

**UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN**

**ESCUELA PROFESIONAL DE  
INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**



**“PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORA DE  
DISPONIBILIDAD EN SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE PRENSAS DE  
RODILLO EN UNA PLANTA CEMENTERA UBICADA EN LIMA”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Para optar el Título Profesional de

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**

**BISSO MOLINA, ELIDA RUBI**

**Villa El Salvador**

**2020**

## **DEDICATORIA**

A mi abuela que en paz descansa, Olga Moquillaza García, por su confianza hacia mi persona.

A mi madre, Olga Molina Moquillaza, por ser apoyo y fortaleza en todo momento.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco al ingeniero Anwar Yarín, quien fue mi asesor en esta oportunidad y me brindó su apoyo para realizar este trabajo de suficiencia profesional.

Agradezco a los revisores, por sus sugerencias y recomendaciones para realizar este trabajo de suficiencia profesional.

Agradezco a los catedráticos y profesionales que me brindaron su apoyo y compartieron sus conocimientos a lo largo de mi formación profesional

## INDICE

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO.....	III
RESUMEN .....	VIII
INTRODUCCIÓN .....	IX
OBJETIVOS .....	1
a. OBJETIVO GENERAL .....	1
b. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.....	2
1.1 Bases Teóricas:.....	2
1.1.1 Marco Teórico General .....	2
1.1.2 Marco Teórico Específico.....	18
1.2 Definición de términos básicos .....	23
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA DE DESARROLLO DEL TRABAJO PROFESIONAL.....	25
2.1 Delimitación temporal y espacial del trabajo.....	25
2.2 Determinación y análisis del problema .....	25
2.2.1 Organigrama de la empresa .....	25
2.2.2 Proceso productivo .....	26
2.2.3 Funcionamiento de sistema de enfriamiento.....	28
2.2.4 Plan de mantenimiento preventivo existente.....	31
2.2.5 Identificación y análisis de baja disponibilidad de sistema de enfriamiento de ejes de rodillo .....	38
2.3 Modelo de solución propuesto.....	42
2.3.1 Lista de componentes.....	42
2.3.2 Hoja de información de modo de falla.....	45

2.3.3 Modelo de plan de mantenimiento propuesto .....	52
2.3.4 Indicadores de mantenimiento .....	57
2.4 Resultados.....	58
CONCLUSIONES.....	59
RECOMENDACIONES .....	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	61
ANEXOS .....	63
Anexo I. Proceso productivo.....	63
Anexo II. Plano de eje de prensa de rodillo .....	64
Anexo III. Sistema de enfriamiento de rodamiento de eje de prensa de rodillo....	65
Anexo IV. Sistema de enfriamiento de eje de prensa de rodillo .....	66
Anexo V. Diferentes vistas del sistema de enfriamiento de ejes de rodillo.....	67
Anexo VI. Rajadura en eje de rodillo .....	69
Anexo VII. Modelo propuesto de orden de trabajo .....	70

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Análisis del objetivo de mantenimiento .....	3
Figura 2. Evolución histórica del mantenimiento .....	5
Figura 3. Pilares del mantenimiento .....	5
Figura 4. Funcionamiento activo a pesar de su deterioro.....	8
Figura 5. Límites superiores e inferiores .....	8
Figura 6. Descripción de fallas funcionales .....	9
Figura 7. Modos de falla de una bomba .....	10
Figura 8. Funcionamiento deseado .....	11
Figura 9. Modo de falla con diferentes niveles de detalle.....	12
Figura 10. Diagrama de Pareto de ocurrencia de fallas .....	18
Figura 11. Organigrama de la empresa cementera.....	25
Figura 12. Edificios de prensas de rodillo.....	26
Figura 13. Eje de prensa de rodillo.....	28
Figura 14. Módulo de sistema de enfriamiento.....	29
Figura 15. Codo giratorio.....	30
Figura 16. Diagrama de Pareto de sistemas de prensa de rodillo.....	38
Figura 17. Diagrama de Pareto de fallas mecánicas de sistema de enfriamiento de prensas de rodillo .....	40

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro de actividades de mantenimiento preventivo en overhaul aplicado a sistema de enfriamiento de prensa de rodillo de Clinker .....	31
Tabla 2. Cuadro de actividades de mantenimiento preventivo a eje de rodillo en overhaul .....	36
Tabla 3. Datos de análisis de Pareto de sistemas de prensas de rodillo .....	38
Tabla 4. Datos de análisis de Pareto de fallas mecánicas .....	39
Tabla 5. Control de tiempos y fallas de sistema de enfriamiento de ejes .....	40
Tabla 6. Listado de componentes de sistema de enfriamiento de ejes de prensa de rodillo.....	42
Tabla 7. Hoja de información de modo de falla .....	46
Tabla 8. Modos de falla con diferentes niveles de detalle .....	51
Tabla 9. Plan de mantenimiento preventivo propuesto de sistema de enfriamiento .....	52
Tabla 10. Control de horas y fallas de sistema de enfriamiento .....	57
Tabla 11. Resultados del plan de mantenimiento preventivo de sistema de enfriamiento.....	58
Tabla 12. Resultados de indicadores de mantenimiento del plan de mantenimiento preventivo de sistema de enfriamiento .....	58

## **RESUMEN**

El presente trabajo de suficiencia profesional plantea un plan de mantenimiento preventivo para el sistema de enfriamiento de las prensas de rodillo de Clinker en una industria cementera ubicada en Lima, cuyo objetivo es obtener un aumento de disponibilidad.

El planteamiento del mantenimiento preventivo determina el rol de actividades que deberán ser aplicados al sistema de enfriamiento de eje de prensas de rodillo, que a su vez también se encarga del enfriamiento del rodamiento, chumaceras y chaquetas correspondientes a la prensa.

El presente informe consistió en la designación de un plan de mantenimiento para el eje de la prensa de rodillo de una empresa cementera, este plan fue elaborado a través el análisis de modo de falla mecánicas y cálculos de los indicadores de mantenimiento. Como también en base a la experiencia de los operarios y supervisores del área de molienda terciaria de la empresa cementera.

La elaboración del plan de mantenimiento preventivo requirió de análisis y cálculos con el objetivo de obtener una mejora de disponibilidad, para ello se tuvo como herramienta el software Excel.

Palabras clave: mantenimiento, disponibilidad, modo de falla.



## INTRODUCCIÓN

En diciembre del año pasado se tuvo un aumento de 4.7% del consumo nacional de cemento en nuestro país, y en principio de este año se tuvo un incremento del 3.99%. Estos valores expresados refieren una alta demanda para la industria cementera.

En una planta las paradas por mantenimiento representan más del 10% del tiempo establecido de operación, este porcentaje expresado puede disminuir hasta un 5% mediante la aplicación de un efectivo plan de mantenimiento preventivo. Lo que significa un aumento de producción, disminución de costos de mantenimiento y disminución de paradas no planificadas.

La elaboración de este trabajo de suficiencia tiene como objeto de estudio el sistema de enfriamiento de eje de prensas de rodillo cuyo objetivo es una mejora de disponibilidad de dicho sistema, especialmente en las prensas de Clinker. Ya que presenta una mayor temperatura de la materia prima en su proceso de producción.

Debido a ello se plantea un plan de mantenimiento preventivo para el sistema de enfriamiento de eje de prensas de rodillo, ya que en la empresa cementera donde se realiza el análisis carece de un plan de mantenimiento preventivo generando mantenimientos correctivos y aumentos de costos de mantenimiento.

## **OBJETIVOS**

### **a. OBJETIVO GENERAL**

Realizar un plan de mantenimiento preventivo para mejora de disponibilidad de sistema de enfriamiento de prensas de rodillo de Clinker de una industria cementera ubicada en Lima.

### **b. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

1. Identificar las fallas que provocan los tiempos perdidos por paradas en producción.
2. Gestionar información complementaria basada en la experiencia de los supervisores del área y técnicos de mantenimiento para obtener un mejor plan de mantenimiento preventivo basado en el modo de fallas.
3. Calcular los indicadores de mantenimiento para una mejora de disponibilidad.

## **CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO**

### **1.1 Bases Teóricas:**

#### **1.1.1 Marco Teórico General**

##### **1.1.1.1 Análisis y diagnósticos.**

José Rodríguez (2003) plantea que un correcto análisis y diagnóstico consiste en contar con un grupo de trabajo perteneciente a la empresa encargado de analizar los diversos aspectos relacionados a la gestión de mantenimiento y las áreas que trabajan relacionadas directamente, ya sea instruidos por personal externo o propio de la empresa. (p.10)

##### **1.1.1.2 Planificación y control**

Según Duffuaa Raouff (2010) afirma que “al planificar la capacidad de mantenimiento a largo plazo, se deben establecer los recursos de mantenimiento para satisfacer la carga de mantenimiento requeridos con la finalidad de alcanzar los objetivos de la organización. Tales como disponibilidad, confiabilidad, tasas de calidad y fechas de entrega”. (p.147)

Al realizar la planificación y control se pretende disponer o predecir una falla, presenta una configuración de costos inversos, con una tasa inversa de 20% anual y propenso a estabilidad, que pueden figurar en su totalidad, un ahorro de tres a cinco veces más de su totalidad obteniendo más de la mitad de este ahorro debido a la facturación nula, estimando el Costo Total de una parada de equipo, como el monto total del Costo del Mantenimiento, que incluye los costos de mano de obra, repuestos, materiales, combustibles y lubricantes, y el Costo de Disponibilidad que comprende el costo de Pérdida de Producción (horas no trabajadas), a causa de una inadecuada calidad del trabajo; deficiencia de equipos; costos por requerimientos de emergencias; costos adicionales para reestructurar la producción; costo por repuestos de emergencia; penalidades comerciales y representación de la compañía. Los

estudios del Costo de Indisponibilidad abarcan más del 50% del Costo Global de la parada. (Lourival Tavares, 2000, pp 7 -8).

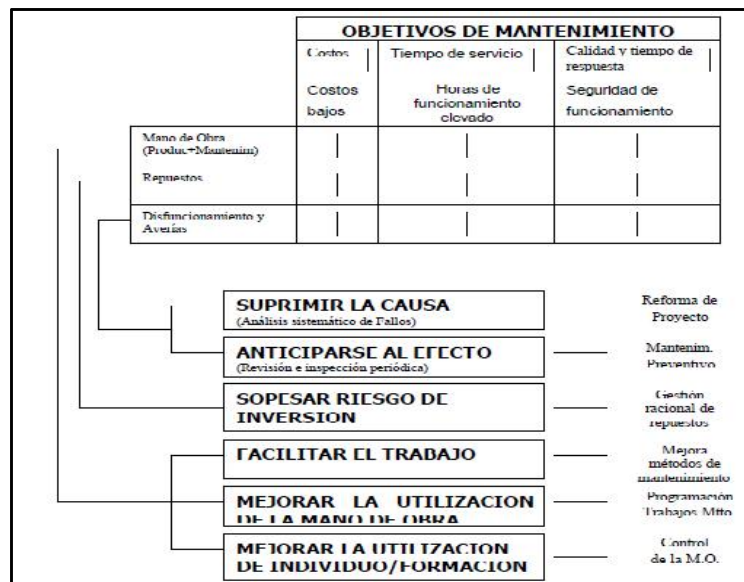
### 1.1.1.3 Mantenimiento

Antonio Ros Moreno (2010) define al mantenimiento industrial de la siguiente manera: “el conjunto de técnicas destinadas a mantener equipos e instalaciones en operación durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con mayor rendimiento”. (p.8). José Rodríguez (2003) analiza el objetivo del mantenimiento de la siguiente manera:

Para examinar la finalidad veremos cómo cambian sus elementos en función de las variables principales comprometidas en el rendimiento del mantenimiento y que son:

- ) Número de disfuncionamiento (confiabilidad y disponibilidad).
- ) Costo de las piezas de repuesto e inmovilizados.
- ) Costo de la mano de obra

**Figura 1. Análisis del objetivo de mantenimiento**



Fuente: Rodríguez J. (2003). Gestión de mantenimiento asistido por computadora

En la figura 1 se observa la finalidad del objetivo del mantenimiento respecto a los costos generados y calidad de servicio.

#### **1.1.1.4 Evolución histórica del mantenimiento**

Luis Mora (2009, pp 6 -11) describe la evolución del mantenimiento a través de los hechos en la ingeniería mecánica ya que dichos hechos repercuten en el mantenimiento industrial. Partiendo desde la edad media con la publicación de los 21 libros sobre los ingenios y las máquinas, luego con la revolución industrial en Inglaterra se consolida los anteriores conocimientos teniendo como secuencia un desarrollo de nuevos mecanismos como la máquina de vapor y el crecimiento de la industria textil, con autores tales como Juanelo, Lobato, etc., que aportan en gran medida las bases tecnológicas para el avance en la ingeniería mecánica y gracias a estos acontecimientos en el siglo XIX se logra obtener la independización de la ingeniería mecánica de otras áreas de la ingeniería. Continuando con las grandes invenciones tales como el motor de combustión interna y los desarrollos tales como la aviación y la era espacial, se tienen desarrollos exponenciales en la ciencia tales como la metalurgia, nanotecnología, automatización y sistemas complejos, lo cual compromete a sus operarios a controlar un juicioso y determinado conocimiento para mantener la correcta funcionalidad y disponibilidad al disminuir el tiempo de parada por fallas de mecanismos y máquinas de producción.

**Figura 2. Evolución histórica del mantenimiento**

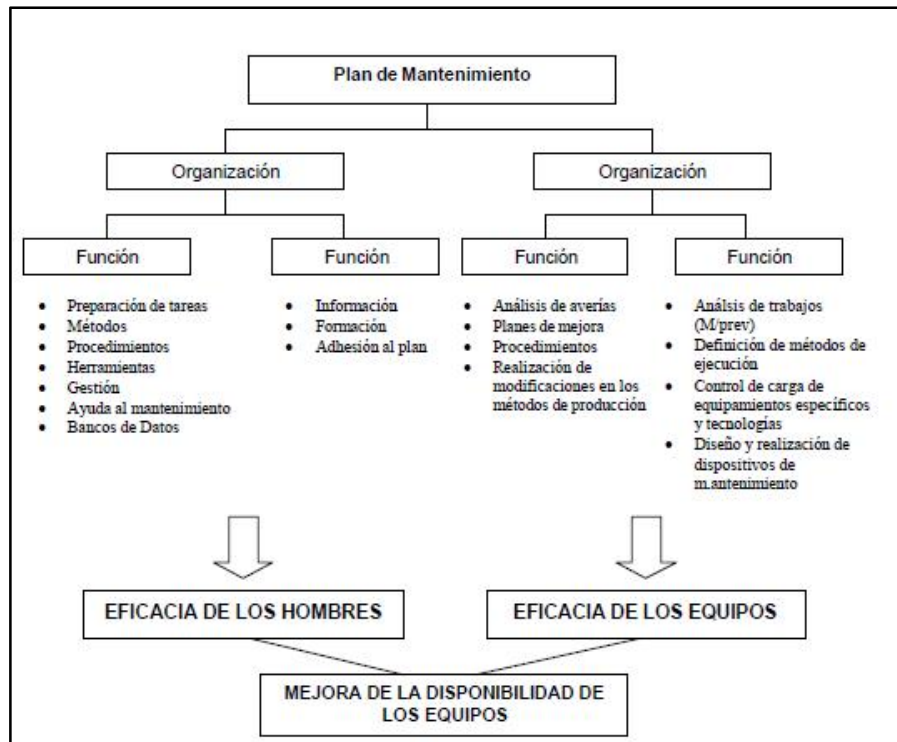
Etapa	Sucede aproximadamente	Producción - Manufactura		Mantenimiento e ingeniería de fábricas	
		Orientación hacia...	Necesidad específica	Orientación hacia...	Objetivo que pretende
I	antes de 1950	el producto	generar el producto	hacer acciones correctivas	reparar fallos imprevistos
II	entre 1950 y 1959	la producción	estructurar un sistema productivo	aplicar acciones planeadas	prevenir, predecir y reparar fallos
III	entre 1960 y 1980	la productividad	optimizar la producción	establecer tácticas de mantenimiento	gestar y operar bajo un sistema organizado
IV	entre 1981 y 1995	la competitividad	mejorar índices mundiales	implementar una estrategia	medir costos, CMD, compararse, predecir índices, etc.
V	entre 1996 y 2003	la innovación tecnológica			
VI	desde 2004	Gestión y operación integral de activos en forma coordinada entre ambas dependencias anticiparse a las necesidades de los equipos y de los clientes de mantenimientos - Predicciones - Pronósticos - Gestión de activos			

Fuente: Mora L. (2009) Mantenimiento, planeación y ejecución

### 1.1.1.5 Pilares fundamentales del mantenimiento

Según el cuadro expresado en la figura 3 explica la organización óptima de un plan de mantenimiento según sus funciones

**Figura 3. Pilares del mantenimiento**



Fuente: Rodríguez J. (2007) Gestión de mantenimiento asistido por computadora

#### **1.1.1.6 Mantenimiento preventivo**

Es aquel “conjunto de acciones que se adelantan ante la posibilidad de un problema, avería o falla, que pueden ser anticipadas en el tiempo y espacio, de modo que fortalecen puntos consecuentes de falla, localizando debilidades, cambiando repuestos antiguos o desgastados”. (Integra Markets, 2018, p.6)

Duffuaa Raouff (2010) sostiene: “El mantenimiento preventivo se lleva a cabo para mantener la disponibilidad y confiabilidad del equipo” (p.76)

#### **1.1.1.7 Mantenimiento correctivo**

Este tipo de mantenimiento es “correspondiente al conjunto de actividades dirigidas a corregir defectos y solucionar fallas, en este tipo se espera a que suceda el problema para brindar la solución requerida”. (Integra Markets, 2018, p.6)

#### **1.1.1.8 Mantenimiento predictivo**

Es aquel que recopila y analiza información que permita determinar el momento y lugar requerido para realizar las labores de mantenimiento preventivo, notificando permanentemente el estado en que se encuentra el equipamiento de planta, lo cual cuenta con instrumentos complementarios para adquirir dicha información, sin embargo, reduce costos de mantenimiento al realizar un uso eficiente de los recursos. (Integra Markets, 2018, p.6)

#### **1.1.1.9 Filosofías del mantenimiento**

Tokutaro Suzuki (1995), define el TPM fue definido por Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM) donde incluye cinco estrategias:

1. Optimizar la eficacia global que asegure la vida entera del equipo.

2. Fijar un sistema PM global que asegure la vida entera del equipo.
3. Implicar a todas las áreas para programar, emplear y preservar equipos.
4. Implicar a todo el personal desde el más alto mando hasta los operarios directos.
5. Fomentar el mantenimiento planificado motivando a todo el personal, fomentando las labores de los pequeños grupos independientes. (p.6)

#### **1.1.1.10 Filosofías del mantenimiento**

##### **1.1.1.10.1 Falla funcional**

John Moubray (2004) sostiene que una falla funcional se define como la incapacidad de cualquier activo físico de realizar una función establecida por un parámetro de funcionamiento adecuado para el usuario. Es decir, abarca una pérdida total de funcionamiento. La cual tiene diferentes aspectos tales como:

- ) Falla total y parcial: de modo que una pérdida parcial de función usualmente proviene de modos de falla diferentes que provocan una pérdida total, y las consecuencias también son diferentes. Por esta razón deben notificarse todas las fallas funcionales vinculadas a cada función. (pp. 51, 52)

En la siguiente figura se muestra una variación de la capacidad de funcionamiento de un activo físico respecto a sus condiciones iniciales y el margen de deterioro durante su funcionamiento.



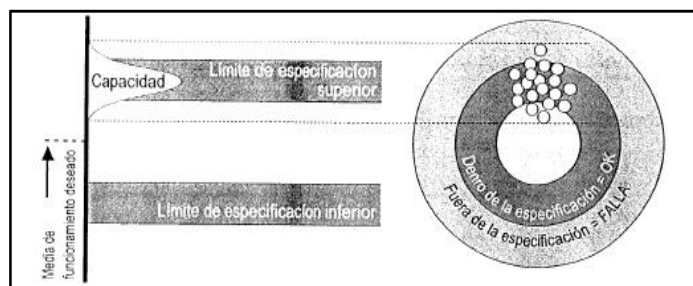
**Figura 4. Funcionamiento activo a pesar de su deterioro**



Fuente: Moubray J. (2004) Mantenimiento centrado en confiabilidad

- ) Límites superiores e inferiores: estos límites explican sobre un activo físico que presenta una falla si su producción se encuentra por encima o debajo de los límites establecidos, esto se debe a que los modos de fallas vinculados por superar el límite superior son diferentes a las fallas vinculadas por no alcanzar el límite inferior. (p.52)

**Figura 5. Límites superiores e inferiores**



Fuente: Moubray J. (2004) Mantenimiento centrado en confiabilidad

- ) Instrumentos de medición e indicadores: los límites también se aplican a los estándares de medición establecidos.
- ) Contexto operacional: esto significa que no se debe pluralizar las funciones de activos semejantes, de modo que no se debe generalizar en sus fallas funcionales. (p.53)

### 1.1.1.10.2 Registro de falla funcional

John Moubray (2004) expone lo siguiente: “el registro de fallas funcionales se describe en la segunda columna y son codificadas alfabéticamente” (p. 55).

En la figura se expresa la descripción de una hoja de trabajo tomando como ejemplo una turbina de 5MW:

**Figura 6. Descripción de fallas funcionales**

<b>RCMH</b> <b>HOJA DE TRABAJO</b> <b>DE INFORMACIÓN</b> <b>© 1998 ALADON LTD</b>		<b>SISTEMA</b> <i>Turbina de 5 MW</i>	
		<b>SUB-SISTEMA</b> <i>Sistema de escape</i>	
	<b>FUNCION</b>		<b>FALLA FUNCIONAL</b>
1	Dar salida sin restricción a todos los gases de escape calientes de la turbina hasta un punto fijo situado a 10 metros por encima del techo de la sala de turbinas.	A B C D	Totalmente incapaz de conducir el gas Flujo de gas restringido Incapaz de contener los gases No puede transportar los gases a un punto situado a 10 m encima del techo
2	Reducir los niveles de ruido del escape a un nivel ISO 30, a 150 metros	A	El nivel de ruido excede del nivel ISO 30 a 150 metros
3	Asegurar que la temperatura superficial de los conductos dentro de la sala de turbinas no exceda los 60°C	A	La temperatura superficial del conducto es mayor a 60°C
4	Transmitir una señal de alarma al sistema de control de la turbina si la temperatura de los gases del escape excede los 475°C y una señal para detener el equipo si excede los 500°C a cuatro metros de la turbina.	A B	Incapaz de transmitir la señal si la temperatura de escape es mayor a los 475°C Incapaz de transmitir una señal de apagado si la temperatura excede los 500°C
5	Permitir el libre movimiento de los conductos en respuesta a los cambios de temperatura.	A	No permite el libre movimiento de los conductos

Fuente: Moubray J. (2004) Mantenimiento centrado en confiabilidad

### 1.1.1.10.3 Modo de falla

John Moubray (2004) establece: “un modo de falla es cualquier suceso que ocasiona una falla funcional”. (p. 56).

En la figura 7 se muestra una hoja de información tomando como ejemplo el sistema de bomba de agua de un sistema de refrigeración.

**Figura 7. Modos de falla de una bomba**

<b>RCM II</b> <b>HOJA DE</b> <b>INFORMACIÓN</b> © 1998 ALADON LTD		<b>SISTEMA</b> <i>Sistema de Bombeo de Agua de Refrigeración</i>			
		<b>SUB-SISTEMA</b>			
<b>FUNCIÓN</b>		<b>FALLA FUNCIONAL (Pérdida de Función)</b>		<b>MODO DE FALLA (Causa de la Falla)</b>	
1	Transferir agua desde el Tanque X al tanque Y a no menos de 800 litros por minuto	A	Incapaz de transferir agua	1	Cojinetes agarrados
				2	Impulsor loco, suelto
				3	Impulsor trabado por un cuerpo extraño
				4	El cubo de acople falla por fatiga
				5	Motor quemado
				6	Válvula de ingreso trabada en posición cerrada
				7	...etc.
		B	Transfiere menos de 800 litros por minuto	1	Impulsor gastado
				2	Línea de succión parcialmente bloqueada
				3	...etc.

Fuente: Moubray J. (2004) Mantenimiento centrado en confiabilidad

Un modo de falla no debe pasarse por alto ya que el mantenimiento es controlado al nivel de modo de falla, al identificar el modo de falla se pretende estimar qué sucede y cuando ocurre. De modo que se puede estudiar las consecuencias y tomar decisiones para programar, prever, encontrar, modificar, e inclusive replantear. (p.58)

Mantenimiento significa asegurar que los activos fijos se mantengan en función según las necesidades del usuario, de modo que al poner en servicio al activo físico y su capacidad de funcionamiento se encuentra por debajo de los establecido se tiene cinco causas principales de pérdida de capacidad:

- ) Deterioro
- ) Fallas de lubricación
- ) Falta de limpieza
- ) Despiece
- ) Desatino humano que merman la capacidad (p. 61)

En la figura 8 se muestra el comportamiento del funcionamiento de un activo físico ante un modo de falla y como su capacidad de funcionamiento se encuentra por debajo del funcionamiento deseado.

**Figura 8. Funcionamiento deseado**



Fuente: Moubray J. (2004) Mantenimiento centrado en confiabilidad

#### **1.1.1.10.4 Falta de limpieza**

El polvo o suciedad es una causa de falla muy común en las máquinas provocando que se traben u obstruyan, también es la causa principal de fallas de las funciones relacionadas con la apariencia de los activos (cosas que deberían estar limpias están sucias). Por lo tanto, las fallas ocasionadas por polvo o suciedad deben estar registradas en el AMFE. (pp. 63,64)

Se refiere a errores cometidos por el personal que merma la capacidad de funcionamiento normal hasta quedar incapaz de realizar su proceso normalmente. “Los modos de falla deben definirse con los detalles requeridos para realizar la selección de una disciplina adecuada para el manejo de una falla”. (p.68)

#### **1.1.1.10.5 Causalidad**

Las causas de cualquier falla funcional pueden definirse en cualquier nivel de detalle, es decir se puede emplear en diferentes niveles en circunstancias distintas. Los niveles definidos y los modos de falla asignados a cada nivel son sólo un ejemplo. No tienen que ver con una clasificación universal. (pp. 69,72)

### 1.1.1.10.6 Probabilidad

Al realizar un AMFE, se debe considerar y tener prioridad sobre qué modo de falla son poco probables de ocurrir y no son considerados. Es decir, se trata de considerar todas las fallas posibles sin importar la probabilidad de su acontecimiento. (p.73)

### 1.1.1.10.7 Consecuencias

“Si las son realmente severas, se debe registrar las fallas que son menos probables de manera que se someten a análisis”. (p.75)

En la figura 9 se observa un ejemplo de ocurrencia de falla y los niveles de detalle según la severidad del modo de falla suscitado, tomando como ejemplo en un sub sistema conformado por un grupo de bombas

**Figura 9. Modo de falla con diferentes niveles de detalle**

NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4	NIVEL 5
Falla el grupo de bombas	Falla el eje de comando	Eje cortado	Corte por fatiga	Concentración de tensiones en el acoplamiento de eje
		Chaveta del eje cortada	Aceite de la chaveta incorrectamente especificado	Aceite defectuoso suministrado
			Aceite de la chaveta incorrectamente suministrado	Error de diseño
Válvula cerrada	Válvula trabada en posición cerrada	Chaveta demasiado corta	Manillar canalizado	Error de producción
		Falla el manillar de la válvula	Manillar canalizado	Error de ensamble
		Vástago de válvula trabado	Vástago trabado por corrosión	
Falla de electricidad	Falla el conmutador	La válvula se dejó cerrada	Manillar canalizado	Ver Apéndice 3
		Contactor falla en la posición abierta	Contactor quemado	Contactos gastados
			Bobinado del contactor quemado	Resortes del contactor falla por fatiga
Detención espunta	Falla el cable eléctrico	Control de sobrecarga calibrado demasiado bajo	Resortes del contactor falla por fatiga	Contactos con suciedad
		Falla espunta del fusible	Apagado accidentalmente	Error de ensamble
			Falla el aislamiento del cable	Se desplaza el calibrado de sobrecarga
Falla del suministro de energía	Falla la conexión	Cable dañado	Defecto de manufactura del aislamiento	Instalación de un fusible incorrecto
			Cable dañado por impacto	Instalación de un fusible defectuoso
			Cable desgastado por abrasión	
			Conexión floja	
			Conexión como sea	

Fuente: Moubray J. (2004) Mantenimiento centrado en confiabilidad

#### **1.1.1.10.8 Etapas del Análisis de modo y efecto de fallas**

Según el Manual del Ingeniero de Mantenimiento (2001) se deben de seguir los siguientes pasos:

1. Determinar los límites del análisis: se debe identificar adecuadamente la profundidad de nuestra investigación de manera que se tiene la causa principal, la cual va a depender si es un informe inicial o final. Asimismo, se debe considerar la probabilidad de sus efectos, las posibilidades de detección, amparo, continuidad y criticidad de los efectos. (pp 26,27)
2. Obtener la información requerida: abarcan las fuentes escritas, planos y diseños obtenidos, análisis y resultados de experimentos. También puede utilizarse predicciones de confiabilidad. (p.27)
3. Realizar lista de componentes: se debe determinar las funciones y circunstancias operacionales, especificando magnitudes operacionales de cada componente para detectar los modos de falla. Un AMEF puede enfocarse en distintos puntos de vista, tales como disponibilidad, seguridad, criticidad, descubrimiento de efectos, inversiones de detección de efectos, etc.
4. Completar fichas: para tener un correcto AMEF es necesario obedecer pautas establecidas, desde las más básicas hasta las más complejas. Tales como indicar correctamente la definición de un componente tal como aparece en los planos, indicar puntualmente las funciones de cada componente, evaluar todas las posibilidades de fallas de cada componente, analizar la continuidad de fallas (hallando TPEF) y finalmente estableciendo una escala de fallas las cuales están jerarquizadas según su intensidad de menor a mayor. (p.28)

#### **1.1.1.10.9 Efectos de falla**

John Moubray (2004) sostiene que: La descripción de un efecto de falla generalmente abarca entre 20 y 60 palabras, en la cual no debe prejuizarse la evaluación de las consecuencias de fallas al usar términos como “oculto” o “evidente” ya que esto forma parte del proceso de evaluación de las consecuencias de las fallas que al ser usadas de modo incorrecto puede repercute en la evaluación real de la falla. (p.78)

#### **1.1.1.11 Indicadores de calidad de servicio**

Duffuaa Raouff (2010) describe que “un sistema con un buen mantenimiento genera menos desperdicio que un sistema con poca o baja gestión de mantenimiento. En este sentido, un buen mantenimiento tiene un enlace directo con la calidad del servicio o producto”. (p 40)

##### **1.1.1.11.1 Disponibilidad**

Para Martínez (2007), se define como “la probabilidad de que un equipo entre en funcionamiento y se mantenga en operación durante un período de tiempo establecido”, se determina en base a la razón de servicio y se calcula en relación al tiempo promedio entre fallas y el tiempo fuera de servicio.

Los periodos de tiempos no abarcan las paradas programadas, ni paradas ejecutadas por producción, se consideran los tiempos vinculados con la falla de equipos. La disponibilidad presenta valores entre 0 y 1; mientras el resultado sea más cercano al 1 será óptimo; es decir, el valor de la disponibilidad mejora al mejorar la confiabilidad (aumentando el TPEF) u optimizando la mantenibilidad (disminuyendo el TPDR). (p.84)

Mora (2009) menciona que: La disponibilidad aumenta cuando se potencia la preservación de los insumos, los

procedimientos de obtención de elementos requeridos para el mantenimiento, el control de proveedores, y las entregas puntuales de materiales y tiempos de operación.

En conclusión, se mejora la disponibilidad, mediante la supresión de fallas, con la merma de los tiempos de reparación y mantenimientos no planificados, con el motivo de aumentar los tiempos entre mantenimientos planificados.

Con el objetivo de contar con un constante control de la máquina para que no acontezcan fallas que ya se controlan previamente a la ampliación de los períodos entre mantenimientos preventivos o predictivos. O al eliminar o disminuir los periodos exigidos para mantenimiento o producción. (p.67)

**) Tipo de Disponibilidad inherente o intrínseca:**

Según Mora (2009), es muy útil cuando se trata de controlar las actividades de mantenimientos no planeados (correctivos y/o modificativos). Sólo contempla su posible uso cuando los promedios de tiempos útiles son supremamente grandes frente a los DT y los tiempos de retraso o demora administrativos o físicos son mínimos o tienden a cero (al igual las otras tres disponibilidades que siguen: alcanzada, operacional y operacional generalizada). Sus parámetros son TPEF y TPDR. Sólo tiene en cuenta daños o fallas o pérdidas de funcionalidad, por razones propias del equipo y no exógenas a él. (pp. 71, 72)

Mora (2009) expresa la siguiente relación de disponibilidad

$$D_{po} = \frac{T_{cc}}{T_{máq} + \frac{e_q + e_d}{p} + \frac{y_f + o_b}{e_e}} \quad (p.77)$$

Es decir:



$$D = \frac{H_m - H_m - H_f}{H_m} = \frac{H_d}{H_m}$$

Donde:

- Hmes: Horas del mes, considerando 30 días calendario
- Hmantto: Horas de mantenimiento planificado y no planificado
- Hfalla: Horas de falla
- Hdisponible: Horas disponibles

Que al ser expresado en porcentaje debe de multiplicarse por 100% al resultado obtenido.

#### 1.1.1.11.2 Confiabilidad

Rodríguez (2008) define a la confiabilidad como la posibilidad de que un activo físico de producción realice su función óptima en condiciones establecidas durante un tiempo establecido. Se define también como fiabilidad.

La confiabilidad de un equipo o sistema, tiene un valor que depende de un efectivo mantenimiento y al diseño requerido que obedece a las determinaciones de producción. Entonces, al no realizar mantenimiento y no contar con un diseño no acorde a las exigencias de producción, éste poseerá un valor bajo en confiabilidad. Los parámetros que vinculan la confiabilidad son el tiempo promedio entre fallas (TPEF), la rata o tasa de fallas (Rf) o la probabilidad de supervivencia (Ps)

$$C = \frac{T}{T + T}$$

Donde:

- C= Confiabilidad
- TPEF= Tiempo promedio entre fallas
- TPDR= Tiempo promedio de reparación

Al expresarse el resultado en porcentaje debe de multiplicarse por 100% al resultado.

Se tiene la siguiente expresión para calcular el TPEF:

$$T = \frac{H}{C} \frac{t_e}{d f} \frac{s_i}{r_i}$$

Las horas de operación entre dos fallas simultáneas en un equipo, es una medida de confiabilidad de dicho equipo y mayor será la confiabilidad cuanto más bajo sea el valor de la rata de fallas y más alto sea el valor del tiempo promedio entre fallas. (p. 28-29)

### 1.1.1.11.3 Mantenibilidad

Rodríguez (2008) define a la confiabilidad como la posibilidad de que un activo físico de producción realice su función óptima en condiciones establecidas durante un tiempo establecido. Se define también como fiabilidad.

Los cálculos de la mantenibilidad se realizan en forma diferente y dependen de la disponibilidad que se use; los elementos que se deben estimar en cada caso son:

Mora (2009), indica los tiempos que se encuentran relacionados según los tipos de disponibilidad:

“Para disponibilidad genérica TPR.

Para disponibilidad inherente TPDR”. (p.113)

Este indicador se encuentra coordinado directamente con TPDR (tiempo promedio de reparación). Es decir, si disminuye el TPDR aumenta la disponibilidad. (p.30)

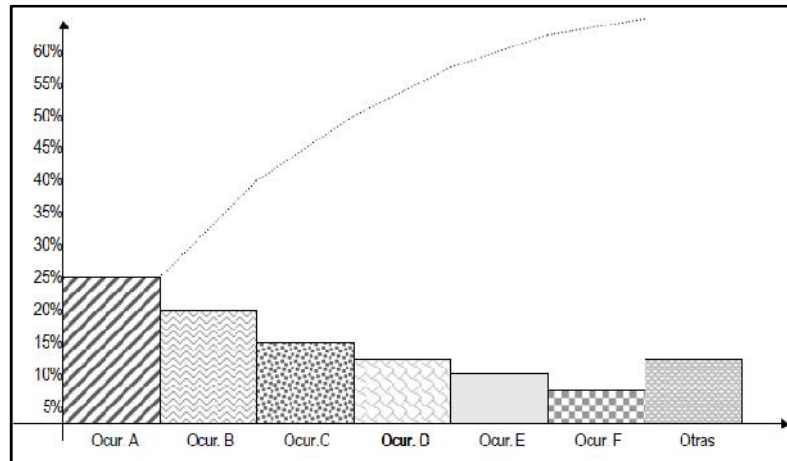
$$T = \frac{H}{C} \frac{d m}{d f} \frac{a c_i}{d f}$$

### 1.1.1.11.4 Diagrama de Pareto

Lourival Tavares (2000) sostiene que el diagrama de Pareto es una herramienta muy útil para analizar las fallas que presenta un equipo. Consiste en dividir la cantidad de fallas o las horas paradas en consecuencia de las fallas respecto a las fallas o las horas de fallas en todos los

equipos durante un periodo de tiempo que deberá estar parametrizado correctamente en meses o años según periodo de análisis. (p.61)

**Figura 10. Diagrama de Pareto de ocurrencia de fallas**



Fuente: Lourival T. (2000) Administración moderna de mantenimiento

En la figura 10 se muestra un diagrama de Pareto con los eventos de fallas respecto a su porcentaje de falla.

## 1.1.2 Marco Teórico Específico

### 1.1.2.1 Sistema de enfriamiento

Según el manual de mecánica automotriz Hino (2007): “El sistema de enfriamiento es de gran importancia para un motor de combustión interna ya que casi el 50% de las fallas están relacionadas con este sistema. Su objetivo es mantener una temperatura estable y homogénea de manera que protege los componentes de un sistema. (p.1)

En el caso de la prensa de rodillo debe mantener una temperatura promedio de 80°C en operación, dicha temperatura es obtenida por un sensor en la parte externa de la tapa ubicada al Lado Sur de cada rodillo, indicando temperatura del eje de rodillo de la prensa y el rodamiento. En total tiene la función de enfriar las chaquetas, cojinetes, rodamiento y eje de rodillo de la prensa.

Las partes del sistema de enfriamiento son:

- **Radiador:** “lugar donde se produce el enfriamiento o eliminación de calor del agua caliente del sistema”. (p.1)  
Dicho radiador está compuesto de un panel y un ventilador que enfría refrigerante luego de pasar por el intercambiador de calor.
- **Ventilador:** “extrae calor del radiador mediante aire forzado de sentido opuesto a posición del radiador (succión), acoplado a un motor eléctrico”. (p.2)  
En conjunto con el radiador se encarga de enfriar el refrigerante después de pasar por el intercambiador de calor.
- **Intercambiador de calor:** dispositivo encargado de transferir el calor de un fluido a otro mediante celdas de enfriamiento separadas.  
En el sistema de enfriamiento de las prensas se tienen 2 intercambiadores de calor los cuales tienen 2 secciones internas, en la sección interior circula el refrigerante mientras que en la sección exterior circula agua.
- **Filtros:** dispositivos encargados de retener agentes externos y contaminantes presentes en el fluido perteneciente al sistema de enfriamiento. En el sistema de enfriamiento se utilizan filtros de 270mm correspondientes a las prensas de Clinker.
- **Válvulas:** Mott y Untener (2015) definen a las válvulas como “dispositivos que funcionan en conjunto con accesorios según especificaciones del sistema de flujo de fluidos. Se utilizan para controlar la cantidad de flujo y pueden ser de diversos tipos y configuraciones”. (p. 238). Entre los tipos de válvulas usadas tenemos:
  - **Válvulas de globo:** Mott y Untener (2015) define a las válvulas de globo como “una válvula común que al girar la manija permite el desplazamiento del

sello. Se utiliza para estrangular el flujo de manera que se controla la cantidad de fluido suministrado". (p. 245)

- **Válvulas de diafragma:** VAM, UAB (2016) definen a las válvulas de diafragma como válvulas de vueltas múltiples que posee un sello flexible dependiente de un compresor, son altamente recomendadas para apertura o cierre total resistentes a posibles fugas por vástago, altamente resistentes a la corrosión, desgaste y evita formación de gomas en su interior a causa del fluido que pasa por su interior. (p. 29-30)

Dichas válvulas son utilizadas en el sistema de enfriamiento para regular el paso del fluido.

- **Rodamiento:** es un cojinete que elimina la fricción, disminuye desgaste y brinda apoyo entre un eje giratorio y su soporte. En este caso trabaja conjuntamente con el eje de la prensa de rodillo.
- **Chumacera:** componente metálico compuesto de una parte móvil y otra fija encargada del soporte de la rotación del eje de rodillo.
- **Bomba centrífuga:** VAM, UAB (2016) la define como un tipo de bomba hidráulica rotodinámica que transforma la energía mecánica en dinámica o de presión de un determinado fluido no compresible, en la cual el fluido ingresa por el rodete y a través de los álabes por efecto centrífugo es impulsado al exterior y es recibido por la carcasa de la bomba. Seguidamente fluido se dirige hacia las tuberías de salida. (p.37)

En el sistema de enfriamiento se tiene una bomba de 2HP que cumple la función de impulso y succión.

- **Tuberías:** SENATI (2009) sostiene que las tuberías y conexiones hidráulicas son muy importantes en un

sistema hidráulico, sirven de transporte para un fluido y afectan directamente a la eficiencia de un sistema hidráulico. Existen tres tipos de tuberías en un sistema hidráulico: tubos ordinarios, tubos especiales y mangueras. (p. 23)

- Tubería de PVC: Componente encargado de contener el paso del fluido refrigerante en medio del eje de prensa de rodillo, brindando enfriamiento al eje y al rodamiento de la prensa.
- Mangueras: SENATI (2009) “las mangueras tienen presentaciones de estilos y tamaños numerosos los cuales han sido clasificados en cuatro o cinco grupo según su adaptación a diferentes fluidos y su presión de trabajo”. (p. 30) En este caso se encuentra clasificado en el grupo 1, ya que trabaja a una presión de 6 bares.
- **Conexiones para tubos:** SENATI (2009) indica lo siguiente “las más comunes son las conexiones del tipo de rosca cónica, que luego de realizar compresión entre el tubo y la conexión se debe realizar dos giros o sellarse con una contratuerca o empaque circular”.  
En el sistema de enfriamiento se tiene un codo giratorio
- **Sensor de temperatura PT 100:** Según SRC (2016) define al sensor PT 100 como “un sensor de temperatura que al encontrarse el fluido a 0°C tiene una resistencia de 100Ohm, y a medida que aumenta la temperatura aumenta su resistencia. Los cuales entregan información altamente precisa” (p.1)
- **Brida:** VAM, UAB (2016) define a la brida como “un componente que cumple la función de unir accesorios, equipos o tuberías. Pueden ser de diversos materiales, pero debe considerarse que debe ser del mismo

material que la tubería o equipo al que va a adherirse”.  
(p. 7)

En el sistema de enfriamiento es de acero.

- **Refrigerante mobil minnig coolant:** Según el manual de productos Mobil, se define como un refrigerante y anticongelante con propiedades de alta protección con bajos niveles de silicatos, libre de fosfatos, bajo nivel de sólidos disueltos y no requiere adición de algún aditivo suplementario de refrigeración (ASR). No tiene efectos nocivos para mangueras, no se evapora, lubrica la bomba de agua y tiene propiedades anticorrosivas. (p. 1-2)
- **Manómetro:** Según SENATI (2009). “los manómetros son instrumentos utilizados para medir presiones de hasta 206.7kPa. los cuales varían según la presión a medir” (p.10)
- **Caudalímetro:** Instrumento utilizado para medir los galones por minuto (gal/min). En el sistema hidráulico trabaja con un caudal de 13 gal/min.

## 1.2 Definición de términos básicos

- 1. Presión:** Mott y Untener (2015) define la presión como “una magnitud escalar obtenida por el resultado de una fuerza aplicada sobre una determinada área que actúa de manera uniforme en todas las direcciones, en un sistema cerrado actúa de forma perpendicular a su frontera”. (p.8)  
En el sistema hidráulico la presión es de 6 bar.
- 2. Caudal:** SENATI (2009) el gasto o caudal es una magnitud escalar medido en galones por minuto (gal/min) o litros por minuto (l/min) y se calcula según el paso de fluido de un punto a otro durante un determinado periodo de tiempo. (p. 14)  
En el sistema hidráulico el caudal es de 10 gal/min.
- 3. Temperatura:** Mott y Untener (2015) definen a la temperatura como una magnitud perteneciente al sistema internacional (SI) el cual es expresado en grados Celsius (°). En el sistema de enfriamiento presenta una temperatura de 70°C durante operación.
- 4. Eje de prensa de rodillo:** componente correspondiente al sistema de prensado, en la cual trabajan conjuntamente dos ejes idénticos. Dichos ejes son huecos, donde ingresa el tubo de PVC para enfriamiento de los mismos.
- 5. Flujo y fluido:** Pedroza Gonzales (2018) definen a flujo y fluido como maneras formales y técnicas al paso de un líquido o gas. Un fluido es cualquier elemento que tenga la propiedad de “fluir”; es decir, que escurra, tal y como se presenta en los líquidos y los gases. En hidráulica se puede sustituir el término “fluido” por “agua”; pero el término “flujo” es más utilizado. En la mecánica de fluidos los gases y líquidos se agrupan en el mismo término fluido. (p.65)
- 6. Overhaul:** conocido como el mantenimiento “cero horas”, término utilizado referente al mantenimiento anual para un determinado sistema, en el cual interviene el mantenimiento preventivo y correctivo.
- 7. Parada de producción:** conocida como parada industrial cuando son planificadas tienen como objetivo realizar actividades de mantenimiento o incluir reformas que permitan ampliar la cantidad de producción. En caso no fueran planificadas significaría pérdidas para la empresa.



- 8. Inventario o lista de repuestos:** lista de componentes o bienes que forman parte de un equipo o sistema pertenecientes a una empresa o entidad.
- 9. Ficha técnica:** es una hoja de datos que contiene las características requeridas de un componente y explica su funcionamiento, el cual debe ser explícito para tener un conocimiento adecuado de cada componente.
- 10. Software SAP ERP:** es un software que sirve como herramienta de planificación de recursos empresariales. En la empresa cementera cuenta con SAP ERP en la toda la planta, la cual sirve de nexo entre las distintas áreas de la empresa tales como almacén, mantenimiento y producción, que facilitan las tareas de ingreso de equipos y componentes. Asimismo, se utiliza para solicitar pedidos de máquinas requeridos para paradas planificadas y no planificadas.
- 11. Código SAP:** codificación asignada a cada equipo o componente que conforma un sistema específico. Consta de diez dígitos, los cuales se encuentran separados por un guion después de los dos primeros dígitos.

## CAPÍTULO II: METODOLOGÍA DE DESARROLLO DEL TRABAJO PROFESIONAL

### 2.1 Delimitación temporal y espacial del trabajo

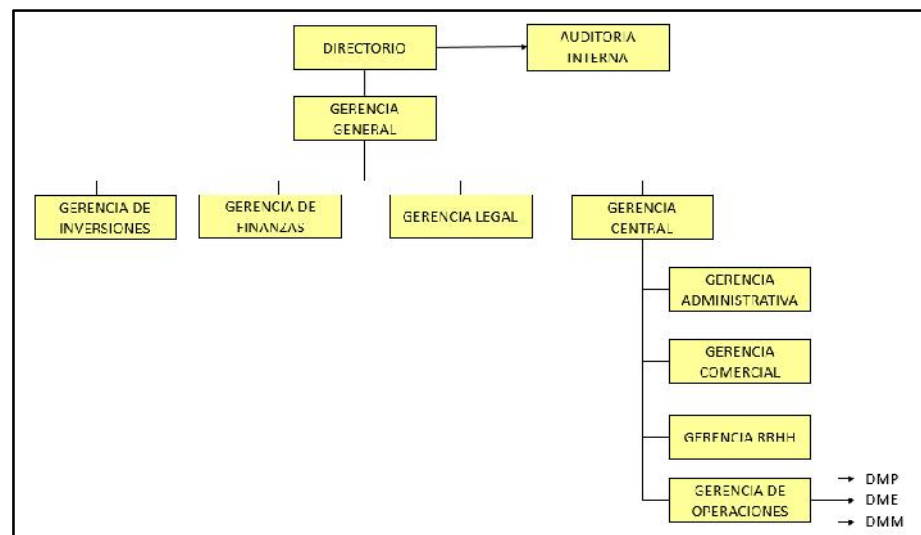
El trabajo de suficiencia presentado se desarrolla entre octubre del 2019 y marzo del presente año en una empresa cementera ubicada en el departamento de Lima, distrito de Villa María del Triunfo.

### 2.2 Determinación y análisis del problema

#### 2.2.1 Organigrama de la empresa

Previamente se muestra el organigrama de la empresa:

**Figura 11. Organigrama de la empresa cementera**



Fuente: Elaboración propia

Dentro de la Gerencia de Operaciones (GO), se encuentran las siguientes divisiones:

- ) División de Mantenimiento Preventivo (DMP)
- ) División de Mantenimiento Eléctrico (DME)
- ) División de Mantenimiento Mecánico (DMM)

Siendo esta última el área donde se desarrolló la experiencia profesional, realizando trabajos de apoyo en la gestión de mantenimiento correctivo de equipos.

Esta área tiene como función encargarse del mantenimiento correctivo de los equipos y maquinarias que hacen posible obtener cemento como producto final, distribuidos en la zona de molienda de materia prima, calcinación y almacenamiento de Clinker, molienda de cemento y envase. En DMM se enfrenta la problemática de atender a los eventos de fallas mecánicas que hacen detener la producción de Clinker además de las paradas determinadas por el área de DMP. Para ello, se tienen mantenimientos de rutina donde se detienen ciertos equipos de diferentes zonas con el fin de prevenir fallas a futuro, realizando trabajos de inspección general, soldadura, limpieza y cambios de componentes desgastados.

En la zona de molienda de cemento se tienen cuatro prensas de crudo y cuatro prensas de Clinker y tienen como distribución, tal como se aprecia en la siguiente figura.

**Figura 12. Edificios de prensas de rodillo**



Fuente: Elaboración propia

### **2.2.2 Proceso productivo**

En las prensas de Clinker se tiene la siguiente secuencia de producción:

1. A través de una faja inclinada proveniente de un silo se dirige hacia el chute ubicado en el 4to nivel del edificio.
2. El chute desemboca material hacia faja ubicada en el 4to nivel del edificio.

3. El material proveniente de la faja transportadora del 4to nivel se dirige hacia la prensa de rodillos donde se muele el material, ubicada en el 3er nivel del edificio.
4. En el desaglomerador se dispersa el material fino y grueso, ubicado en el 2do nivel del edificio.
5. Luego de tener la separación adecuada del material grueso del fino, el material grueso es conducido a través de una faja transportadora ubicada en el 1er nivel.
6. El material grueso proveniente de la faja transportadora se deposita en el elevador de recirculación para ser conducido hacia la separadora, ubicada en el 5to nivel del edificio.
7. El material que ingresa a la separadora es seleccionado o dividido a través de flujo de aire por succión o rotor dinámico que posee un plato dispersor para separación del material grueso y fino. El material fino es conducido al elevador de materia fina que es depositado a los silos o conducido a través de fajas transportadoras hacia el envase, mientras que el material grueso continúa su proceso de molienda.
8. El material fino se transporta a través de tuberías de succión, canaletas y el elevador de materia fina, que finalmente es almacenado en silos o es dirigido al área de envase para su posterior comercialización. (véase anexo I)

En la prensa de rodillo se tiene lo siguiente: dos ejes de rodillos los cuales tienen revoluciones por minuto (rpm) diferentes con dos reductores de velocidad con un motor eléctrico correspondiente a cada uno, un sistema de enfriamiento para cada reductor de velocidad, dos sistemas de amortiguación de oscilaciones a base de cuatro pistones hidráulicos y dos acumuladores de presión de hidrógeno, un sistema de engrase, un sistema de lubricación y un sistema de enfriamiento con refrigerante y agua industrial que se encarga de la refrigeración de los ejes de rodillo, rodamientos, sellos, chaquetas y chumaceras. Siendo este último sistema, el objeto de estudio de este trabajo de suficiencia profesional.

**Figura 13. Eje de prensa de rodillo**



Fuente: Elaboración propia

En el eje de prensa de rodillo trabaja conjuntamente con dos anillos distanciadores, cuatro tapas laterales internas y externas, dos chumaceras, 8 o 'rines, sellos y un rodamiento. Los cuales están expresados en un plano. (véase anexo II)

### **2.2.3 Funcionamiento de sistema de enfriamiento**

El módulo del sistema de enfriamiento de los ejes de las prensas de rodillo, tiene la siguiente secuencia de operación:

1. El sistema de enfriamiento es un circuito cerrado que inicia su proceso al ser impulsado por una bomba centrífuga a una presión de 6 Bares que permite seguir su recorrido por las tuberías y mangueras.
2. Luego, se tiene una válvula de 2 ½" que permite el paso del fluido hacia la manguera flexible, dicha manguera está conectada al codo giratorio ubicado en la parte externa del eje de rodillo.
3. Este codo giratorio posee dos mangueras, una de ellas permite el paso del flujo al interior del eje de rodillo que pasa por el tubo de PVC y la otra permite el retorno del refrigerante al módulo de enfriamiento. Asimismo, se tienen mangueras que permiten el paso del flujo para enfriar el rodamiento, chaqueta y chumacera de la prensa de rodillo (véase anexo IV).

4. Al retornar el flujo del refrigerante al módulo de enfriamiento, ingresa a los filtros para evitar el paso de impurezas.
5. Seguidamente se dirige a los intercambiadores de calor, que en su interior posee dos secciones. En la sección interna fluye el refrigerante; en la sección externa, agua industrial que circula constantemente para disipar el calor del refrigerante.
6. Finalmente, el refrigerante se dirige hacia el radiador para ser enfriado junto al ventilador para ser depositado en el tanque y seguir su proceso. (véase anexo IV)

En la figura 10 se aprecia el módulo de sistema de enfriamiento de los ejes de las prensas de rodillo con sus componentes correspondientes

**Figura 14. Módulo de sistema de enfriamiento**



Fuente: Elaboración propia

Además, en la siguiente figura se muestra el codo giratorio donde se tiene una manguera de ingreso y salida del refrigerante hacia el Tubo de PVC ubicado al interior del eje de rodillo.

**Figura 15. Codo giratorio**



Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se tiene plano de vista lateral, frontal y superior desde el módulo de sistema de enfriamiento hacia los codos giratorios de los ejes de las prensas de rodillo. (Véase anexo V).

## 2.2.4 Plan de mantenimiento preventivo existente

En la tabla 1, se observa el plan de mantenimiento preventivo existente en la empresa cementera aplicado al sistema de enfriamiento de prensas de rodillo. Estas actividades se realizan en overhaul, es decir, anualmente.

**Tabla 1. Cuadro de actividades de mantenimiento preventivo en overhaul aplicado a sistema de enfriamiento de prensa de rodillo de Clinker**

OVERHAUL PK3												
EQUIPO	CÓDIGO	#	Partidas	AREA	OT	STOCK REPUESTOS Y/O MATERIALES						SUPERVISOR
						STOCK	MIN USO	UND	DESCRIPCIÓN	CODIGO ALMACEN	CODIGO SAP	
		I	INSPECCIÓN DE LOS RODAMIENTOS DE LA PRENSA, CON LA CÁMARA DE VIDEO DESMONTANDO LAS TAPAS EXTERIORES.	DMM		1	1	c/u				L. GARCIA



		II	DESMONTAJE DE CODOS, TAPAS Y TUBO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE LOS 2 EJES DE RODILLOS PARA INSPECCION POR RAJADURAS	DMM		2	2	c/u	Tapa Interna "Fabricación", de Ø400 Ext x Ø46mm Int x 40mm espesor c/20 Agujeros Ø14mm y 6 agujeros Ø18mm, en acero Inox. 316L Según plano N°12496 (Ref. Plano Polysius 221.41.09.757031)	238517	01-00005232	L. GARCIA
						2	2	c/u	Tapa Externa "Fabricación", de Ø400 Ext x Ø98mm Int x 40mm espesor c/20 Agujeros Ø14mm y 6 agujeros Ø18mm, en acero Inox. 316L Según plano N°12495 (Ref. Plano Polysius 221.41.09.757030)	238518	01-00005228	

						1	1	c/u	O'ring de 6mm x 5 Metros de largo, para las tapas internas del tubo del sistema de enfriamiento de los 2 ejes del rodillo.	232840	05-00007251	
		m	RECTIFICADO AL INTERIOR DE LOS EJES DE LA PRENSA, PARA ELIMINACIÓN DE ZONA CORROIDA.	DMM								L. GARCIA
		n	GIRAR LOS RODAMIENTOS 180° PARA UNIFORMIZAR DESGASTE	DMM								L. GARCIA
		o	INSPECCIÓN DE LOS SELLOS EN V INTERIORES Y EXTERIORES DESMONTANDO LAS GUARDAS INTERIORES.	DMM			32	c/u	Sellos en V cerrados type V- 980RME3VULKNBR510 SET, Material NBR510 (Cada Eje usa 8 Sellos)	214931	01-00002565	L. GARCIA
							32	c/u	Sellos en V abiertos (Divididos) V- 980RME30FFENNBR510SET, Material NBR510	214932	01-00002549	

						3	1	REF	Chemosil 6025. Aglutinante para vulcanizar sellos de jebe "V"RING (LATA)	222350	05- 00002750	
		p	LIMPIEZA QUÍMICA DE LAS CHAQUETAS DE ENFRIAMIENTO POR AGUA Y DE LAS CHUMACERAS DE LA PRENSA Y DE LA CAJA DE RODAMIENTOS DEL DESAGLOMERA DOR. <b>"NO HACER LIMPIEZA QUIMICA A LOS EJES"</b>	DMM		3	2	c/u	Junta Giratoria "Rotary Unión" TYP- S- 2 1/2 Pos. 17 N° ident 0503709	214923	01- 00002625	L. GARCIA
					1	2	c/u	Anillo obturador de carbón tipo S-2 1/2" pos 19 N° Ident 446263	214928	01- 00000365		
					1	2	c/u	Aparato de Fuele tipo S- 2 1/2" pos 20. N° Ident 446264	214929	01- 00000437		
					18	8	c/u	Rodamiento rígido de una hilera de bolas con una placa de protección 6215Z	221698	02- 00012019		
					200	30	c/u	Junta Giratoria Atornillada Orient Alta presión Tipo WH28ZLRKDSA3C, Marca Parker N° Parte 2850771; para el sistema de agua de refrigeración de las prensas	226957	01- 00002624		

					75	15	c/u	Tuerca para Tubería de agua de 28mm, Parker M28LA3CX	218473	03-00005349	A. SANTOS
					6	15	REF	Ferrule para tubería de agua de 28mm, Parker PSR28LX, (Ferrule Metálico) (Se pone en referencial)	231998	01-00002152	
		q	CAMBIO DE TUBERIAS PICADAS DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO RODILLOS DE LA PRENSA	DMM	30	30	c/u	Ferrule para Tubería 28mm Parker - Part N° FM28LCF, (Ferrule de Jebe)	239250	01-00002151	
					30	15	c/u	CONECTOR T 28MM T28LCFX	--	03-00014642	
					30	15	c/u	REDUCCION 28MM/12MM RED28/12LOMDCF	..	03-00014644	
					40	20	c/u	BANJO FITTING 12MMX3/8"BSPP WH12ZSRKDSCF	..	03-00016303	

Fuente: Empresa cementera – DMM

En la tabla 2 se observa un plan de mantenimiento aplicado anualmente al sistema de enfriamiento elaborado por la división de mantenimiento mecánico (DMM), el cual se centra en la prensa propiamente dicha, mas no a los demás componentes pertenecientes al módulo de enfriamiento de los ejes de rodillo. Cuando se tiene alguna reparación adicional se considera mantenimiento correctivo donde generalmente se efectúa cambio de componentes, produciendo

un aumento de costos y mayor tiempo de mantenimiento. Provocando una menor cantidad de horas disponibles de operación.

**Tabla 2. Cuadro de actividades de mantenimiento preventivo a eje de rodillo en overhaul**

OVERHAUL EN PRENSAS								
EQUIPO	CÓDIGO	#	PARTIDAS	PRENSA	TAREA	OT	OBSERVACIONES	SUPERVISOR
PRENSA DE RODILLOS DE CLINKER (PK)	535PR1	a	INSPECCION DE RAJADURAS DE LOS EJES DE LOS RODILLOS POR ULTRASONIDO Y LIQUIDOS PENETRANTES.	PK1	5780	20141122		Gonzales R.
	536PR1	a	INSPECCION DE RAJADURAS DE LOS EJES DE LOS RODILLOS POR ULTRASONIDO Y LIQUIDOS PENETRANTES.	PK2	5781	20115635		Gonzales R.
	537PR1	a	INSPECCION DE RAJADURAS DE LOS EJES DE LOS RODILLOS POR ULTRASONIDO Y LIQUIDOS PENETRANTES.	PK3	5782	20589632		Gonzales R.

	538PR1	a	INSPECCION DE RAJADURAS DE LOS EJES DE LOS RODILLOS POR ULTRASONIDO Y LIQUIDOS PENETRANTES.	PK4	005783	20547841		Gonzales R.
--	--------	---	---	-----	--------	----------	--	-------------

Fuente: Empresa cementera – DMM

En la tabla 2 se observa un plan de mantenimiento aplicado anualmente al sistema de enfriamiento elaborado por la división de mantenimiento preventivo (DMP), en el cual se verifica el estado de los ejes mediante la aplicación de un aerosol que deja al descubierto las posibles rajaduras en los ejes. Esta acción se da en el ingreso de los ejes mas no en su interior, es decir, existe una verificación tan solo en una parte del eje. Además, no se tiene elaborado un plan de mantenimiento preventivo para los demás componentes que conforman el sistema de enfriamiento de los ejes de rodillo, como lo son las chaquetas, los rodamientos, los sellos y las chumaceras.

## 2.2.5 Identificación y análisis de baja disponibilidad de sistema de enfriamiento de ejes de rodillo

### A. Diagrama de Pareto de sistemas de prensa de rodillo

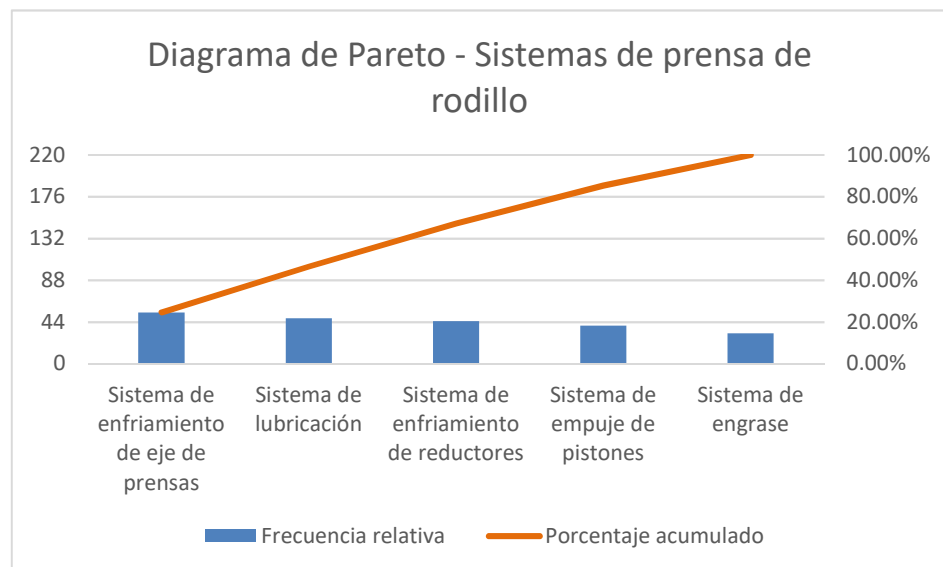
A continuación, se presenta el diagrama de Pareto de los sistemas pertenecientes a la prensa de rodillos. En la cual se observa una frecuencia mayor de ocurrencia de fallas en el sistema de enfriamiento, por ende, se requiere un plan de mantenimiento preventivo para evitar las paradas imprevistas y mantenimientos correctivos que producen pérdidas de producción y mayor generación de costos.

**Tabla 3. Datos de análisis de Pareto de sistemas de prensas de rodillo**

Ítem	Sistemas de prensas de rodillo	Frecuencia relativa	Porcentaje acumulado
1	Sistema de enfriamiento de eje de prensas	54	24.66%
2	Sistema de lubricación	48	47%
3	Sistema de engrase	32	61%
4	Sistema de empuje de pistones	40	79%
5	Sistema de enfriamiento de reductores	45	100%
<b>TOTAL</b>		<b>219</b>	

Fuente: Empresa cementera – DMM

**Figura 16. Diagrama de Pareto de sistemas de prensa de rodillo**



Fuente: Elaboración propia

## B. Diagrama de Pareto de fallas mecánicas en sistema de enfriamiento de eje de prensas de rodillo

A continuación, se presenta el diagrama de Pareto de las fallas mecánicas en el sistema de enfriamiento donde se observa que la falla más frecuente es la contaminación del refrigerante, seguido de fallas en el intercambiador de calor. Y las menos frecuentes son las rajaduras o deformación en el eje, sin embargo, siendo las más costosas ya que amerita el cambio de los dos ejes de rodillos, aunque sólo uno presente rajadura.

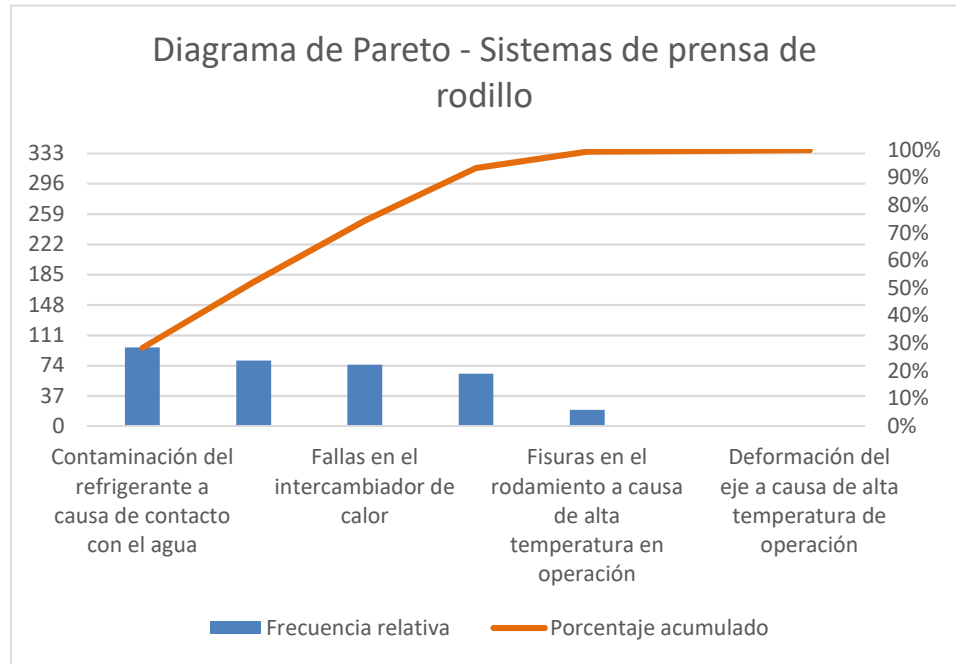
Tabla 4. Datos de análisis de Pareto de fallas mecánicas

Ítem	Fallas mecánicas en el sistema de enfriamiento de ejes	Frecuencia relativa	Porcentaje acumulado
1	Contaminación del refrigerante a causa de contacto con el agua	96	28.49%
2	Contaminación del refrigerante a causa de contacto con corrosión de las tuberías	80	52.23%
3	Fallas en el intercambiador de calor	75	74.48%
4	Fallas en la bomba por baja presión	64	93.47%
5	Fisuras en el rodamiento a causa de alta temperatura en operación	20	99%
6	Rajaduras en el eje a causa de contacto con el agua o exceso de temperatura	1	99.70%
7	Deformación del eje a causa de alta temperatura de operación	1	100.00%
TOTAL		337	

Fuente: Elaboración propia



**Figura 17. Diagrama de Pareto de fallas mecánicas de sistema de enfriamiento de prensas de rodillo**



Fuente: Elaboración propia

### C. Cálculo de disponibilidad de sistema de enfriamiento de eje de prensa de rodillo

Se tienen los siguientes datos:

**Tabla 5. Control de tiempos y fallas de sistema de enfriamiento de ejes**

H. Mes	H. Disp.	H. Mantto.	H. Falla	N° Fallas	TPEF	TPDR
720	624	40	56	16	45	3.5

Fuente: Elaboración propia

Donde:

$$) T = \frac{7}{1} = 45$$

$$) T = \frac{5}{1} = 3.5$$

$$) C = \frac{4}{4 + 3.5} = 0.927$$

$$) D = \frac{6}{7} = 0.86$$

Se tiene que el sistema de enfriamiento de eje de prensas de rodillo presenta una confiabilidad de 92.7%, es decir, una alta confiabilidad.

El sistema de enfriamiento de eje de prensas de rodillo presenta una disponibilidad de 86%, es decir, relativamente baja. Esto es debido a que el TPEF es bajo y el TPDR es alto.

Para tener un aumento de disponibilidad se deberá tener priorizar una disminución de tiempos de presencia de fallas y adecuada planificación de las horas de mantenimiento, este propósito se logrará al aplicar un plan de mantenimiento preventivo adecuado que permita tener una identificación correcta de modos de falla evitando pérdida de horas operacionales y en su beneficio una mayor cantidad de horas disponibles operacionales. Asimismo, una reducción de horas pertenecientes a mantenimiento no planificado

## 2.3 Modelo de solución propuesto

### 2.3.1 Lista de componentes

Con la finalidad de lograr el objetivo general de plantear un plan de mantenimiento preventivo para el sistema de enfriamiento de los ejes de la prensa de rodillo, se registrarán las indicaciones de las etapas para el correcto desarrollo del AMEF. En la tabla 6 se muestra la lista de componentes o repuestos requeridos, luego de establecer límites de investigación e información requerida.

Tabla 6. Listado de componentes de sistema de enfriamiento de ejes de prensa de rodillo

REPUESTOS PRENSAS DE RODILLO											
PARTIDAS	PLANO GENERAL	PLANO PIEZA	POSICIÓN EN PLANO		DESCRIPCIÓN	CODIGO SAP	FICHA TÉCNICA	N° FABRICANTE	CONTROL DE REPUESTOS		
									Stock Min	Stock Actual	Pedido
SISTEMA ENFRIAMIENTO CON REFRIGERANTE	SISTEMA DE ENFRIAMIENTO CON REFRIGERANTE	Refrigeración del eje	1	1.1	Codo giratorio	01-00002625	-	503709		0	
				1.2	Tapa interior	<a href="#">01-00005232</a>	-			2	
				1.3	Tapa exterior	<a href="#">01-00005228</a>	-			2	
			2	2.1	Tubo de enfriamiento en acero inoxidable	<a href="#">01-00005535</a>	-	30031936		1	
					Tubo de enfriamiento de PVC	<a href="#">01-00019618</a>	-			2	

		Despiece de codo giratorio	1	1.4	Anillo obturador de carbón	<a href="#">01-00000365</a>	-	446263		11	
				1.5	Aparato de Fuelle	<a href="#">01-00000437</a>	-	446264		13	
				1.6	Rodamiento 6215Z	<a href="#">02-00012019</a>	-	<a href="#">Rodamiento 6215Z</a>		8	
				1.7	O 'ring 6mm x 5 Mt	<a href="#">02-00008817</a>	-			0	
		Refrigeración del rodamiento	3	3.1	Junta giratoria atornillada	<a href="#">01-00002624</a>	-	2850771		0	
				3.2	Tuerca completa para tubería de agua de 28mm	<a href="#">03-00005349</a>	-	M28LA3CX		75	
				3.3	Tubo 28x5mmx6000mm acerado	<a href="#">03-00005102</a>	-			6	
					Conector reducción	<a href="#">01-00000011</a>	-			0	
				3.2	Tuerca y jebe de 28mm	<a href="#">01-00002151</a>	-			0	
		Línea de agua principal		<u>1</u>	Válvula Diafragma de 8"	<a href="#">02-00015446</a>	-			2	
				<u>2</u>	Brida de acero de 8"	<a href="#">03-00000949</a>	-			1	
				<u>3</u>	Válvula diafragma de 4"	<a href="#">02-00040075</a>	-			4	
				<u>4</u>	Válvula de bola 1/2"	<a href="#">03-00005685</a>	-	-		175	
MÓDULO DE ENFRIAMIENTO											

		<u>4</u>	Válvula de bola 1"	<a href="#">03-00005675</a>	-				33	
		<u>4</u>	Válvula de bola 2"	<a href="#">03-00005698</a>	-				69	
		<u>2</u>	Brida de acero de 2"	<a href="#">03-00000943</a>	-				35	
		<u>4</u>	Válvula de bola 1 1/2"	<a href="#">03-00005680</a>	-				32	
		<u>5</u>	Válvula diafragma 3" bridada	<a href="#">02-00039286</a>	-				3	
	Equipos del módulo de enfriamiento	1	Tanque de plástico	<a href="#">03-00004786</a>	-				0	
		<u>2</u>	Bomba de agua	<a href="#">02-00039473</a>	-				2	
		3	Caudalímetro	02-00041938	-				1	
		4	Radiador Funke	<a href="#">01-00012950</a>	-				2	
		5	Intercambiador agua/aceite	<a href="#">01-00002019</a>	-				0	
		6	Filtros 270mm	01-00012580					2	
		7	Sensor PT 100 0 - 100 °C	<a href="#">02-00039555</a>	-				1	
		8	Manómetro 0 - 10 Bar	01-00002434	-				4	

Fuente elaboración propia

En la tabla se expresan los componentes que conforman el sistema de enfriamiento de los ejes, de manera que se mencionan las medidas, tipo y/o modelo correspondiente a cada uno, con la finalidad de no confundirlos con componentes pertenecientes a otros equipos ajenos al sistema de enfriamiento de ejes de prensas de rodillo. Se observa que no se tiene ficha técnica de ningún componente perteneciente al sistema de enfriamiento en el repositorio de la empresa cementera, tan solo cuenta con algunos números o serie de fabricante que generalmente es entregado por los proveedores. Sin embargo, las fichas técnicas no han sido archivadas. No obstante, es necesario para tener un correcto listado de componentes del sistema.

Además, en la lista de componentes no figuran las mangueras, es decir no se encuentran en el almacén de la empresa cementera. Esto es debido a que el suministro de mangueras se tiene por parte de una empresa terciaria que también brinda servicios a la empresa, y tan solo se solicita en mantenimientos correctivos y/o previa coordinación de paradas planificadas designadas por la división de producción, como en el caso del mantenimiento overhaul.

Una óptima planificación de mantenimiento facilita el control de los componentes requeridos evitando compras innecesarias de componentes de reposición con el objetivo de reducir la necesidad de importaciones, transporte y consecuentemente disminución de costos de inversión.

### **2.3.2 Hoja de información de modo de falla**

Luego de tener un reconocimiento de los componentes que conforman el sistema de enfriamiento de los ejes de la prensa de rodillo, se procede a realizar una hoja de información donde se muestran las fallas y modos de falla suscitados en el sistema de enfriamiento. A continuación, en la tabla 7 se tiene la hoja de información del sistema de enfriamiento.

Tabla 7. Hoja de información de modo de falla

<b>HOJA DE INFORMACION</b>	<b>SISTEMA</b>	<b>SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE EJES DE PRENSA DE RODILLO</b>
----------------------------	----------------	---

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA	
		(PERDIDA DE FUNCION)		(CAUSA DE FALLA)	
Bombas centrifugas	Transferir presión hidráulica de refrigerante al circuito cerrado de enfriamiento	A	Reducción de presión en el sistema	1	Trabajo en vacío
		B	Incapacidad de transferir refrigerante	2	Falla en motor eléctrico
		C	Recalentamiento en el sistema	3	Rodamientos fatigados
				4	Desgaste de turbina
				5	Rotura de eje de turbina
				6	Rotura de acoplamiento
Válvulas	Abrir y cerrar el flujo de un fluido en un sistema	A	Sistema en circuito cerrado abierto	1	Rotura de la válvula

		B	Sistema en circuito abierto	2	Desgaste de válvula
Rodamientos	Evitar el contacto entre eje y chumacera	A	Recalentamiento	1	Falta de refrigeración
		B	Vibración	2	Ausencia de grasa
		C	Golpes	3	Exceso de carga en flujo
				4	Desalineamiento de chumaceras
				5	Falla en los acumuladores de nitrógeno
Refrigerante	Fluido encargado de enfriar los componentes mecánicos de trabajo	A	Fugas de refrigerante a través de tuberías	1	Rotura de mangueras
		B	Recalentamiento	2	Fisura en tuberías
				3	Nivel bajo de refrigerante
Intercambiadores de calor	Elemento encargado de enfriar el refrigerante	A	Recalentamiento	1	Obstrucción de celdas de flujo
		B	Ausencia de flujo	2	Rotura de bridas y acoples



	mediante flujo de dos fluidos en compartimentos diferentes	C	Fugas	3	Rotura interna de celdas del refrigerante
		D	Combinación de refrigerante y agua industrial	4	Ausencia de agua industrial o refrigerante
Codós giratorios	Válvula de paso dinámico que permite la entrada y salida del refrigerante en movimiento	A	Recalentamiento	1	Rotura de niples y mangueras
		B	Fuga de refrigerante	2	Ausencia de lubricación en rodamientos
		C	Ruido	3	Fatiga de rodamientos
				4	Desgaste de sello de grafito
Tubos PVC	Elemento de PVC encargado de dirigir el refrigerante entrante hacia el extremo interno del eje de rodillo	A	Deformación	1	Flujo excesivo en el sistema
		B	Rotura de bocina de encaje	2	Funcionamiento con ausencia de refrigerante
				3	Fatiga de bocina de encaje
				4	Rajadura de eje de rodillo

Chumaceras	Elemento encargado de alinear y retener a los rodamientos de los rodillos en su posición correspondiente	A	Desalineado	1	falla de retención y amortización de los pistones de empuje
		B	Recalentamiento	2	Presión baja en acumuladores de nitrógeno
				3	Fatiga de brazo de reacción de reductores
				4	Ausencia de refrigerante en el sistema
				5	Válvulas de paso cerradas
Filtros de partículas	Elemento encargado de retener impurezas del sistema de refrigeración	A	Aumento de presión en el sistema	1	Presencia de impurezas en el filtro
		B	Leve elevación de temperatura	2	Válvula de paso cerrada
		C	Recalentamiento	3	Filtros obstruidos
		D	obstrucción de radiador	4	
		E	Obstrucción de intercambiador de calor	5	

Ventilador	Elemento encargado de generar el aire forzado para enfriamiento de celdas de radiador acoplado a motor eléctrico	A	Recalentamiento	1	Motor eléctrico desenergizado
		B	Vibración	2	Motor eléctrico con sentido opuesto de giro
		C	Sonido extraño	3	Fatiga de rodamientos

Fuente elaboración propia

En dicha tabla, se muestra información recopilada en base a la experiencia de los operarios y supervisores que laboran en el área de molienda terciaria. Se tienen las fallas y modos de falla en cada subsistema respectivo que conforman el sistema de enfriamiento en su totalidad. Cada una de las pérdidas de funcionamiento están codificadas alfabéticamente, de las cuales no todas indican una parada de producción inmediata. Sin embargo, su capacidad de funcionamiento se encuentra por debajo del funcionamiento deseado y conforme más tiempo pase durante ese suceso tiene como consecuencia una parada de producción para poder identificar el modo de falla en aquel suceso.

Los modos de falla y fallas expresadas tienen diferentes probabilidades y severidades, los cuales deben someterse a análisis.

A continuación, en la tabla 8 se presentan los modos de falla identificados en diferentes niveles de detalle. Siendo el más severo y poco probable el nivel 2: rajadura en eje de rodillo (véase anexo VI).

**Tabla 8. Modos de falla con diferentes niveles de detalle**

NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4	NIVEL 5
Falla en el sistema de enfriamiento de ejes de rodillos de prensa	Rajadura en eje de rodillo	Ausencia de refrigerante en el sistema	Fatiga de brazo de reacción de reductores	Ausencia de grasa en rodamientos
		Válvulas de paso cerradas	Nivel bajo de refrigerante	Presencia de impurezas en el filtro
		Fatiga de rodamientos	Filtros obstruidos	Trabajo en vacío
		Presión baja en acumuladores de nitrógeno	Motor eléctrico desenergizado	Desgaste de turbina
		Rotura de eje de turbina	Motor eléctrico con sentido opuesto de giro	Desgaste de válvula
		Rotura de acoplamiento	Exceso de carga en flujo	Desgaste de sello de grafito
		Rotura de la válvula	Desalineamiento de chumacera	Falla en los acumuladores de nitrógeno
		Rotura de bridas y acoples	Flujo excesivo en el sistema	
		Rotura interna de celdas del refrigerante	Obstrucción de celdas de flujo	
		Rotura de niples y mangueras	Fatiga de bocina de encaje	
		Rotura de manguera		
		Falla en motor eléctrico		
		Ausencia de lubricación en rodamientos		

		Ausencia de agua industrial o refrigerante	
		Fisura en tuberías	

Fuente: Elaboración propia

### 2.3.3 Modelo de plan de mantenimiento propuesto

Previamente se realizó una lista de componentes, una hoja de información del sistema de enfriamiento donde se expresan fallas y modos de falla y una determinación de niveles de modos de falla. Se observa en la siguiente tabla el planteamiento de mantenimiento preventivo para el sistema de enfriamiento el cual abarca desde mantenimiento de rutina hasta semestrales.

**Tabla 9. Plan de mantenimiento preventivo propuesto de sistema de enfriamiento**

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE SISTEMA DE ENFRIAMIENTO								
Descripción del equipo	Código de equipo	Diario	Semanal	Quincenal	Mensual	Bimensual	Trimestral	Semestral
Inspección de bomba centrífuga 1		x						
Inspección de bomba centrífuga 2		x						

Inspección de acople de bomba centrífuga 1 y 2								x
Inspección e identificación de nivel del refrigerante		x						
Funcionamiento de caudalímetro		x						
Inspección de estado de válvulas		x						
Inspección de estado de tuberías		x						
Inspección de estado de filtros				x				
Inspección de fugas y ajuste de manqueras de entrada y retorno		x						
Inspección y engrase codo giratorio			x					

Inspección de estado de niples y tuberías de chumacera		x			x			
Inspección de estado de filtro de partículas				x				
Inspección de intercambiador de calor 1					x			
Inspección de intercambiador de calor 2					x			
Limpieza de radiador						x		
Limpieza de ventilador y motor eléctrico							x	
Inspección de ejes					x			
Limpieza de ejes					x			
Inspección de tubos PVC					x			
Limpieza de chaquetas de chumacera								x

Inspección de temperatura de chumacera		x						
Inspección de temperatura de rodamientos			x					

Fuente: Elaboración propia



Anteriormente el líquido refrigerante del sistema de enfriamiento de los ejes de la prensa de rodillo era agua. Sin embargo, notaron que el agua no cumplía la función de mantener una temperatura requerida para el funcionamiento óptimo de la prensa, además de provocar corrosión en las tuberías y demás componentes del sistema. Por lo tanto, sustituyeron este fluido por el refrigerante Mobil minning coolant.

Las tuberías que permiten el paso del fluido no fueron cambiadas al cambiar el fluido refrigerante del sistema de enfriamiento y cuando el refrigerante fluye a través de las tuberías trae consigo residuos y contaminantes, los cuales deterioran prematuramente el refrigerante y los filtros. Teniendo como consecuencia un aumento de costos de mantenimiento.

Para la correcta implementación del nuevo plan de mantenimiento preventivo se deberá disponer lo siguiente:

- a. Capacitación de inspectores, supervisores y técnicos mecánicos**, de manera que la división de mantenimiento mecánico (DMM) tome las decisiones y gestione los tiempos determinados.

El supervisor de DMM correspondiente al área de prensas de rodillo de la empresa cementera deberá encabezar el frente de trabajo en conjunto con los inspectores de DMM y DMP pertenecientes también a la empresa, además de los supervisores de contrata con el objetivo de tener en claro los conceptos de mantenimiento. Debido a que el inspector de DMM supervisará las actividades de inspección y mantenimientos menores a cargo de los supervisores y técnicos mecánicos de contrata. Asimismo, el inspector de DMP es encargado de inspeccionar el área ante un modo de falla o parada de producción no planificada.

Se realizará un cronograma correspondiente de visita por parte del supervisor y jefe de DMM para dirigirse hacia los inspectores,

supervisores y técnicos mecánicos. Incluyendo a los supervisores del área de seguridad.

- b. Comunicado general de nuevo plan de mantenimiento:** Se entregará el rol de actividades correspondientes al plan de mantenimiento preventivo propuesto en el sistema de enfriamiento de prensas de rodillo tanto a inspectores, supervisores y técnicos como también a los jefes de las áreas relacionadas como medio de comunicación

### 2.3.4 Indicadores de mantenimiento

Luego de aplicar el plan de mantenimiento preventivo para el sistema de enfriamiento de ejes de rodillo se procede a calcular los indicadores de calidad de servicio mensualmente:

**Tabla 10. Control de horas y fallas de sistema de enfriamiento**

H. Mes	H. Disp.	H. Mantto.	H. Falla	N° Fallas	TPEF	TPDR
720	672	31	17	11	65.45	1.55

Fuente: Elaboración propia

Donde:

$$) T = \frac{7}{1} = 65.45$$

$$) T = \frac{1}{1} = 1.55$$

$$) C = \frac{6.4}{6.4 + 1.5} = 0.97$$

$$) D = \frac{6}{72} = 0.93$$

- Se presenta un Tiempo promedio entre fallas (TPEF) de 65.45 horas.
- Se presente un Tiempo promedio de reparación (TPDR) de 1.54 horas.
- Se obtiene una disponibilidad del 93%.
- Se obtiene una confiabilidad del 97%.

## 2.4 Resultados

Se obtuvo los siguientes resultados de análisis de un mes:

**Tabla 11. Resultados del plan de mantenimiento preventivo de sistema de enfriamiento**

Total de horas mensuales	720
Total de horas disponibles operacionales	672
Horas de mantenimiento correctivo	14
Horas de mantenimiento preventivo	17
Nº fallas	11

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 11 se exponen los resultados obtenidos al realizar el análisis de las horas operacionales y de mantenimiento durante un mes.

Donde presenta un aumento de horas disponibles operaciones, control de horas de mantenimiento planificado y no planificado. Además de una disminución de número de fallas reportadas durante ese lapso de tiempo.

**Tabla 12. Resultados de indicadores de mantenimiento del plan de mantenimiento preventivo de sistema de enfriamiento**

Disponibilidad	93%
TMEF	65.45
TPDR	1.5

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 12 se expresan los valores finales relacionados al objeto de estudio, es decir, la disponibilidad

## **CONCLUSIONES**

1. Se concluye que se tuvo un aumento de disponibilidad del 86% al 93% aplicando el plan de mantenimiento preventivo, además de aumentar la confiabilidad del 92% al 97%.
2. Se identificaron y analizaron las fallas que fueron las causantes de los tiempos perdidos por paradas de producción no planificadas.
3. Se gestionó la información obtenida por parte de los operarios y supervisores del área de mantenimiento basado en el modo de fallas, para realizar el plan de mantenimiento preventivo del sistema de enfriamiento.
4. Se calcularon los indicadores de mantenimiento los cuales expresan una mejora de disponibilidad

## RECOMENDACIONES

1. Se debe cumplir el plan de mantenimiento preventivo establecido y distribuir dicho plan con el personal de mantenimiento del sistema de enfriamiento. En caso de pérdida de plan de mantenimiento entregado, deberá ser pegado en un área visible cercano al sistema de enfriamiento de prensas de rodillo.
2. Se sugiere el cambio de tuberías de sistema de enfriamiento de ejes de prensa de rodillo.
3. Se recomienda colocar un horómetro en un lugar accesible al personal de mantenimiento, ya que las horas de operación solo las visualiza el supervisor de mantenimiento a través del software SAP.
4. Se recomienda considerar las mangueras dentro del almacén de la planta de manera que se tiene en stock ante una falla.
5. Se recomienda inspeccionar la temperatura del refrigerante antes del ingreso del tubo de PVC para evitar futuras fisuras o rajaduras del eje de rodillo.
6. Se recomienda adicionar diferentes puntos de ingreso de refrigerante hacia el tubo de PVC, ya que solo se tiene uno y no permite que ingrese el refrigerante en una temperatura óptima a lo largo de todo el cuerpo del tubo de enfriamiento.
7. Se recomienda colocar una bomba de succión de modo que facilite un mejor flujo de retorno en el eje de la prensa de rodillo

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Consumo nacional de cemento creció 4.7% en el 2019 (18 de enero de 2020). *Gestión*. Recuperado de <https://gestion.pe/economia/consumo-nacional-de-cemento-crecio-47-en-el-2019-noticia/>
- PQS (22 de octubre del 2020). Empresas: Importancia de los costos de mantenimiento. Recuperado de <https://www.pqs.pe/tu-negocio/empresas-importancia-de-los-costos-de-mantenimiento>
- José A. Rodríguez Ramírez (2003). *Gestión de mantenimiento asistido por computadora*. Recuperado de [https://www.academia.edu/8349614/Libro\\_de\\_Gestion\\_de\\_Mantenimiento](https://www.academia.edu/8349614/Libro_de_Gestion_de_Mantenimiento)
- Lourival Tavares (2000). *Administración moderna de mantenimiento*. Recuperado de <https://soportec.files.wordpress.com/2010/06/administracion-moderna-de-mantenimiento.pdf>
- Antonio Ros (2010). *Mantenimiento I*. Recuperado de [https://www.academia.edu/16406342/Mantenimiento\\_Industrial\\_I](https://www.academia.edu/16406342/Mantenimiento_Industrial_I)
- Integra markets (2018). *Gestión y planificación del mantenimiento industrial*. Recuperado de <https://www.coursehero.com/file/65260436/Libro-Gesti%C3%B3n-y-Planificaci%C3%B3n-del-Mantenimiento-Industrial-Integra-Marketspdf/>
- Duffuaa Raouf Dixon (2010). *Sistemas de mantenimiento planeación y ejecución*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/rusvel7/sistemas-demantenimientoduffuayotros>
- Luis Alberto Mora (2009). *Mantenimiento, planeación y ejecución*. Recuperado de <https://www.alpha-editorial.com/>
- John Moubray (2004). *Mantenimiento centrado en confiabilidad*. Recuperado de [https://www.academia.edu/9478461/MANTENIMIENTO\\_CENTRADO\\_EN\\_LA\\_CONFIABILIDAD\\_CONTENIDOS](https://www.academia.edu/9478461/MANTENIMIENTO_CENTRADO_EN_LA_CONFIABILIDAD_CONTENIDOS)
- Mott y Untener (2015). *Mecánica de fluidos*. (7° Edición). México: Pearson.

Eduardo Pedraza Gonzáles (2018). *Hidráulica básica Historia, conceptos previos y ecuaciones*. Recuperado de [https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros\\_html/hidraulica/Libro-hidraulica-basica.pdf](https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/hidraulica/Libro-hidraulica-basica.pdf)

Martínez Luis (2007). *Organización y planificación de sistemas de mantenimiento*. Recuperado de [https://www.academia.edu/16413310/ORGANIZACION\\_PLAN\\_DE\\_MANTENIMIENTO](https://www.academia.edu/16413310/ORGANIZACION_PLAN_DE_MANTENIMIENTO)

Universidad Autónoma de Barcelona (UAB), VAM INDUSTRY. *Tuberías, válvulas y accesorios, (04)*, 29, 30, 37. Recuperado del sitio de internet [https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG\\_VamIndustry\\_v04.pdf](https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamIndustry_v04.pdf)

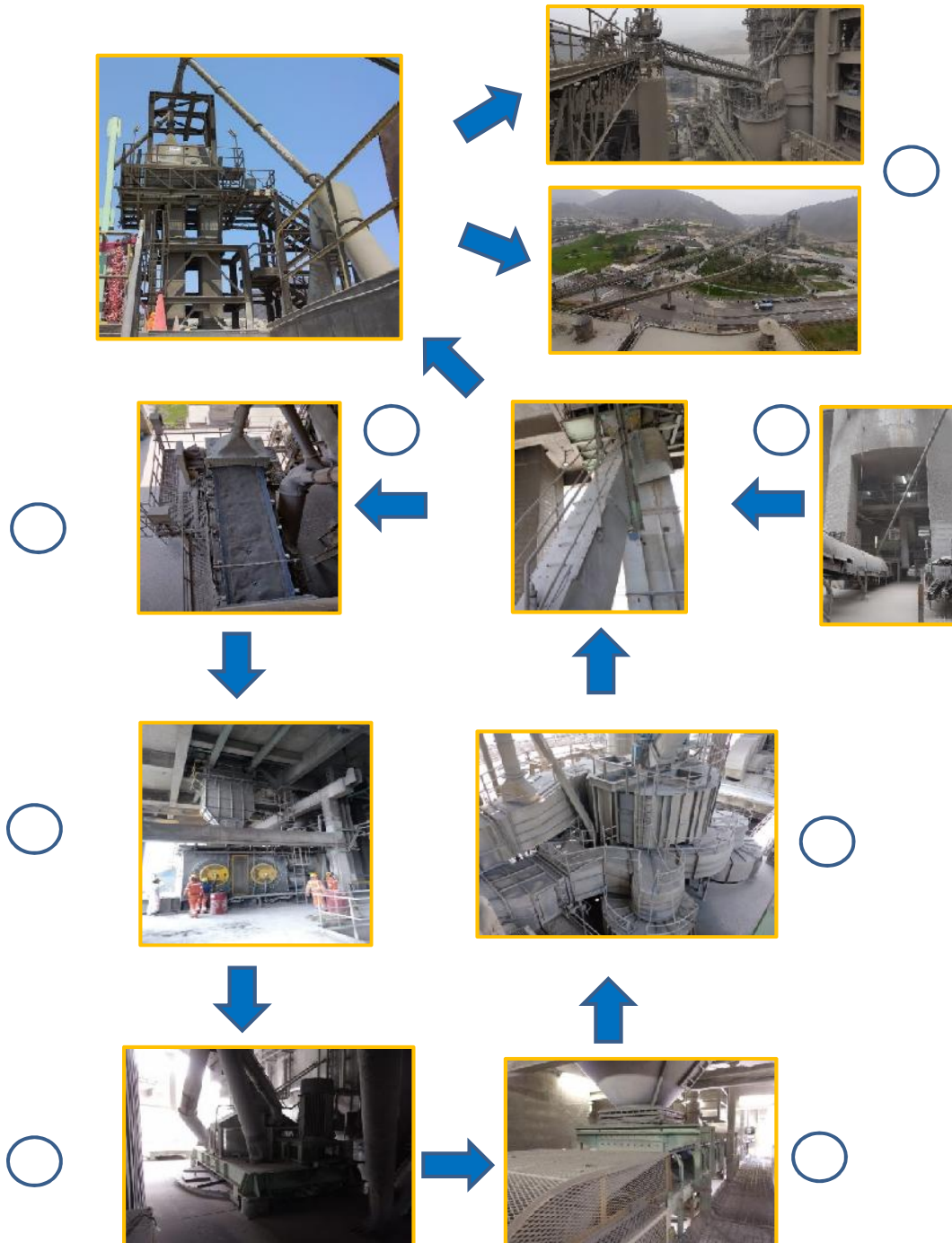
SENATI (2009). *Manual de hidráulica básica*. Recuperado de [http://virtual.senati.edu.pe/curri/file\\_curri.php/curri/EEIT\\_201220/89000077%20ELECTRONEUMATICA%20Y%20ELECTROHIDRAULICA.pdf](http://virtual.senati.edu.pe/curri/file_curri.php/curri/EEIT_201220/89000077%20ELECTRONEUMATICA%20Y%20ELECTROHIDRAULICA.pdf)

Hino (2007). *Manual de sistema de enfriamiento*. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/60873289/Sit-Enfriamiento-Hino>

SRC (2006). *¿Qué es un sensor PT100?* Recuperado de <https://srcsl.com/que-es-un-sensor-pt100/>

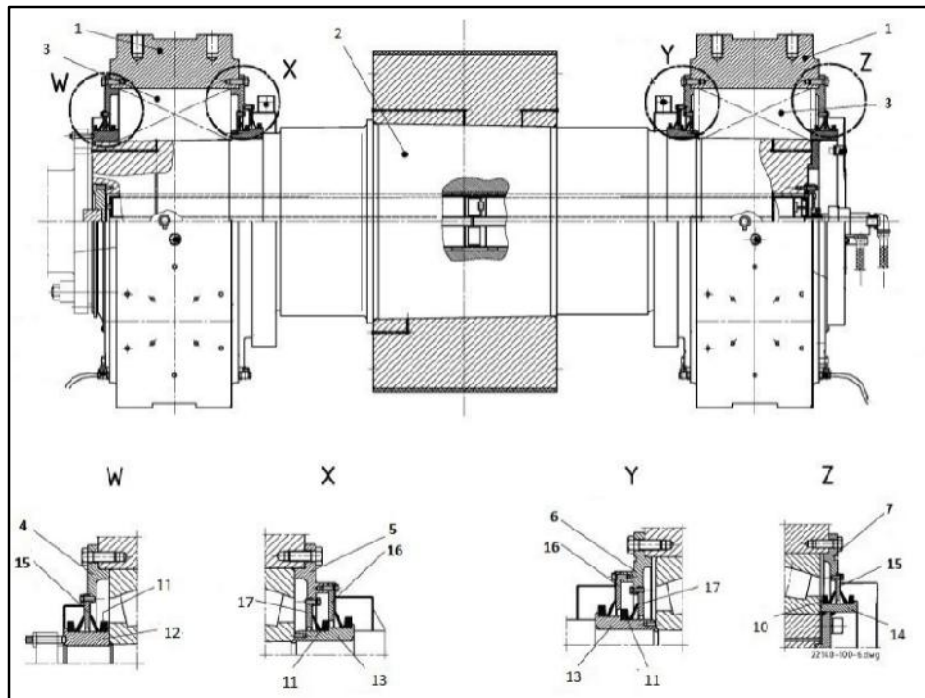
# ANEXOS

## Anexo I. Proceso productivo



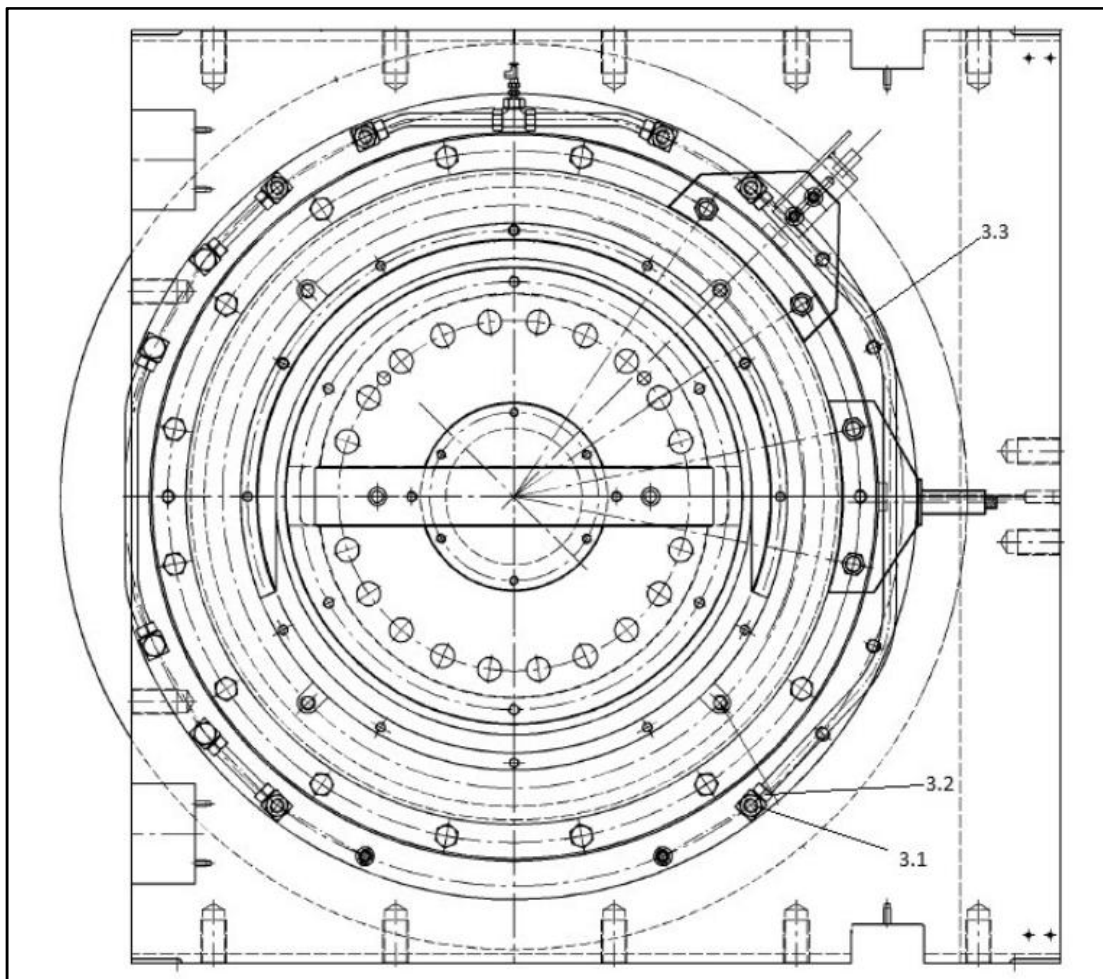


## Anexo II. Plano de eje de prensa de rodillo



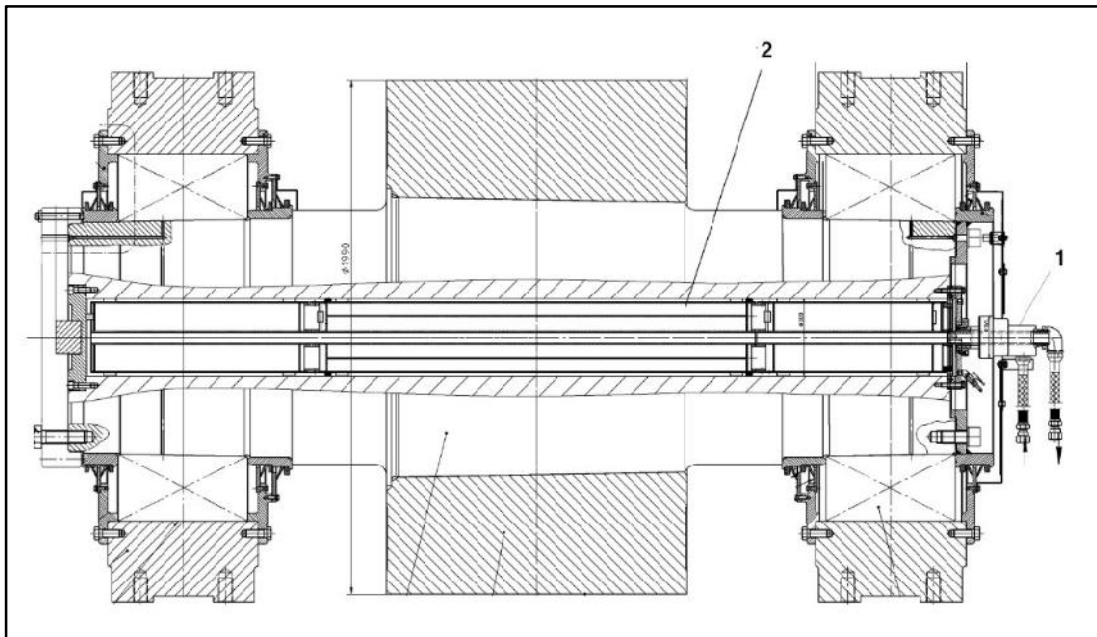
1	Chumacera
2	Eje Rodillo
3	Rodamiento 241/900
4	Tapa Exterior Lado Acople
5	Tapa Interior Lado Acople
6	Tapa Interior Lado Libre
7	Tapa Exterior Lado Libre
8	O'ring 950x5,33
9	O'ring 320x5,33
10	Sellos en V cerrados
11	11 Sellos en V abiertos
	11 Vulcanizante Chemosil 6025.
12	Anillo distanciador exterior rodillo lado acople
13	Anillo distanciador Interior rodillo ambos lados
14	Anillo distanciador exterior rodillo lado libre
15	Anillo obturador exterior de Ø1200xØ1010xØ15mm,
16	16 Anillo obturador Ø1270mm,
	16 Anillo obturador Ø1200mm,
17	17 Anillo obturador interior Ø1270xØ1050x15mm
	17 Anillo obturador interior Ø1200xØ1010x15mm

### Anexo III. Sistema de enfriamiento de rodamiento de eje de prensa de rodillo



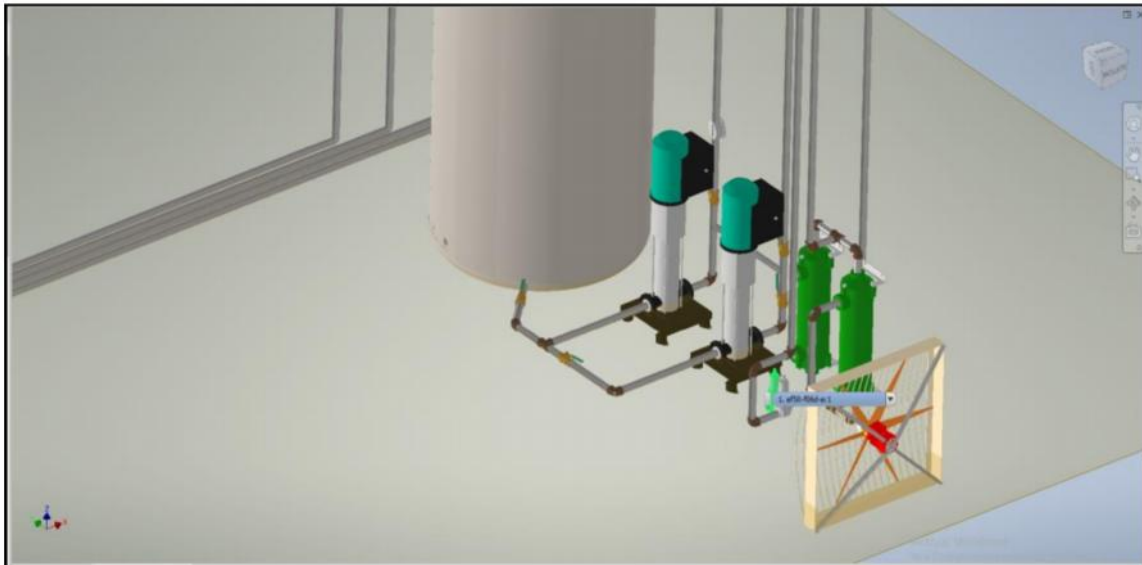
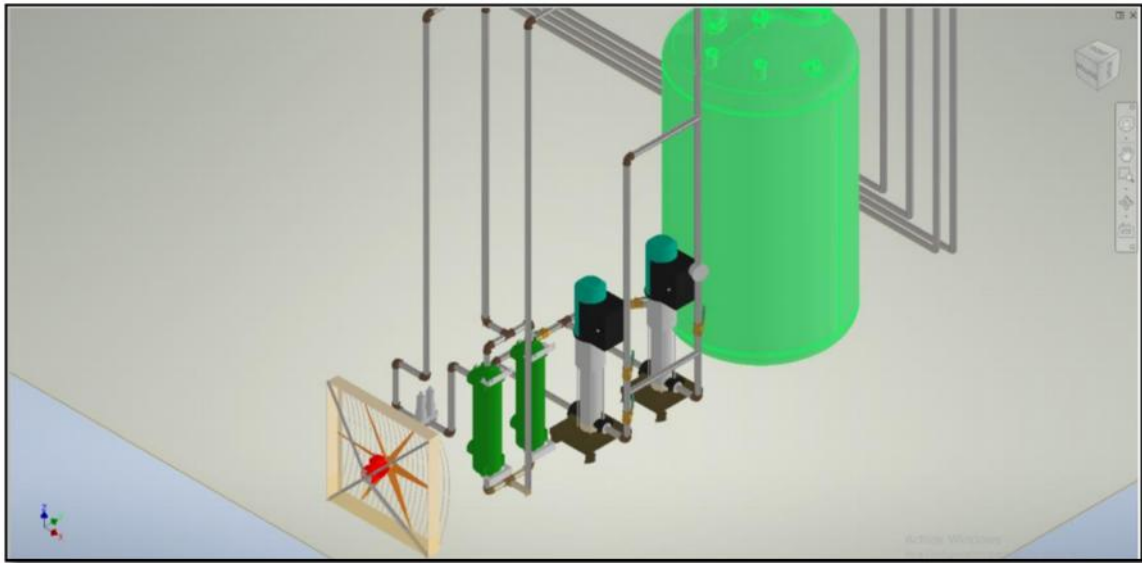
3	3.1	Junta giratoria atornillada
	3.2	Tuerca completa para tubería de agua de 28mm
	3.3	Tubing 28x5mmx6000mm acerado

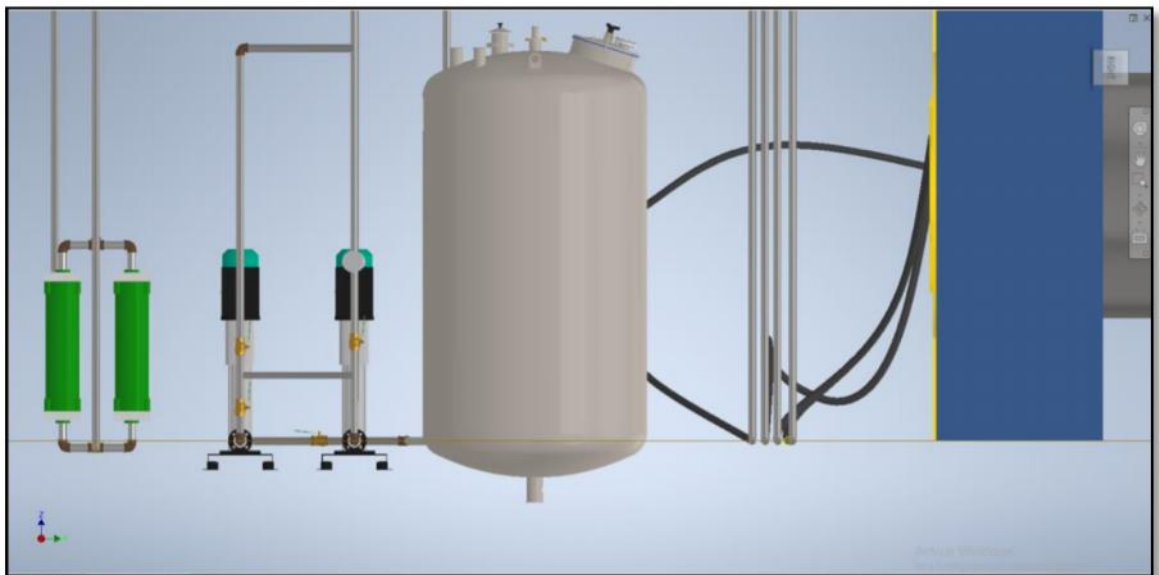
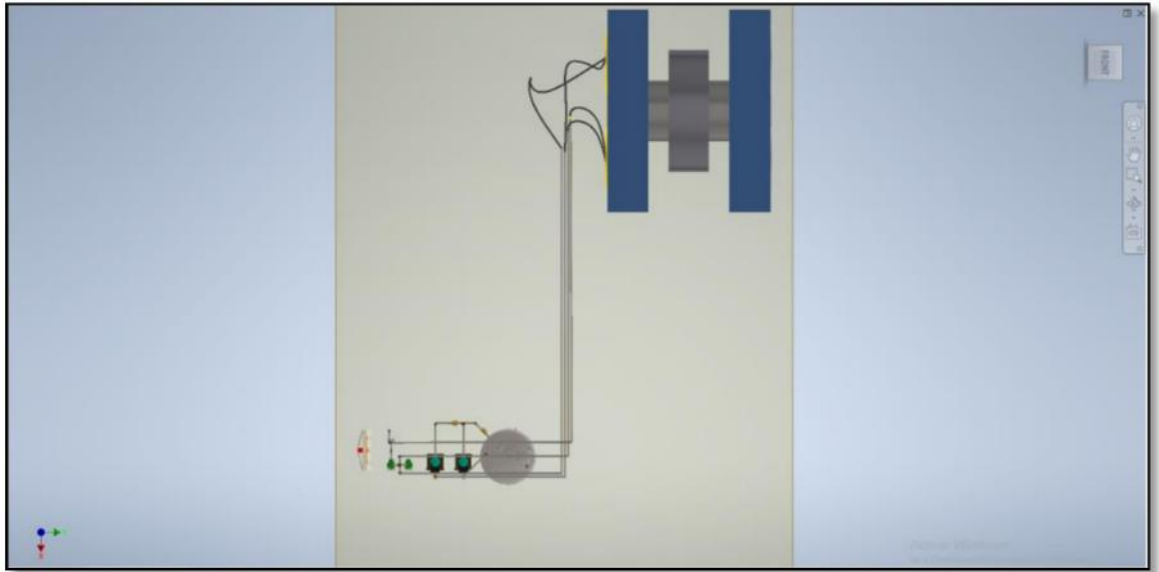
## Anexo IV. Sistema de enfriamiento de eje de prensa de rodillo



	1.1	Codo giratorio
1	1.2	Tapa interior
	1.3	Tapa exterior
2	2.1	Tubo de enfriamiento en PVC

## Anexo V. Diferentes vistas del sistema de enfriamiento de ejes de rodillo





## Anexo VI. Rajadura en eje de rodillo



## Anexo VII. Modelo propuesto de orden de trabajo

<b>N° OT</b>	
<b>ORDEN DE TRABAJO</b>	
Solicitado por	
Equipo	
Sistema	
Descripción de modo de falla	
Supervisor del área	
Materiales y componentes requeridos	
Encargado de operación	
Responsable	
Inicio de servicio ejecutado	
Fecha y hora:	
Finalización de servicio ejecutado	
Fecha y hora:	