 | 1 | | C | 0.0 |
| 22-413-CS1 | 22-413-CS1 | FAJA TRANSPORTADORA TUNEL | | 1 | | | 1 | | 1 | | B | 125.0 |
| 22-413-CS1/M01 | ME3-380 | MOTOR FAJA TRANSPORTADORA TUNEL | | 1 | | | 1 | | 1 | | B | 125.0 |
| 22-413-CS2 | 22-413-CS2 | FAJA DE RECHAZO DESC. DE ZARANDA | | 1 | | | 1 | | 1 | | B | 125.0 |
| 22-413-CS2/M01 | ME3-381 | MOTOR FAJA DE RECHAZO DESC.ZARANDA | | 1 | | | 1 | | 1 | | B | 125.0 |
| 22-413-CS2/S01 | 22-413-CS2/S01 | SENSOR DE VELOCIDAD | | 1 | | | 1 | 1 | 1 | | C | 0.0 |
| 22-413-CS3 | 22-413-CS3 | FAJA ALIMENTACIÓN HORNO #3 | | 1 | | | 1 | | 1 | | A | 250.0 |
| 22-413-CS3/M01 | ME3-382 | MOTOR FAJA ALIMENTACIÓN HORNO #3 | | 1 | | | 1 | | 1 | | B | 125.0 |
| 22-413-CS4 | 22-413-CS4 | FAJA RECHAZO GRUESOS ZARANDA | | 1 | | | 1 | | 1 | | B | 125.0 |
| 22-413-CS4/M01 | ME3-396 | MOTOR FAJA RECHAZO GRUESOS ZARANDA | | 1 | | | 1 | | 1 | | B | 125.0 |
| 22-413-CV1 | 22-413-CV1 | ZARANDA VIB. A FAJAS CS2 Y CS3 | | 1 | | | 1 | | 1 | | A | 250.0 |
| 22-413-CV1/M01 | ME2-1054 | MOTOR ZARANDA VIB. A FAJAS CS2 Y CS3 | | 1 | | | 1 | | 1 | | B | 125.0 |
| 22-423-CM1 | VP0-157 | COMPUERTA CUBA #1 GASES | | 1 | | | 1 | | 1 | | B | 125.0 |

Fuente: elaboración propia.

Luego que se clasificó cada uno de los equipos del área del horno y la hidratadora de las tres líneas de cal, con la ayuda del formato en Excel, se continuó con la actualización de las criticidades en el sistema SAP. Además, en el sistema SAP se cuenta con una opción en donde podemos identificar si el equipo afecta la seguridad industrial, el medio ambiente o la calidad, es por ello que en el formato de Excel se deben llenar estos campos.

La gestión del mantenimiento en la actualidad requiere de mucho liderazgo, gente que promueva el cambio, que busque no solo que operen las máquinas, sino también que lo hagan acorde a la función para la que fueron diseñadas, que den el producto con la calidad deseada, sin riesgos de accidentes para sus operadores, sin consecuencias adversas al medio ambiente. Por esto, en Planta San Miguel se trabaja con las Normas de Estandarización para Medio Ambiente (ISO-14001), Seguridad Industrial (OHSAS-18001) y Calidad (ISO-9001).

Figura 51. Actualización de la criticidad ABC en SAP

The screenshot shows the SAP interface for 'Visualizar ubicación técnica: Datos maestros'. The main data fields are:

| | | | |
|--------------|-----------------------------|------|---------------------|
| Ubic.técn. | P2-463-FT1 | Tipo | SISTEMA TECNICO E.. |
| Denominación | UT COLECTOR PRINCIPAL HORNO | | |
| Status | CREA | | |

Below this, the 'Emplazamiento' tab is active, showing the following data:

| | | |
|-----------------|------------|-------------------------|
| Ce.emplazam. | SM | PLANTA SAN MIGUEL |
| Emplazamiento | FABRIC_CAL | Fabricación de Cal |
| Local | | |
| Área de empresa | CAL | Jefe de Planta |
| Puesto trabajo | SM221023 | GRAL CAL MANTTO FILTROS |
| Indicador ABC | A | Impacto inmediato |
| Campo clasif. | | |

Fuente: sistema SAP.

Figura 52. Actualización de la clasificación ISO en SAP

The screenshot shows the SAP 'Visualizar ubicación técnica: Datos maestros' interface. The 'Ubic.téc.' field contains '22-463-FI1' and is highlighted with a red box. Below it, the 'Clasifica ISO' field contains 'MA' and is also highlighted with a red box. The 'Afecta MAmbiente' checkbox is checked. Other fields include 'Denominación' (UT COLECTOR PRINCIPAL HORNO), 'Status' (CREA), 'Grupo autoriz.' (0001), 'Peso' (0.000), 'Nº inventario', 'Valor adquis.' (0.00), and 'Fecha adquis.'.

| | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|------------------|------------------------|
| Ubic.téc. | 22-463-FI1 | Tipo | M SISTEMA TECNICO E... |
| Denominación | UT COLECTOR PRINCIPAL HORNO | | |
| Status | CREA | | |
| Datos generales | | | |
| Clase | | | |
| Clasifica ISO | MA | Afecta MAmbiente | |
| Grupo autoriz. | 0001 | Grupo Aut. 0001 | |
| Peso | 0.000 | Tamaño/Dimens. | |
| Nº inventario | | PstaEnServDesde | 01.05.2000 |
| Datos de aprovisionamiento | | | |
| Valor adquis. | 0.00 | Fecha adquis. | |

Fuente: sistema SAP.

3.4. Fichas técnicas

Con el objetivo de contar con toda la información necesaria de un equipo o maquinaria en particular, para elaborar un programa sistemático de mantenimiento preventivo, es necesario recurrir a la denominada ficha técnica que colabora con el departamento con datos que difícilmente variarán y que son características que se deben tomar en cuenta para tener un fácil acceso a la información.

Para optimizar el mantenimiento preventivo en la planta de cal, se dio la necesidad de hacer un levantamiento de los datos técnicos de los equipos. Para el levantamiento de estos datos técnicos se estudiaron los manuales de los equipos, se realizaron inspecciones en campo y se revisó el historial en el sistema SAP.



La ficha técnica no va dirigida únicamente al equipo o maquinaria en general, sino que puede ser más detallada incluyendo a los equipos auxiliares y rigiéndose por el código HAC de cada uno de estos.

En el formato se puede observar el encabezado el cual está dividido por el logo de la empresa luego el nombre y el código HAC que identifica la máquina, la persona que hizo la revisión de la ficha técnica y quien subió esta información al sistema SAP (ver figura 53). En estas fichas técnicas se colocó información de datos mecánicos, eléctricos, de lubricación y de instrumentación, se adjuntaron los repuestos críticos con su respectivo PNS. Adicionalmente, se insertó una fotografía del equipo como se encuentra actualmente en el campo, lo cual ayudará a identificar con mayor facilidad el equipo.

Esta información se subió al sistema SAP a cada una de su respectiva ubicación técnica, esto con la finalidad de que cualquier usuario tenga acceso a esta información.

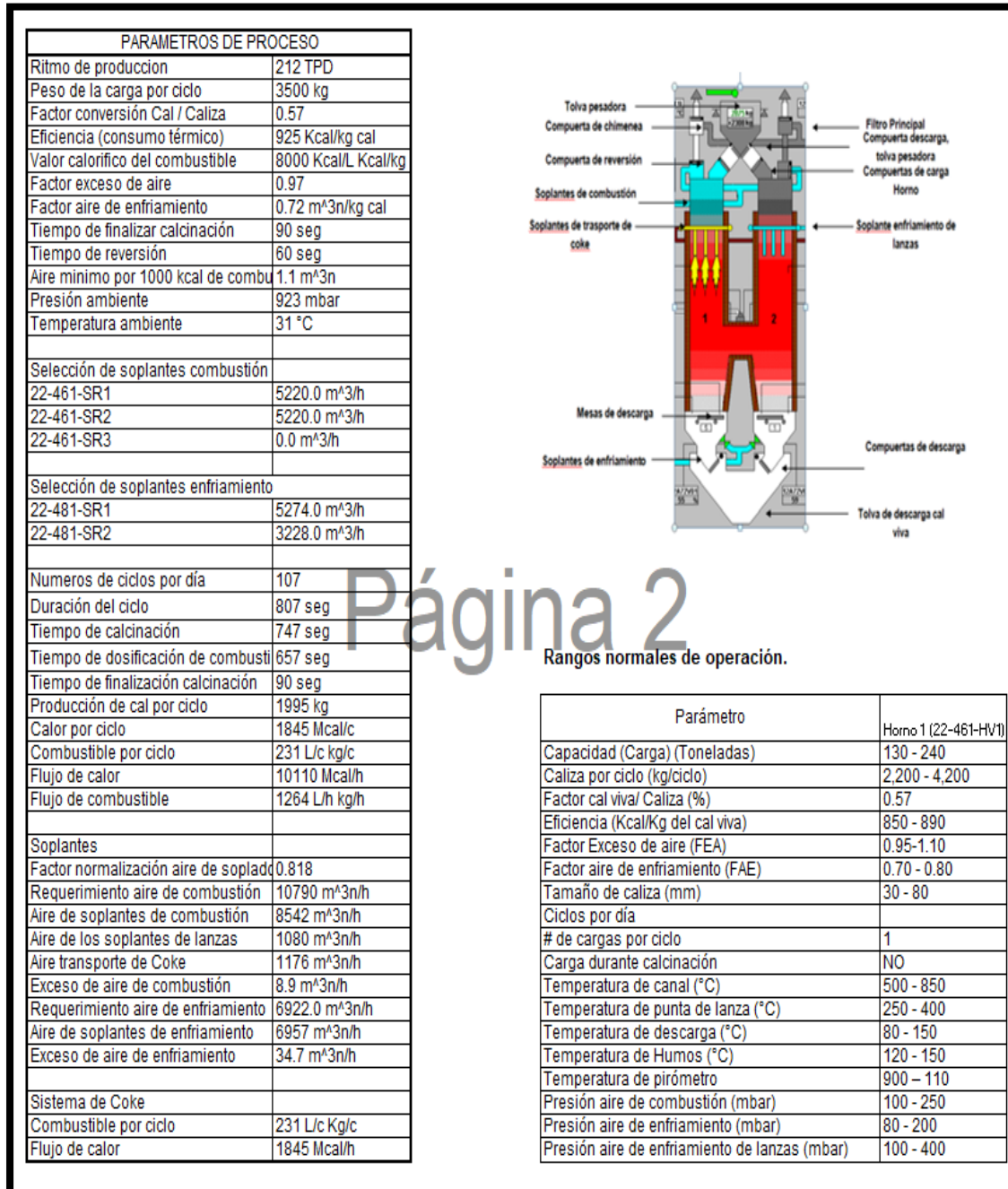
A medida que transcurra el tiempo es recomendable que se elaboren fichas técnicas a los equipos nuevos para contar con información relevante, como: la fecha de instalación, la persona encargada de instalar el equipo, información de los proveedores, entre otros.

Figura 53. Ejemplo de ficha técnica

|   CEMENTOS PROGRESO® Compartimos Sueños. Construimos Realidades. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|---|-------------------|---------------------|--|-------|-------|---|--|---------------|-------|---|--|---------------------------|----|---------------------------------------|---------------|---|--------------------|-----------------------|-------------|------------|---|--------------|-------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----------------------------|--|------------------|-------------|----------------------------|-------|------------------|-------------|------------------------------|--------|---------------|-------------|-----------------|--------|----------------------------|------------------------------|-------------------------|-------|--------------------------|-------|--------------|--------|-------------------|--------|---|--|---------|----------------------------------|--|--|------------------|----------|--|--|------------------------------|-------|--|--|-----------------------------------|-------|--|--|---------------------------------------|-------|--|--|--------------------------------------|--------|--|--|---|-------|--|--|------------------------------|-------|--|--|----------------------------------|----------|--|--|-----------------------|---------|--|--|------------------------|--------|--|--|----------------------|---------------|--|--|---------------------|-----------|--|--|-------------------------------|-----------|--|--|--------------------------------|-----------|--|--|
| DATOS TECNICOS DEL HORNO 1 DE CAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ficha técnica | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cementos Progreso S.A, Planta San Miguel Descripción: HORNO # 1 | Equipo: 22-461-HV1 Fecha de Revisión: 12/5/2017 No. Revisión: 0 Ingresó a SAP: Andrés Cabrera | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">HORNO 22-461-HV1</th> <th colspan="2" style="text-align: center;">CICLOS DE OPERACIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MARCA</td> <td>MAERZ</td> <td colspan="2">El tiempo de ciclo operación en cada cuba oscila entre 8 y 15 min</td> </tr> <tr> <td>TIPO DE HORNO</td> <td>E 4.2</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Tiempo de combustión en una cuba</td> </tr> <tr> <td>NUMERO DE LANZAS POR CUBA</td> <td>12</td> <td>Tiempo de alimentación de combustible</td> <td>615 - 650 seg</td> </tr> <tr> <td>AREA TRANSVERSAL DE LA ZONA DE COMBUSTIÓN</td> <td>4.2 m²</td> <td>Tiempo de calcinación</td> <td>10 - 45 seg</td> </tr> <tr> <td># DE CUBAS</td> <td>2</td> <td>Total</td> <td>660 seg (11 min.)</td> </tr> <tr> <td>un tamaño de piedra de 40 a 80 mm</td> <td>200 Ton/día de cal o dolomita</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Tiempo de reversión</td> </tr> <tr> <td>Capacidad mínima</td> <td>130 ton/día</td> <td>Despresurización del horno</td> <td>2 seg</td> </tr> <tr> <td>Capacidad máxima</td> <td>200 Ton/día</td> <td>Descarga de la cal calcinada</td> <td>10 seg</td> </tr> <tr> <td>Maxima maxima</td> <td>220 Ton/día</td> <td>Carga de caliza</td> <td>40 seg</td> </tr> <tr> <td>Max. Consumo de calor esp.</td> <td>3657 kJ (875 kcal)/kg de cal</td> <td>Presurización del horno</td> <td>8 seg</td> </tr> <tr> <td>Residuo de CO2 de la cal</td> <td>0.015</td> <td>total</td> <td>60 seg</td> </tr> <tr> <td>Material a quemar</td> <td>Caliza</td> <td colspan="2">Fundición del horno plano 7800 x 8710 x 12 000 mm AK-313/V6</td> </tr> <tr> <td>Humedad</td> <td>≤ 2.0%, libre de arcilla y barro</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Tamaño del grano</td> <td>40-80 mm</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Altura de zona de combustión</td> <td>6.3 m</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Altura de la zona de enfriamiento</td> <td>4.4 m</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Temperatura en la punta de las lanzas</td> <td>900°C</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Temperatura en la zona de combustión</td> <td>1050°C</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Temperatura encima de las mesas de descarga</td> <td>850°C</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Temperatura de la cal en las</td> <td>120°C</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Max. Presión admisible del horno</td> <td>500 mbar</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Diametro de las cubas</td> <td>2564 mm</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Pto mas alto del horno</td> <td>41.5 m</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Fecha que se instaló</td> <td>Octubre, 1990</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>CRANK SHAFT A201097</td> <td>6129-0033</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>CILINDRO HID. 100/45/150 1393</td> <td>6512-0025</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>CILINDRO HIDRAULICO AK-312/D61</td> <td>6512-0030</td> <td colspan="2"></td> </tr> </tbody> </table> | | HORNO 22-461-HV1 | | CICLOS DE OPERACIÓN | | MARCA | MAERZ | El tiempo de ciclo operación en cada cuba oscila entre 8 y 15 min | | TIPO DE HORNO | E 4.2 | Tiempo de combustión en una cuba | | NUMERO DE LANZAS POR CUBA | 12 | Tiempo de alimentación de combustible | 615 - 650 seg | AREA TRANSVERSAL DE LA ZONA DE COMBUSTIÓN | 4.2 m ² | Tiempo de calcinación | 10 - 45 seg | # DE CUBAS | 2 | Total | 660 seg (11 min.) | un tamaño de piedra de 40 a 80 mm | 200 Ton/día de cal o dolomita | Tiempo de reversión | | Capacidad mínima | 130 ton/día | Despresurización del horno | 2 seg | Capacidad máxima | 200 Ton/día | Descarga de la cal calcinada | 10 seg | Maxima maxima | 220 Ton/día | Carga de caliza | 40 seg | Max. Consumo de calor esp. | 3657 kJ (875 kcal)/kg de cal | Presurización del horno | 8 seg | Residuo de CO2 de la cal | 0.015 | total | 60 seg | Material a quemar | Caliza | Fundición del horno plano 7800 x 8710 x 12 000 mm AK-313/V6 | | Humedad | ≤ 2.0%, libre de arcilla y barro | | | Tamaño del grano | 40-80 mm | | | Altura de zona de combustión | 6.3 m | | | Altura de la zona de enfriamiento | 4.4 m | | | Temperatura en la punta de las lanzas | 900°C | | | Temperatura en la zona de combustión | 1050°C | | | Temperatura encima de las mesas de descarga | 850°C | | | Temperatura de la cal en las | 120°C | | | Max. Presión admisible del horno | 500 mbar | | | Diametro de las cubas | 2564 mm | | | Pto mas alto del horno | 41.5 m | | | Fecha que se instaló | Octubre, 1990 | | | CRANK SHAFT A201097 | 6129-0033 | | | CILINDRO HID. 100/45/150 1393 | 6512-0025 | | | CILINDRO HIDRAULICO AK-312/D61 | 6512-0030 | | |
| HORNO 22-461-HV1 | | CICLOS DE OPERACIÓN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MARCA | MAERZ | El tiempo de ciclo operación en cada cuba oscila entre 8 y 15 min | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TIPO DE HORNO | E 4.2 | Tiempo de combustión en una cuba | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NUMERO DE LANZAS POR CUBA | 12 | Tiempo de alimentación de combustible | 615 - 650 seg | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| AREA TRANSVERSAL DE LA ZONA DE COMBUSTIÓN | 4.2 m ² | Tiempo de calcinación | 10 - 45 seg | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| # DE CUBAS | 2 | Total | 660 seg (11 min.) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| un tamaño de piedra de 40 a 80 mm | 200 Ton/día de cal o dolomita | Tiempo de reversión | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Capacidad mínima | 130 ton/día | Despresurización del horno | 2 seg | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Capacidad máxima | 200 Ton/día | Descarga de la cal calcinada | 10 seg | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Maxima maxima | 220 Ton/día | Carga de caliza | 40 seg | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Max. Consumo de calor esp. | 3657 kJ (875 kcal)/kg de cal | Presurización del horno | 8 seg | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Residuo de CO2 de la cal | 0.015 | total | 60 seg | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Material a quemar | Caliza | Fundición del horno plano 7800 x 8710 x 12 000 mm AK-313/V6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Humedad | ≤ 2.0%, libre de arcilla y barro | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tamaño del grano | 40-80 mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Altura de zona de combustión | 6.3 m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Altura de la zona de enfriamiento | 4.4 m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Temperatura en la punta de las lanzas | 900°C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Temperatura en la zona de combustión | 1050°C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Temperatura encima de las mesas de descarga | 850°C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Temperatura de la cal en las | 120°C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Max. Presión admisible del horno | 500 mbar | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Diametro de las cubas | 2564 mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pto mas alto del horno | 41.5 m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fecha que se instaló | Octubre, 1990 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CRANK SHAFT A201097 | 6129-0033 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CILINDRO HID. 100/45/150 1393 | 6512-0025 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CILINDRO HIDRAULICO AK-312/D61 | 6512-0030 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Fuente: elaboración propia.

Figura 54. Ejemplo de ficha técnica



Fuente: elaboración propia.

Figura 55. Ejemplo de ficha técnica



Fig. Horno 1 de Cal (200 t/d)

Fuente: elaboración propia.

3.5. Diagramas de flujo

Una de las herramientas más útiles y valiosas para manejar proyectos es el uso de diagramas de flujo o flujogramas.

Los diagramas de flujo son una representación gráfica de las tareas, movimientos y recursos, siguiendo una secuencia lógica, que permite visualizar rápidamente los requisitos o actividades que preceden y suceden a las demás durante el proceso y la relación lógica entre las mismas.

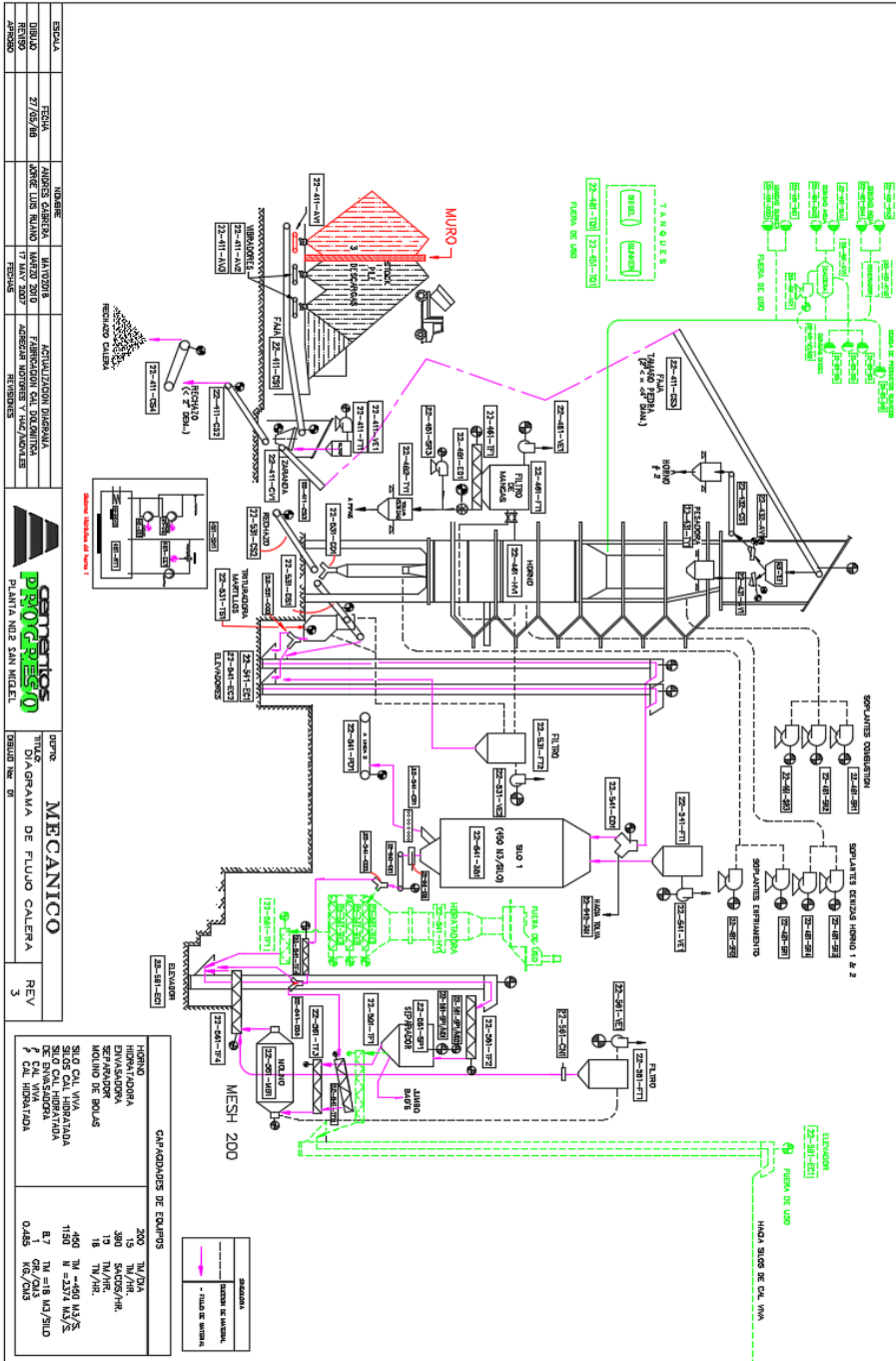
Aplicar diagramas de flujo en la gestión de los proyectos, nos ofrece los siguientes beneficios:

- Mayor eficiencia para la comprensión de las tareas a realizar para los empleados o las personas involucradas en el proyecto
- Obtener la documentación adecuada y necesaria para la correcta ejecución de las actividades
- Crear sentido de compromiso en el equipo, identificando rápidamente las tareas que se pueden ver afectadas con retrasos (al ver las actividades sucesoras).
- El equipo trabaja mejor cuando puede ver claramente en qué consiste el proyecto

La planta ya contaba con diagramas de flujo de las tres líneas de cal pero estos estaban totalmente desactualizados, ya que en campo se habían eliminado equipos o en algunos casos se habían agregado o cambiado por otro equipo distinto.

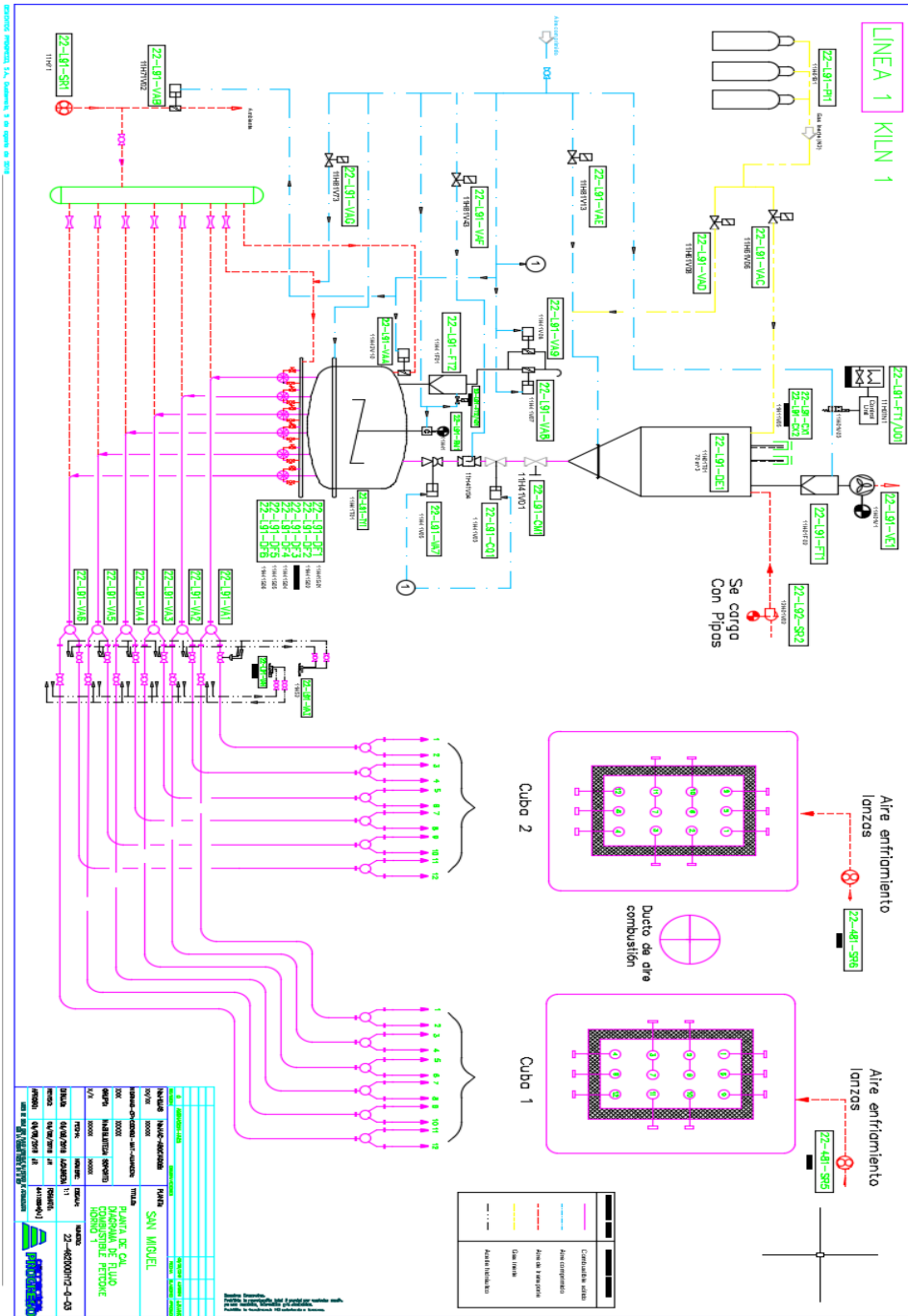
Para llevar a cabo la actualización de estos diagramas se realizaron inspecciones del flujo de material en las distintas áreas de cada línea de producción de cal. En las figuras de la 56 a la 62 se observan los diagramas de flujo de las tres líneas, del área del horno, hidratadora y el área de *petcoke*.

Figura 56. Diagrama de flujo línea 1



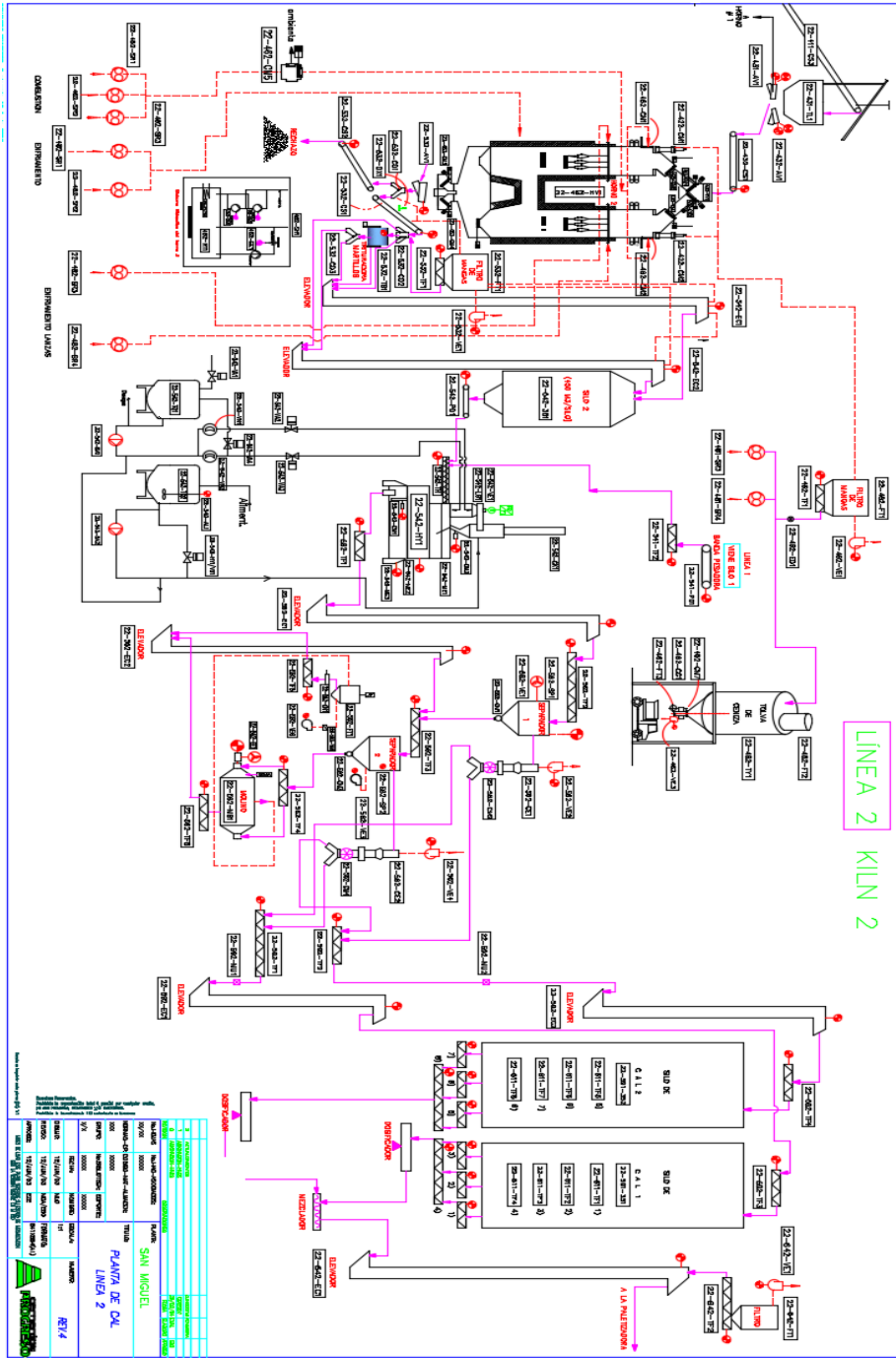
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2018.

Figura 57. Diagrama de flujo línea 1, área de petcoke



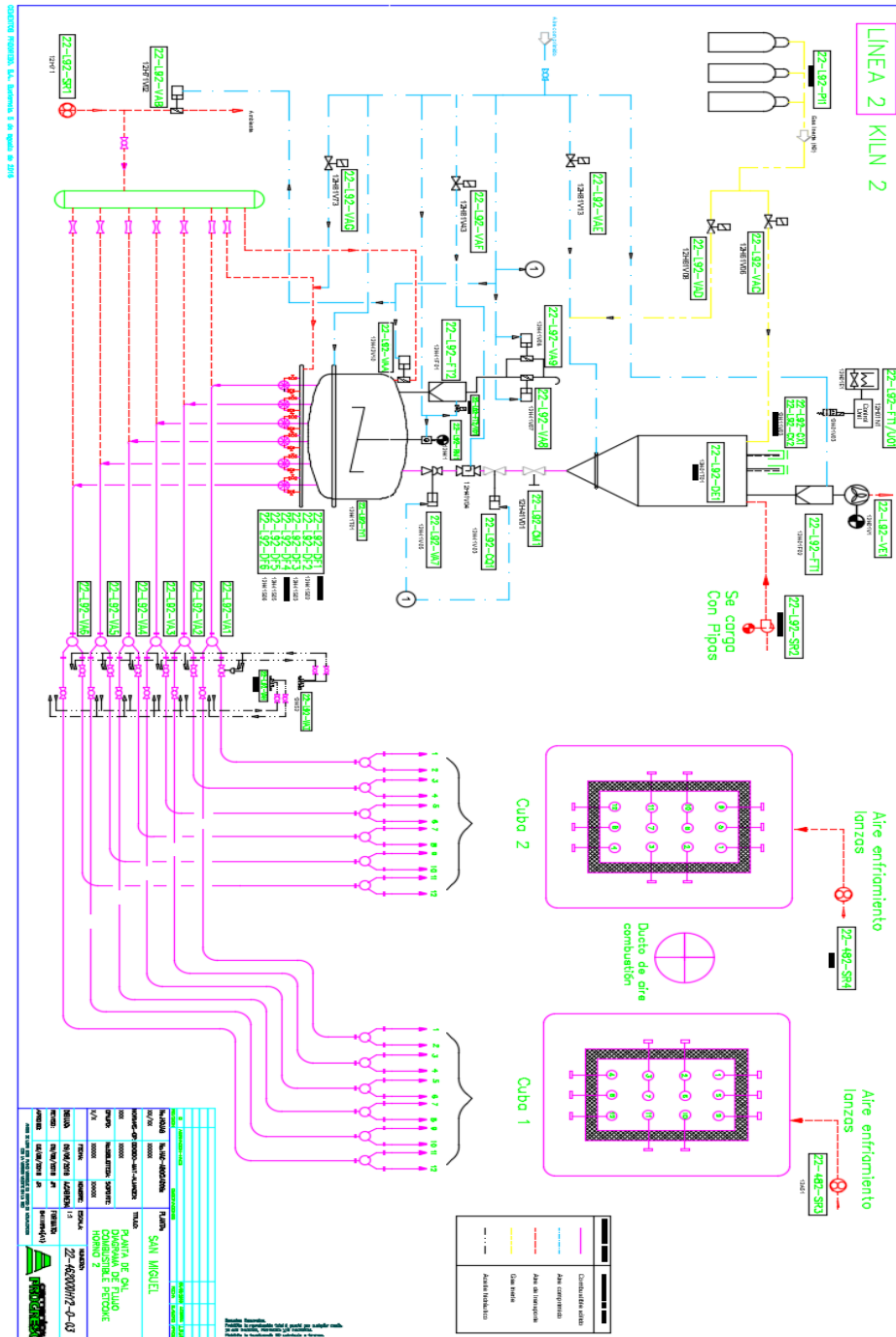
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2018.

Figura 58. Diagrama de flujo línea 2



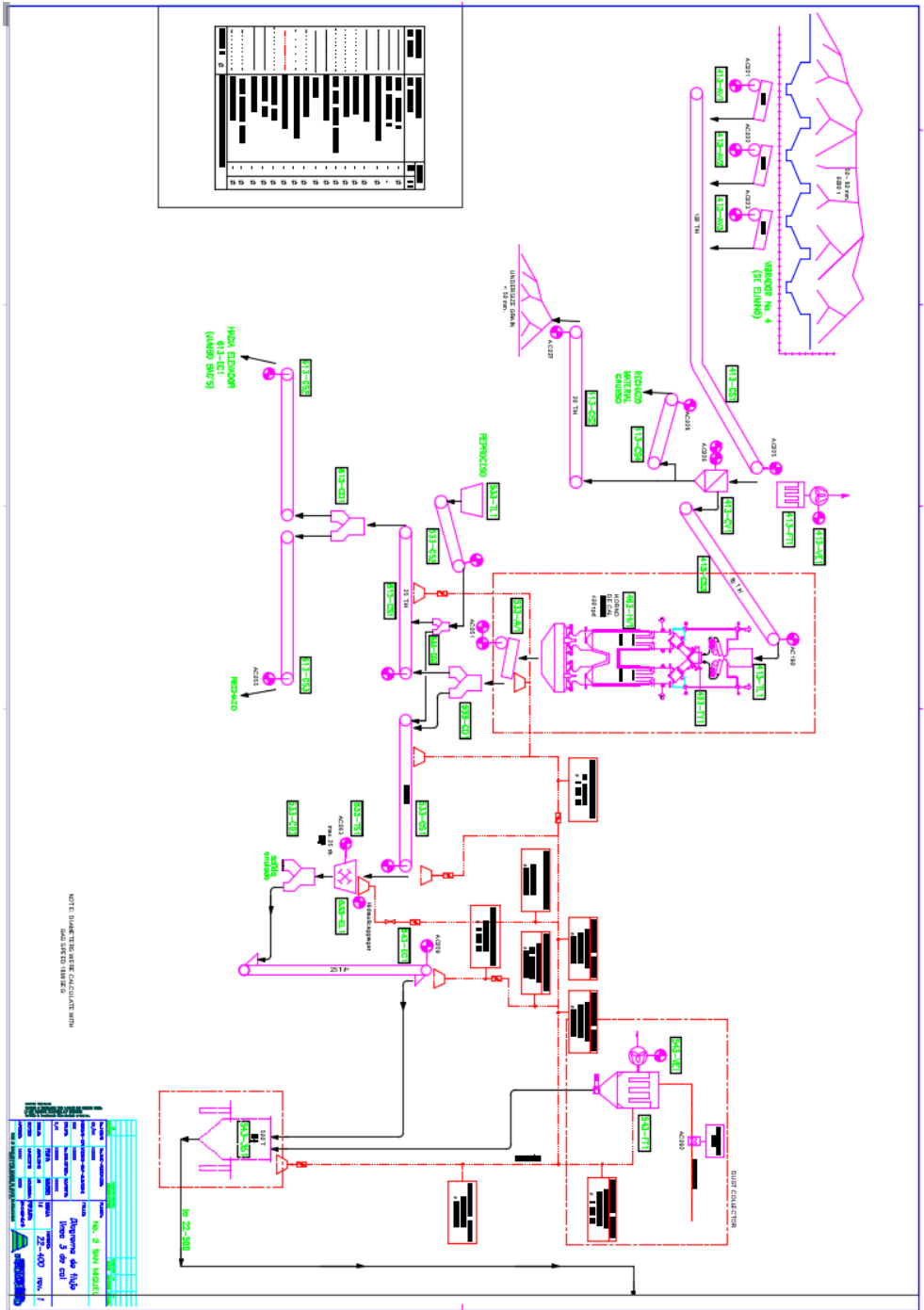
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2018.

Figura 59. Diagrama de flujo línea 2, área de petcoke



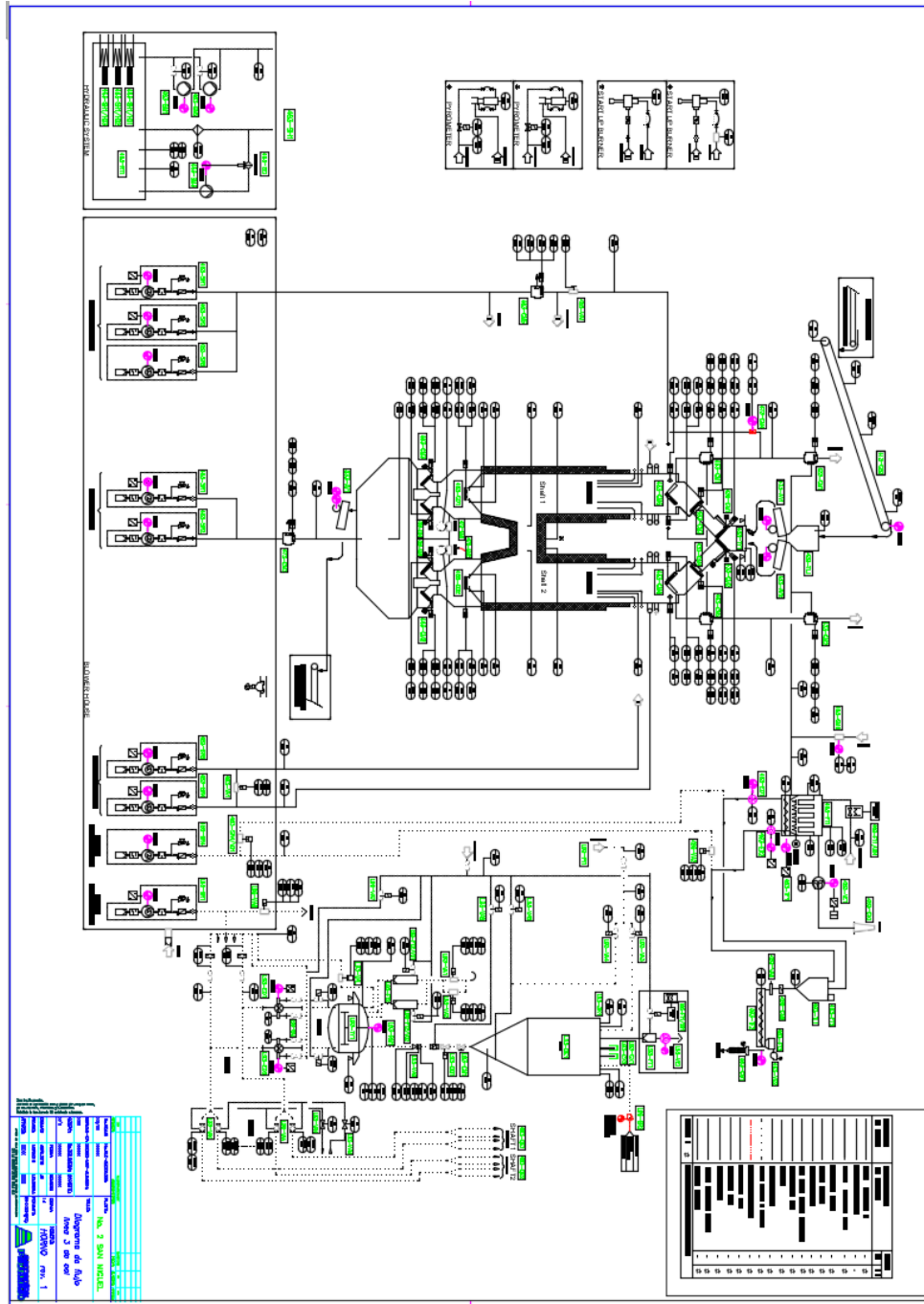
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2018.

Figura 60. Diagrama de flujo alimentación y descarga horno 3



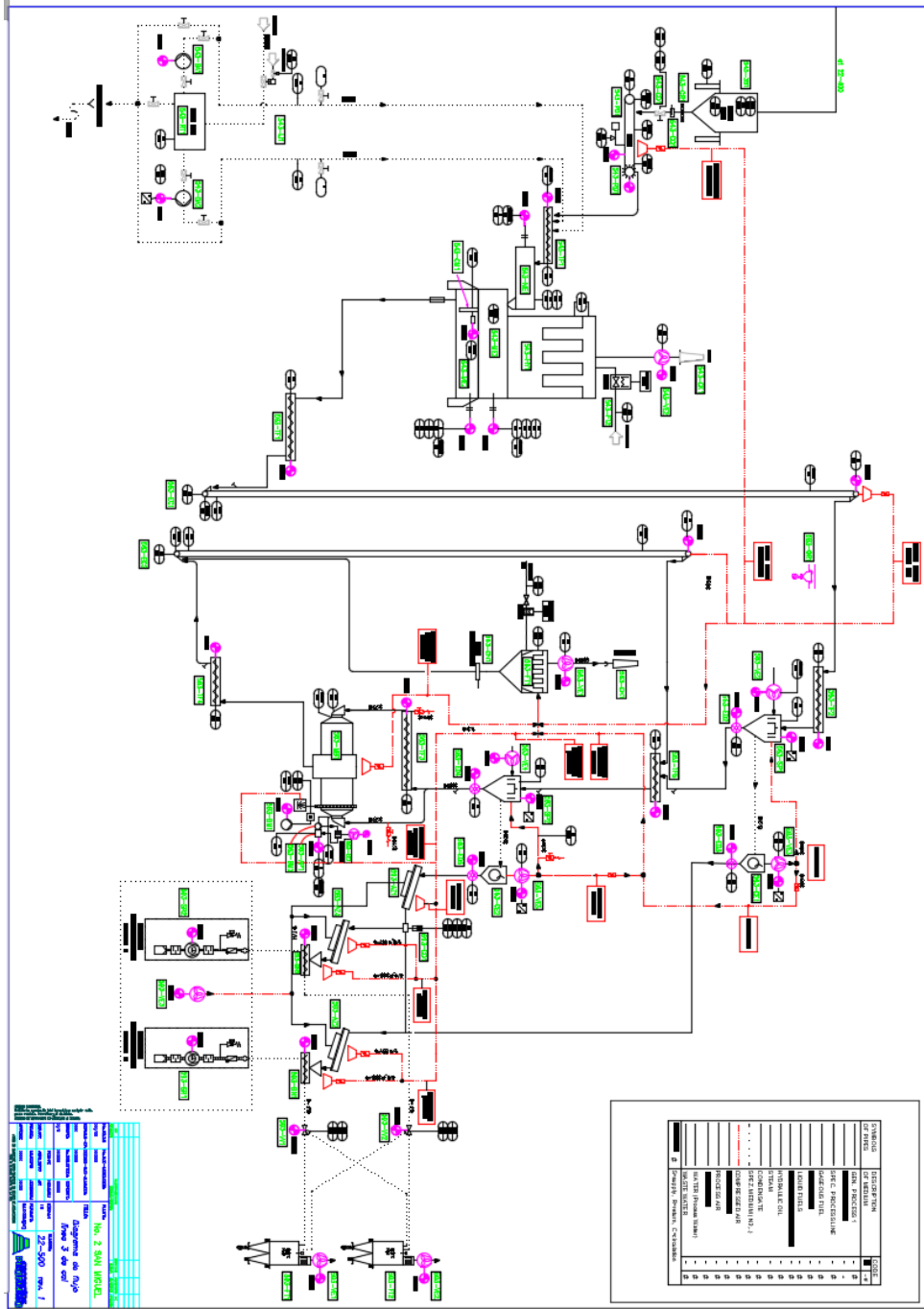
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2018.

Figura 61. Diagrama de flujo línea 3, área *petcoke* y sopladores



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2018.

Figura 62. Diagrama de flujo línea 3, área hidratadora



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2018.

3.6. Revisión y actualización de la estructura de las ubicaciones técnicas

SAP requiere que los sistemas operacionales estén estructurados, eso incluye la Ubicación Técnica y los Equipos o Subconjuntos.

Contar con una estructura ordenada y clasificada es de gran importancia ya que nos da las siguientes ventajas:

- Da la fiabilidad de la ubicación del equipo.
- Ayuda a programar con mayor facilidad alguna orden de trabajo o un aviso.
- Cuantifica el número de equipos que se encuentran en una estructura.
- La estructura se ve ordenada y limpia.

Se realizó una inspección de los equipos existentes y no existentes, con esta información se procedió a eliminar de la estructura las ubicaciones técnicas de los equipos eliminados en campo. El sistema SAP cuenta con la opción de identificar el equipo como borrado (petición de borrado); aunque la ubicación técnica aún sigue mostrándose en la estructura, el sistema ya no permite seguir realizando ninguna operación con esta ubicación técnica. Los únicos con autorización para borrar estas ubicaciones técnicas del sistema SAP es el departamento de tecnología de información (TI). El departamento ha decidido no borrarlas del sistema ya que en un futuro puede servir como historial.

Para que estas ubicaciones no sigan apareciendo en la estructura de la planta de cal, se trasladaron a la estructura antigua de la planta de cemento (21-).

Es importante diseñar e instalar físicamente etiquetas a los equipos exactamente como se encuentra en la estructura de SAP, para que al momento

de realizar el mantenimiento algún equipo, el supervisor y los mecánicos no tengan inconvenientes buscando el equipo o que el mantenimiento no se realice por no estar debidamente identificado o que el equipo se haya reemplazado o eliminado.

Figura 63. Ejemplo de la estructura antigua de la planta de cal

Visualizar ubicación técnica: Lista de estructura

Nivel hacia arriba Detalles completos Clases de material

| | | | |
|----------------|--|----------------|------------|
| Ubic.téc. | 22-432-AV1/M01 | Válido de | 04.04.2018 |
| Denominación | UT MOTOR #1 VIBRADOR DESCARGA HORNO 2 | | |
| 22-432 | UT SECCIÓN ALIMENTACIÓN DEL HORNO DE CAL | | |
| 22-432-2C1 | UT CONTROL COMPUERTAS Y PALPADORES 1,2 | | |
| 22-432-AV1 | UT CANAL VIBRADOR NO. 1 CARGA HORNO 2 | | |
| 22-432-AV1 | CANAL VIBRADOR No.1 CARGA AL HORNO 2 | 2 01 100 22401 | MONT |
| 22-431-AV1/M01 | UT MOTOR 1 VIBRADOR CARGA A HORNO 2 | | |
| ME0-226 | MOTOR 1 VIBRADOR CARGA A HORNO 2 | 7 01 100 22401 | MONT |
| 22-431-AV1/M02 | UT MOTOR 2 VIBRADOR CARGA A HORNO 2 | | |
| ME0-257 | MOTOR 2 VIBRADOR CARGA A HORNO 2 | 7 01 100 22401 | MONT |
| 22-432-AV1/U01 | UT PANEL DE CONTROL CANAL VIBRADOR NO. 1 | | |
| 22-432-AV2 | UT VIBRADOR DESCARGA HORNO 2 | | |
| 22-432-AV1/M01 | UT MOTOR #1 VIBRADOR DESCARGA HORNO 2 | | |
| ME0-254 | MOTOR #1 VIBRADOR DESCARGA HORNO 2 | 7 01 100 22401 | MONT |
| 22-432-AV2/M01 | UT MOTOR #2 VIBRADOR DESCARGA HORNO 2 | | |
| ME0-255 | MOTOR #2 VIBRADOR DESCARGA HORNO 2 | 7 01 100 22401 | MONT |

Fuente: sistema SAP.

En la figura 63 se puede observar la estructura 22-432, esta se define como la sección de alimentación del horno de cal. Se sabe que esta estructura pertenece al horno de la línea 2. En esta estructura se encuentra el vibrador 22-431-AV1/M01 lo cual es erróneo, ya que este vibrador pertenece al área del horno 1. Errores como estos se encontraron en otras estructuras, por lo que se procedió a clasificar correctamente cada una de las ubicaciones técnicas para que no existiera ningún error, asimismo, se corrigió la ortografía de cada ubicación técnica. Posteriormente se crearon nuevas ubicaciones técnicas o HAC's de los equipos que no tenían HAC, que han sido instalados o modificados en campo.

3.7. Identificación de equipos en campo

Para una adecuada gestión de los activos de una compañía, es necesario identificar y contar con la información precisa de los bienes que lo componen, disponiendo de sus principales datos, por ejemplo, código (incluso a nivel del número de parte/componente) descripción, estado, ubicación física, entre otros.

Anteriormente se describía que uno de los problemas en la planta de cal era la falta de identificación de los equipos y esto generaba atrasos a la hora de un mantenimiento, ya que los encargados del mantenimiento debían de buscar el equipo. En el transcurso de los años se han ido eliminando equipos o agregado nuevos equipos al proceso de producción, pero no se les ha dado el seguimiento correcto ya que estos no estaban identificados con su respectivo HAC. Otra razón por la que fue necesario identificar los equipos es por el tema de seguridad industrial, ya que el HAC con el que está identificado el equipo en campo debe coincidir con la identificación en los paneles eléctricos y así tener la seguridad que al momento de bloquear la energía de un determinado equipo este quedará desenergizado y se podrá ejecutar el mantenimiento sin ningún peligro.

Debido a que era una gran cantidad de calcomanías que se debían crear, se solicitó a una empresa tercera para que las fabricara. Se solicitó un total de 465 calcomanías, las cuales fueron pegadas en los equipos de las tres líneas de cal.

Figura 64. **Identificación de equipos**



Fuente: Cementos Progreso, S.A., Planta San Miguel.

3.8. Puestos de trabajo

Un puesto de trabajo es el que se encarga de dividir por especialidad los costos que se invierten en el mantenimiento de los equipos. Las especialidades son: mecánico, lubricación, predictivo, filtros, eléctrico, instrumentación, obra civil, entre otros.

En la planta de cal no se contaba con puestos de trabajo específicos para cada una de estas especialidades, por lo que los costos de mantenimiento se reflejaban en los puestos de trabajo de la planta de cemento. Esto era una gran deficiencia que se tenía en planta de cal, por lo que era indispensable crear cada uno de estos puestos de trabajo. En la figura 65 se puede observar los puestos creados por especialidad para la planta de cal.

Figura 65. Nuevos puestos de trabajo para la planta de cal

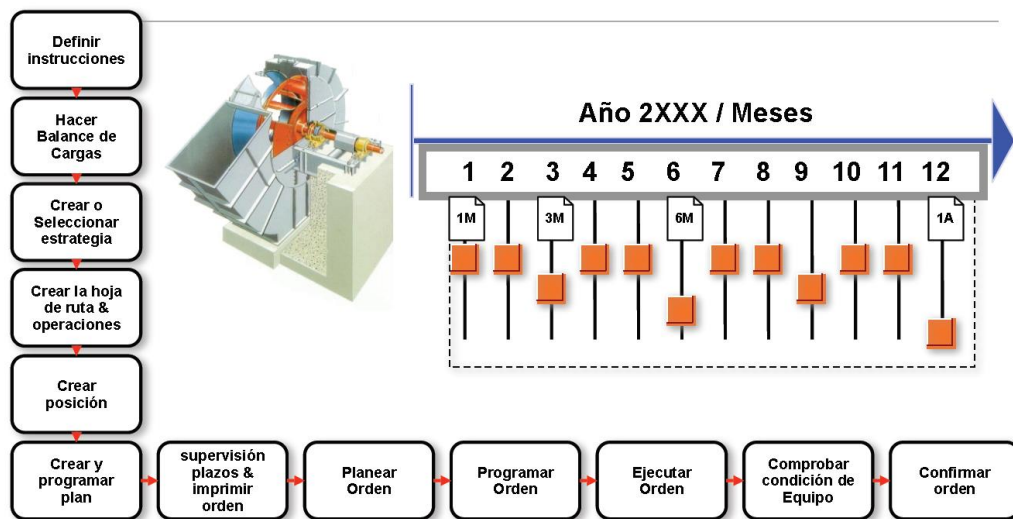
| <i>Lista de puestos de trabajo</i> | | | | |
|------------------------------------|------|------|----------|---------------------------|
| PtoTbjo | Ctro | Tp. | Respons. | Descripción |
| SM051009 | SM | 0005 | CC | CEMENTO MECANICOS |
| SM054001 | SM | 0005 | CC | CEMENTO OBRA CIVIL |
| SM061003 | SM | 0005 | MM | DESPACHO MECANICO |
| SM061004 | SM | 0005 | TS | DESPACHO MECANICO TURNO |
| SM220061 | SM | 0005 | CC | DESPACHO CAL MECÁNICO |
| SM221012 | SM | 0005 | CC | CAL MECÁNICO |
| SM221013 | SM | 0005 | CC | GENERAL CALERA |
| SM221019 | SM | 0005 | CC | GRAL CAL TORNERO |
| SM221020 | SM | 0005 | CC | GRAL CAL MECÁNICO |
| SM221021 | SM | 0005 | CC | GRAL CAL LUBRICADOR |
| SM221022 | SM | 0005 | CC | GRAL CAL PREDICTIVO |
| SM221023 | SM | 0005 | CC | GRAL CAL MANTTO FILTROS |
| SM222017 | SM | 0005 | CC | GRAL CAL ELÉCTRICO |
| SM222018 | SM | 0005 | CC | GRAL CAL ELÉCTRICO TURNO |
| SM223015 | SM | 0005 | CC | GRAL CAL INSTRUMENT |
| SM223016 | SM | 0005 | CC | GRAL CAL INSTRUMENT TURNO |
| SM224014 | SM | 0005 | CC | GRAL CAL OBRA CIVIL |
| SM251005 | SM | 0005 | IG | GENERACION MECANICO |
| SM252006 | SM | 0005 | IG | GENERACION ELECTRICO |

Fuente: sistema SAP.

3.9. Implementación del mantenimiento preventivo

Es de cierto modo la traducción de las instrucciones de mantenimiento recibidas de los proveedores, adaptadas a las condiciones de operación y tomando en cuenta otras fuentes de información, incluye todas las actividades que forman parte del mantenimiento preventivo, es decir: servicio, inspección y reparación (a intervalos regulares). Es realizar un mantenimiento óptimo en términos de paros, costo y personal, su ejecución se basa en programas definidos.

Figura 66. **Proceso del mantenimiento preventivo**



Fuente: Cementos Progreso, S.A., Planta San Miguel.

- La mayoría de la gente cree que la mejor manera de optimizar al máximo la disponibilidad de la planta es haciendo en forma rutinaria algún tipo de mantenimiento preventivo. La gran aportación del mantenimiento preventivo consiste en que se actúa con anticipación, adelantándose a la avería, en la

mayoría de los casos reparando el equipo o cambiando componentes a intervalos fijos.

- Proporciona un cierto margen de operación y no exige una actuación aleatoria, con lo cual se pueden preparar con anticipación personal, material, sub contratos, y la operación.
- El mantenimiento preventivo reduce en gran medida el número de averías efectivas por períodos de funcionamiento de la instalación, con lo que se evitan anomalías en el proceso productivo y riesgos en otros componentes de la instalación.
- Se genera de acuerdo a los equipos a mantener, y para cada objeto a mantener se debe integrar un plan de mantenimiento.

3.9.1. SAP

SAP está relacionado a todos los departamentos de la empresa, instalado en Cementos Progreso en Planta San Miguel en 1996. Su función es brindar una gestión eficiente de los recursos financieros, recursos humanos, canales de ventas, procesos de logística, manejo de stock, mantenimiento, entre otros.

- SAP PM: el modulo PM de SAP se usa para administrar las actividades de mantenimiento. El módulo de órdenes de mantenimiento es utilizado para planificar, programar ejecutar y registrar las actividades. Se usa para generar datos, analizar información y generar acciones para mejorar los indicadores.
- MAC/SAP: es un estándar de Holcim, los procesos de negocio de SAP PM se configuran basado en los requerimientos de MAC; se implementó en Planta San Miguel en 2008.

3.9.2. Matriz de paros

En Planta San Miguel se cuenta con una matriz de paros la cual es una herramienta de coordinación entre todos los departamentos de planta, seguridad, producción, comercial, mantenimiento, calidad, almacén y compras. En ella se detalla la fecha y los equipos que deben parar según su frecuencia, para mantenimiento en el transcurso del año, la matriz la autorizan el gerente de planta, gerente de producción y gerente de mantenimiento. Tienen la función de parar siempre los equipos en las fechas exactas de la matriz.

Los objetivos de la matriz de paros son:

- Lograr acuerdo y común entendimiento de las fechas exactas de paro de cada área de planta, para coordinar las actividades de producción, mantenimiento, suministros, seguridad.
- Reducir la cantidad de paros.
- Alinear la programación de actividades según fechas de la matriz para mejorar la planificación, reducir la cantidad y duración de paros y evitar paros más frecuentes.

En la figura 67 se definen las partes de la matriz de paros.

Figura 67. Partes de la matriz de paros

| Frecuencia | Fecha | 01/01/2018 | 08/01/2018 | 15/01/2018 | 22/01/2018 | 29/01/2018 | 05/02/2018 | 12/02/2018 | 19/02/2018 | 26/02/2018 | 05/03/2018 | 12/03/2018 | 19/03/2018 |
|------------|----------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | Equipo/ Semana | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 8 | 22-653-EG1 | | | | | | | | Mi | | | | |
| 6 | SM.V31-TR1 | | | | | | | | | | | | |
| 6 | SM.564-MR1 | | | | J | | | | | | J | | |
| 6 | SM.563-MR1 | | | | | J | | | | | | J | |

Fuente: Cementos Progreso, S.A., Planta San Miguel.

- La primera columna indica la frecuencia de paro. Para los molinos de cemento (SM.564-MR1 y SM.563-MR1) es de 6 semanas, para la envasadora de la planta de cal (22-653-EG1) de 8 semanas.
- La fecha en la primera fila corresponde al día lunes de la semana.
- La segunda fila indica el número de semana del año
- Dentro de cada recuadro con color se muestra el día que debe parar el equipo (lunes, martes, miércoles, entre otros) de esa semana.

Para definir las frecuencias de paro para los equipos de la planta de cal se realizó una reunión con el Gerente de Mantenimiento Mecánico, Gerente de Producción de cal y Jefe de Control de Mantenimiento. Se llegó a la conclusión de que únicamente los equipos del área de hidratadoras se agregarían a la matriz de paros; los equipos del área de hornos no se agregarían a la matriz ya que por las variaciones en la demanda de cal, no es posible establecer una fecha puntual para el paro de los hornos. La frecuencia de paro para los equipos de las hidratadoras se estableció en 8 semanas.

Figura 68. Frecuencias de paro para hidratadoras

| Frecuencia | Fecha | 1/1/2018 | 1/8/2018 | 1/15/2018 | 1/22/2018 | 1/29/2018 | 2/5/2018 | 2/12/2018 | 2/19/2018 | 2/26/2018 | 3/5/2018 | 3/12/2018 | 3/19/2018 | 3/26/2018 | 4/2/2018 | 4/9/2018 | 4/16/2018 | 4/23/2018 | |
|------------------------------|--------------------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|--|
| | Equipo/ Semana | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | |
| 6 | SM.490 | | | | | | | J | | | | | | J | | | | | |
| 6 | SM.323-MR1 SM.310-TB1 | | J | | | | | | J | | | | | | J | | | | |
| 8 | 22-543-HY1 | V | | | | | | | | V | | | | | | | | V | |
| 4 | SM.L43-MR1 | | V | | | | V | | | | V | | | | V | | | | |
| 4 | SM.L41-MR1 | | | V | | | | V | | | | V | | | | V | | | |
| 8 | SM.361-MB1 | | | | V | | | | | | | | V | | | | | | |
| 8 | 22-542-HY1 | | | | | V | | | | | | | | V | | | | | |
| 8 | SM.362-MB1 | | | | | | | | V | | | | | | | | V | | |
| Cantidad de paros por semana | | 4 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | |
| | | Lunes | Martes | Miércoles | Jueves | Viernes | | | | | | | | | | | | | |

Fuente: Cementos Progreso, S.A., Planta San Miguel.

3.9.3. Frecuencias de mantenimiento

Existen dos formas de indicar la frecuencia con la que debe realizarse una tarea de mantenimiento:

- Siguiendo periodicidades fijas, es decir, indicando el espacio de tiempo que debe transcurrir entre intervenciones (semanas, meses, entre otros).
- Determinándola a partir de las horas de funcionamiento.

3.9.3.1. Métodos para definir las frecuencias de mantenimiento

- Métodos estadísticos: la primera es compleja, y no siempre (más bien rara vez) se dispone de datos suficientes como para realizar un estudio estadístico adecuado (distribución de Weibull).
- Modelos matemáticos: son modelos complejos, y de nuevo, un Departamento de Mantenimiento no siempre dispone de tales modelos, ni es capaz de desarrollarlos. El fabricante de la pieza puede disponer de tales modelos o de herramientas suficientes para determinar la vida de cada componente, aunque desde luego no son técnicas sencillas de aplicar ni ofrecen resultados irrefutables.
- Basándose en la experiencia de los técnicos que deben elaborar el plan de mantenimiento: seguramente esta es la forma más habitual de realizarlo, sencillamente porque las dos anteriores resultan de mucha complejidad. Se requiere por tanto cierta experiencia a la hora de elaborar un plan, o en su defecto, aprovechar la experiencia de otros.

3.9.4. Estrategias de mantenimiento

El proceso de mantenimiento parte desde la creación de la estrategia de mantenimiento. La estrategia establece la frecuencia con la que se deben ejecutar los trabajos de mantenimiento preventivo, es decir, trabajos semanales, trabajos mensuales, trabajos trimestrales, entre otros.

La estrategia de mantenimiento define las normas para la secuencia del trabajo de mantenimiento planificado. Las estrategias de mantenimiento contienen información de programación general y, por lo tanto, se pueden asignar a tantos planes de mantenimiento y tantas hojas de ruta para mantenimiento (hoja de ruta PM) como sea necesario.

Dentro de las estrategias de mantenimiento se definen paquetes de mantenimiento a partir de los que podrán especificarse los intervalos en los que se efectuará el mantenimiento preventivo, por ejemplo, cada 10 000 Km., o cada 500 horas de funcionamiento. La estrategia y los paquetes de mantenimiento preventivo tienen unidades temporales (meses, años, entre otras) o unidades dependientes de la actividad (horas de funcionamiento, kilómetros, piezas, toneladas, cantidad inicial, entre otras).

Una estrategia de mantenimiento se compone de:

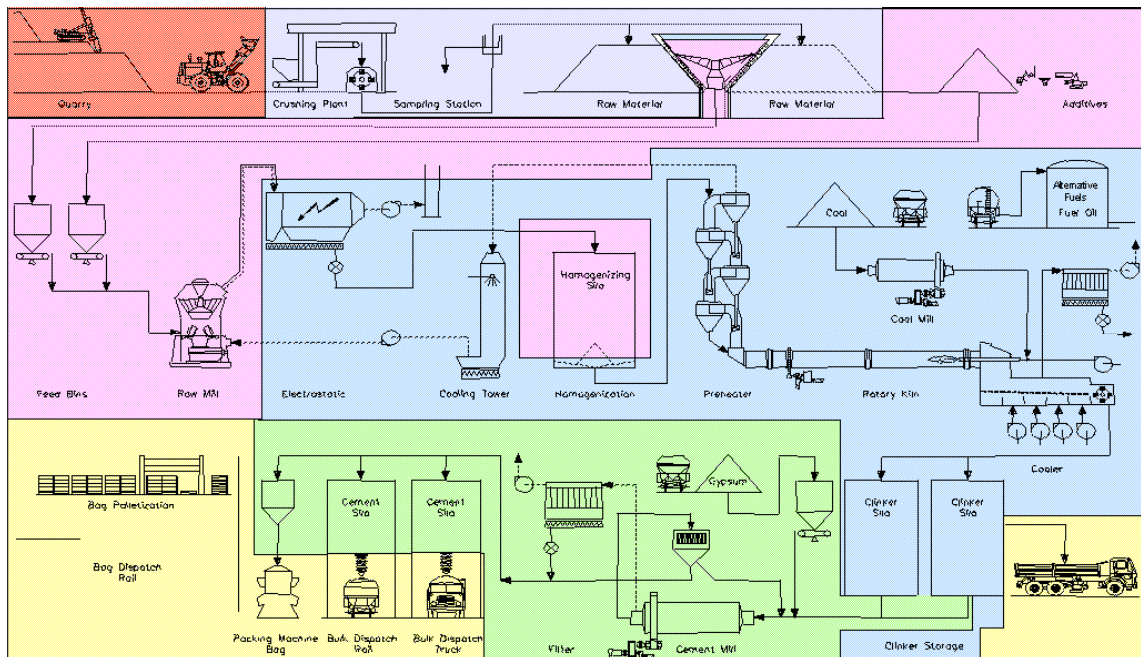
- Cabecera de estrategia
- Parámetros de programación
- Indicadores de programación
- Paquetes de mantenimiento preventivo

Dentro del recuadro de los parámetros de programación se encuentra la unidad de estrategia. Es la unidad para la ejecución de medidas mantenimiento. Unidad que determina la base sobre la cual debe efectuarse el cálculo de fechas.

En caso de paquetes de mantenimiento dependientes del tiempo y de la actividad, cada uno de los paquetes de mantenimiento sólo puede utilizar diferentes unidades si su dimensión es la misma dimensión válida para la unidad de la estrategia de mantenimiento.

Una vez creada la estrategia se puede utilizar en tantos planes como sean necesarias, sin embargo se recomienda crear tantas estrategias como áreas de empresa existan. En la figura 69 cada color tiene su propia estrategia.

Figura 69. Estrategias por áreas



Fuente: Cementos Progreso, S.A., Planta San Miguel.

En la planta de cal se cuenta con tres áreas fundamentales que son el área del horno, la hidratadora y el área de despachos. Anteriormente se explicó que, para este caso, únicamente se iba a implementar el proyecto para las áreas del horno y la hidratadora por cuestiones de tiempo.

Las estrategias que se crearon fueron para los equipos del área de hidratadoras (22-542-HY1 y 22-543-HY1), las cuales tendrán una frecuencia de 8 semanas, según la matriz de paros. Estas estrategias permitirán que el sistema SAP lance las OT's automáticamente. Para los equipos del área del horno no se crearon estrategias nuevas, ya que no fue factible agregarlos a la matriz de paros; producción determinó que estos equipos deben parar cada 3 meses y también debe de haber un plan de mantenimiento mayor que debe ser cada 12 meses. Estos planes se lanzaran manualmente, o sea, los encargados de lanzarlos son los planificadores de mantenimiento. La estrategia que se utilizará para estos planes será la estrategia ZPMHOR que es la que se utilizaba anteriormente para el paro de los hornos.

Figura 70. **Nuevas estrategias para hidratadoras**

| Estrategias Existentes | |
|------------------------|----------------|
| ESTRATEGIA | DENOMINACIÓN |
| ZPMHOR | Paro de hornos |

| Estrategias Nuevas | |
|--------------------|--------------------------------|
| ESTRATEGIA | DENOMINACIÓN |
| 22-HY2 | Hidratadora 2 Cal SM 8 Semanas |
| 22-HY3 | Hidratadora 3 Cal SM 8 Semanas |

Fuente: Cementos Progreso, S.A., Planta San Miguel.

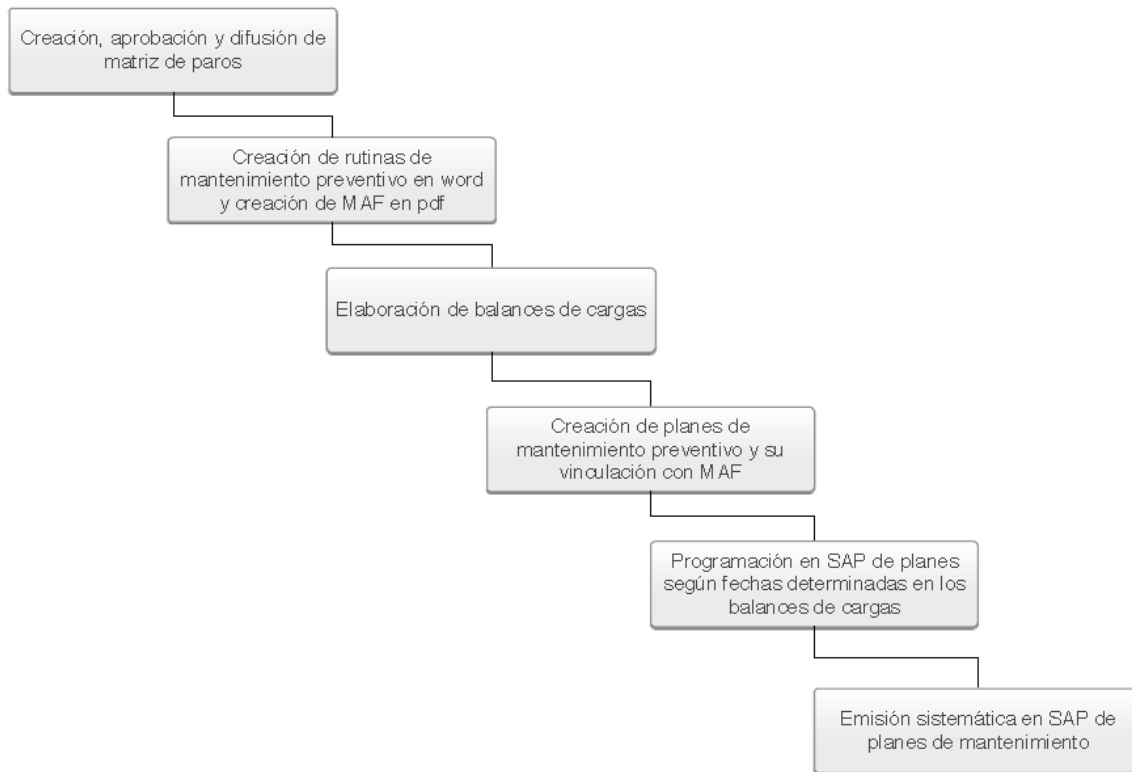
3.9.5. Rutinas de mantenimiento preventivo (PMR's)

Tradicionalmente se entiende al mantenimiento preventivo como el reemplazo planeado de componentes tal y como se instituyó en la aviación, sin embargo mediante la incorporación de las técnicas y herramientas de mantenimiento predictivo, y derivado de los altos costos que implican los repuestos y los trabajos asociados, el reemplazo planeado de componentes se modernizó cambiando a un sistema programado de inspecciones en las que las decisiones de sustitución de repuestos se toman en función de las condiciones reales de los equipos, y como consecuencia de los valores medidos reales, el reemplazo de componentes se hace en función de su estado y no en base a la estadística especificada en los manuales de los fabricantes de maquinaria, como se hacía antes.

Como herramienta adicional, se cuenta con los análisis de fiabilidad, los cuales arrojan nuevas instrucciones de mantenimiento preventivo, mismas que pueden ser una actualización de las prescripciones de los fabricantes de maquinaria, o hacer instrucciones de mantenimiento preventivo totalmente nuevas para todas las especialidades (mecánicas, eléctricas, instrumentación, lubricación).

Por sus siglas en inglés significa rutina de mantenimiento preventivo, en ella se detalla paso a paso, el procedimiento a seguir para realizar el servicio a los equipos; contiene también las herramientas y cantidad de materiales necesarios, y las respectivas medidas de seguridad donde se describe el bloqueo del equipo y las acciones a tomar en caso de emergencia.

Figura 71. **Ciclo completo de la PMR**



Fuente: VÁZQUEZ PADILLA, Eduardo. *Elementos del sistema de gestión*. p. 46.

3.9.5.1. Partes de una PMR

- Cajetín o encabezado de una PMR
 - Esquina superior izquierda el logo de la empresa.
 - En el centro se coloca el título de la PMR que debe describir la frecuencia (trimestral, semestral, entre otras) y de que especialidad es la PMR (mecánica, lubricación, eléctrico, entre otras). Luego va el nombre de la empresa, el área a la que pertenece el equipo al cual se realizará la PMR y el HAC del equipo con su descripción.
 - En la esquina superior derecha lleva el HAC del equipo, el del área del equipo, la fecha de emisión de la PMR, y el número de páginas.
 - Información superior de una PMR.


- Identificación de la PMR
 - HAC y nombre del equipo.
 - Ubicación del equipo, incluido el nivel en el que encuentra.
 - Mano de obra requerida para la ejecución de la PMR.
 - Tiempo estimado para la ejecución de la PMR.
 - Frecuencia de realización de la PMR.

- Datos de seguridad de una PMR
 - Esta parte de la PMR está constituida primero por el equipo de protección personal que debe de llevar cada mecánico al momento de realizar una PMR.

- Medidas de seguridad que se deben contemplar para la realización de la PMR, como bloquear los equipos, avisar al control central y colocar la tarjeta de identificación de los equipos que se están bloqueando.
 - Se describe el HAC del equipo y el código de fábrica, la ubicación del flip-on, o sea la ubicación en el panel del cuarto eléctrico para que sea rápida su ubicación al momento de bloquear y desbloquear. Además, se describe el dispositivo de seguridad que se debe utilizar para bloquear el equipo.
 - Hacer el recordatorio de que se debe de coordinar con las demás áreas la realización de la PMR (mecánico, eléctrico, instrumentación y lubricación).
- Herramienta específica a utilizar en la realización de la PMR
 - En esta área se muestra la cantidad exacta de las herramientas a utilizar para que no exista confusión.
 - La descripción de la herramienta a utilizar, por ejemplo, si es una llave, debe indicar el tamaño en mm o en pulgadas.
- Actividades a realizar en una PMR
 - Lo primero que se coloca en este segmento es el HAC y nombre del equipo.
 - Posteriormente se coloca el nivel en el que se encuentra el equipo.
 - El siguiente paso es colocar todas las actividades detalladas que se van a realizar en la PMR del equipo en particular, indicando las llaves que se utilizarán en cada paso; mientras más detallado sea el procedimiento es mejor para el mecánico que lo realizará.

- Detalles finales de una PMR
 - Para los detalles finales se escribe el mismo enunciado en todas las PMR; la idea es que si se puede corregir algún problema en campo, que lo haga el mecánico y lo reporte; si no se puede, se debe de generar un aviso M2 para que sea programado.
 - Algo que es muy importante decir y los mecánicos deben de tener claro es que se debe de hacer limpieza después de cualquier PMR que se realice.
 - Al final de toda PMR es necesario recordarle al mecánico las normas de ambiente y cómo se deben tratar tanto los residuos peligrosos como los no peligrosos.
 - También se le informa a los mecánicos cómo actuar en caso de derrames o fugas, con un manual en donde se indiquen las normas y procedimientos a seguir.

Figura 72. Ejemplo No. 1, PMR mecánica

| | | | | | |
|---|---|---------------|-------------------|------------|--|
|  | Rutina De Mantenimiento | | Area 22-463-HV1 | | |
| | Inspección Trimestral Mecánica | | Equipo 22-463-SR1 | | |
| | Cementos Progreso S.A., Planta Calera Línea 3 | | Fecha Revisión | 11/06/2018 | |
| | 22-463-SR1 Soplador # 1 combustión horno | | No. Revisión | 0 | |
| | | Fecha Emisión | 15/04/2010 | | |
| Página 1 de 2 | | | | | |

22-463-SR1 Soplador # 1 combustión horno 3.
Ubicación Nivel # 1 Cuarto de Soplantes Horno de cal No. 3

Mano de Obra Requerida: 2 Personas.
 Tiempo Estimado: 2 Horas.
 Frecuencia: Trimestral

EQUIPO DE PROTECCIÓN
 Casco, botas de seguridad, lentes Goggles, mascarillas, taponos auditivos, guantes.

MEDIDAS DE SEGURIDAD
 1. Avisar a control calera, bloquear con candado y colocar tarjeta de identificación al equipo.

AC101 22-463-SR1 (Ubicación en MCC 22-4P3-1M2 Gabinete 1M2+ H21 Q11 Dispositivo de seguridad ML406 o S806)
 2. Coordinar con personal eléctrico, instrumentación y de lubricación las actividades a realizar.

HERRAMIENTAS Y MATERIALES.

| Cant. | Descripción |
|-------|---|
| 1 | Alicate o vise <u>grip</u> . |
| 1 | Llave cola corona y copa 18 milímetros. |
| 1 | Llave cola corona y copa 1 ¼" |
| 1 | <u>Rach</u> de ½" |
| 1 | Llave ajustable (Cangrejo 18") |
| 1 | Metro |
| 1 | Extensión con foco |
| 1 | Brocha de 3" |
| 1 | Martillo de 2 <u>Lbs.</u> |
| 1 | Juego de Allen milimétrico |

ACVIDADES A REALIZAR.
Ubicación Nivel # 1 Horno de cal No. 3
22-463-SR1 Soplador #1 combustión horno.

- Con llave cola corona de 15/16" o 24 milímetros se quita registro o tapadera y se desmonta filtro para sopletearlo. El área autorizada para sopletear los filtros se encuentra a la par del elevador de personal del Horno 3 de Clinker.
- Revisar estado de la junta de expansión si tiene daño avisar al encargado del MP. Revisar el ajuste de las abrazaderas de la junta de expansión, con llave y copa 17milímetros, y rach de ½", deben estar bien ajustadas.
- Quitar cobertor de válvula de seguridad, con llave de 5/8", y se revisa el buen estado del mecanismo.
- Quitar tarugos de hule, con Vise-grip o alicate, y desmontar cobertor de las fajas de transmisión.

Fuente: Cementos Progreso, S.A., Planta San Miguel.

Figura 73. Ejemplo No. 2, PMR mecánica

5. Antes de quitar las fajas verificar alineación de las poleas, con alineador láser. Corregir de ser necesario.

6. Quitar fajas de transmisión y revisar que no estén quemadas, desgastadas, agrietadas. Aflojar el tornillo tensor de fajas con llave cola corona 1 1/4 ". Si presentan algún daño sacar del almacén con otra OT y se cambian.

7. Revisar que las poleas no estén desgastadas, que no tengan fisuras, ni estén rotas. Con juego de llaves Allen milimétrico se revisa que los castigadores de las poleas no estén flojos. Colocar las fajas de transmisión y tensarlas con llave cola corona de 1 1/4". Colocar el cobertor.

8. Se procede a armar, luego quitar candado de bloqueo y avisar a control calera que el equipo queda disponible.

Si se encuentra alguna anomalía en los puntos anteriores, corregir si es factible su corrección inmediata, en caso contrario avisar al supervisor para generar el aviso M2 correspondiente para su reparación.

Al término del trabajo realizar limpieza del área.

DOCUMENTO DE REFERENCIA:
Al término del trabajo asegurar que los residuos generados sean dispuestos correctamente según lo establecido en los siguientes catálogos:
GUI-000045 Catálogo de residuos peligrosos
GUI-000046 Catálogo de residuos no peligrosos

DOCUMENTO DE ATENCIÓN DE ACCIDENTES O FALLAS:
En caso de ocurrir un derrame o fuga proceder conforme a lo establecido en los procedimientos:
PRC-000309 Procedimiento de Plan de Emergencia
PRC-000071 Instructivo de Respuesta a Derrames Líquidos

Observaciones:

Fuente: Cementos Progreso, S.A., Planta San Miguel.

3.9.5.2. Procedimiento para la ejecución de una PMR

El procedimiento está basado en el siguiente ciclo:

- Definición y planeación de las tareas.
- Asignación de recursos.
- Asignación de los trabajos a los equipos.
- Definición de frecuencias de intervención.
- Generación de órdenes de trabajo.
- Programación de órdenes.
- Asignación de materiales y herramientas
- Ejecución del trabajo y prueba del equipo.
- Entrega del equipo.
- Documentación y notificación de la orden.
- Cierre de la orden.
- Generar aviso en caso sea necesario.

- Definición y planeación de las tareas

Las tareas serán tomadas de los manuales de los equipos, de los análisis de fiabilidad, de la experiencia del personal, entre otros.

- El procedimiento será detallado en el campo de texto extendido. En los textos se deben incluir procedimientos de seguridad, tales como: solicitud del equipo a producción, informar sobre el trabajo a realizar, instalación de los dispositivos de seguridad, verificación de las condiciones de la herramienta, limpieza en el área y el equipo, ajustes recomendados, etc.

- Asignación de recursos

- Mano de obra

Se asignará la mano de obra necesaria para la ejecución de los trabajos de la orden.

- Herramientas

Las herramientas se encuentran en el tool room bajo su control y resguardo, por lo tanto, se deberá incorporar en la orden las herramientas especiales necesarias para la ejecución de los trabajos. Los operadores del tool room son los responsables de proporcionar la herramienta.

- Materiales

Los materiales serán asignados según existencias en el inventario del sistema SAP. En el Departamento de Mantenimiento se harán las reservas de todos los materiales necesarios y almacén se encargará de prepararlos y ponerlos a disposición del ejecutante para la fecha prevista de ejecución de la orden.

- Servicios

En caso de requerir servicios externos, se generará una solicitud de servicio en la cual se sugerirá el proveedor que por experiencia haya tenido un buen desempeño.

- Asignación de los trabajos a los equipos

Cuando las tareas y los recursos hayan sido planeados, serán asociados a los equipos.

- Definición de frecuencias de intervención

La definición de las frecuencias de intervención será en función de las necesidades propias del trabajo, pero se hará una distribución de cargas de trabajo de tal forma que exista un balance con objeto de asegurar que sea posible ejecutar la cantidad de trabajos generados.

- Generación de órdenes de trabajo
- Programación de órdenes de trabajo
- Asignación de materiales y herramientas

La reserva de materiales se liberará con la orden de trabajo preventiva. El jefe de almacén deberá preparar en tarimas los materiales y deberá tenerlas disponibles para la fecha requerida. La salida de los materiales será a través de la reserva previamente hecha. La herramienta especial deberá ser preparada y proporcionada para la fecha requerida por el Jefe de Control de Mantenimiento y deberá observar que la herramienta se encuentre en buenas condiciones.

- Ejecución del trabajo y prueba del equipo

El trabajo preventivo será ejecutado con la calidad que asegure no poner en riesgo al personal ni a las instalaciones, deberá vigilar que se cumplan las prescripciones de seguridad vigentes, las cuales pueden ser: usar el equipo de protección personal, bloqueo con candado de seguridad en equipos, acordonamiento del área. Se deben usar únicamente las herramientas que están en buenas condiciones. Asimismo, deberá hacer las pruebas respectivas al equipo antes de su entrega a producción.

El ejecutante es responsable de hacer la limpieza al equipo, al área y disponer de los residuos generados con respecto a las normas establecidas en planta, y bajo ninguna circunstancia dejará en el área herramientas o equipos que pongan en peligro la seguridad.

Al retornar las herramientas al tool room, el ejecutante deberá verificar que se encuentren limpias y que funcionen perfectamente, en caso que hayan sufrido averías durante la ejecución del trabajo, deberá informar inmediatamente al Departamento de Control de Mantenimiento para su reparación o sustitución.

- Entrega del equipo

Una vez que haya sido satisfactoria la prueba, deberá retirar los bloqueos a los dispositivos de seguridad y entregar el equipo a Control Central para su puesta en marcha y deberá dar el seguimiento adecuado hasta asegurar que el equipo opera satisfactoriamente.

Es importante verificar la hora de puesta en marcha del equipo ya que este valor es fundamental para las mediciones de desempeño como eficacia, tiempo

medio de reparación y tiempo medio entre fallas. Los valores señalados serán actualizados en los avisos de mantenimiento correspondientes.

- Documentación de la orden

Cuando el equipo opere correctamente, el asistente del área deberá capturar la mano de obra empleada así como sus comentarios de la reparación, tales como: el origen de la falla, procedimiento de reparación, valores medidos entre los que se incluyen ajustes, tolerancias, volúmenes de lubricantes empleados, etc.

Es importante que la orden se documente lo más cercano a la realidad, ya que ésta puede servir de base para la elaboración de una orden estándar.

- Cierre de la orden

La orden será cerrada por el asistente del área, siempre y cuando se haya documentado correctamente, quedando limpia el área, equipo y la herramienta deberá ser devuelta al tool room en buenas condiciones.

- Generar aviso en caso sea necesario

Si durante la ejecución del trabajo preventivo se hubieran detectado condiciones que pusieran en peligro la seguridad humana u operación del equipo, se elaborará el aviso correspondiente para su reparación.

3.9.5.3. Actividades realizadas para la creación/actualización de PMR'S

- Pruebas de bloqueo

La seguridad es uno de los pilares en Planta San Miguel, debido a esto en cada PMR se detallan los pasos a seguir para realizar un mantenimiento sin incidentes. Las medidas de seguridad en la PMR son de vital importancia ya que le permite al mecánico encargado del mantenimiento conocer la ubicación exacta del flip-on para bloquear la alimentación de energía y se pueda ejecutar correctamente el mantenimiento. En ciertos equipos que no trabajan con energía eléctrica como puede ser energía hidráulica, energía neumática, energía mecánica, entre otras, también se especificó el tipo de bloqueo a emplear.

Debido a que las PMR'S estaban desactualizadas, estas no contaban con la información para bloquear el equipo o la información general de seguridad que debe llevar la PMR. Debido a esto fue necesario realizar las pruebas de bloqueo.

Para dichas pruebas se planificaron distintas fechas ya que era necesario coordinar con los distintos departamentos para que pudieran proveer personal para ejecutar dichas pruebas. Fue necesario el apoyo de 4 colaboradores, 2 eléctricos, 1 mecánico y 1 operador en control central. Se necesitó la ayuda de 2 eléctricos porque uno de ellos debía permanecer en el cuarto eléctrico y el otro en campo con los demás ayudantes. El mecánico tenía la función de guiar al equipo ya que este tenía el conocimiento de los equipos en calera y debía comunicarse por radio con el operador en control central.

Para la ejecución de estas pruebas de bloqueo se siguieron las 7 reglas de oro que se deben cumplir en Planta San Miguel al momento de bloquear un

equipo. La única forma autorizada para realizar el aislamiento y bloqueo en un equipo es a través de la aplicación de estas 7 reglas de oro del aislamiento de bloqueo. A continuación se describen las 7 reglas de oro.

- Coordinar
 - Identificar todas las fuentes de energía peligrosa y confirme que los puntos principales de aislamiento han sido identificados.
 - Identificar cualquier planta o equipo relacionado que podría crear un peligro.
 - Determinar el tipo de aislamiento, que debe aplicar.

Si hay necesidad de abrir un panel eléctrico, donde exista un rotulo advirtiéndole que solo el departamento eléctrico está autorizado para abrirlo, el encargado de aislamiento y bloqueo debe contactar con el personal de dicho departamento para su debido bloqueo, ya que únicamente ellos son los autorizados para bloquear en estos puntos.

- Aislar

El encargado de aislamiento y bloqueo, debe asegurar que el equipo involucrado esté aislado de una fuente de energía para evitar incidentes, para lo cual se debe realizar lo siguiente:

- El encargado de aislamiento y bloqueo, debe aislar las fuentes de energía peligrosas para el equipo y colocar el(los) candado(s) en los puntos de aislamiento.
- Comprobar que toda energía almacenada ha sido asegurada. Ejemplo: purgado de presión.

- Asegurar y bloquear

El encargado de aislamiento y bloqueo, debe llevar la(s) llave(s) de(los) candado(s) que colocó en el(los) punto(s) de aislamiento y colocarla(s) dentro de la caja de multibloqueo, luego se cierra la puerta de la caja de multibloqueo y todos los colaboradores involucrados en el trabajo colocan su candado personal de bloqueo.

- Comprobar

El encargado de aislamiento y bloqueo, debe:

- Antes de comenzar, realizar una inspección visual y/o intentar arrancar el equipo
- Todos los aislamientos de las energías peligrosas, deben ser probados para asegurar que han sido controlados. Ejemplos: comprobación de la presencia de voltaje para aislamientos eléctricos, intentar poner en marcha el equipo, entre otros.
- Verificar mecánicamente la ausencia de energías: tensión, movimiento, presión, entre otras.
- Verificar la ausencia de voltaje entre los conductores.
- Verificar el proceso: ausencia de presión, flujo; acompañado por el control requerido, específico y continuo.
- Revisar que toda energía almacenada ha sido asegurada.

- Notificar/etiquetar

Anotar el nombre de los colaboradores, contratistas y terceros, que estén trabajando y bloqueando el equipo en el respectivo formato de permisos de trabajo. Todo dispositivo de bloqueo debe colocarse con la respectiva etiqueta con los datos del colaborador que realiza la tarea. Estos datos deben ser: nombre del colaborador, número de móvil celular actual, el departamento al que pertenece.

- Inmovilizar

Inmovilizar los equipos móviles que pueden liberar energía durante el trabajo.

Nota: asegurar que los dispositivos de bloqueo usados resistan la fuerza a la que puedan someterse.

- Señalizar

Las áreas de trabajo deben señalizarse y prohibir el paso a través de ellas, cuando sea necesario.

Figura 74. **Dispositivos para aislamiento y bloqueo**



Fuente: Master Lock. www.masterlock.com/business-use/product-search/safety-solutions.

Consulta: enero, 2018.

Figura 75. Pruebas de bloqueo en paneles eléctricos



Fuente: Cementos Progreso, S.A., Planta San Miguel.

Figura 76. Pruebas de bloqueo en campo



Fuente: Cementos Progreso, S.A., Planta San Miguel.

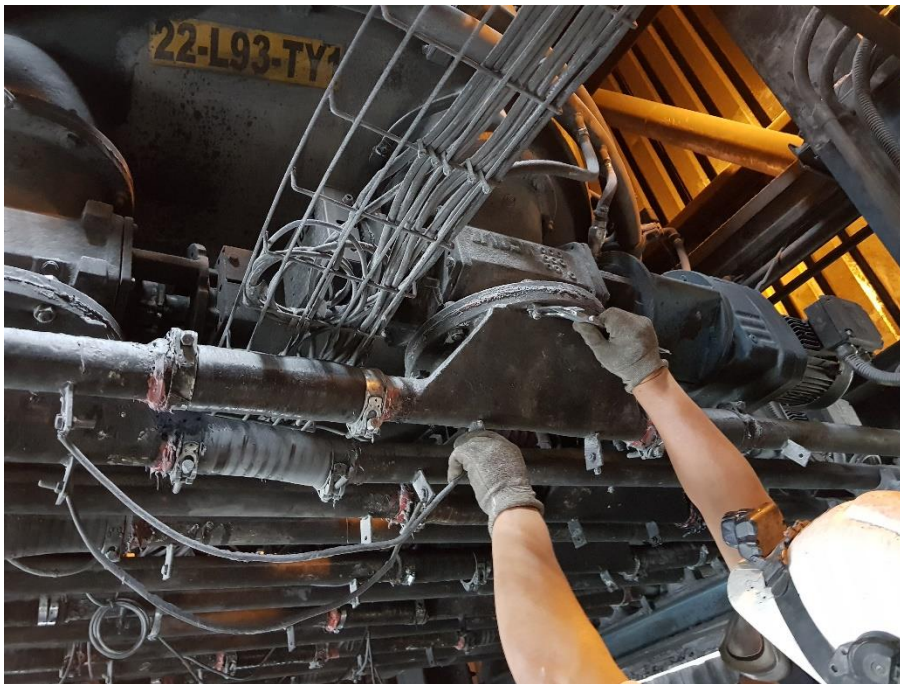
- Inspecciones en campo

Luego de haber realizado todas las pruebas de los equipos de las tres líneas de cal, se realizaron inspecciones a los equipos para actualizar las actividades a realizar y la herramienta a usar en la ejecución de la PMR.

Dependiendo si la PMR es mecánica, eléctrica, lubricación o instrumentación, entonces se hacían distintas rutinas VOSO. Por ejemplo en un PMR de lubricación se revisaba si eran chumaceras selladas o chumaceras partidas, se revisaba el tipo de lubricante o grasa, el tamaño de las tuercas, entre otros. Si era una PMR de instrumentación, se revisaban los sensores de presión, de movimiento, de nivel, de temperatura, se revisaba las señales digitales, entre

otras. Si era una PMR eléctrica se revisaba el motor en general y se hacían mediciones de amperaje, tensión, el sentido de giro del motor, rodamientos, ejes, cableado eléctrico, entre otros.

Figura 77. **Inspecciones en campo para actualización de PMR'S**



Fuente: Cementos Progreso, S.A., Planta San Miguel.

- Listado de bloqueos

En Planta San Miguel se cuenta con un listado de bloqueos en donde identifica el MCC o panel eléctrico, el gabinete, el guardamotor, la descripción del equipo y la ubicación en campo del equipo. En la planta de cal estos listados de bloqueos estaban desactualizados y esta es una de las razones por la cual se hicieron las pruebas de bloqueo, para que este listado este actualizado y se tenga

la certeza y la seguridad de que al momento de bloquear un equipo este no vaya arrancar o también que al momento de bloquear, el equipo siga en operación.

Figura 78. Listado de bloqueos

| cementos PROGRESO® Compartimos Sueños. Construimos Realidades. | | HORCALSA® | | | |
|---|---|----------------------------------|----------------|---|---|
| 22-4P2-1M1 | | | | | |
| MCC EQUIPOS VELOCIDAD FIJA Y VARIABLE | | | | | |
| GABINETE M1+H3 | | | | | |
| CÓDIGO MAERZ | CÓDIGO ELÉCTRICO | DISPOSITIVO DE BLOQUEO ELÉCTRICO | CÓDIGO CEMPRO | DESCRIPCIÓN CEMPRO | UBICACIÓN POR NIVELES |
| 12B01B01 | Q11 | S430 | 22-462-EE1/M01 | Enfriador sistema hidráulico | Nivel 2 cuarto de lubricación dentro cto. Eléctrico |
| 12B01H1 | Q11 | S430 | 22-462-SH1/H01 | Calefactor de aceite del sistema hidráulico | Nivel 2 cuarto de lubricación dentro cto. Eléctrico |
| 12B01P01 | Q11 | S430 | 22-462-BM1/M01 | Bomba #1 sist. hidráulico del horno | Nivel 2 cuarto de lubricación dentro cto. Eléctrico |
| 12B01P02 | Q11 | S430 | 22-462-BM2/M01 | Bomba #2 sist. hidráulico del horno | Nivel 2 cuarto de lubricación dentro cto. Eléctrico |
| 12C11 | Q11 | S430 | 22-432-CS1/M01 | Faja de alimentación caliza horno 2 | Nivel 7 edificio de horno |
| 12C12 | Q11 | S430 | 22-432-AV1/M01 | Vibradores alimentación de caliza | Nivel 7 edificio de horno |
| | | | 22-432-AV1/M02 | al horno | Nivel 7 edificio de horno |
| NOTA #1 | PARA ABRIR EL GABINETE Y PODER BLOQUEAR LOS EQUIPOS QUE SE ENCUENTRA DENTRO DEL MISMO DEBEMOS UTILIZAR UNA LLAVE RITAL, LUEGO UTILIZAR CUALQUIERA DE LOS DISPOSITIVOS QUE SE MENCIONAN EN LA NOTA #2. | | | | |
| NOTA #2 | PARA BLOQUEAR EQUIPOS EN ESTE GABINETE: Utilizar el dispositivo Master Lock S430 en guardamotors, candado dieléctrico Xenoy ML 406 y Tarjeta de identificación personal. | | | | |

Fuente: elaboración propia.

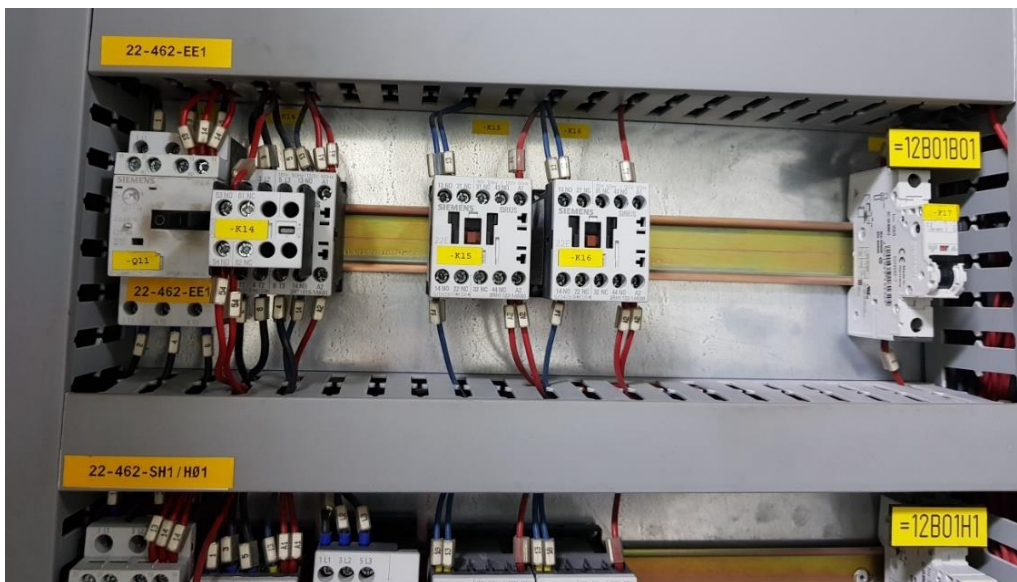
Estos listados de bloqueos se imprimieron, se plastificó y luego se pegaron en cada uno de los paneles eléctricos del área del horno y la hidratadora para que al momento que algún colaborador quiera ir a bloquear algún equipo, a este se le facilite encontrar el flip-on. En las figuras 79 y 80 se muestra como quedaron identificados los paneles eléctricos.

Figura 79. Paneles eléctricos en planta de cal



Fuente: Cementos Progreso, S.A., Planta San Miguel.

Figura 80. Identificación de flip-on



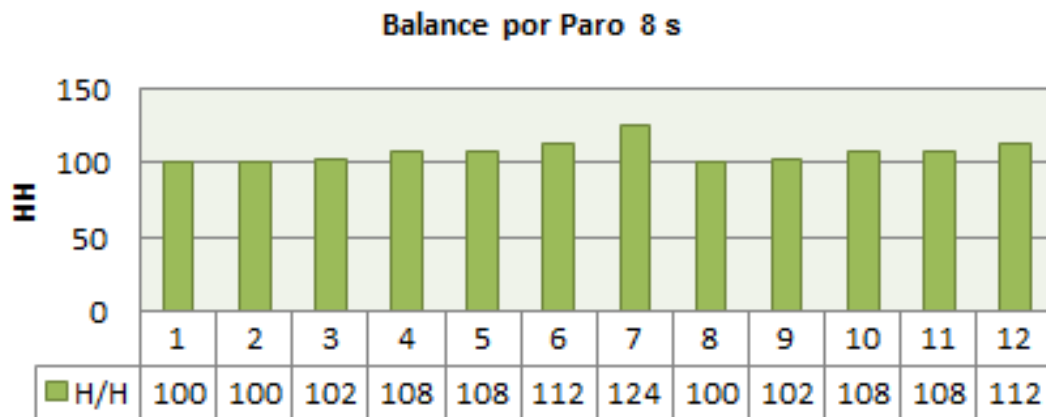
Fuente: Cementos Progreso, S.A., Planta San Miguel.

3.9.6. Balances de carga

Es una herramienta de nivelación de recursos en cada paro de mantenimiento. Se realiza un balance de carga por área y especialidad (mecánico, eléctrico, lubricación e instrumentación). El balance de carga está preparado de modo que se tenga una cantidad homogénea de horas/hombre para la ejecución de las PMR's.

Si la base de datos de equipos es más grande de lo requerido y no se han hecho balances de carga adecuados, el resultado será una gran cantidad de órdenes de mantenimiento preventivo generadas sistemáticamente. Por el contrario, si la base de datos de equipos es racional y se han hecho balances de carga adecuados, el resultado será una cantidad equilibrada de órdenes de mantenimiento preventivo generadas sistemáticamente.

Figura 81. **Grafico del balance de cargas (siguientes 12 paros)**



Fuente: Cementos Progreso, S.A., Planta San Miguel.

Cada paro tiene distintas frecuencias de PMR's. En este caso como la frecuencia base es de 8 semanas, se pueden tener frecuencias de 8, 24, 48 y 96 semanas. Si la frecuencia base fuese de 6 semanas, se pueden tener frecuencias de 6, 18, 36 y 72 semanas. Estas distintas frecuencias se pueden tener en un mismo paro.

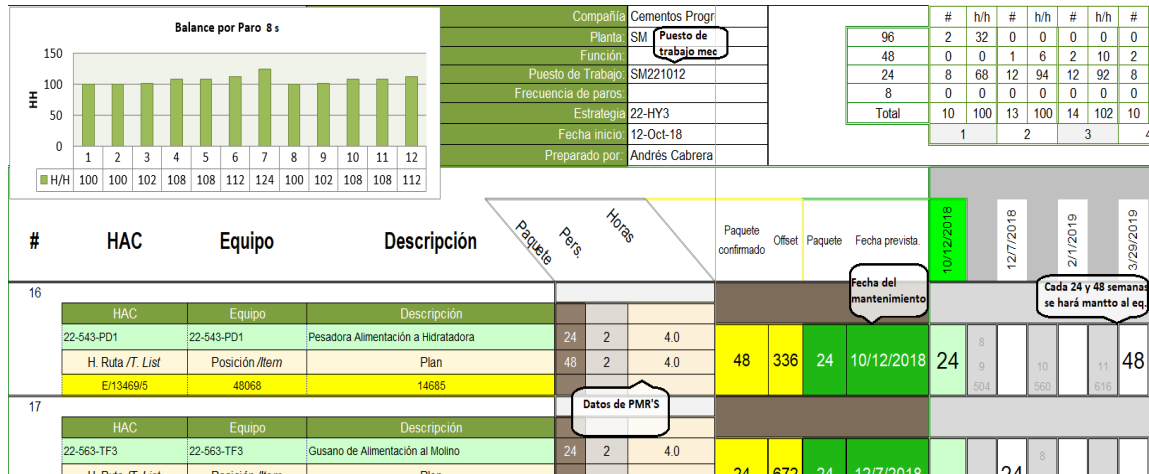
La columna # indica la cantidad de órdenes y la h/h indica el tiempo para ejecutar las órdenes.

Figura 82. **Recuadro del total de órdenes y cantidad de horas/hombre**

| | # | h/h | # | h/h | # | h/h | # | h/h | # | h/h |
|-------|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|
| 96 | 2 | 32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 48 | 0 | 0 | 1 | 6 | 2 | 10 | 2 | 24 | 2 | 32 |
| 24 | 8 | 68 | 12 | 94 | 12 | 92 | 8 | 84 | 10 | 76 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 10 | 100 | 13 | 100 | 14 | 102 | 10 | 108 | 12 | 108 |
| | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | |

Fuente: Cementos Progreso, S.A., Planta San Miguel.

Figura 83. Balance de cargas, especialidad mecánico



Fuente: Cementos Progreso, S.A., Planta San Miguel.

- La banda pesadora tiene PMR's con frecuencia de 24 y 48 semanas.
- En el siguiente paro (12 de octubre de 2018) se ejecutará la PMR de 24 semanas.
- Las fechas de los planes en SAP coinciden con las fechas de paro de la matriz y del balance de cargas.

Figura 84. Fechas de planes programados en SAP

Plan mant.prev. 14685 PLAN MANTTO MECÁNICO 22-543-PD1

Cab.plan mant.

Datos adicionales plan mantenimiento Llamadas programadas plan mantenimiento

| N... | FechaPrev. | Fecha de toma | Fecha de conclusión | Paquet.vencid. | Cl.programación/Status | Desví... | Unidad |
|------|------------|---------------|---------------------|----------------|------------------------|----------|--------|
| 1 | 12.10.2018 | | | 24 | InicCiclo tomado | | |
| 2 | 29.03.2019 | 29.03.2019 | | 48 | Programado,Espera | | |

Posición Lista objeto posición Emplazamiento posición Llamadas programadas posición Ciclos po...

Posición PM 48068 PLAN MANTTO MECÁNICO 22-543-P...

Objeto de referencia

| | | |
|-----------|------------|---|
| Ubic.téc. | 22-543-PD1 | UT PESADORA ALIMENTACIÓN A HIDRATAD... |
| Equipo | 22-543-PD1 | 543-PD1 PESADORA ALIMENT. A HIDRATAD... |
| Conjunto | | |

Fuente: sistema SAP.

Las OT's que se programan de acuerdo al balance de carga son las PM02, para mantenimiento preventivo. Si existiera la necesidad de hacer una corrección también se puede realizar en el paro, mediante la generación del aviso y OT PM01. Debe considerarse que solamente estas OT's son las que se deberán de ejecutar.

En cada paro programado se ejecutarán las OT's PM02 y PM01. Si ocurriera un paro de emergencia, solo se deberá realizar las tareas para restablecer la operación de los equipos y no aprovechar para hacer algún mantenimiento más.

3.9.7. Planes de mantenimiento

El plan de mantenimiento se define como todas las actividades o trabajos a realizar que puedan ejecutarse en algún período de tiempo a alguna posición de mantenimiento. Dentro de cada plan estará reflejada una estrategia de mantenimiento en la cual existen paquetes que son los que nos determinarán la periodicidad con la que tendrán que hacerse.

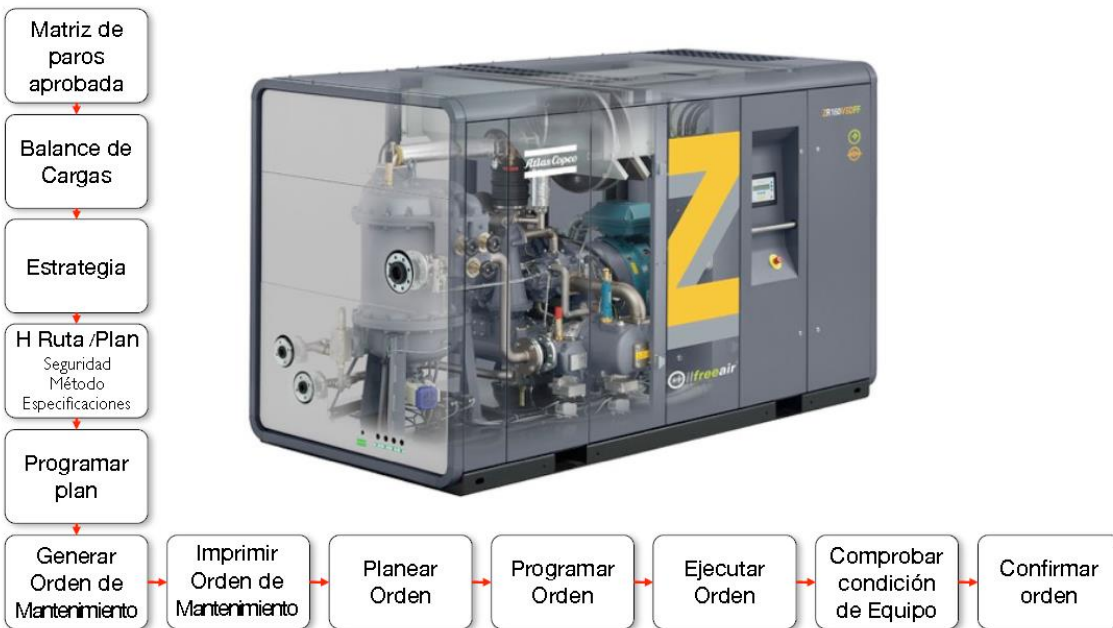
A través de la creación de una nueva estrategia de mantenimiento (22-HY3) en el sistema SAP para los equipos del área de hidratadora de la línea 3 y PMR's de las cuatro especialidades, se asigna una posición y hoja de ruta dentro del plan de mantenimiento, correspondiente a cada equipo para su posterior programación y lanzamiento; esto permite que la orden de mantenimiento se genere automáticamente en la fecha de paro de la hidratadora 3, según la nueva matriz.

- Para crear un plan es necesario disponer de:
 - Objeto técnico: ubicación técnica o equipo.
 - Hoja de ruta.
 - Posición de PM.

- Ventajas de un mantenimiento planificado
 - Mejoras en la planificación de recursos: resultados de planificación mejorados por un mejor control sobre los recursos; por ejemplo, de mano de obra y material.

- Mejoras en la planificación de la producción: una mejor coordinación entre mantenimiento y producción da como resultado más información sobre períodos de parada planificados.
- Mejoras en la disponibilidad de las máquinas: el mantenimiento preventivo planificado reduce el tiempo de parada no planificado.
- Mejora en el tiempo de planificación: optimiza el tiempo requerido para el llenado de las operaciones de la orden.

Figura 85. **Ciclo de mantenimiento preventivo**



Fuente: VÁZQUEZ, Eduardo. *Elementos del sistema de gestión*. p. 38.

3.9.7.1. Tipos de planes de mantenimiento

En SAP existen tres tipos de planes de mantenimiento: plan ciclo individual, plan estrategia y plan de mantenimiento múltiple.

Los planes de ciclo individual o los planes de estrategia son los planes de mantenimiento preventivo mediante los cuales se pueden definir ciclos de mantenimiento en función del tiempo o en función de la actividad.

- **Plan de ciclo individual**

Un plan de ciclo individual es la forma más simple de planificación de mantenimiento. Se crea un plan de ciclo individual y se define exactamente un ciclo de mantenimiento en función del tiempo o bien en función de la actividad, en el cual se especifica el intervalo en el cual se debería ejecutar el plan de mantenimiento preventivo.

Para hacer planes de mantenimiento por plan de ciclo individual se debe cumplir con las siguientes condiciones:

- Las hojas de ruta no deben tener asociadas estrategias de mantenimiento.
- La posición de mantenimiento no lleva estrategia de mantenimiento.

- Plan estrategia

Los planes de estrategia se utilizan para mostrar ciclos de mantenimiento complejos.

Se crea un plan de estrategia y se asigna una estrategia de mantenimiento en la que se han definido los ciclos de mantenimiento (en la estrategia se llaman paquetes de mantenimiento). Las estrategias de mantenimiento contienen información de planificación general y, por lo tanto, se pueden asignar a tantos planes de mantenimiento y tantas hojas de ruta para mantenimiento como sea necesario.

Para este proyecto se crearon únicamente planes con estrategia. Las estrategias que se usaron son: 22-HY2 (hidratadora 2), 22-HY3 (hidratadora 3) y ZPMHOR (paro de hornos).

- Plan de mantenimiento múltiple

Los planes de mantenimiento múltiple son los que permiten combinar ciclos de mantenimiento de dimensiones diferentes, por ejemplo, tiempo y distancia.

3.9.7.2. Hojas de ruta para mantenimiento

Las hojas de ruta son librerías donde se describen las operaciones a ser desempeñadas, donde se describen los pasos, el puesto de trabajo, los recursos requeridos, entre otros. Son la traducción de las instrucciones de mantenimiento recibidas de los fabricantes de equipos. Las instrucciones son adaptadas a las condiciones de operación y son actualizadas como resultado de los diversos análisis de hechos. Las hojas de ruta serán aplicables para todos los equipos que son susceptibles de recibir mantenimiento, así como a todas las actividades que forman parte del mantenimiento preventivo como son: servicio, inspección y reparación.

El número de hoja de ruta es generado por el sistema SAP al momento de colocar la PMR dentro del plan de mantenimiento.

El resultado final serán órdenes de mantenimiento preventivo.

- Existen tres clases de hojas de ruta para mantenimiento que se pueden distinguir, entre ellas con el uso de indicadores:
 - Hoja de ruta para equipo.
 - Hoja de ruta para ubicación técnica.
 - Instrucción de mantenimiento.

- Uso de las hojas de ruta de mantenimiento:
 - Realización de actividades de mantenimiento
 - Para mantenimiento planificado (mantenimiento preventivo e inspección)

- Reparación preparada a través de ordenes
- Estandarizar los procesos de trabajo
- Planificar más eficazmente las órdenes de mantenimiento
- Establecer más rápidamente planes de mantenimiento preventivo
- Puestos de trabajo de mantenimiento
- Tiempos
- Componentes del material

3.9.7.3. Posición(es) de mantenimiento

En una posición de mantenimiento se describen las medidas de mantenimiento preventivo que deberían efectuarse periódicamente en un objeto técnico o en un grupo de objetos técnicos. En la posición se detallan los campos que deben formar el encabezado de la orden, sirve para detallar las características que deberán contener las órdenes de mantenimiento que se generarán desde las hojas de ruta. La posición relaciona el equipo con la hoja de ruta y la estrategia.

Un plan de mantenimiento contiene siempre automáticamente una posición de mantenimiento. Se pueden crear posiciones de mantenimiento adicionales directamente en el plan de mantenimiento o asignar posiciones de mantenimiento existentes que todavía no se han asignado. Las hojas de ruta deben asignarse a cada una de las posiciones del plan.

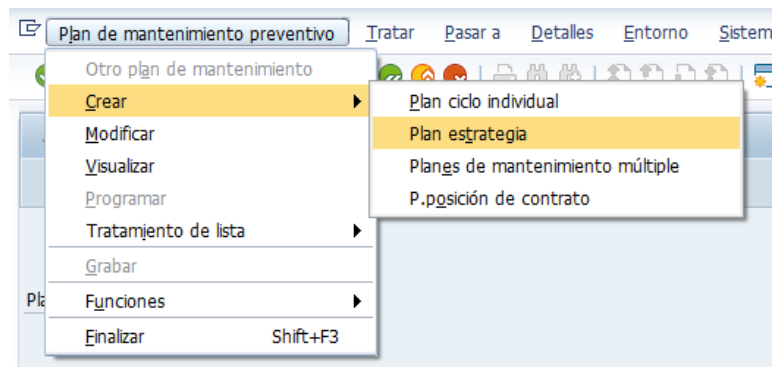
A través de la estrategia que existía para el mantenimiento de hornos (ZPMHOR) y de la actualización de PMR's, se asignaron posiciones para los equipos que solo pueden parar en conjunto con el horno. Las órdenes de trabajo de los planes del área de hornos serán generadas manualmente.

3.9.8. Procedimiento para la creación y programación de planes de mantenimiento en SAP

Este procedimiento describe cómo se crea un plan de mantenimiento, los objetos que se deben asignar y las funciones adicionales que están disponibles después de haber creado el plan de mantenimiento. Los programas de mantenimiento sirven para proyectar trabajos futuros de mantenimiento en base a un calendario preestablecido, tomando como punto de partida las frecuencias sugeridas de ejecución, las cuales han sido balanceadas previamente.

- En sistema SAP, se ingresa la transacción IP42 (plan estrategia).

Figura 86. Paso #1. Plan de mantenimiento preventivo



Fuente: sistema SAP.

- En la siguiente pantalla (figura 87) el sistema solicitará tres datos, el primer campo Plan. mant.prev., se deja en blanco ya que este es el número de plan, el cual lo generará el sistema cuando se termine el procedimiento. En el campo Tipo de plan de mantenimiento colocar: Mantenimiento Planta. En el siguiente campo se debe escribir la estrategia para el plan de

mantenimiento, la cual definirá la frecuencia del plan. Para este proyecto se utilizarán las estrategias creadas anteriormente.

Figura 87. **Paso #2. Plan de mantenimiento preventivo**

| | |
|-----------------|----------------------|
| Plan mant.prev. | |
| Tp.plan manten. | Mantenimiento Planta |
| Estrategia | 22-HY3 |


Fuente: sistema SAP.


- En la siguiente pantalla (figura 88 y 89) se deben llenar los siguientes campos:
 - Plan mant. prev: nombre del plan, debe identificar la especialidad (mecánico, eléctrico, entre otras) y la ubicación técnica del activo. Luego, copiar el mismo texto y pegarlo en el campo Posición PM.
 - Ubicación técnica: HAC del activo.
 - Equipo: código del equipo.
 - Conjunto: para nuestro caso este campo no se utiliza.
 - Centro planif.: nombre del centro de planificación. Para este caso se utiliza SM (Planta San Miguel).
 - Clase de orden: PM02 (mantenimiento preventivo).
 - Puesto de trabajo: el puesto que corresponda a esa especialidad.
 - Grupo planificación: el código del grupo de planificación. Para este caso se utiliza 001 (planificación San Miguel).



- Clase de actividad: Z03 (monitoreo de condición).
- División: para este caso se utiliza 100, (materiales construcción).
- Prioridad: cambio plan 13 semanas.
- Actualizar los parámetros de programación (figura 89).

Figura 88. Paso #3. Plan de mantenimiento preventivo

Crear plan de mantenimiento preventivo: Plan estrategia





Plan mant.prev. 

 Cab.plan mant.

Ciclos plan de mantenimiento 05.09.2018 | Parám.programación plan mantenimiento | Datos adicionales pl...  

| Unidad | Texto ciclo mantenimiento | Offset |
|--------|---------------------------|--------|
| | | |
| | | |







Posición | Lista objeto posición | Emplazamiento posición | Ciclos posición 05.09.2018






Posición PM    

Objeto de referencia

| | | |
|-----------|---|---------------------------|
| Ubic.téc. | <input type="text" value="22-593-BN2"/> | UT BOMBA DE TRANSPORTE #2 |
| Equipo | <input type="text" value="BT1-009"/> | BOMBA DE TRANSPORTE # 2 |
| Conjunto | <input type="text"/> | |

Datos de planificación

| | | | |
|-------------------|--|----------------------|---|
| Centro planif. | <input type="text" value="SM"/> PLANTA SAN MIGUEL | Grupo planif. | <input type="text" value="001"/> Planif. San Miguel |
| Clase de orden | <input type="text" value="PM02"/> Mantenimiento Preventivo | Clase actividad PM | <input type="text" value="Z03"/> MONITOREO DE CON... |
| Pto.tbjo.resp. | <input type="text" value="SM221012"/> / <input type="text" value="SM"/> CAL MECÁNICO | División | <input type="text" value="100"/> Div.Materiales Constru... |
| Prioridad | <input type="text" value="Cambio Plan 13 Seman"/>  | Norma de liquidación |    |
| Documento venta | <input type="text" value="Cambio Plan Diario"/>  <input type="text" value="Cambio Plan Semanal"/> <input type="text" value="Cambio Plan 13 Seman"/>  | | |
| Hoja de ruta para | <input type="text" value="En Paro Mayor"/> <input type="text" value="No Requiere Mantenim"/> | | |
| Ip. GrHRuta | <input type="text"/> | | |

Fuente: sistema SAP.

Figura 89. Paso #3.1. Plan de mantenimiento preventivo

| Determinación fecha | | Control de orden de entrega | | Indicador de programación | |
|---------------------------|--------------------------|--|--------|---|--|
| Fact.dec.conclusión retr. | <input type="checkbox"/> | Horizonte apertura | 100 % | <input type="radio"/> Tiempo | |
| Tolerancia (+) | <input type="checkbox"/> | Intervalo de toma | 91 DÍA | <input type="radio"/> Tmpto.según día fijado | |
| Fact.dec.concl.anticipada | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> Sujeto a conclusión | | <input checked="" type="radio"/> Tmpto., calend.fábrica | |
| Tolerancia (-) | <input type="checkbox"/> | | | | |
| Factor de dilatación | 1.00 | | | | |
| Calendario de fábrica | S1 | | | | |

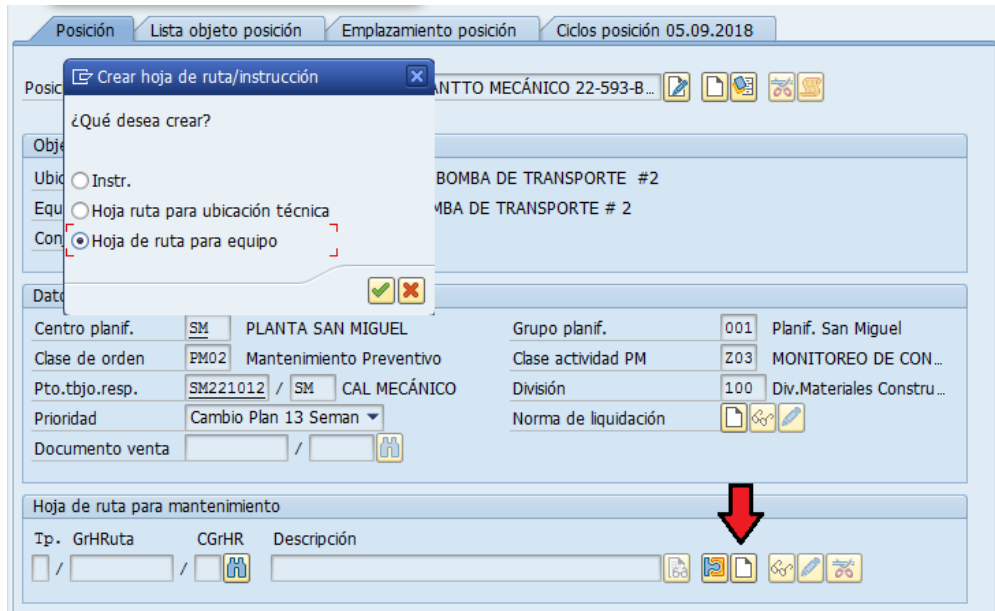
Fuente: sistema SAP.

El horizonte de apertura se expresa en un porcentaje cuando se debe crear una orden de mantenimiento para una fecha de mantenimiento calculada, es decir, el intervalo de tiempo entre la fecha de notificación o fecha inicial y la siguiente fecha prevista de un plan de mantenimiento hasta que se crea la orden de mantenimiento. En este caso, todos los planes tendrán 100 % de horizonte de apertura, esto quiere decir que la OT será lanzada en la fecha prevista y no antes.

En el intervalo de toma tiene que ser 91 días según estándar de Holcim. El factor de dilatación siempre se colocará 1.00. Los demás campos se deben dejar vacíos.

- El siguiente paso (figura 90) es asignar una hoja de ruta para mantenimiento a la posición de mantenimiento. Esta asignación es opcional para planes de ciclo individual. Se debe seleccionar hoja de ruta para equipo.

Figura 90. Paso #4. Plan de mantenimiento preventivo



Fuente: sistema SAP.

- En la siguiente pantalla (figura 91) se deben llenar los campos cómo a continuación se describe:
 - Puesto de trabajo: especialidad que sea el plan.
 - Utilización: 4 (mantenimiento).
 - Grupo Planificación: 001 planificación (Planta San Miguel).
 - Status hojas de ruta: 4 (liberado en general).
 - Estado instalación: 0 (fuera de servicio).

Dejar vacío el campo de conjunto y los demás campos. Luego, seleccionar el icono de operación en la parte superior.

Figura 91. Paso #5. Plan de mantenimiento preventivo

Visualizar HRuta p. equipo: cabecera vista general

Operación Plan

Equipo 22-543-CD1 COMPUERTA DESCARGA SILO CAL VIVA
GrHRuta 13158 PLAN MANTTO MECÁNICO 22-543-CD1

Grupo hojas ruta 13158

Cont.grupo HRuta 2 PLAN MANTTO MECÁNICO 22-543-CD1

Centro planificación SM

Asignaciones a cabecera hoja ruta

Puesto de trabajo SM221012 / SM CAL MECÁNICO
Utilización 4 Mantenimiento
Grupo planif. 001 Planif. San Miguel
Status hoja de ruta 4 Liberado en general
Estado instalación
Estrategia mantenim. 22-BY3 Hidratadora 3 Cal SM 8 Semanas
Conjunto
 Petición de borrado

Datos QM

Puntos de inspección
Numeración externa Ext. numbering of orig. values possible

Fuente: sistema SAP.

- En la siguiente pantalla (figura 92) llenar los campos con la información de la PMR que se colocará en el plan.
 - En la columna Ctrl. colocar PM01 (mantenimiento propio).
 - En la siguiente columna colocar el título 48 S servicio mecánico equipo x. (24 S, 96 S, entre otros, según sea el caso). Se debe crear una posición por cada frecuencia.
 - Luego, ingresar en la columna Cv. C el número 2 (cálculo de trabajos).
 - En la columna Dur. ingresar el tiempo que se llevará en ejecutar la PMR.

- En la columna N° ingresar el número de personas que ejecutarán la PMR.
- En la columna Un. colocar las siglas HR (horas).
- El sistema mostrará un mensaje: se ha efectuado un cálculo. El sistema calcula la cantidad de horas/hombre y lo ingresa en la columna Trabajo.
- Luego, en la parte inferior seleccionar PaqManPr, el cual nos enviará a otra pantalla en la cual se debe colocar un cheque en la frecuencia a la que pertenece la PMR. Para este proyecto puede ser 8, 24, 48 o 96 semanas según sea el caso (figura 93).

Figura 92. **Paso #6. Plan de mantenimiento preventivo**

Visualizar HRuta p. equipo: resumen operaciones

Equipo 22-543-CD1 COMPUERTA DESCARGA SILO CAL VIVA
 GrHRuta 13158 PLAN MANTTO MECÁNICO 22-543-CD1 ContGpoHR 2

Resumen general operación

| Op. | SOp | PstoTbjo | Ce. | Ctrl | Descripción operación | T.. | Trabajo | Un. | Nº | Dur. | Un. | C % | Fac | Clv.mod. | Conjunto |
|------|-----|----------|-----|------|-----------------------|-----|---------|-----|----|------|-----|-----|-----|----------|----------|
| 0010 | | SM221012 | SM | PM01 | 48 S SERVICIO MECÁ... | ✓ | 6.0 | HR | 2 | 3.0 | HR | 2 | 100 | 1 | |

Entrada 1 / 1

Fuente: sistema SAP.

Figura 93. Paso #6.1. Plan de mantenimiento preventivo

| Visual hoja ruta p.equipo: Res.paquetes mantenimiento | | | | | | |
|---|---|-----------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| Paquete mantenimiento preventivo Propia Externo Cab. Plan | | | | | | |
| Equipo | 22-543-CD1 COMPUERTA DESCARGA SILO CAL VIVA | | | | | |
| GrHRuta | 13158 | PLAN MANTTO MECÁNICO 22-543-CD1 | ContGrpoHR 2 | | | |
| Resumen oper.paquetes mant.prev. | | | | | | |
| Op. | SOp | Descripción operación | 8 | 24 | 48 | 96 |
| 0010 | | 48 S SERVICIO MECÁNICO 22-543-CD1 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Fuente: sistema SAP.

- Luego de colocar el paquete o frecuencia de mantenimiento, se debe regresar a la pantalla anterior para insertar la PMR. Para esto, realizar lo siguiente:
 - Ingresar en el recuadro que se encuentra a la par del texto de la descripción de la operación. En dado caso este recuadro tuviera un cheque, quiere decir que ya hay un texto (PMR) en el plan. Para los planes nuevos este recuadro debe aparecer vacío.
 - En la siguiente pantalla se mostrará una hoja en blanco en donde se debe pegar el texto de la PMR actualizada (figura 95).

Figura 94. Paso #7. Plan de mantenimiento preventivo

Visualizar HRuta p. equipo: resumen operaciones

Propia Externo Cab. Plan

Equipo 22-543-CD1 COMPUERTA DESCARGA SILO CAL VIVA
 GrHRuta 13158 PLAN MANTTO MECÁNICO 22-543-CD1 ContGrpoHR 2

Resumen general operación

| Op. | SOp | PstoTbjo | Ce. | Ctrl | Descripción operación | T. Trabajo | Un. Nº | Dur. | Un. C % | Fac | Clv.mod. | Conjunto |
|------|-----|----------|-----|------|-----------------------|------------------------------|--------|------|------------|-----|----------|----------|
| 0010 | | SM221012 | SM | PM01 | 48 S SERVICIO MECÁ | <input type="checkbox"/> 6.0 | HR 2 | 3.0 | HR 2 100 1 | | | |

PaqManPr Compte. REO MAF PaqServ CarIns

Entrada 1 / 1

Fuente: sistema SAP.

Figura 95. Paso #7.1. Plan de mantenimiento preventivo

Visualizar Texto explicativo: Operación 0010 Idioma ES

Form.párrafo *Párrafo alineado a izquierda Form.caract.

48 S SERVICIO MECÁNICO 22-543-CD1

22-543-CD1 Compuerta descarga silo de cal.
Ubicación: 8vo y 3er. Nivel Edificio Silo Cal Viva.

Mano de Obra Requerida: 2 Personas.
Tiempo Estimado: 3 Horas.
Frecuencia: 48 Semanas.

EQUIPO DE PROTECCION
Casco, botas de seguridad, lentes goggles, mascarillas, tapones auditivos, guantes.

MEDIDAS DE SEGURIDAD

1. Avisar a control central, bloquear con candado y colocar tarjeta de identificación al equipo.
2. Coordinar con personal eléctrico, instrumentación y de lubricación las actividades a realizar.
3. Para ingresar a la tolva, utilizar una escalera y arnés de seguridad, (Hacer un permiso de trabajo para espacios confinados).

HERRAMIENTAS Y MATERIALES.

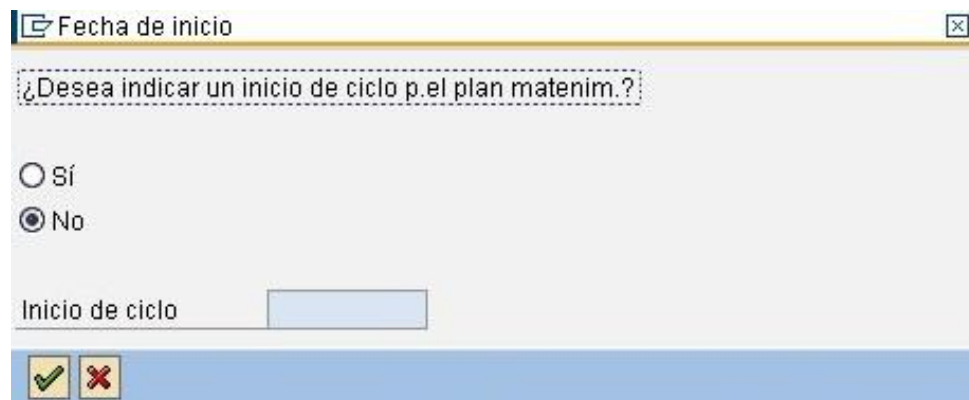
| Cant. | Descripción |
|-------|-------------------------------|
| 1 | Llave cola corona 19mm y 17mm |
| 1 | Llave cola corona de 13 mm |
| 1 | Metro |
| 1 | Cepillo de alambre |

Fuente: sistema SAP.

- Ya ingresado el texto de la PMR, regresar a la pantalla anterior y aparecerá un cheque en Tex. Para cada posición del plan se deben repetir los pasos 6 y 7. Luego, grabar o guardar el plan de mantenimiento y el sistema mostrará el siguiente mensaje: se actualizó hoja de ruta para equipo XXXXX. El No. que aparece en H. ruta Grupo xxxxx/xx se traslada a la hoja del balance de cargas en Excel.

- Grabar el plan de mantenimiento; a la hora de grabar, el sistema va a preguntar si desea iniciar un ciclo, se debe seleccionar No y luego seleccionar el cheque verde. El campo de inicio de ciclo se deja vacío.

Figura 96. **Paso #9. Plan de mantenimiento preventivo**



Fecha de inicio

¿Desea indicar un inicio de ciclo p.el plan matenim.?

Sí

No

Inicio de ciclo

Fuente: sistema SAP.

Luego de haber hecho los pasos anteriores, SAP arrojará el número de plan. Este número de plan se debe ingresar en el formato de balances de carga en Excel. Luego, ingresar en el sistema SAP y visualizar el plan con el número que generó SAP, para ir a buscar la posición de mantenimiento y que también se debe colocar en el formato de balances de carga.

- Ahora ya que se tiene el formato de balances de carga completo y balanceado, se programarán las fechas de estos planes en SAP, basándonos en las fechas del balance de cargas.

Una vez dado de alta el plan de mantenimiento con una frecuencia establecida, por ejemplo 24 semanas, se debe indicar cuál será el inicio a partir del cual se realizarán las visitas. Esta fase es crucial para el buen funcionamiento

de todo el plan de mantenimiento. Si se falla en este punto se arrastrará el error a toda la planificación de todos los equipos existentes en el plan durante todo el tiempo de vida del mantenimiento.

Se indica a partir de qué fecha se debe iniciar el plan. Si se indica que el plan inicia el 27 de abril de 2018, entonces la primera orden la va a generar 24 semanas después, es decir, el 12 de octubre de 2018, si fuese el caso de una frecuencia de 24 semanas.

El resultado será una orden de mantenimiento preventivo que contendría toda la información necesaria para realizar el mantenimiento al equipo.

A partir de aquí, las siguientes planificaciones que se realicen, las calculará automáticamente SAP lanzando una orden cada 24 semanas, si es el caso.

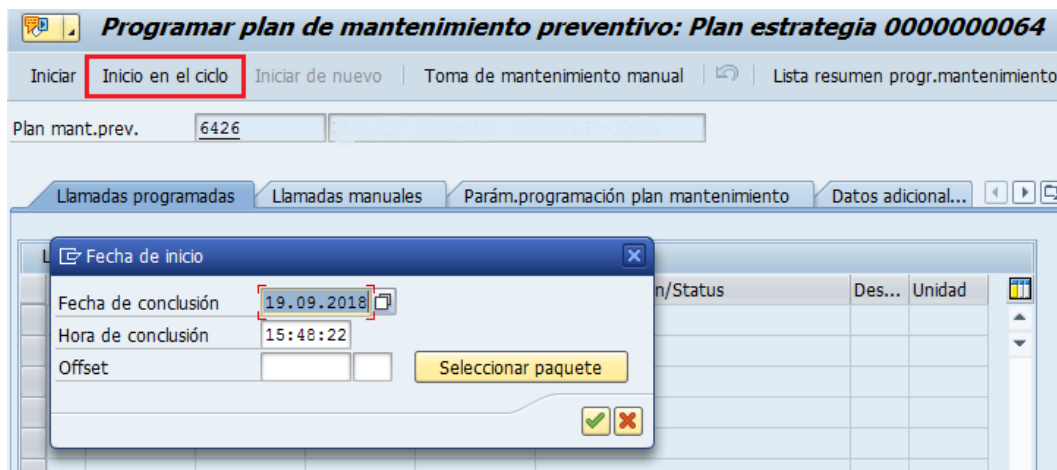
Para programar un plan utilizamos la transacción IP10. Luego, se coloca el número de plan, luego en la siguiente pantalla debemos seleccionar el icono inicio en el ciclo.

- Fecha de conclusión: es la fecha de conclusión que calculó el formato de balance de cargas.
- Hora de conclusión: no se cambia este dato.
- *Offset*: copiar del balance de cargas.
- Seleccionar paquete: esta opción es para colocar el offset manualmente, pero debemos asegurarnos que el offset sea el que está en el balance de cargas. Si se escribe el offset en el campo en blanco, ya no es necesario utilizar esta opción.

Ya que se tienen estos datos completos, seleccionar el cheque verde y mostrará las fechas que se ejecutará ese plan, la cual debe coincidir con la “fecha prevista” en el balance de cargas. Por último, guardar los cambios para finalizar la programación del plan.

La programación de las fechas de los planes únicamente se realiza cuando se tiene un balance de carga y se desea que el sistema lance automáticamente las órdenes de trabajo. Para este caso, se programaron los planes del área de hidratadora.

Figura 97. **Paso #10. Programación del plan de mantenimiento**



Fuente: sistema SAP.

3.9.9. Lanzamiento de planes de mantenimiento en automático

Para que el sistema SAP ejecute una tarea, en este caso un plan de mantenimiento, de manera automática en las fechas programadas, se debe crear un *job* o también llamado ejecución de procesos de fondo.

En proceso de fondo, el Sistema SAP ejecuta automáticamente cualquier informe o programa que puede lanzar interactivamente.

- Al programar un *job* en el sistema de proceso de fondo, debe indicar:
 - El informe ABAP o el programa externo que se debe iniciar.
 - La hora de inicio.
 - Las especificaciones de impresión.

- Procesos de fondo

Además de la opción de ejecutar programas y transacciones *online*, SAP da la posibilidad de ejecutar procesos en fondo. Se pueden encontrar otros términos para referirse al mismo concepto como: procesamiento BATCH o procesamiento en segundo plano.

Procesamiento de fondo: consiste en la ejecución de un proceso sin interacción con el usuario, es decir, que se lanzará el proceso y el SAPGUI devuelve el control aunque el programa todavía no ha acabado de ejecutarse.

Este modo de ejecución de procesos adquiere una importancia vital cuando se manejan programas que tardan mucho tiempo en completarse.

Tradicionalmente se considera un buen tiempo de respuesta para un sistema *online* el hecho de que no transcurran más de dos segundos entre dos acciones del usuario sobre el programa. Parece poco probable que un usuario esté esperando más de 5 minutos a la respuesta del sistema sin pensar que se ha quedado bloqueado o que ha fallado el programa, por eso, cuando se prevea que un proceso va a durar más tiempo debería ser lanzado en fondo.

El lanzamiento de programas en fondo nos permite mejorar el rendimiento de las transacciones *online* ya que se puede determinar que la prioridad de los mismos sea menor ya que el usuario no está esperando respuesta inmediata.

- Hora de inicio o evento

Una vez definidas las características generales del *job* se debe indicar cuando se ejecutará. Esta indicación puede hacerse de diversas formas:

- Ejecución inmediata: como su propio nombre indica, permite iniciar el *job* en el momento de terminar su definición.
- Ejecución por fecha/hora: se debe indicar un día y una hora en la que se desee que comience el *job*. Además, se puede marcar el *job* como periódico, es decir, que se repetirá su ejecución cada cierto período de tiempo. Esta opción es muy útil para la planificación de *jobs* de mantenimiento o de recolección de estadísticas.
- Por *job*: con esta indicación de comienzo se puede encadenar unos *jobs* con otros, es decir, se indicará al *job* B que empiece a ejecutarse cuando finalice el *job* A. También es posible especificar que sólo comience cuando la finalización del *job* A sea correcta, en caso de que el *job* A haya sido cancelado en mitad de su ejecución, el *job* B no se ejecutará.

- Por evento: el *job* comenzará cuando se produzca en el sistema un evento indicado. Un evento es un suceso que se produce automáticamente en el sistema R/3 o que es provocado manualmente. Previamente, el evento debe estar definido en la correspondiente tabla. SAP viene con una serie de eventos predefinidos como puede ser, el arranque o parada de las instancias, el cambio de modo de operación de nocturno a diurno, entre otros.

3.9.9.1. Pasos para el lanzamiento del *job* en planes de mantenimiento

- Para realizar el *job* se debe usar la transacción IP30 (supervisión de plazos de planes de mantenimiento). Al ingresar en la transacción, el sistema solicitará los siguientes datos:
 - Plan de mantenimiento preventivo: ingresar el(los) plan(es) que se quieran lanzar automáticamente. Para este caso serán todos los planes del área de hidratadora 2 y 3; los cuales se agruparon en un formato de Excel para poder ingresarlos conjuntamente (figura 98).
 - Tipo de plan de mantenimiento: PM.
 - Estrategia de mantenimiento: ingresar la estrategia del área a la que pertenecen los planes.
 - Intervalos para objetos de llamada: para nuestro caso, siempre será de 91 días.

Figura 98. Paso #1. Lanzamiento de job

Supervisión de plazos de planes de mantenimiento (batch-input IP10)

Superv.plazos p.planes mantenim.preventivo

| | | | | |
|--------------------------|----------------------|---|----------------------|----------------------------------|
| Plan mant.preventivo | <input type="text"/> | a | <input type="text"/> | <input type="button" value="▶"/> |
| Tp.plan manten. | PM | a | <input type="text"/> | <input type="button" value="▶"/> |
| Cpo.clas.plan mant.prev. | <input type="text"/> | a | <input type="text"/> | <input type="button" value="▶"/> |
| Estrategia mantenim. | 22-HY3 | a | <input type="text"/> | <input type="button" value="▶"/> |

Intervalo para objetos de llama DÍA

Incl.reprogramación

Inicio inmediato para todos

Control de log

Log de aplicación

Log (batch input)

Modo: Call Transaction/Carpeta BDC

Transacción llamada

Modo llamada

Juego datos BDC

Nombre grupo

ID usuario

Grabar transacciones erróneas

Grabar errores

Fichero PC /Frontend

Fichero unix

Fichero

Servidor

Fuente: sistema SAP.

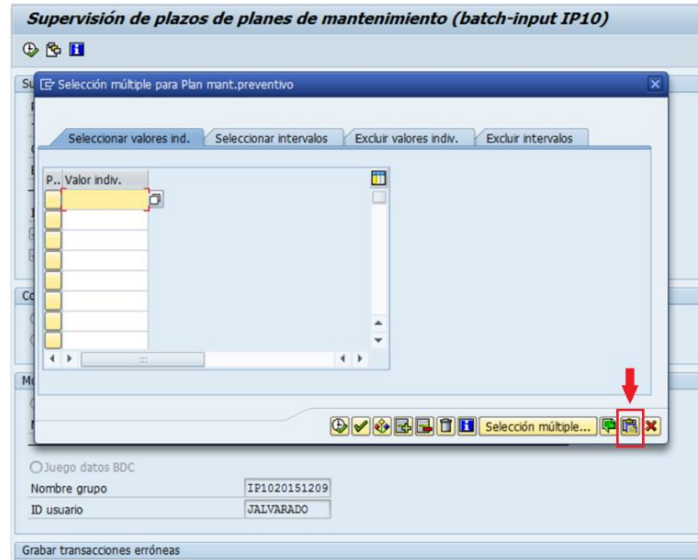
Figura 99. Resumen de planes de mantto., especialidad lubricación

| HAC | Equipo | Descripción | H. Ruta /T. Lis | Posición /Iter | Plan |
|------------|------------|--|-----------------|----------------|-------|
| 22-563-EC1 | 22-563-EC1 | Elevador Alimentación Molino | E/12950/7 | 48121 | 14722 |
| 22-563-EC2 | 22-563-EC2 | Elevador Recirculación Molino | E/12951/7 | 48122 | 14723 |
| 22-563-MB1 | 22-563-MB1 | Molino de Bolas | E/12954/14 | 48123 | 14724 |
| 22-563-TJ1 | TR0-013 | Transmisión Molino De Cal Línea 3. | E/14717/2 | 48124 | 14735 |
| 22-563-VE1 | VT0-269 | Ventilador colector de polvo Molino. Frecuenci | E/14718/2 | 48125 | 14736 |
| 22-563-TF3 | 22-563-TF3 | Gusano de Alimentación al Molino | E/12975/4 | 48134 | 14745 |
| 22-563-TF4 | 22-563-TF4 | Gusano Recirculación Del Molino. | E/12976/4 | 48135 | 14746 |
| 22-563-TF2 | 22-563-TF2 | Gusano de Alimentación a Separador #1 | E/12962/3 | 48136 | 14747 |
| 22-563-TF5 | 22-563-TF5 | Gusano Alimentación Separador #2 | E/13167/3 | 48137 | 14748 |
| 22-563-TF1 | 22-563-TF1 | Gusano Descarga de Hidratadora | E/12961/4 | 48138 | 14749 |
| 22-543-ME1 | 22-543-ME1 | Tornillo Mezclador #1 | E/13138/5 | 48139 | 14750 |
| 22-543-ME2 | 22-543-ME2 | Tornillo Mezclador #2 | E/13140/4 | 48140 | 14751 |
| 22-543-ME3 | 22-543-ME3 | Tornillo Mezclador #3 | E/13139/4 | 48141 | 14752 |
| 22-533-EL1 | 22-533-EL1 | Sistema hidráulico de trituradora de martillos | E/13126/2 | 48143 | 14754 |
| 22-543-BA2 | BA0-100 | Bomba Agua #2 | E/13152/3 | 48144 | 14755 |
| 22-543-VE1 | VT0-281 | Ventilador del Colector de Polvo Tolva 500 TN | E/13164/3 | 48145 | 14756 |
| 22-543-VE2 | VT0-268 | Ventilador del Colector Hidratadora | E/13165/3 | 48146 | 14757 |
| 22-593-BN1 | BT1-008 | Bomba de Transporte #1 | E/12966/4 | 48147 | 14758 |
| 22-593-SR2 | SR1-056 | Soplador de aire transporte cal hidratada | E/12952/7 | 48149 | 14760 |
| 22-543-PD1 | 22-543-PD1 | Pesadora Alimentación a Hidratadora | E/13469/6 | 48150 | 14761 |
| 22-563-ED2 | VR0-207 | Válvula Rotativa Separador #1 | E/13159/2 | 48152 | 14763 |
| 22-593-SR1 | SR1-055 | Soplador de aire transporte cal hidratada | E/12953/7 | 48148 | 14759 |
| 22-563-ED5 | VR0-210 | Válvula Rotativa del Ciclón | E/13154/3 | 48153 | 14764 |
| 22-593-ED1 | VR0-235 | Válvula Rotativa Filtro | E/13161/3 | 48154 | 14765 |
| 22-593-VV1 | VD0-089 | Compuerta Divergente 1 a Silos | E/12969/4 | 48155 | 14766 |
| 22-563-ED4 | VR0-209 | Válvula Rotativa Separador #2 | E/13168/3 | 48157 | 14768 |
| 22-543-TF1 | 22-543-TF1 | Gusano Alimentación Hidratadora | E/13137/3 | 48158 | 14769 |
| 22-593-VV2 | VD0-090 | Compuerta Divergente 2 a Silos | E/12970/4 | 48156 | 14767 |
| 22-563-ED3 | VR0-208 | Válvula Rotativa Ciclón #1 | E/13156/3 | 48159 | 14770 |
| 22-593-BN2 | BT1-009 | Bomba de Transporte #2 | E/12965/5 | 48160 | 14771 |

Fuente: elaboración propia.

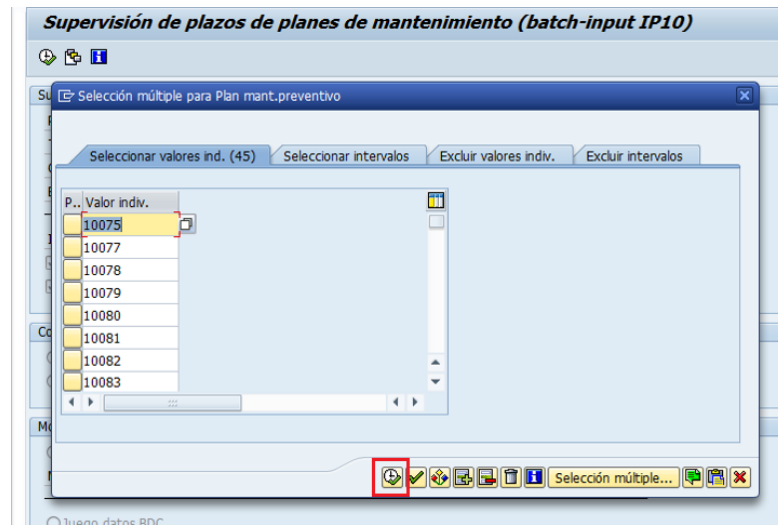
- Ya agrupados los números de planes, copiar todos los números de planes y los pegarlos haciendo clic en el icono del portapapeles (figura 100). Ya ingresados los planes, seleccionar el icono del reloj para confirmar (figura 101).

Figura 100. Paso #2. Pegar listado de planes



Fuente: sistema SAP.

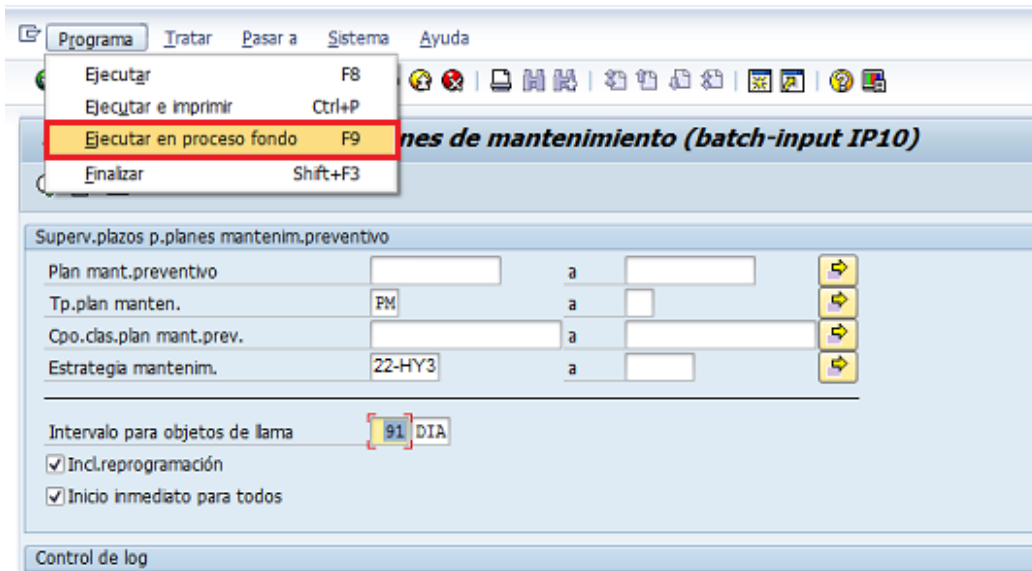
Figura 101. Paso #2.1. Confirmar listado de planes



Fuente: sistema SAP.

- Luego de ingresar los números de planes en SAP, en la barra superior seleccionar en Programa y luego en Ejecutar en proceso fondo.

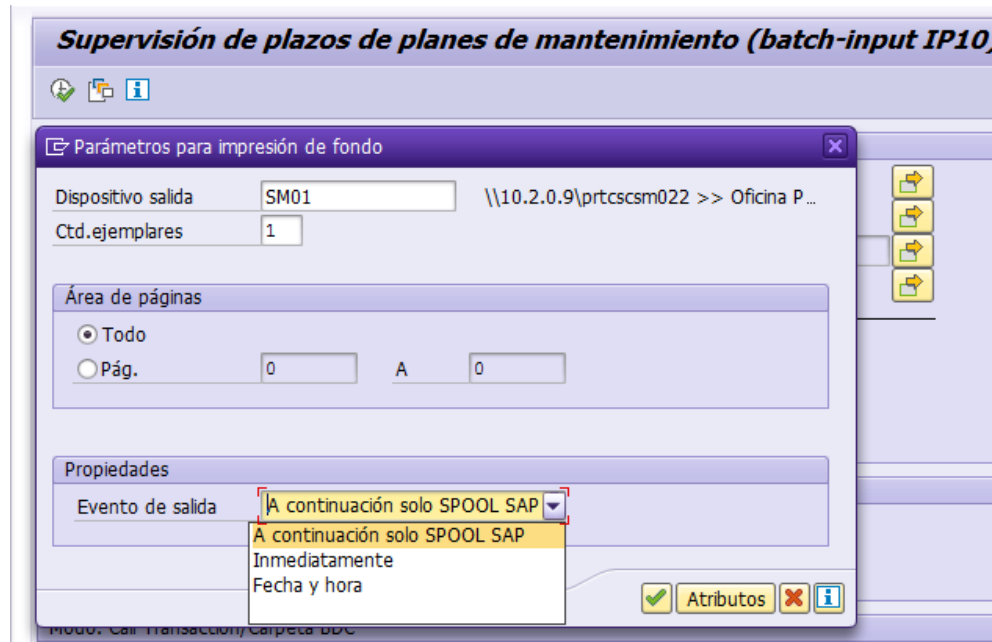
Figura 102. **Paso #3. Ejecutar proceso de fondo**



Fuente: sistema SAP.

- El sistema mostrará la pantalla Parámetros de impresión de fondo. En primer campo Dispositivo de salida, ingresar el código de la impresora que estará asignada para imprimir las OT's. Luego, en el campo Evento de salida colocar A continuación solo SPOOL SAP, que es un documento para el que se ha seleccionado una función de impresión, sin embargo, aún no ha salido por una impresora u otro dispositivo. Los datos de salida del documento se almacenan temporalmente hasta que se crea una petición de salida, es decir, hasta que se envía a un dispositivo de salida en particular. Luego, seleccionar el cheque verde para confirmar.

Figura 103. Paso #4. Parámetros para impresión de fondo

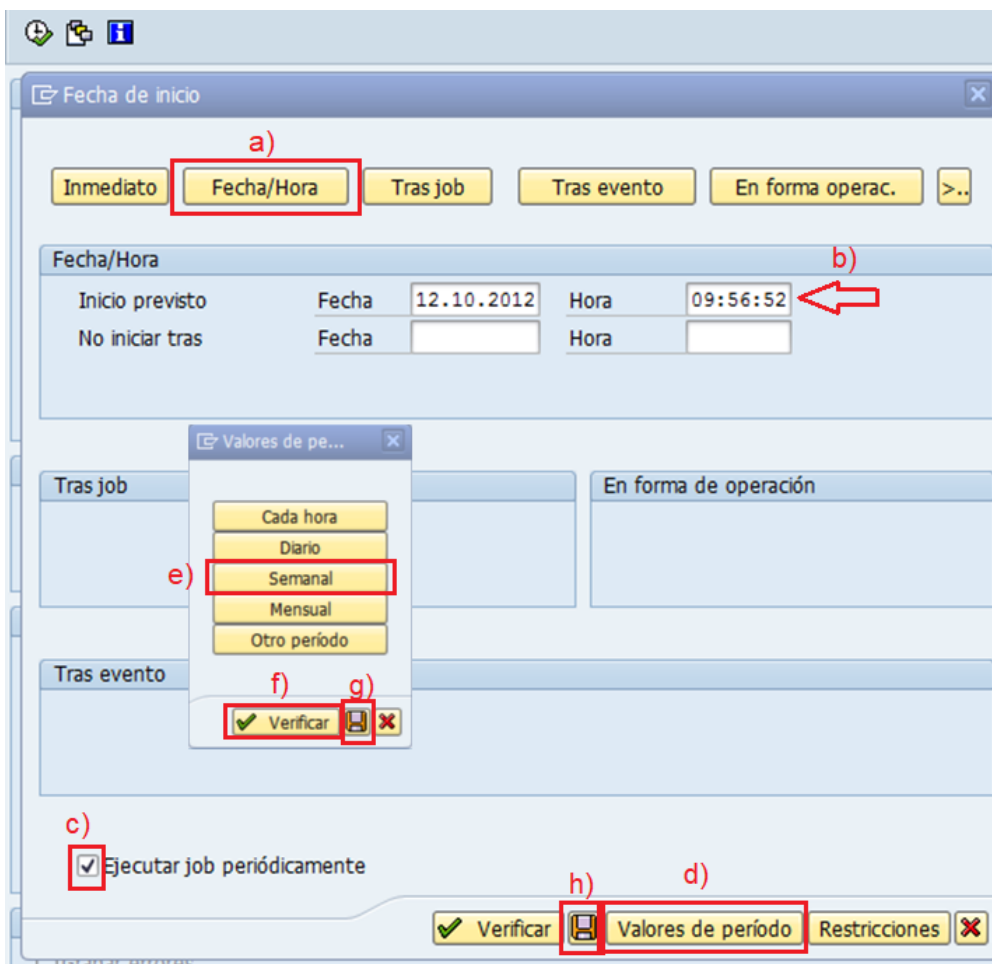


Fuente: sistema SAP.

- Luego de haber completado los parámetros de impresión, mostrará otra pantalla en donde se debe indicar la fecha y hora de inicio para que el sistema lance las OT's.
 - En esta pantalla seleccionar la opción Fecha/Hora y aparecerán los campos a ingresar.
 - En inicio previsto, colocar la fecha y la hora que se desea que se lancen las OT's automáticamente.
 - Luego, verificar que esté seleccionada la casilla inferior Ejecutar *job* periódicamente.
 - Luego, seleccionar en valores de periodo.

- El sistema mostrará otra pantalla en la cual se debe indicar los valores de periodo (cada hora, diario, semanal, mensual u otro periodo). Para este caso, seleccionar Semanal.
- Verificar el periodo.
- Grabar el periodo.
- Por último, grabar para guardar los datos de fecha de inicio del *job*.

Figura 104. Paso #5. Fecha de inicio del *job*



Fuente: sistema SAP.

- Ya realizados los pasos anteriores, SAP regresará a la página inicial del *job*. Para finalizar el proceso de lanzamiento de planes, únicamente seleccionar la flecha verde regresar.

Figura 105. **Paso #6. Concluir lanzamiento de planes**

Superv. plazos p. planes mantenim. preventivo

| | | | | |
|--------------------------|--------|---|--|--|
| Plan mant.preventivo | | a | | |
| Tp.plan manten. | PM | a | | |
| Cpo.clas.plan mant.prev. | | a | | |
| Estrategia mantenim. | 22-HY3 | a | | |

Intervalo para objetos de llama: 91 DÍA

Incl.reprogramación

Inicio inmediato para todos

Control de log

Log de aplicación

Log (batch input)

Modo: Call Transaction/Carpeta BDC

Transacción llamada

Modo llamada: N

Juego datos BDC

Nombre grupo: IP1020180919

ID usuario: JALVARADO

Fuente: sistema SAP.

3.9.10. Orden de trabajo (OT)

Es la herramienta que se utiliza para asignar, ejecutar y controlar todos los trabajos que se deben hacer en la planta, así como sus materiales y repuestos. La orden de trabajo permite dar seguimiento a todo el proceso de mantenimiento.

Existen varias clases de órdenes, de las cuales en este proceso solo se hará referencia a las clases PM01 la PM02.

- Orden de trabajo correctiva (clase: PM01)

Una orden de trabajo correctiva o clase PM01, puede ser creada por un aviso (reporte de avería, M2, o solicitud de mantenimiento, M1) o creada directamente (sin que exista un aviso); como su nombre lo indica, es la utilizada para corregir fallas en los equipos.

Esta clase de orden identifica qué se tiene que hacer para remediar un mal funcionamiento, reportado en un aviso.

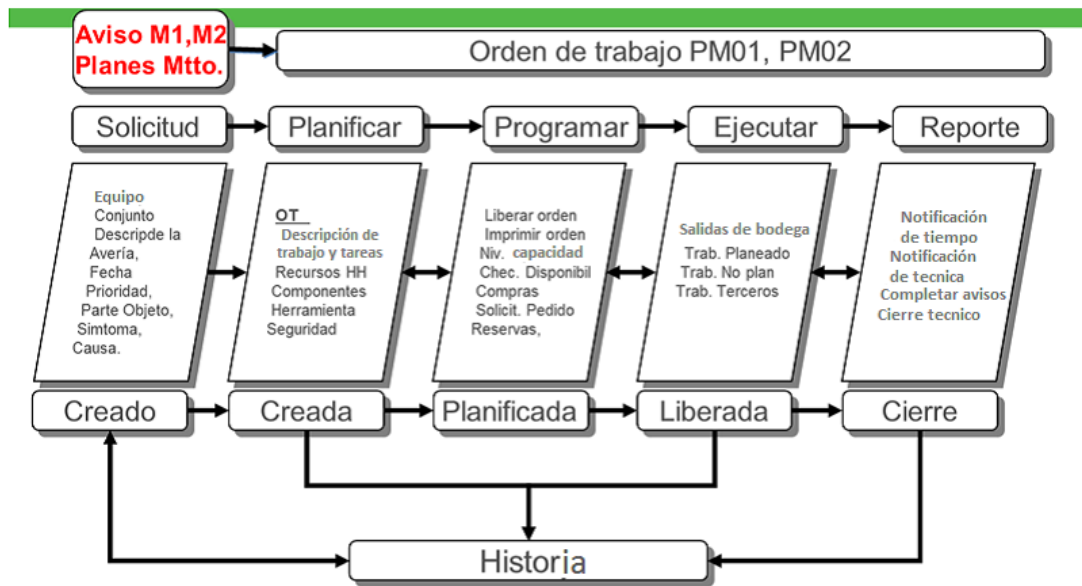
- Orden de trabajo preventiva (clase: PM02)

Una orden de trabajo preventiva, en un gran porcentaje, son creadas por SAP de manera automática, por los planes de mantenimiento, con base en una estrategia de mantenimiento, basada ya sea en el calendario o en actividades controladas por puntos de medida. Esta clase de orden identifica y permite planificar todas las actividades de mantenimiento que deben ejecutarse para preservar las condiciones normales de funcionamiento de los equipos.

3.9.10.1. Proceso funcional de la OT

Instrucción detallada y escrita que define el trabajo que debe realizarse por la organización del mantenimiento en la planta. Existe una serie de datos comunes en cualquier ramo industrial o de servicios, que deben estar presentes en este instrumento de información.

Figura 106. Diagrama de flujo de la OT



Fuente: Cementos Progreso, S.A., Planta San Miguel.

3.9.10.2. Proceso de la orden de trabajo

Se desarrolla el proceso a través de las fases siguientes:

- Listar y analizar avisos (M1 y/o M2) en modo MODIFICAR
- Crear orden de trabajo
- Planificación de tareas y recursos para la orden
- Autorización de la orden
- Asignación de componentes a la orden
- Norma de liquidación, liberación y disposición de recursos
- Ejecución del trabajo y prueba del equipo
- Entrega del equipo
- Documentación de la orden
- Cierre de la orden
- Análisis de fallas e indicador

3.9.11. Avisos de mantenimiento

Los avisos de mantenimiento son aquellos documentos dentro del sistema R/3, que sirven para tratar y archivar la información técnica de averías y trabajos de mantenimiento. Los avisos están relacionados de manera directa con las órdenes de mantenimiento.

Un aviso de PM se utiliza para comunicar al Departamento de Mantenimiento la condición actual de un equipo, en la cual se requiere la ejecución de un trabajo, o bien solo para informar que el mismo ha sido ejecutado. Es utilizado para generar documentación técnica sobre averías, así como para indicar la duración de las averías y si estas forzaron un paro.

En el módulo de PM existen tres clases de avisos de mantenimiento: solicitud mantenimiento (M1), aviso de avería (M2) y aviso de actividad (M3).

Solicitud de mantenimiento (M1): se utiliza para solicitar una actividad o una medida de mantenimiento. El procedimiento para la creación de una solicitud de mantenimiento es similar al de un aviso de avería.

Aviso de avería (M2): Este se usa para los trabajos de emergencia o averías que son producidos en los equipos.

Aviso de actividad (M3): describe una actividad de mantenimiento ya realizada. Es una documentación exclusivamente técnica. El aviso de actividad será útil para reportar trabajos que se han hecho sin documento alguno, por ejemplo después de algunas actividades de mantenimiento preventivo, para reportar los ajustes, o sustituciones de elementos etc. El procedimiento para la creación de un aviso de actividad es similar al de un aviso de avería.

3.9.11.1. Estructura de un aviso de mantenimiento en SAP

Un aviso está compuesto por objeto de referencia, circunstancias, responsabilidades y posiciones. En la figura 107 se muestra la vista principal de un aviso:

Figura 107. Ejemplo de aviso en SAP

The screenshot displays the SAP 'Visualizar aviso-MT: AVISO DE AVERIA' interface. The main header shows the notification number '11074998' and the description 'M2 Corregir alineamiento de faja'. The status is 'MECE'. The 'Objeto de referencia' section includes 'Ubic.técn.' (22-413-CS3) and 'UT FAJA ALIMENTACIÓN HORNO #3'. The 'Circunstancias' section contains 'SISTEMA' (SM, MAC, MAC), 'Descripción' (Corregir alineamiento de faja), and a detailed text description: 'Corregir alineamiento de faja lado rodo salida en conjunto de tension. esta gastando la estructura. Condición ya fue reparada, según rutina. Informa: Fredy Larios 11/06/2018.' The 'Responsabilidades' section lists 'Grupo planif.' (001 / SM), 'Pto.tbjo.resp.' (SM221012 / SM), and 'Autor del aviso' (CARLOS MEJIA) with a date of '02.04.2018' at '11:09:02'. The 'Posición' section shows 'Parte objeto' (CG001490, 0150), 'Sintoma Aver' (FM010400, 1870), and 'Causa' (FM030300, 1220). The text description is 'Desgaste en estructura por desalineamien' and 'Texto causa' is 'desalineamiento'.

Fuente: sistema SAP.

- Objeto de referencia:
 - Descripción del evento.
 - El objeto técnico que genera el aviso, es decir, una ubicación técnica o un equipo.

- El conjunto (si se necesita detallar una parte en especial del objeto técnico).
- Circunstancias:
 - Sistema: área o planta (SM para Planta San Miguel).
 - Una breve descripción del aviso.
 - Aviso explicado lo más detallado posible.
- Responsabilidades:
 - Grupo de planificación del mantenimiento.
 - Puesto de trabajo responsable del mantenimiento.
 - Autor del aviso.
 - Fecha y hora en la que se creó el aviso.
- Posición:
 - Parte objeto: clave que delimita más el objeto de referencia.
 - Síntoma de la avería: clave para la avería que se presenta según catálogo.
 - Texto: texto que amplía detalles de la avería.
 - Causas de la avería: clave según catálogo de posibles causas de avería, en caso de ser conocida.
 - Texto de la causa: texto que amplía detalles de la causa.

Una vez introducidos todos los datos se graba el documento y se obtiene un número de aviso.

3.9.11.2. Catálogos para avisos

Para mantenimiento existen catálogos a través de los cuales se hará una clasificación tanto de la función o especialidad como del tipo de equipo. Los catálogos a utilizar en nuestro caso son para:

- Partes de objeto: son los elementos del equipo, por ejemplo la carcasa.
- Síntomas de averías: son los síntomas que presenta una falla, por ejemplo condición física anormal.
- Causas de averías: es lo que causa la avería, por ejemplo mantenimiento inadecuado o un defecto de fábrica.

3.9.11.3. Avisos generados en planta de cal

Durante las inspecciones a los equipos durante el proyecto, se tuvo la oportunidad de realizar rutinas VOSO con el fin de generar avisos de mantenimiento y que estos ayudaran a que todos los equipos en la planta de cal estuvieran en óptimas condiciones.

Se generaron un total de 257 avisos los cuales se irán realizando en los mantenimientos preventivos. Los avisos críticos serán ejecutados con órdenes correctivas (PM01), para su pronta reparación.

Luego de generar el aviso en el sistema SAP, se realizó un formato en Microsoft Excel para llevar el historial y la contabilidad de los avisos. En la figura 108 se presenta un ejemplo de este formato. En dicho formato se muestra el HAC, la descripción del equipo, el número de aviso generado por el sistema SAP, el número de orden, el avance del aviso, el departamento o especialidad a la que

pertenece el aviso, el jefe responsable de coordinar la reparación, quien creó el aviso en el sistema y el tipo de aviso.

Figura 108. Ejemplo de avisos generados en calera

| Avisos Generados Líneas de cal | | | | | | | | | |
|--------------------------------|------------|---|----------|-------|-------|-----------------|-------------------|---------------|----------------|
| Nº. | HAC | DESCRIPCIÓN | No. AVIS | No. C | AVANC | DEPARTAMEN | RESPONSABI | CREADO PO | Tipo de avis |
| 193 | 22-562-SP1 | Habilitar señal de bloqueo, al bloquear sigue indicando listo en control central | 11079863 | | | Instrumentación | Edgar Porras | Enrique López | Seguridad |
| 194 | 22-562-VE1 | Habilitar el switch de llave automático-local | 11079860 | | | Eléctrico | Sebastian de León | Enrique López | Mantenibilidad |
| 195 | 22-562-TF3 | Habilitar el switch de llave automático-local | 11079861 | | | Eléctrico | Sebastian de León | Enrique López | Mantenibilidad |
| 196 | 22-563-VE4 | Cambiar contactor auxiliar, no habilita señal listo en modo | 11079830 | | | Eléctrico | Sebastian de León | Enrique López | Mantenibilidad |
| 197 | 22-562-CM2 | Revisión general, motor trabajando con aire forzado | 11079835 | | | Eléctrico | Sebastian de León | Enrique López | Mantenibilidad |
| 198 | 22-562-TF5 | Corregir anclaje de caja de control en campo | 11079865 | | | Eléctrico | Sebastian de León | Enrique López | Mantenibilidad |
| 199 | 22-563-CN1 | Instalar base para sensor de posición de la compuerta de descarga del filtro, ver fotografía, ,mayor información Enrique Lopez. | 11078115 | | | Mecánico | Víctor Ayala | Enrique López | Mantenibilidad |

Fuente: elaboración propia.

3.10. Gestión de cambio

La gestión de cambio es una herramienta de la gestión de activos. La gestión de activos es una buena herramienta para conseguir la optimización de costes, reducir el riesgo y flexibilizar la operación. Esta disciplina, ampliamente empleada desde hace décadas, se ha visto impulsada con un carácter más global e integrado en los últimos años.

3.10.1. Beneficios de la gestión de activos a nivel de planta

La gestión de activos a nivel de planta permite que el operario de mantenimiento identifique y evalúe de forma unívoca los activos, es decir, la unidad de producción y sus componentes para tomar las medidas adecuadas en caso de que se produzcan desviaciones del estado o condición deseado o esperado.

Con la supervisión, es decir, el registro y la evaluación de valores de proceso y magnitudes de estado, se puede determinar la condición de un componente o de un equipo, por ejemplo, de un dispositivo de campo.

En este caso se detecta, por ejemplo, que no se dispone de señales del sensor, lo que provoca el diagnóstico de rotura de cable. Este diagnóstico activa una demanda de mantenimiento que tiene como consecuencia una reparación, es decir, la sustitución del cable roto.

Esta actividad, en este ejemplo la sustitución del cable defectuoso, hace que el componente vuelva al estado deseado y cierra el circuito de mantenimiento.

La gestión de activos es importante porque puede ayudar a las organizaciones a:

- Reducir los costos totales de operar sus activos
- Reducir los costos de capital de invertir en la base de activos
- Mejorar el desempeño operativo de sus activos (reducir la tasa de fallas, aumentar la disponibilidad, etc.)
- Reducir los potenciales efectos negativos sobre la sanidad de operar los activos
- Reducir los riesgos de seguridad de operar los activos
- Minimizar el impacto ambiental de operar los activos
- Mantener y mejorar la reputación de la organización
- Mejorar el desempeño regulatorio de la organización
- Reducir los riesgos legales asociados con la operación de los activos

Durante el proyecto se puso énfasis en la gestión de cambio debido a que en la planta de cal se cuentan con activos que ya no están presentes en campo y siguen apareciendo en las pantallas de control central, en los diagramas de flujo, en el sistema SAP, etc. y esto genera confusiones y retrasos para el departamento de mantenimiento. En otros casos, se han instalado nuevos equipos y no se les ha dado seguimiento correcto ya que no están identificados en campo, no se creó Ubicación Técnica en SAP y otro aspecto muy delicado y que puede afectar a la seguridad del personal es que no están identificados en los paneles eléctricos y al momento de querer parar el equipo, no se tiene información de la ubicación del flip-on.


Por esto y muchas otras razones fue necesario crear un formato de gestión de cambio que tiene como objeto realizar los debidos cambios al momento de modificar o instalar un equipo nuevo. El formato abarca todas las áreas donde

puede estar involucrado el equipo. Cualquier colaborador de la planta que quiera realizar algún cambio o instalar un equipo, tiene como obligación llevar a cabo este formato y dejarlo como constancia en la red interna de la planta.

El formato abarca las siguientes tareas a cumplir para una correcta implementación de la gestión de cambio:

- Solicitar la creación de código HAC para la identificación del equipo.
- Añadir el equipo en mímica (Control Central).
- Programar el equipo en control central.
- Añadir el equipo en la estructura técnica de SAP.
- Rotular el equipo y botonera en campo para la identificación física.
- Asignar gaveta en cuarto eléctrico y rotularla.
- Actualizar listado de bloqueo en la red para el MCC asignado, imprimir y pegarlo en cuarto eléctrico.
- Crear PMR's para darle mantenimiento preventivo (mecánico, eléctrico, lubricación, instrumentación).
- Agregar el equipo en el balance de cargas (mecánico, eléctrico, lubricación, instrumentación).
- Crear plan de mantenimiento y programarlo, en SAP.
- Añadir repuestos del equipo en estructura técnica de SAP.
- Actualizar los diagramas eléctricos (archivo en la red).
- Actualizar los diagramas de flujo (archivo en la red).
- Entregar a biblioteca el(los) manual(es) del equipo (mecánico, eléctrico, lubricación, instrumentación).

Figura 109. Ejemplo de formato para gestión de cambio

| | | | | | | | | | |
|---|---|--|--|--|--|--|-----|------------|--|
|  | NOMBRE DEL DOCUMENTO | | | | | | | ID | |
| | Formato para modificación y/o Nueva Instalación de Equipos | | | | | | | FOR-001126 | |
| | | | | | | | | VERSIÓN | |
| | | | | | | | 1.0 | | |

Nombre del Proyecto: Cambio de HAC Fecha: 04/04/2018

Nombre del equipo: Compuerta desviadora 22-541-CD1

| Descripción | Actual | | | | Corregido | | | | Responsable | Estatus |
|-------------------------|-----------------|------------|--------------|------------|-----------------|------------|--------------|------------|----------------|---------|
| Control Central | 22-531-CD3 | | | | 22-541-CD1 | | | | Edgar Porras | |
| Campo | No identificado | | | | 22-541-CD1 | | | | RbM | |
| Estructura SAP | No existe | | | | 22-541-CD1 | | | | Andrés Cabrera | 100 |
| Cuarto Eléctrico | # gaveta | MCC | HAC | | # gaveta | MCC | HAC | | | |
| MCC | | | | | no aplica | no aplica | no aplica | | | |
| Listado MCC | | | | | no aplica | no aplica | no aplica | | | |
| PMR | Eléc | Mec | Instr | Lub | Eléc | Mec | Instr | Lub | | |
| Word | no aplica | no hay | no hay | no aplica | no aplica | pend | pend | no aplica | RbM | |
| Numero Plan (SAP) | no aplica | no hay | no hay | no aplica | no aplica | pend | pend | no aplica | RbM | |
| Diagrama eléctrico | No existe | | | | no aplica | | | | - | 100 |
| Diagrama de flujo | 22-531-CD3 | | | | 22-541-CD1 | | | | Andrés Cabrera | 100 |
| Manuales | no aplica | | | | no aplica | | | | | 100 |

Gestiona: _____ Fecha: _____
 Jefe de área (nombre y firma)

Autoriza: _____ Fecha: _____
 Gerente de área (nombre y firma)

Fuente: elaboración propia.

3.11. Fase de ahorro energético

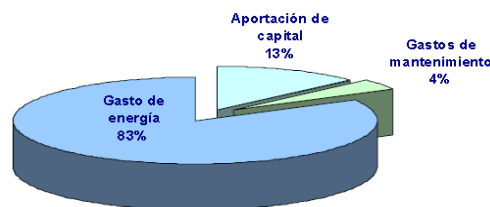
El aire comprimido es uno de los servicios que con frecuencia utilizan las Industrias. Es versátil y seguro; se emplea como un fluido de limpieza, refrigerante, elemento transportador, activador de herramientas neumáticas y de diversos sistemas de control; además, puede mezclarse con varios productos y resulta indispensable en infinidad de maquinaria.

Se usa en forma intensiva principalmente en los sectores industriales de alimentos, textil, madera, papelera, química, materiales de construcción, entre otros.

Sin embargo, su costo generalmente no se asocia a los costos de producción, a pesar de que utiliza, sin lugar a dudas, una cantidad sumamente significativa de energía, por lo que llega a ser mucho más caro que la electricidad, el gas y, en algunos casos, que el agua.

Típicamente, un sistema de aire comprimido, con una vida promedio de 10 a 15 años, divide sus gastos en un 83 % de electricidad, 13 % en inversiones de capital y 4 % en mantenimiento.

Figura 110. **Gastos en una instalación de aire comprimido**



Fuente: Secretaría de energía, SENER. Consulta: febrero, 2018.

3.11.1. Ahorro energético en sistemas de aire comprimido

El aire comprimido es un alto consumidor de energía y normalmente es olvidado en los programas de ahorro de energía de las industrias. Sin embargo, en muchas industrias puede ser el mayor consumidor de energía.

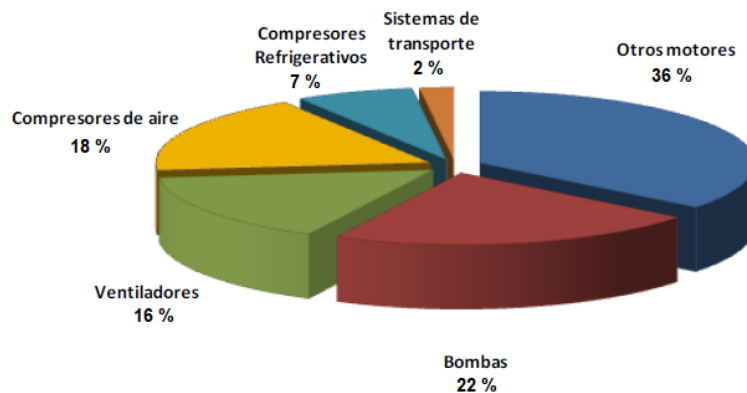
Los proyectos de ahorro de energía han demostrado que existe un buen potencial de ahorro, dado que la gran mayoría de las industrias poseen equipos, redes, tuberías, y aditamentos que no han sido concebidos con criterio ahorrador. Normalmente el ahorro de energía factible de lograr es de un 20 % pero para empresas que no han realizado programas de ahorro de energía el ahorro puede ser mucho mayor.

Se toma como ejemplo un compresor de 100 HP, conforme los costos de la energía promedio, este compresor pagó una factura cercana a 50 000 USD, si se ahorra un 20 % en el, se ahorran 10,000 USD al año, cantidad nada despreciable.

Para muchas instalaciones esto equivale a miles de dólares potenciales de ahorro económico, dependiendo de sus costumbres de uso y de las instalaciones y equipos. Un sistema de aire comprimido correctamente operado, puede generar ahorro de energía, requiere menor mantenimiento, disminuye los tiempos muertos, aumenta el rendimiento del procesamiento de la producción, y mejora la calidad del producto.

En la figura 111 está detallado el porcentaje de energía utilizada por diferentes equipos en una industria. Los compresores de aire consumen aproximadamente el 18 % del total de energía utilizada en una industria.

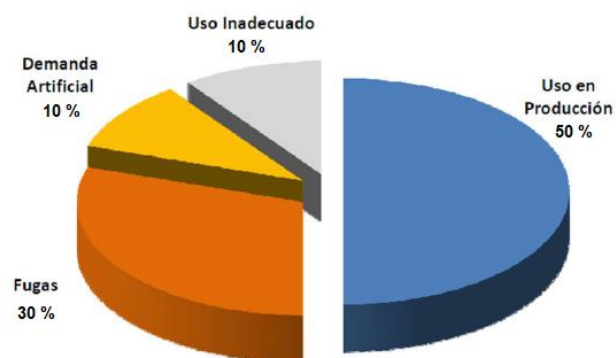
Figura 111. **Porcentaje de energía utilizada por compresores de aire**



Fuente: Cementos Progreso, S.A., Planta San Miguel.

La figura 112 muestra las áreas donde se consume el aire comprimido.

Figura 112. **Utilización del aire comprimido**



Fuente: Cementos Progreso, S.A., Planta San Miguel.

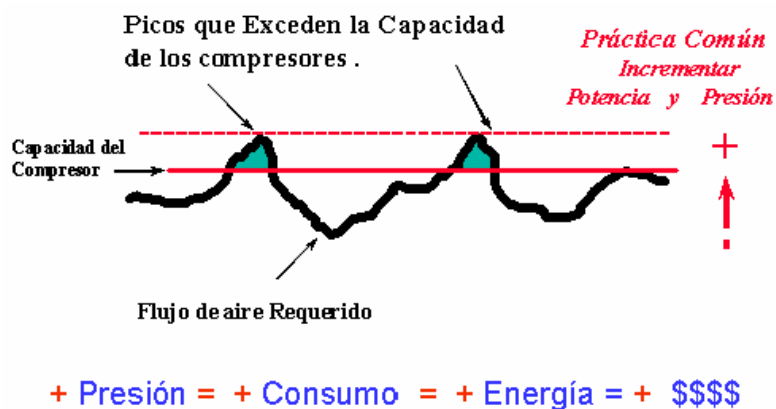
3.11.2. Ventajas de un sistema de aire comprimido correctamente diseñado

- Es eficiente.
- Genera ahorro de energía.
- Requiere menor mantenimiento.
- Disminuyen los tiempos muertos.
- Aumenta el rendimiento de la producción.
- Mejora la calidad del producto.

3.11.3. Demanda artificial

Se define como el exceso de volumen de aire, requerido por usuarios NO regulados debido al suministro de aire a una presión mayor que la requerida. La aplicación de controles de flujo/presión puede ayudar a reducir al mínimo la demanda artificial.

Figura 113. Picos en el flujo de aire por mal uso de aire comprimido



Fuente: Cementos Progreso, S.A., Planta San Miguel.

Una regla para sistemas que trabajan a 100 psi es: 2 psi de aumento equivale a 1 % de incremento en consumo energía considerando que el compresor entrega plena carga.

3.11.4. Usos inapropiados

Energéticamente hablando, el aire comprimido resulta el servicio más caro en una planta y dado que es limpio, que está disponible rápidamente y es simple de usar, a menudo se utiliza en aplicaciones inapropiadas en donde otras fuentes serían más económicas. Por lo anterior, al considerar el uso de aire comprimido, los usuarios deben evaluar el costo-beneficio de preferir otro tipo de servicio sin perjudicar la producción de la empresa. A continuación se destacan algunas acciones que se pueden observar para un mejor desempeño del sistema.

Un error común es dejar la succión del aire del compresor dentro del cuarto de máquinas, sin tomar en cuenta que éstas generan calor, el cual provoca que la temperatura del aire de succión sea alta, dando como resultado una baja eficiencia del compresor y, por lo tanto, un alto consumo de potencia del mismo. Por ello, se recomienda instalar un ducto de succión de aire fresco exterior, debidamente aislado, ya que se estima que por cada 4° C de incremento en la temperatura del aire de succión se incrementará un 1 % la energía consumida por el compresor para la misma cantidad de aire comprimido.

Analice la conveniencia de usar sopladores o ventiladores en lugar de aire comprimido para enfriar, aspirar, agitar, mezclar o para inflar cierto tipo de materiales para empacado. Por ejemplo, se puede utilizar ventiladores o aire acondicionado para enfriar gabinetes eléctricos en vez de los tubos vórtex, y para limpiar o remover desechos, se puede revisar la posibilidad de utilizar escobillas o sopladores.

Es más conveniente utilizar una bomba de vacío en lugar de crear vacío con aire comprimido a través del efecto vénturi. Valore la conveniencia de utilizar sopladores, actuadores eléctricos o hidráulicos, en lugar de aire comprimido, para mover partes, o bien, de utilizar equipos como pistolas de golpe, lanzadoras de aire, entre otras, que funcionen con presiones bajas de aire.

Revise la posibilidad de utilizar motores eléctricos de alta eficiencia en herramientas o actuadores, lo cual debe ser muy bien evaluado, ya que las herramientas eléctricas pueden tener menos precisión en el control del par, menor tiempo de vida y, además, no tienen la seguridad de las herramientas que utilizan aire comprimido.

Recuerde que toda herramienta neumática debe tener un regulador de presión instalado justo antes de la misma, para que trabaje con la presión a la que fue diseñada; de lo contrario, utilizará la presión total del sistema, incrementando con ello la demanda de aire y, por lo tanto, el consumo de energía. Además, los niveles altos de presión aumentarán su desgaste, reduciendo así su vida útil y elevando los costos de mantenimiento.

En casi todas las plantas, los equipos sufren cambios en su configuración, por lo que en algunas ocasiones éstos pueden quedar subutilizados; si éste es su caso, cierre la alimentación de esos equipos, en la medida de lo posible, siempre y cuando no afecte la operación de su proceso. Como regla general, el aire comprimido sólo deberá utilizarse si se existe la certeza de que el resultado será un aumento del valor, que signifique una ganancia en la productividad y/o una reducción de operaciones.

Si es indispensable usar aire comprimido para una aplicación, se deberá de utilizar la menor cantidad a la menor presión posible y con el menor tiempo de uso. El aire comprimido debe estar en constante control y evaluación.

3.11.5. Pérdidas por fugas

Las fugas en el sistema de aire comprimido representan un problema típico con la consecuente caída de presión en todo el sistema. Esta situación origina varios problemas operativos como son: un trabajo ineficiente de los equipos que utilizan este servicio lo que equivale a menor productividad; un aumento en la frecuencia de los ciclos del sistema de compresión, lo cual disminuye la vida útil de éste y la de los demás componentes del sistema; un aumento en los requerimientos de mantenimiento, que incrementa los paros no programados y, por último, obligará a elevar innecesariamente la capacidad de nuestro sistema de compresión.

Antes de decidir la compra de un compresor extra, usted deberá de estudiar el efecto de las fugas, ya que arreglándolas puede obtener esa capacidad extra que requiere. La tabla VI le puede ser de utilidad para determinar rápidamente la cantidad de aire y potencia que se está desperdiciando

Tabla VI. **Costos por fugas de aire comprimido**

| Diámetro de la Fuga | Perdida de Aire | Perdida por Día | Perdida por Día USD | Perdida Año USD |
|---------------------|---------------------|------------------|---------------------|--------------------|
| PULGADAS | PIES CUBICOS MINUTO | PIES CUBICOS DIA | \$ | \$ |
| 1/64 | 0.40 | 576 | 0.14 | 50.40 |
| 1/32 | 1.60 | 2,304 | 0.58 | 211.00 |
| 3/64 | 3.66 | 5,270 | 1.32 | 481.00 |
| 1/16 | 6.45 | 9,288 | 2.32 | 846.00 |
| 3/32 | 14.50 | 20,880 | 5.22 | 1,904.00 |
| 1/8 | 25.80 | 37,152 | 9.29 | 3,389.00 |
| 3/16 | 58.30 | 93,952 | 21.00 | 7,661.00 |
| 1/4 | 103.00 | 148,320 | 37.08 | 13,526.00 |
| 5/16 | 162.00 | 233,280 | 58.32 | 21,275.00 |
| 3/8 | 234.00 | 336,960 | \$84.24 | \$30,731.00 |

*** NOTA: Cálculos basados en un sistema de 100 PSI, con un costo promedio por Kw/Hr de \$0.15 USD



Fuente: UE Systems. <http://www.uesystems.com/resources/charts-and-graphs-2/air-leak-costs>.
Consulta: julio, 2018.

Debido a que la mayoría de las veces las fugas del aire comprimido son imperceptibles, inodoras y prácticamente imposibles de ver, se pueden emplear diferentes métodos para su localización; la mejor forma para detectarlas es mediante la utilización de un detector acústico ultrasónico, el cual puede reconocer la alta frecuencia de los ruidos y sonidos asociados con las fugas de aire.

Sin embargo, la compra o renta de ese tipo de detectores resulte muy caras, por lo que un método simple y económico consiste en utilizar espuma de jabón, la cual se aplica con una brocha en las áreas a inspeccionar.

Principales fuentes de fugas:

- Válvulas de seguridad en depósitos.
- Válvulas de corte.
- Válvulas en general.
- Reguladores.
- Conexiones rápidas.
- Herramientas neumáticas.
- Juntas de tuberías y mangueras.
- Equipos.

Recomendaciones para disminuir las fugas:

- Inspeccionar las empaquetaduras de válvulas, reemplazándolas en caso necesario.
- Reemplazar aquellas válvulas que tengan un cierre defectuoso.
- Asegurarse de contar con buenas conexiones en las mangueras o tuberías flexibles
- Utilizar mangueras de buena calidad
- No utilizar el aire para soplado o limpieza en general, si se requiere es mejor utilizar aire a menor presión
- Instalar drenes y separadores de condensado en los extremos de los ramales para evitar utilizar aire para la limpieza de las líneas
- Registrar las fugas y su ubicación para tener control del mantenimiento necesario (colocando una etiqueta para su posterior reparación)
- Efectuar el mantenimiento a intervalos regulares.

3.11.6. Propuesta de ahorro energético

Durante el proyecto se realizaron periódicamente inspecciones en campo y esto ayudó a identificar deficiencias con el uso de aire comprimido en Planta San Miguel. Esta propuesta de ahorro energético se enfocará en las malas prácticas del uso de aire comprimido.

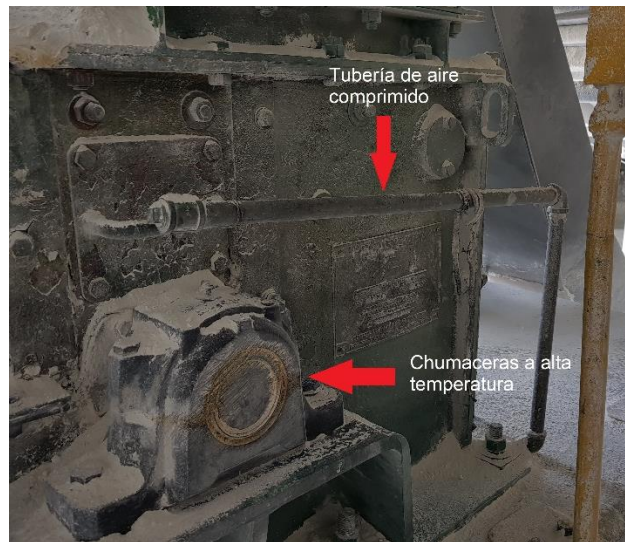
Se identificó en la línea 1 de cal que aún utilizan aire comprimido para el enfriamiento de las chumaceras de la trituradora de cal viva (22-531-TS1). Esto es una mala práctica ya que utilizar el aire comprimido para el enfriamiento de cualquier tipo de equipo o maquinaria conlleva a un consumo excesivo de energía eléctrica.

Figura 114. Trituradora de martillos, línea 1 de cal



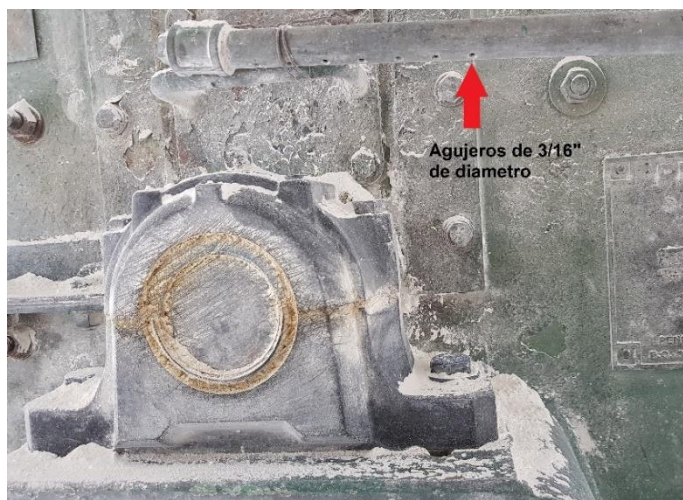
Fuente: Cementos Progreso, S.A., Planta San Miguel.

Figura 115. **Tubería de aire comprimido para enfriamiento de chumaceras**



Fuente: Cementos Progreso, S.A., Planta San Miguel.

Figura 116. **Agujeros para la salida del aire comprimido**



Fuente: Cementos Progreso, S.A., Planta San Miguel.

En las fotografías anteriores se puede observar que la tubería tiene 7 agujeros de 3/16", asimismo, en la chumacera del otro extremo. En total son 14 agujeros. La presión se mantiene a 100 psi.

3.11.6.1. Cálculos

A continuación se representan los cálculos de los costos que genera el compresor para el enfriamiento de las chumaceras:

Datos:

Cantidad de agujeros: 14

Diámetro del agujero: 3/16"

Presión del sistema: 100 psig

Costo de la energía en dólares: 0,135 \$/kWh

Perdida de aire para un agujero de 3/16" a 100 psi: 58,30 CFM (pies³/min)

Datos del compresor:

Marca: Kaeser

Modelo: ESD 250

Potencia nominal: 250 Hp (186,5 kW)

Capacidad a 100 psi: 1 302 CFM

Eficiencia del motor: 95,5 %

Días de operación al año: 305 días (estimado)

Horas de operación al año: 7 320 horas

- Volumen de aire comprimido por año de operación

$$\begin{aligned}
 &= (\text{capacidad del compresor CFM}) * (\text{hrs de trabajo al año}) \\
 &= (1\,302\text{ CFM}) \left(\frac{60\text{ min}}{1\text{ hr}} \right) (7\,320\text{ hrs}) \\
 &= 571\,838\,400,00 \frac{\text{pies}^3}{\text{año}}
 \end{aligned}$$

- Costo del consumo de energía eléctrica del compresor al año:

$$\begin{aligned}
 &= \frac{HP * 0,746 * \left(\frac{\$}{kWh} \right) * (\text{horas de op.})}{\text{Eficiencia motor}} \\
 &= \frac{(250)(0,746)(0,135)(7\,320)}{0,955} \\
 &= 192\,938,56\ \$ / \text{año}
 \end{aligned}$$

- Costo en dólares por pie cubico:

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Costo energía}}{\text{Volumen aire comprimido}} \\
 &= \frac{192\,938,56\ \$ / \text{año}}{571\,838\,400,00\ \text{pie}^3 / \text{año}} \\
 &= 0,0003374\ \$ / \text{pie}^3
 \end{aligned}$$

- Consumo de aire comprimido en un agujero de 3/16" por año de operación:

$$\begin{aligned}
 &= (58,30\text{ CFM}) * \left(\frac{60\text{ min}}{1\text{ hr}} \right) * 7\,320\text{ hr} \\
 &= 25\,605\,360,00\ \text{pies}^3 / \text{año}
 \end{aligned}$$

- Consumo de aire comprimido en 14 agujeros de 3/16" por año de operación:

$$= 25\,605\,360,00 \frac{\text{pies}^3}{\text{año}} * 14$$

$$= 358\,475\,040,00 \text{ pie}^3/\text{año}$$

- Consumo de potencia en kW por un agujero de 3/16":

Para obtener el consumo de kW debemos calcular primero la potencia específica del compresor con la siguiente formula:

$$\text{Pot. Esp.} = \frac{\text{Potencia del motor (kW)}}{\text{Flujo producido (CFM)}}$$

$$\text{Pot. Esp.} = \frac{250 \text{ hp} * \left(\frac{0,746 \text{ kW}}{1 \text{ hp}}\right)}{1\,302 \text{ CFM}} = \frac{186,5 \text{ kW}}{1\,302 \text{ CFM}}$$

$$\text{Pot. Esp.} = 0,1432 \text{ kW/CFM}$$

Posteriormente multiplicamos la potencia específica por el flujo (CFM) consumido en un agujero de 3/16" (tabla VI).

$$\text{kW} = (\text{Pot. Esp.}) * (\text{CFM consumidos})$$

$$\text{kW} = (0,1432 \text{ kW/CFM}) * (58,3 \text{ CFM})$$

$$\text{kW} = 8,351 \text{ kW por un agujero de 3/16"}$$

- Consumo de energía eléctrica por 14 agujeros de 3/16" al año:

$$= 8,351 \text{ kW} * 14 * 7\,320 \text{ hrs}$$

$$= 855\,810,5 \text{ kWh al año}$$

- Perdidas en \$:

- Método 1:

$$= (\text{consumo de aire}) * (\text{costo por pie}^3)$$

$$= (358\,475\,040,00 \text{ pie}^3/\text{año}) * (0,0003374 \text{ \$/pie}^3)$$

$$= 120\,949,5 \cong 120\,950,00 \text{ \$/año}$$

- Método 2:

$$= (\text{consumo de energía al año})(\text{costo energía \$/kWh})$$

$$= (855\,810,5 \text{ kWh})(0,135 \text{ \$/kWh})$$

$$= 115\,534,4 \cong 115\,535,00 \text{ \$/año}$$

3.11.6.2. Discusión de resultados

Utilizar el aire comprimido para refrigeración de piezas o equipos es un error que genera gastos excesivos para una planta. De los resultados anteriores se puede reflejar que se está malgastando aproximadamente 120 950,00 dólares (905 915,5 quetzales) al año, por el uso de aire comprimido para el enfriamiento de las chumaceras de la trituradora de martillos. Esto es un gasto innecesario ya que existen otros equipos que son los adecuados para estas tareas. Este gasto es únicamente en un equipo, si buscamos todas las fugas que existen en la red de aire comprimido, este ahorro serian aún mayor. El aire comprimido no es el

adecuado para enfriar ya que para este proceso no se necesita presión de aire sino lo que se necesita es mayor volumen y mayor caudal de aire; esto se puede conseguir con ventiladores o sopladores.

3.11.6.3. Propuesta para el cambio del sistema

El objetivo de este análisis energético es dar a conocer una propuesta para el cambio del aire comprimido por otro equipo que sea el indicado para esta tarea y que sea lo más eficiente posible y que refleje el ahorro energético.

El equipo que se recomienda utilizar para el enfriamiento de las chumaceras o rodamientos, son los sopladores o ventiladores. Para los cálculos se usaran los datos de un ventilador existente en el almacén el cual es marca Soler & Palau.

Los ventiladores de tipo centrífugo con rodete de alabes rectos radiales, cubren un amplio rango de caudal manejando presiones medias.

Características principales: carcasa en acero electrosoldada, rotor de alabes rectos radiales fabricado en fundición de aluminio. Motor acoplado directamente a la turbina.

Aplicaciones: cámaras de pintura, secadores, manejo de humo, polvo, presurización en procesos industriales, refrigeración de maquinaria, entre otras.

Figura 117. **Ventilador Soler & Palau**



Fuente: Soler & Palau. <http://www.solerpalau.mx/151/producto/csb-t/1/>. Consulta: julio, 2018.

A continuación se representan los costos para la instalación de un soplador y el ahorro que generaría utilizar este equipo:

- Características del soplador:
 - Marca: Soler & Palau.
 - Potencia: 1,5 hp.
 - Voltaje: 480 V, 3 fases.
 - Capacidad: 2 000 CFM.

Tabla VII. **Instalación eléctrica de soplador Soler & Palau**

| No. Tarea | Cant. | Descripción |
|-----------|-------|---|
| 1 | 10 m | Instalación de tubería conduit de aluminio de 3/4 con 4 conductos, sujeta con abrazaderas conduit y tarugos Hilti (en hormigón), a una altura de 3 m aprox. |
| 2 | 50 m | Cableado de TSJ 4x14 de MCC hacia motor en campo, el recorrido es: 40 m en bandeja a 5 m de altura, y 10 m en tubería a 3 m de altura aprox. |
| 3 | 50 m | Cableado TSJ 4x16 de MCC hacia botonera en campo, el recorrido es: 40 m en bandeja a 5 m de altura, y 10 m en tubería a 3 m de altura aprox. |
| 4 | 10 m | Cableado de TSJ 4x16 para interconectar MCC con PLC, a 3 m de altura aprox. |
| 5 | 1 | Conexión de motor en campo y MCC, según diagrama. |
| 6 | 1 | Instalación de botonera en campo. |
| 7 | 1 | Conexión de botonera en campo y MCC, según diagrama. |
| 8 | 1 | Conexión de cable de control en MCC y PLC, según diagrama. |
| 9 | 1 | Prueba de equipo, asegurando parámetros de voltaje y corriente de placa de motor y señales en PLC. |

Fuente: elaboración propia.

Nota: los materiales se obtendrán del almacén de la planta.

Total mano de obra para instalación eléctrica: Q. 15 000,00.

Tabla VIII. **Materiales para instalación eléctrica**

| Cant. | Medida | Descripción | PNS | Costo U | Total |
|-------|--------|---|-----------|----------|----------|
| 4 | U | Tubos conduit de aluminio de 3/4 | 6380-0002 | 46,78 | 187,12 |
| 50 | m | Cable TSJ 4x14 awg | 6314-0033 | 12,05 | 602,5 |
| 60 | m | Cable TSJ 4x16 awg | 6313-0144 | 7 | 420 |
| 1 | U | Botonera arranque y paro | 6323-0023 | 2 485,33 | 2 485,33 |
| 3 | Pies | Tubo flexible LT de 1/2'' | 6380-0006 | 3,33 | 9,99 |
| 4 | U | conectores rectos para LT de 1/2 | 6370-0022 | 4,1 | 16,4 |
| 2 | U | Reducidores galvanizados de 3/4'' a 1/2'' | 5607-0073 | 2,43 | 4,86 |
| 1 | U | Tuerca tope de 1/2'' | 6381-0047 | 1,05 | 1,05 |
| 1 | U | Tuerca bushing de 1/2'' | 6381-0040 | 0,73 | 0,73 |
| 6 | U | Abrazadera conduit de 3/4'' | 5602-0025 | 0,57 | 3,42 |
| 8 | U | Tuerca expansión 1/4'' | 5535-0025 | 1,22 | 9,76 |
| 8 | U | Tornillo hexagonal 1/4'' x 2'' | 5514-0010 | 0,39 | 3,12 |
| 20 | U | Cincho Ty-Rap de 11'' | 6381-0008 | 0,34 | 6,8 |
| 4 | U | Terminal cerrada 14 | 6376-0070 | 1,5 | 6 |
| 20 | U | Terminal Starfix 16 | 6376-0026 | 0,55 | 11 |
| 1 | U | Cinta de aislar 33 | 6369-0004 | 26,6 | 26,6 |

Total = Q. 3 794,68

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Materiales para instalación mecánica**

| Cant. | U/medida | Cantidad | PNS | Costo U | Total |
|--------------|-----------------|-------------------------|------------|----------------|--------------|
| 2 | U | Codo galvanizado de 3'' | 5605-0022 | 45,83 | 91,66 |
| 4 | U | Codo galvanizado de 1'' | 5605-0017 | 4,91 | 19,64 |
| 4 | U | Tee galvanizada de 1'' | 5610-0005 | 4,62 | 18,48 |
| 2 | U | Tee galvanizada de 3'' | 5610-0010 | 43,65 | 87,3 |
| 4 | U | Llaves de globo de 1'' | 7501-0248 | 1 210,28 | 4 841,12 |
| 20 | Pies | Tubo galvanizado 1'' | 5652-0006 | 3,89 | 77,8 |
| 20 | Pies | Tubo galvanizado 3'' | 5652-0035 | 43 | 860 |

Total = Q. 5 996,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Costo del ventilador**

| Cant. | U/medida | Cantidad | PNS | Costo U | Total |
|--------------|-----------------|--------------------------------------|------------|----------------|--------------|
| 1 | U | Ventilador Soler & Palau CST 2000 | 6602-0011 | 8 083,93 | 8 083,93 |

Total = Q. 8 083,93

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Costo de instalación de ventilador**

| Descripción | Costo U | Total |
|---|----------|---------------------|
| Mano de obra mecánica | 4 200 | 4 200 |
| Mano de obra eléctrica | 15 000 | 15 000 |
| Materiales para la instalación mecánica | 5 996,22 | 5 996,22 |
| Materiales para la instalación eléctrica | 3 794,68 | 3 794,68 |
| Costo del Ventilador soler & Palau CST 2000 | 8 083,93 | 8 083,93 |
| Total instalación = | | Q. 37 074,83 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Costos en dólares y en quetzales**

| Costo ventilador | Costo instalación mecánica | Costo instalación eléctrica | Costo de la instalación |
|------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| \$1 079,30 | \$1 361,28 | \$2 509,30 | \$4 949,91 |
| Q. 8 083,93 | Q. 10 196,00 | Q. 18 794,68 | Q. 37 074,83 |

Nota: tipo de cambio 7,49 (consulta: julio, 2018, página del Bando de Guatemala)

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Consumos actuales y ahorros estimados**

| Consumo actual kWh/año | Consumo futuro kWh/año | Ahorro de energía al año en kWh | Costo actual al año | Costo futuro al año | Ahorro al año |
|-------------------------------|-------------------------------|--|----------------------------|----------------------------|----------------------|
| 855 810,50 | 8 191,08 | 847 619,42 | \$120 950,00 | \$1 105,80 | \$119 844,20 |
| | | | Q905 915,50 | Q8 282,41 | Q897 633,09 |

Fuente: elaboración propia.

Para la instalación de un ventilador para el enfriamiento de las chumaceras de la trituradora se debe hacer una inversión inicial de Q. 37 074,84 pero comparado con el consumo de energía del compresor que actualmente se tiene y los costos que este genera, es considerablemente rentable instalar este ventilador, ya que se tendrá un ahorro estimado de Q. 897 633,09 al año.

4. FASE DE DOCENCIA

4.1. Presentación del proyecto a trabajadores

La presentación del proyecto a los trabajadores, se hará en dos fases:

En la primera fase la presentación ira dirigida al Gerente de Mantenimiento, Gerente de Mantenimiento Mecánico, Gerente de Confiabilidad, Jefe de Control de Mantenimiento y Planificadores, a fin de dar a conocer la implementación y mejora del sistema de gestión del mantenimiento en planta de cal. Los planificadores quienes son los encargados de generar las órdenes de mantenimiento se les presentará el proyecto, a fin de familiarizarse con las rutinas y planes de mantenimiento de calera, dando a conocer de esta forma las actividades a realizar por el personal operativo.

La segunda fase ira dirigida a los trabajadores del área de planta de cal, en la cual debe estar presente el Gerente de Producción, operador de control de central y mecánicos de turno. En esta segunda fase se dará a conocer las implementaciones en la planta, como por ejemplo, la identificación de los equipos en campo y en paneles eléctricos, las frecuencias en las que van a parar los equipos, las gestiones de cambio que se han realizado en los activos, los equipos a los cuales se les realizará mantenimiento, entre otros.

Figura 118. **Fotografía #1. Presentación de proyecto**



Fuente: Cementos Progreso, S.A., Planta San Miguel.

Figura 119. **Fotografía #2. Presentación de proyecto**



Fuente: Cementos Progreso, S.A., Planta San Miguel.

4.2. Compromiso y mejora continua

Todo el personal que labora en la empresa se debe concienciar de la gran importancia que conlleva la implementación de este sistema de mantenimiento, tanto los beneficios personales como de la organización y a la vez comprometerse a brindar toda la ayuda necesaria, a fin de lograr todos los objetivos trazados y propuestos.

La mejora continua se hará con base en la aplicación de una acción cíclica que consta de cuatro fases fundamentales:

- Planificar: con base en la situación actual y a los recursos de que se dispone definir plenamente los objetivos que se quieren cumplir con la implementación del programa de mantenimiento, e ir avanzando y asegurando cada uno de ellos.
- Ejecutar el programa: una vez fijado el punto de partida y a los objetivos a los que se quiere llegar, se deben gestionar los recursos disponibles para lograrlos.
- Controlar: es necesario evaluar el grado de cumplimiento de los objetivos marcados, el control de los resultados se realizará en comparación con las metas prefijadas.
- Actuar: si existen desviaciones entre el modelo prefijado y los resultados, se debe proceder a corregir actuando sobre la planificación y la ejecución, estableciéndose así la retroalimentación del sistema.

4.3. Personal encargado de administrar el mantenimiento

En cada departamento debe haber personal que se encargue de administrar las actividades que le corresponden al departamento, en planta calera el departamento encargado de la administración del mantenimiento recibe el nombre de planificación, el cual es presidido por el Jefe de Planificación, quien tiene a su cargo la dirección y coordinación entre las áreas productivas y el departamento que tiene a su cargo. En el departamento de planificación se encuentran instalados los asistentes administrativos asignados a cada área productiva, quienes tienen a su cargo crear las reservas de materiales, cerrar las ordenes de mantenimiento y otras actividades.

4.4. Implementaciones

Se presentó a los gerentes las implementaciones más importantes del proyecto y las que darán una mejora en la gestión del mantenimiento preventivo.

4.4.1. Equipos críticos

Una planta de cal comprende muchos tipos diferentes de maquinaria, pero, ¿cuáles son los más importantes para el proceso y que por ende requieren mayor atención? Para priorizar y enfocar las actividades de mantenimiento se debe asignar un nivel de criticidad (A, B y C) a cada equipo de la planta.

- Criticidad A: es todo aquel equipo que como resultado de una falla, provoca el paro inmediato del equipo principal de la línea de producción.
- Criticidad B: es todo aquel equipo que como resultado de una falla, provoca el paro de la línea de producción en las veinticuatro horas siguientes.

- Criticidad C: equipo que cuando falla no afecta la producción dentro las 24 horas siguientes.

4.4.2. Balances de carga

Es una herramienta fundamental a implementar en el proyecto ya que este ayudará a saber la cantidad de horas/hombre en un mantenimiento y las cuales tendrán que estar homogenizadas y se realizarán por cada área (mecánico, eléctrico, entre otras). Esta herramienta ayudará a nivelar los recursos de tiempo y mano de obra en los mantenimientos.

4.4.3. Frecuencias del mantenimiento

Se dio la necesidad de implementar nuevas frecuencias de paro analizando cada uno de los equipos para que la probabilidad de usar el mantenimiento correctivo sea baja. Actualmente se cuenta con distintas frecuencias para ejecutar el mantenimiento programado, estas frecuencias se han determinado, con base a las recomendaciones del fabricante (manuales), experiencia del personal operativo, tiempo de operación de la maquinaria y a las condiciones ambientales en las que opera la maquinaria.

Para realizar los mantenimientos preventivos en dichas frecuencias, se crearon planes de mantenimiento, agrupando cada uno de los equipos en su respectiva frecuencia.

Las nuevas frecuencias de mantenimiento en planta de cal son las siguientes: 8, 24, 48 y 96 semanas para los equipos del área de hidratadora; trimestral, semestral y anual para los equipos del área del horno.

4.4.4. Plan anual de mantenimiento

A partir del presupuesto de producción y de las necesidades de mantenimiento de los diferentes equipos, el jefe de mantenimiento del área y el planificador establecen las fechas de las actividades de mantenimiento que se llevaran a cabo durante el año. Estas actividades son recopiladas y revisadas por el jefe de planificación con el superintendente de mantenimiento mecánico y eléctrico, y las traslada al plan anual de mantenimiento.

El plan anual de mantenimiento contiene los mantenimientos periódicos programados (preventivos), a realizarse en los diferentes equipos, el plan anual ayuda a tener una perspectiva general del desarrollo del mantenimiento en planta y así coordinar con anticipación los recursos necesarios para llevar a cabo un buen mantenimiento. El plan anual de mantenimiento tiene una duración de 52 semanas, podría decirse que está constituido por cuatro grupos de 13 semanas, y dentro de este plan se contempla la programación de los equipos críticos clase A, clase B y clase C, respectivamente.

4.4.5. Plan diario/semanal de mantenimiento

El plan diario/semanal se deriva del mismo plan maestro de mantenimiento, ya que en el incluye las actividades que se realizaran en cada día de la siguiente semana, el planificador es el encargado de revisar los avisos que hayan sido generados en el sistema, de tal forma que puedan ser efectuadas las correcciones, mediciones, modificaciones u otras actividades requeridas. Estos avisos pueden ser M1 y M2; donde M1 se generan cuando se ha detectado un mal funcionamiento o las condiciones que opera el equipo no son las normales, pero no son tan críticas como para detenerlo, y por lo tanto, se requiere que para el próximo mantenimiento planeado se tomen las medidas pertinentes para

corregir esta situación. Y los avisos M2 que son aquellos en los que el equipo no puede seguir operando bajo las mismas condiciones y por lo tanto es necesario hacerle una reparación. Dependiendo de la criticidad del aviso, este puede incluirse directamente en el plan diario/semanal, la decisión de incluir algún aviso directamente en el plan diario/semanal es tomada por el jefe de mantenimiento del área en coordinación con el planificador, con base a la criticidad del equipo del que se trata y la posibilidad de ejecución de las actividades necesarias.

De ser necesario, realizar una corrección de emergencia el asistente administrativo modifica las órdenes de trabajo del plan diario/semanal o genera órdenes de trabajo para que se ejecuten los avisos emergentes.

4.4.6. Otras implementaciones

Otras implementaciones que se ejecutaron durante el proyecto y que tuvieron como finalidad tener actualizada y ordenada la información y que esté al acceso de los trabajadores fueron: fichas técnicas de los equipos críticos, diagramas de flujo de las tres líneas de producción de cal, listado de repuestos de los equipos, estructuración y ordenación de ubicaciones técnicas en SAP, etiquetado de los equipos en campo y en paneles eléctricos, actualización de los listados de bloqueos de los equipos y los puestos de trabajo para cada especialidad.

4.5. Factores importantes en el mantenimiento

Los factores que se deben de tomar en cuenta para evitar problemas, mejorar el rendimiento o bien para evitar que un problema se haga más grave en un equipo, son:

4.5.1. Repuestos

Hay dos aspectos importantes que se deben tomar en cuenta especialmente para la administración de repuestos. El primero es la criticidad del repuesto, ya que hay piezas que forman parte de equipos críticos, sin embargo, la criticidad de estas piezas no tiene el mismo valor, que la del equipo dentro del proceso; un ejemplo es un empaque de una compuerta de revisión en un transportador de tornillo, que no tiene la misma criticidad que cualquier elemento del equipo de transmisión de potencia. Otro aspecto es el tiempo de entrega que está comprendido, entre el momento en que se hace el pedido, y el momento en que el repuesto puede ser utilizado para el mantenimiento; un mismo distribuidor tiene tiempos de entrega diferentes para piezas de una misma máquina, o bien, un mismo repuesto puede tener tiempos de entrega diferentes en distintos proveedores.

4.5.2. Rutinas de mantenimiento

Tanto su frecuencia como la cantidad de horas, deben ser estudiadas y analizadas a profundidad para determinar si realmente cumplen; en caso contrario, deben modificarse.

Una rutina de mantenimiento puede no estar funcionando por diferentes razones, por ejemplo, a causa de una modificación en el equipo, que no abarque

todos los elementos que requieren mantenimiento, o porque no tenga todas las actividades que se realizan sobre un mecanismo o elemento del equipo.

Cuando una rutina de mantenimiento no está funcionando, los problemas se reflejan en la calidad del mantenimiento; los costos de mantenimiento aumentan, porque aumenta el porcentaje de mantenimiento correctivo; es en este momento cuando se debe planificar una mejora o un cambio de las rutinas, para mejorar la calidad del mantenimiento.

Con una rutina de mantenimiento apropiada, se debe aumentar la disponibilidad del equipo, porque es una herramienta que ayuda enormemente a ejecutar el mantenimiento en forma eficaz. Es una guía de las actividades que deben ejecutarse en la máquina; instruye al colaborador en temas de seguridad industrial, porque especifica qué equipo se debe utilizar durante el trabajo; ahorra tiempo porque especifica qué tipo de herramienta se necesita para la ejecución del mantenimiento y el material, si se tuviera que usar; tiene un listado de las indicaciones que se deben ejecutar antes de empezar el mantenimiento, como por ejemplo, bloquear eléctricamente la maquina; indica las precauciones que se deben tomar para hacer el trabajo, como por ejemplo, en una máquina de transporte de tornillo sinfín no trabajar con las piernas dentro de la carcasa, mientras no esté desacoplado de la transmisión; tiene una rutina de limpieza que hay que realizar después de terminado el trabajo, por lo que también está enfocada al medio ambiente y una sección de comentarios, en donde se debe anotar cualquier anomalía.

La información para la realización de una rutina de mantenimiento se toma de los manuales, de rutinas anteriores, entrevistas con personal que poseen experiencia en el equipo, entrevistas con los operarios y visitas al área.

4.5.3. Mano de obra

La mano de obra que se requiere en determinados mantenimientos puede a veces superar la capacidad que dicho departamento tiene, por lo que en la planificación que se hace en base al plan anual debe establecerse la cantidad y la clase de mano de obra requerida, para hacer contrataciones a terceros o bien solicitar ayuda de otros departamentos dentro de la empresa.

4.6. Activos a los que se realizará mantenimiento preventivo

A continuación se detallarán los equipos a los cuales se realizará mantenimiento preventivo, especificando la especialidad responsable de revisar el equipo (mecánico, lubricación, eléctrico, instrumentación o filtros) y la frecuencia con la que se debe revisar.

Tabla XIV. Equipos área horno 1

| HAC | DESCRIPCION | ESPECIALIDAD | | | | |
|------------|---------------------------------------|--------------|---------|------|-------|---------|
| | | MEC | LUB | ELÉC | INSTR | FILTROS |
| 22-411-AV1 | Vibrador #1 alimentación faja 411-CS1 | 6M | | 1A | 6M | |
| 22-411-AV2 | Vibrador #2 alimentación faja 411-CS1 | 6M | | 1A | 6M | |
| 22-411-AV3 | Vibrador #3 alimentación faja 411-CS1 | 6M | | 1A | 6M | |
| 22-411-BA2 | Bomba agua principal sistema spray | 6M | | 1A | | |
| 22-411-BA3 | Bomba agua auxiliar sistema spray | 6M | | 1A | | |
| 22-411-CS1 | Faja transportadora túnel | 3M | 6M Y 1A | 1A | 6M | |
| 22-411-CS2 | Faja transportadora túnel | 3M | 6M Y 1A | 1A | 6M | |
| 22-411-CS3 | Faja alimentación horno 1 y 2 | 3M | 6M Y 1A | 1A | 6M | |
| 22-411-CS4 | Faja de rechazo desc. de faja 411-CS2 | 3M | 6M Y 1A | 1A | 1A | |
| 22-411-CV1 | Zaranda vib. a fajas 411-CS2 y CS3 | 6M | | 1A | 1A | |
| 22-411-FT1 | Colector de polvo zaranda 411-CV1 | | | | | 6M |
| 22-411-SM1 | Electroimán faja 411-CS3 | 6M | 1A | 1A | 6M | |
| 22-411-VE1 | Ventilador colector de polvo zaranda | | | 1A | | 3M Y 6M |
| 22-421-CM1 | Compuerta cuba 1 gases horno | 6M | | | 1A | |

Continuación de la tabla XIV

| | | | | | | |
|----------------|---------------------------------------|---------|----|----|----|----|
| 22-421-CM2 | Compuerta cuba 2 gases horno | 6M | | | 1A | |
| 22-431-AV1 | Vibrador carga al horno | 3M | | 1A | | |
| 22-431-CM1 | Compuerta cuba 1 pesadora | 6M | | | 1A | |
| 22-431-CM2 | Compuerta cuba 2 pesadora | 6M | | | 1A | |
| 22-431-CM3 | Compuerta cuba 1 carga horno | 6M | | | 1A | |
| 22-431-CM4 | Compuerta cuba 2 carga horno | 6M | | | 1A | |
| 22-431-TL1 | Tolva de almacenaje materia prima | 6M | | | 1A | |
| 22-431-TY1 | Tolva pesadora horno | 6M | | | 6M | |
| 22-461-BM1 | Bomba hidráulica #1 | 3M | 6M | 1A | | |
| 22-461-BM2 | Bomba hidráulica #2 | 3M | 6M | 1A | | |
| 22-461-CD1 | Mesa de distribución cuba #1 | 6M | | | 1A | |
| 22-461-CD2 | Mesa de distribución cuba #2 | 6M | | | 1A | |
| 22-461-CM1 | Compuerta cuba 1 aire de combustión | 6M | | | 1A | |
| 22-461-CM2 | Compuerta cuba 2 aire de combustión | 6M | | | 1A | |
| 22-461-CM3 | Compuerta cuba 1 descarga horno | 6M | | | 1A | |
| 22-461-CM4 | Compuerta cuba 2 descarga horno | 6M | | | 1A | |
| 22-461-CM5 | Compuerta alivio aire combustión | 6M | | | 1A | |
| 22-461-CM6 | Dámper aire fresco filtro principal | 6M | | | 1A | |
| 22-461-ED1 | Válvula rotativa colector de polvo | | 1A | 1A | | 6M |
| 22-461-EE1 | Enfriador sistema hidráulico horno 1 | 3M | 6M | 1A | | |
| 22-461-FT1 | Colector de polvo del horno | | | | 1A | 6M |
| 22-461-HV1 | Horno vertical #1 | 1A | | | 1A | |
| 22-461-HV1/L01 | Palpador cuba 1 (indicador de nivel) | 1A | | | 6M | |
| 22-461-HV1/L02 | Palpador cuba 2 (indicador de nivel) | 1A | | | 6M | |
| 22-461-RT1 | Tanque aceite hidráulico horno 1 | | 1A | | | |
| 22-461-SH1 | Sistema hidráulico horno 1 | | 6M | | 1A | |
| 22-461-SR1 | Soplador combustión velocidad fija | 3M Y 6M | 6M | 1A | | |
| 22-461-SR2 | Soplador combustión velocidad fija | 3M Y 6M | 6M | 1A | | |
| 22-461-SR3 | Soplador combustión vel. variable | 3M Y 6M | 6M | 1A | | |
| 22-461-TF1 | Gusano descarga de colector de polvo | | 1A | 1A | | 6M |
| 22-461-VA1 | Válv transp vapor caliente hidr-hor 1 | | | | 1A | |
| 22-461-VE1 | Ventilador colector de polvo | | 6M | 1A | 1A | 6M |
| 22-471-CM1 | Compuerta cuba #1 aire enfriamiento | 6M | | | 1A | |
| 22-471-CM2 | Compuerta cuba #2 aire enfriamiento | 6M | | | 1A | |
| 22-471-CM3 | Compuerta de alivio aire enfriamiento | 6M | | | 1A | |
| 22-481-BC6 | Bomba para diésel #3 | 1A | | 1A | | |

Continuación de la tabla XIV

| | | | | | | |
|------------|--|---------|---------|----|----|----|
| 22-481-SR1 | Soplador enfriamiento #1 veloc.fija | 3M Y 6M | 6M | 1A | 1A | |
| 22-481-SR2 | Soplador de enfriamiento vel variable | 3M Y 6M | 6M | 1A | 1A | |
| 22-481-SR3 | Soplador transporte cenizas #1 | 3M Y 6M | 6M | 1A | | |
| 22-481-SR4 | Soplador transporte cenizas #2 | 3M Y 6M | 6M | 1A | | |
| 22-481-SR5 | Soplador enfriam. lanzas #1 | 3M Y 6M | 6M | 1A | | |
| 22-481-SR6 | Soplador enfriam. lanzas #2 | 3M Y 6M | 6M | 1A | | |
| 22-4P1-1M1 | MCC sección dosificadoras <i>petcoke</i> | | | 1A | 1A | |
| 22-4P1-1M2 | MCC sopladores enfriamiento y <i>petcoke</i> | | | 1A | 1A | |
| 22-4P1-1M3 | MCC sección filtro principal | | | 1A | | |
| 22-4P1-1M4 | MCC transporte caliza y sección horno | | | 1A | | |
| 22-531-AV1 | Canal vibrador descarga de horno | 6M | | 1A | | |
| 22-531-CD1 | Torre distrib. descarga de horno | 1A | | | 6M | |
| 22-531-CD2 | Compuerta distrib. desc. de triturad. | 1A | | | 6M | |
| 22-531-CS1 | Faja de alimentación a trituradora | 3M Y 6M | | 1A | | |
| 22-531-CS2 | Faja de desechos de cal viva | 3M Y 6M | | | | |
| 22-531-FT2 | Colector de polvo norblo | | | | 6M | 1A |
| 22-531-TS1 | Trituradora de martillos | 3M Y 6M | 6M Y 1A | 1A | 1A | |
| 22-531-VE2 | Ventilador colector de polvo norblo | | | 1A | 6M | 1A |
| 22-L91-DE1 | Depósito <i>petcoke</i> horno 1 | 6M | | | 1A | |
| 22-L91-DF1 | Esclusa dosificadora #1 <i>petcoke</i> | 3M | 1A | 1A | 1A | |
| 22-L91-DF2 | Esclusa dosificadora #2 <i>petcoke</i> | 3M | 1A | 1A | 1A | |
| 22-L91-DF3 | Esclusa dosificadora #3 <i>petcoke</i> | 3M | 1A | 1A | 1A | |
| 22-L91-DF4 | Esclusa dosificadora #4 <i>petcoke</i> | 3M | 1A | 1A | 1A | |
| 22-L91-DF5 | Esclusa dosificadora #5 <i>petcoke</i> | 3M | 1A | 1A | 1A | |
| 22-L91-DF6 | Esclusa dosificadora #6 <i>petcoke</i> | 3M | 1A | 1A | 1A | |
| 22-L91-FT1 | Colector de polvo s/ silo <i>petcoke</i> | | | | 1A | 6M |
| 22-L91-FT2 | Filtro sobre tolva dosificadora | | | | 1A | 6M |
| 22-L91-PI1 | Sistema gas inerte horno 1 | | | | 1A | |
| 22-L91-RM1 | Agitador de carbón en tolva | 6M | 1A | 1A | 1A | |
| 22-L91-SR1 | Soplador transp. carbón a silo | 3M Y 6M | 6M | 1A | 1A | |
| 22-L91-TY1 | Tolva dosificadora <i>petcoke</i> horno 1 | 1A | | | 1A | |
| 22-L91-VA1 | Válvula reversible esclusa 1 <i>petcoke</i> | 6M | | | | |
| 22-L91-VA2 | Válvula reversible esclusa 2 <i>petcoke</i> | 6M | | | | |
| 22-L91-VA3 | Válvula reversible esclusa 3 <i>petcoke</i> | 6M | | | | |
| 22-L91-VA4 | Válvula reversible esclusa 4 <i>petcoke</i> | 6M | | | | |
| 22-L91-VA5 | Válvula reversible esclusa 5 <i>petcoke</i> | 6M | | | | |
| 22-L91-VA6 | Válvula reversible esclusa 6 <i>petcoke</i> | 6M | | | | |

Continuación de la tabla XIV

| | | | | | | |
|------------|---|----|--|----|----|----|
| 22-L92-VA7 | Válvula domo descarga de silo <i>petcoke</i> | 6M | | | 1A | |
| 22-L92-VA8 | Válvula alivio filtro s/tolva dosific | | | | 1A | |
| 22-L92-VA9 | Válvula pre alivio filtro s/tolva dosi | | | | 1A | |
| 22-L92-VAA | Válvula de compensación presión tolva | | | | 1A | |
| 22-L92-VAB | Válvula de alivio soplador | | | | 1A | |
| 22-L91-VE1 | Ventilador de colector s/ silo <i>petcoke</i> | | | 1A | | 6M |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. Equipos área mesh 200

| HAC | DESCRIPCIÓN | ESPECIALIDAD | | | | |
|------------|---|--------------|-----|----------|-------|---------|
| | | MEC | LUB | ELÉC | INSTR | FILTROS |
| 22-541-351 | Silo de metal cal viva | 48S | | | 1A | |
| 22-541-EC1 | Elevador #1 cal viva | 24 Y 48S | | 24 Y 48S | 1A | |
| 22-541-EC2 | Elevador #2 cal viva | 24 Y 48S | | 24 Y 48S | 1A | |
| 22-541-FT1 | Colector de polvo sobre silo metal | | | | 1A | 24S |
| 22-541-PD1 | Faja pesadora schenck c.v. 1 | 24 Y 48S | 48S | 24 Y 48S | 6M | |
| 22-541-TF2 | Gusano desc pes 541-PD1 a hidra 2 | 24 Y 48S | 48S | 24 Y 48S | 1A | |
| 22-541-TF4 | Gusano by-pass hidrat. a molino | 48S | 48S | 24 Y 48S | 1A | |
| 22-541-TF5 | Gusano descarga a molino | 24 Y 48S | 48S | 24 Y 48S | 1A | |
| 22-541-VE1 | Ventilador del colector s/silo metal | | | 1A | | 24S |
| 22-561-BM1 | Bomba lubricación symetro del molino | | 48S | 1A | | |
| 22-561-EC1 | Elevador cal hidratadora | 24 Y 48S | | 24 Y 48S | 1A | |
| 22-561-ED1 | Esclusa descarga de separador | 24S | | 1A | | |
| 22-561-FT1 | Colector de polvo molino de bolas | | | | 1A | 24S |
| 22-561-MB1 | Molino de bolas | 24S | 48S | 24 Y 48S | | |
| 22-561-SP1 | Separador de partículas | 24S | | 24 Y 48S | 1A | |
| 22-561-SR1 | Soplador alim tolvas granel y j. bags | 24S | | 24 Y 48S | | |
| 22-561-SR2 | Soplador móvil alim tolvas granel, J. Bag's | 48S | | 1A | | |
| 22-561-TF3 | Gusano alimentador del molino | 24S | | 24 Y 48S | 1A | |
| 22-561-TF4 | Gusano descarga del molino | 24S | | 24 Y 48S | 1A | |
| 22-561-VE1 | Ventilador colector de polvo molino | | | 1A | | 24S |
| 22-591-FT1 | Colector de polvo sobre silo #1 | | | | 1A | 24S |
| 22-591-FT2 | Colector de polvo sobre silo #2 | | | | 1A | 24S |
| 22-591-VE1 | Ventilador colectores de polvo 1 y 2 | | | 1A | | 24S |
| 22-5P1-1M1 | Mcc sección mesh 200 | | | 1A | 1A | |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. Equipos área horno 2

| HAC | DESCRIPCIÓN | ESPECIALIDAD | | | | |
|----------------|---------------------------------------|--------------|---------|------|--------|---------|
| | | MEC | LUB | ELÉC | INSTRU | FILTROS |
| 22-422-CM1 | Compuerta cuba 1 gases horno | 6M | | | 1A | |
| 22-422-CM2 | Compuerta cuba 2 gases horno | 6M | | | 1A | |
| 22-432-AV1 | Vibrador carga a horno 2 | 3M | | 1A | | |
| 22-432-CM1 | Compuerta cuba 1 pesadora | 6M | | | 1A | |
| 22-432-CM2 | Compuerta cuba 2 pesadora | 6M | | | 1A | |
| 22-432-CM3 | Compuerta cuba 1 carga horno | 6M | | | 1A | |
| 22-432-CM4 | Compuerta cuba 2 carga horno | 6M | | | 1A | |
| 22-432-CS1 | Faja alimentación pesadora horno 2 | 6M | 6M Y 1A | 1A | 1A | |
| 22-432-TY1 | Tolva pesadora horno 2 | 6M | | | 6M | |
| 22-462-2P1 | PLC transporte caliza y sección horno | | | | 1A | |
| 22-462-BM1 | Bomba hidráulica no. 1 | 6M | 6M | 1A | | |
| 22-462-BM2 | Bomba hidráulica no. 2 | 6M | 6M | 1A | | |
| 22-462-CD1 | Mesa de distribución cuba #1 | 6M | | | 1A | |
| 22-462-CD2 | Mesa de distribución cuba #2 | 6M | | | 1A | |
| 22-462-CG1 | Cargador retráctil cenizas | 6M | | 1A | 6M | |
| 22-462-CM1 | Compuerta cuba 1 aire de combustión | 6M | | | 1A | |
| 22-462-CM2 | Compuerta cuba 2 aire de combustión | 6M | | | 1A | |
| 22-462-CM3 | Compuerta cuba 1 descarga horno | 6M | | | 1A | |
| 22-462-CM4 | Compuerta cuba 2 descarga horno | 6M | | | 1A | |
| 22-462-CM5 | Compuerta alivio aire combustión | 6M | | | 1A | |
| 22-462-CM6 | Dámper de aire frío de filtro princ. | 6M | | | 1A | |
| 22-462-ED1 | Esclusa desc gusano colector polvo | | 1A | 1A | 1A | 6M |
| 22-462-EE1 | Enfriador sistema hidráulico horno 2 | 3M | 6M | 1A | | |
| 22-462-FT1 | Colector de polvo horno 2 | | | | 1A | 6M |
| 22-462-FT2 | Colector de polvo sobre tolva 462-TY1 | | | | 1A | 6M |
| 22-462-FT3 | Colector de polvo bajo tolva 462-TY1 | | | | 1A | 6M |
| 22-462-HV1 | Horno principal # 2 | | | | 1A | |
| 22-462-HV1/L01 | Palpador cuba 1(indicador de nivel) | 6M | | | 1A | |
| 22-462-HV1/L02 | Palpador cuba 2 (indicador de nivel) | 6M | | | 1A | |
| 22-462-RT1 | Tanque aceite hidráulico del horno | | 1A | | | |
| 22-462-SH1 | Sistema hidráulico horno | | 6M | | 1A | |
| 22-462-SR1 | Soplador combustión 1 velocidad fija | 3M y 6M | 6M | 1A | 1A | |
| 22-462-SR2 | Soplador combustión 2 velocidad fija | 3M y 6M | 6M | 1A | | |
| 22-462-SR3 | Soplador combustión 3 vel. Variable | 3M y 6M | 6M | 1A | | |
| 22-462-TF1 | Gusano descarga de colector de polvo | | 1A | 1A | 1A | 6M |
| 22-462-TY1 | Tolva cenizas horno 2 | 6M | | | 1A | |
| 22-462-VA1 | Válv transp vapor caliente hidr-hor 2 | | | | 1A | |
| 22-462-VE1 | Ventilador colector de polvo | | 6M | 1A | 1A | 6M |
| 22-462-VE3 | Vent. colector bajo tolva 462-TY1 | | | 1A | | 6M |
| 22-472-CM1 | Compuerta cuba no.1 aire enfriamiento | 6M | | | 1A | |
| 22-472-CM2 | Compuerta cuba no.2 aire enfriamiento | 6M | | | 1A | |

Continuación de la tabla XVI

| | | | | | | |
|------------|---|---------|---------|----|----|----|
| 22-472-CM3 | Compuerta de alivio aire enfriamiento | 6M | | | 1A | |
| 22-482-SR1 | Soplador enfriamiento cal #1 | 3M Y 6M | 6M | 1A | 1A | |
| 22-482-SR2 | Soplador enfriamiento #2 vel variable | 3M Y 6M | 6M | 1A | 1A | |
| 22-482-SR3 | Soplador enfriamiento lanzas #1 | 3M Y 6M | 6M | 1A | 1A | |
| 22-482-SR4 | Soplador enfriamiento lanzas #2 | 3M Y 6M | 6M | 1A | 1A | |
| 22-4P2-1M1 | MCC equipos velocidad fija y variable | | | 1A | | |
| 22-4P2-1M2 | MCC equipos con vfd | | | 1A | | |
| 22-532-AV1 | Canal vibrador no.2 descarga horno | 6M | | 1A | | |
| 22-532-CD1 | Torre distribución hacia 532-CS1 y CS2 | 1A | | | 6M | |
| 22-532-CD2 | Chute 3 vías alim elevadores y tritur | 1A | | | 6M | |
| 22-532-CD3 | Compuerta distrib. desc. de triturad | 1A | | | 6M | |
| 22-532-CS1 | Faja de alimentación a trituradora | 3M Y 6M | 6M Y 1A | 1A | 6M | |
| 22-532-CS2 | Faja desecho cal viva | 3M Y 6M | 6M Y 1A | | | |
| 22-532-DX1 | Detector de metales s/faja 532-CS1 | | | | 6M | |
| 22-532-EL1 | Sistema hidráulico de trituradora | 6M | 1A | 1A | 1A | |
| 22-532-FT1 | Colector de polvo trituradora y silo | | | | 6M | 1A |
| 22-532-TF1 | Gusano descarga de colector de polvo | | 1A | 1A | 6M | 1A |
| 22-532-TS1 | Trituradora de martillos | 3M y 6M | 6M Y 1A | 1A | 1A | |
| 22-532-VE1 | Ventilador colector trituradora y silo | | 6M | 1A | 6M | 1A |
| 22-L92-CQ1 | Compuerta guillotina desc silo <i>petcoke</i> | 6M | | | 1A | |
| 22-L92-DE1 | Silo de carbón horno 2 | 6M | | | 1A | |
| 22-L92-DF1 | Esclusa dosificadora #1 <i>petcoke</i> | 3M | 1A | 1A | 1A | |
| 22-L92-DF2 | Esclusa dosificadora #2 <i>petcoke</i> | 3M | 1A | 1A | 1A | |
| 22-L92-DF3 | Esclusa dosificadora #3 <i>petcoke</i> | 3M | 1A | 1A | 1A | |
| 22-L92-DF4 | Esclusa dosificadora #4 <i>petcoke</i> | 3M | 1A | 1A | 1A | |
| 22-L92-DF5 | Esclusa dosificadora #5 <i>petcoke</i> | 3M | 1A | 1A | 1A | |
| 22-L92-DF6 | Esclusa dosificadora #6 <i>petcoke</i> | 3M | 1A | 1A | 1A | |
| 22-L92-FT1 | Colector de polvo s/ silo <i>petcoke</i> | | | | 1A | 6M |
| 22-L92-FT2 | Filtro de tolva de carbón | | | | 1A | 6M |
| 22-L92-PI1 | Sistema gas inerte horno 2 | | | | 1A | |
| 22-L92-RM1 | Agitador de carbón en tolva | 6M | 1A | 1A | 1A | |
| 22-L92-SR1 | Soplador transp. carbón a horno 2 | 3M y 6M | 6M | 1A | 1A | |
| 22-L92-SR2 | Soplador aire pipa aliment. silo | 1A | 6M | 1A | | |
| 22-L92-TY1 | Tolva alimentación de carbón | 1A | | | 1A | |
| 22-L92-VA1 | Válvula reversible esclusa 1 <i>petcoke</i> | 6M | | | | |
| 22-L92-VA2 | Válvula reversible esclusa 2 <i>petcoke</i> | 6M | | | | |
| 22-L92-VA3 | Válvula reversible esclusa 3 <i>petcoke</i> | 6M | | | | |
| 22-L92-VA4 | Válvula reversible esclusa 4 <i>petcoke</i> | 6M | | | | |
| 22-L92-VA5 | Válvula reversible esclusa 5 <i>petcoke</i> | 6M | | | | |
| 22-L92-VA6 | Válvula reversible esclusa 6 <i>petcoke</i> | 6M | | | | |
| 22-L92-VA7 | Válv domo descarga de silo <i>petcoke</i> | 6M | | | 1A | |
| 22-L92-VA8 | Válvula alivio filtro s/tolva dosific | | | | 1A | |
| 22-L92-VA9 | Válvula pre alivio filtro s/tolva dosi | | | | 1A | |
| 22-L92-VAA | Válv de compensación presión tolva | | | | 1A | |

Continuación de la tabla XVI

| | | | | | | |
|------------|---------------------------------------|--|--|----|----|----|
| 22-L92-VAB | Válvula de alivio soplador | | | | 1A | |
| 22-L92-VE1 | Ventilador de colector sobre silo car | | | 1A | | 6M |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. Equipos área hidratadora 2

| HAC | DESCRIPCIÓN | ESPECIALIDAD | | | | |
|------------|---------------------------------------|--------------|----------|--------------|-------|-------|
| | | MEC | LUB | ELÉC | INSTR | FILTR |
| 22-542-351 | Silo de metal cal viva | 48S | | | 1A | |
| 22-542-AL1 | Agitador tanque agua recirculación | 48S | 48S | 24 Y 48S | | |
| 22-542-BA1 | Bomba de agua | 48S | | 24 Y 48S | | |
| 22-542-BA2 | Bomba agua tanque recirculación | 48S | | 24 Y 48S | 1A | |
| 22-542-CK1 | Chimenea hidratadora | | | | | 24S |
| 22-542-EC1 | Elevador #1 cal viva | 24 Y 48S | 24 Y 48S | 24 Y 48S | 1A | |
| 22-542-EC2 | Elevador #2 cal viva | 24 Y 48S | 24 Y 48S | 24 Y 48S | 1A | |
| 22-542-HY1 | Hidratadora #2 | | | | 1A | |
| 22-542-LG1 | Scrubber hidratadora 2 | 24S | | | | |
| 22-542-ME1 | Tornillo mezclador 1 | 24S | 24 Y 48S | 24 Y 48S | 1A | |
| 22-542-ME2 | Tornillo mezclador 2 | 24S | 24 Y 48S | 24 Y 48S | 1A | |
| 22-542-ME3 | Tornillo mezclador 3 | 24S | 24 Y 48S | 24 Y 48S | 1A | |
| 22-542-PD1 | Faja pesadora schenck c.v.2 | 24 Y 48S | 48S | 24 Y 48S | 6M | |
| 22-542-TF1 | Gusano alimentador hacia hidratadora | 24S | 24 Y 48S | 24 Y 48S | 1A | |
| 22-542-TQ1 | Tanque agua fresca | 48S | | | 1A | |
| 22-542-TQ2 | Tanque agua recirculación | 48S | | | 1A | |
| 22-542-VA5 | Válvula vapor caliente hidratadora | | | | 1A | |
| 22-542-VA6 | Válv trans vapor caliente hidratadora | | | | 1A | |
| 22-542-VE1 | Ventilador scrubber hidratadora 2 | | | 24 Y 48S | 1A | |
| 22-542-VN1 | Flujometro #1 | | | | 1A | |
| 22-542-VN2 | Flujometro #2 | | | | 1A | |
| 22-562-BM1 | Bomba lubricación symetro del molino | | | 24 Y 48S | | |
| 22-562-BM2 | Bomba mecánica reductor molino | | 48S | 24 Y 48S | | |
| 22-562-CM1 | Válvula esclusa separador 1 | 24S | 48S | 24 Y 48S | 1A | |
| 22-562-CM2 | Válvula esclusa ciclón 1 | 24S | 48S | 24 Y 48S | 1A | |
| 22-562-CM3 | Válvula esclusa separador 2 | 24S | 48S | 24 Y 48S | 1A | |
| 22-562-CM4 | Válvula esclusa ciclón 2 | 24S | 48S | 24 Y 48S | 1A | |
| 22-562-EC1 | Elevador carga separador 1 | 24 Y 48S | 24 Y 48S | 24 Y 48S | 1A | |
| 22-562-EC2 | Elevador recirculación molino | 24 Y 48S | 24 Y 48S | 24 Y 48S | 1A | |
| 22-562-ED1 | Válvula rotativa aspiradora hi-vac | 48S | 48S | 48S | | |
| 22-562-EE1 | Enfriador aceite de reductor molino | | 48S | 48S | | |
| 22-562-FT1 | Colector de polvo molino de bolas | | | | 1A | 24S |
| 22-562-MB1 | Molino de bolas | 24S | 48S | 24, 48S Y 1A | 1A | |

Continuación de la tabla XVII

| | | | | | | |
|------------|---------------------------------------|-----|----------|--------------|----|-----|
| 22-562-SP1 | Separador 1 | 24S | | 24 Y 48S | 1A | |
| 22-562-SP2 | Separador 2 | 24S | | 24 Y 48S | 1A | |
| 22-562-TF1 | Gusano descarga de hidratadora | 24S | 48S | 24 Y 48S | | |
| 22-562-TF2 | Gusano sobre separador 1 | 24S | 24 Y 48S | 24 Y 48S | 1A | |
| 22-562-TF3 | Gusano carga separador 2 | 24S | 24 Y 48S | 24 Y 48S | 1A | |
| 22-562-TF4 | Gusano alimentador del molino | 24S | 24 Y 48S | 24 Y 48S | 1A | |
| 22-562-TF5 | Gusano desc. de colector de polvo mol | 24S | 48S | 24 Y 48S | 1A | 24S |
| 22-562-TF6 | Gusano descarga del molino | 24S | 24 Y 48S | 24 Y 48S | 1A | |
| 22-562-TJ1 | Transmisión molino de cal | 96S | 24 Y 48S | | | |
| 22-562-VE1 | Ventilador separador # 1 | 24S | | 24 Y 48S | | |
| 22-562-VE2 | Ventilador ciclón #1 | 24S | | 24, 48S Y 1A | 1A | |
| 22-562-VE3 | Ventilador separador 2 | 24S | | 24 Y 48S | | |
| 22-562-VE4 | Ventilador ciclón 2 | 24S | | 24, 48S Y 1A | 1A | |
| 22-562-VE5 | Ventilador de aspiradora hi-vac | 48S | 48S | 1A | | |
| 22-562-VE6 | Ventilador colector de polvo molino | | 24S | 24 Y 48S | 1A | 24S |
| 22-562-VM1 | Dámper ventilador colector molino | | | 1A | 1A | |
| 22-592-EC1 | Elevador alimentación silo #1 | 24S | 24 Y 48S | 24 Y 48S | 1A | |
| 22-592-EC2 | Elevador alimentación silo #2 | 24S | 24 Y 48S | 24 Y 48S | 1A | |
| 22-592-GR1 | Winch edificio hidratadora 2 nivel 5d | 48S | 48S | 1A | | |
| 22-592-MU1 | Muestreador en elev 1 línea 2 de cal. | 48S | | 24 Y 48S | | |
| 22-592-MU2 | Muestreador en elevador 2 cal hidrata | 48S | | 24 Y 48S | | |
| 22-592-TF1 | Gusano cal hidratada hacia elevador 1 | 24S | 24 Y 48S | 24 Y 48S | 1A | |
| 22-592-TF2 | Gusano cal hidratada hacia elevador 2 | 24S | 24 Y 48S | 24 Y 48S | 1A | |
| 22-592-TF3 | Gusano alimenta silo 1 | 24S | 24 Y 48S | 24 Y 48S | 1A | |
| 22-592-TF4 | Gusano alimenta silo 2 | 24S | 24 Y 48S | 24 Y 48S | 1A | |
| 22-5P2-1M1 | MCC sección hidratadora 2 | | | 1A | 1A | |
| 22-E20-1T1 | Transfor. entrada princ. 4160 a 440v | | | 1A | | |
| 22-E20-1T1 | Feeder de salida trafo.princ.4160-440 | | | 1A | | |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. Equipos área horno 3

| HAC | DESCRIPCIÓN | ESPECIALIDAD | | | | |
|------------|---------------------------------------|--------------|---------|------|-------|---------|
| | | MEC | LUB | ELÉC | INSTR | FILTROS |
| 22-413-AV1 | Alimentador 1 desc. a 413-CS1 | 6M | | 1A | 6M | |
| 22-413-AV2 | Alimentador 2 desc. a 413-CS1 | 6M | | 1A | 6M | |
| 22-413-AV3 | Alimentador 3 desc. a 413-CS1 | 6M | | 1A | 6M | |
| 22-413-CS1 | Faja transportadora túnel | 3M | 6M y 1A | 1A | 6M | |
| 22-413-CS2 | Faja de rechazo desc. de zaranda | 3M | 6M y 1A | 1A | 1A | |
| 22-413-CS3 | Faja alimentación horno #3 | 3M | 6M y 1A | 1A | 1A | |
| 22-413-CS4 | Faja rechazo gruesos zaranda | 3M | 6M y 1A | 1A | | |
| 22-413-CV1 | Zaranda vib. a fajas cs2 y cs3 | 6M | | 1A | 1A | |
| 22-413-FT1 | Colector de polvo zaranda 413-CV1 | | | | | 6M |
| 22-413-VE1 | Ventilador colector de polvo 413-FT1 | | | 1A | | 3M Y 6M |
| 22-423-CM1 | Compuerta cuba #1 gases | 6M | | | 1A | |
| 22-423-CM2 | Compuerta cuba #2 gases | 6M | | | 1A | |
| 22-433-AV1 | Vibrador #1 de carga al horno | 3M | | 1A | | |
| 22-433-AV2 | Vibrador #2 de carga al horno | 3M | | 1A | | |
| 22-433-CM1 | Compuerta tolva pesadora cuba #1 | 6M | | | 1A | |
| 22-433-CM2 | Compuerta tolva pesadora cuba #2 | 6M | | | 1A | |
| 22-433-CM3 | Compuerta carga cuba #1 | 6M | | | 1A | |
| 22-433-CM4 | Compuerta carga cuba #2 | 6M | | | 1A | |
| 22-433-CM5 | Compuerta distribución cuba #1 | 6M | | | 1A | |
| 22-433-CM6 | Compuerta distribución cuba #2 | 6M | | | 1A | |
| 22-433-TL1 | Tolva alimentación horno #3 | 6M | | | 1A | |
| 22-433-TY1 | Tolva pesadora horno 3 | 6M | | | 1A | |
| 22-463-BA1 | Bomba agua enfriamiento vapor | 6M | | 1A | | |
| 22-463-BM1 | Bomba sistema hidráulico de horno | 3M | 6M | 1A | | |
| 22-463-BM2 | Bomba sistema hidráulico de horno | 3M | 6M | 1A | | |
| 22-463-BM3 | Bomba sistema hidráulico de horno | 3M | 6M | 1A | | |
| 22-463-CD1 | Mesa de distribución cuba #1 | 6M | | | 1A | |
| 22-463-CD2 | Mesa de distribución cuba #2 | 6M | | | 1A | |
| 22-463-CG1 | Cargador retráctil ceniza 463-TL1 | 6M | | 1A | | |
| 22-463-CK1 | Chimenea horno | | | | | 6M |
| 22-463-CM1 | Compuerta reversión cuba #1 | 6M | | | 1A | |
| 22-463-CM2 | Compuerta reversión cuba #2 | 6M | | | 1A | |
| 22-463-CM3 | Compuerta descarga cuba #1 | 6M | | | 1A | |
| 22-463-CM4 | Compuerta descarga cuba #2 | 6M | | | 1A | |
| 22-463-CM5 | Compuerta alivio aire combustión | 6M | | | 1A | |
| 22-463-CM6 | Dámpner de aire frío de filtro princ. | 6M | | | 1A | |
| 22-463-CM7 | Compuerta descarga cuba #2 | 6M | | | | |
| 22-463-CM8 | Compuerta descarga cuba #2 | 6M | | | | |
| 22-463-CM9 | Compuerta manual extracción ceniza | 6M | | | | |
| 22-463-ED1 | Válvula rotativa 1 filtro principal | | 1A | 1A | 1A | 6M |
| 22-463-ED2 | Válvula rotativa 2 filtro principal | | 1A | 1A | 1A | 6M |

Continuación de la tabla XVIII

| | | | | | | |
|----------------|--|---------|---------|----|----|----|
| 22-463-EE1 | Enfriador sistema hidráulico horno 3 | 3M | 6M | 1A | | |
| 22-463-FT1 | Colector principal horno | | | | 1A | 6M |
| 22-463-FT2 | Colector de polvo sobre tolva 463-TL1 | | | | 1A | 6M |
| 22-463-FT3 | Colector de polvo bajo tolva 463-TL1 | | | | 1A | 6M |
| 22-463-GR1 | Winch horno 3 | 1A | 1A | 1A | | |
| 22-463-HV1 | Horno vertical de cal línea #3 | | | | 1A | |
| 22-463-HV1/L01 | Palpador cuba 1(indicador de nivel) | 6M | | | 1A | |
| 22-463-HV1/L02 | Palpador cuba 2 (indicador de nivel) | 6M | | | 1A | |
| 22-463-RT1 | Tanque aceite hidráulico del horno | | 1A | | | |
| 22-463-SH1 | Sistema hidráulico horno #3 | | 6M | | 1A | |
| 22-463-SR1 | Soplador #1 combustión horno | 3M y 6M | 6M | 1A | | |
| 22-463-SR2 | Soplador #2 combustión horno | 3M y 6M | 6M | 1A | | |
| 22-463-SR3 | Soplador #3 combustión horno | 3M y 6M | 6M | 1A | | |
| 22-463-SR4 | Soplador transporte de cenizas | 3M y 6M | 6M | 1A | 1A | |
| 22-463-TF1 | Gusano #1 desc. filtro princ. hor | | 1A | 1A | 1A | 6M |
| 22-463-TF2 | Gusano descarga tolva ceniza 463-TL1 | 6M | 1A | 1A | 1A | |
| 22-463-TL1 | Tolva de cenizas | 6M | | | 1A | |
| 22-463-VA1 | Compuerta manual aire combustión | | | | 1A | 6M |
| 22-463-VA2 | Válvula transporte polvo filtro | | | | 1A | |
| 22-463-VA5 | Compuerta neumática descarga tolva | 6M | | | 1A | |
| 22-463-VA6 | Válv transp vapor enfriado hidra-horno | | | | | |
| 22-463-VE1 | Ventilador del filtro principal. | | 6M | 1A | 1A | 6M |
| 22-463-VE2 | Ventilador colector polvo b/463-TL1 | | | 1A | | 6M |
| 22-473-CM1 | Compuerta air. enfriam. cuba #1 | 6M | | | 1A | |
| 22-473-CM2 | Compuerta air. enfriam. cuba #2 | 6M | | | 1A | |
| 22-473-CM3 | Compuerta alivio aire. enfriamiento | 6M | | | 1A | |
| 22-473-CM4 | Compuerta pre alivio enfriamiento | 6M | | | 1A | |
| 22-483-BC1 | Bomba de diésel cal línea 3 | 6M | | 1A | | |
| 22-483-SR1 | Soplador #1 de enfriamiento horno | 3M y 6M | 6M | 1A | 1A | |
| 22-483-SR2 | Soplador #2 de enfriamiento horno | 3M y 6M | 6M | 1A | 1A | |
| 22-483-SR3 | Soplador #1 enfriamiento de lanzas | 3M y 6M | 6M | 1A | 1A | |
| 22-483-SR4 | Soplador #2 enfriamiento de lanzas | 3M y 6M | 6M | 1A | 1A | |
| 22-483-QE1 | Quemador de <i>petcoke</i> a cuba 1 lanzas | | | | 1A | |
| 22-483-QE2 | Quemador de <i>petcoke</i> a cuba 2 lanzas | | | | 1A | |
| 22-4C3-2C1 | Gabinete PLC cto. eléctrico horno 3 | | | | 1A | |
| 22-4P3-1M1 | MCC 1 equipos velocidad fija | | | 1A | 1A | |
| 22-4P3-1M2 | MCC 2 equipos con vfd | | | 1A | 1A | |
| 22-4P3-1T1 | Trafo 2000kva | | | 1A | | |
| 22-533-AV1 | Vibrador de descarga horno | 6M | | 1A | | |
| 22-533-CD1 | Compuerta distribuidora desc de horno | 6M | | | 1A | |
| 22-533-CD2 | Compuerta a elevador de cal viva | 6M | | | 1A | |
| 22-533-CD3 | Compuerta distribuidora mat reproceso | 6M | | | | |
| 22-533-CS1 | Faja alimentación trituradora | 3M y 6M | 6M y 1A | 1A | 1A | |

Continuación de la tabla XVIII

| | | | | | | |
|------------|---|---------|---------|----|----|----|
| 22-533-CS2 | Faja alim. material reproceso cal viva | 6M | 6M y 1A | | | |
| 22-533-DX1 | Detector metales de faja 533-CS1 | | | | 1A | |
| 22-533-EL1 | Sistema lubricación trituradora martillos | 6M | 1A | 1A | 1A | |
| 22-533-TS1 | Trituradora de martillos | 3M y 6M | 6M y 1A | 1A | 1A | |
| 22-543-EC1 | Elevador cal viva | 3M y 6M | 6M y 1A | 1A | 1A | |
| 22-613-CS1 | Faja desc horno hacia 613-CS2 y CS3 | 3M y 6M | 6M y 1A | | 1A | |
| 22-613-CS2 | Faja transportadora hacia elev 613-EC1 | 3M y 6M | 6M y 1A | | 1A | |
| 22-613-CS3 | Faja de rechazo horno | 3M y 6M | 1A | 1A | 1A | |
| 22-613-EC1 | Elevador hacia jumbo bag's | 6M | | | | |
| 22-L93-CM1 | Compuerta manual desc. silo <i>petcoke</i> | 6M | | | | |
| 22-L93-CQ1 | Comp. guillotina desc de silo <i>petcoke</i> | 6M | | | 1A | |
| 22-L93-DE1 | Depósito <i>petcoke</i> | 6M | | | 1A | |
| 22-L93-ED1 | Esclusa dosificadora 1 de <i>petcoke</i> | 3M | 1A | 1A | 1A | |
| 22-L93-ED2 | Esclusa dosificadora 2 de <i>petcoke</i> | 3M | 1A | 1A | 1A | |
| 22-L93-ED3 | Esclusa dosificadora 3 de <i>petcoke</i> | 3M | 1A | 1A | 1A | |
| 22-L93-ED4 | Esclusa dosificadora 4 de <i>petcoke</i> | 3M | 1A | 1A | 1A | |
| 22-L93-ED5 | Esclusa dosificadora 5 de <i>petcoke</i> | 3M | 1A | 1A | 1A | |
| 22-L93-ED6 | Esclusa dosificadora 6 de <i>petcoke</i> | 3M | 1A | 1A | 1A | |
| 22-L93-ED7 | Esclusa dosificadora 7 de <i>petcoke</i> | 3M | 1A | 1A | 1A | |
| 22-L93-ED8 | Esclusa dosificadora 8 de <i>petcoke</i> | 3M | 1A | 1A | 1A | |
| 22-L93-ED9 | Esclusa dosificadora 9 de <i>petcoke</i> | 3M | 1A | 1A | 1A | |
| 22-L93-EDA | Esclusa dosificadora a de <i>petcoke</i> | 3M | 1A | 1A | 1A | |
| 22-L93-EDB | Esclusa dosificadora b de <i>petcoke</i> | 3M | 1A | 1A | 1A | |
| 22-L93-FT1 | Colector polvo s/depósito <i>petcoke</i> | | | | 1A | 6M |
| 22-L93-FT2 | Colector polvo #1 s/tolva <i>petcoke</i> | | | | 1A | 6M |
| 22-L93-FT3 | Colector de polvo #2 s/tolva <i>petcoke</i> | | | | 1A | 6M |
| 22-L93-PI1 | Sistema de gas inerte | | | | 1A | |
| 22-L93-RM1 | Agitador tolva dosificador <i>petcoke</i> | 6M | 1A | 1A | 1A | |
| 22-L93-SA1 | Sistema aireación dosificador <i>petcoke</i> | | | | 1A | |
| 22-L93-SR1 | Soplador transp. de <i>petcoke</i> a horno | 3M y 6M | 6M | 1A | 1A | |
| 22-L93-SR2 | Soplador móvil desc. pipa a silo | 3M y 6M | 6M | 1A | | |
| 22-L93-TY1 | Tolva dosificadora de <i>petcoke</i> | 1A | | | 1A | |
| 22-L93-VA1 | Válvula alivio filtros de tolva <i>petcoke</i> | | | | 1A | |
| 22-L93-VA2 | Válvula pre alivio filtros tolva <i>petcoke</i> | | | | 1A | |
| 22-L93-VA8 | Válvula neumática alivio soplador | | | | 1A | |
| 22-L93-VA9 | Válvula domo desc. a tolva <i>petcoke</i> | 6M | | | 1A | |
| 22-L93-VAA | Válvula reversible esclusa 1 <i>petcoke</i> | 6M | | | | |
| 22-L93-VAB | Válvula reversible esclusa 2 <i>petcoke</i> | 6M | | | | |
| 22-L93-VAC | Válvula reversible esclusa 3 <i>petcoke</i> | 6M | | | | |
| 22-L93-VAD | Válvula reversible esclusa 4 <i>petcoke</i> | 6M | | | | |
| 22-L93-VAE | Válvula reversible esclusa 5 <i>petcoke</i> | 6M | | | | |
| 22-L93-VAF | Válvula reversible esclusa 6 <i>petcoke</i> | 6M | | | | |
| 22-L93-VAG | Válvula reversible esclusa 7 <i>petcoke</i> | 6M | | | | |
| 22-L93-VAH | Válvula reversible esclusa 8 <i>petcoke</i> | 6M | | | | |

Continuación de la tabla XVIII

| | | | | | | |
|------------|--|----|--|----|----|----|
| 22-L93-VAI | Válvula reversible esclusa 9 <i>petcoke</i> | 6M | | | | |
| 22-L93-VAJ | Válvula reversible esclusa 10 <i>petcoke</i> | 6M | | | | |
| 22-L93-VAK | Válvula reversible esclusa 11 <i>petcoke</i> | 6M | | | | |
| 22-L93-VAL | Válvula neum. de compensación | | | | 1A | |
| 22-L93-VE1 | Ventilador colector polvo s/ silo <i>petcoke</i> | | | 1A | | 6M |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. Equipos área hidratadora 3

| HAC | DESCRIPCIÓN | ESPECIALIDAD | | | | |
|------------|---|--------------|----------|--------|-------|-------|
| | | MEC | LUB | ELÉC | INSTR | FILTR |
| 22-543-351 | Silo metal cal viva 500 Tn | 48S | | | 1A | |
| 22-543-BA1 | Bomba de agua 1 hidratadora | 48S | | 96S | 1A | |
| 22-543-BA2 | Bomba de agua 2 hidratadora | 48S | 48S | 96S | 1A | |
| 22-543-CD1 | Comp. dev. hacia 613-TL7 y 543-351 | 48S | | | | |
| 22-543-CK1 | Chimenea hidratadora | | | | | 24S |
| 22-543-FT1 | Colector polvo silo cal viva 500 tn | | | | 1A | 24S |
| 22-543-FT2 | Colector de polvo hidratadora | | | | 1A | 24S |
| 22-543-IJ1 | Inyección agua a hidratadora | 48S | | | | |
| 22-543-ME1 | Tornillo mezclador #1 | 24S | 24 Y 48S | 96S | | |
| 22-543-ME2 | Tornillo mezclador #2 | 24S | 24S | 96S | | |
| 22-543-ME3 | Tornillo mezclador #3 | 24S | 24S | 96S | | |
| 22-543-PD1 | Pesadora alimentación a hidratadora | 24 Y 48S | 48S | 48, 96 | 1A | |
| 22-543-RT1 | Tanque agua inyección hidratadora | 48S | | | 1A | |
| 22-543-TF1 | Gusano alimentación hidratadora | 24S | 24 Y 48S | 96S | | |
| 22-543-VA1 | Válvula vapor caliente hidratadora | | | | 1A | |
| 22-543-VA2 | Válv transp vapor caliente hidra-horn | | | | 1A | |
| 22-543-VE1 | Ventilador colector polvo silo cal viva | | 24S | 96S | 1A | 24S |
| 22-543-VE2 | Ventilador colector polvo hidratadora | | 24S | 96S | 1A | 24S |
| 22-563-BM1 | Bomba de grasa de molino 563-MB1 | | | 96S | | |
| 22-563-BM2 | Bomba mecánica lubricación reductor | | 48S | | | |
| 22-563-CK1 | Chimenea molino 563-MB1 | | | | | 24S |
| 22-563-CN1 | Válv. contrapeso desc colector molin | | | | 1A | |
| 22-563-EC1 | Elevador alimentación molino | 24 Y 48S | 24 Y 48S | 96S | 1A | |
| 22-563-EC2 | Elevador recirculación molino | 24 Y 48S | 24 Y 48S | 96S | 1A | |
| 22-563-ED2 | Válvula rotativa separador 1 | 24S | 48S | 96S | | |
| 22-563-ED3 | Válvula rotativa ciclón 1 | 24S | 48S | 96S | | |
| 22-563-ED4 | Válvula rot. del separador #2 | 24S | 48S | 96S | | |
| 22-563-ED5 | Válvula rotativa ciclón 2 | 24S | 48S | 96S | | |
| 22-563-EE1 | Sistema enfriamiento de reductor | | 48S | 96S | | |
| 22-563-FT1 | Colector de polvo molino bolas | | | | 1A | 24S |

Continuación de la tabla XIX

| | | | | | | |
|------------|---|----------|----------|--------|----|-----|
| 22-563-GR1 | Winch edificio hidratadora 3 nivel 7 | 48S | 48S | 96S | | |
| 22-563-MB1 | Molino de bolas | 24S | 48S | 1A, 96 | | |
| 22-563-SP1 | Separador #1 molino | 24S | | 96S | | |
| 22-563-SP2 | Separador #2 molino | 24S | | 96S | | |
| 22-563-TF1 | Gusano descarga de hidratadora | 24S | 24 Y 48S | 96S | | |
| 22-563-TF2 | Gusano de aliment. a separador #1 | 24S | 24 Y 48S | 96S | | |
| 22-563-TF3 | Gusano de alimentación al molino | 24S | 24 Y 48S | 96S | | |
| 22-563-TF4 | Gusano recirculación del molino | 24S | 24 Y 48S | 96S | | |
| 22-563-TF5 | Gusano alimentación separador #2 | 24S | 24 Y 48S | 96S | | |
| 22-563-TJ1 | Transmisión molino de cal línea 3 | 96S | 24 Y 48S | | | |
| 22-563-VE1 | Ventilador colector polvo molino | | 24S | 96S | 1A | 24S |
| 22-563-VE2 | Ventilador de aire sello separador 1 | 24S | | 96S | | |
| 22-563-VE3 | Ventilador de ciclón #1 | 24S | | 1A, 96 | | |
| 22-563-VE4 | Ventilador a sello separador #2 | 24S | | 96S | | |
| 22-563-VE5 | Ventilador de ciclón #2 | 24S | | 1A, 96 | | |
| 22-593-AZ1 | Reguera distrib. a reg. az2 y az3 | 24S | | | | |
| 22-593-AZ2 | Reguera desc. a bomba transporte #1 | 24S | | | | |
| 22-593-AZ3 | Reguera desc. a bomba transporte #2 | 24S | | | | |
| 22-593-BN1 | Bomba de transporte #1 | 24 Y 96S | 48S | 96S | 1A | |
| 22-593-BN2 | Bomba de transporte #2 | 24 Y 96S | 48S | 1A, 96 | 1A | |
| 22-593-CD1 | Compuerta de desc. cal hidratada | 24S | | | 1A | |
| 22-593-FT1 | Colector polvo#1 s/silo cal hidratada | | | | 1A | 24S |
| 22-593-FT2 | Colector polvo#2 s/silo cal hidratada | | | | 1A | 24S |
| 22-593-SR1 | Soplador de aire transp cal hidr. | 8 Y 24S | 24S | 1A, 96 | 1A | |
| 22-593-SR2 | Soplador 2 de transp. n cal | 8 Y 24S | 24S | 1A, 96 | 1A | |
| 22-593-VE1 | Ventilador de colector de polvo #1 silo | | | 96S | | 24S |
| 22-593-VE2 | Ventilador de colector de polvo #2 silo | | | 96S | | 24S |
| 22-593-VE3 | Ventilador de regueras | 24S | 48S | 96S | | |
| 22-593-VV1 | Compuerta divergente 1 a silos | 24S | 48S | 96S | 1A | |
| 22-593-VV2 | Compuerta divergente 2 a silos | 24S | | 96S | 1A | |
| 22-5C3-2C1 | Gabinete pc cto. eléctrico hidratador | | | | 1A | |
| 22-5P3-1M1 | MCC 1 equipos de velocidad fija | | | | 1A | |
| 22-5P3-1M2 | MCC 2 equipos con vfd | | | | 1A | |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Total de rutinas de mantenimiento preventivo**

| Línea 1 | Línea 2 | Línea 3 | Total |
|----------------|----------------|----------------|--------------|
| 117 | 148 | 196 | 461 |

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Con el análisis inicial del sistema de gestión del mantenimiento preventivo de la planta de cal, se encontró que los métodos y procedimientos utilizados atrasaban la planificación de las tareas, debido a que la información en el sistema no estaba actualizada. Por lo que se hizo necesario la implementación del reacondicionamiento del sistema de gestión.
2. La implementación y actualización de los diagramas de flujo, listado de repuestos, ordenamiento de la estructura en SAP y la clasificación de los equipos por criticidades, benefició al Departamento de Mantenimiento reduciendo el tiempo en la administración y planificación de las tareas; las nuevas frecuencias de paro reducirán los costos de mantenimiento debido a que se ejecutará el mantenimiento en el tiempo óptimo, esto quiere decir, que no se realizará más mantenimiento de lo debido ni tampoco habrá que acudir al mantenimiento correctivo frecuentemente.
3. Con la creación de los nuevos puestos de trabajo no solo se logró que la planta de cal sea independiente al mantenimiento de la planta de cemento, sino también se tendrá un control detallado y una mejor administración en los recursos que se invierten en el mantenimiento de los equipos en la planta de cal.
4. Con el estudio del sistema PM-SAP, se definieron algunas funciones o comandos básicos del módulo PM, que se consideraron claves para la generación de planes de mantenimiento preventivo, lo cual ayudó a la automatización de las órdenes de trabajo. Asimismo, de las distintas

transacciones en el sistema SAP se logró crear nuevas UT's y avisos para los equipos.

5. Se compararon los diagramas de flujo con los equipos en campo y con la estructura de las ubicaciones técnicas en el sistema SAP y se detectó que en campo existían equipos que no estaban agregados al flujo, también se encontró que los equipos que estaban en el diagrama de flujo no estaban creados en el sistema o viceversa; esto dio la necesidad de actualizar los diagramas de flujo y la estructura en el sistema, siguiendo el proceso de cómo se encuentra actualmente en campo.
6. El concepto de criticidad y riesgo cobra gran relevancia y sus valores pueden ser ajustados de acuerdo a las necesidades del negocio o la empresa, su aplicación cobra importancia desde el punto de vista que permite focalizar los recursos en los activos más críticos y no utilizarlo en aquellos que no tengan tanto impacto.
7. Con la ayuda de las especificaciones y recomendaciones de los fabricantes de los equipos, así como a través de la inspección de las condiciones de operación de los equipos en campo, se logró crear una ficha técnica detallada de la maquinaria, sus componentes, así como el lubricante requerido, cantidad de lubricante, datos mecánicos y eléctricos del equipo, repuestos críticos, entre otros.
8. La actualización de la cantidad de horas y la cantidad de personal para el mantenimiento, dio la necesidad de ejecutar un balance de las horas/hombre para cada especialidad y con esto se tendrá la carga de trabajo homogenizada en todos los mantenimientos.

9. Es necesario tener una PMR actualizada, con la herramienta correcta, el tiempo y la cantidad de personal sea el óptimo, las medidas de seguridad apropiadas y que las actividades a realizar sean las más eficientes; con esto se ahorrará tiempo en el mantenimiento, no habrán incidentes, los costos por mantenimiento serán bajos y el equipo estará en óptimas condiciones para su operación.

10. Al proporcionarse generalidades del mantenimiento preventivo de los equipos que funcionan en una línea de producción de cal, la información obtenida se utilizó para generar planes de mantenimiento apegados a lo sugerido por el fabricante y de la experiencia del personal, contemplando las frecuencias de las actividades, con lo que se obtuvo fácilmente la implementación del sistema PM-SAP y se visualizó su importancia en la administración del mantenimiento preventivo.

RECOMENDACIONES

1. Dar el debido seguimiento al formato de gestión de cambio para la modificación de activos o instalación de equipos nuevos, entre otros. Utilizar el formato de gestión de cambio ayudará a dejar constancia de los cambios en la red interna de la planta y lo más importante, dejará la información actualizada de cada equipo (PMR's, diagramas de flujo, planes de mantenimiento, identificación en paneles eléctricos y en campo, entre otros.)
2. Capacitar al personal sobre la importancia de la clasificación de los equipos críticos para que se focalice el mantenimiento en estos equipos lo cual prevendrá un paro en la producción de cal.
3. Aprovechar las PMR's actualizadas, porque de eso depende que los equipos fallen o se mantenga funcionando correctamente; realizar los pasos que describe la PMR al pie de la letra para garantizar el objetivo de cada una, que es prevenir fallas potenciales.
4. Ejercer las 7 reglas de oro al momento de aislar y bloquear los equipos, las cuales ayudaran a prevenir incidentes a los colaboradores.
5. El incremento en el grado de automatización implica que ahora se tienen muchos más activos que mantener en una empresa, por lo que surge la necesidad de capacitar al personal técnico y administrativo, para que no tengamos problemas al ejecutar el mantenimiento programado.

6. Hacer auditorias anuales al sistema de gestión de mantenimiento para detectar mejoras.
7. La experiencia que se va adquiriendo al ejecutar en varias ocasiones cada rutina, es una importante información para mejorar las rutinas desde el punto de vista tiempo, costo, frecuencia, entre otros. y la aportación de estos comentarios inicia desde el operario, supervisor, jefe de área hasta el gerente de mantenimiento.
8. Instruir al personal encargado de bloquear los equipos y demás colaboradores que se debe utilizar el formato de gestión de cambio, si fuera necesario un cambio en los interruptores de energía en los paneles eléctricos, ya que estos no se deben manchar con marcador o algún otro tipo de tinta, esto genera confusión y además, es importante mantener los paneles eléctricos limpios y ordenados.
9. Homogenizar la codificación de los equipos en las pantallas de control central con la codificación de Planta San Miguel (HAC's) para que todos los equipos de las tres líneas de cal tengan la misma estructura y no la codificación MAERZ.
10. Dar la debida importancia a la matriz de paros y los balances de carga al área de cal, ya que se llevó a cabo un estudio profundo de las frecuencias y cantidad de personal a utilizar en cada mantenimiento y estas deben cumplirse para dar buenos resultados en costos y en la mantenibilidad de los equipos.

BIBLIOGRAFÍA

1. AVALLONE, Eugene y BAUMEISTER III, Theodore. *Manual del ingeniero mecánico*. 9a ed. México: Editorial McGraw-Hill, 1999. 1936 p.
2. CABRERA FLORES, Elmer Aroldo. *Diseño de rutas de mantenimiento preventivo (PMR) y VOSO para los equipos de la línea tres de cal, Cementos Progreso, S.A.* Trabajo de graduación de Ingeniería Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2017. 110 p.
3. CANO, Carlos. *Instructivo de operación calcinación*. Guatemala: Cementos Progreso, S.A. 2013. 169 p.
4. CANO, Carlos. *Instructivo de operación planta de hidratación de cal*. Guatemala: Cementos Progreso, S.A. 2013. 31 p.
5. LERCH, Alexander. *Manual de instrucciones: datos específicos y componentes. E6 - 400 tpd maerz horno de cal*. Guatemala: Cementos Progreso, S.A. 2009. 165 p.
6. LERCH, Alexander. *Manual de instrucciones: información general y funcionamiento. E6 - 400 tpd maerz horno de cal*. Guatemala: Cementos Progreso, S.A. 2009. 185 p.
7. Maerz OFENBAU AG. *Planos y manuales: horno e hidratadora. 1a ed.* Guatemala: Cementos Progreso, S.A. 2008. 350 p.

8. Maerz OFENBAU AG. Manual de partes: trituradora. 1a ed. Guatemala: Cementos Progreso, S.A. 2004. p. 9.
9. Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía CONUEE. *Guía para ahorrar energía en sistemas de aire comprimido*. [en línea]. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/93860/Guia_aire_comprimido.pdf>. [Consulta: julio, 2018].
10. Holcim Group Support Ltd. *HAC – Manual, Holcim Asset-Code*. Cement Plant Coding and Base for Asset Management System. Canadá: Editorial Holcim Inc. septiembre 2007. 119 p.
11. ROBERT, Davis. *Introducción a la gestión de activos. Una introducción simple pero informativa sobre la gestión de activos físicos*. Revista. Reino Unido. 32 p.
12. ROSALER, Robert. *Manual del ingeniero de planta*. 2a ed. México: Editorial McGraw-Hill, 1997. 1694 p.
13. SAP HANA. Versión 4.6c. *Sistema, Aplicaciones y Productos para procesamiento de datos. Módulo: Mantenimiento de Plantas*. Propiedad de Cementos Progreso, S.A. Alemania. SAP ERP: PM. 2015.
14. TABARES, Lourival. *Administración Moderna de Mantenimiento*. 1a ed. Brasil: Novo Polo Publicación, 2000. 141 p.
15. VÁZQUEZ PADILLA, Eduardo. *Elementos del sistema de gestión*. 1a ed. Guatemala: Cementos Progreso, S.A. 2007. 270 p.