



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

**SITUACIÓN ACTUAL E IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS, EN EL
MANTENIMIENTO MECÁNICO DE LOS SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO POR
AGUA Y DE SUMINISTRO DE AGUA DE PROCESO DE PLANTA SAN
MIGUEL, DE CEMENTOS PROGRESO, S.A.**

Gerardo Adolfo Bustamante Barberena

Asesorado por el: Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda

Guatemala, marzo de 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**SITUACIÓN ACTUAL E IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS, EN EL
MANTENIMIENTO MECÁNICO DE LOS SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO POR
AGUA Y DE SUMINISTRO DE AGUA DE PROCESO DE PLANTA SAN
MIGUEL, DE CEMENTOS PROGRESO, S.A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

GERARDO ADOLFO BUSTAMANTE BARBERENA

ASESORADO POR EL: ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO ZEPEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, MARZO DE 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruíz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXÁMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. José Arturo Estrada Martínez
EXAMINADOR	Ing. Anacleto Medina Gómez
EXAMINADOR	Ing. Raymond Ludwin Taylor Cruz
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**SITUACIÓN ACTUAL E IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS, EN EL
MANTENIMIENTO MECÁNICO DE LOS SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO POR
AGUA Y DE SUMINISTRO DE AGUA DE PROCESO DE PLANTA SAN
MIGUEL, DE CEMENTOS PROGRESO, S.A.,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica el 19 de febrero de 2004.

Gerardo Adolfo Bustamante Barberena

ACTO QUE DEDICO A

DIOS

Por concederme la bendición de culminar esta etapa de mi vida.

MIS PADRES

Dr. Carlos Bustamante Rosales y Vilma Barberena de Bustamante, como muestra de agradecimiento a todos sus sacrificios, a su amor y a sus sabios consejos.

MIS HERMANOS

Carlos José, Félix Constantino y Karla Eugenia, por su apoyo, cariño y ejemplos de superación.

MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. ENTORNO DEL TRABAJO (FASE DE INVESTIGACIÓN)	
1.1. Descripción general de planta San Miguel.....	1
1.2. Mantenimiento de Clase Mundial.....	4
1.2.1. Tendencias actuales en la gestión del mantenimiento	4
1.2.2. Definición de mantenimiento de Clase Mundial	6
1.2.3. Prácticas que sustentan al mantenimiento de Clase Mundial.....	7
1.3. Mantenimiento de cemento (MAC).....	10
1.3.1. Definición de MAC.....	10
1.3.2. Enfoque de MAC	10
1.3.3. Estructura de MAC.....	12
1.3.4. Descripción de los elementos de la pirámide MAC.....	13
1.4. Sistemas, aplicaciones y productos en el procesamiento de datos (SAP).....	24
1.4.1. Definición de SAP	24
1.4.2. Módulos de SAP.....	24
1.4.3. Módulo de Mantenimiento (PM)	25

1.5.	Mantenimiento mecánico en planta San Miguel	26
1.5.1.	Organización del departamento de mantenimiento mecánico ...	26
1.5.2.	Mantenimiento mecánico en las áreas de proceso	28
1.5.3.	Órdenes de trabajo (OT)	30
1.5.3.1.	Definición de OT.....	30
1.5.3.2.	Información contenida en una OT	30
1.5.3.3.	Generación de las OT	31
1.5.4.	Tipos de mantenimiento mecánico ejecutados en planta San Miguel	32
1.5.4.1.	Mantenimiento predictivo	32
1.5.4.2.	Mantenimiento preventivo	34
1.5.4.3.	Mantenimiento correctivo	35
1.6.	Tratamiento del agua de enfriamiento y de procesos	35
1.6.1.	Tratamiento primario	35
1.6.2.	Tratamiento secundario.....	38
1.7.	Sistema de enfriamiento por agua	39
1.7.1.	Finalidad del sistema de enfriamiento por agua	39
1.7.2.	Operación del sistema de enfriamiento por agua	39
1.7.3.	Elementos mecánicos del sistema de enfriamiento por agua....	41
1.8.	Sistema de suministro de agua de proceso	43
1.8.1.	Finalidad del sistema de suministro de agua de proceso	43
1.8.2.	Operación del sistema de suministro de agua de proceso	44
1.8.3.	Elementos mecánicos del sistema de suministro de agua de proceso.....	45
1.9.	Problemas actuales enfrentados en los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso	47

2.	IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS EN EL MANTENIMIENTO DE LOS SISTEMAS DE AGUA (FASE TÉCNICO-PROFESIONAL)	
2.1.	Identificación de componentes de los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso	49
2.1.1.	Registro general de los componentes de los sistemas de agua	49
2.1.2.	Identificación de componentes en su ubicación.....	52
2.1.3.	Sistema de numeración de partes PNS	53
2.2.	Actualización de planos de los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso	55
2.2.1.	Importancia de los planos actualizados para los sistemas de agua	55
2.2.2.	Planos generales de los sistemas de agua.....	56
2.2.3.	Planos de secciones de los sistemas de agua	57
2.3.	Actualización de datos de los equipos de los sistemas de agua	61
2.3.1.	Información de placa de los equipos mecánicos del sistema de enfriamiento por agua.....	61
2.3.2.	Información de placa de los equipos mecánicos del sistema de suministro de agua de proceso.....	67
2.4.	Desarrollo de los planes de mantenimiento mejorados	71
2.4.1.	Criticidad de los equipos	71
2.4.1.1.	Criterios para determinar la criticidad	72
2.4.1.2.	Criticidades en los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso	75
2.4.2.	Registro técnico de los equipos	76
2.4.2.1.	Sistema de codificación de activos HAC.....	77
2.4.2.2.	Códigos HAC para los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso	79

2.4.3.	Planes de frecuencia de mantenimiento	81
2.4.3.1.	Procedimiento para elaborar el plan de frecuencia de mantenimiento.....	81
2.4.3.2.	Plan de frecuencia de mantenimiento para los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso.....	82
2.4.4.	Rutinas de inspección diaria	87
2.4.4.1.	Rutinas de inspección diaria para el sistema de enfriamiento por agua	87
2.4.4.2.	Rutinas de inspección diaria para el sistema de suministro de agua de proceso	88
2.4.5.	Claves modelo de los equipos mecánicos de los sistemas de agua	89
2.4.5.1.	Claves modelo para el sistema de enfriamiento por agua	90
2.4.5.2.	Claves modelo para el sistema de suministro de agua de proceso.....	103
2.4.6.	Lista de repuestos para los sistemas de agua.....	111
CONCLUSIONES.....		115
RECOMENDACIONES		117
BIBLIOGRAFÍA		119
APÉNDICE		121

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Pirámide MAC	13
2	Organigrama del departamento de mantenimiento mecánico	26
3	Proceso de ejecución de una OT	32
4	Estructura del Número de <i>Tag</i>	51
5	Diseños de etiquetas para accesorios de los sistemas de agua	52
6	Estructura del PNS	54
7	Estructura del código HAC en Cementos Progreso, S.A.	78
8	Red de agua de enfriamiento, horno 461	130
9	Red de agua de enfriamiento, torre de ciclones 3.....	131
10	Red de agua de retorno, silos de homogenización	132
11	Red de agua de enfriamiento, cuarto de bombas de retorno.....	133
12	Red de agua de río, torre de ciclones 1	134
13	Red de agua de río, hidratadora de cal.....	135

TABLAS

I	Dígito de red de tubería para el Número de <i>Tag</i>	51
II	Planos de secciones de planta San Miguel.....	57
III	Ponderación de incidencias para equipos críticos	74
IV	Determinación de criticidad por puntuación ponderada.....	74
V	Criticidades del sistema de enfriamiento por agua	75
VI	Criticidades del sistema de suministro de agua de proceso.....	76
VII	Códigos HAC del sistema de enfriamiento por agua	80

VIII	Códigos HAC del sistema de suministro de agua de proceso.....	80
IX	Plan de frecuencia de mantenimiento para los sistemas de agua	83
X	Lista de repuestos para equipos de los sistemas de agua	113
XI	Extracto del Libro de <i>Tags</i> , red de agua de río.....	122
XII	Extracto del Libro de <i>Tags</i> , red de agua de enfriamiento.....	124
XIII	Extracto del Libro de <i>Tags</i> , red de agua de retorno	126

LISTA DE SÍMBOLOS

SÍMBOLO	SIGNIFICADO
A	Amperios
HP	Caballos de potencia
Φ	Diámetro
Gpm	Galones por minuto
pH	Grado de acidez
°	Grado decimal
°C	Grados centígrados
Kwh	Kilowatt hora
l/s	Litros por segundo
>	Mayor a
<	Menor a
≤	Menor o igual a
M	Metro
M ³	Metros cúbicos
No.	Número
%	Porcentaje
"	Pulgadas
®	Registrado
V	Voltaje

GLOSARIO

Activo	Equipo o infraestructura producto de una inversión que genera gastos de mantenimiento.
Cabeza	Energía por unidad de peso comunicada a un fluido por la acción de una bomba.
Cal hidratada	Hidróxido de calcio resultante de la reacción química entre cal viva y agua.
Cal viva	Oxido de calcio resultante de la calcinación de piedra caliza.
Cantera	Excavación a cielo abierto de donde se extrae material en forma de rocas.
Cemento pórtland	Material de construcción que endurece al reaccionar químicamente con el agua, obtenido de la pulverización del clinker con un pequeño porcentaje de yeso.
Clinker	Material compuesto por silicatos y aluminatos de calcio, obtenido de la calcinación de harina cruda.
Clinkerización	Proceso de producción de clinker.
Confiabilidad	Característica de un equipo o instalación que mide el tiempo en que puede operar sin fallas consecutivas.
Criticidad	Incidencia de cada equipo dentro de la operación de una planta.
Datos técnicos	Conjunto de información que se refiere a datos de fabricación, operación, repuestos o planos, de cada equipo o instalación de la planta.

Equipo	Elemento que constituye el todo o parte de una máquina o instalación, y posee datos, historial y programas de reparación.
Fallo funcional	Cese total de la operación de un equipo por motivo de avería.
Floculación	Precipitación de sustancias en disolución coloidal.
Harina cruda	Polvo fino homogéneo obtenido de la molienda en conjunto de piedra caliza y arcillas.
Holcim	Grupo empresarial de origen suizo que agremia, en casi todo el mundo, compañías productoras de cemento, agregados y concretos.
Mantenibilidad	Tiempo promedio para reparar una falla ocurrida en un equipo. Está influenciada por el diseño del equipo y su instalación.
Micrón	Millonésima parte de un metro.
Piedra caliza	Carbonato de calcio.
Reserva de material	Documento por el que se egresa del almacén el material requerido por una orden de trabajo.
Suavizador	Equipo de tratamiento de agua, en el que por reacción química, el calcio y el magnesio disueltos en el agua (principales causantes de la dureza), son absorbidos por un material con propiedades regenerativas.
Tag	Palabra inglesa cuyo equivalente en español es etiqueta.
Tiro inducido	Depresión creada en el interior de un conducto por la acción de un ventilador.
Ty-rap	Cincho plástico graduable utilizado para sujetar cables eléctricos entre sí.

Vinilo (*Viny*)

Material plástico generalmente fuerte, flexible y de aspecto brillante, utilizado comúnmente en la fabricación de cubiertas protectoras.

RESUMEN

El presente trabajo describe el proceso seguido para llevar a cabo la implementación de mejoras en el mantenimiento mecánico de los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso, de planta San Miguel, de Cementos Progreso, S.A., dentro del marco de un sistema de gestión de mantenimiento de clase mundial.

En él, se proporciona una descripción general de planta San Miguel, y se describe con detalle el desarrollo del mantenimiento mecánico de la planta.

Para esto último, se define al Mantenimiento de Clase Mundial, y se presentan las principales prácticas que debe seguir, que en planta San Miguel se logran a través del sistema de gestión de mantenimiento MAC, del cual son descritos, cada uno de sus elementos componentes. También, se presenta la organización del departamento de mantenimiento mecánico, su modo de operar y las clases de mantenimiento practicados en la planta.

Además, se da a conocer la finalidad, descripción de la operación, problemas enfrentados y equipos mecánicos de los sistemas de agua abordados.

Y por último, se presentan las mejoras realizadas para el mantenimiento, que consisten en identificación de componentes de los sistemas de agua, actualización de los planos de las instalaciones y los planes de mantenimiento mecánico, con su respectivo procedimiento empleado para lograrlas.

OBJETIVOS

- **General**

Proporcionar un buen entendimiento acerca de la importancia y operación de los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso de planta San Miguel, de Cementos Progreso S.A., y desarrollar, planes mejorados de mantenimiento preventivo que permitan obtener el máximo rendimiento de los equipos mecánicos de estos sistemas, a un costo total óptimo y de forma permanente.

- **Específicos**

1. Describir la importancia y operación de los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso de planta San Miguel.
2. Establecer claramente la problemática enfrentada en los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso de planta San Miguel.
3. Actualizar los planos de las instalaciones de los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso de planta San Miguel.

4. Recopilar y organizar los datos de los accesorios y redes de tubería que componen a los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso, para lograr el buen entendimiento de su operación, y al mismo tiempo, facilitar sus tareas de reparaciones y modificaciones.
5. Desarrollar planes de mantenimiento preventivo mejorados para los equipos mecánicos de los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso, dentro del marco de un Mantenimiento de Clase Mundial.
6. Proporcionar sugerencias que contribuyan a efectuar mejoras en las instalaciones de los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso.

INTRODUCCIÓN

Los métodos empleados en la industria para remover el calor excedente generado en ciertas partes de la maquinaria y en fluidos de trabajo, son muy variados.

En una planta de producción es común observar el uso de ventiladores que dirigen corrientes de aire hacia ciertos puntos de algunos equipos, y en otros casos, entradas de tubería a equipos, que transportan agua para enfriamiento a presión.

Aunque en ambos casos, tanto la función del aire como la del agua es la misma, ésta última es más eficiente debido a que posee un coeficiente de transferencia de calor mayor, razón por la cual, su uso en sistemas de enfriamiento es más frecuente.

Además, el agua posee la ventaja de poder reciclarse térmicamente de una manera sencilla y económica, por lo que es posible utilizar una misma cantidad en repetidas ocasiones en un sistema de enfriamiento de circuito cerrado.

Dicho sistema está compuesto por equipos de bombeo, torres de enfriamiento, tanques de acopio y redes de tubería de envío y retorno del agua, y el mal funcionamiento en cualquiera de estos elementos, puede causar daños en la maquinaria que abastece, paro o disminución en el ritmo de producción y aumento en el costo de operación del sistema, por lo que es indispensable contar con planes de mantenimiento eficaces que aseguren el funcionamiento siempre correcto del sistema de enfriamiento.

Por otro lado, el agua también es utilizada como recurso de fabricación en una gran variedad de procesos productivos en la industria, conociéndose en estos casos como agua de proceso.

Las fallas en el funcionamiento de los equipos de bombeo y en la red de tubería que componen al sistema de suministro de agua de proceso, puede tener como consecuencias paro o disminución en la tasa de producción y daños a la calidad del producto, por lo que también es indispensable para este sistema, contar con planes de mantenimiento eficaces que aseguren su correcto funcionamiento todo el tiempo.

El presente trabajo tiene su motivación principal en la importancia que tiene la operación exenta de fallos de los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso de planta San Miguel, de Cementos Progreso, S.A.

En el primer capítulo se describen: el entorno en que se desarrolla el trabajo, las causas que dieron origen a la implementación de mejoras en el mantenimiento mecánico de los sistemas de agua tratados y la base de los procedimientos que se emplearon en la realización de dichas mejoras. Y en el segundo capítulo se describen: los procedimientos utilizados en la realización de las mejoras y las mejoras efectuadas.

1. ENTORNO DEL TRABAJO (FASE DE INVESTIGACIÓN)

1.1. Descripción general de planta San Miguel

Planta San Miguel es la segunda planta construida en Guatemala para fabricación de Cemento Pórtland por Cementos Progreso, S.A.

Su nombre se debe al de la finca en donde se encuentra ubicada, San Miguel Río Abajo, en Sanarate, El Progreso, a unos 50 kilómetros de Ciudad Guatemala, y fue adquirida en 1965 con la visión de construir una fábrica de cemento de gran capacidad de producción que permitiera la expansión de Cementos Progreso S.A. hacia mercados cada vez más grandes y competitivos.

En 1971 se inició la construcción de la primera línea de producción en planta San Miguel, comenzando operaciones en 1974, únicamente con la producción de *clinker*, y en 1977, con la molienda de cemento. En 1978 se inició la construcción de una segunda línea de producción que comenzó a operar en 1980, y en 1996, se inició la construcción de la tercera línea de producción que comenzó a operar en 1998.

Actualmente, planta San Miguel es una de las plantas productoras de cemento más avanzada de América Latina. Con sus 3 líneas de producción, denominadas línea 1, línea 2 y línea 3, de acuerdo al orden en que fueron construidas, tiene una capacidad de producción de 3 millones de toneladas de cemento por año entre las que se encuentran varios tipos o formulaciones especiales destinadas a satisfacer requerimientos específicos de ciertas aplicaciones, siendo estos tipos: Cemento 4000, Cemento 5000, Cemento UGC, Cemento Blanco, Cemento Tipo V, Cemento Clase H y Cemento para Fabricar *Blocks*.

Además de la fábrica de cemento, en planta San Miguel se encuentran ubicadas una línea de producción de cal hidratada Horcalsa® y la Generadora Progreso, ambas pertenecientes también, a la Corporación Cementos Progreso.

La línea de producción de cal hidratada está en operación desde 1991 y tiene capacidad de producir 720 sacos de cal hidratada por hora, y por el otro lado, la Generadora Progreso es una central de generación eléctrica a base de 4 motores de combustión interna marca MAK® con capacidad total de producción de 16000 Kwh. y se encuentra en operación desde 1993.

En planta San Miguel se realizan todas las etapas necesarias para la fabricación de cemento, las cuales comprenden: extracción de materiales, trituración de materias primas, molienda de materias primas, clinkerización, molienda de cemento y despacho.

La extracción de las principales materias primas, consistentes principalmente en piedra caliza y arcillas, es realizada por medio de explosivos y por medios mecánicos en canteras cercanas a la planta, desde donde son transportadas hacia la etapa de trituración.

En la etapa de trituración de materias primas, se utilizan dos trituradoras giratorias que operan en serie; una trituradora primaria que recibe directamente el material transportado desde las canteras y que, luego de una primera reducción de dimensiones, es enviado a la trituradora secundaria de donde se obtiene el material en tamaños adecuados para su posterior molienda. También para esta etapa, se cuenta con una trituradora de impacto que opera sin relación con las anteriores y realiza la función de ambas trituradoras, primaria y secundaria, a la vez.

Previo a la molienda de las materias primas es necesario realizar un proceso conocido como pre-homogenización, que tiene la finalidad de mezclar las materias primas de manera uniforme y en las proporciones adecuadas antes de su entrada a los molinos de crudo.

Para la etapa de molienda de materias primas, se utilizan dos molinos de bolas, correspondientes a las líneas 1 y 2, y un molino vertical de rodillos correspondiente la línea 3, de donde se obtiene el material conocido como harina cruda.

La etapa de clinkerización comienza con la homogenización y precalentamiento de la harina cruda en ciclones de aire dispuestos en forma vertical en un edificio conocido como torre de ciclones, que va situado en el extremo de carga del horno. En planta San Miguel existen 3 de estas torres, una correspondiente a cada línea de producción y por consiguiente a cada uno de los hornos instalados. Los hornos, son de tipo rotatorio y cuecen la harina cruda a temperaturas entre 1400°C y 1650°C dando como resultado un material granular llamado *Clinker*.

La etapa de molienda de cemento comienza con mezclar el *clinker* y una proporción entre 4% y 5% de yeso, que sirve principalmente para controlar el tiempo de fraguado del cemento, previo a su ingreso a los molinos de cemento. Tales molinos, consisten en dos molinos de bolas, correspondientes a las líneas 1 y 2, y dos molinos verticales de rodillos correspondientes a la línea 3, a partir de los cuales, el cemento obtenido es transportado por bandas hacia silos de almacenamiento donde espera para su despacho, ya sea a granel o en bolsas de 42.5 Kg.

1.2. Mantenimiento de Clase Mundial

1.2.1. Tendencias actuales en la gestión del mantenimiento

Hoy en día, los directivos de las empresas deben estar conscientes de que el mundo se ha globalizado, y que por lo tanto, hay que tomar acciones correctas que permitan la superación de los retos que conlleva el ser competitivos en los mercados.

Actualmente, los clientes buscan en los productos: calidad, buen precio y servicio; los inversionistas quieren mayor rendimiento y máxima seguridad para sus inversiones; los trabajadores demandan mejores condiciones de trabajo y la sociedad exige mayor atención a temas relacionados con la protección del medio ambiente. Además, la competencia en los mercados ya no es local, sino global.

Esto significa, que para ser competitivos es necesario, principalmente, que las empresas implementen políticas de gestión de calidad que aseguren la satisfacción del cliente por el producto adquirido. Alcanzar altos niveles de productividad que permitan dar al cliente un precio justo por el producto e implementar programas de seguridad para sus trabajadores y controles que brinden la protección debida al medio ambiente.

Pero lo anterior no es suficiente si se cumple solo durante ciertos intervalos de tiempo, es decir, esto debe cumplirse siempre, cosa para lo cual es necesaria la confiabilidad, misma que es alcanzada por medio del mantenimiento correcto de la maquinaria e instalaciones.

Por lo tanto, debido al importante aporte que tiene el mantenimiento en la competitividad es que ha tomado especial interés dentro de las organizaciones. Innovadores enfoques para su gestión se emplean en la actualidad, orientados a lograr la máxima confiabilidad en los activos a un costo total óptimo.

El enfoque en la gestión del mantenimiento que ha tenido mucho éxito últimamente, es aquel que le da al mantenimiento una orientación hacia los negocios. En este enfoque, se trazan objetivos estratégicos traducidos en índices de gestión que permiten medir su desarrollo y que, en la medida en que van alcanzándose, permiten el cumplimiento de los objetivos generales de la organización. Todo esto enmarcado dentro de un plan estratégico de competitividad definido con la debida anticipación por la alta gerencia.

1.2.2. Definición de mantenimiento de Clase Mundial

El Mantenimiento de Clase Mundial puede definirse como: “el conjunto de las mejores prácticas operativas y de mantenimiento, que reúne elementos de distintos enfoques organizacionales con visión de negocio, para crear un todo armónico de alto valor práctico, las cuales aplicadas en forma coherente generan ahorros sustanciales a las empresas” (Gotera, 2003.7).

La categoría Clase Mundial, exige centrarse en los siguientes aspectos:

- Excelencia en los procesos centrales
- Calidad y rentabilidad de los productos
- Motivación y satisfacción personal y de los clientes
- Máxima confiabilidad
- Logro de la producción requerida
- Máxima seguridad personal
- Máxima protección ambiental

1.2.3. Prácticas que sustentan al mantenimiento de Clase Mundial

Las diez mejores prácticas en las que se basa un Mantenimiento de Clase Mundial, consisten en:

- **Organización centrada en equipos de trabajo**

El análisis de los procesos y la resolución de problemas se realiza a través de equipos de trabajo multidisciplinarios reconocidos formalmente por la empresa.

- **Contratistas orientados a la productividad**

El pago a los contratistas debe estar vinculado con el aumento de los niveles de producción, mejoras de la productividad y con la optimización de costos. Además, los trabajos que realicen deben ser bien planificados y con alcances definidos bien presupuestados, de manera que no contribuyan al incremento de las horas-hombre.

- **Integración con proveedores de materiales y servicios**

El inventario de materiales debe ser administrado por los propios proveedores, esto, con la finalidad de asegurar las cantidades de material requeridas en el momento apropiadas y a un costo óptimo.

Además, debe contarse con una base de proveedores confiables e integrados con las áreas de proceso para las cuales se requieren los materiales.

- **Apoyo y visión de la gerencia**

La alta gerencia debe jugar un papel activo y notorio en equipos de trabajo para el mejoramiento continuo, capacitación del personal, programas de incentivos, evaluación del personal y programas de desarrollo de carrera.

- **Planificación y programación proactiva**

La planificación y programación del mantenimiento, tienen como objetivo maximizar la eficacia de los equipos e instalaciones, al incrementar su tiempo de permanencia en operación, prolongar su vida útil y alcanzar altos niveles de calidad de los productos, lo que puede traducirse como una operación al más bajo costo por unidad producida.

La planificación y programación del mantenimiento, debe ser metódica y sistemática con retroalimentación. Debe incluir las actividades a realizarse a corto, mediano y largo plazo, buscando siempre la maximización de la productividad y la confiabilidad de los equipos, y debe apegarse a procedimientos documentados establecidos.

- **Procesos orientados al mejoramiento continuo**

Consiste en buscar continuamente la manera de mejorar las actividades y procesos, siendo estas mejoras promovidas, seguidas y reconocidas públicamente por la gerencia. Esta filosofía de trabajo debe ser parte de la cultura de todos en la organización.

- **Gestión disciplinada en adquisición de materiales**

Consiste en un procedimiento de adquisición de materiales uniforme y unificado en toda la corporación, que garantiza el servicio de los mejores proveedores, balanceando costos y calidad, en función de convenios y tiempos de entrega oportunos y utilizando modernas tecnologías de suministro.

- **Integración de sistemas**

Se refiere al uso de sistemas estándares en la organización, alineados con los procesos a los que apoyan y que faciliten la recuperación y registro de datos para análisis.

- **Gerencia disciplinada de paradas de planta**

Las paradas de planta deben coordinarse de una manera rígida y disciplinada. Su planificación debe hacerse con 12 a 18 meses de anticipación, debe incluir a todas las áreas involucradas, siguiendo con apego los procedimientos documentados para tal efecto.

- **Producción basada en la confiabilidad**

Deben aplicarse sistemáticamente las más avanzadas tecnologías de mantenimiento predictivo como: análisis de vibraciones, análisis de aceite, ultrasonido, alineación, balanceo y otras. Esto, con el objetivo de predecir el comportamiento de los equipos con 12 meses de anticipación.

1.3. Mantenimiento de cemento (MAC)

1.3.1. Definición de MAC

MAC es un sistema de gestión de mantenimiento de categoría Clase Mundial, diseñado por Holcim para las empresas manufactureras de cemento que forman parte su gremio internacional.

Consiste en un conjunto estándar de sistemas, técnicas, herramientas y prácticas a través del cual se realizan las actividades de previsión, planificación, ejecución y reportes del mantenimiento de la maquinaria de una planta de producción.

1.3.2. Enfoque de MAC

MAC está dirigido a optimizar la Tasa de Rendimiento Total (TRT) al costo de mantenimiento más bajo en forma sostenible.

La Tasa de Rendimiento Total (TRT) constituye una medida de la eficiencia de un proceso o equipo y su cálculo depende de 3 indicadores según se muestra en la siguiente ecuación:

$$\text{TRT (\%)} = \frac{\text{Disponibilidad} \times \text{Rendimiento} \times \text{Calidad}}{10000}$$

donde

- **Disponibilidad:** es el porcentaje de tiempo en que un equipo opera del total del tiempo que debió haber operado si no se hubiera presentado una falla.
- **Rendimiento:** es el porcentaje de producción obtenida durante cierto tiempo, del total de producción estándar demostrado que puede obtenerse durante ese mismo tiempo.
- **Calidad:** es el porcentaje de producto de buena calidad producido durante el período de funcionamiento del equipo.

Los costos de mantenimiento son aquellos que influyen en alcanzar y mantener el valor de TRT y están conformados por el costo directo de mantenimiento (materiales, mano de obra y servicios), y el costo del inventario de repuestos.

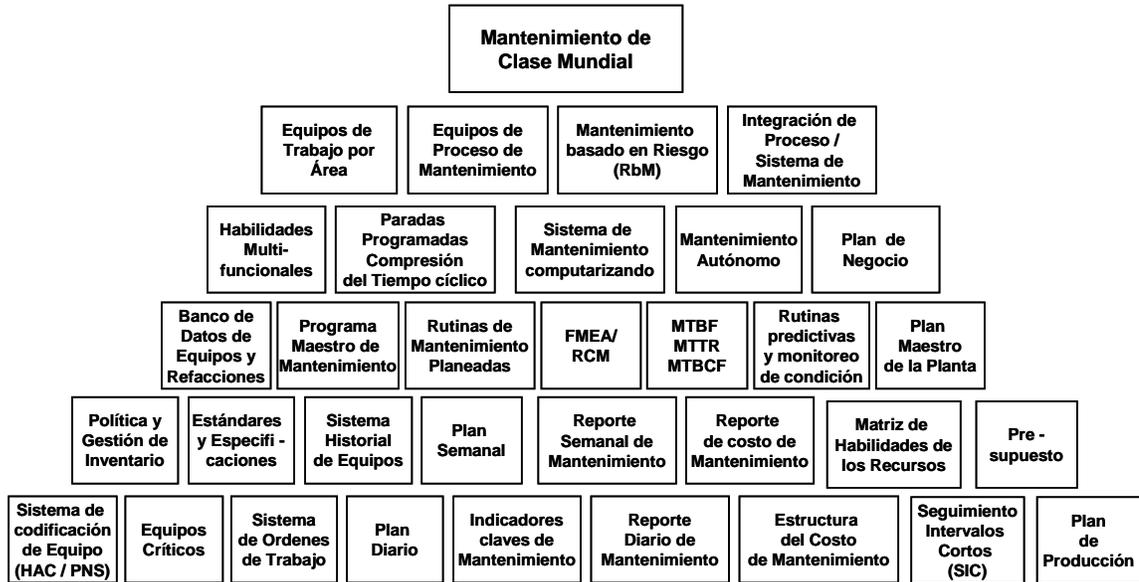
Por lo tanto, MAC persigue lograr que la producción sea en la cantidad y de la calidad esperada durante períodos de tiempo prolongados y con el menor gasto posible en materiales, mano de obra y servicios de mantenimiento, y con una existencia de repuestos que sea estrictamente la necesaria.

Por último, es importante mencionar que la TRT es conocida también como Eficiencia Global de los Equipos (EGE).

1.3.3. Estructura de MAC

El ordenamiento de los distintos elementos que conforman MAC con relación a la dependencia que puede existir entre ellos produce como resultado la estructura de MAC, la cual, puede ser representada gráficamente como la pirámide que se muestra a continuación en la Figura 1, y es conocida como la Pirámide MAC.

Figura 1. Pirámide MAC



Fuente: CEMPRO. **Presentación: Introducción a MAC.** Diapositiva 13.

La Pirámide MAC resulta ser una herramienta muy importante para evaluar los avances durante el proceso de implementación de MAC, y además, es muy útil para formarse una idea de la interrelación existente entre cada uno de los elementos que conforman MAC.

1.3.4. Descripción de los elementos de la pirámide MAC

- **Sistema de codificación de equipos**

Consiste en un sistema de identificación único que describe a todos los equipos hasta el nivel más bajo de mantenimiento, al igual que su ubicación física.

Este sistema constituye un requerimiento básico para el historial del equipo.

- **Equipos críticos**

Consiste en una clasificación de cada equipo según criterios elaborados de acuerdo al impacto que tiene su falla en el desarrollo normal de la producción.

- **Sistema de ordenes de mantenimiento**

Es un sistema de control e información que suministra instrucciones para realizar una tarea, tiempo de operación, prioridad de la tarea, descripción de la tarea, repuestos necesarios, retroalimentación de lo que se hizo (tiempo, repuestos utilizados) y costos (mano de obra, materiales y contratistas).

- **Plan diario**

Consiste en una descripción detallada de los trabajos que se realizarán al día siguiente. También, se pueden agregar tareas extras, pero son consideradas como emergencias.

Entre la información que debe incluir el plan diario se encuentran: No. de orden de trabajo (OT), descripción del trabajo, tiempo estimado, tiempo disponible, tiempo real, quiénes realizan el trabajo, área de la planta y fecha.

El plan diario toma como base el plan semanal y se traslada diariamente al personal operativo.

- **Indicadores claves de desempeño (KPI)**

Son representaciones numéricas de la medida del desempeño de una actividad o proceso y son utilizados para respaldar la toma de decisiones sobre la base de hechos comprobables.

- **Reporte diario de mantenimiento**

Es un informe periódico del cumplimiento del cumplimiento del plan de las actividades de mantenimiento y desempeño de equipos, incluyendo la causa de cualquier variación.

- **Estructura del costo de mantenimiento**

Consiste en crear una jerarquía en los costos de mantenimiento que facilite rastrear el lugar donde se incurre en ellos, su análisis y reporte.

- **Seguimiento a intervalos cortos (SIC)**

Es el monitoreo y control regular de un proceso o una actividad. Su frecuencia tiene que reflejar el lapso durante el cual, todavía un individuo puede influenciar en el proceso o actividad.

- **Plan de producción**

Es un plan que indica los requerimientos de producción para una semana y está dividido en planes diarios que indican la meta de producción.

Además, el plan de producción debe estar vinculado al plan de mantenimiento debido a la importancia de conocer la disponibilidad de equipos para las actividades de mantenimiento.

- **Política y gestión de inventario**

Busca la maximización de la disponibilidad de los equipos críticos a un costo mínimo.

La política y gestión de inventario debe toma en cuenta la criticidad de los repuestos, tiempo de entrega de repuestos críticos, cantidades y pedidos económicos, disponibilidad y calidad de repuestos, acuerdos de repuestos comunes entre plantas y la planificación y control sistemático de los repuestos para maximizar la disponibilidad y minimizar el costo.

Además, es importante señalar que una política de inventario es un requisito para el establecimiento de un sistema de gestión de repuestos.

- **Estándares y especificaciones**

Es una corta descripción estándar de una actividad de mantenimiento planificada o de rutina que describe lo que hay que hacer, cómo se tiene que realizar, el tiempo óptimo para realizarlo, cuántas personas se necesitan, que habilidad o especialidad se necesita, los materiales y herramientas necesarios y los requerimientos de calidad y seguridad.

Además, incluye una corta descripción de la causa del fallo y de las causas de pérdida de tiempo.

- **Sistema de historial de equipos**

Consiste en un registro histórico del desempeño de cada equipo que incluye tiempo de parada y número de fallas, tiempo de operación, actividades de mantenimiento realizadas en fallas mayores y el costo de su reparación.

- **Niveles de planificación del mantenimiento**

Consiste en definir las actividades de planificación del mantenimiento de acuerdo a su periodicidad de ejecución.

- **Reporte semanal de mantenimiento**

Es un informe periódico de los indicadores claves de mantenimiento que permite la revisión y análisis de las actividades de mantenimiento y desempeño de los equipos.

- **Reporte de costo de mantenimiento**

Es un sistema de análisis de costos de todo un ciclo que sirve para determinar los verdaderos costos de operación y de mantenimiento de un equipo.

- **Matriz de habilidades de los recursos**

Es una matriz que identifica la competencia de las personas que realizan actividades de mantenimiento.

Su objetivo es identificar la base de habilidades, diferencias y necesidades de capacitación para un individuo o grupo de personas para optimizar la flexibilidad de las habilidades.

- **Presupuesto**

El presupuesto tiene que identificar claramente los costos de mantenimiento previstos por área y período incluyendo la mano de obra, materiales, repuestos, proyecto mayor y contratistas.

- **Banco de datos de equipos y reparaciones (BOM)**

Consiste en el desglose de todos los repuestos y consumibles a nivel de material comprable, requeridos para mantener un equipo.

- **Programa maestro de mantenimiento**

Es un plan a largo plazo (13 semanas) de todas las actividades de mantenimiento y los recursos necesarios para realizarlas. Este debe tomar en cuenta la disponibilidad de la mano de obra, la productividad de la mano de obra, las rutinas de mantenimiento planificadas, las tareas prioritarias y la disponibilidad del material y de los repuestos.

- **Rutinas de mantenimiento programado**

Son las actividades de rutina diseñadas para minimizar el riesgo de fallas no planeadas e incluyen paradas de rutina y reemplazo con frecuencia fija de repuestos.

- **FMEA / RCM**

Es una herramienta analítica para establecer sistemáticamente el tipo de daño y su efecto.

Reliability Centered Maintenance (RCM), es un proceso que utiliza FMEA (*Failure Mode Effect Analysis*) para determinar el mantenimiento preventivo óptimo para que cada equipo cumpla con las demandas de operación segura, protección del entorno, calidad de producción y disponibilidad de la planta.

- **MTBF / MTTR / MTBCF**

Mean Time Between Failure (MTBF): Tiempo promedio entre fallas para un componente de un equipo.

Mean Time To Repair (MTTR): Duración promedio de parada para reparar un componente de un equipo.

Mean Time Between Causal Failure (MTBCF): Tiempo promedio entre fallas de un equipo con las mismas causas.

- **Rutinas predictivas y monitoreo de condición**

Consiste en la aplicación de técnicas que permiten observar la condición de operación de los equipos para predecir la ocurrencia de una falla, y así, oportunamente realizar las tareas de mantenimiento requeridas.

- **Plan maestro de la planta**

Es un plan a largo plazo (1 a 3 años), que indica las necesidades de producción, la disponibilidad de mano de obra, los planes de capacitación, las actividades de mantenimiento más importantes y las inversiones a realizar.

- **Habilidades multifuncionales**

Consiste en la capacitación de todos los operarios en las funciones principales de mantenimiento, ya sean operarios de proceso o especialistas de mantenimiento o entre diferentes departamentos.

- **Paros programados – Compresión del tiempo cíclico**

Es un método que permite planificar, controlar y revisar actividades durante un período de paro programado para minimizar el tiempo de dicho paro.

Con este método, es posible identificar actividades de mantenimiento que pueden realizarse fuera del paro programado o en paralelo y modificaciones de los equipos que buscan mejorar su mantenibilidad.

- **Sistema de mantenimiento computarizado**

Es un sistema que automatiza el desarrollo y la gestión de información del mantenimiento y que debe estar totalmente integrado y relacionado con los demás sistemas de trabajo (compras, almacén, ingeniería, costos y finanzas).

- **Mantenimiento autónomo**

Consiste en que las tareas de mantenimiento de alta frecuencia se deben realizar de forma rutinaria por el operario del equipo, fuera del control del sistema de planificación. A menudo, se realizan utilizando una hoja de chequeo y cuando no es necesario son comunicadas verbalmente.

- **Plan de negocio**

Consiste en un plan a largo plazo (5 años), que indica la estrategia y las actividades de la compañía, los recursos necesarios para llevarlas a cabo, tomando en cuenta la evolución del mercado, la visión del negocio, el plan de capacitación, las inversiones a realizar, los objetivos para los indicadores claves de desempeño (KPI) y la misión de la compañía.

- **Equipos de trabajo por área**

Las personas responsables del mantenimiento y del proceso deben trabajar conjuntamente para la operación, mantenimiento y mejoras de todos los equipos de su área correspondiente, apoyados por asesores cuando sea necesario.

- **Equipo de proceso de mantenimiento**

Un equipo multifuncional que reemplaza a equipos de mantenimiento de varias especialidades y a operarios de procesos.

- **Mantenimiento basado en riesgo (RBM)**

Es una extensión del proceso RCM para determinar un mantenimiento óptimo basado sobre los costos y la fiabilidad de los requerimientos dentro de un entorno cambiante.

- **Integración de proceso / sistema de mantenimiento**

Sistemas desarrollados y utilizados para controlar el proceso de toma de decisiones de mantenimiento. Estos incluyen: sistemas expertos, sistemas de reporte de pérdidas por rendimiento y por paros.

Y para concluir, es importante señalar que los elementos identificados como Plan de producción, Presupuesto, Plan maestro de planta y Plan de negocio, también conocidos como elementos de entrada, no son desarrollados por MAC, pero proporcionan información de utilidad para su mejor realización.

1.4. Sistemas, aplicaciones y productos en el procesamiento de datos (SAP)

1.4.1. Definición de SAP

Es un programa de computadora integrado por varias aplicaciones o módulos que interactúan entre sí, que utiliza la información capturada y procesada en tales módulos durante la operación normal de un negocio, para generar nueva información que se utiliza en la toma de decisiones a nivel gerencial o al nivel de una aplicación específica.

1.4.2. Módulos de SAP

En Cementos Progreso, S.A., SAP está integrado por los siguientes módulos:

- Contabilidad Financiera (FI)
- Controlling (CO)
- Gestión de Materiales (MM)
- Contabilidad de Activos Fijos (AA)
- Mantenimiento (PM)
- Control y Planificación de la producción (PP)
- Comercial (CO)
- Tesorería (TR)
- Recursos Humanos (RH)
- Gestión de Calidad (QM)
- Consolidación (CS)
- Sistema de proyectos (PS)
- Almacén de datos para análisis gerencial

1.4.3. Módulo de Mantenimiento (PM)

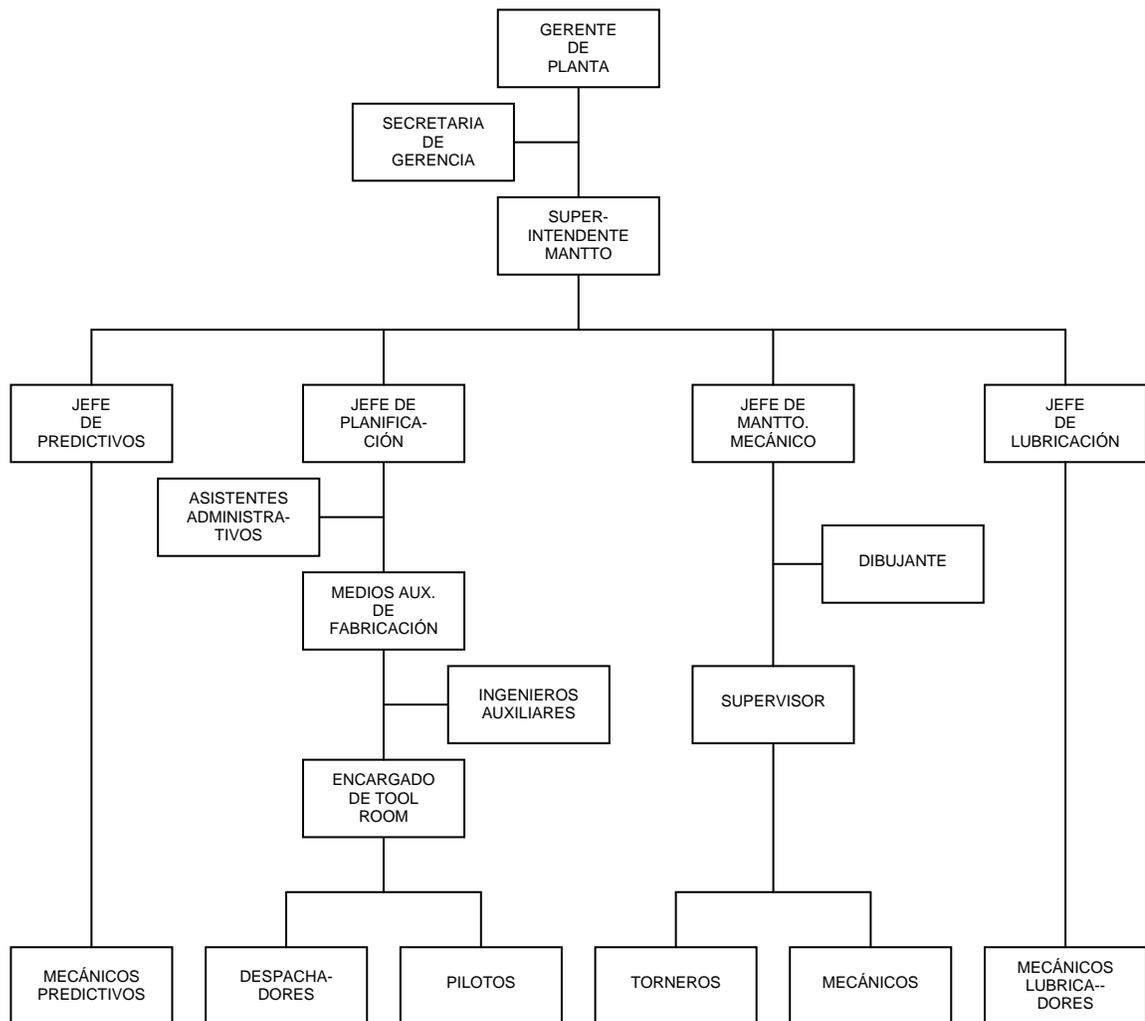
Es el módulo de SAP que ayuda a hacer eficiente la gestión del mantenimiento a través de la automatización del procesamiento, organización y almacenamiento de información correspondiente a cada equipo.

Su función general más importante consiste en la asignación automática de trabajos de mantenimiento planificado para los distintos equipos y la asignación manual de trabajos en el caso de mantenimientos de emergencia.

1.5. Mantenimiento mecánico en planta San Miguel

1.5.1. Organización del departamento de mantenimiento mecánico

Figura 2. Organigrama del departamento de mantenimiento mecánico



La Figura 2 detalla de manera gráfica, la organización del departamento de mantenimiento mecánico.

En dicha figura, se puede observar que el departamento de mantenimiento mecánico está encabezado por el superintendente de mantenimiento mecánico, quien tiene como principales atribuciones: coordinación de actividades propias del departamento, toma de decisiones de importante relevancia y servir como enlace entre el departamento y la gerencia de planta.

En el nivel jerárquico inferior siguiente, puede observarse que el departamento de mantenimiento mecánico se divide en 4 áreas: área de mantenimiento predictivo, área de planificación, área de mantenimiento mecánico y área de lubricación. Cada una de estas áreas tiene a su cargo la realización de tareas únicas de mantenimiento bajo la coordinación del jefe respectivo responsable de cada una de ellas.

En el área de predictivos se realizan los pronósticos de los fallos y se determinan estadísticamente los intervalos óptimos en que debe efectuarse el mantenimiento a los equipos y maquinaria.

En el área de planificación se verifica la correcta administración de los planes de mantenimiento, se vela por el correcto flujo de información del sistema de gestión, se generan órdenes de compra y se proporciona información por medio de manuales de la maquinaria.

El área de mantenimiento mecánico, a su vez, se divide en dos: servicios generales y tornos. La división de servicios generales es la encargada de proporcionar mantenimiento a los sistemas de agua, aire comprimido y a ciertos equipos auxiliares, mientras que la división de tornos, realiza trabajos para cualquier área de la planta donde es necesario el uso de máquinas-herramientas.

El área de lubricación se encarga de controlar los niveles de lubricante de las distintas máquinas, determinar fallos por mala lubricación y proporcionar el mejor lubricante de acuerdo a su contexto operacional.

1.5.2. Mantenimiento mecánico en las áreas de proceso

En cada una de las áreas de proceso de la planta (cantera y trituración, harina cruda, *clinker* y molinos de cemento), hay un jefe de mantenimiento, un ingeniero auxiliar y un asistente, quienes en conjunto, son los encargados de coordinar y planificar los trabajos de mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos pertenecientes a sus respectivas áreas. También, hay un supervisor de área y técnicos mecánicos encargados de la ejecución directa de los trabajos de mantenimiento.

El jefe de mantenimiento de área revisa y corrige la prioridad de las actividades programadas por el ingeniero auxiliar, garantiza la correcta supervisión de su ejecución en campo y verifica que se haga el mantenimiento de acuerdo a las recomendaciones del fabricante del equipo.

El ingeniero auxiliar visualiza en SAP los avisos de fallos y establece prioridades para la programación de sus reparaciones. Administra las ordenes de trabajo (OT), generadas para el mantenimiento en SAP y supervisa la retroalimentación de las mismas también en SAP.

El supervisor de área supervisa a los responsables de ejecutar las tareas de mantenimiento (técnicos mecánicos), asignadas por medio de una OT. Luego, recibe las OT terminadas, las aprueba y las entrega al asistente administrativo para su retroalimentación en SAP.

Por último, el asistente administrativo genera las OT y sus reservas de material, retroalimenta a SAP con la información de las OT terminadas y actualiza las criticidades de algunos equipos en SAP.

De lo anterior, puede notarse que existe un importante flujo de información en la realización del mantenimiento. Esta información, se recopila y procesa en el área de planificación del departamento de mantenimiento, y es indispensable para la generación de directrices que permitan orientar las actividades del mantenimiento hacia el cumplimiento de las metas fijadas.

1.5.3. Órdenes de trabajo (OT)

1.5.3.1. Definición de OT

Es un documento en el que se describe a detalle un trabajo de mantenimiento que debe realizarse, la forma como debe hacerse, en dónde, para cuándo se debe terminar y en qué permite retroalimentar lo realizado.

Su objetivo es asegurar que se hará el trabajo correcto, además de obtener información que se almacenarán en el banco de datos de los equipos para futuras referencias.

1.5.3.2. Información contenida en una OT

Hay 2 categorías de información que debe contener una OT:

- **Información proporcionada por la OT:**
 - ✓ Indicación del equipo al que se realizará el mantenimiento
 - ✓ Descripción del trabajo a ejecutar
 - ✓ Fecha de inicio de la actividad
 - ✓ Tiempo estimado de la operación
 - ✓ Personal asignado
 - ✓ Herramienta necesaria
 - ✓ Materiales necesarios
 - ✓ Medidas de seguridad

- **Información requerida para retroalimentación de la OT:**

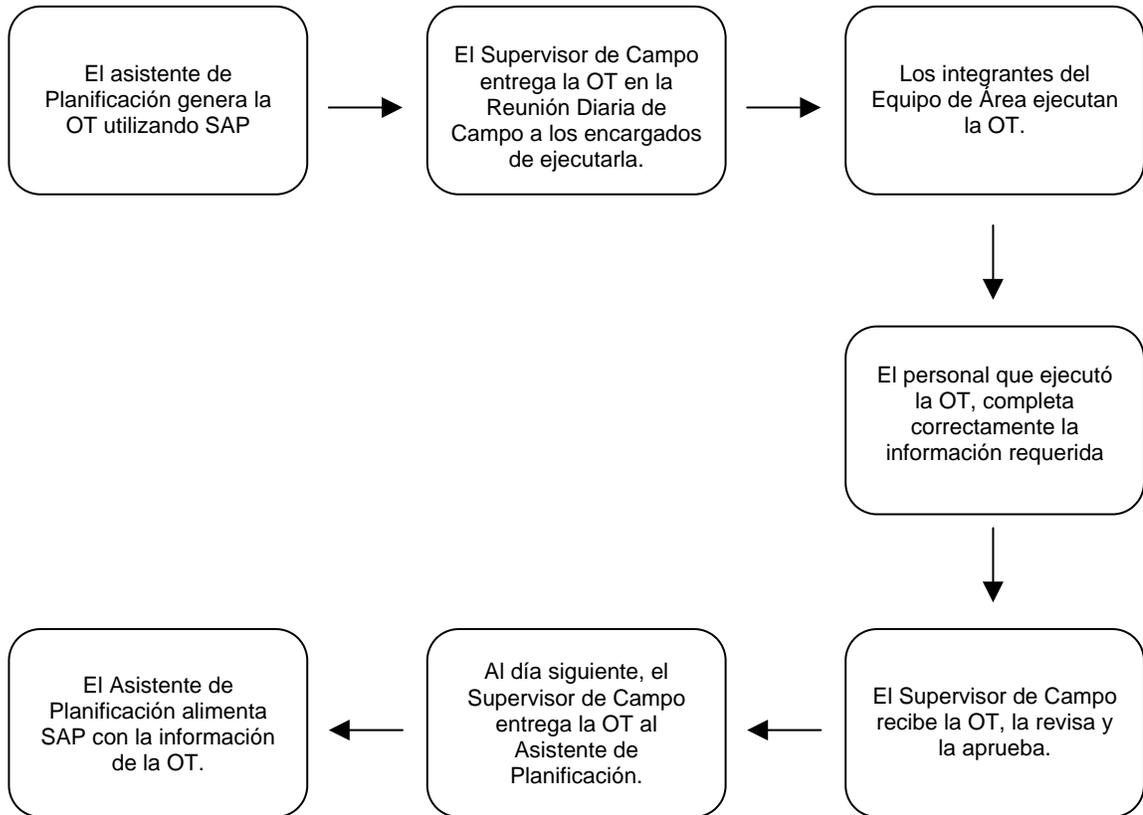
- ✓ Tiempo real de ejecución
- ✓ Trabajo realizado
- ✓ Herramientas y materiales extras utilizados
- ✓ Personal que ejecutó la OT
- ✓ Causas de retraso
- ✓ Observaciones

1.5.3.3. Generación de las OT

Las OT se pueden generar automáticamente por medio de SAP, en el caso del mantenimiento planificado, o se pueden generar manualmente a partir de un aviso de avería, el cual, consiste en la notificación de una falla detectada en un equipo después de realizarle una inspección y la que debe repararse con la mayor brevedad posible.

Ahora bien, sin importar cuál sea el caso que dé origen a una OT, el proceso que sigue su ejecución se ilustra en la Figura 3.

Figura 3. Proceso de ejecución de una OT



1.5.4. Tipos de mantenimiento mecánico ejecutados en planta San Miguel

1.5.4.1. Mantenimiento predictivo

Se encarga de predecir las fallas en los equipos críticos a través del monitoreo de parámetros de operación susceptibles de ser medidos, de los equipos críticos de la planta y proporciona información de sus tendencias a las distintas áreas de mantenimiento.

En la ejecución del mantenimiento predictivo se pueden distinguir las siguientes fases:

- **Detección:** consiste en el monitoreo periódico de las características de operación del equipo crítico. Los datos obtenidos en campo son graficados para verificar algún cambio respecto a las alarmas definidas, evaluando así la tendencia.
- **Análisis:** consiste en la obtención de datos de campo adicionales cuando se detectan cambios en la operación normal del equipo, con la finalidad de determinar la causa de algún problema.
- **Corrección:** consiste en corregir y eliminar el problema que ha sido analizado anteriormente.
- **Verificación:** una vez hecha la corrección del problema se procede a verificar la operación contra las alarmas.

El jefe de mantenimiento predictivo en colaboración con los mecánicos de mantenimiento predictivo, define las rutinas y frecuencias de inspección de acuerdo a los siguientes criterios:

- Sugerencias del fabricante
- Manuales del equipo
- Experiencias con equipos similares
- Problemas encontrados en la operación de los equipos
- Sugerencia de apoyo técnico externo

Las actividades comunes de mantenimiento predictivo que se realizan a los equipos son las siguientes:

- Análisis de Vibración
- Verificación de temperaturas en puntos clave o específicos de cada equipo
- Revisión de presiones
- Apreciación de resistencias mecánicas de materiales
- Elongación de cadenas
- Muestreo de aceite

1.5.4.2. Mantenimiento preventivo

Consiste en ejecutar periódicamente un conjunto de actividades planificadas en los equipos críticos, con la finalidad de garantizar su funcionamiento requerido y mejorar su disponibilidad.

Los distintos grupos de trabajo de las áreas de la planta ejecutan el mantenimiento bajo la supervisión del supervisor de área y reportan los resultados a mano en la misma OT entregada con la asignación del trabajo. Después de ejecutado el trabajo, el responsable de realizar el mantenimiento entrega la OT al supervisor de área, quien revisa su ejecución correcta para su posterior aprobación.

Si no se realizaron todas las actividades programadas, el supervisor investiga la razón y solicita al ingeniero auxiliar la reprogramación de las mismas.

1.5.4.3. Mantenimiento correctivo

Actividad desarrollada en los equipos críticos de la planta, cuando, a consecuencia de una falla, han dejado de prestar la calidad de servicio para el que fueron diseñados.

Los trabajos de mantenimiento correctivo se originan a partir de una notificación de falla por medio de un aviso o por la detección de la falla en los controles de operación del equipo.

Si la reparación de la falla requiere únicamente de unos cuantos trabajos sencillos, no hay necesidad de generar una OT y su registro se hace solo en el Reporte de Actividades del turno.

Para el caso en que se necesite generar una OT se realiza el mismo procedimiento del mantenimiento preventivo al concluir la ejecución de los trabajos.

1.6. Tratamiento del agua de enfriamiento y de procesos

1.6.1. Tratamiento primario

El agua utilizada en los procesos productivos y para el enfriamiento de la maquinaria de planta San Miguel, es obtenida por medio de una toma hecha al río Los Plátanos, por lo que originalmente contiene muchas impurezas disueltas y en suspensión, haciéndose necesario someterla a una serie de tratamientos de acondicionamiento previo a su utilización.

El tratamiento primario, se efectúa en el lugar denominado El Trapiche, en donde, el agua proveniente de la toma hecha al río es desviada por medio de un canal rectangular de entrada, construido de concreto reforzado, de 0.58 m de ancho, 0.50 m de profundidad y pendiente de 0.05 %. Este canal, posee una serie de mallas metálicas perpendiculares al flujo del agua en su extremo inicial, esto para evitar, el ingreso en el sistema de basura flotante que pueda irse arrastrando por la toma.

Además, para cumplir con el diseño del canal de entrada, 305 gpm ó 19.24 l/s, es necesario mantener el nivel del agua en el canal de entrada en 0.114 m, el cual se regula, con una compuerta metálica situada en su entrada.

Una vez eliminado el material en suspensión de gran tamaño, el agua es aireada por medio de un compresor de aire cuyo objetivo es el de lograr la precipitación del hierro que tiene disuelto, y a su vez, beneficiar la acción del químico floculante que se administra posteriormente.

La aplicación de químicos es realizada utilizando un medidor Parshall que tiene objetivo acelerar la mezcla de los químicos con el agua proveniente del canal de entrada. Estos químicos, que consisten en sulfato de aluminio y cal hidratada, sirven para lograr la floculación y control de pH del agua respectivamente.

El agua, ya tratada químicamente, entra a dos flocladores hidráulicos de flujo horizontal, contruidos en concreto reforzado y dispuestos en paralelo, en donde se lleva a cabo la formación de flóculos precipitables, producto de la combinación del hidróxido de aluminio con partículas solubles causantes de la turbiedad del agua.

Dichos flóculos precipitables son eliminados durante el paso inmediato del agua por dos sedimentadores laminares de flujo ascendente y dispuestos en paralelo, obteniéndose como resultado un tipo de agua bastante limpia con la que son abastecidos los tanques de succión.

Estos tanques de succión, consisten en cuatro tanques contruidos en concreto reforzado, unidos por puertas interiores que almacenan el agua proveniente de los sedimentadores, la cual, es utilizada en la alimentación de dos pozos de succión desde donde el agua es bombeada por medio de dos bombas sumergibles hacia dos tanques de 300 m³ cada uno (también de concreto reforzado), situados en el área de torres de enfriamiento o planta alta.

Previo a su entrada a los dos tanques de 300 m³, el agua proveniente de los tanques de succión, es filtrada por medio de dos filtros de arena y grava del tipo recipiente cerrado, marca PEP®, que operan en paralelo, con capacidad de filtrado de 350 gpm, retención de partículas de tamaños entre 20 y 30 micrones y con sistemas de retrolavado manual y automático.

Una vez el agua entra a los tanques de 300 m³, su utilización directa está limitada al riego de jardines y a procesos productivos. Su empleo para el enfriamiento de equipos y para agua potable requiere todavía de tratamientos posteriores.

1.6.2. Tratamiento secundario

El agua que será destinada a enfriamiento de equipos y a potable es enviada desde los tanques de 300 m³, por medio de una bomba centrífuga, hasta un aireador instalado a un nivel más alto. Este aireador es de tipo cascada, construido con 3 bandejas de plancha de acero de espesor de 3/16", y tiene como objetivo favorecer la precipitación del hierro que aún permanece disuelto en el agua.

Enseguida, el agua aireada pasa a un tanque de 60 m³ desde donde son abastecidos, por gravedad, dos filtros lentos de arena y grava de tipo abierto, que operan en paralelo, con capacidad de 20 gpm y con retención de partículas de tamaño de 10 micrones.

Por último el agua filtrada es desviada hacia un suavizador, si su uso va a ser para enfriamiento, y hacia un clorador si su uso va a ser el de agua potable.

1.7. Sistema de enfriamiento por agua

1.7.1. Finalidad del sistema de enfriamiento por agua

- Enfriar el aceite de sistemas hidráulicos luego de su compresión.
- Enfriar el aceite lubricante de componentes de equipos para mantener su temperatura de operación dentro de los límites permisibles.
- Enfriar el aceite lubricante en compresores rotativos de paletas y de tornillo para ayudar al enfriamiento del aire comprimido.
- Enfriar el aire comprimido, una vez ha salido del compresor, como parte del proceso de secado del aire (post-enfriador aire-agua).
- Enfriar el aire de salida de sopladores (post-enfriador aire-agua).

1.7.2. Operación del sistema de enfriamiento por agua

El sistema de enfriamiento por agua de planta San Miguel es un sistema del tipo circuito cerrado, es decir, el agua absorbe calor desde los equipos y lo cede a la atmósfera por medio de torres de enfriamiento en una forma cíclica.

Este ciclo del agua de enfriamiento, comienza con su salida de los tanques de las torres de enfriamiento, una vez ha sido enfriada durante su caída desde lo alto de las torres, y llega por gravedad a los distintos puntos de intercambio de calor de los equipos de la planta a través de dos ramales principales: el correspondiente a las Líneas 1 y 2, y el de la Línea 3.

Una vez el agua ha absorbido calor, es conducida por efecto de la gravedad, en tuberías situadas bajo nivel del suelo, hacia un tanque que lleva el nombre de Tanque de Agua de Retorno, y en donde, el agua que se va acumulando espera ser enviada hacia las torres de enfriamiento para su correspondiente extracción del exceso de calor que contiene.

El agua de retorno es impulsada desde el tanque de retorno hacia las torres de enfriamiento por medio de bombas centrífugas accionadas automáticamente por medio de electrodos de nivel colocados en el tanque de retorno, de tal forma que, cuando el nivel del tanque sube a al nivel establecido como máximo, las bombas comienzan a enviar el agua hacia las torres de enfriamiento y se detienen cuando el agua baje al nivel del tanque establecido como el mínimo.

Por último, el agua de enfriamiento necesaria para reponer las pérdidas en el sistema debido a fugas, evaporación y purgas, es ingresada directamente a los tanques de las torres de enfriamiento por efecto de la gravedad, cuando proviene del suavizador, o por medio de una bomba centrífuga cuando proviene de los tanques de 300 m³. Esta bomba funciona automáticamente gracias a electrodos de nivel colocados en el tanque de la torre HAMON® y en los tanques de 300 m³, los cuales previenen su arranque en vacío.

1.7.3. Elementos mecánicos del sistema de enfriamiento por agua

- **Bomba de reposición de agua de enfriamiento**

- ✓ **Descripción:** Bomba centrífuga de 1 etapa, aspiración simple, eje horizontal y accionada por motor eléctrico.
- ✓ **Función:** Reponer con agua de río, directamente en los tanques de las torres de enfriamiento, el agua perdida en el sistema de enfriamiento por concepto de evaporación, purgas y fugas.

- **Bomba 1 de agua de retorno**

- ✓ **Descripción:** Bomba centrífuga de 1 etapa, aspiración doble, eje horizontal, carcasa seccionada y accionada por motor eléctrico.
- ✓ **Función:** Enviar el agua que ha absorbido calor en los intercambiadores de calor de los equipos de la planta, desde los tanques de agua de retorno hacia las torres de enfriamiento. Esto sucede, únicamente cuando alguna de las otras dos bombas de retorno (bomba 2 o bomba 3), está fuera de servicio.

- **Bomba 2 de agua de retorno**

- ✓ **Descripción:** Bomba centrífuga de 1 etapa, aspiración doble, eje horizontal, carcasa seccionada y accionada por motor eléctrico.

- ✓ **Función:** Enviar el agua que ha absorbido calor en los intercambiadores de calor de equipos de la planta, desde los tanques de agua de retorno hacia las torres de enfriamiento, operando simultáneamente con la bomba 1 o con la bomba 3.

- **Bomba 3 de agua de retorno**

- ✓ **Descripción:** Bomba centrífuga de 1 etapa, aspiración doble, eje horizontal, carcasa seccionada y accionada por motor eléctrico.

- ✓ **Función:** Enviar el agua que ha absorbido calor en los intercambiadores de calor de equipos de la planta, desde los tanques de agua de retorno hacia las torres de enfriamiento, operando simultáneamente con la bomba 1 o con la bomba 2.

- **Bomba de alimentación de tanque de filtros de arena**

- ✓ **Descripción:** Bomba centrífuga de 1 etapa, aspiración simple, eje horizontal y accionada por motor eléctrico.

- ✓ **Función:** Enviar agua de río desde los tanques de 300 m³ hacia el tanque que abastece a los filtros lentos de arena.

- **Moto-reductor del ventilador de la torre de enfriamiento HAMON®**
 - ✓ **Descripción:** Reductor de velocidad de reducción simple y engranajes cónicos helicoidales.
 - ✓ **Función:** Reducir la velocidad del motor que acciona el ventilador de la torre de enfriamiento HAMON®, al valor requerido por éste.

- **Ventilador de la torre de enfriamiento HAMON®**
 - ✓ **Descripción:** Ventilador de aspas accionado por motor eléctrico y con transmisión de potencia por medio de flecha y moto-reductor.
 - ✓ **Función:** Inducir el tiro en la torre de enfriamiento HAMON®.

1.8. Sistema de suministro de agua de proceso

1.8.1. Finalidad del sistema de suministro de agua de proceso

- Acondicionar la temperatura de los gases calientes de salida de los hornos de *clinker*, previo a su paso por los molinos de harina cruda y filtros limpiadores de los gases.
- Ayudar en el enfriamiento de *clinker* en la salida del horno de la línea 2.

- Mantener la temperatura de operación adecuada en el interior de los molinos de cemento y facilitar la aplicación de aditivos al cemento.
- Mantener la temperatura de operación adecuada en el interior del molino de rodillos de harina cruda de la línea de producción 3.
- Hidratar la cal viva en la planta de producción de cal hidratada.

1.8.2. Operación del sistema de suministro de agua de proceso

Como se mencionó anteriormente, después de que el agua de río ha sido sometida a tratamiento primario, está apta para ser utilizada en procesos productivos y es almacenada en los tanques de 300 m³ del área de torres de enfriamiento.

A partir de estos tanques, el agua de proceso es conducida a los distintos puntos de utilización por efecto de la gravedad a través de 3 ramales principales, siendo estos: el ramal de suministro para la hidratadora de cal, el correspondiente a los molinos de bola de cemento y el ramal para las líneas de producción 1, 2 y 3, el cual a su vez, se subdivide en uno destinado a brindar suministro únicamente a la línea 3 y otro a las líneas 1 y 2.

Una vez el agua de proceso llega hasta los equipos que la utilizan (a excepción de la hidratadora de cal), es proporcionada a la materia prima en proceso en forma pulverizada, ya sea sola o mezclada con alguna clase de aditivo. Esto se logra por medio de un equipo inyector que posee un pequeño tanque de captación y mezcla, y desde el cual, el agua es bombeada hasta los atomizadores dispuestos en distintos puntos del equipo, y con la ayuda de aire comprimido es conseguido el efecto de la pulverización requerida.

En contraste a lo anterior, en la hidratadora de cal, el agua es suministrada por medio de aspersores dispuestos en distintos niveles verticales y que operan únicamente con la presión que proporciona el sistema de agua, es decir, con la presión debida a la altura de los tanques de 300 m³ con respecto a la hidratadora.

1.8.3. Elementos mecánicos del sistema de suministro de agua de proceso

- **Bomba sumergible 1 de agua de río**
 - ✓ **Descripción:** Conjunto moto-bomba sumergible de 4 pulgadas de diámetro.
 - ✓ **Función:** Enviar el agua de río, después de su tratamiento primario en El Trapiche, hacia los 2 tanques de 300 m³ situados en el área de torres de enfriamiento, alternando su funcionamiento con el de la bomba de succión 2.

- **Bomba sumergible 2 de agua de río**

- ✓ **Descripción:** Conjunto moto-bomba sumergible de 4 pulgadas de diámetro.
- ✓ **Función:** Enviar el agua de río, después de su tratamiento primario en El Trapiche, hacia los 2 tanques de 300 m³ situados en el área de torres de enfriamiento, alternando su funcionamiento con el de la bomba de succión 1.

- **Bomba auxiliar 1 de agua de río**

- ✓ **Descripción:** Bomba centrífuga de 2 etapas, aspiración simple, eje horizontal, carcasa seccionada y accionada por motor eléctrico.
- ✓ **Función:** Sustituir junto con la bomba auxiliar 2 a las bombas de succión 1 y 2 cuando se encuentran fuera de servicio.

- **Bomba auxiliar 2 de agua de río**

- ✓ **Descripción:** Bomba centrífuga de 2 etapas, aspiración simple, eje horizontal, carcasa seccionada y accionada por motor eléctrico.
- ✓ **Función:** Sustituir junto con la bomba auxiliar 1 a las bombas de succión 1 y 2 cuando se encuentran fuera de servicio.

1.9. Problemas actuales enfrentados en los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso

- Los datos de registro de la mayoría de equipos se encuentran incompletos y muchas veces son inexactos, por lo que no logran dar una descripción adecuada de ellos. Esto, puede tener como consecuencia la prolongación de un paro no programado debido a que se dificultaría la adquisición de los repuestos necesarios en el tiempo debido. Además, para el caso específico de las bombas de agua, se vuelve difícil ubicar su curva de desempeño, sin la cual, no es posible conocer si seguiría siendo apta para cumplir nuevas necesidades derivadas de alguna variante en las instalaciones actuales.
- No se conoce con exactitud la ubicación, cantidad, tipos y función de los accesorios que ejercen control sobre el flujo del agua en las tuberías, ni de aquellos que proporcionan características del flujo en ciertos puntos de las instalaciones, por lo que no es posible mantener un *stock* óptimo de accesorios para repuesto. Además, lo anterior conduce a que surjan demoras en las reparaciones de los propios sistemas de agua, y algunas veces, paros en los equipos que son abastecidos por tales sistemas.
- No se conoce con certeza la disposición actual de la tubería en los sistemas de agua, como consecuencia de modificaciones hechas y que no se han registrado, lo que en algunas ocasiones, dificulta las labores de mantenimiento en los equipos que abastecen, por no conocer precisamente cómo se realiza el abastecimiento.

- Las instrucciones establecidas para las tareas de mantenimiento preventivo de los equipos de los sistemas de agua son muy generales, lo que puede tener como consecuencia, inexactitud en la asignación de tiempos de ejecución de tareas y confusión hacia el técnico ejecutante, lo que puede resultar en un mantenimiento mal realizado.
- No se conoce con exactitud la tasa de consumo de agua de proceso por parte de los equipos de la planta, siendo esto muy importante para conocer la participación de este recurso dentro del costo de producción.
- No existe identificación visual en campo para distinguir al sistema de enfriamiento por agua, del de suministro de agua de proceso, lo que puede acarrear dificultades en la ejecución de mantenimiento de los propios sistemas de agua o de los equipos que abastecen.

2. IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS EN EL MANTENIMIENTO DE LOS SISTEMAS DE AGUA (FASE TÉCNICO-PROFESIONAL)

2.1. Identificación de componentes de los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso

2.1.1. Registro general de los componentes de los sistemas de agua

En cualquier sistema o red de tubería, a través de la cual, fluya un fluido a presión, es necesario contar con válvulas que ayuden a ejercer control sobre el flujo, y también, en la mayoría de los casos, con otros accesorios que proporcionen información útil sobre el flujo en puntos específicos de la red.

Los datos más importantes de los accesorios pertenecientes a los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso, que realizan funciones idénticas a las de los accesorios mencionados en el párrafo anterior, fueron recolectados y ordenados en una serie de tablas de datos que en conjunto forman un documento de gran valor informativo al que se denominó Libro de *Tags*.

El Libro de *Tags*, proporciona información concerniente al tipo, tamaño, forma de acople, ubicación, modo de operación y función de cada accesorio. Además, en él se describe la interacción que existe entre cada accesorio y otros accesorios o equipos.

Su estructura consiste en 3 secciones separadas, con nombres idénticos a los usados en la planta para distinguir a las redes de tubería que conforman a los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso, es decir: Agua de Río, Agua de Enfriamiento y Agua de Retorno. Dichas secciones, tienen como objetivo agrupar la información de cada accesorio de acuerdo a la red de tubería a la cual pertenece y de esta manera contribuir al mejor ordenamiento de los datos dentro del Libro de *Tags*.

De lo anterior, se tiene entonces que, en la sección de Agua de Río, se agrupa la información de los accesorios que pertenecen al sistema de suministro de agua de proceso. De forma similar, la sección de Agua de Enfriamiento, agrupa la información de los accesorios que pertenecen a la subred del sistema de enfriamiento por agua que comprende desde la salida del agua de las torres de enfriamiento hasta su entrada en los intercambiadores de calor de los equipos. Y por último, la sección de Agua de Retorno, agrupa la información de los accesorios que pertenecen a la subred de tubería del sistema de enfriamiento por agua que comprende desde la salida del agua de los intercambiadores de calor hasta su entrada en las torres de enfriamiento.

Además de la información ya mencionada, cada accesorio en el Libro de *Tags* tiene asignado un número de identificación único conocido como Número de *Tag*. Este número, que es más bien un código, está compuesto por un número de 1 dígito, que tiene la función de identificar la sección del libro, y al mismo tiempo, la red de tubería a la que pertenece el accesorio, y un guión seguido por un número correlativo que empieza con el valor de 1 en cada sección del libro.

El objetivo principal de este número, es el de establecer una manera práctica de ordenar y localizar la información correspondiente a un accesorio en particular en el Libro de *Tags*.

A continuación, en la Figura 4, se ilustra la forma en que se estructura el Número de *Tag*.

Figura 4. Estructura del Número de TAG



El dígito correspondiente a la red de tubería para los números de *tag* está definido mediante la Tabla I, como se muestra a continuación.

Tabla I. Dígito de red de tubería para el Número de *Tag*

Dígito de red	Red de tubería
1	Agua de Río
3	Agua de Enfriamiento
4	Agua de Retorno

En los anexos de este trabajo, se presenta un extracto del Libro de *Tags* que incluye de forma condensada las 3 secciones que lo estructuran, y que puede servir para tener una idea más clara de lo que aquí se ha expuesto.

2.1.2. Identificación de componentes en su ubicación

Cada accesorio de los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso, que aparece en el Libro de *Tags*, fue identificado en su ubicación de campo por medio de un *Tag* o etiqueta que corresponde a uno de los 3 diseños mostrados en la Figura 5, dependiendo de la red de tubería a la que pertenece el accesorio.

Figura 5. Diseños de etiquetas para accesorios de los sistemas de agua

AGUA DE RÍO	
Número de TAG	
Accesorio	
Tamaño	
Posición Normal	
De dónde	
Hacia dónde	
Observaciones	

AGUA DE ENFRIAMIENTO	
Número de TAG	
Accesorio	
Tamaño	
Posición Normal	
De dónde	
Hacia dónde	
Observaciones	

AGUA DE RETORNO	
Número de TAG	
Accesorio	
Tamaño	
Posición Normal	
De dónde	
Hacia dónde	
Observaciones	

El objetivo principal de estas etiquetas, es el de proporcionar información práctica de los accesorios de una manera directa desde su ubicación de campo, sin tener la necesidad de consultar el Libro de *Tags*. Además, hacen distinción notable acerca de la red de tubería a la que pertenece cada accesorio, pudiéndose así, evitar confusiones o accidentes durante la realización de trabajos en otras redes de tubería o en equipos de la planta.

La elaboración de las etiquetas se llevó a cabo, imprimiéndolas primero mediante una etiquetadora portátil marca Brady®, utilizando como materiales: vinilo autoadhesivo de color azul de 2" de ancho y tinta negra en cartucho, ambos resistentes a la intemperie.

Luego de su impresión, las etiquetas fueron adheridas a rectángulos de PVC de color blanco, de 2 mm de espesor y área de 2¼" x 3½", para de último, asegurarlas a los accesorios utilizando *ty-rap*®.

El total de etiquetas elaboradas y colocadas, al igual que el número de accesorios registrados en el Libro de *Tags*, fue: 291 de la red de tubería de Agua de Río o sistema de suministro de agua de proceso; 420 de la red de Agua de Enfriamiento y 153 de la red de Agua de Retorno, o lo que es equivalente, 573 del sistema de enfriamiento por agua.

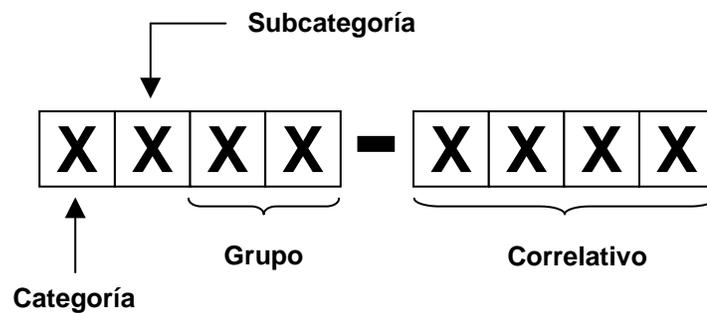
2.1.3. Sistema de numeración de partes PNS

El PNS es un sistema de codificación diseñado para materiales y repuestos de maquinaria, que permite tener un control ordenado sobre las compras e inventario de los mismos, y que forma parte integral de MAC.

Este sistema asigna un código único a cada material o repuesto, y está compuesto por 2 números de 4 dígitos separados por un guión. El primero de estos números, le da al material o repuesto una clasificación consistente en una categoría general, una subcategoría y un grupo. El segundo número, es un número correlativo con valores entre 0001 y 9999.

En la Figura 6, se esquematiza la estructura del PNS.

Figura 6. Estructura del PNS



Actualmente en planta San Miguel, no todos los accesorios de los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso, tienen asignado un número PNS, debido a que tales sistemas fueron construidos desde antes de la implantación del PNS. Sin embargo, los números PNS se crean conforme las necesidades de mantenimiento o modificaciones de instalaciones lo requieran, siempre y cuando no se trate de repuestos o materiales críticos.

Por lo tanto, el Libro de *Tags* para los sistemas de agua constituye una base de datos muy útil que facilita y agiliza la creación de números PNS cuando las necesidades prevalecientes lo requieran.

2.2. Actualización de planos de los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso

2.2.1. Importancia de los planos actualizados para los sistemas de agua

Contar con planos actualizados de las instalaciones de los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso, es de gran utilidad en el mantenimiento de los mismos, debido a las siguientes razones:

- Proporcionan información sobre el diámetro, material de construcción y forma en que se encuentra colocada la tubería, lo cual, es una importante ayuda en las cotizaciones y adquisición de material al planificar reparaciones o modificaciones en los sistemas de agua.
- Constituyen la base para la planificación de modificaciones y mejoras para en sistemas de agua.
- Ayudan en la formulación de instrucciones de mantenimiento para los equipos que abastecen.
- Proporcionan información precisa sobre la ubicación de los accesorios y Número de *Tag*, lo que agiliza su reemplazo en caso de avería.

2.2.2. Planos generales de los sistemas de agua

Anteriormente, en planta San Miguel, existían únicamente 3 planos de las instalaciones de los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso, los cuales, además de ser muy generales, eran poco precisos y muchas veces hasta confusos, por lo que su utilidad resultaba ser muy limitada.

Entonces, como medida correctiva a tal problema, se realizó un nuevo levantamiento de planos que incluyen la totalidad de las redes de tubería instaladas de los sistemas antes mencionados. Además, en estos planos se distinguen gráficamente los tipos de los accesorios instalados, diámetros de tubería y cambios de los mismos, entre otros datos, lo que los convierte en una fuente informativa bastante completa.

También, con el objetivo de presentar la información de los sistemas de agua en una forma clara y ordenada, se dibujó un total de 5 planos generales utilizando AutoCAD® versión 2002, los cuales, a su vez, se seccionaron para mostrar más claramente los detalles en distintos sectores de la planta y en aquellos lugares en donde es difícil la apreciación desde la vista de un plano general, como lo son, interiores y niveles varios de los edificios que albergan maquinaria de producción.

Los planos generales se dibujaron basándose en la diferenciación acostumbrada que se hace en la planta de las redes de tubería que conforman a los sistemas de agua, y en las áreas de la planta que se acostumbra distinguir, tal como se enumera a continuación:

- Plano Sistema de Agua El Trapiche (Red Agua de Río)
- Plano General Suministro de Agua de Enfriamiento (Red Agua de Enfriamiento)
- Plano General Retorno de Agua de Enfriamiento (Red Agua de Retorno)
- Plano General Suministro Agua de Proceso (Red Agua de Río)
- Plano Agua de Proceso Calera (Red Agua de Río)

2.2.3. Planos de secciones de los sistemas de agua

En la Tabla II, se indica por medio de un cheque (√), los planos dibujados para cada red de tubería, en cada sección en que se dividieron los planos generales de los sistemas de agua.

Tabla II. Planos de secciones de planta San Miguel

Secciones de la planta	Planos de red de tubería		
	Agua de Enfriamiento	Agua de Retorno	Agua de Río
Cajas de registro frente a Almacén 1			√
Chimenea horno 462	√	√	√
Cuarto 1 de compresores Fuller®, Silos de Homogenización	√	√	
Cuarto 2 de compresores Fuller®, Silos de Homogenización	√	√	
Cuarto de bombas de retorno		√	
Cuarto de bombas, Trituradora Secundaria	√		
Cuarto de calderas, Planta de Cal			√
Cuarto de compresores, Silos de Almacenaje	√	√	√

Tabla II. (continuación)

Secciones de la planta	Planos de red de tubería		
	Agua de Enfriamiento	Agua de Retorno	Agua de Río
Cuarto del suavizador			√
Edificio de molinos de carbón, nivel 2	√	√	√
Edificio de molinos de carbón, nivel 3			√
Edificio de molinos de carbón, nivel 5			√
Edificio de molinos de carbón, nivel 6			√
Enfriador de <i>clinker</i> horno 462, nivel 1			√
Enfriador de <i>clinker</i> horno 462, nivel 2			√
Enfriador de <i>clinker</i> horno 463, nivel 2			√
Enfriador de <i>clinker</i> horno 463, nivel 3			√
Exterior de baños, Planta de Cal			√
Exterior de enfriador de <i>clinker</i> , horno 463	√		
Exterior de envasadora de cal			√
Exterior de galera de <i>clinker</i>	√		√
Galera de compresores Atlas®, línea 3	√	√	
Galera de compresores Atlas®, líneas 1 y 2	√	√	
Hidratadora de cal, nivel 1			√
Hidratadora de cal, nivel 2			√
Hidratadora de cal, nivel 3			√
Hidratadora de cal, nivel 4			√
Hidratadora de cal, nivel 5			√
Horno 463	√	√	

Tabla II. (continuación)

Secciones de la planta	Planos de red de tubería		
	Agua de Enfriamiento	Agua de Retorno	Agua de Río
Molino 361, nivel 1	√	√	√
Molino 361, nivel 2			√
Molino 361, nivel 3			√
Molino 362	√	√	
Molino 563	√	√	
Molino 564	√	√	
Molino Atox, cuarto de 21-323-EL2	√	√	
Molino Atox, cuarto de 21-323-EL1 y 21-323-SH1	√	√	√
Molino Atox, nivel 1	√	√	√
Molino Atox, nivel 2			√
Molinos 561 y 562	√	√	√
Pila 1, horno 461	√	√	
Pilas 1 y 2, horno 462	√	√	
Pilas 2 y 3, horno 461	√	√	
Pilas 3 y 4, horno 462	√	√	
<i>Roller Press</i>	√		
Symetro Molino 361	√	√	
Symetro Molino 362	√	√	
Symetros de molinos 561 y 562			√
Torre de ciclones 1, nivel 3			√
Torre de ciclones 1, nivel 9			√

Tabla II. (continuación)

Secciones de la planta	Planos de red de tubería		
	Agua de Enfriamiento	Agua de Retorno	Agua de Río
Torre de ciclones 2, nivel 1 exterior			√
Torre de ciclones 2, nivel 1 interior			√
Torre de ciclones 2, nivel 2			√
Torre de ciclones 2, nivel 3			√
Torre de ciclones 2, nivel 4			√
Torre de ciclones 2, nivel 5			√
Torre de ciclones 3, nivel 2	√	√	√
Torre de ciclones 3, nivel 4			√
Torre de ciclones 3, nivel 5			√
Torre de ciclones 3, nivel 6			√
Torre de ciclones 3, nivel 7			√
Torre Sonic, parte alta			√
Torres de enfriamiento	√	√	√
Trituradoras Primaria y Secundaria	√	√	
Ventilador de molino 563	√	√	
<i>Wetland</i>			√

Además, en los anexos del presente trabajo, se presentan 6 ejemplos de planos para distintas secciones de la planta y red de tubería.

2.3. Actualización de datos de los equipos de los sistemas de agua

La diferencia que existía entre los datos del registro técnico de los equipos en el sistema SAP y los datos técnicos reales, se corrigió por medio de la obtención de los datos de placa de los equipos directamente en su ubicación de campo.

Para el caso específico de las bombas de agua, se agregaron los campos de información correspondientes al tamaño de la bomba y al diámetro del impulsor. También, se cambió el dato de presión de la bomba por el de cabeza, debido a que este último, es el dato técnicamente más apropiado cuando se trata con bombas.

2.3.1. Información de placa de los equipos mecánicos del sistema de enfriamiento por agua

- **Bomba de reposición de agua de enfriamiento**

- ✓ **Datos técnicos de la bomba:**

- Marca: G & L®
- Modelo: 3656
- No. de Serie: 11BF1S5E0
- Tamaño: 2½" x 3" – 10"
- Φ impulsor: 8 ⁵/₈"
- Cabeza: 290 pies
- Capacidad: 455 gpm

✓ **Datos técnicos del motor eléctrico:**

- Marca: Baldor®
- Modelo: JMM4114T
- No. de Serie: 4950
- Potencia: 50 HP
- rpm: 3550
- Corriente: 112 / 56 A
- Voltaje: 230 / 460 V
- Fases: 3

• **Bomba 1 de agua de retorno**

✓ **Datos técnicos de la bomba:**

- Marca: Deming®
- Modelo: 5063-42752011
- No. de Serie: DC-521503
- Tamaño: 6" x 4" – 17"
- Φ impulsor: 17"
- Cabeza: 280 pies
- Capacidad: 1090 gpm

✓ **Datos técnicos del motor eléctrico:**

- Marca: Baldor®
- Modelo: IDM4410T-4
- No. de Serie: 1096 C
- Potencia: 125 HP
- rpm: 1780
- Corriente: 44 A
- Voltaje: 460 V
- Fases: 3

• **Bomba 2 de agua de retorno**

✓ **Datos técnicos de la bomba:**

- Marca: Deming®
- Modelo: 5063-42752011
- No. de Serie: DC-521523
- Tamaño: 6" x 4" – 17"
- Φ impulsor: 17"
- Cabeza: 280 pies
- Capacidad: 1090 gpm

✓ **Datos técnicos del motor eléctrico:**

- Marca: Baldor®
- Modelo: IDM4410T-4
- No. de Serie: 1096 C
- Potencia: 125 HP
- rpm: 1780
- Corriente: 44 A
- Voltaje: 460 V
- Fases: 3

• **Bomba 3 de agua de retorno**

✓ **Datos técnicos de la bomba:**

- Marca: Deming®
- Modelo: 5063-42752011
- No. de Serie: DC-522129
- Tamaño: 6" x 4" – 17"
- Φ impulsor: 17"
- Cabeza: 280 pies
- Capacidad: 1090 gpm

✓ **Datos técnicos del motor eléctrico:**

- Marca: Baldor®
- Modelo: IDM4410T-4
- No. de Serie: 896 C
- Potencia: 125 HP
- rpm: 1780
- Corriente: 44 A
- Voltaje: 460 V
- Fases: 3

• **Bomba de alimentación de tanque de filtros de arena**

✓ **Datos técnicos de la bomba:**

- Marca: G & L®
- Modelo: 3656
- No. de Serie: 11BF1S5E0
- Tamaño: 2½" x 3" – 10"
- Φ impulsor: 8 5/8"
- Cabeza: 290 pies
- Capacidad: 455 gpm

✓ **Datos técnicos del motor eléctrico:**

- Marca: Baldor®
- Modelo: JMM4114T
- No. de Serie: 4950
- Potencia: 50 HP
- rpm: 3550
- Corriente: 112 / 56 A
- Voltaje: 230 / 460 V
- Fases: 3

• **Moto-reductor del ventilador de la torre de enfriamiento HAMON®**

✓ **Datos técnicos del moto-reductor:**

- Fabricante: Amarillo *Gear Company*®
- Modelo: 135
- Lubricación: Inmersión
- Relación: 5.5:1

• **Ventilador de la torre de enfriamiento HAMON®**

✓ **Datos técnicos del ventilador:**

- Marca: Hudson®
- Tipo: Aspas
- Diámetro: 12 pies
- Número de palas: 6
- rpm: 318.3
- Transmisión de potencia: Flecha y moto-reductor

✓ **Datos técnicos de motor eléctrico:**

- Marca: Siemens®
- Tipo: TEFC
- Modelo: Horizontal 364T Frame
- Potencia: 50 HP
- rpm: 1800 / 900
- Voltaje: 460 V
- Fases: 3

2.3.2. Información de placa de los equipos mecánicos del sistema de suministro de agua de proceso

• **Bomba sumergible 1 de agua de río**

✓ **Datos técnicos de la bomba:**

- Marca: Sta-Rite®
- Modelo: LS 350T
- No. de Serie: 350T
- Φ impulsor: 4"
- Cabeza: 510 pies
- Capacidad: 305 gpm

✓ **Datos técnicos del motor eléctrico:**

- Marca: Franklin®
- Modelo: SM3245
- No. de Serie: 407586
- Potencia: 50 HP
- rpm: 3550
- Corriente: 112 A
- Voltaje: 230 V
- Fases: 3

• **Bomba sumergible 2 de agua de río**

✓ **Datos técnicos de la bomba:**

- Marca: Sta-Rite®
- Modelo: LS 350T
- No. de Serie: 350T
- Φ impulsor: 4"
- Cabeza: 510 pies
- Capacidad: 305 gpm

✓ **Datos técnicos del motor eléctrico:**

- Marca: Franklin®
- Modelo: SM3245
- No. de Serie: 407596
- Potencia: 50 HP
- rpm: 3550
- Corriente: 112 A
- Voltaje: 230 V
- Fases: 3

• **Bomba auxiliar 1 de agua de río**

✓ **Datos técnicos de la bomba:**

- Marca: Aurora®
- Modelo: 431BF
- No. de Serie: 77-13004-2
- Tamaño: 2½" x 4" – 9"
- Φ impulsor: 8 ⁵/₈"
- Cabeza: 460 pies
- Capacidad: 210 gpm

✓ **Datos técnicos del motor eléctrico:**

- Marca: Marathon Electric®
- Modelo: FK324TSTDR7001CEWF1
- No. de Serie: 1294681
- Potencia: 50 HP
- rpm: 3550
- Corriente: 120 / 60 A
- Voltaje: 230 / 460 V
- Fases: 3

• **Bomba auxiliar 2 de agua de río**

✓ **Datos técnicos de la bomba:**

- Marca: Aurora®
- Modelo: 431BF
- No. de Serie: 77-13004-1
- Tamaño: 2½" x 4" – 9"
- Φ impulsor: 8 ⁵/₈"
- Cabeza: 460 pies
- Capacidad: 210 gpm

✓ **Datos técnicos del motor eléctrico:**

- Marca: Marathon Electric®
- Modelo: FK324TSTDR7001CEWF1
- No. de Serie: 1274587
- Potencia: 50 HP
- rpm: 3550
- Corriente: 120 / 60 A
- Voltaje: 230 / 460 V
- Fases: 3

2.4. Desarrollo de los planes de mantenimiento mejorados

2.4.1. Criticidad de los equipos

Cuando se tiene programada la realización de una serie de trabajos de mantenimiento preventivo o predictivo en varios equipos distintos, se hace necesario contar con una herramienta que ayude a establecer el orden que deberán seguir sus respectivas ejecuciones.

En planta San Miguel, esta herramienta, que es parte integral de MAC, consiste en la asignación de un código que indica la criticidad para cada equipo, el cual, se obtiene a partir de la aplicación de criterios elaborados sobre la base del impacto que un fallo funcional del equipo puede tener sobre la calidad del producto, la seguridad del personal, la protección al medio ambiente, la productividad y otros equipos.

Además, la criticidad de un equipo, también puede verse influenciada por la existencia de equipos de respaldo (*back-up*), la frecuencia con que debe realizarse el mantenimiento preventivo (MTBF) y el costo y/o tiempo requerido para la corrección de la falla.

2.4.1.1. Criterios para determinar la criticidad

Cada uno de los equipos de todas las áreas de proceso de planta San Miguel, se encuentra agrupado según su grado de criticidad en 4 clases de equipos.

Los equipos con criticidad A, son aquellos que al fallar, provocan un paro inmediato de la producción en el área de proceso a la que pertenece y su sustitución o reestablecimiento no puede hacerse en un período corto de tiempo. Además, su costo de reparación es elevado, pueden afectar muy seriamente la seguridad del personal, el medio ambiente y a otros equipos.

Los equipos con criticidad B, son aquellos que al fallar, provocan una reducción en la tasa de producción y su sustitución o reestablecimiento puede hacerse en un período corto de tiempo. Además, su costo de reparación es moderado, pueden resultar solo parcialmente afectados el medio ambiente, la seguridad del personal y otros equipos.

Los equipos con criticidad C, son aquellos que al fallar, no tienen efecto sobre la producción, y su tiempo y/o costo de reparación es bajo. Además, no salen afectados el medio ambiente, la seguridad del personal y otros equipos.

Por último, los equipos con criticidad Q, son todos aquellos cuyo fallo tiene alguna incidencia en la calidad del producto.

Ahora bien, con base en todo lo dicho anteriormente, se deduce que para efectos de ejecución de mantenimiento preventivo o predictivo, los equipos con criticidad A tienen la prioridad más alta, siguiéndoles en orden de prioridad descendente, los equipos con criticidad B y C, respectivamente. Además, los equipos con criticidad Q, tienen igual prioridad que la de los equipos con criticidad A.

Por otro lado, la determinación de la criticidad de un equipo, se facilita enormemente al utilizar un procedimiento numérico creado para tal efecto. Consiste en la asignación de un puntaje a aspectos del proceso de producción donde puede haber incidencia de la falla, luego se pondera y se suman los resultados. Después, se determina el rango en el que se encuentra el valor de la suma, que a su vez, indica la criticidad que le debe corresponder al equipo.

El puntaje utilizado está comprendido entre los valores de 1 y 5, donde 1 significa que incide en menor grado, y el 5, que incide en mayor grado.

La ponderación del puntaje se hace aplicando el porcentaje indicado en la Tabla III, según la incidencia evaluada.

Tabla III. Ponderación de incidencias para equipos críticos

Incidencias	Porcentaje
Medio Ambiente	10%
Seguridad Personal	10%
Producción	50%
Otros equipos	30%

Una vez obtenida la suma ponderada de todas las incidencias, se compara con los rangos establecidos en la Tabla IV, que se muestra a continuación.

Tabla IV. Determinación de criticidad por puntuación ponderada

Rango	Criticidad
$SUMA > 4$	A
$3 < SUMA \leq 4$	B
$SUMA \leq 3$	C

Por último, la criticidad definitiva se establece luego de evaluar si la falla del equipo también puede afectar la calidad del producto, o si la reparación de la falla requiere de atención especial.

2.4.1.2. Criticidades en los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso

Debido a que los criterios utilizados en la determinación de la criticidad de los equipos han variado desde la implementación del sistema de gestión de mantenimiento MAC, se revisaron y corrigieron las criticidades asignadas a cada equipo mecánico de los sistemas de agua.

A continuación, en las Tablas V y VI, se presentan los equipos pertenecientes a los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso, respectivamente, y sus correspondientes criticidades.

Tabla V. Criticidades del sistema de enfriamiento por agua

Equipo	Criticidad
Bomba de reposición de agua de enfriamiento	B
Bomba 1 de agua de retorno	B
Bomba 2 de agua de retorno	B
Bomba 3 de agua de retorno	B
Moto-reductor del ventilador de la torre de enfriamiento HAMON®	B
Ventilador de la torre de enfriamiento HAMON®	B
Bomba de alimentación de tanque de filtros de arena	C

Tabla VI. Criticidades del sistema de suministro de agua de proceso

Equipo	Criticidad
Bomba sumergible 1 de agua de río	B
Bomba sumergible 2 de agua de río	B
Bomba auxiliar 1 de agua de río	C
Bomba auxiliar 2 de agua de río	C

2.4.2. Registro técnico de los equipos

Dentro del contexto de un sistema de gestión de mantenimiento de clase mundial, cada equipo de una planta de producción, debe poseer información que permita evaluar la efectividad y ejecución de los trabajos de mantenimiento.

Información relativa a costos e historial de mantenimiento, datos técnicos de los equipos, ordenes de trabajo y plan de mantenimiento, deben poder agruparse de una manera conveniente que permita fácil y rápido acceso para su análisis.

En planta San Miguel, tal propósito es conseguido por medio del sistema de codificación de activos HAC. Este sistema, define un código de identificación único para cada equipo y sistemas componentes, que además, proporciona información sobre su ubicación física dentro de las diferentes áreas de proceso.

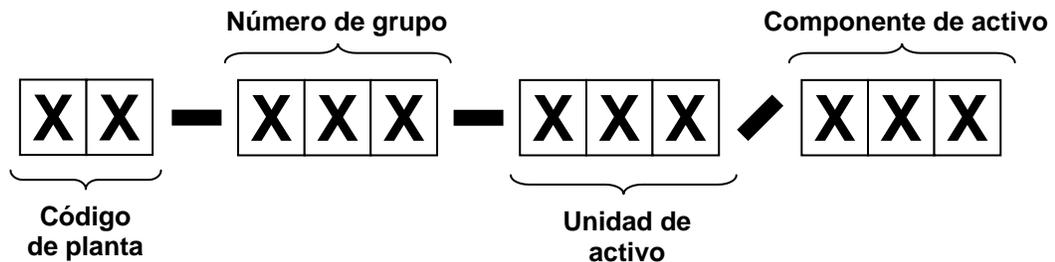
2.4.2.1. Sistema de codificación de activos HAC

Es un sistema universal de identificación de activos adoptado por Holcim y es implementado en todas las plantas manufactureras de cemento que conforman su gremio internacional. Su utilización es indispensable, ya que forma parte integral del sistema de gestión de mantenimiento MAC.

El nombre HAC, proviene de las siglas de las palabras Holcim *Asset Coding*, que significan: Codificación de Activos de Holcim.

El código HAC, identifica el tipo y ubicación de un activo dentro de la planta, y está formado, por 6 caracteres alfanuméricos que se complementan con caracteres adicionales colocados al inicio y al final del código en sí. Estos caracteres adicionales, tienen como finalidad distinguir entre los códigos pertenecientes a distintas plantas de una misma organización, y en la identificación de componentes de un equipo. En la Figura 7, se ilustra la estructura general del código HAC para todos los equipos de Cementos Progreso, S.A.

Figura 7. Estructura del código HAC en Cementos Progreso, S.A.



Para planta San Miguel, el primer carácter del Código de Planta tiene el valor acordado de 2, y el segundo, puede tener los valores de 1, 2, 5 y 9. El número 1, distingue a todas las áreas de proceso en la producción de cemento; el número 2, a la producción de cal hidratada; el número 5, la generadora Progreso; y el número 9, a funciones de administración y generales de la planta.

El Número de Grupo, indica la función y/o área de proceso en que se ubica el equipo, así como también, la línea de producción a la que pertenece.

En los sistemas de agua, el primer carácter del Número de Grupo, tiene los valores de M o N, dependiendo si el equipo es utilizado en la distribución general de agua o específicamente en el sistema de tratamiento de la misma. Además, para la mayoría de equipos, el valor del último carácter es cero, lo que significa que el alcance en su uso abarca toda la planta.

El número de Unidad de Activo, indica una categoría de activos o su tipo; esto último, cuando se trata únicamente de activos mecánicos. También, distingue mediante un número de secuencia a varios activos similares que cumplen funciones idénticas.

Para el caso específico de las bombas de los sistemas de agua, el número de Unidad de Activo, inicia con las letras BA, seguido por su correspondiente número de secuencia, ya que se trata de un activo mecánico. Mientras que por el otro lado, se tiene que para la torre de enfriamiento HAMON®, este número se refiere a una categoría de activo a la que le corresponde el valor de 3, que identifica la categoría de edificios e infraestructura.

El número de Componente de Activo, indica la categoría del componente del equipo, seguido por un número de secuencia que diferencia entre componentes similares dentro del mismo equipo.

2.4.2.2. Códigos HAC para los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso

Se realizó una inspección de campo para determinar si todos los equipos mecánicos de los sistemas de agua estaban correctamente identificados con su respectivo código HAC.

La información obtenida, mostrada en las Tablas VII y VIII, se comparó con la existente en el sistema SAP, y se constató, que para el caso de los códigos HAC no existía incongruencia alguna, por lo que los equipos están correctamente identificados en campo.

Tabla VII. Códigos HAC del sistema de enfriamiento por agua

Equipo	Código HAC
Bomba de reposición de agua de enfriamiento	29-N20-BA4
Bomba 1 de agua de retorno	29-M10-BA3
Bomba 2 de agua de retorno	29-M10-BA4
Bomba 3 de agua de retorno	29-M10-BA5
Moto-reductor del ventilador de la torre de enfriamiento HAMON®	29-N20-AP1
Ventilador de la torre de enfriamiento HAMON®	29-N20-VE1
Bomba de alimentación de tanque de filtros de arena	29-N20-BA3

Tabla VIII. Códigos HAC del sistema de suministro de agua de proceso

Equipo	Código HAC
Bomba sumergible 1 de agua de río	29-M00-BA5
Bomba sumergible 2 de agua de río	29-M00-BA6
Bomba auxiliar 1 de agua de río	29-M00-BA7
Bomba auxiliar 2 de agua de río	29-M00-BA8

2.4.3. Planes de frecuencia de mantenimiento

El plan de frecuencia de mantenimiento, es una herramienta muy importante que permite establecer de una manera lógica y ordenada, la frecuencia con que debe efectuarse el mantenimiento preventivo y predictivo de cada equipo, al mismo tiempo que define automáticamente cuáles serán las rutinas del mantenimiento.

Además, el plan de frecuencia de mantenimiento, constituye el punto de partida en la elaboración del plan anual de mantenimiento, a partir del cual, se derivan el plan maestro de mantenimiento y el plan diario / semanal, siendo éstos últimos, la base fundamental de la ejecución del mantenimiento en planta San Miguel, ya que son piezas imprescindibles del sistema de gestión de mantenimiento MAC.

2.4.3.1. Procedimiento para elaborar el plan de frecuencia de mantenimiento

Como primer paso, debe reunirse información del equipo consistente principalmente en:

- Sugerencias de mantenimiento del fabricante o proveedor
- Manuales del equipo
- Datos sobre experiencias anteriores con equipos similares
- Observaciones de operación del equipo
- Sugerencias de técnicos y asesores externos

Una vez obtenida esta información, se procede a hacer un desglose del equipo en sus sistemas componentes, como por ejemplo: sistema eléctrico, sistema de transmisión de potencia, y otros.

Posteriormente, cada sistema componente, es dividido en elementos que realizan funciones específicas, como por ejemplo: guarda-niveles, moto-reductor, y otros.

Luego, con base en la información de los equipos, se establece el tiempo que debe pasar para volver a realizar nuevamente una misma tarea de mantenimiento preventivo o predictivo en cada elemento de cada sistema. Además, se describe brevemente la actividad o rutina a realizar, y se incluyen el código HAC del equipo, el tiempo estimado y el número de personas necesarias para la ejecución del mantenimiento.

Por último, la información anteriormente mencionada, se ordena en una tabla de manera que incluya a todos los equipos de un área específica de la planta, y así, queda establecido el denominado plan de frecuencia de mantenimiento.

2.4.3.2. Plan de frecuencia de mantenimiento para los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso

A continuación, en la Tabla IX, se presenta el plan de frecuencia de mantenimiento para los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso, que se elaboró según el procedimiento descrito en la sección anterior.

Tabla IX. Plan de frecuencia de mantenimiento para los sistemas de agua

Código HAC	Elemento de equipo	Frecuencia	Tipo de Mantto.	No. de personas	Tiempo Estimado	Descripción de la actividad
29-M00-BA5/U01	PANEL DE CONTROL DE BOMBA SUMERGIBLE 1 DE AGUA DE RÍO	SEMESTRAL	ELÉCTRICO	2	4	LIMPIEZA DE PANEL DE CONTROL Y ELECTRODOS.
29-M00-BA5/U01	PANEL DE CONTROL DE BOMBA SUMERGIBLE 1 DE AGUA DE RÍO	ANUAL	ELÉCTRICO	2	4	REVISIÓN DE CONTACTORES Y GUARDAMOTORES.
29-M00-BA6/U01	PANEL DE CONTROL DE BOMBA SUMERGIBLE 2 DE AGUA DE RÍO	SEMESTRAL	ELÉCTRICO	2	4	LIMPIEZA DE PANEL DE CONTROL Y ELECTRODOS.
29-M00-BA6/U01	PANEL DE CONTROL DE BOMBA SUMERGIBLE 2 DE AGUA DE RÍO	ANUAL	ELÉCTRICO	2	4	REVISIÓN DE CONTACTORES Y GUARDAMOTORES.
29-M00-BA7/U01	ARRANCADOR DE BOMBA AUXILIAR 1 DE AGUA DE RÍO	SEMESTRAL	ELÉCTRICO	2	4	LIMPIEZA DE PANEL DE CONTROL Y ELECTRODOS.
29-M00-BA7/U01	ARRANCADOR DE BOMBA AUXILIAR 1 DE AGUA DE RÍO	ANUAL	ELÉCTRICO	2	4	REVISIÓN DE CONTACTORES Y GUARDAMOTORES.
29-M00-BA8/U01	ARRANCADOR DE BOMBA AUXILIAR 2 DE AGUA DE RÍO	SEMESTRAL	ELÉCTRICO	2	4	LIMPIEZA DE PANEL DE CONTROL Y ELECTRODOS.
29-M00-BA8/U01	ARRANCADOR DE BOMBA AUXILIAR 2 DE AGUA DE RÍO	ANUAL	ELÉCTRICO	2	4	REVISIÓN DE CONTACTORES Y GUARDAMOTORES.
29-M00-BA7	BOMBA AUXILIAR 1 DE AGUA DE RÍO	TRIMESTRAL	MECÁNICO	2	8	MANTENIMIENTO TRIMESTRAL DE BOMBA AUXILIAR DE AGUA DE RÍO.
29-M00-BA7	BOMBA AUXILIAR 1 DE AGUA DE RÍO	ANUAL	MECÁNICO	2	24	DESARME COMPLETO DE LA BOMBA.
29-M00-BA8	BOMBA AUXILIAR 2 DE AGUA DE RÍO	TRIMESTRAL	MECÁNICO	2	8	MANTENIMIENTO TRIMESTRAL DE BOMBA AUXILIAR DE AGUA DE RÍO.
29-M00-BA8	BOMBA AUXILIAR 2 DE AGUA DE RÍO	ANUAL	MECÁNICO	2	24	DESARME COMPLETO DE LA BOMBA.
29-M10-BA3	BOMBA DE AGUA DE RETORNO 1	MENSUAL	MECÁNICO	2	4	MANTENIMIENTO MENSUAL DE BOMBA CENTRÍFUGA.
29-M10-BA3	BOMBA DE AGUA DE RETORNO 1	SEMESTRAL	MECÁNICO	2	8	MANTENIMIENTO SEMESTRAL DE BOMBA CENTRÍFUGA.
29-M10-BA3	BOMBA DE AGUA DE RETORNO 1	ANUAL	MECÁNICO	2	24	DESARME COMPLETO DE LA BOMBA.
29-M10-BA4	BOMBA DE AGUA DE RETORNO 2	MENSUAL	MECÁNICO	2	4	MANTENIMIENTO MENSUAL DE BOMBA CENTRÍFUGA.
29-M10-BA4	BOMBA DE AGUA DE RETORNO 2	SEMESTRAL	MECÁNICO	2	8	MANTENIMIENTO SEMESTRAL DE BOMBA CENTRÍFUGA.
29-M10-BA4	BOMBA DE AGUA DE RETORNO 2	ANUAL	MECÁNICO	2	24	DESARME COMPLETO DE LA BOMBA.
29-M10-BA5	BOMBA DE AGUA DE RETORNO 3	MENSUAL	MECÁNICO	2	4	MANTENIMIENTO MENSUAL DE BOMBA CENTRÍFUGA.

Tabla IX. (continuación)

Código HAC	Elemento de equipo	Frecuencia	Tipo de Mantto.	No. de personas	Tiempo Estimado	Descripción de la actividad
29-M10-BA5	BOMBA DE AGUA DE RETORNO 3	SEMESTRAL	MECÁNICO	2	8	MANTENIMIENTO SEMESTRAL DE BOMBA CENTRÍFUGA.
29-M10-BA5	BOMBA DE AGUA DE RETORNO 3	ANUAL	MECÁNICO	2	24	DESARME COMPLETO DE LA BOMBA.
29-M00-BA5	BOMBA SUMERGIBLE 1 DE AGUA DE RÍO	SEMESTRAL	MECÁNICO	2	8	MANTENIMIENTO SEMESTRAL DE BOMBA SUMERGIBLE DE AGUA DE RÍO.
29-M00-BA5	BOMBA SUMERGIBLE 1 DE AGUA DE RÍO	ANUAL	MECÁNICO	2	24	DESARME COMPLETO DE LA BOMBA.
29-M00-BA6	BOMBA SUMERGIBLE 2 DE AGUA DE RÍO	SEMESTRAL	MECÁNICO	2	8	MANTENIMIENTO SEMESTRAL DE BOMBA SUMERGIBLE DE AGUA DE RÍO.
29-M00-BA6	BOMBA SUMERGIBLE 2 DE AGUA DE RÍO	ANUAL	MECÁNICO	2	24	DESARME COMPLETO DE LA BOMBA.
29-M00-BA5/M01	MOTOR DE BOMBA SUMERGIBLE 1 DE AGUA DE RÍO	TRIMESTRAL	ELÉCTRICO	2	4	MANTTO. DEL SISTEMA DE ARRANQUE Y CONTROL DEL ESTADO DEL MOTOR.
29-M00-BA5/M01	MOTOR DE BOMBA SUMERGIBLE 1 DE AGUA DE RÍO	SEMESTRAL	ELÉCTRICO	2	4	MANTENIMIENTO PREVENTIVO SEMESTRAL DEL MOTOR SUMERGIBLE.
29-M00-BA5/M01	MOTOR DE BOMBA SUMERGIBLE 1 DE AGUA DE RÍO	ANUAL	ELÉCTRICO	2	8	DESARME COMPLETO DEL MOTOR.
29-M00-BA6/M01	MOTOR DE BOMBA SUMERGIBLE 2 DE AGUA DE RÍO	TRIMESTRAL	ELÉCTRICO	2	4	MANTTO. DEL SISTEMA DE ARRANQUE Y CONTROL DEL ESTADO DEL MOTOR.
29-M00-BA6/M01	MOTOR DE BOMBA SUMERGIBLE 2 DE AGUA DE RÍO	SEMESTRAL	ELÉCTRICO	2	4	MANTENIMIENTO PREVENTIVO SEMESTRAL DEL MOTOR SUMERGIBLE.
29-M00-BA6/M01	MOTOR DE BOMBA SUMERGIBLE 2 DE AGUA DE RÍO	ANUAL	ELÉCTRICO	2	8	DESARME COMPLETO DEL MOTOR.
29-M00-BA7/M01	MOTOR DE BOMBA AUXILIAR 1 DE AGUA DE RÍO	TRIMESTRAL	ELÉCTRICO	2	4	MANTTO. DEL SISTEMA DE ARRANQUE Y CONTROL DEL ESTADO DEL MOTOR.
29-M00-BA7/M01	MOTOR DE BOMBA AUXILIAR 1 DE AGUA DE RÍO	ANUAL	ELÉCTRICO	2	8	DESARME COMPLETO DEL MOTOR.
29-M00-BA8/M01	MOTOR DE BOMBA AUXILIAR 2 DE AGUA DE RÍO	TRIMESTRAL	ELÉCTRICO	2	4	MANTTO. DEL SISTEMA DE ARRANQUE Y CONTROL DEL ESTADO DEL MOTOR.
29-M00-BA8/M01	MOTOR DE BOMBA AUXILIAR 2 DE AGUA DE RÍO	ANUAL	ELÉCTRICO	2	8	DESARME COMPLETO DEL MOTOR.
29-M10-BA3/M01	MOTOR DE BOMBA DE AGUA DE RETORNO 1	TRIMESTRAL	ELÉCTRICO	2	4	MANTTO. DEL SISTEMA DE ARRANQUE Y CONTROL DEL ESTADO DEL MOTOR.
29-M10-BA3/M01	MOTOR DE BOMBA DE AGUA DE RETORNO 1	SEMESTRAL	ELÉCTRICO	2	4	MANTENIMIENTO PREVENTIVO SEMESTRAL DEL MOTOR DE BOMBA CENTRÍFUGA.
29-M10-BA3/M01	MOTOR DE BOMBA DE AGUA DE RETORNO 1	ANUAL	ELÉCTRICO	2	8	DESARME COMPLETO DEL MOTOR.

Tabla IX. (continuación)

Código HAC	Elemento de equipo	Frecuencia	Tipo de Mantto.	No. de personas	Tiempo Estimado	Descripción de la actividad
29-M10-BA4/M01	MOTOR DE BOMBA DE AGUA DE RETORNO 2	TRIMESTRAL	ELÉCTRICO	2	4	MANTTO. DEL SISTEMA DE ARRANQUE Y CONTROL DEL ESTADO DEL MOTOR.
29-M10-BA4/M01	MOTOR DE BOMBA DE AGUA DE RETORNO 2	SEMESTRAL	ELÉCTRICO	2	4	MANTENIMIENTO PREVENTIVO SEMESTRAL DEL MOTOR DE BOMBA CENTRÍFUGA.
29-M10-BA4/M01	MOTOR DE BOMBA DE AGUA DE RETORNO 2	ANUAL	ELÉCTRICO	2	8	DESARME COMPLETO DEL MOTOR.
29-M10-BA5/M01	MOTOR DE BOMBA DE AGUA DE RETORNO 3	TRIMESTRAL	ELÉCTRICO	2	4	MANTTO. DEL SISTEMA DE ARRANQUE Y CONTROL DEL ESTADO DEL MOTOR.
29-M10-BA5/M01	MOTOR DE BOMBA DE AGUA DE RETORNO 3	SEMESTRAL	ELÉCTRICO	2	4	MANTENIMIENTO PREVENTIVO SEMESTRAL DEL MOTOR DE BOMBA CENTRÍFUGA.
29-M10-BA5/M01	MOTOR DE BOMBA DE AGUA DE RETORNO 3	ANUAL	ELÉCTRICO	2	8	DESARME COMPLETO DEL MOTOR.
29-N20-BA3/U01	CONTROL DE BOMBA DE ALIMENTACIÓN DE TANQUE DE FILTROS DE ARENA	SEMESTRAL	ELÉCTRICO	2	4	LIMPIEZA DE PANEL DE CONTROL Y ELECTRODOS.
29-N20-BA3/U01	CONTROL DE BOMBA DE ALIMENTACIÓN DE TANQUE DE FILTROS DE ARENA	ANUAL	ELÉCTRICO	2	4	REVISIÓN DE CONTACTORES Y GUARDAMOTORES.
29-N20-VE1/U01	CONTROL DE VENTILADOR DE TORRE DE ENFRIAMIENTO HAMON	SEMESTRAL	ELÉCTRICO	2	4	LIMPIEZA DE PANEL DE CONTROL Y ELECTRODOS.
29-N20-VE1/U01	CONTROL DE VENTILADOR DE TORRE DE ENFRIAMIENTO HAMON	ANUAL	ELÉCTRICO	2	4	REVISIÓN DE CONTACTORES Y GUARDAMOTORES.
29-N20-BA3	BOMBA DE ALIMENTACIÓN DE TANQUE DE FILTROS DE ARENA	TRIMESTRAL	MECÁNICO	2	8	MANTENIMIENTO TRIMESTRAL DE BOMBA CENTRÍFUGA.
29-N20-BA3	BOMBA DE ALIMENTACIÓN DE TANQUE DE FILTROS DE ARENA	ANUAL	MECÁNICO	2	24	DESARME COMPLETO DE LA BOMBA.
29-N20-BA4	BOMBA DE REPOSICIÓN DE AGUA DE ENFRIAMIENTO	TRIMESTRAL	MECÁNICO	2	8	MANTENIMIENTO TRIMESTRAL DE BOMBA CENTRÍFUGA.
29-N20-BA4	BOMBA DE REPOSICIÓN DE AGUA DE ENFRIAMIENTO	ANUAL	MECÁNICO	2	24	DESARME COMPLETO DE LA BOMBA.
29-N20-BA3/M01	MOTOR DE BOMBA DE ALIMENTACIÓN DE TANQUE DE FILTROS DE ARENA	TRIMESTRAL	ELÉCTRICO	2	4	MANTTO. DEL SISTEMA DE ARRANQUE Y CONTROL DEL ESTADO DEL MOTOR.
29-N20-BA3/M01	MOTOR DE BOMBA DE ALIMENTACIÓN DE TANQUE DE FILTROS DE ARENA	ANUAL	ELÉCTRICO	2	8	DESARME COMPLETO DEL MOTOR.
29-N20-BA4/M01	MOTOR DE BOMBA DE REPOSICIÓN DE AGUA DE ENFRIAMIENTO	TRIMESTRAL	ELÉCTRICO	2	4	MANTTO. DEL SISTEMA DE ARRANQUE Y CONTROL DEL ESTADO DEL MOTOR.
29-N20-BA4/M01	MOTOR DE BOMBA DE REPOSICIÓN DE AGUA DE ENFRIAMIENTO	ANUAL	ELÉCTRICO	2	8	DESARME COMPLETO DEL MOTOR.
29-N20-VE1/M01	MOTOR DE VENTILADOR DE TORRE DE ENFRIAMIENTO HAMON	TRIMESTRAL	ELÉCTRICO	2	4	MANTTO. DEL SISTEMA DE ARRANQUE Y CONTROL DEL ESTADO DEL MOTOR.

Tabla IX. (continuación)

Código HAC	Elemento de equipo	Frecuencia	Tipo de Mantto.	No. de personas	Tiempo Estimado	Descripción de la actividad
29-N20-VE1/M01	MOTOR DE VENTILADOR DE TORRE DE ENFRIAMIENTO HAMON	SEMESTRAL	ELÉCTRICO	2	4	MANTTO. PREVENTIVO SEMESTRAL DEL MOTOR DEL VENTILADOR DE TORRE HAMON.
29-N20-VE1/M01	MOTOR DE VENTILADOR DE TORRE DE ENFRIAMIENTO HAMON	ANUAL	ELÉCTRICO	2	8	DESARME COMPLETO DEL MOTOR.
29-N20-AP1	MOTO-RECUTOR DE VENTILADOR DE TORRE DE ENFRIAMIENTO HAMON	SEMANTAL	MECÁNICO	2	4	REVISIÓN SEMANAL DEL MOTO-REDUCTOR.
29-N20-AP1	MOTO-RECUTOR DE VENTILADOR DE TORRE DE ENFRIAMIENTO HAMON	SEMESTRAL	MECÁNICO	2	4	CAMBIO DE ACEITE AL MOTO-REDUCTOR.
29-N20-VE1	VENTILADOR DE TORRE DE ENFRIAMIENTO HAMON	SEMESTRAL	MECÁNICO	2	4	REVISIÓN SEMESTRAL DEL VENTILADOR.

2.4.4. Rutinas de inspección diaria

Consisten en la realización habitual de una serie de tareas sencillas enfocadas hacia la prevención de fallas en los equipos que están en operación, y no forman parte del plan de mantenimiento formal de la planta. Por lo general, no requieren el uso de instrumentos o herramientas, suficiente con emplear los sentidos de la vista, el oído, el tacto y el olfato, y tampoco requieren de una orden de trabajo (OT).

Su objetivo es detectar y reportar anomalías en la operación de los equipos durante el lapso existente entre las fechas del mantenimiento programado, y de esta manera, conseguir la emisión de una orden de trabajo (OT), para la corrección de la falla o adelantar la ejecución de un mantenimiento que ha sido programado con anticipación.

2.4.4.1. Rutinas de inspección diaria para el sistema de enfriamiento por agua

- **Rutina diaria para los equipos 29-N20-BA3, 29-N20-BA4, 29-M10-BA3, 29-M10-BA4 Y 29-M10-BA5**

✓ TAREAS:

- Revisar si hay ruidos anormales.
- Revisar si hay fugas de agua.
- Revisar si hay vibraciones anormales.
- Revisar que el motor no se caliente mucho.
- Revisar lectura del manómetro de la bomba.

- **Rutina diaria para el equipo 29-N20-VE1**

- ✓ TAREAS:

- Revisar si hay ruidos anormales.
- Revisar si hay vibraciones anormales.
- Revisar que el motor no se caliente mucho.

- **Rutina diaria para el equipo 29-N20-AP1**

- ✓ TAREAS:

- Revisar si hay ruidos anormales.
- Revisar si hay vibraciones anormales.
- Revisar que el moto-reductor no se caliente mucho.
- Revisar que no haya fuga de aceite lubricante.

2.4.4.2. Rutinas de inspección diaria para el sistema de suministro de agua de proceso

- **Rutina diaria para los equipos 29-M00-BA5 Y 29-M00-BA6**

- ✓ TAREAS:

- Revisar si hay ruidos anormales.
- Revisar si hay vibraciones anormales.
- Revisar la lectura del manómetro de la bomba.

- **Rutina diaria para los equipos 29-M00-BA7 Y 29-M00-BA8**

- ✓ TAREAS:

- Revisar si hay ruidos anormales.
- Revisar si hay fugas de agua.
- Revisar si hay vibraciones anormales.
- Revisar que el motor no se caliente mucho.
- Revisar lectura del manómetro de la bomba.

2.4.5. Claves modelo de los equipos mecánicos de los sistemas de agua

Una clave modelo consiste en un texto que indica de manera ordenada los pasos a seguir en la correcta ejecución de una tarea de mantenimiento preventivo en particular. Además, en ella se incluye el equipo de seguridad a utilizar, las precauciones que deben tenerse y las herramientas con que se debe contar.

Su redacción se basa en el plan de frecuencia de mantenimiento, en las sugerencias de mantenimiento proporcionadas por el fabricante del equipo y en las normas de seguridad para la ejecución de trabajos en las distintas áreas de planta San Miguel.

Una vez redactada, cada clave modelo es guardada como un archivo independiente de texto y vinculada al registro del equipo en el sistema informático SAP, y es impresa junto con la orden de trabajo (OT), cada vez que se programe la ejecución del trabajo de mantenimiento.

2.4.5.1. Claves modelo para el sistema de enfriamiento por agua

- **Mantenimiento mensual de los equipos 29-N20-BA3 Y 29-N20-BA4**

- ✓ EQUIPO DE SEGURIDAD:

- Casco
- Lentes protectores
- Mascarilla
- Tapones para oídos
- Botas con puntera de acero

- ✓ HERRAMIENTAS:

- Cangrejo No. 12
- Destornillador plano

- ✓ PRECAUCIONES:

- Desconectar la alimentación eléctrica de la bomba.

- ✓ HACER ANTES:

- Inspección diaria

- ✓ REVISAR CARCASA:

- Revisar el estado y apriete de tornillos de la carcasa y adaptador.

- ✓ REVISAR MOTOR:
 - Revisar el apriete de las tuercas de los pernos de anclaje.

- ✓ LIMPIEZA DE LA BOMBA:
 - Limpiar el exterior de la carcasa y el motor.

- ✓ REVISAR INSTALACIÓN:
 - Revisar la operación y estado de las válvulas de succión y descarga.
 - Limpiar, y lubricar si es necesario, las válvulas de succión y descarga.

- ✓ HACER POR ÚLTIMO:
 - Conectar la alimentación eléctrica de la bomba.
 - Dejar limpia el área de trabajo.

- **Mantenimiento anual de los equipos 29-N20-BA3 Y 29-N20-BA4**
 - ✓ EQUIPO DE SEGURIDAD:
 - Casco
 - Lentes protectores
 - Mascarilla
 - Tapones para oídos
 - Botas con puntera de acero
 - Guantes cortos de cuero

- ✓ HERRAMIENTAS:
 - Caja de herramientas

- ✓ PRECAUCIONES:
 - Desconectar la alimentación eléctrica de la bomba.

- ✓ HACER ANTES:
 - Cerrar las válvulas de succión y descarga.
 - Quitar el tapón de drenaje de la bomba.

- ✓ DESARMAR CARCASA:
 - Quitar tornillos que sujetan la carcasa al adaptador, y retirarla.
 - Revisar si hay corrosión dentro de la carcasa y limpiarla.
 - Revisar si hay mucho desgaste en el anillo de la carcasa y cambiarlo de ser necesario.

- ✓ SI HAY QUE CAMBIAR EL SELLO MECÁNICO:
 - Quitar tuerca y arandela del impulsor, y retirarlo.
 - Quitar cuña del impulsor.
 - Quitar tornillos que sujetan al compartimiento del sello con el motor, y retirarlo.
 - Reemplazar sello mecánico y O *ring*.
 - Limpiar bien el compartimiento de sellos.
 - Revisar estado de las camisas del eje, y lubricarlas.
 - Colocar el conjunto de compartimiento del sello y sello mecánico.
 - Colocar impulsor y reemplazar su tuerca y arandela.

- ✓ REVISAR IMPULSOR:
 - Revisar si hay corrosión o desgaste en el impulsor y limpiarlo.

- ✓ ARMAR CARCASA

- ✓ HACER POR ÚLTIMO:
 - Colocar tapón de drenaje.
 - Abrir las válvulas de succión y descarga.
 - Mantenimiento mensual
 - Inspección diaria

- **Mantenimiento mensual de los equipos 29-M10-BA3, 29-M10-BA4 Y 29-M10-BA5**

- ✓ EQUIPO DE SEGURIDAD:
 - Casco
 - Lentes protectores
 - Mascarilla
 - Tapones para oídos
 - Botas con puntera de acero

- ✓ HERRAMIENTAS:
 - Caja de herramientas

- ✓ PRECAUCIONES:
 - Desconectar la alimentación eléctrica de la bomba.

- ✓ HACER ANTES:
 - Inspección diaria

- ✓ REVISAR CARCASA:
 - Revisar apriete de los tornillos de la carcasa.
 - Revisar tuercas de seguridad de las chumaceras.
 - Revisar apriete de las tuercas del bastidor.

- ✓ REVISAR ACOUPLE:
 - Quitar la guarda de acople.
 - Revisar el ajuste de los pernos del acople.
 - Limpiar el acople y la guarda del mismo.
 - Colocar la guarda del acople.

- ✓ LIMPIEZA DE LA BOMBA:
 - Limpiar el exterior de la carcasa y el motor.

- ✓ REVISAR INSTALACIÓN:
 - Revisar la operación y estado de las válvulas de succión y descarga.
 - Limpiar, y lubricar si es necesario, las válvulas de succión y descarga.

- ✓ HACER POR ÚLTIMO:
 - Conectar la alimentación eléctrica de la bomba.
 - Ajustar, si es necesario, el buje de la caja de empaquetadura para asegurar la correcta lubricación del material de cierre.
 - Dejar limpia el área de trabajo.

- **Mantenimiento semestral de los equipos 29-M10-BA3, 29-M10-BA4 Y 29-M10-BA5**

- ✓ EQUIPO DE SEGURIDAD:

- Casco
- Lentes protectores
- Mascarilla
- Tapones para oídos
- Botas con puntera de acero

- ✓ HERRAMIENTAS:

- Caja de herramientas
- Engrasador

- ✓ PRECAUCIONES:

- Desconectar la alimentación eléctrica de la bomba.

- ✓ HACER ANTES:

- Inspección diaria
- Cerrar las válvulas de succión y descarga.
- Quitar el tapón de drenaje de la bomba.

- ✓ REVISAR MATERIAL DE CIERRE:

- Quitar el buje de la caja de empaquetadura.
- Extraer el material de cierre y cambiarlo si es necesario.
- Limpiar la caja de empaquetadura y colocar el buje.

- ✓ REVISAR ACOPLA:
 - Quitar la guarda de acople.
 - Revisar el ajuste de los pernos del acople.
 - Limpiar el acople y la guarda del acople.
 - Colocar la guarda del acople.

- ✓ LUBRICAR:
 - Engrasar las chumaceras.

- ✓ HACER POR ÚLTIMO:
 - Colocar el tapón de drenaje de la bomba.
 - Abrir las válvulas de succión y descarga.
 - Mantenimiento mensual

- **Mantenimiento anual de los equipos 29-M10-BA3, 29-M10-BA4 Y 29-M10-BA5**

- ✓ EQUIPO DE SEGURIDAD:
 - Casco
 - Lentes protectores
 - Mascarilla
 - Tapones para oídos
 - Botas con puntera de acero
 - Guantes cortos de cuero

- ✓ HERRAMIENTAS:
 - Caja de herramientas
 - Engrasador

- ✓ PRECAUCIONES:
 - Desconectar la alimentación eléctrica de la bomba.

- ✓ HACER ANTES:
 - Cerrar las válvulas de succión y descarga.
 - Quitar el tapón de drenaje de la bomba.

- ✓ DESCONECTAR ACOPLER:
 - Quitar la guarda del acople.
 - Quitar los pernos de fijación del acople.

- ✓ REVISAR MATERIAL DE CIERRE:
 - Quitar el buje de la caja de empaquetadura.
 - Extraer el material de cierre y cambiarlo si es necesario.
 - Limpiar la caja de empaquetadura.

- ✓ DESARMAR CARCASA:
 - Quitar los tornillos de la carcasa superior y retirarla.
 - Quitar el empaque de junta de carcasa, limpiarlo y cambiarlo si es necesario.
 - Revisar si hay corrosión dentro de la carcasa superior y limpiarla.

- ✓ QUITAR EJE:
 - Quitar las tuercas de seguridad y los pernos de las chumaceras.
 - Levantar el eje para retirarlo.

- ✓ REVISAR CARCASA INFERIOR:
 - Revisar si hay corrosión dentro carcasa inferior y limpiarla.

- ✓ REVISAR ANILLO DE DESGASTE DE LA CARCASA

- ✓ REVISAR COJINETES:
 - Desarmar caja de chumaceras y limpiar su interior.
 - Extraer los cojinetes y reemplazarlos.

- ✓ REVISAR IMPULSOR:
 - Revisar si hay desgaste o corrosión en el impulsor y limpiarlo.
 - Revisar si hay mucho desgaste en los anillos de desgaste del impulsor, y si es necesario cambiarlos.

- ✓ REVISAR EJE:
 - Revisar que no haya mucho desgaste en camisas del eje.

- ✓ ARMAR BOMBA:
 - Engrasar superficies de anillos de desgaste y camisas del eje.
 - Colocar chumaceras y ponerles grasa nueva.
 - Armar carcasa y caja de empaquetadura.
 - Conectar acople.

- ✓ HACER POR ÚLTIMO:
 - Colocar el tapón de drenaje de la bomba.
 - Abrir las válvulas de succión y descarga.
 - Mantenimiento mensual
 - Inspección diaria

- **Mantenimiento semestral del equipo 29-N20-VE1**

- ✓ EQUIPO DE SEGURIDAD:
 - Casco
 - Lentes protectores
 - Tapones para oídos
 - Botas con puntera de acero

- ✓ HERRAMIENTAS:
 - Caja de herramientas
 - Torquímetro

- ✓ PRECAUCIONES:
 - Desconectar la alimentación eléctrica del ventilador.
 - Piso húmedo

- ✓ HACER ANTES:
 - Cerrar la válvula de paso de agua a la torre de enfriamiento.

- ✓ REVISAR ACOPLES:
 - Revisar el apriete de los pernos de los acoples del eje del ventilador.

- ✓ REVISAR ESTADO GENERAL DEL EJE DEL VENTILADOR:
 - Revisar que no tenga desgaste, corrosión o muescas.

- ✓ REVISAR VENTILADOR:
 - Revisar el apriete de los tornillos de las aspas.
 - Comprobar que el ángulo de las aspas sea de $11.9^{\circ} \pm 0.20^{\circ}$.
 - Limpiar y revisar el estado de cada aspa.
 - Limpiar y revisar la guarda del ventilador.

- ✓ REVISAR MOTOR:
 - Revisar el apriete de tornillos de la base del motor.
 - Limpiar el exterior del motor.

- ✓ HACER POR ÚLTIMO:
 - Conectar la alimentación eléctrica del ventilador.
 - Abrir la válvula de entrada de agua a la torre de enfriamiento.
 - Dejar limpia el área de trabajo.
 - Inspección diaria

- **Mantenimiento semanal del equipo 29-N20-AP1**

- ✓ EQUIPO DE SEGURIDAD:

- Casco
- Lentes protectores
- Tapones para oídos
- Botas con puntera de acero

- ✓ HERRAMIENTAS:

- Caja de herramientas

- ✓ PRECAUCIONES:

- Desconectar la alimentación eléctrica del ventilador.
- Piso húmedo

- ✓ HACER ANTES:

- Cerrar la válvula de entrada de agua a la torre de enfriamiento.

- ✓ REVISAR NIVEL DEL LUBRICANTE:

- Esperar 5 minutos desde que se detiene el ventilador para que se estabilice el aceite.
- Si el nivel del aceite está abajo del indicador, entonces rellenar hasta alcanzar el nivel recomendado.

- ✓ HACER POR ÚLTIMO:
 - Conectar la alimentación eléctrica del ventilador.
 - Dejar limpia el área de trabajo.
 - Inspección diaria

- **Mantenimiento semestral del equipo 29-N20-AP1**
 - ✓ EQUIPO DE SEGURIDAD:
 - Casco
 - Lentes protectores
 - Tapones para oídos
 - Botas con puntera de acero

 - ✓ HERRAMIENTAS:
 - Caja de herramientas

 - ✓ PRECAUCIONES:
 - Desconectar la alimentación eléctrica del ventilador.
 - Piso húmedo

 - ✓ HACER ANTES:
 - Cerrar la válvula de entrada de agua a la torre de enfriamiento.

 - ✓ SI HAY FUGAS DE LUBRICANTE:
 - Reemplazar los sellos que estén en mal estado.

- ✓ CAMBIAR LUBRICANTE:
 - Quitar los tapones de drenaje del moto-reductor.
 - Drenar todo el aceite y rellenar hasta el nivel recomendado.

- ✓ HACER POR ÚLTIMO:
 - Conectar la alimentación eléctrica del ventilador.
 - Dejar limpia el área de trabajo.
 - Inspección diaria

2.4.5.2. Claves modelo para el sistema de suministro de agua de proceso

- **Mantenimiento trimestral de los equipos 29-M00-BA7 Y 29-M00-BA8**

- ✓ EQUIPO DE SEGURIDAD:
 - Casco
 - Lentes protectores
 - Mascarilla
 - Tapones para oídos
 - Botas con puntera de acero

- ✓ HERRAMIENTAS:
 - Caja de herramientas

- ✓ PRECAUCIONES:
 - Desconectar la alimentación eléctrica de la bomba.

- ✓ HACER ANTES:
 - Inspección diaria

- ✓ REVISAR CARCASA:
 - Revisar el apriete de los tornillos de la carcasa.
 - Revisar las tuercas de seguridad de las chumaceras.
 - Revisar el apriete de tuercas del bastidor.

- ✓ REVISAR ACOUPLE:
 - Quitar la guarda del acople.
 - Revisar el ajuste de los pernos del acople.
 - Limpiar el acople y la guarda del mismo.
 - Colocar la guarda del acople.

- ✓ LIMPIEZA DE LA BOMBA:
 - Limpiar el exterior de la carcasa y el motor.

- ✓ REVISAR INSTALACIÓN:
 - Revisar la operación y estado de las válvulas de succión y descarga.
 - Limpiar, y lubricar si es necesario, las válvulas de succión y descarga.

- ✓ HACER POR ÚLTIMO:
 - Conectar la alimentación eléctrica de la bomba.
 - Ajustar, si es necesario, el buje de la caja de empaquetadura para asegurar la correcta lubricación del material de cierre.
 - Dejar limpia el área de trabajo.

- **Mantenimiento anual de los equipos 29-M00-BA7 Y 29-M00-BA8**

- ✓ EQUIPO DE SEGURIDAD:

- Casco
- Lentes protectores
- Mascarilla
- Tapones para oídos
- Botas con puntera de acero
- Guantes cortos de cuero

- ✓ HERRAMIENTAS:

- Caja de herramientas
- Engrasador

- ✓ PRECAUCIONES:

- Desconectar la alimentación eléctrica de la bomba.

- ✓ HACER ANTES:

- Cerrar las válvulas de succión y descarga.
- Quitar el tapón de drenaje de la bomba.

- ✓ DESCONECTAR ACOUPLE:

- Quitar la guarda del acople.
- Quitar los pernos de fijación del acople.

- ✓ REVISAR MATERIAL DE CIERRE:
 - Quitar el buje de la caja de empaquetadura.
 - Extraer el material de cierre y cambiarlo si es necesario.
 - Limpiar la caja de empaquetadura.

- ✓ DESARMAR CARCASA:
 - Quitar los tornillos de la carcasa superior y retirarla
 - Quitar el empaque de junta de la carcasa, limpiarlo y cambiarlo si es necesario.
 - Revisar si hay corrosión dentro de la carcasa superior y limpiarla.

- ✓ QUITAR EJE:
 - Quitar las tuercas de seguridad y los pernos de las chumaceras.
 - Levantar el eje para retirarlo.

- ✓ REVISAR CARCASA INFERIOR:
 - Revisar si hay corrosión dentro de la carcasa inferior y limpiarla.

- ✓ REVISAR ANILLO DE DESGASTE DE LA CARCASA

- ✓ REVISAR COJINETES:
 - Desarmar la caja de chumaceras y limpiar su interior.
 - Cambiar cojinetes.

- ✓ REVISAR IMPULSORES:
 - Revisar si hay desgaste o corrosión en los impulsores y limpiarlos.
 - Revisar si hay mucho desgaste en los anillos de desgaste de los impulsores y reemplazarlos si es necesario.

- ✓ REVISAR EJE:
 - Revisar que no haya mucho desgaste en las camisas del eje.

- ✓ ARMAR BOMBA:
 - Engrasar las superficies de anillos de desgaste y camisas del eje.
 - Colocar las chumaceras y ponerles grasa nueva.
 - Armar la carcasa y caja de empaquetadura.
 - Conectar el acople.

- ✓ HACER POR ÚLTIMO:
 - Colocar el tapón de drenaje de la bomba.
 - Abrir las válvulas de succión y descarga.
 - Mantenimiento trimestral
 - Inspección diaria

- **Mantenimiento semestral de los equipos 29-M00-BA5 Y 29-M00-BA6**

- ✓ EQUIPO DE SEGURIDAD:

- Casco
- Lentes protectores
- Botas con puntera de acero
- Guantes cortos de cuero

- ✓ HERRAMIENTAS:

- Caja de herramientas
- Polipastos
- Llave de tubos
- Llave inglesa

- ✓ PRECAUCIONES:

- Desconectar la alimentación eléctrica de la bomba.

- ✓ SACAR LA BOMBA DEL POZO

- ✓ LIMPIAR Y REVISAR LA REJILLA DE SUCCIÓN

- ✓ REVISAR ACOPLE:

- Revisar apriete de tornillos y estado del acople.

- ✓ LIMPIAR Y REVISAR EL EXTERIOR DE LA CARCASA

- ✓ COLOCAR Y ASEGURAR LA BOMBA EN EL POZO

- ✓ HACER POR ÚLTIMO:
 - Conectar la alimentación eléctrica de la bomba.
 - Dejar limpia el área de trabajo.
 - Inspección diaria

- **Mantenimiento anual de los equipos 29-M00-BA5 Y 29-M00-BA6**
 - ✓ EQUIPO DE SEGURIDAD:
 - Casco
 - Lentes protectores
 - Botas con puntera de acero
 - Guantes cortos de cuero

 - ✓ HERRAMIENTAS:
 - Caja de herramientas
 - Polipastos
 - Llave de tubos
 - Llave inglesa

 - ✓ PRECAUCIONES:
 - Desconectar la alimentación eléctrica de la bomba.

 - ✓ SACAR BOMBA DEL POZO

- ✓ DESCONECTAR ACOPLER:
 - Quitar tornillos del acople para desconectar la bomba del motor.

- ✓ QUITAR CARCASA:
 - Revisar si hay corrosión dentro de la carcasa y limpiarla.

- ✓ CAMBIAR COJINETES
 - Quitar impulsores de etapas del eje, revisar si tienen corrosión y limpiarlos.
 - Quitar los cojinetes de empuje en las etapas de la bomba y reemplazarlos.

- ✓ REVISAR EJE
 - Revisar que el eje no esté pando, que no tenga corrosión o muescas, y limpiarlo.

- ✓ ARMAR BOMBA

- ✓ COLOCAR Y ASEGURAR LA BOMBA EN EL POZO

- ✓ HACER POR ÚLTIMO:
 - Conectar la alimentación eléctrica de la bomba.
 - Dejar limpia el área de trabajo.
 - Inspección diaria

2.4.6. Lista de repuestos para los sistemas de agua

Como se expuso anteriormente, el sistema de gestión de mantenimiento MAC busca obtener el máximo provecho de la maquinaria instalada al menor costo de mantenimiento posible, de una manera sostenible.

Lo anterior implica que, además de contar con estrategias de mantenimiento eficaces, se deben efectuar controles rígidos sobre los aspectos que tienen influencia en el costo total del mantenimiento, encontrándose entre los más importantes el inventario de repuestos de los equipos.

En planta San Miguel, el control sobre el inventario de repuestos se basa en un método que clasifica a las partes de los equipos que más probabilidades tienen de fallar, de acuerdo a la forma del comportamiento de su consumo, en las siguientes categorías: Consumibles, Estratégicos, de Desgaste, Reemplazables y Obsoletos.

Los repuestos Consumibles son aquellos que tienen utilidad común en el mantenimiento de diversos equipos, por lo que su demanda es permanente.

Los repuestos Estratégicos son los que causan un paro no pronosticable en equipos que tienen criticidad A o Q, pero rara vez ocurre por lo que su consumo es lento.

Los repuestos de Desgaste van perdiendo sus medidas relativamente lento, de manera que puede predecirse con bastante exactitud el momento en que fallarán. Esto, hace que su consumo sea no frecuente pero pronosticable.

Los repuestos Reemplazables son aquellos en los que no puede predecirse con exactitud su falla y que no pueden repararse, por lo que deben reemplazarse periódicamente.

Y los repuestos Obsoletos, son aquellos que no tienen utilidad debido a modificaciones hechas a equipos o procesos.

Por último, en las tablas siguientes (Tabla X y Tabla XI), se presentan los listados de repuestos elaborados para los equipos mecánicos de los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso, respectivamente. El contenido de dichos listados, está basado en las sugerencias del fabricante de los equipos y en las experiencias que se ha tenido con ellos en la planta, y consiste en: el código HAC de cada equipo, la descripción del repuesto y la clasificación del repuesto.

Tabla X. Lista de repuestos para equipos de los sistemas de agua

Código HAC	Descripción de la parte	Clasificación
29-N20-BA3	Anillo de carcasa	Desgaste
	Sello mecánico estándar	Desgaste
29-N20-BA4	Tornillo de impulsor	Reemplazable
	Arandela de impulsor	Reemplazable
29-M10-BA3 29-M10-BA4 29-M10-BA5 29-M00-BA7 29-M00-BA8	Anillo de carcasa	Desgaste
	Anillo de impulsor	Desgaste
	Material de empaquetadura	Desgaste
	Cojinete de bola interno	Reemplazable
	Cojinete de bola externo	Reemplazable
	Empaque de junta de carcasa	Reemplazable
	Tuerca de seguridad de chumaceras	Estratégico
29-N20-AP1	Cojinete vertical superior	Estratégico
	Cojinete vertical inferior	Estratégico
	Cojinete horizontal interior	Estratégico
	Cojinete horizontal exterior	Estratégico
	Conjunto de sellos horizontales	Desgaste
	Conjunto de sellos verticales	Desgaste
	Conjunto de empaque	Desgaste
29-M00-BA5 29-M00-BA6	Cojinetes de empuje	Reemplazable

CONCLUSIONES

1. Los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso, son parte esencial en la operación de planta San Miguel, debido a que su mal funcionamiento tiene influencia directa en la productividad de la planta.
2. Con base en el conocimiento de la cantidad, tipos y tamaños de los accesorios que componen a las redes de tubería de los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso, es posible mantener existencias de las cantidades necesarias de accesorios para repuesto, consiguiéndose con esto, sostener un costo óptimo en el mantenimiento de las instalaciones de los sistemas de agua.
3. Con el conocimiento exacto de la ubicación, función de cada accesorio y de la estructura de las instalaciones de los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso, es posible lograr con la mayor brevedad, la reparación de las fallas que se puedan presentar en las redes de tubería de los sistemas de agua o en la maquinaria a la que abastecen. Además, permite la planificación y ejecución correcta de modificaciones para las instalaciones de los sistemas de agua.

4. Debido a que los planes de mantenimiento mejorados para los equipos mecánicos de los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso, se hicieron siguiendo los lineamientos establecidos por el sistema de gestión de mantenimiento MAC, se puede tener plena confianza en que se obtendrá el máximo rendimiento de los equipos, al mismo tiempo que no se afectará, la eficiencia de los procesos productivos ni al medio ambiente, ya que se estará haciendo un buen uso de los recursos naturales empleados en fabricación.

5. Debido a que la eficacia de los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso puede verse disminuida por anomalías presenciadas en sus redes de tubería, el mantenimiento mecánico de estos sistemas de agua debe ocuparse también de las reparaciones de sus instalaciones.

RECOMENDACIONES

1. Al jefe del Departamento de Proyectos Nuevos:
Comunicar al jefe del Área de Mantenimiento Mecánico, cualquier modificación prevista en la planta que afecte la configuración actual de los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso, para que éste planifique la actualización de planos y del libro de *Tags*, así como la colocación de identificadores de campo para accesorios, una vez concluidos los trabajos de modificación, con la finalidad de contar siempre con información al día sobre las instalaciones y operación de dichos sistemas de agua.

2. Al jefe del Área de Mantenimiento Mecánico:
Evaluar y ajustar de ser necesario, el nuevo plan de frecuencia de mantenimiento y las nuevas claves modelo de los equipos mecánicos de los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso, partiendo de la información de retroalimentación proporcionada por las ordenes de trabajo de mantenimiento ejecutadas, con el fin de conseguir la ejecución óptima del mantenimiento de dichos equipos.

3. Al jefe del Área de Mantenimiento Mecánico:
Programar el cambio de disposición de las válvulas de retención en el lado de descarga de las bombas auxiliares de agua de río, debido a que la disposición actual dificulta el reemplazo de dichas válvulas en casos de avería. La nueva disposición debe situar a las válvulas de cierre de la tubería de descarga después de las válvulas de retención, en el sentido de avance del flujo de agua, ya que dicha configuración es la correcta para toda instalación de equipos de bombeo.

4. Al jefe del Área de Mantenimiento Mecánico:
Concluir los trabajos de pintura en las redes de tubería de los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso, de acuerdo a las especificaciones de color establecidas para la planta, y establecer trabajos de limpieza periódica, principalmente para los tramos situados en las áreas de *clinker* y de molinos de cemento, esto con la finalidad de hacer siempre notoria la identificación visual de la tubería.

5. Al jefe del Área de Mantenimiento Mecánico:
Programar trabajos periódicos de revisión del funcionamiento de las válvulas que controlan el flujo hacia los principales ramales de los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso, con la finalidad de asegurar su buen funcionamiento en todo momento.

BIBLIOGRAFÍA

1. **5060 series Deming® centrifugal pumps: installation, operation and maintenance manual.** U.S.A.: s.e., 1994. 9 p.
2. BERUMEN, Alberto. **Bombas centrífugas: selección, reparación y mantenimiento.** México: McGraw-Hill, 1989. 379 p.
3. GOTERA, Eddin. **¿Qué es lo último que hemos aplicado en mantenimiento?** s.l., s.e., 2003. 25 p. (Consultado en marzo de 2005 en: www.monografias.com).
4. **HOLCIM asset code.** s.l., s.e., 2003. 35 p.
5. **INSTRUCCIONES de operación, instalación y mantenimiento de bombas Goulds® modelos 3656/3756.** EE.UU.: s.e., 2003. 24 p.
6. **INSTRUCTIVO de mantenimiento preventivo.** CEMPRO: s.e., 2004. 7 p.
7. **MANTENIMIENTO correctivo, preventivo y predictivo.** CEMPRO: s.e., 2004. 7 p.
8. **MODEL 431B Aurora® centrifugal pumps: repair instruction manual.** U.S.A.: s.e., 1996. 8 p.
9. **MODEL LS350T Sta-rite® submersible pumps: installation, operation and maintenance guide.** U.S.A.: s.e., 1994. 12 p.
10. **OPERATION and maintenance instructions for Amarillo® cooling tower drives.** U.S.A.: s.e., 1996. 6 p.

11. PRANDO, Raúl R. **Manual de gestión de mantenimiento a la medida.**
Guatemala: Editorial Piedra Santa, 1996. 104 p.

12. **PROCEDIMIENTO del sistema de captación de agua en planta de tratamiento primario, Trapiche, filtros PEP®, tanques y suavizador.**
CEMPRO: s.e., 2004. 8 p.

APÉNDICE

EXTRACTO DEL LIBRO DE TAGS

Esta primera parte del apéndice, presenta un extracto del Libro de *Tags* de los sistemas de agua, en el cual, se puede observar el ordenamiento que se hizo con los datos considerados más importantes de los accesorios. El ejemplo incluye los datos de los accesorios que tienen Número de *Tag* con terminación, principalmente en 1 ó 2, esto, con la finalidad de mostrar datos de accesorios con ubicación en la mayor parte de áreas de planta San Miguel.

Esta parte del apéndice consiste en tres tablas, cada una correspondiente a cada una de las tres redes de tubería que conforman los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso, es decir: Agua de Río, Agua de Enfriamiento y Agua de Retorno.

No. de TAG	Área de la planta	Ubicación	Accesorio	Tamaño	Función	Anterior	Siguiente	Posición normal	Acople	Estado externo	Observaciones
1-1	El trapiche	Tanque de succión	Válvula de retención	4"	Detiene el flujo inverso en salida de 29-M00-BA5.	29-M00-BA5	(1-2, 1-6)		Roscado	Bueno	
1-11	Torres de enfriamiento	Tanque 600 m³	Válvula de mariposa	4"	Cierra entrada superior al subtanque 2 del tanque de 600 m³.	FILTROS PEP	TANQUE 600 m³	Abierta	Ranurado	Bueno	
1-21	Torres de enfriamiento	Tanque 600 m³	Válvula de compuerta	2½"	Punto de extracción en salidas Φ6" lateral de subtanque 1 y posterior de subtanque 2 de tanque 600 m³.	(1-20, 1-22)		Cerrada	Roscado	Bueno	
1-31	Torres de enfriamiento	Torres gemelas	Válvula de mariposa	4"	Cierra entrada de agua de reposición al tanque de torre gemela 1.	(1-29)	TANQUE 1 DE TORRES GEMELAS	Abierta	Ranurado	Bueno	
1-41	Torres de enfriamiento	Cuarto del Suavizador	Válvula de retención	2"	Detiene el flujo inverso en salida de contador 13.	(1-40)	(1-42, 1-49, 1-50)		Roscado	Bueno	
1-51	Filtros de arena	Aireador	Válvula de compuerta	2½"	Abre by-pass de aireador.	(1-48, 1-50)	(1-52, 1-53)	Cerrada	Roscado	Bueno	Fuera de servicio.
1-61	Filtros de arena	Filtros lentos	Válvula de compuerta	2"	Abre drenaje de parte anterior de caja de filtro de arena 1.	CAJA DE FILTRO DE ARENA 1		Cerrada	Roscado	Bueno	
1-71	Torres de enfriamiento	Tanque 600 m³	Válvula de compuerta	2"	Cierra paso a extracción de agua de tubería frontal de salida Φ6" de tanque 600 m³.	(1-68, 1-69)	(1-72)	Abierta	Roscado	Bueno	
1-81	Torres de enfriamiento	Clorador	Válvula de flote	1½"	Permite la entrada de agua de río de tubería para líneas de producción al bajar a cierto nivel el tanque de agua clorada.	(1-80)	TANQUE DE AGUA CLORADA		Roscado	Bueno	
1-91	Harina cruda	21-323-IJ1	Válvula de compuerta	1½"	Cierra salida de 21-323-BA2.	21-323-BA2	(1-93)	Abierta	Roscado	Bueno	
1-101	Clinker	Nivel 2 Torre de ciclones 3	Válvula de mariposa	2"	Cierra paso general de agua de río a torre de ciclones 3.	(1-100)	(1-102, 1-105)	Abierta	Ranurado	Bueno	
1-111	Clinker	Nivel 6 Torre de ciclones 3	Válvula de bola	½"	Punto de extracción de agua de río.	21-443-IJ1		Cerrada	Roscado	Bueno	
1-121	Clinker	Nivel 7 Torre de ciclones 3	Manómetro		Mide la presión en la entrada a inyector de agua.	(1-120)			Roscado	Bueno	
1-131	Clinker	Nivel 2 pesadoras de carbón	Válvula de globo	1½"	Punto de extracción de agua de río.	(1-130)		Cerrada	Roscado	Bueno	Fuera de servicio.
1-141	Clinker	Exterior nivel 1 Torre de ciclones 2	Válvula de compuerta	2½"	Cierra paso de agua de río hacia tanque de 21-422-IJ1.	(1-76)	(1-147)	Abierta	Roscado	Bueno	Fuera de servicio.

Tabla XI. Extracto del Libro de Tags, red de agua de río

No. de TAG	Área de la planta	Ubicación	Accesorio	Tamaño	Función	Anterior	Siguiente	Posición normal	Acople	Estado externo	Observaciones
1-151	Clinker	Nivel 2 Compresores Fuller en Silos de Almacenaje	Válvula de globo	2½"	Tapón de extremo de tubería.	(1-76)		Cerrada	Roscado	Bueno	
1-161	Clinker	Parte alta de torre SONIC	Filtro de malla	¾"	Filtra el agua en entrada a inyector de agua de torre SONIC.	(1-160)	(1-162)		Roscado	Bueno	
1-171	Clinker	Parte alta de torre SONIC	Válvula de bola	¾"	Cierra entrada a inyector de agua de torre SONIC.	21-422-IJ1	(1-172)	Abierta	Roscado	Bueno	
1-181	Clinker	Parte alta de torre SONIC	Filtro de malla	¾"	Filtra el agua en entrada a inyector de agua de torre SONIC.	(1-180)	(1-182)		Roscado	Bueno	
1-191	Clinker	Nivel 9 Torre de ciclones 1	Válvula de bola	¾"	Cierra entrada a inyector de agua de torre de ciclones 1.	(1-146)	(1-192, GASES HORNO 461)	Abierta	Roscado	Bueno	
1-201	Clinker	Nivel 2 enfriador de clinker horno 462	Válvula de compuerta	1½"	Ninguna.	(1-199)		Cerrada	Roscado		Fuera de servicio.
1-211	Clinker	Nivel 2 enfriador de clinker horno 462	Válvula de compuerta	1"	Ninguna.				Roscado		Fuera de servicio.
1-221	Clinker	Nivel 2 enfriador de clinker horno 462	Válvula de compuerta	1"	Ninguna.				Roscado		Fuera de servicio.
1-231	Cemento	Nivel 1 molino 562	Válvula de compuerta	2"	Punto de extracción de agua de río.	(1-228)		Cerrada	Roscado	Material acumulado	
1-241	Servicios Generales	Caja de registro 1 frente a almacén 1	Válvula de compuerta	2"	Cierra paso de agua de río hacia calera, plantas MAK y riego de jardines.	(1-240)	(1-242, 1-243, 1-248, 1-249)	Abierta	Roscado	Bueno	
1-251	Calera	Nivel 2 hidratadora de cal	Filtro de malla	2"	Filtra el agua en entrada hidratadora de cal.	(1-250)	(1-252, 1-255)		Roscado	Bueno	
1-261	Calera	Nivel 2 hidratadora de cal	Manómetro		Mide la presión en salida de 22-541-BA1.	(1-260)			Roscado	Bueno	
1-271	Calera	Nivel 4 hidratadora de cal	Válvula de bola	½"	Cierra paso de agua hacia inyectores de hidratadora de cal.	(1-259)	HIDRATADORA	Abierta	Roscado	Bueno	
1-281	Calera	Nivel 4 hidratadora de cal	Válvula de bola	½"	Cierra paso de agua hacia inyectores de hidratadora de cal.	(1-259)	HIDRATADORA	Abierta	Roscado	Bueno	
1-291	Calera	Nivel 5 hidratadora de cal	Válvula de bola	½"	Cierra paso de agua hacia inyectores de hidratadora de cal.	(1-259)	HIDRATADORA	Abierta	Roscado	Bueno	

Tabla XI. (continuación)

Tabla XII. Extracto del Libro de Tags, red de agua de enfriamiento

No. de TAG	Área de la planta	Ubicación	Accesorio	Tamaño	Función	Anterior	Siguiente	Posición normal	Acople	Estado externo	Observaciones
3-1	Torres de enfriamiento	Cuarto del suavizador	Válvula de compuerta	2"	Cierra entrada a suavizador.	INTERRUPCIÓN EN TUBERÍA DE SALIDA DE FILTROS DE ARENA.	(3-2, 3-3, 3-4)	Abierta	Roscado	Bueno	
3-11	Torres de enfriamiento	Torre gemela 2	Válvula de compuerta	2"	Cierra entrada de agua suavizada a tanque de torre gemela 2.	(1-66, 1-82, 3-7)	TANQUE 2 DE TORRES GEMELAS	Abierta	Roscado	Bueno	
3-21	Torres de enfriamiento	Filtros de agua de enfriamiento líneas 1 y 2	Válvula de compuerta	2"	Abre purga de filtro 2.	(3-42)		Cerrada	Roscado	Bueno	
3-31	Torres de enfriamiento	Manifold agua de enfriamiento	Válvula de globo	3"	Punto de extracción de agua de enfriamiento.	(3-23, 3-24, 4-9, 4-14)		Cerrada	Roscado	Bueno	
3-41	Torres de enfriamiento	Filtros de agua de enfriamiento	Filtro de malla	8"	Filtra suministro de agua de enfriamiento para líneas 1 y 2.	(3-20)	(3-22, 3-24)		Roscado	Bueno	
3-51	Harina cruda	Molino 362	Válvula de compuerta	1¼"	Cierra entrada a 21-392-CA2.	(3-50, 3-53)	21-392-CA2	Abierta	Roscado	Bueno	
3-61	Harina cruda	Molino 362	Válvula de compuerta	1½"	Cierra paso general hacia enfriadores de aceite de chumaceras de molino 362.	(3-49)	(3-62, 3-63, 3-65)	Abierta	Roscado	Bueno	
3-71	Harina cruda	Symetro Molino 362	Filtro de malla	1¼"	Filtra agua de entrada al enfriador de aceite del Symetro.	(3-70)	(3-72)		Brida cuadrada 4	Bueno	
3-81	Clinker	Compresores Fuller en Silos de Almacenaje	Válvula de bola	1"	Abre purga en entrada a 21-412-CA1.	(3-79)		Cerrada	Roscado	Bueno	
3-91	Clinker	Compresores Fuller en Silos de Almacenaje	Válvula de solenoide	1½"	Controla automáticamente el paso a 21-412-CA3.	(3-89)	21-412-CA3		Roscado	Bueno	
3-101	Harina cruda	Molino 361	Válvula de compuerta	¾"	Cierra entrada a enfriador de aceite en lado de carga del molino.	(3-100)	ENF. ACEITE CARGA MOL. 361	Abierta	Roscado	Bueno	
3-111	Harina cruda	Molino 361	Válvula de compuerta	1½"	Cierra paso general hacia 21-371-VE2 y 21-421-VE2.	(3-96)	(3-112, 3-114, 3-529)	Abierta	Roscado	Bueno	
3-141	Clinker	Cuarto 1 de compresores Silos de Homogenización	Válvula de bola	1"	Abre purga en entrada a 21-431-CA1.	(3-140)		Cerrada	Roscado	Bueno	
3-161	Servicios Generales	Galera de compresores Atlas líneas 1 y 2	Válvula de bola	2"	Cierra paso hacia 29-D30-CA2.	(3-157)	(3-169, 3-175)	Abierta	Brida 4	Bueno	
3-171	Servicios Generales	Galera de compresores Atlas líneas 1 y 2	Termómetro		Mide temperatura del agua de enfriamiento en entrada a 29-D30-CA2.	(3-170)			Roscado	Bueno	

No. de TAG	Área de la planta	Ubicación	Accesorio	Tamaño	Función	Anterior	Siguiente	Posición normal	Acople	Estado externo	Observaciones
3-181	Servicios Generales	Galera de compresores Atlas líneas 1 y 2	Válvula de compuerta	2"	Cierra entrada principal a 29-D30-CA3 al usar by-pass de entrada.	(3-177)	29-D30-CA3	Abierta	Roscado	Bueno	
3-191	Servicios Generales	Galera de compresores Atlas líneas 1 y 2	Filtro de malla	2"	Filtra el agua de enfriamiento en entrada a 29-D30-CA7.	(3-193)	(3-190, 3-192)		Roscado	Bueno	
3-201	Servicios Generales	Galera de compresores Atlas líneas 1 y 2	Válvula de bola	2"	Abre by-pass de entrada a 29-D30-CA8.	(3-159)	29-D30-CA8	Cerrada	Roscado	Bueno	
3-211	Clinker	Pila 2 horno 461	Válvula de compuerta	1¼"	Cierra paso de agua de enfriamiento a pila 2 horno 461.	(3-210)	(3-212, 3-213, 3-214, 3-215, 3-216, 3-218)	Abierta	Roscado	Bueno	
3-221	Clinker	Pila 1 horno 461	Válvula de compuerta	1¼"	Cierra entrada de agua de enfriamiento a enfriadores auxiliares de aceite.	(3-220)	ENF. AUX. DE ACEITE 1, ENF. AUX. DE ACEITE 2	Abierta	Roscado	Bueno	
3-331	Clinker	Pila 4 horno 462	Válvula de bola	1"	Cierra entrada de agua de enfriamiento a chumacera de pila.	(3-229)	CHUMACERA 2	Abierta	Roscado	Bueno	
3-341	Clinker	Pila 3 horno 462	Válvula de globo	1½"	Punto de extracción de agua de enfriamiento.	(3-340)		Cerrada	Roscado	Bueno	
3-351	Clinker	Pila 2 horno 462	Válvula de compuerta	1¼"	Punto de extracción de agua de enfriamiento.	(3-350)		Cerrada	Roscado	Bueno	
3-361	Clinker	Pila 1 horno 462	Válvula de bola	¾"	Cierra entrada de agua de enfriamiento a chumacera de pila.	(3-356)	CHUMACERA 3	Abierta	Roscado	Bueno	
3-371	Trituración	Cuarto de bombas Trituradora secundaria	Válvula de compuerta	2½"	Cierra entrada a 21-292-BA1.	(3-370)	21-292-BA1	Abierta	Roscado	Bueno	
3-381	Harina cruda	Cuarto de 21-323-EL2	Válvula de globo	3"	Cierra entrada de agua de enfriamiento a 21-323-EL2.	(3-380)	(3-382)	Abierta	Brida 4	Bueno	
3-391	Clinker	Pila 2 horno 463	Válvula de mariposa	2"	Cierra paso a 21-443-CA1.	(3-388)	(3-392, 3-394, 3-396)	Abierta	Ranurado	Bueno	
3-401	Clinker	Pila 2 horno 463	Válvula de globo	1¼"	Cierra entrada de agua de enfriamiento a enfriador auxiliar de aceite.	(3-399)	ENF. AUX. DE ACEITE 1	Abierta	Roscado	Bueno	
3-411	Clinker	Pila 2 horno 463	Válvula de machuelo	1¼"	Cierra entrada de agua de enfriamiento a reductor.	(3-409)	CHUMACERA 3	Abierta	Roscado	Bueno	
3-431	Clinker	Final enfriador de clinker horno 463	Válvula de mariposa	6"	Cierra paso de agua de enfriamiento a galera de compresores Atlas de línea 3 y molinos OK.	(3-388)	(3-432, 3-436, 3-440, 3-444, 3-530)	Abierta	Ranurado	Bueno	

Tabla XII. (continuación)

Tabla XIII. Extracto del Libro de Tags, red de agua de retorno

No. de TAG	Área de la planta	Ubicación	Accesorio	Tamaño	Función	Anterior	Siguiente	Posición normal	Acople	Estado externo	Observaciones
4-1	Torres de enfriamiento	Torre gemela 2	Válvula de compuerta	4"	Abre entrada de agua de retorno a sprays antiguos de torres gemelas.	(4-145, 4-150)	(4-3, TANQUE 2 DE TORRES GEMELAS)	Cerrada	Roscado	Bueno	
4-2	Torres de enfriamiento	Torre gemela 1	Válvula de compuerta	4"	Abre entrada de agua de retorno a sprays antiguos de torres gemelas.	(4-145, 4-150)	(4-3, 4-4)	Cerrada	Roscado	Bueno	
4-11	Torres de enfriamiento	Torre gemela 2	Válvula de compuerta	4"	Ninguna.				Roscado		Fuera de servicio.
4-12	Torres de enfriamiento	Torre gemela 1	Válvula de compuerta	4"	Ninguna.				Roscado		Fuera de servicio.
4-21	Clinker	Molino362	Flow Switch	1"	Dispara a 21-432-CA1.	21-432-CA1			Roscado	Bueno	
4-22	Harina cruda	Molino362	Flow Switch	1"	Dispara a 21-392-CA2.	21-392-CA2			Roscado	Bueno	
4-31	Clinker	Compresores Fuller en Silos de Almacenaje	Válvula de bola	1"	Permite el flujo máximo de agua de retorno en salida de 21-412-CA2.	21-412-CA2		Cerrada	Roscado	Bueno	
4-32	Clinker	Compresores Fuller en Silos de Almacenaje	Flow Switch	1"	Dispara a 21-412-CA2.	21-412-CA2			Roscado	Bueno	
4-42	Harina cruda	Cuarto 2 de compresores Silos de Homogenización	Válvula de bola	1"	Permite el flujo máximo de agua de retorno en salida de 21-391-CA8.	21-391-CA8		Cerrada	Roscado	Bueno	TAG 4-41 no existe.
4-43	Harina cruda	Cuarto 2 de compresores Silos de Homogenización	Válvula de bola	1"	Permite el flujo máximo de agua de retorno en salida de 21-391-CA7.	21-391-CA7		Cerrada	Roscado	Bueno	
4-51	Servicios Generales	Galera de compresores Atlas líneas 1 y 2	Válvula de bola	2"	Cierra salida de agua de retorno de 29-D30-CA7 hacia tubo Φ6".	29-D30-CA7		Abierta	Roscado	Bueno	
4-52	Servicios Generales	Galera de compresores Atlas líneas 1 y 2	Válvula de compuerta	2"	Abre salida de agua de retorno de 29-D30-CA3 hacia manifold Φ6".	29-D30-CA3	(4-69, 4-70, 4-71)	Cerrada	Roscado	Bueno	Fuera de servicio.
4-61	Servicios Generales	Galera de compresores Atlas líneas 1 y 2	Válvula de globo	½"	Permite el cambio del manómetro en salida de 29-D30-CA2.	29-D30-CA2	(4-60)	Abierta	Roscado	Bueno	
4-62	Servicios Generales	Galera de compresores Atlas líneas 1 y 2	Válvula de compuerta	2"	Cierra salida de agua de retorno de 29-D30-CA1 hacia tubo Φ6".	29-D30-CA1		Abierta	Roscado	Bueno	
4-71	Servicios Generales	Pila 1 horno 461	Válvula de retención	3"	Evita el flujo inverso hacia manifold Φ6" en exterior de galera de compresores Atlas de líneas 1 y 2.	(4-52, 4-57, 4-62)			Roscado	Bueno	Fuera de servicio.

No. de TAG	Área de la planta	Ubicación	Accesorio	Tamaño	Función	Anterior	Siguiente	Posición normal	Acople	Estado externo	Observaciones
4-81	Clinker	Pila 3 horno 461	Válvula de compuerta	¾"	Cierra salida de agua de retorno de chumacera de pila.	CHUMACERA 4		Abierta	Roscado	Bueno	
4-82	Clinker	Pila 3 horno 461	Válvula de compuerta	¾"	Cierra salida de agua de retorno de chumacera de pila.	CHUMACERA 3		Abierta	Roscado	Bueno	
4-91	Clinker	Pila 2 horno 462	Válvula de compuerta	1¼"	Cierra salida de agua de retorno de chumacera de pila.	CHUMACERA 1		Abierta	Roscado	Bueno	
4-92	Clinker	Pila 2 horno 462	Válvula de compuerta	1¼"	Cierra salida de agua de retorno de chumacera de pila.	CHUMACERA 2		Abierta	Roscado	Bueno	
4-101	Harina cruda	Cuarto de 21-323-EL2	Válvula térmica	2½"	Cierra salida de agua de retorno de 21-323-EL2.	21-323-EL2	(4-102)		Brida 4	Bueno	
4-102	Harina cruda	Cuarto de 21-323-EL2	Válvula de mariposa	2½"	Cierra salida de agua de retorno de 21-323-EL2.	(4-101)		Abierta	Ranurado	Bueno	
4-111	Clinker	Pila 1 horno 463	Válvula de compuerta	1¼"	Cierra salida de agua de retorno de chumacera de pila.	CHUMACERA 4		Abierta	Roscado	Bueno	
4-112	Clinker	Pila 1 horno 463	Válvula de compuerta	1¼"	Cierra salida de agua de retorno de chumacera de pila.	CHUMACERA 3		Abierta	Roscado	Bueno	
4-121	Clinker	Nivel 2 cuarto de blowers de molinos de carbón	Válvula de bola	1½"	Cierra salida de agua de retorno de enfriador de aire.	ENF. DE AIRE DE BLOWERS 2		Abierta	Roscado	Bueno	
4-122	Clinker	Molino de carbón L43	Válvula de bola	1½"	Cierra salida de agua de retorno de enfriador de aceite de molino L43.	21-L43-EL1		Abierta	Roscado	Bueno	
4-131	Cemento	Nivel 4 edificio tolva de descarga de clinker molino 564.	Válvula de globo	¾"	Cierra salida de agua de retorno de 21-564-EL3.	21-564-EL3		Abierta	Roscado	Bueno	
4-132	Cemento	Cuarto de 21-564-SH1, 21-564-EL4 y 21-564-U1	Válvula térmica	2½"	Cierra salida de agua de retorno de enfriador de aceite de 21-564-EL4.	21-564-EL4			Brida 4	Bueno	
4-141	Servicios Generales	Cuarto de bombas de retorno	Válvula de compuerta	6"	Cierra entrada a 29-M10-BA4.	(4-135, 4-147)	29-M10-BA4	Abierta	Brida 8	Bueno	
4-142	Servicios Generales	Cuarto de bombas de retorno	Válvula de retención	4"	Evita el flujo inverso en salida de 29-M10-BA4.	29-M10-BA4	(4-143)		Brida 8	Bueno	
4-151	Servicios Generales	Cuarto de bombas de retorno	Válvula de compuerta	4"	Permite la conexión de una bomba de agua de retorno.		(4-6, 4-18, 4-153, 4-154)	Cerrada	Brida 8	Bueno	

Tabla XIII. (continuación)

PLANOS DE SECCIONES DE LOS ARREGLOS GENERALES DE LOS SISTEMAS DE AGUA

En esta segunda y última parte del apéndice, se presentan seis planos (figuras de la 8 a la 13), los cuales se refieren a secciones distintas de planta San Miguel. Dichos planos consisten en: dos correspondientes a cada una de las tres redes de tubería que conforman a los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso, es decir, Agua de Enfriamiento, Agua de Retorno y Agua de Río.

Figura 11. Red de agua de retorno, cuarto de bombas de retorno

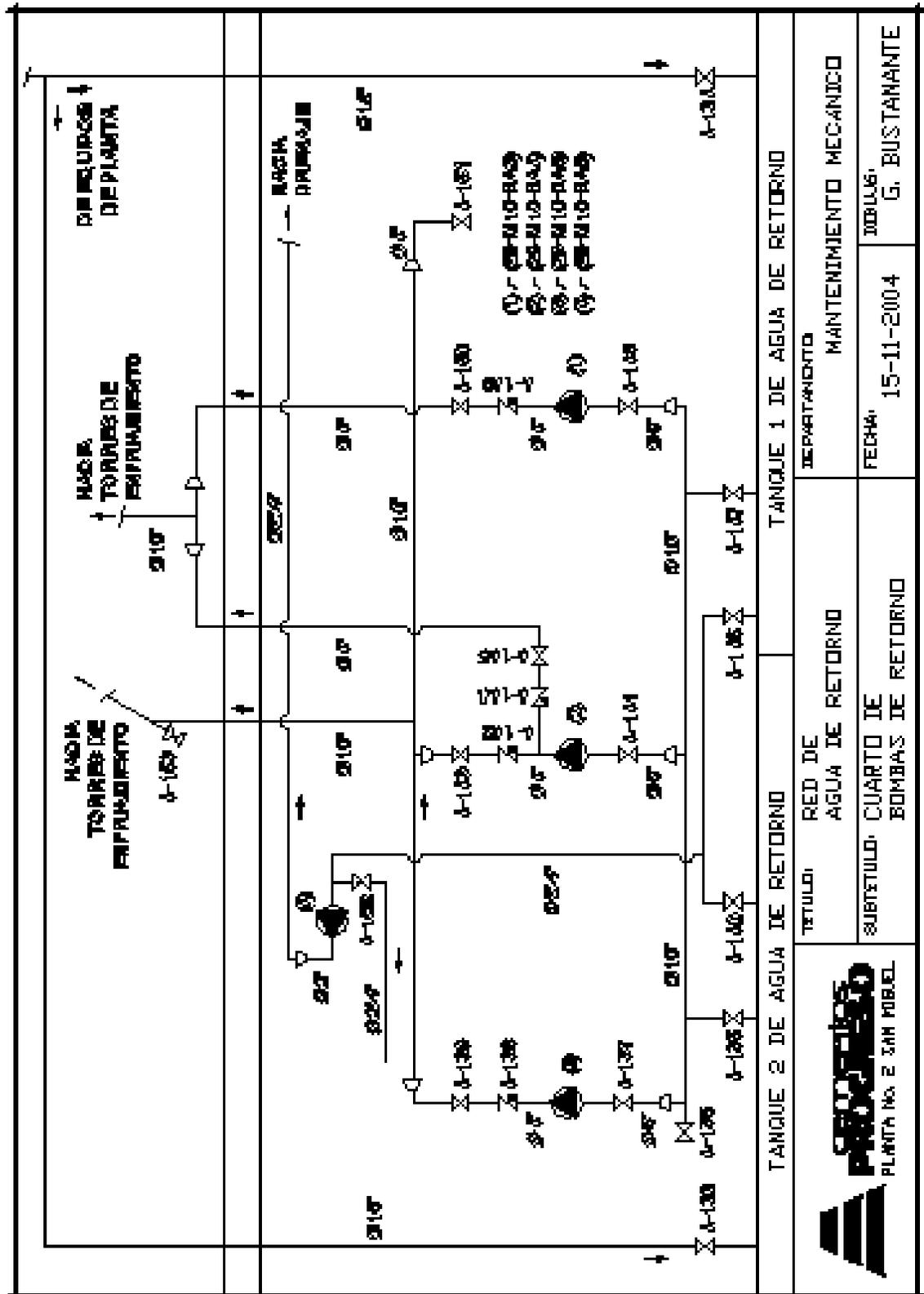


Figura 12. Red de agua de río, torre de ciclones 1

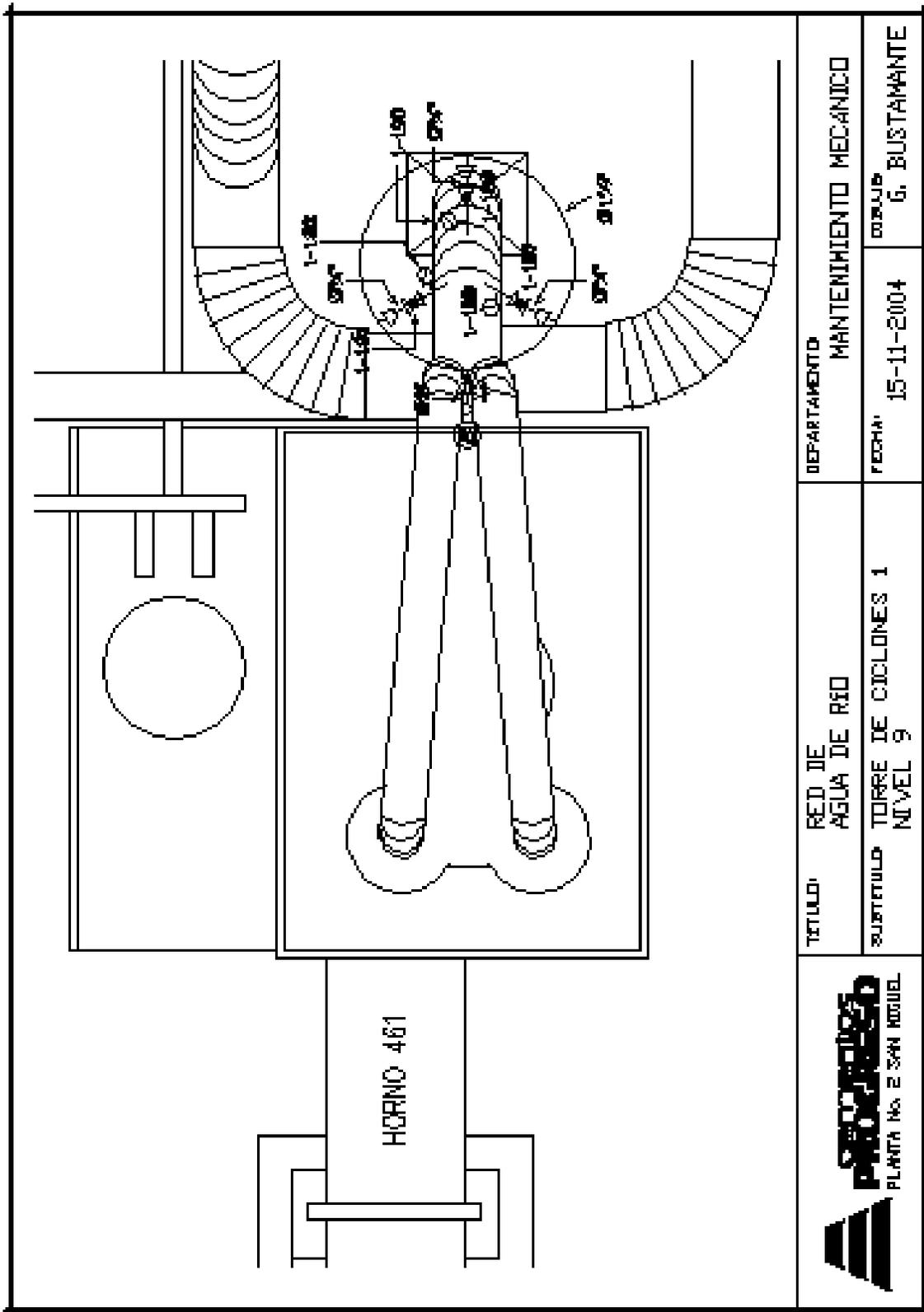


Figura 13. Red de agua de río, hidratadora de cal

