

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**Facultad de Ingeniería Industrial y de Sistemas**  
**UNIDAD DE POSGRADO**



**TESIS**

**“MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA  
CONFIABILIDAD APLICADO A LA  
INDUSTRIA CEMENTERA PERUANA PARA  
INCREMENTAR LA RENTABILIDAD”**

**PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO  
EN CIENCIAS CONMENCION EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**ELABORADO POR:**

**ING. MICHAEL ADRIAN CHAMBI ESTRADA**  
**ORCID: 0009-0007-7321-5992**

**ASESOR**

**DRA. GLORIA ESTHER VALDIVIA CAMACHO**  
**ORCID: 0000-0003-4997-2452**

**LIMA – PERU**  
**2024**

**DEDICATORIA**

*A mis padres Hermogenes y Haydee por ser un ejemplo de constancia y perseverancia. A mi esposa e hijos por ser mi mayor motivación y brindarme su apoyo continuo.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi Universidad, profesores de la maestría, mi asesora, revisores y al personal de la empresa Unacem quienes me apoyaron durante la Investigación.

## **RESUMEN**

La investigación que se propone estudiará la problemática de disminución de la producción e incremento de costos de mantenimiento, debido a paradas no programadas de los sistemas críticos de producción de las empresas cementeras. Actualmente los desafíos que afrontan las empresas del sector obligan a incrementar la disponibilidad y confiabilidad de los sistemas productivos para satisfacer la creciente demanda, cumpliendo los requisitos de calidad, seguridad y medio ambiente.

Para solucionar el problema descrito se propone adaptar el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés Reliability Centered Maintenance) a la gestión de mantenimiento de las empresas, con el fin de analizar el impacto de las fallas en los sistemas productivos, mejorar el plan de mantenimiento y minimizar las paradas no programadas, de este modo se reducirán costos operativos reduciendo la ocurrencia de fallos.

La solución que se propone está basada en la aplicación de los conceptos y técnicas de RCM, en el estudio de normas vigentes que establecen criterios para la aplicación de RCM y RCM Power Plant en investigaciones y casos de éxito elaborados por diversos autores.

Se desarrollará un caso de aplicación en una empresa del sector con importante participación en el mercado peruano, se integrará RCM a los procesos de mantenimiento y formularán mejoras a los planes de mantenimiento, permitiendo

incrementar la disponibilidad, productividad y rentabilidad de la compañía.

**Palabras claves**

Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), industria cementera, gestión de mantenimiento, criticidad de activos, análisis de Fallos.

## **ABSTRACT**

The proposed research will study the problem of decreased production and increased maintenance costs, due to unscheduled shutdowns of critical production systems of cement companies. Currently, the challenges faced by companies in the sector force to increase the availability and reliability of production systems to meet the growing demand, meeting the requirements of quality, safety and environment.

To solve the problem described, it is proposed to adapt Reliability Centered Maintenance (RCM) to the maintenance management of companies, to analyze the impact of failures in production systems, improve the maintenance plan and minimize unscheduled shutdowns, thus reducing operating costs by reducing the occurrence of failures.

The proposed solution is based on the application of RCM concepts and techniques, on the study of current standards that meet criteria for the application of RCM and RCM Power System, on research and success stories prepared by various authors.

An application case will be developed in a company in the sector with significant participation in the Peruvian market, RCM will be integrated into the maintenance processes and improvements will be made to the maintenance plans, increasing the availability, productivity and cost effectiveness of the company.

**Keywords**

Reliability Centered Maintenance (RCM), cement industry, maintenance management, asset criticality, failure analysis.

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación se refiere a la problemática de las empresas productoras de cemento en Perú, que afrontan retos debido al aumento de la demanda y consumo de cemento per cápita. Una de las principales características de estas empresas es que sus procesos de fabricación de cemento son de producción masiva y de frecuencia continua. En este tipo de procesos, las paradas de los sistemas debido a fallos o averías incrementan los costos de producción, reduce la disponibilidad de los equipos e impide que las empresas enfrenten los retos de la demanda de manera competente.

La investigación de esta problemática en las empresas cementeras se realizó por el interés de aplicar y conocer métodos que permitan a las empresas elevar la confiabilidad y disponibilidad de los sistemas productivos con el fin de elevar la productividad y de ese modo puedan enfrentar exitosamente los retos del sector y mejorar su rentabilidad.

En el marco de la investigación, por el objetivo es una investigación, según el nivel de profundización es una investigación descriptiva y explicativa con enfoque cuantitativo experimental, basada fundamentalmente en la observación, según el seguimiento de las variables es transversal, los datos son recopilados en el 2019 y 2020.

El diseño de la investigación es experimental y está basada en la revisión de

documentos, observación, visitas de campo y análisis de registros. La población sujeta de estudio son las empresas productoras de cemento en Perú, la muestra es la empresa Unacem que posee más del 42% de participación del mercado. En la etapa de simulación de resultados, aplicando RCM en 2019 y 2020, se analizarán y manipularán variables de producción y mantenimiento de la muestra de la población.

El objetivo general de la tesis es Integrar el mantenimiento centrado en la confiabilidad en la industria cementera peruana para generar un impacto favorable en la rentabilidad.

La tesis propone 5 objetivos específicos orientados a la evaluación de la gestión de mantenimiento, a la identificación de sistema críticos, a la elaboración de procedimiento para el análisis de modo de fallos y sus efectos, al desarrollo de planes de mantenimiento basado en el mantenimiento centrado en confiabilidad y a la validación de le propuesta de integración del mantenimiento centrado en la confiabilidad en la población muestra.

En el capítulo I se realiza el protocolo de la investigación, se presenta el planteamiento de la investigación y la descripción de la problemática.

En el capítulo II veremos el marco teórico, se presenta la descripción del proceso de producción del cemento, el mantenimiento y sus tipos, modelos de gestión de mantenimiento, mantenimiento centrado en la confiabilidad, índices de clase mundial y otros conceptos asociados.

En al capítulo III se presenta la aplicación del mantenimiento centrado en confiabilidad, la aplicación se enfoca en uno de los sistemas críticos de la empresa Unacem, se desarrollan las 10 fases de RCM, la definición de los principales indicadores, el listado y codificación de equipos o sistemas, la definición de las funciones de los subsistemas, identificación de fallos funcionales y técnicos, la identificación de modos de fallos, identificación de consecuencias de fallos y su

criticidad, presentación de medidas preventivas, elaboración del plan de mantenimiento y mejoras, aplicación simulada de las medidas preventivas y evaluación de medidas adoptadas,

En el capítulo IV se presentan las conclusiones de la investigación y las recomendaciones.

## TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
RESUMEN.....	xxiii
ABSTRACT .....	xxv
INTRODUCCIÓN.....	xxvii
TABLA DE CONTENIDO .....	xxx
LISTA DE TABLAS.....	xxxvi
LISTA DE FIGURAS .....	xliv
LISTA DE ECUACIONES.....	xlvi
<b>CAPÍTULO I PROTOCOLO DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>47</b>
<b>1.1. Planteamiento de la Investigación.....</b>	<b>47</b>
<b>1.2. Descripción de la problemática .....</b>	<b>47</b>
<b>1.3. Formulación del problema .....</b>	<b>53</b>
1.1.1. Problema Principal .....	53
1.1.2. Problemas Específicos .....	53
<b>1.4. Objetivos de la investigación.....</b>	<b>54</b>
1.1.3. Objetivo general .....	54
1.1.4. Objetivos específicos.....	54

<b>1.5. Justificación.....</b>	<b>54</b>
<b>1.6. Hipótesis .....</b>	<b>56</b>
1.1.5. Hipótesis Principal .....	56
1.1.6. Hipótesis específicas .....	56
<b>1.7. Variables .....</b>	<b>56</b>
1.1.7. Variables Independientes .....	57
1.1.8. Variables Dependientes.....	57
<b>1.8. Indicadores .....</b>	<b>57</b>
1.1.9. Indicadores de la variable VI1.....	57
1.1.10. Indicadores de la variable VD1 .....	57
<b>1.9. Tipo de investigación .....</b>	<b>58</b>
<b>1.10. Método de investigación.....</b>	<b>58</b>
<b>1.11. Población y muestra .....</b>	<b>59</b>
<b>1.12. Técnicas e instrumentos para recolección y análisis de datos .....</b>	<b>60</b>
<b>CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>61</b>
<b>2.1. Antecedentes .....</b>	<b>61</b>
<b>2.2. Marco Teórico .....</b>	<b>68</b>
2.2.1. Cemento.....	68
2.2.2. Proceso de Producción del Cemento.....	68
2.2.2.1. Extracción de la Caliza en la Cantera. ....	69
2.2.2.2. Reducción del Tamaño y Homogenización de la Caliza. ....	70
2.2.2.3. Molienda de Crudo y homogeneización.....	70
2.2.2.4. Obtención del Clínter .....	71
2.2.2.5. Obtención del Cemento.....	72

2.2.2.6.	Envase y Despacho del Cemento .....	72
2.2.3.	Mantenimiento .....	72
2.2.4.	Gestión de Mantenimiento .....	73
2.2.5.	Objetivos del Mantenimiento.....	74
2.2.6.	Fallas.....	75
2.2.7.	Tipos de Mantenimiento .....	75
2.2.7.1.	Mantenimiento Correctivo.....	75
2.2.7.2.	Mantenimiento Preventivo. ....	76
2.2.7.3.	Mantenimiento Funcional.....	77
2.2.7.4.	Mantenimiento Predictivo.....	77
2.2.7.5.	Mantenimiento Proactivo. ....	77
2.2.8.	Modelos de Gestión de Mantenimiento.....	78
2.2.9.	Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – RCM .....	78
2.2.9.1.	Principios de RCM.....	78
2.2.9.2.	Metodología de Aplicación de RCM.....	79
2.2.9.3.	Herramientas usadas por RCM.....	85
2.2.9.4.	RCM Power Plant y las 10 fases para la aplicación. ....	87
2.2.10.	Índices de Clase Mundial .....	89
2.2.11.	Norma SAE JA1011 y SAE JA1012 .....	92
2.2.12.	Costos y gastos.....	92
2.2.13.	Costo de Mantenimiento .....	94
2.2.14.	Rentabilidad .....	95
<b>CAPÍTULO III RCM APLICADO A LA INDUSTRIA CEMENTERA .....</b>		<b>97</b>
<b>3.1. Fase 1 para la implantación de RCM: Objetivos, indicadores y valoración</b>		<b>97</b>
.....		<b>97</b>
3.1.1.	Principales Indicadores del Sistema línea 1 de Clinkerización.....	110

3.1.1.1. Disponibilidad de la línea 1 de clinkerización el 2019 y 2020.....	110
3.1.1.2. MTBF y MTTR de la línea 1 de clinkerización el 2019 y 2020.....	111
3.1.1.3. Costo de mantenimiento por producción de clinker de la línea 1 de clinkerización el 2019 y 2020. ....	113
3.1.1.4. Costo de mantenimiento por valor de reposición (activos) de la línea 1 de clinkerización el 2019 y 2020.....	113
3.1.1.5. Margen de utilidad bruta de Unacem el 2019 y 2020.....	115
<b>3.2. Fase 2 para la Implementación de RCM: Listado y codificación de equipos .....</b>	<b>115</b>
3.2.1. Sistemas y Subsistemas de la Línea 1 de clinkerización .....	116
3.2.1.1 Sistema de descarga de silos de mezcla. ....	116
3.2.1.2. Sistema de alimentación al intercambiador de calor. ....	118
3.2.1.3. Sistema Intercambiador de Calor. ....	121
3.2.1.4. Sistema de recuperación de polvo de harina cruda. ....	122
3.2.1.5. Sistema de clinkerización con horno rotativo. ....	125
3.2.1.6. Sistema del enfriador de clinker.....	127
3.2.1.7. Sistema de recuperación de polvo de clinker.....	129
3.2.1.8. Sistema de transporte de clinker.....	132
<b>3.3. Fase 3 para la implementación de RCM: Funciones de subsistemas .....</b>	<b>133</b>
3.3.1. Evaluación de equipos con mayor cantidad de averías y gasto por mantenimiento en 2019 y 2020.....	133
3.3.1.1. Análisis Pareto de averías y subsistemas en 2019 y 2020.....	139
3.3.2. Funciones de subsistemas .....	143
<b>3.4. Fase 4 para la implementación de RCM: Fallos funcionales y técnicos.</b>	

.....	145
<b>3.5. Fase 5 para la implementación de RCM: Modos de fallos.</b>	<b>148</b>
<b>3.6. Fase 6 para la implementación de RCM: Consecuencias de fallos, criticidad.</b>	<b>156</b>
3.6.1. Categorización para los modos de fallo según su evidencia	156
3.6.2. Categorización para los modos de fallo por consecuencia	157
3.6.3. Categorización para los modos de fallo por probabilidad que ocurran.	158
3.6.4. Calificación de criticidad de modos de fallo del Horno 1 y subsistemas.	158
<b>3.7. Fase 7 para la implementación de RCM: Medidas preventivas</b>	<b>175</b>
<b>3.8. Fase 8 para la implementación de RCM: Plan de mantenimiento y mejoras.</b>	<b>195</b>
3.8.1. Plan de mantenimiento y mejoras como resultado de RCM.	195
3.8.1.1. Actividades de Mantenimiento y mejoras para el subsistema 441HR1ES1	195
3.8.1.2. Actividades de Mantenimiento para el subsistema 441HR1SL1TC1	202
3.8.1.3. Actividades de Mantenimiento para los subsistemas 441HR1PO1, 441HR1PO2 y 441HR1PO3:	204
3.8.1.4. Actividades de Mantenimiento para el subsistema 441HR1RD1:	207
3.8.2. Plan de implementación de RCM.	209
<b>3.9. Fase 9 para la implementación de RCM: Aplicación de medidas preventivas.</b>	<b>211</b>
<b>3.10. Fase 10 para la implementación de RCM: Evaluación de medidas</b>	

<b>adoptadas.....</b>	<b>215</b>
3.10.1.    MTBF y MTTR aplicando RCM el 2019 y 2020. ....	217
3.10.2.    Resultados de producción después de aplicar RCM. ....	219
3.10.3.    Disponibilidad de la línea 1 de clinkerización aplicando RCM el 2019 y 2020. ....	219
3.10.4.    Resultados asociados al costo de mantenimiento. ....	221
3.10.5.    Costo de mantenimiento por producción de clinker aplicando RCM el 2019 y 2020. ....	223
3.10.6.    Costo de mantenimiento por valor de reposición (activos) de la línea 1 de clinkerización el 2019 y 2020 aplicando RCM.....	224
3.10.7.    Margen de utilidad bruta luego de aplicar RCM en la línea 1 de clinkerización. ....	225
<b>3.11.    Factibilidad económica.....</b>	<b>226</b>
3.11.1.    Inversión .....	226
3.11.2.    Beneficio .....	227
3.11.3.    Retorno de inversión .....	227
<b>CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>229</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>229</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>233</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>234</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>238</b>
<b>ANEXO 1: Matriz de consistencia .....</b>	<b>238</b>
<b>ANEXO 2: Funciones de subsistemas. ....</b>	<b>241</b>

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Técnicas e Instrumentos para recolectar información. ....	60
<b>Tabla 2</b> Capacidad anual de plantas de Unacem. ....	97
<b>Tabla 3</b> Valor de activos fijos de plantas de Unacem, 2019 y 2020. ....	99
<b>Tabla 4</b> Producción de clinker y despacho de cemento en planta Atocongo de Unacem, 2019 y 2020. ....	99
<b>Tabla 5</b> Valorización de la producción de clinker y cemento de planta Atocongo de Unacem, 2019 y 2020. ....	101
<b>Tabla 6</b> Sistemas productivos de planta Atocongo de Unacem. ....	101
<b>Tabla 7</b> Índices de disponibilidad de maquinaria promedio de planta Atocongo de Unacem, 2019 y 2020. ....	102
<b>Tabla 8</b> Capacidad de sistemas productivos, horas acumuladas por averías y pérdidas de producción por Avería en planta Atocongo de Unacem, 2019 y 2020. ....	104
<b>Tabla 9</b> Uso de capacidad de sistema de producción de clinker y despacho de cemento en planta Atocongo de Unacem, 2019 y 2020. ....	105
<b>Tabla 10</b> Costo de mantenimiento en planta Atocongo de Unacem, 2019 y 2020. ....	106
<b>Tabla 11</b> Relación entre el costo de mantenimiento y el valor de activos fijos de la planta Atocongo de Unacem, 2019 y 2020. ....	107
<b>Tabla 12</b> Elección del sistema de la línea 1 de clinkerización como sistema crítico. ....	110
<b>Tabla 13</b> Índices de disponibilidad de la Línea 1 de clinkerización, meses del 2019 y 2020. ....	110
<b>Tabla 14</b> Indicadores MTBF y MTTR de la Línea 1 de clinkerización del 2019. ....	111
<b>Tabla 15</b> Indicadores MTBF y MTTR de la Línea 1 de clinkerización del 2020. ....	112
<b>Tabla 16</b> Índice de costo de mantenimiento por producción de clinker en el 2019 y	

2020 de la Línea 1 de clinkerización.....	113
<b>Tabla 17</b> Indicador de costo de mantenimiento por el valor de reposición de la línea 1 declinkerización en el 2019 y 2020.....	114
<b>Tabla 18</b> Margen Utilidad Bruta Unacem, 2019 y 2020.....	115
<b>Tabla 19</b> Subsistemas y equipos del Sistema de descarga de silos de mezcla. ....	117
<b>Tabla 20</b> Subsistemas del sistema de alimentación al intercambiador de calor. ....	118
<b>Tabla 21</b> Subsistemas y equipos de sistema Intercambiador de Calor. ....	121
<b>Tabla 22</b> Subsistemas y equipos de Sistema de recuperación de polvo de harina cruda. ....	122
<b>Tabla 23</b> Subsistemas y equipos del sistema de clinkerización con horno rotativo. ....	125
<b>Tabla 24</b> Subsistemas y equipos del sistema enfriador de Clinker.....	127
<b>Tabla 25</b> Subsistemas y equipos del sistema de recuperación de polvo de Clinker. ....	130
<b>Tabla 26</b> Subsistemas y equipos del sistema de transporte de clinker.....	132
<b>Tabla 27</b> Cantidad de averías del sistema Línea 1 de clinkerización según subsistemas el 2019. ....	134
<b>Tabla 28</b> Cantidad de averías del sistema Línea 1 de clinkerización según subsistemas el2020. ....	134
<b>Tabla 29</b> Costo de mantenimiento correctivo por subsistema de la Línea 1 de clinkerización el 2019. ....	135
<b>Tabla 30</b> Costo de mantenimiento correctivo por subsistema de la Línea 1 de clinkerización el 2020.....	136
<b>Tabla 31</b> Cantidad de averías en la Línea 1 de clinkerización por equipo o subsistema, 2019.....	141
<b>Tabla 32</b> Cantidad de averías en la Línea 1 de clinkerización por equipo o	

subsistema, 2020.....	142
<b>Tabla 33</b> Elección del subsistema Horno 1 441HR1 para continuar la investigación. .....	143
<b>Tabla 34</b> Subsistema 5.4 Horno 1 y sus subsistemas. ....	143
<b>Tabla 35</b> Funciones de los subsistemas del 441HR1 (5.4. Horno 1).....	144
<b>Tabla 36</b> Fallos principales y secundarios de los subsistemas de 5.4 Horno 1. ....	146
<b>Tabla 37</b> Modos de fallo de subsistemas del 5.4 Horno 1.....	150
<b>Tabla 38</b> Nivel de gravedad según el tipo de consecuencia del fallo. ....	157
<b>Tabla 39</b> Matriz de calificación de los modos de fallo. ....	158
<b>Tabla 40</b> Calificación de consecuencia de modos de fallo para 441HR1ES1: “A. Sobrecalentamiento del acero, no soporta altas temperaturas hasta 450°C”.....	159
<b>Tabla 41</b> Calificación de consecuencia de modos de fallo para 441HR1ES1: “B. No alcanza velocidad de 0.1 rpm durante la marcha”.....	161
<b>Tabla 42</b> Calificación de consecuencia de modos de fallo para 441HR1ES1: “C. No logra velocidades de 0.1 a 5 rpm en operación según la consigna”.....	162
<b>Tabla 43</b> Calificación de consecuencia de modos de fallo para 441HR1ES1: “D. No recibe material continuo entre 50 y 500t/h, según la consigna”.....	163
<b>Tabla 44</b> Calificación de consecuencia de modos de fallo para 441HR1ES1: “E. No permite el desarrollo de las fases de formación de Clinker”.....	164
<b>Tabla 45</b> Calificación de consecuencia de modos de fallo para 441HR1SL1TC1: “A. No lubrica el sistema de transmisión de manera homogénea según las condiciones configuradas”.....	166
<b>Tabla 46</b> Calificación de consecuencia de modos de fallo para 441HR1PO1 / 441HR1PO2 / 441HR1PO3: " A. No sostiene el cilindro del horno ni conduce cargas los rodillos de llanta 1". ....	168
<b>Tabla 47</b> Calificación de consecuencia de modos de fallo para 441HR1PO1 /	

441HR1PO2 / 441HR1PO3: "B. Temperatura de cojinete mayor a 80°C" .....	169
<b>Tabla 48</b> Calificación de consecuencia de modos de fallo para 441HR1RD1: "A. No mantiene el horno en la dirección Axial, dentro de + o - 5mm de la posición cero". .....	171
<b>Tabla 49</b> Calificación de consecuencia de modos de fallo para 441HR1RD1: "A. El sistema trabaja por encima de 50 bar" .....	172
<b>Tabla 50</b> Calificación de consecuencia de modos de fallo para 441HR1RD1: "A. El sistema no genera alarma si el desplazamiento estafuera del rango + o -10mm".	174
<b>Tabla 51</b> Medidas preventivas del subsistema 441HR1ES1 para atenuar o eliminar efectosdel fallo: "A. Sobre calentamiento del acero, no soporta altas temperaturas hasta 450°C".....	176
<b>Tabla 52</b> Medidas preventivas del subsistema 441HR1ES1 para atenuar o eliminar efectosdel fallo: "B. No alcanza velocidad de 0.1 rpm durante la marcha".....	178
<b>Tabla 53</b> Medidas preventivas del subsistema 441HR1ES1 para atenuar o eliminar efectos del fallo: "C. No logra velocidades de 0.1 a 5 rpm en operación según la consigna".....	179
<b>Tabla 54</b> Medidas preventivas del subsistema 441HR1ES1 para atenuar o eliminar efectosdel fallo: "D. No recibe material continuo entre 50 y 500t/h, según la consigna".....	181
<b>Tabla 55</b> Medidas preventivas del subsistema 441HR1ES1 para atenuar o eliminar efectosdel fallo: "E. No permite el desarrollo de las fases de formación de Clinker". .....	182
<b>Tabla 56</b> Medidas preventivas del subsistema 441HR1SL1TC1 para atenuar o eliminar efectos del fallo: "A. No lubrica el sistema de transmisión de manera homogéneasegún las condiciones configuradas".....	185
<b>Tabla 57</b> Medidas preventivas de subsistemas 441HR1PO1 / 441HR1PO2 /	

441HR1PO3 para atenuar o eliminar efectos del fallo: “A. No sostiene el cilindro del horno ni conduce cargas a los rodillos de llanta 1” .....	187
<b>Tabla 58</b> Medidas preventivas de subsistemas 441HR1PO1 / 441HR1PO2 / 441HR1PO3 para atenuar o eliminar efectos del fallo: “B. Temperatura de cojinete mayor a 80°C” .....	189
<b>Tabla 59</b> Medidas preventivas de subsistemas 441HR1RD1 para atenuar o eliminar efectos del fallo: “A. No mantiene el horno en la dirección Axial, dentro de + o - 5mm de la posición cero” .....	190
<b>Tabla 60</b> Medidas preventivas de subsistemas 441HR1RD1 para atenuar o eliminar efectos del fallo: “B. El sistema trabaja por encima de 50 bar” .....	192
<b>Tabla 61</b> Medidas preventivas de subsistemas 441HR1RD1 para atenuar o eliminar efectos del fallo: “C. El sistema no genera alarma si el desplazamiento esta fuera del rango + o -10mm” .....	194
<b>Tabla 62</b> Tareas del plan de mantenimiento propuesto para el 441HR1ES1. ....	195
<b>Tabla 63</b> Modificaciones, cambios de procedimientos y medidas tendentes a minimizar efectos del fallo sobre 441HR1ES1. ....	200
<b>Tabla 64</b> Tareas del plan de mantenimiento propuesto para el 441HR1SL1TC1. ....	202
<b>Tabla 65</b> Modificaciones, cambios de procedimientos y medidas tendentes a minimizar efectos del fallo sobre 441HR1SL1TC1. ....	203
<b>Tabla 66</b> Tareas del plan de mantenimiento propuesto para los subsistemas 441HR1PO1, 441HR1PO2, 441HR1PO3. ....	204
<b>Tabla 67</b> Modificaciones, cambios de procedimientos y medidas tendentes a minimizar efectos del fallo sobre subsistemas 441HR1PO1 / 441HR1PO2 / 441HR1PO3. ....	206
<b>Tabla 68</b> Tareas del plan de mantenimiento propuesto para 441HR1RD1. ....	207
<b>Tabla 69</b> Modificaciones, cambios de procedimientos y medidas tendentes a	

minimizarefectos del fallo sobre subsistemas 441HR1RD1. ....	208
<b>Tabla 70</b> Inversión del proyecto de aplicación de RCM. ....	211
<b>Tabla 71</b> Costo de mejoras y plan de mantenimiento propuesto para subsistemas del horno1 para el año 1. ....	212
<b>Tabla 72</b> Costo de mejoras y plan de mantenimiento propuesto para subsistemas del horno1 para el año 2. ....	212
<b>Tabla 73</b> Costo del plan de mantenimiento y mejoras del año 1 comparado con costo delplan aplicado el 2019. ....	214
<b>Tabla 74</b> Costo del plan de mantenimiento y mejoras del año 2 comparado con costo delplan aplicado el 2020. ....	214
<b>Tabla 75</b> Averías del subsistema Horno 1 que generaron paradas en el sistema principal y el periodo de recuperación, 2019 y 2020. ....	216
<b>Tabla 76</b> Resultados de nuevos indicadores MTBF y MTTR de la línea de clinkerizacióndespués de aplicar RCM el 2019. ....	217
<b>Tabla 77</b> Resultados de nuevos indicadores MTBF y MTTR de la línea de clinkerización después de aplicar RCM el 2020. ....	218
<b>Tabla 78</b> Resultados asociados a producción, luego de aplicar RCM el 2019 y 2020 (simulación). ....	219
<b>Tabla 79</b> Resultado de indicadores de disponibilidad para el 2019 de la línea 1 de clinkerización aplicando RCM. ....	220
<b>Tabla 80</b> Resultado de indicadores de disponibilidad para el 2020 de la línea 1 de clinkerización aplicando RCM. ....	220
<b>Tabla 81</b> Reducción del costo de mantenimiento correctivo generado por averías el 2019 y 2020. ....	222
<b>Tabla 82</b> Variación del costo del plan de mantenimiento sin RCM y con RCM el 2019 y 2020. ....	222

<b>Tabla 83</b> Variación del costo de mantenimiento de la línea 1 de clinkerización aplicando RCM, el 2019 y 2020. ....	223
<b>Tabla 84</b> Cálculo del índice Costo de Mantenimiento por Producción de Clinker luego de aplicar RCM el 2019 y 2020. ....	223
<b>Tabla 85</b> Costo de mantenimiento por el valor de reposición de la línea 1 de clinkerización luego de aplicar RCM el 2019 y 2020. ....	224
<b>Tabla 86</b> Margen de utilidad bruta luego de la aplicación de RCM en la línea 1 de clinkerización el 2019 y 2020. ....	225
<b>Tabla 87</b> Inversión 2019 y 2020, incremento de presupuesto en subsistema Horno 1. ....	226
<b>Tabla 88</b> Variación de utilidad bruta sin RCM y con RCM el 2019 y 2020. ....	227
<b>Tabla 89</b> Retorno de Inversión para 2019 y 2020. ....	228
<b>Tabla 90</b> Matriz de consistencia. ....	238
<b>Tabla 91</b> Funciones de subsistemas del sistema de descarga de silos de mezcla de la línea 1 de clinkerización de la planta Atocongo de Unacem. ....	241
<b>Tabla 92</b> Funciones de subsistemas del sistema de alimentación a intercambiador de calor de la línea 1 de clinkerización de la planta Atocongo de Unacem. ....	244
<b>Tabla 93</b> Funciones de subsistemas del sistema intercambiador de calor de la línea 1 de clinkerización de la planta Atocongo de Unacem. ....	247
<b>Tabla 94</b> Funciones de subsistemas del sistema de recuperación de polvo de harina cruda de la línea 1 de clinkerización de la planta Atocongo de Unacem. ....	250
<b>Tabla 95</b> Funciones de subsistemas del sistema de clinkerización con horno rotativo de la línea 1 de clinkerización de la planta Atocongo de Unacem. ....	254
<b>Tabla 96</b> Funciones de subsistemas del sistema de enfriador de clinker de la línea 1 de clinkerización de la planta Atocongo de Unacem. ....	259
<b>Tabla 97</b> Funciones de subsistemas del sistema de recuperación de polvo de	

clinker del enfriador de la línea 1 de clinkerización de la planta Atocongo de Unacem. ....	264
<b>Tabla 98</b> Funciones de subsistemas del sistema de transporte de clinker del Horno 1 de la planta Atocongo de Unacem. ....	268

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Participación de mercado, despacho de cemento 2019. ....	48
<b>Figura 2</b> Consumo per-cápita de cemento 2010 a 2019 (anuales, en kg por persona). ....	50
<b>Figura 3</b> Capacidad de producción de cemento, producción, y ratio de utilización, 2016 al 2019. ....	51
<b>Figura 4</b> Estructura general del modelo de decisión de gestión de mantenimiento.	62
<b>Figura 5</b> Modelo para superar los problemas y barreras que dificultan la mejora del mantenimiento en las cementeras. ....	68
<b>Figura 6</b> Diagrama de flujo de proceso productivo del cemento, incluye suministros y emisiones. ....	69
<b>Figura 7</b> Las siete preguntas del RCM. ....	80
<b>Figura 8</b> Probabilidad condicional de fallo contra la vida útil. ....	83
<b>Figura 9</b> Fases de aplicación RCM Power Plant. ....	89
<b>Figura 10</b> Interpretación gráfica de los índices TMPF, TMEF y TMPR. ....	91
<b>Figura 11</b> Estado de resultados. ....	94
<b>Figura 12</b> Curvas de costo del mantenimiento con relación al tiempo. ....	94
<b>Figura 13</b> Capacidad de producción de cemento en plantas de Unacem en Perú. ....	98
<b>Figura 14</b> Capacidad de producción de clinker en plantas de Unacem Perú. ....	98
<b>Figura 15</b> Producción de clinker el 2019 y 2020 en planta Atocongo de Unacem. ....	100
<b>Figura 16</b> Producción de cemento el 2019 y 2020 en planta Atocongo de Unacem. ....	100
<b>Figura 17</b> Costo total de mantenimiento y costo de mantenimiento de la línea 1 de clinkerización el 2019 y 2020. ....	108
<b>Figura 18</b> Diagrama de capacidades nominales de principales sistemas para la producción de cemento en Planta Atocongo de Unacem. ....	109

<b>Figura 19</b> Sistemas que conforman el sistema de producción de la línea 1 de clinker de la planta Atocongo de Unacem. ....	116
<b>Figura 20</b> Distribución del costo de mantenimiento en planta Atocongo el 2019. .	137
<b>Figura 21</b> Distribución de costo de mantenimiento en planta Atocongo el 2020. ..	138
<b>Figura 22</b> Diagrama de Pareto de averías y subsistemas de la Línea 1 de clinkerización el 2019. ....	139
<b>Figura 23</b> Diagrama de Pareto de averías y subsistemas de la Línea 1 de clinkerización el 2020. ....	140
<b>Figura 24</b> Fallos ocultos y detectables. ....	156

## LISTA DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1</b> Tiempo Medio Entre Fallas .....	90
<b>Ecuación 2</b> Tiempo Medio para Reparación .....	90
<b>Ecuación 3</b> Tiempo Medio Para la Falla .....	90
<b>Ecuación 4</b> Disponibilidad de Equipos .....	91
<b>Ecuación 5</b> Costo de Mantenimiento por Facturación .....	92
<b>Ecuación 6</b> Costo de Mantenimiento por el Valor de Reposición .....	92

# **CAPÍTULO I**

## **PROTOCOLO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1. Planteamiento de la Investigación**

La investigación estudia la problemática de las empresas que producen cemento en Perú, que afrontan retos debido al incremento de la demanda y consumo cemento per cápita, desarrollo de programas de inversión y reactivación del sector construcción.

Un estudio hecho a una de las empresas del sector evidenció que el proceso es de producción masiva, con frecuencia continua y que se fabrica más de un tipo de producto con los mismos equipos variando solo el medio de almacenamiento. (Marchena Medina, Martínez Puccinelli, Paredes Libio, & Roldan Rojas, 2019)

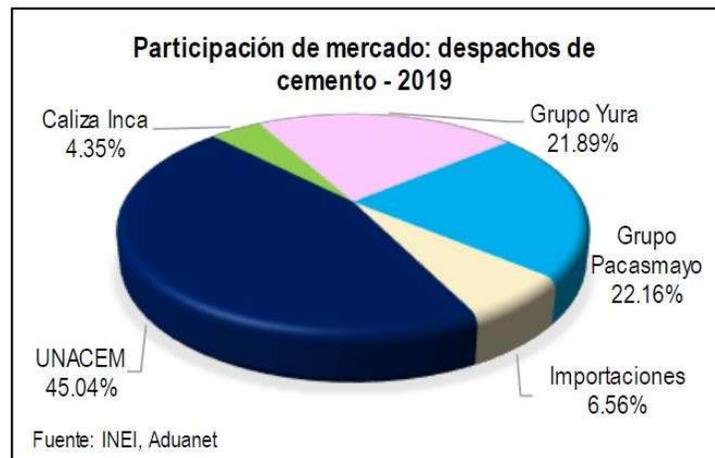
Las paradas no programadas de los sistemas productivos incrementan los costos de producción e impide que las empresas puedan enfrentar los nuevos retos de manera competente.

### **1.2. Descripción de la problemática**

Por la ubicación geográfica, en el centro de la costa y la sierra, el abastecimiento de cemento es liderado por las empresas UNACEM y Caliza Cemento Inca, en el norte del país por Cementos Pacasmayo y en el sur del país por Yura.

UNACEM alcanza la mayor participación del mercado nacional (45.04% de los despachos realizados en el ejercicio 2019), debido a que en Lima es donde se desarrolla la mayor cantidad de proyectos públicos y privados y se concentra la mayor población con la más elevada capacidad de consumo del país (Chang, 2020). La Figura 1 muestra la distribución del mercado de las empresas del sector el 2019.

**Figura 1**  
*Participación de mercado, despacho de cemento 2019.*



*Nota:* Chang, 2020.

Para mantener el liderazgo y correcto aprovechamiento de la ventaja competitiva, las empresas deben establecer estrategias que garanticen su crecimiento sostenible.

El 2019, UNACEM declaró ingresos por S/ 1,985.11 millones, 0.82% más respecto al 2018 (S/ 1,968.99 millones). A diciembre del 2019, el resultado neto ascendió a S/ 348.92 millones, 44.05% superior al del resultado del 2018, que fue de S/ 242.22 millones, explicado por los menores gastos de administración (Pizarro, 2020).

El 2019, el Grupo Pacasmayo declaró ventas por S/ 1,392.70 millones, 10.28% más respecto al 2018, debido a la reactivación de obras en el sector construcción, público y privado y el aumento de la autoconstrucción en el norte del

país. Los costos de ventas fueron S/ 905.81 millones, superiores en 13.77% respecto al ejercicio 2018, ocasionados por incremento de la producción y por el mix de sus ventas, a lo que se agregó el uso de clínker de mayor costo durante el mantenimiento del horno principal en Pacasmayo y el incremento de los costos de producción por el transporte de clínker de Piura a Pacasmayo (Chang, 2020).

La falta de disponibilidad y caídas en el rendimiento de los activos críticos para los procesos productivos de clínker y cemento, incrementan el costo de producción e impactan negativamente en el resultado neto de la compañía.

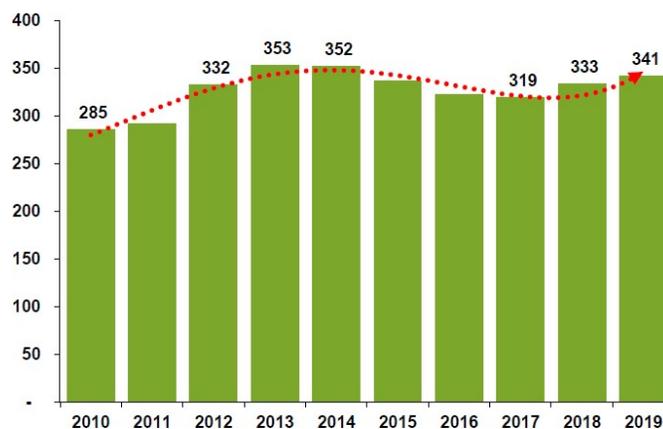
Una de las empresas del sector, en el 2019, tuvo problemas en diversas líneas de producción debido a paradas por averías mecánicas, eléctricas y operativas. Por ejemplo, en el primer trimestre ocurrieron paradas por avería mecánicas en el circuito de chancado primario, acumulando aproximadamente 153 horas de parada. Nuevamente en el primer trimestre, los sistemas de molienda de harinade crudo sufrieron paradas no programadas a causa de averías eléctricas y mecánicas, acumulando 383 horas de parada, dejando de producir 114000 toneladas de harina de crudo aproximadamente. Durante el periodo del 2019, uno de los hornos experimentó paradas por averías, en su mayoría mecánicas, dichas averías generaron 176 horas de parada, dejando de producir aproximadamente 88000 toneladas de Clinker, afectando el stock de Clinker, generando gastos no presupuestados, sumado a ello los riesgos que se generan cuando se realizan intervenciones de emergencia. Las líneas de producción de cemento también sufrieron paradas por averías, en el segundo trimestre una de las líneas de molienda acumuló 359 horas de parada, equivalentes a 43000 toneladas decemento, alterando nuevamente el stock de cemento. En la etapa de embolsado y despacho de cemento, en el primer y cuarto trimestre del 2019, las averías generaron 1120 horas de parada, dejándose de embolsar en ese tiempo 16 millones de bolsas aproximadamente. Las

fallas por averías generan pérdidas de producción e incremento de costos. Las áreas de producción realizan cambios en su sistema de planificación para recuperar el stock, sin embargo, dicha acción no elimina los gastos que se generan debido a las reparaciones de emergencia, tampoco se recupera el tiempo gastado en los puntos de despacho.

Las paradas no programadas y el impacto en los procesos operativos y en finanzas de las compañías, se presenta en todas las plantas del sector cementero, las pérdidas varían entre una planta y otra, dependiendo de la capacidad productiva de cada una de ellas.

Respecto al consumo per cápita de cemento en Perú, en el reporte estadístico Anual publicado por Asocem (2020), según la Figura 2, se evidenció un crecimiento promedio anual equivalente a 2% entre el 2010 y 2019. Si se analiza el crecimiento desde el 2017, el crecimiento promedio anual de 3.3%. Según el crecimiento y la tendencia, proyectaron para el 2020 un consumo per cápita de cemento mayor al del 2013.

**Figura 2**  
*Consumo per-cápita de cemento 2010 a 2019 (anuales, en kg por persona).*



*Nota:* Asocem, 2020.

Las empresas cementeras deben garantizar la producción de cemento para

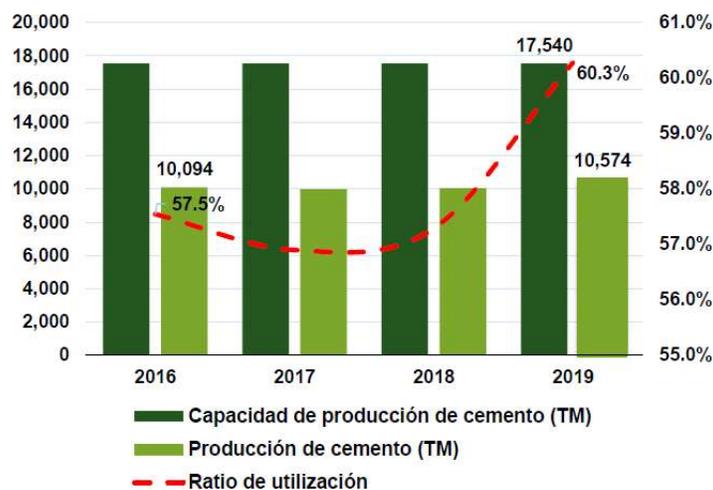
abastecer la creciente demanda y así mantener o aumentar su margen de participación en un mercado competitivo.

El 2019 las empresas productoras de cemento desarrollaron programas de inversión y mejoras de eficiencia mediante proyectos de modernización de tecnología en los procesos productivos, ello ha permitido que dichas empresas logren elevar su capacidad productiva.

Según Asocem (2020), las empresas productoras de cemento poseen capacidad suficiente para abastecer la demanda que generarían los programas agresivos de construcción en Perú. De acuerdo con la Figura 3, la capacidad productiva de cemento alcanzó las 17,540 mil TM y la producción de cemento llegó a 10,574 mil TM, generando 60.3% como ratio de utilización.

Una adecuada gestión de activos permite que los equipos logren su mayor eficiencia y reduce pérdidas económicas a las compañías, asegurando el retorno de la inversión.

**Figura 3**  
*Capacidad de producción de cemento, producción, y ratio de utilización, 2016 al 2019.*



*Nota:* Asocem, 2020.

La emergencia sanitaria a fines de abril del 2020 generó un impacto negativo en el crecimiento del sector construcción, CAPECO estimó un decrecimiento de 30%. Los grandes proyectos de infraestructura para desarrollo del país, la habilitación y ejecución de importantes proyectos mineros impulsarán la reactivación del sector. A ello se agrega la permanente demanda de autoconstrucción, la necesidad de obras de saneamiento y de obras de mantenimiento vial, entre otras (Pizarro, 2020).

A pesar del retraso del gasto en infraestructura en el Perú, el Grupo Pacasmayo tiene expectativas positivas en cuanto a incremento de sus ventas debido al importante potencial de crecimiento de la demanda de cemento, especialmente en la zona Norte del país, por los diferentes proyectos de infraestructura en ejecución en planeamiento, con énfasis en la autoconstrucción (Chang, 2020).

Un análisis hecho por Saavedra, 2020, revela que las empresas productoras de cemento lograron revertir los resultados negativos del segundo trimestre del 2020 y se proyecta la total recuperación para el 2021. La creciente demanda de cemento para obras de autoconstrucción y reconstrucción impulsó los ingresos de las principales empresas del sector durante el tercer trimestre, representantes de Cementos Pacasmayo y Unacem indicaron que han alcanzado récords históricos de despachos e ingresos en dicho trimestre, las ventas de Pacasmayo crecieron 10 % y de Unacem en 1%. El factor clave para ambas cementeras ha sido la autoconstrucción, que suele representar alrededor del 70%, pero en el tercer trimestre llegó al 90% (Saavedra, 2020).

Frente al escenario actual, la ausencia de planes de mejora y estrategias que aseguren la confiabilidad y disponibilidad de los sistemas productivos crea barreras para enfrentar exitosamente la reactivación del sector construcción en el país.

En el futuro, la industria del cemento se caracterizará por "ecosistemas" inteligentes auto organizados. En la producción, las máquinas podrán realizar gran

parte del trabajo con una intervención humana mínima o más específica. Muchas funciones de apoyo, como planificación, mantenimiento y ventas, se pueden centralizar para que sean más analíticas, predictivas y proactivas. La nueva tecnología también permitirá la centralización del mantenimiento especializado a través de la monitorización remota. De esta manera, las prácticas de mantenimiento reactivo serán reemplazadas por análisis de predicción de fallas para que se puedan reducir los tiempos de inactividad, aumentar aún más la eficiencia y completar el mantenimiento preventivo a un costo mínimo. (Walther, 2020)

### **1.3. Formulación del problema**

#### **1.1.1. Problema Principal**

El problema queda claramente formulado partir de plantear la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo aplicar mantenimiento centrado en la confiabilidad en la industria cementera peruana para incrementar la rentabilidad?

#### **1.1.2. Problemas Específicos**

1. ¿Cómo evaluar la gestión de mantenimiento de las empresas cementeras peruanas, desde la perspectiva del mantenimiento centrado en confiabilidad, para incrementar la rentabilidad?
2. ¿Cómo definir los sistemas críticos de una empresa del sector cementero que favorezcan el incremento de la rentabilidad?
3. ¿Cómo realizar el análisis de modos de fallas y sus efectos de modo que favorezca el incremento de la rentabilidad?
4. ¿Cómo preparar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad que mejore la rentabilidad?
5. ¿Cómo validar la propuesta de integración de mantenimiento centrado en

la confiabilidad en la industria cementera para favorecer la rentabilidad?

#### **1.4. Objetivos de la investigación**

La tesis plantea un objetivo general y 5 objetivos específicos:

##### **1.1.3. Objetivo general**

Integrar el mantenimiento centrado en la confiabilidad en la industria cementera peruana para generar un impacto favorable en la rentabilidad.

##### **1.1.4. Objetivos específicos**

1. Elaborar un esquema de evaluación de la gestión de mantenimiento basado en normas orientadas a RCM, que ayude a mejorar la rentabilidad.

2. Desarrollar un procedimiento para determinar los sistemas críticos de una empresa del sector cementero que favorezcan el incremento de la rentabilidad.

3. Elaborar un procedimiento para realizar el análisis de modos de fallas y sus efectos que favorezca el incremento de la rentabilidad.

4. Desarrollar un procedimiento para preparar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad orientado a mejorar la rentabilidad.

5. Validar la propuesta de integración del mantenimiento centrado en la confiabilidad en una empresa de la industria cementera peruana para favorecer la rentabilidad.

#### **1.5. Justificación**

La industria cementera tiene un papel importante en la economía del país, el cemento es uno de los principales insumos para el sector de la construcción, junto con el concreto, son insumos indispensables en la construcción de obras privadas y públicas. Es por lo que garantizar la confiabilidad y disponibilidad de los sistemas productivos favorece el crecimiento económico y progreso del país. Así, podemos

sugerir que el papel de la industria cementera es esencial para la actividad económica, por su función como materia prima de la construcción y por el impacto económico que ejerce en otras industrias. (De la Garza & Arteaga Garcia, 2011).

El incremento de los gastos por revisiones, por reparaciones planificadas de los equipos y por las tareas correctivas no programadas reducen el margen de utilidad de las empresas, este hecho justifica la necesidad de mejorar las actividades de mantenimiento e implementar nuevas estrategias que incrementen la confiabilidad de los sistemas, mejore la productividad y en consecuencia la rentabilidad.

Incrementar la confiabilidad de los sistemas productivos permitirá reducir los riesgos de contaminación contra el medio ambiente y riesgo de daño a las personas, porque en el proceso de producción de cemento, los paros inesperados de los sistemas productivos generan emisión de gases, emisión de material particulado (polvo) y demandan intervención de personal para afrontar las emergencias.

El alto costo de fallas en los sistemas de producción se reduje cuando las organizaciones mejoren la gestión y actividades de mantenimiento. En las organizaciones, los responsables de las áreas de mantenimiento revisan las antiguas estrategias mantenimiento y tienden a aplicar nuevas estrategias como el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) para optimizar la confiabilidad del sistema de producción (Prince Kelvin & Ebenezer Esiful, 2020).

EL plan de mantenimiento basado en la metodología de RCM tienen indudables ventajas y están relacionadas con el rigor con el que se realiza el estudio y el hecho que el plan de mantenimiento considera a la instalación como un todo y no solo la suma de equipos, el método aporta mejoras de la seguridad, mejora del impacto ambiental, aumento de la producción, aumento de fiabilidad de la instalación, disminución de costos de mantenimiento, aumento de conocimiento de la instalación y disminución de la dependencia de los fabricantes (García Garrido, 2009).

## **1.6. Hipótesis**

### **1.1.5. Hipótesis Principal**

La aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad en la industria cementera peruana permitirá incrementar la rentabilidad.

### **1.1.6. Hipótesis específicas**

1. La evaluación de gestión de mantenimiento de las empresas cementeras peruanas, desde la perspectiva del mantenimiento centrado en confiabilidad, basado en indicadores favorece el incremento de la rentabilidad.

2. La identificación de sistemas críticos de una empresa del sector cementero evaluando indicadores de producción, costo de mantenimiento y ocurrencia de fallos permiten establecer estrategias para incrementar la rentabilidad.

3. Realizar el análisis de modos de fallas y sus efectos usando la metodología RCM favorece el incremento de la rentabilidad.

4. Preparar un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM mejora la rentabilidad.

5. Validar la aplicación e integración de RCM en la industria cementera mediante la simulación de resultados proyecta el impacto y mejora de la rentabilidad.

## **1.7. Variables**

En la de tesis se definen las siguientes variables:

### **1.1.7. Variables Independientes**

La variable independiente es la siguiente:

- *VI1: Variable independiente: Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).*

### **1.1.8. Variables Dependientes**

Las variables dependientes son las siguientes:

- *VD1: Rentabilidad.*

## **1.8. Indicadores**

### **1.1.9. Indicadores de la variable VI1**

- TMEF: Tiempo medio entre fallas
- TMPR: Tiempo medio para reparar
- DISPONIBILIDAD: Porcentaje de tiempo en que un equipo o sistema está disponible para cumplir sus funciones.
- COSTO DE MANTENIMIENTO POR PRODUCCIÓN: Relación entre el costo total de mantenimiento y la producción de la empresa.
- COSTO DE MANTENIMIENTO POR EL VALOR DE REPOSICIÓN: Relación entre el costo total de mantenimiento y el valor de compra de un equipo o sistema.

### **1.1.10. Indicadores de la variable VD1**

- MARGEN DE UTILIDAD BRUTA: Es un indicador de rentabilidad, se obtiene dividiendo la utilidad bruta sobre las ventas y lo multiplica por cien. La utilidad bruta la obtenemos en función a los ingresos operacionales, es decir las ventas totales menos el costo de venta.

### **1.9. Tipo de investigación**

Por el objetivo de la investigación es aplicada porque está centrada en mejorar la productividad integrando el mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Según el nivel de profundización es una investigación descriptiva y explicativa con enfoque cuantitativo experimental, basada fundamentalmente en la observación, se describe la situación actual del objeto de estudio y se analiza el efecto del mantenimiento centrado en la confiabilidad en la rentabilidad. Se estudia y analiza la realidad del objeto de estudio a través de procedimientos basados en la medición de las variables.

Según el seguimiento de las variables es transversal porque los datos son recopilados en un momento específico.

### **1.10. Método de investigación**

El diseño de la investigación es experimental y está basada en la revisión de documentos, observación y análisis de los registros presentados por el objeto de estudio que forma parte de la muestra, se hará uso de cuestionarios y visitas de campo.

Se analizarán las variables y se manipularán en la etapa de simulación de resultados dentro del periodo de investigación, toda la información presentada corresponde a datos reales del sistema productivo y mantenimiento.

La muestra es no probabilística y fue seleccionada basada en la capacidad de producción y participación de mercado.

El procedimiento para cumplir con los objetivos contempla los siguientes pasos:

- Revisión de normas vigentes relacionadas a los términos y aplicación de RCM, la revisión permitirá tener las bases para evaluar el nivel de cumplimiento de

gestión de mantenimiento, focalizando el mantenimiento basado en confiabilidad.

- Recolección de datos de planta, con el fin de conocer los sistemas y activos, sus funciones, sus indicadores y confiabilidad, información útil para definir el nivel de criticidad del equipo.

- Establecer el método y herramientas de aplicación de RCM en la industria cementera. El método estará basado en las normas vigentes de aplicación de RCM y modelos aplicados en investigaciones pasadas, considerando las 10 fases para la aplicación de RCM.

- Presentar mejoras a los planes de mantenimiento, sustentados en mejoras económicas y operativas.

- Se validarán los métodos y herramientas propuestas mediante un caso de aplicación en una planta cementera con importante participación en el mercado.

### **1.11. Población y muestra**

La población sujeta de estudio son las empresas productoras de cemento en Perú, que forman parte de las empresas asociadas a la Asociación de productores de Cemento (ASOCEM), integrada por la empresa Cementos Pacasmayo, Unión Andina de Cementos y Yura, cuyas plantas están distribuidas en la zona norte, centro y sur del Perú.

La muestra es una empresa del sector, UNACEM (Unión Andina de Cementos), con capacidad de producción de 6.7 millones de toneladas de Clinker y de 8.3 millones de toneladas de cemento y participación en el mercado con 45.04% en el 2019 y 42.52% en el 2020.

La fuente de información es primaria y secundaria, una parte será obtenida de las entrevistas, cuestionarios y visitas de campo, otra parte será obtenida de los reportes, informes y registros de indicadores proporcionados por la empresa que

formará parte del caso de aplicación.

### 1.12. Técnicas e instrumentos para recolección y análisis de datos

Para obtener información pertinente para evaluar la gestión de mantenimiento e integrar RCM en la empresa que forma parte del caso de aplicación se harán uso de las siguientes técnicas e instrumentos de la Tabla 1, para la recolección de datos:

**Tabla 1**  
*Técnicas e Instrumentos para recolectar información.*

<b>TÉCNICAS</b>	<b>INSTRUMENTOS</b>
Encuestas	Cuestionarios
Observación documentaria y análisis de indicadores de mantenimiento	Registro de indicadores de mantenimiento
Observación documentaria y análisis de Indicadores de Producción	Registro de indicadores de producción
Observación documentaria y análisis de criticidad de activos	Registro de activos de la empresa Registro de funciones de activos
Observación y análisis de fallas de equipos	Registro de fallas de equipos Registro de parada de equipos
Visitas de Campo	Registro de imágenes Registro de observaciones

*Nota:* Elaboración propia.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

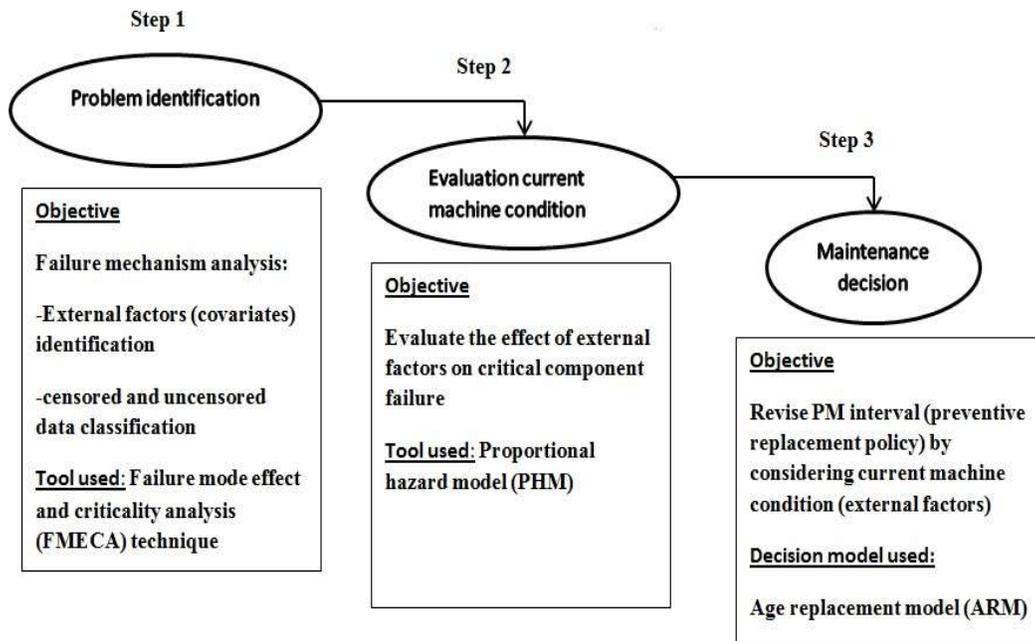
#### **2.1. Antecedentes**

Ratby y Mabrouki, 2018, en su artículo “Optimización del mantenimiento y la productividad de la organización industrial”, sostienen que la forma más eficiente de mejorar el desempeño del negocio es tener una efectiva actividad de mantenimiento que ayude en el proceso de reducción de costos y mejore la productividad. Los autores resaltan que el objetivo clave del mantenimiento es la optimización del ciclo de vida de los activos, lo que significa maximizar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, respetando la normativa ambiental y de seguridad.

Los autores proponen un modelo de gestión de mantenimiento basado en tres pasos: Identificación de problemas, evaluación de componentes críticos y decisión de mantenimiento, que permitirá determinar el intervalo del Mantenimiento Preventivo (PM) considerando el estado actual de la máquina, el modelo mencionado se presenta en la Figura 4.

**Figura 4**

*Estructura general del modelo de decisión de gestión de mantenimiento.*



*Nota:* Er Ratby & Mabrouki, 2018.

Los objetivos de cualquier modelo de gestión de mantenimiento deben determinarse basados en el plan de negocios de la organización. Las estrategias de mantenimiento deben alinearse a los planes comerciales de la empresa, dichas estrategias permitirán lograr los objetivos de mantenimiento. Por lo tanto, los objetivos comerciales y de mantenimiento deben estar estrechamente vinculados. (Er Ratby & Mabrouki, 2018)

Los autores destacan el rol que juega la medición del desempeño para la mejora y progreso de la organización. Por lo tanto, es necesario formular indicadores de desempeño apropiados (KPI). Las medidas de desempeño de mantenimiento comúnmente utilizadas, basadas en su enfoque, se dividen en tres categorías: medidas de equipo, medidas de costo y medidas de desempeño del proceso.

Los autores presentan un modelo útil para redefinir las estrategias de

mantenimiento preventivo y definieron los indicadores apropiados para medir la gestión del mantenimiento. En base a referencias literarias se comprueba la mejora de resultados de empresas que utilizan sistemas de medición de desempeño, en comparación con aquellas empresas que no gestionan las mediciones.

Hupjé, 2017, en su artículo titulado ¿Por qué somos tan malos en la gestión de mantenimiento?, expone que, a pesar de contar con buena definición y documentación de los principios de gestión moderna de mantenimiento por más de 30 años, el rendimiento promedio del mantenimiento de la industria en general es bastante bajo, debido a diversos problemas.

El primer problema es hacer algo tan simple complicado, se puede incrementar el rendimiento centrándose en tres cosas: planificación y programación, mantenimiento preventivo y predictivo, y eliminación de defectos. En base a la experiencia del autor en Europa, Asia y Medio Oriente, las empresas con mejor rendimiento son las que aplicaron enfoques básicos de mantenimiento.

El segundo problema que Hupjé expone es la falta de entendimiento de los principios del mantenimiento de las plantas, incluso después de 40 años, por ejemplo, la interpretación de la probabilidad de ocurrencia de fallos es un tema poco conocido por los responsables del mantenimiento, la mejor manera de reducir la brecha del conocimiento y la comprensión es la educación sobre fundamentos que eleven el rendimiento del mantenimiento y confiabilidad.

El tercer problema es la falta de atención a la confiabilidad en la etapa de diseño de la mayoría de las industrias, no se presta suficiente atención a la confiabilidad, el resultado se ve poco después de la puesta en marcha, cuando incrementan las fallas e inicia el ciclo típico de mantenimiento correctivo. Para lograr que las empresas adopten el enfoque proactivo de la confiabilidad, característico de la industria aeronáutica, requerirá mucha esfuerzo, tiempo y liderazgo.

EL cuarto problema es la recompensa del mantenimiento deficiente de las plantas, esta recompensa se da a través de nuestra cultura y comportamiento, cuando recompensamos al personal que responde heroicamente a las fallas complicadas y todo el sistema vuelve a producir, no se premia a los que previnieron fallas mediante la aplicación de buenas estrategias de mantenimiento.

El quinto problema es seguir pensando que el mantenimiento es un mal necesario, en muchas plantas solo se habla de mantenimiento cuando las cosas van mal, cuando se detiene la producción o peor, cuando ocurren accidentes, esto establece una cultura negativa, no impulsa la mejora del desempeño. A menudo el mantenimiento es el mayor costo operativo, se debe reducir costos, pero, eliminando defectos, aumentando la productividad mediante una gestión eficaz de trabajo, mejorando los programas de mantenimiento preventivo y teniendo un liderazgo real.

Otros problemas mencionados por el autor son culpar a los demás por no querer cambiar, la carencia de liderazgo de los gestores del mantenimiento y la ausencia de educación de alta calidad, estos pueden ser resueltos con educación que enseñe habilidades comerciales y financieras, educación que permita desarrollar habilidades de liderazgo y compromiso de uno mismo para dejar de vivir en el mantenimiento correctivo.

Vischnu y Regikumar, 2016, en su artículo "Selección de la estrategia Mantenimiento Basado en Confiabilidad (RCM) en plantas de proceso: Un Caso de Estudio", indican que RCM permite seleccionar la estrategia de mantenimiento más apropiada para todos los sistemas de la planta, haciendo uso de mediciones críticas y parámetros de confiabilidad, siendo necesaria la recopilación y análisis de fallos registrados en un periodo definido y la identificación planes actuales de mantenimiento.

Los autores, proponen un modelo RCM adecuado para plantas de proceso

con componentes críticos y subsistemas complejos interconectados, y presentan un caso de estudio realizado al sistema de calcinación de Travancore Titanium Products Ltd. (TTP), fabricante líder de pigmento de dióxido de titanio en la India. El método propuesto consta de en 5 pasos:

Paso 1: Selección del sistema y recolección de datos.

Paso 2: Diagrama de bloques funcional del sistema.

Paso 3: Análisis y simulación de datos

Paso 4: Análisis de criticidad

Paso 5: Análisis de árbol lógico / Proceso analítico jerárquico (AHP) y selección de tareas.

Vischnu y Regikumar analizan una compañía que tiene una estrategia de mantenimiento programado y una creciente curva de fallas. Mediante el uso de software calcularon la disponibilidad media de 0.753 y hallaron la necesidad definir y ejecutar una estrategia de mantenimiento efectiva. Evalúan el impacto de las fallas de los sistemas y equipos en el desempeño de la planta mediante la metodología Análisis de Modos de Fallas y Efectos (FMEA). Identifican los elementos significativos de mantenimiento y en base la metodología Proceso Analítico Jerárquico (AHP) establecen las estrategias de mantenimiento para los equipos del sistema en estudio.

Vischnu y Regikumar identifican la estrategia de mantenimiento más adecuada para cada equipo del sistema, con el fin de elevar el nivel de producción realizando el mantenimiento adecuado, al equipo correcto, en el momento adecuado.

Uzcátegui, Varela y Diaz, 2016, en su artículo “Aplicación de herramientas de clase mundial para la gestión de mantenimiento en empresas cementeras basado en la metodología MCC”, buscan resolver los siguientes problemas: ¿Cómo diseñar el marco referencial y aplicar herramientas de clase mundial?, ¿Las empresas productoras de cemento consideran estrategias para mejorar la confiabilidad de

activos dentro de la gestión de mantenimiento?, ¿Cómo se mejora la gestión de mantenimiento usando herramientas basadas en RCM?. Los autores desarrollan una investigación descriptiva y de campo en la Fábrica Nacional de Cemento, Planta Táchira en Venezuela.

De acuerdo con los autores, la vinculación de acciones rutinarias con metodologías de clase mundial permitirá satisfacer la creciente necesidad de tener una alta disponibilidad en los sistemas productivos de cemento, dada la relación de este sector con el desarrollo productivo del país. (Uzcategui Gutiérrez, Varela Cárdenas, & Díaz García, 2016).

Los autores proponen una metodología para incorporar los aspectos de confiabilidad, consta de 3 fases:

Fase 1: Descripción técnica y funcional de los activos.

Fase 2: Identificación y descripción de los modos, efectos y consecuencias de fallos funcionales de los activos.

Fase 3: Descripción, análisis y selección de políticas para manejo de fallos funcionales.

Para las 3 fases, los autores proponen sistemas similares que permitirán el cumplimiento con lo indicado en la norma SAE JA 1012.

Los autores identifican las herramientas de confiabilidad que la empresa deberá implementar:

- Herramienta de análisis de criticidad.
- Herramienta de análisis de fallos.
- Herramientas de análisis causa – raíz.

Albarkoly y Park, 2015, en su artículo “Implementación de una Estrategia de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) en la Industria Cementera de Libia”,

investigan las barreras y problemas que impiden el éxito de las estrategias de mantenimiento en algunas plantas cementeras de Libia, el gran desarrollo de la tecnología ha ejercido presión a las organizaciones industriales, poniendo en riesgo la posibilidad de sobrevivir en los mercados nacionales e internacionales.

Para competir, una empresa no debe permitir que se detenga la producción, por lo tanto, los componentes del sistema de producción deben ser altamente confiables. En base a investigaciones pasadas, indican que se debe prestar más atención al costo anual debido a un mantenimiento deficiente, la mejora del desempeño del mantenimiento reducirá en gran parte ese costo.

En base a su estudio, los autores indican que la demanda creció en la última década y las estimaciones muestran que se mantendrá dicho crecimiento, debido a que el cemento es el material fundamental para todos los tipos de construcción. La compañía involucrada en su estudio es la mayor productora de cemento en Libia y una de las más grandes compañías en el Norte de África, tiene 4 plantas cementeras y en todas usa el proceso seco de la fabricación de cemento.

La metodología usada por Albarkoly y Park, se basa en revisión literaria para comprender la situación actual de la industria, encuestas tipo cuestionario y entrevistas a trabajadores de las 4 plantas, los cuestionarios se enfocaron en temas de mantenimiento, entrevistan a gerentes de rango alto y medio.

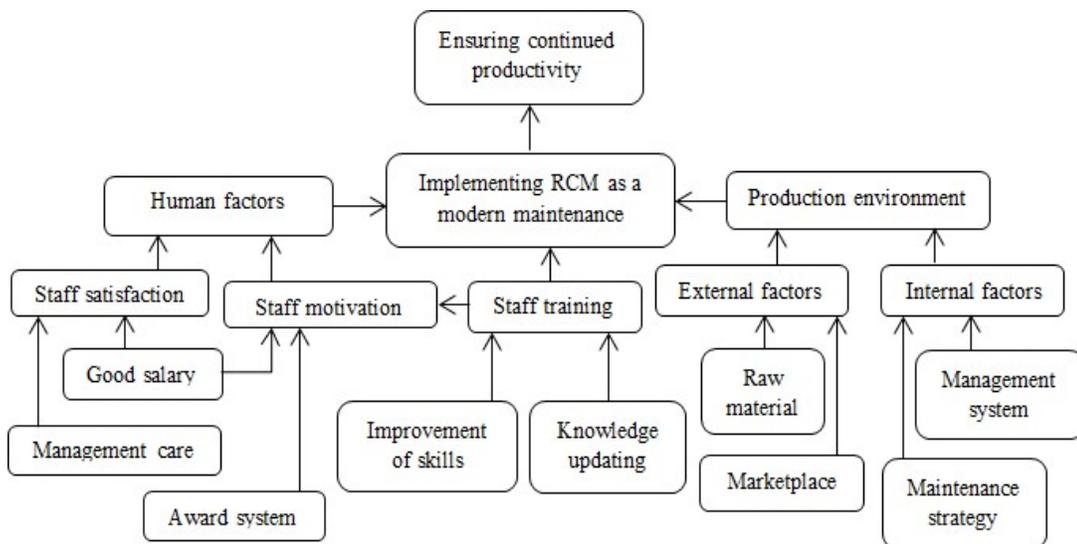
Los resultados mostraron los principales problemas, entre ellos, la carencia de conocimiento en estrategias de mantenimiento, la falta de personal especializado en mantenimiento, el bajo nivel de educación de casi el 50% de los trabajadores, la falta de interés de la alta gerencia en aplicar nuevas estrategias de mantenimiento para mejorar la eficiencia de los sistemas de producción, la mala relación con los ingenieros y falta de motivación e incentivos de a trabajadores para mejorar su desempeño. Evidencian la baja producción de las plantas, aproximadamente 50% de

su capacidad, y alto índice de paradas de planta, debido a problemas ligados directamente a problemas de mantenimiento.

Los autores presentaron un modelo para superar los problemas que dificultan la mejora del mantenimiento en las cementeras esquematizado en la Figura 5.

**Figura 5**

*Modelo para superar los problemas y barreras que dificultan la mejora del mantenimiento en las cementeras.*



Nota: Albarkoly & Park, 2015.

**2.2. Marco Teórico**

**2.2.1. Cemento**

Es un aglomerante hidráulico y material inorgánico finamente molido que al ser combinado con agua forma una pasta que fragua y endurece por medio de reacciones y procesos de hidratación y una vez endurecido conserva su resistencia y estabilidad.

**2.2.2. Proceso de Producción del Cemento**

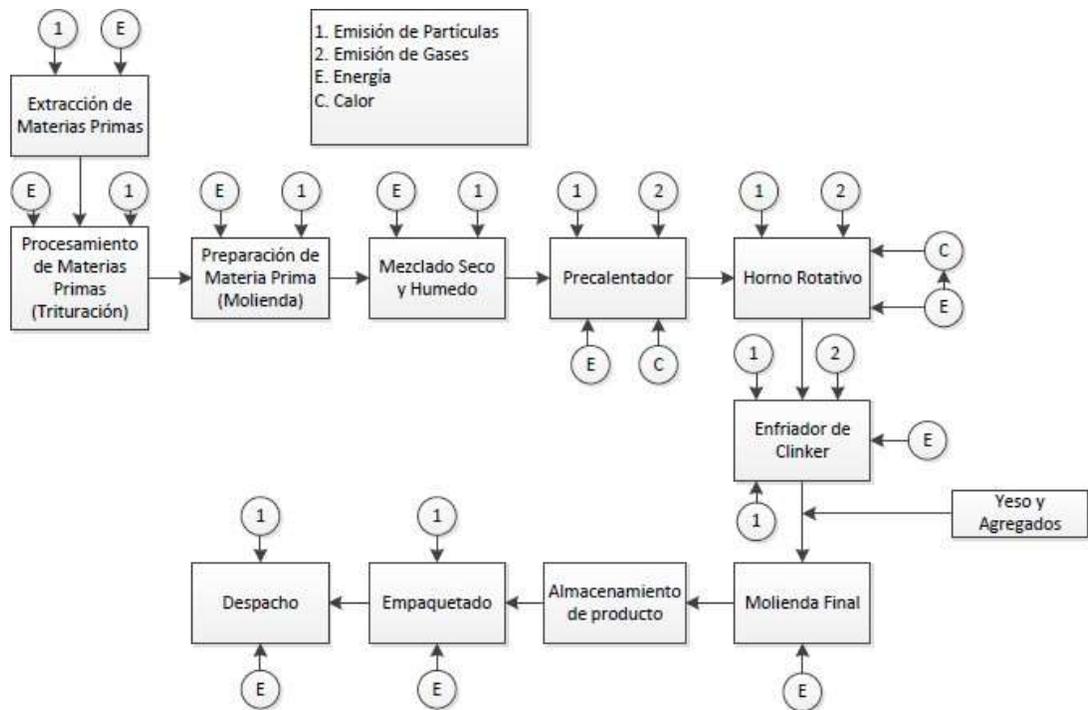
Es importante mencionar que la producción depende mucho más de la maquinaria instalada que del número de empleados por tanto estamos hablando de

una industria intensiva en factor capital (Ramón Martínez, 2014)

La Figura 6 muestra el diagrama de flujo del proceso productivo del cemento, el consumo o suministro de energía y calor, emisiones de gases y partículas de polvo. Las flechas de entrada representan el suministro o consumo y las flechas de salida representan las emisiones o salidas de proceso. (Huntzinger & Eatmon, 2009).

**Figura 6**

*Diagrama de flujo de proceso productivo del cemento, incluye suministros y emisiones.*



*Nota:* Adaptado de Huntzinger & Eatmon, 2009.

### 2.2.2.1. Extracción de la Caliza en la Cantera.

#### a. Perforación y voladura

Este proceso inicia con la actividad de perforación de los taladros en los bancos de trabajo, luego de ello se los bancos se cargan con explosivos y se procede a realizar la voladura secuencial para conseguir mayor eficacia.

### **b. Carguío y acarreo**

Paso siguiente a la voladura, se sigue con las operaciones de carguío y acarreo utilizando cargadores frontales, palas hidráulicas para la piedra caliza.

### **2.2.2.2. Reducción del Tamaño y Homogenización de la Caliza.**

**a. Chancado primario:** La caliza extraída des transportada a por camiones a Chancadora Primaria, usualmente llamada trompo o cono, donde la piedra caliza se tritura por presión reduciendo su tamaño desde 1.50 m hasta 25 cm aproximadamente, luego la caliza es transportada hacia una cancha de almacenamiento.

**b. Chancado secundario:** Según su ley, la caliza es transportada desde la cancha de almacenamiento de la chancadora primaria hacia la chancadora secundaria donde el tamaño de la piedra se reduce de 25 cm a 20 mm aproximadamente. Luego la caliza es transportada a las zarandas, donde las piedras de menor tamaño son separadas y enviadas a la cancha de pre-homogenización, las piedras de caliza de mayo tamaño reingresan a la chancadora secundaria.

**c. Pre-homogenización:** La cancha de pre-homogenización es circular y de funcionamiento automático. La caliza es apilada en capas sucesivas horizontales usando una faja transportadora telescópica de movimiento circular que recorre un ángulo definido. La caliza es recuperada de forma perpendicular a su apilamiento y se transporta a los silos de almacenamiento.

### **2.2.2.3. Molienda de Crudo y homogeneización.**

En el proceso de molienda de crudo la caliza pasa a un estado pulverulento mediante molinos de bolas o prensas hidráulicas. Como resultado de este proceso se obtiene la “harina de crudo”, este material se transporta por medio de fajas y

elevadores a los silos de homogeneización o en algunos casos a los silos de almacenamiento. En los silos de homogeneización la harina de crudo es mezclada para uniformizarla.

#### **2.2.2.4. Obtención del Clíner**

El clíner, es la materia fundamental del cemento y se obtiene luego que la harina de cruda pase por la línea de calcinación, según el diseño, puede tener uno o dos precalentadores, un horno rotativo y un enfriador de placas o barras.

**a. Precalentamiento:** Es la primera etapa del proceso de elaboración de clíner, puede realizarse por vía seca, donde el crudo es introducido en el precalentador, el sistema puede tener una o dos torres de ciclones para el intercambio de calor (según diseño), en los ciclones el crudo se precalienta con los gases que ascienden desde el horno. Este proceso puede realizarse también por vía húmeda, donde el crudo se prepara mediante molienda conjunta con agua, con ello se obtiene una pasta con contenido de agua de 35% aproximadamente y es alimentada al horno por el extremo más elevado.

**b. Clinkerización:** Este proceso ocurre luego que la harina cruda pasa del precalentador al horno. El horno posee un quemador a su salida, el quemador permite la combustión de combustibles como gas, carbón, petróleo u otros, el calor generado por la combustión permite que el crudo descarbonatado que ingreso al horno sufra transformaciones físicas y químicas y pueda formarse en clíner llegando a temperaturas cercanas a los 1450°C. Los hornos son tubos de acero que soportan altas temperaturas, internamente están revestidos y protegidos con ladrillos refractarios, con ello se reduce la pérdida de calor.

**c. Enfriamiento:** El clíner obtenido en el proceso de clinkerización descarga

sobre el enfriador. El enfriador posee superficies escalonadas formada por placas fijas y móviles alternadas con pequeños orificios. El aire generado por ventiladores externos pasa por los orificios de las placas, por esta acción el clinker baja su temperatura y se facilita su traslado entre placas. Luego de pasar por las placas del enfriador, el clinker pasa por las trituradoras de rodillos y se reduce su tamaño a un máximo de 5 cm aproximadamente.

#### **2.2.2.5. Obtención del Cemento**

**a. Molienda:** Luego de las 3 etapas del proceso de obtención de clinker. El clinker se transporta y almacena en una o más canchas de almacenamiento. El clinker se transporta a unos silos que pertenecen al circuito de alimentación para molinos de bolas o prensas hidráulicas. La molienda de clinker con yeso permite la elaboración del cemento portland, la mezcla de clinker, yeso y otros materiales permite obtener otro tipo de cementos. El cemento obtenido es transportado y almacenado temporalmente en silos según su tipo.

#### **2.2.2.6. Envase y Despacho del Cemento**

El cemento es extraído de los silos y transportado a las unidades de ensacado o despacho en big bag o despacho a granel. Los camiones que transportan el producto son pesados y se valida la carga según la orden de compra, luego de ello los camiones pueden trasladar el cemento al destino final definido por los usuarios.

#### **2.2.3. Mantenimiento**

En la colección de estándares europeos de terminología de mantenimiento (BS EN 13306, 2001), el mantenimiento es “una combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión durante el ciclo de vida de un artículo, con la intención de conservarlo o restaurarlo a un estado en el que puede realizar la función

requerida”. Sin embargo, muchos investigadores han definido el mantenimiento y sus aplicaciones en diversas áreas industriales. Según Chanter ySwallow (2008, p20), el mantenimiento es “un conjunto de tareas que tiene como objetivo mantener, restaurar y mejorar cualquier parte de las instalaciones o sus servicios, en el momento y nivel requerido, conservar el valor de la instalación durante su ciclo de vida”. Esta definición es muy clara y se puede aplicar a muchos otros campos de la ingeniería.

Aquí se puede resumir que el mantenimiento de un equipo está destinado a mantenerla en buenas condiciones durante su ciclo de vida para cumplir con su propósito previsto. Por lo tanto, el mantenimiento es, idealmente, un método para mantener o restaurar el rendimiento del sistema a su condición prevista. En un sentido amplio, el mantenimiento es una combinación de actividades técnicas y administrativas y acciones relacionadas, como la seguridad, para mantener un artículo o restaurarlo a la situación que le permitirá implementar lo que seanecesario con alta eficiencia. (Albarkoly & Park, 2015)

#### **2.2.4. Gestión de Mantenimiento**

La Gestión de Mantenimiento establece las estrategias de mantenimiento adecuadas, lo que es un preludeo muy importante para las acciones de mantenimiento. Permite a los gerentes formular la manera en que los diversos tipos de mantenimiento deben aplicarse dentro de sus organizaciones. Sobre estabase, un equipo de gestión de mantenimiento es responsable de identificar la estrategia de mantenimiento considerando factores como la estrategia comercial, los recursos disponibles y el costo de mantenimiento (Albarkoly & Park, 2015).

Para lograr un óptimo funcionamiento de la empresa, la gestión de mantenimiento busca actuar sobre todos los aspectos importantes, el departamento de mantenimiento no debe limitarse solamente a la reparación de las instalaciones,

sino también debe pilotear los costos de mantenimiento, recursos humanos y almacenes a fin de desarrollar una óptima gestión de mantenimiento. (Daniel Torres)

### **2.2.5. Objetivos del Mantenimiento**

De acuerdo con Daniel Torres, los objetivos de mantenimiento deben ser específicos, estar alineados a los objetivos de la empresa, las acciones que realicen las áreas de mantenimiento deben tener presente los objetivos definidos.

Los principales objetivos para el mantenimiento son los siguientes:

**Máxima producción:** Garantizar la disponibilidad y fiabilidad de los sistemas productivos (todos los activos) y sus instalaciones. Corregir los fallos de los sistemas en el menor tiempo.

**Mínimo costo:** Minimizar la ocurrencia de fallos e incrementar la vida útil de los activos y las instalaciones, manejo adecuado de stock de repuestos (sin sobre stock), planificar y controlar de manera óptima el presupuesto.

**Calidad requerida:** Durante las actividades de mantenimiento preventivo o correctivo de los activos e instalaciones, aparte de corregir problemas se debe garantizar la calidad del servicio realizado. Las actividades deben orientarse a permitir que los equipos operen óptimamente incrementando la confiabilidad de los sistemas productivos, los fallos que alteren la calidad del producto deben eliminarse.

**Conservación de la energía:** Garantizar el buen estado de los sistemas auxiliares, reducir o eliminar las paradas y arranques intermitentes. Monitorear, controlar y tomar acciones buscando elevar el rendimiento de los equipos.

**Conservación del medio ambiente:** Garantizar el correcto funcionamiento de los sistemas de protección de los equipos que poseen riesgo de generar agentes contaminantes y emisión de polución.

**Higiene y seguridad:** Mantener el óptimo funcionamiento de los sistemas de

seguridad en los equipos para eliminar la ocurrencia de accidentes. Capacitar y actualizar al personal normas de seguridad para evitar.

**Implicación del personal:** Involucrar y comprometer al personal en las actividades de implementación de TPM, en procedimientos y técnicas de calidad.

### **2.2.6. Fallas**

Previo al lanzamiento de un producto se realizan estudios de mercado, elaboración de perfil de cliente y sus preferencias, también se estudia y analizan los procesos productivos para la fabricación del producto a lanzar. Las áreas de mantenimiento deben identificar los posibles modos de fallo que ponen en riesgo la continuidad de los sistemas productivos y sus instalaciones, deben planificar, programar y ejecutar actividades para eliminar las averías.

Definimos como falla: “El deterioro o desperfecto en las instalaciones, máquinas o equipos que no permite su normal funcionamiento”, se suele definir como “avería” a alguna anomalía que genere reducción del rendimiento de los sistemas de producción y calidad de producto, eleve el riesgo de accidentes, incremente el consumo energía y genere contaminación ambiental.

Las fallas pueden ser clasificadas de la siguiente manera:

1. Fallas que perjudican la producción.
2. Fallas que perjudican la calidad del producto.
3. Fallas que ponen en riesgo la seguridad de las personas.
4. Fallas que afectan negativamente el ambiente.

### **2.2.7. Tipos de Mantenimiento**

#### **2.2.7.1. Mantenimiento Correctivo.**

Se ejecutan actividades para reparar las averías presentes o que se han presentado en un equipo. El mantenimiento correctivo es el más sencillo de poner en

marcha, sin embargo, posee algunas desventajas:

- Permitir la ocurrencia de una avería en componente o equipo de un sistema puede generar costos muy altos.
- El fallo o avería puede generarse en un lugar u horario inconveniente, se corre el riesgo de no contar con personal ni repuestos disponibles para su reparación.
- Hay sistemas productivos que no pueden detenerse en cualquier momento debido a que brindan servicios esenciales o trabajan con productos con posibilidad de deteriorarse o podrían generar efectos dañinos a la salud, ambiente o seguridad de las personas si se detienen repentinamente.

#### **2.2.7.2. Mantenimiento Preventivo.**

Consiste en la ejecución de actividades de inspección, limpieza, lubricación o reemplazo de componentes en intervalos fijos de tiempo.

El mantenimiento preventivo ejecutado con una frecuencia de tiempo es un avance comparado con el mantenimiento correctivo considerando la prevención de averías. A pesar de ello, no llega a ser el método óptimo para garantizar la máxima seguridad o confiabilidad de los sistemas productivos. Principalmente porque las averías no se presentan a frecuencias de tiempo definidas, se recomienda que los intervalos de tiempo no sean tan cortos que pueden ser seguros pero costosos, ni tan largos que pueden ser baratos, pero elevan el riesgo de ocurrencia de los fallos.

Por lo tanto, el mantenimiento preventivo posee las siguientes desventajas básicas.

- Algunas fallas se presentarán de todas formas entre los intervalos de revisión o reparación de manera inesperada e inconveniente.
- Durante la revisión o reparación preventiva, varios componentes en buen estado serán desmontados, revisados y reemplazados innecesariamente. Si se

comete algún error en la instalación de los componentes, el equipo puede quedar en peor estado.

- Usualmente, una revisión o reparación general involucra gran número de componentes y aumenta pérdida de disponibilidad y de producción debido al tiempo considerable que involucran estas actividades.

#### **2.2.7.3. Mantenimiento Funcional**

Se basa en la búsqueda e identificación de fallos no evidentes, que usualmente afectan a los sistemas de seguridad y protección, los planes de mantenimiento se orientan hacia la validación periódica del buen funcionamiento de estos sistemas.

#### **2.2.7.4. Mantenimiento Predictivo.**

Consiste en el análisis de variables y parámetros de operación cuya tendencia ayude a detectar fallos antes que estos ocurran, de ese modo se puede estimar el periodo de tiempo en que el fallo pueda ocurrir y generar consecuencias graves, la temprana detección permitirá planificar las actividades con antelación y evitar las consecuencias que pueda generar el fallo.

Una de las principales características del mantenimiento predictivo es que no debe alterar la operación normal de los sistemas productivos.

#### **2.2.7.5. Mantenimiento Proactivo.**

Se basa en realizar actividades de mantenimiento orientadas a prevenir los modos de fallo que provocan los fallos, suelen ser actividades sencillas y esenciales, actividades que mejoren el rendimiento del sistema productivo, aplicándose antes que las fallas muestren sus síntomas, no se basa en identificar y/o detectar fallos, el objetivo es combatir los modos de fallo que podrían provocar una anomalía en la

máquina.

### **2.2.8. Modelos de Gestión de Mantenimiento**

Existen varios modelos de gestión de mantenimiento según el campo de aplicación y requerimientos de las plantas, entre ellos podemos listar los siguientes:

1. Mantenimiento Productivo Total (TPM).
2. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC o RCM).
3. Análisis de Ciclo de Vida de equipos.

### **2.2.9. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – RCM**

RCM tuvo su origen en las industria aeronáutica y nuclear finalizando los años 60. De manera general se puede definir: “Estrategia de mantenimiento global de un sistema usando métodos de análisis estructurados que permiten asegurar la fiabilidad inherente a tal sistema” (Pascual J., 2002).

RCM es el proceso para definir el enfoque de mantenimiento más eficaz. La filosofía de RCM emplea el mantenimiento preventivo, predictivo, monitoreo en tiempo real, ejecución de tareas frente a ocurrencia de fallas y técnicas de mantenimiento proactivo de manera integrada para incrementar la probabilidad de un sistema funcione según su diseño durante su ciclo de vida con el menor mantenimiento. Bajo el enfoque RCM las decisiones de mantenimiento se deben respaldarse en una sólida justificación técnica y económica (The Cement Institute - TCI, 2020).

#### **2.2.9.1. Principios de RCM.**

RCM nos orienta a optimizar las acciones de mantenimiento programadas. Los criterios a tomar en cuenta son:

- La seguridad.

- La disponibilidad.
- El costo de mantención.
- Calidad de la producción.

Los objetivos del RCM son:

- Definir y justificar las acciones de mantención programada a implementar.
- Redefinir las acciones de mantención programada.
- Garantizar e incrementar el rendimiento del equipo o sistema en materia

de seguridad.

- Proponer recomendaciones técnicas referentes a los equipos o sistemas.

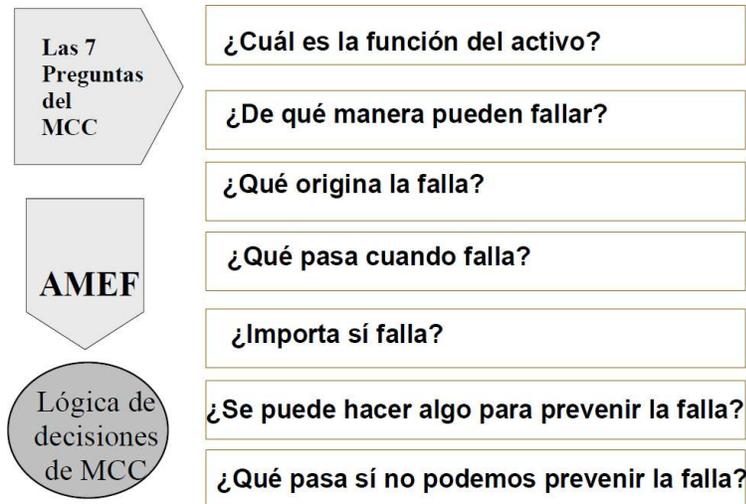
La aplicación del RCM implica:

- Mejor y mayor conocimiento sobre los equipos o sistemas.
- Comprometer al personal de la empresa fomentando la responsabilidad.
- Mayor integración entre los servicios de la planta.
- Acciones prioritarias por la seguridad de los equipos y las personas.
- Validación de las modificaciones en el tiempo.

#### **2.2.9.2. Metodología de Aplicación de RCM**

RCM propone un procedimiento que ayuda a identificar las necesidades reales de mantenimiento de los equipos y sistemas dentro las operaciones, a partir del análisis de las preguntas mostradas en la Figura 7.

**Figura 7**  
*Las siete preguntas del RCM.*



*Nota:* Amendola, 2016.

### 1. Funciones y sus estándares de funcionamiento ¿Cuáles son las funciones?

Cada equipo sistema debe tener definida sus funciones específicas. La ausencia parcial o total de sus funciones afectarán a la organización de algún modo.

La influencia total sobre la organización dependerá de:

- Las funciones de los equipos o sistemas en su modo operacional.
- El comportamiento funcional de los equipos o sistemas en ese contexto.

RCM empieza las funciones y estándares de comportamiento funcional de cada elemento de los equipos o sistemas en su contexto operacional.

Cuando se define la función de cada elemento, el RCM enfatiza la necesidad de cuantificar los estándares de funcionamiento, los estándares están asociados a la producción, calidad, servicio al cliente, medio ambiente, costos operacionales y seguridad.

### 2. Fallos Funcionales ¿De qué forma falló?

Es necesario detectar de qué modo el fallo puede alterar las funciones de

cada elemento. Podemos entonces definir un fallo funcional como la incapacidad de un elemento o componente de un equipo cumplir sus funciones estándares.

### **3. Modos de Fallos (¿Qué causa el fallo?)**

El siguiente paso es intentar identificar los modos de fallos con mayor posibilidad de generar la pérdida de una función. Esto nos dará la comprensión exacta de que tratamos de prevenir, en este paso es importante identificar la causa origen de cada fallo. Esto garantiza hacer un buen uso del tiempo y esfuerzo evaluando los síntomas en lugar de las causas. En simultaneo, cada modo de fallo debería considerarse en el nivel más apropiado, para garantizar hacer el mejor uso del tiempo en el análisis del fallo.

### **4. Efectos de los Fallos (¿Qué sucede cuando hay fallo?)**

En el proceso de identificación de cada modo de fallo, los efectos de los fallos también deben ser registrados. Este paso permite definir la importancia de cada fallo y el nivel de mantenimiento que sería necesario.

El desarrollo y análisis de contestar sólo a las cuatro primeras preguntas otorga oportunidades sorprendentes y usualmente muy importantes de mejorar el funcionamiento, la seguridad y la eliminación de errores. Aporta conocimiento y mejora la comprensión acerca del funcionamiento de los equipos.

### **5. Consecuencia de los Fallos (¿Qué ocurre si falló?)**

Luego de determinar las funciones, fallos funcionales, modos de fallo y sus efectos, el próximo paso es preguntar ¿cómo (y cuánto) importa cada fallo?, la razón es porque las consecuencias de cada fallo nos indican si es necesario tratar de prevenirlas. Si la respuesta es afirmativa se sugiere también el esfuerzo que pondremos en tratar de encontrar los fallos.

RCM clasifica las consecuencias de los fallos en cuatro grupos:

**Consecuencias de los fallos no evidentes.** Estos no tienen impacto directo, pero exponen al sistema productivo a otros fallos con consecuencias importantes, incluso catastróficas. Un punto fuerte del RCM es la manera en que trata los fallos no evidentes, reconociéndolas como tales, estableciendo una prioridad muy alta y finalmente adoptando un acceso simple, práctico y coherente.

**Consecuencias en la seguridad y el medio ambiente.** Un fallo tiene consecuencias sobre la seguridad si al ocurrir el fallo genera condiciones que pueden causar lesiones o incluso fatales. Tendrá consecuencias sobre el medio ambiente si infringe las normativas municipales, regionales o nacionales relacionadas con el medio ambiente.

**Consecuencias operacionales.** Un fallo tendrá consecuencias operacionales si afecta la capacidad de producción, calidad del producto, servicio al cliente o costes industriales. Estas consecuencias tienen un valor económico y en base a esto se puede preparar el presupuesto para las medidas preventivas.

**Consecuencias que no son operacionales.** Los fallos que están dentro de esta categoría no afectan a la seguridad ni a la producción, por lo tanto, el gasto está directamente relacionado con el costo de la reparación.

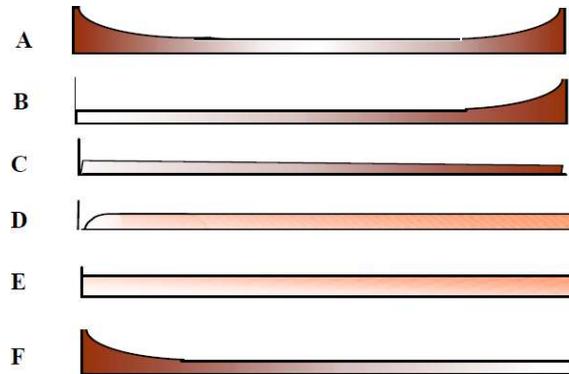
Un fallo con consecuencias significativas en cualquiera de estas categorías es importante hacer el esfuerzo por prevenirlas. Por otro lado, si las consecuencias no son significativas, no merece la pena hacer cualquier tipo de mantenimiento preventivo que no sea el de las rutinas básicas.

## **6. Tareas Preventivas (¿Qué se puede hacer para prevenir los fallos?)**

La Figura 8 muestra la probabilidad condicional de fallo contra la vida útil para una gran variedad de elementos eléctricos y mecánicos.

### Figura 8

*Probabilidad condicional de fallo contra la vida útil.*



*Nota.* Amendola, 2016.

El modelo A es la "curva de la bañera". Empieza con una ocurrencia de fallo alta, seguido de una frecuencia de fallo que incrementa gradualmente o que es constante y luego por una zona de desgaste.

El modelo B muestra una probabilidad de fallo constante o ligeramente ascendente, y termina en una zona de desgaste (el mismo modelo de la primera figura).

El modelo C muestra una probabilidad de fallo ligeramente ascendente, pero no se define la edad de desgaste.

El modelo D muestra una probabilidad de fallo bajo cuando la pieza es nueva o se acaba de comprar, luego un aumento rápido a un nivel constante.

El modelo E muestra una probabilidad constante de fallo en todas las edades (fallo aleatorio).

Finalmente, el modelo F inicia con mortalidad infantil muy alta, que desciende finalmente a una probabilidad de fallo casi constante.

En general, los modelos de los fallos dependen de la complejidad de los equipos o sistemas. Mientras más complejos sean, es muy probable que estén según los modelos E y F.

El reconocimiento de estos hechos ha motivado a algunas empresas dejar de lado la idea del mantenimiento preventivo. De hecho, esto puede ser lo mejor en casos de fallos que tengan consecuencias sin importancia, sin embargo, cuando las consecuencias son significativas, debemos hacer algo para prevenir las fallas o reducir las consecuencias.

RCM, reconoce tres categorías importantes de las tareas preventivas:

- “Tareas cíclicas a condición”.
- “Tareas de reacondicionamiento cíclico”.
- “Tareas de sustitución cíclica”.

**Tareas "a condición":** Las tareas a condición involucran el seguimiento de los parámetros de operación a fin de identificar condiciones que marquen el inicio de un fallo potencial.

**Tareas de Reacondicionamiento Cíclico y de Sustitución Cíclica:** Los sistemas son revisados o reparados a frecuencias determinadas, independientemente de su estado en ese momento.

## **7. Acciones “a falta de” (¿Qué sucede si no pueden prevenirse los fallos?)**

RCM permite definir si las actividades preventivas son técnicamente factibles y valen la pena ejecutarlas. La respuesta depende del impacto de las consecuencias de los fallos revisadas.

RCM responde esta pregunta combinando la evaluación de la consecuencia con cada una de las tareas en un proceso de decisión único, que se basa en los siguientes principios:

- Una acción preventiva asociada a un fallo no evidente solo valdrá la pena ejecutarla si reduce el riesgo de fallo múltiple a un nivel aceptable, de lo contrario, se debe llevar a cabo la tarea de búsqueda de fallos o rediseñar el componente, equipo

o sistema.

- Las tareas preventivas se indican solo para los equipos o sistemas que realmente lo requieran. De este modo se reduce significativamente los trabajos rutinarios. En consecuencia, las tareas restantes tendrán mayor probabilidad de ser bien ejecutadas y si se combinan con tareas equilibradas lograremos un mantenimiento más efectivo de implementar con RCM.

El éxito de implantar RCM en una determinada industria dependerá del trabajo del equipo de RCM, quienes se encargarán de responder las siete preguntas básicas.

La involucración de la alta dirección es primordial. Los principales actores involucrados en la implementación de RCM son:

- Personal competente de las áreas de mantenimiento.
- Personal competente de producción.
- Los servicios económicos.
- La dirección.

El método de implementación de RCM es dinámico, progresivo y estructurado, porque posee diversas etapas y se ejecutan subconjunto a subconjunto, es un camino estructurado con metodologías existentes y dinámico dado que aprovecha la experiencia acumulada en el tiempo (Pascual J., 2002).

### **2.2.9.3. Herramientas usadas por RCM.**

**Matriz de criticidad**, permite evaluar el impacto de los fallos de los equipos sobre criterios como la seguridad, la disponibilidad y la calidad.

**Análisis de modos de falla, efectos y criticidad**, define la importancia de las fallas, sus efectos y causas.

El término “modo de falla” es usado para definir las posibles maneras en que

un componente, equipo o sistema puede fallar. Un componente puede tener más de un modo de falla.

El análisis de modos de falla, efectos y criticidad (FMECA por sus siglas en inglés) es posiblemente el método más usado y efectivo de análisis de confiabilidad. La referencia original es la norma militar americana US MIL-STD-1629

El FMECA considera cada modo de falla de cada componente o equipo de un sistema y comprueba sus causas y efectos.

El análisis resuelve las siguientes preguntas para cada componente o equipo del sistema en estudio:

- ¿Cómo puede fallar o averiarse un componente?
- ¿Cuáles son las consecuencias del fallo elegido para analizar?
- ¿Cuál es la criticidad de las consecuencias?
- ¿Cómo puede detectarse la falla?
- ¿Cuáles son las salvaguardias contra la falla?

El estudio logra:

• Asegurar que todos los modos de falla concebibles y sus efectos sean comprendidos.

- Identificar debilidades en el diseño.
- Proveer alternativas en la etapa de diseño.
- Proveer criterios para prioridades en acciones correctivas.
- Proveer criterios para prioridades en acciones preventivas.
- Asistir en la identificación de fallas en sistemas con anomalías.

El FMECA es una tarea de grupo que requieren participantes e información con las siguientes cualidades:

- Experiencia en el campo de aplicación.

- Conocimiento de la estructura del sistema en estudio.
- Información de fallas.
- Criterios para fundamentar las recomendaciones.

El FMECA es ejecutado por uno o más ingenieros con conocimiento a fondo de diseño del sistema y de su aplicación.

Los pasos por seguir son:

- Establecer el alcance del análisis
- Recopilar la información necesaria
- Preparar la lista de componentes
- Llenar las fichas

**Arboles de falla**, permite identificar el tipo de consecuencia sobre el componente, equipo o sistema y definir los niveles de mantenimiento a realizar. La aplicación RCM requiere buen conocimiento de los componentes, equipos o sistemas, así como de sus fallas y los impactos de estas.

#### **2.2.9.4. RCM Power Plant y las 10 fases para la aplicación.**

En 2009 la empresa de ingeniería y formación técnica Renovetec propuso reestudiar el análisis de fallos que propusieron Nowlan y Heap, respetando al detalle lo indicado por la norma SAE JA 1011, desarrollaron una aplicación práctica de RCM principalmente orientada a la industria de generación de energía (centrales eléctricas). Su análisis dio como resultado un método técnico capaz de solucionar el atasco donde se encontraban muchas aplicaciones de RCM en el mundo industrial, este método fue llamado RCM Power Plant y fue registrado el 2011.

El análisis de fallos, propuesta e implementación de medidas preventivas pasa por una serie de fases para cada uno de los sistemas en los que puede descomponerse una planta industrial (García Garrido, 2009). La Figura 9 muestra las

10 fases de aplicación de RCM Power Plant.

- **Fase 1:** Definición precisa de los objetivos a lograr implementando RCM.

Definición de los indicadores y su valoración antes de iniciar el proceso.

- **Fase 2:** Codificación y listado de todos los sistemas, subsistemas y equipos que formar parte de la planta y sus procesos productivos. Será necesario recolectar los esquemas, diagramas funcionales, diagramas lógicos, etc.

- **Fase 3:** Análisis detallado del funcionamiento de los equipos o sistemas. Determinación de las especificaciones del sistema y subsistemas indicando las funciones primarias y secundarias.

- **Fase 4:** Análisis y definición de los fallos funcionales y fallos técnicos.

- **Fase 5:** Análisis y definición de los modos de fallo o causas de los fallos identificados en la fase 4.

- **Fase 6:** Análisis y definición de las consecuencias de cada fallo. Clasificación de fallos en críticos, significativos, tolerables e insignificantes en relación con cada consecuencia definida.

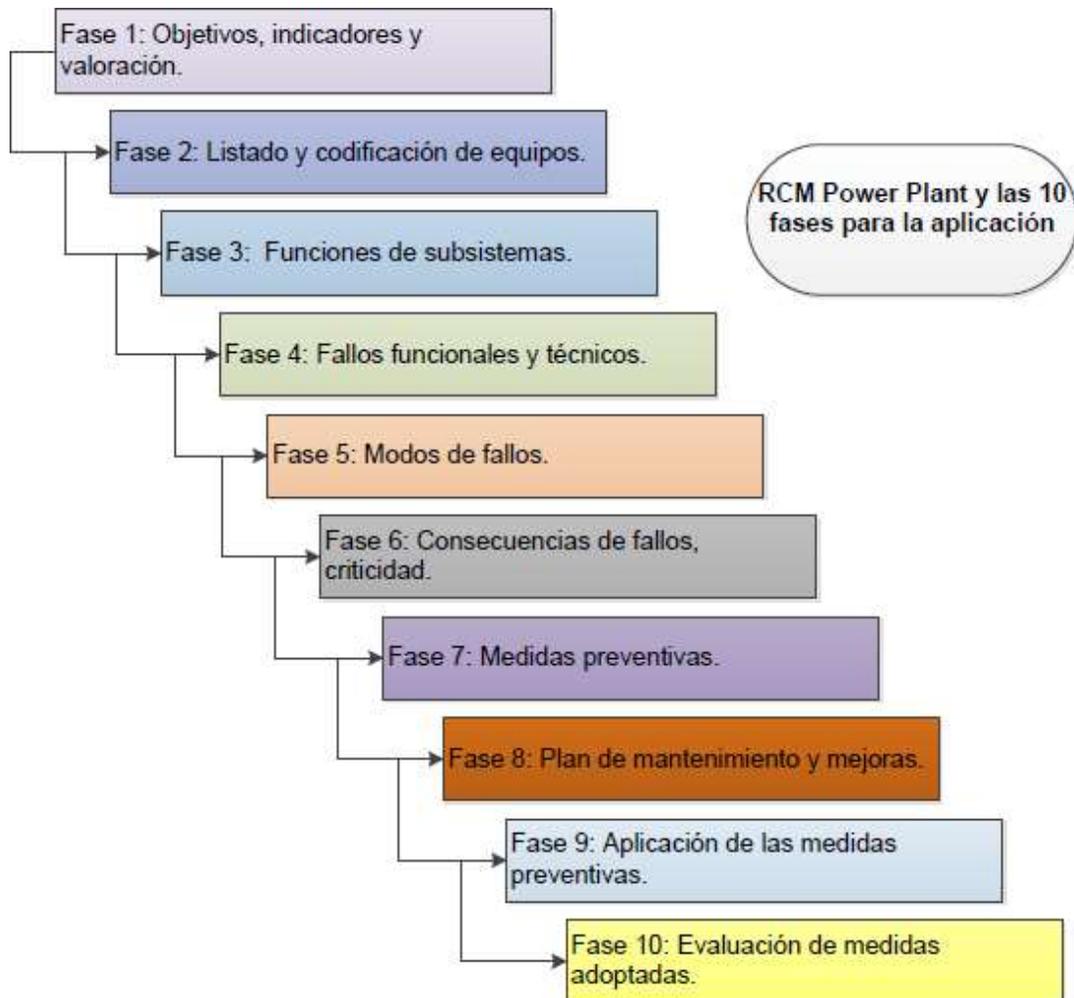
- **Fase 7:** Determinación de medidas preventivas que eliminen o mitiguen los efectos de fallos.

- **Fase 8:** Recopilación de las medidas preventiva y elaboración del plan de mantenimiento, lista de mejoras, planes de formación, procedimientos de operación y de mantenimiento, lista de repuestos que deben permanecer en stock y medidas provisionales a adoptar en cada caso de fallo.

- **Fase 9:** Ejecución y seguimiento de las medidas preventivas

- **Fase 10:** Evaluación de las medidas adoptadas, mediante la valoración de los indicadores seleccionados en la fase 1.

**Figura 9**  
Fases de aplicación RCM Power Plant.



Nota: García Garrido (2009).

### 2.2.10. Índices de Clase Mundial

Los "índices de clase mundial" son llamados así porque son utilizados con la misma expresión en todos los países. Son seis los "índices clase mundial", cuatro se refieren al Análisis de la Gestión de Equipos y dos a la Gestión de Costos:

**Tiempo Medio Entre Fallas (TMEF o MTBF):** Relación entre el producto del número de equipos o activos por sus tiempos de operación y el número total de fallas detectadas en esos equipos o activos, en el periodo observado, ver Ecuación 1.

### **Ecuación 1**

*Tiempo Medio Entre Fallas*

$$TMEF = \frac{NOIT \times HROP}{\sum NTMC} \quad (1)$$

Este índice debe ser usado para equipos o ítems que son reparados después de la ocurrencia de una falla.

**Tiempo Medio Para Reparación (TMPR o MTTR):** Es la relación entre el tiempo total que se usó para corregir un fallo mediante una tarea correctiva en un conjunto de equipos o activos con falla y el número total de fallas detectadas en esos equipos o activos en el periodo observado, ver Ecuación 2.

### **Ecuación 2**

*Tiempo Medio para Reparación*

$$TMPR = \frac{\sum HTMC}{NTMC} \quad (2)$$

Este índice debe ser usado, para equipos o activos en los cuales el tiempo de reparación es significativo con relación al tiempo de operación.

**Tiempo Medio Para la Falla (TMPF):** Es la relación entre el tiempo total de operación de un conjunto de equipos o activos no reparables y el número total de fallas detectadas en esos equipos o activos en el periodo observado, ver Ecuación 3.

### **Ecuación 3**

*Tiempo Medio Para la Falla*

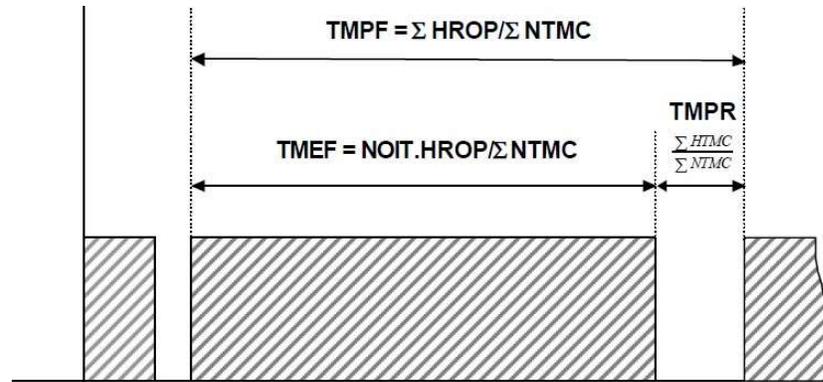
$$TMPF = \frac{\sum HROP}{NTMC} \quad (3)$$

Este índice debe ser usado para equipos o activos que son sustituidos después de la ocurrencia de una falla.

El cálculo del Tiempo medio Entre Fallas está asociado al cálculo del Tiempo medio para la Reparación. La interpretación gráfica entre estos índices está representada en la Figura 10.

**Figura 10**

*Interpretación gráfica de los índices TMPF, TMEF y TMPR.*



*Nota:* Tabares.

**Disponibilidad de Equipos (DISP):** Es la relación entre la diferencia del número de horas del periodo considerado (horas calendario) con el número de horas de intervención por el personal de mantenimiento para cada equipo o activo observado y el número total de horas del periodo considerado, ver Ecuación 4.

**Ecuación 4**

*Disponibilidad de Equipos*

$$DISP = \frac{\sum(HCAL - HTMN)}{\sum HCAL} \times 100 \quad (4)$$

La disponibilidad de un equipo o activo representa el porcentaje del tiempo en que quedó a disponibilidad del área de operaciones para desempeñar su actividad.

Otra expresión bastante común utilizada para el cálculo de la disponibilidad de equipos o activos sometidos exclusivamente a la reparación de fallas es obtenida por la relación entre el Tiempo medio Entre Falla (TMEF) y su suma con el Tiempo medio para Reparación y los Tiempos Ineficaces del Mantenimiento.

**Costo de Mantenimiento por Facturación:** Relación entre el costo total de mantenimiento y la facturación de la empresa en el periodo considerado, ver Ecuación 5.

### **Ecuación 5**

*Costo de Mantenimiento por Facturación*

$$CMFT = \frac{CTMN}{FTEP} \times 100 \quad (5)$$

**Costo de Mantenimiento por el Valor de Reposición:** Es la relación entre el costo total de mantenimiento de un equipo o activo y el valor de compra del mismo equipo nuevo, ver Ecuación 6.

### **Ecuación 6**

*Costo de Mantenimiento por el Valor de Reposición*

$$CMRP = \frac{\sum CTMN}{VLRP} \times 100 \quad (6)$$

Este índice debe ser calculado para los equipos o activos más importantes de la compañía (qué afectan la facturación, la calidad, la seguridad o medio ambiente).

#### **2.2.11. Norma SAE JA1011 y SAE JA1012**

Frente a la variedad de metodologías que decían llamarse RCM que surgieron desde 1990 y con la creciente demanda internacional por una norma que estableciera criterios mínimos para que un proceso de análisis de fallos pueda ser llamado “RCM” apareció en 1999 la norma SAE JA 1011 y en el año 2002 la norma SAE JA 1012. Ambas normas no buscan ser manual o guía de procedimientos, sino que solo establecen criterios mínimos que debe satisfacer una metodología para que pueda llamarse RCM. (rcm3.org, s.f.)

#### **2.2.12. Costos y gastos**

Los costos son los esfuerzos económicos orientados a la producción o comercialización de bienes o la prestación de servicios. Los costos son inventariados solo en empresas que producen bienes físicos. Ejemplo de costos pueden ser: materias primas, nómina de los trabajadores, depreciación de las máquinas,

servicios públicos de la fábrica, entre otros. Se constituye en costo todo lo que la fábrica invierte y que tiene como fin último la fábrica.

Los gastos son esfuerzos económicos que permiten mantener la administración de las empresas. Ejemplos de gastos pueden ser: sueldos administrativos, comisiones por ventas, depreciaciones de los equipos de oficina, servicios públicos consumidos por las oficinas administrativas, entre otros.

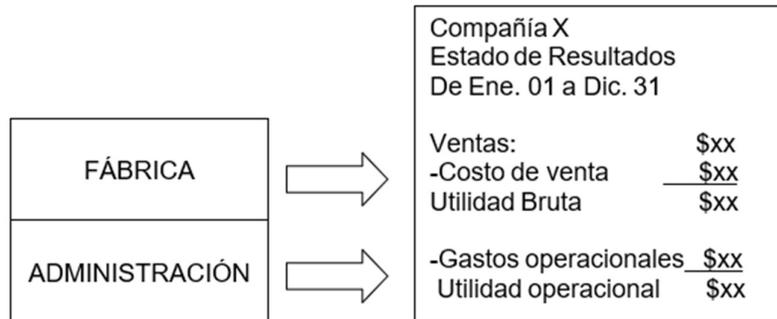
La contabilidad de costos tradicional se ha obstinado en separar estos dos conceptos, la clara separación entre fábrica y administración ha sido el fundamento de un informe financiero pretendió evaluar de manera objetiva el desempeño gerencial: el Estado de Resultados. (Cuervo Tafur & Osorio Agudelo, 2006)

Los elementos del costo son todos los rubros requeridos en la producción o comercialización de bienes o prestación de servicios y se clasifican en:

- Materiales o insumos indirectos.
- Mano de obra directa.
- Costos indirectos
- Contratación de terceros

Los costos indirectos son necesarios para completar el proceso de producción o de servicios. Se denominan costos indirectos de fabricación o costos indirectos del servicio y pueden ser los siguientes: materiales o insumos indirectos, mano de obra indirecta, servicios públicos, depreciaciones de los equipos productivos, mantenimiento y reparaciones, entre otros. La Figura 11 muestra un modelo de esquema de resultados.

**Figura 11**  
Estado de resultados.

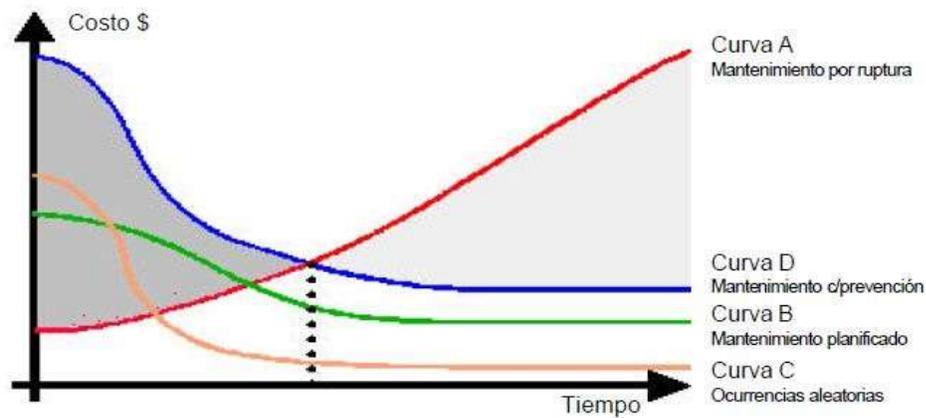


*Nota:* Joaquín Cuervo y Jair Osorio, 2006.

### 2.2.13. Costo de Mantenimiento

En costos, el mantenimiento correctivo dentro de un periodo de tiempo se comporta como una curva ascendente (curva A en Figura 12), a causa de la disminución de la vida útil de los equipos y su depreciación, pérdida de producción o calidad de los servicios, aumento de compra de repuestos, incremento del inventario de materia prima improductiva, horas extras del personal de mantenimiento, ociosidad de mano de obra operativa, pérdida de mercado e incremento de riesgos de accidentes.

**Figura 12**  
Curvas de costo del mantenimiento con relación al tiempo.



*Nota:* Tabares.

El establecimiento de los procesos de planificación y control presenta una configuración de costos invertida, con tasa negativa anual cercana al 20% y tendencia a valores estables, con la planificación y control podremos prevenir o predecir fallas.

Se considera costo total de una parada de equipo o sistema a la suma del costo del mantenimiento y el costo de indisponibilidad. El costo de mantenimiento incluye los costos de mano de obra, repuestos, materiales, combustibles y lubricantes. El costo de indisponibilidad incluye el costo de pérdida de producción (horas no trabajadas). Según referencias sobre costo de indisponibilidad, este costo suele representar más de la mitad del costo total de la parada.

La inversión inicial del mantenimiento planificado es mayor que la de mantenimiento no planificado y no elimina el total de las fallas aleatorias, su alto costo inicial está asociado a la inexperiencia del personal de mantenimiento, quienes al intervenir en los equipos alteran su equilibrio operativo. Con el paso del tiempo y con la experiencia que gana el personal, el mantenimiento aleatorio tiende a reducir sus valores y a ser más estable. La suma general de los costos del mantenimiento planificado y aleatorio, identificado como mantenimiento preventivo, luego de un determinado tiempo, llega a ser menor que el mantenimiento por ruptura.

#### **2.2.14. Rentabilidad**

La rentabilidad es una medida relativa de las utilidades, es la comparación de las utilidades netas obtenidas en la empresa con las ventas, con la inversión realizada (rentabilidad económica o del negocio), y con los fondos aportados por sus propietarios (rentabilidad financiera o del propietario).

Los componentes de la rentabilidad económica son el margen de utilidad neta en ventas y la rotación de los activos. Para mejorar la rentabilidad económica

es necesario incrementar la rotación de los activos, reduciendo el nivel de activos o incrementando las ventas con los mismos activos disponibles.

Cuando se maneja el margen de utilidades con ingresos constantes (ventas de difícil incremento) la única alternativa viable es reducir los costos, para mejorar la rentabilidad económica, buscando un apalancamiento financiero positivo e incremento en la rentabilidad financiera. La reducción de costos también es una salida para las empresas industriales con altos niveles de activos (Morillo, 2001).

## CAPÍTULO III

### RCM APLICADO A LA INDUSTRIA CEMENTERA

#### 3.1. Fase 1 para la implantación de RCM: Objetivos, indicadores y valoración

UNACEM cuenta con dos plantas de producción cemento y clinker: Planta Atocongo, ubicada en el distrito de Villa María del Triunfo, provincia de Lima, Región Lima, y Planta Condorcocha, ubicada en el distrito de La Unión Leticia, provincia de Tarma, Región Junín.

La capacidad de producción de la Planta Condorcocha es de 2.8 millones de TM de cemento y 1.9 millones de TM de Clinker. La Planta Atocongo tiene una capacidad de producción de 5.5 millones de TM de cemento al año y una capacidad de producción anual de 4.8 millones de TM de clínker. La Tabla 2 muestra la capacidad anual de plantas de Unacem. La Figura 13 muestra la capacidad de producir cemento y la Figura 14 la capacidad de producir clinker en ambas plantas.

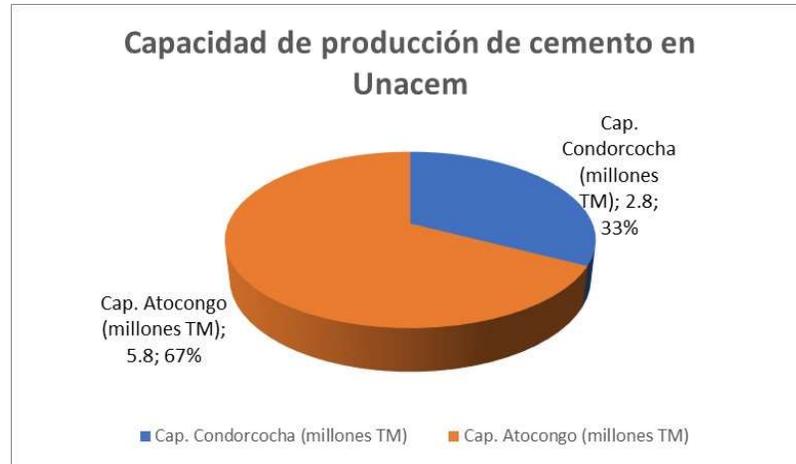
**Tabla 2**  
*Capacidad anual de plantas de Unacem.*

Producto	Cap. Condorcocha (millones TM)	Cap. Atocongo (millones TM)
Cemento	2.8	5.8
Clinker	1.9	4.8

*Nota:* Datos proporcionados por la empresa.

**Figura 13**

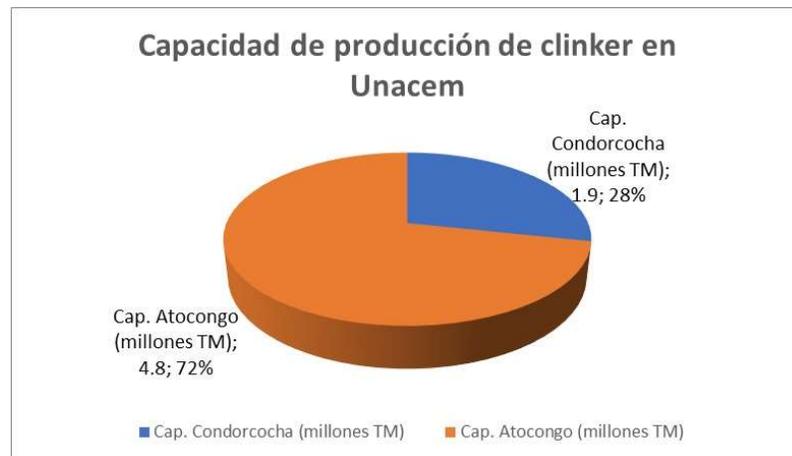
*Capacidad de producción de cemento en plantas de Unacem en Perú.*



Nota: Información suministrada por la empresa.

**Figura 14**

*Capacidad de producción de clinker en plantas de Unacem Perú.*



Nota: Información suministrada por la empresa.

Los ingresos de Unacem provienen principalmente de la venta de cemento (92.80% de los ingresos en el 2020) y sus activos están compuestos principalmente por activos fijos, los cuales representaron 44.24% del total de activos, en el 2020, conformado principalmente por los activos de sus dos principales plantas de producción y por inversión en empresas del grupo. (Pizarro, 2021)

En la Tabla 3 se presenta el valor de activos fijos de las plantas de Unacem

el 2019 y 2020. Según el reporte interno de activos financieros de Unacem, en el ejercicio 2020 el valor de los activos fijos de la planta Condorcocha tomó un valor aproximado a S/ 1,368 millones y el valor de los activos de la planta Atocongo tomó un valor aproximado a S/ 1,190 millones.

**Tabla 3**

*Valor de activos fijos de plantas de Unacem, 2019 y 2020.*

Planta	Valor de activos fijos 2019	Valor de activos fijos 2020
Condorcocha	S/ 1,460,656,718.63	S/ 1,368,125,876.41
Atocongo	S/ 1,264,631,984.46	S/ 1,190,133,294.95

*Nota.* Datos proporcionados por la empresa.

Considerando la mayor capacidad de producción y acceso a información, se continua la investigación con información de la planta Atocongo.

Los reportes de producción de clinker y despacho de cemento de la planta Atocongo de Unacem, muestran el decremento de la producción el 2020 respecto al 2019, Figura 15, ocasionado principalmente por la emergencia sanitaria y la ocurrencia de fallos que generaron paradas no programadas. De acuerdo con lo mostrado en la Tabla 4, el decremento de producción de clinker elaborado en el horno 1 fue aproximadamente 2 veces la de del horno 2, se debe tener en cuenta que la capacidad de ambos hornos es cercana a las 7 500 t/día de Clinker.

En el caso del despacho de cemento, la reducción está vinculada a la emergencia sanitaria. La Figura 16 muestra la producción de cemento donde se aprecia la reducción el 2020.

**Tabla 4**

*Producción de clinker y despacho de cemento en planta Atocongo de Unacem, 2019 y 2020.*

Producto	2019	2020	Variación 2020 vs 2019
Clinker – Horno 1 (t)	1,995,627	769,441	-1,226,186

Clinker – Horno 2 (t)	2,082,933	1,394,672	-688,261
Cemento (Despacho en t)	3,572,079	3,045,451	-526,627

*Nota:* Datos proporcionados por la empresa.

**Figura 15**

*Producción de clinker el 2019 y 2020 en planta Atocongo de Unacem.*



*Nota:* Datos proporcionados por la empresa.

**Figura 16**

*Producción de cemento el 2019 y 2020 en planta Atocongo de Unacem.*



*Nota:* Datos proporcionados por la empresa.

De acuerdo con el reporte de producción de hornos emitido el primer semestre del 2021, el valor de una tonelada de Clinker equivale a \$40.00 (sin IGV) y según la lista de precios referenciales del área comercial, el precio promedio de la bolsa de cemento de 42.5 kg equivale a s/18.33 (sin IGV), se puede estimar el precio de la tonelada de cemento en s/431.29. Con esta información se estima el valor de la

producción de los años 2019 y 2020 en la planta Atocongo y se elabora la Tabla 5.

**Tabla 5**

*Valorización de la producción de clinker y cemento de planta Atocongo de Unacem, 2019 y 2020.*

Producto (t)	2019 (t)	2019 (s/.)	2020 (t)	2020 (s/.)	Variación 2020 vs 2019
Clinker					
Horno 1	1,995,627	S/ 266,456,117.04	769,441	S/ 107,629,407.08	-S/158,826,709.96
Clinker					
Horno 2	2,082,933	S/ 278,113,214.16	1,394,672	S/ 195,086,719.36	-S/ 83,026,494.80
Cemento					
(Despacho)	3,572,079	S/ 1,540,616,660.47	3,045,541	S/ 1,313,523,918.35	-S/ 227,092,742.12

*Nota:* Datos proporcionados por la empresa.

Los sistemas productivos para la fabricación de clinker y cemento que posee la planta Atocongo de Unacem se muestran en la Tabla 6.

**Tabla 6**

*Sistemas productivos de planta Atocongo de Unacem.*

Sistemas Productivos Planta Atocongo	
Ítem	Máquina
1	Chancado Primario
2	Chancadora Hischmann
3	Chancadora Pennsylvania
4	Pre-homogenización (Apilado)
5	Pre-homogenización (Recuperación)
6	Molino de Crudo
7	Prensa de Crudo 1
8	Prensa de Crudo 2
9	Prensa de Crudo 3
10	Prensa de Crudo 4
11	Línea 1 de clinkerización
12	Línea 2 de clinkerización
13	Molino Swing
14	Molino de Cemento
15	Prensa de Clinker 1

16	Prensa de Clinker 2
17	Prensa de Clinker 3
18	Prensa de Clinker 4
19	Molienda 1 Carbón
20	Molienda 2 Carbón
21	Envase 2
22	Granel
23	Sistema de Aire Comprimido
24	Sistema de Agua

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

De acuerdo con los reportes de disponibilidad de maquinaria de planta presentados por la división de mantenimiento preventivo a la subgerencia de mantenimiento de la planta Atocongo en 2019 y 2020, se elaboró la Tabla 7, donde se registran los índices de disponibilidad por año (promedio de índices mensuales), este indicador es evaluado considerando las horas totales de funcionamiento planificado menos las horas de paradas.

$$\text{Disp. (\%)} = \frac{\text{Horas totales de funcionamiento planificado} - \text{Horas de paradas}}{\text{Horas totales de funcionamiento planificado}}$$

En la Tabla 7 no se consideraron los índices de disponibilidad de los sistemas de aire comprimido y suministro de agua por falta de información.

**Tabla 7**  
*Índices de disponibilidad de maquinaria promedio de planta Atocongo de Unacem, 2019 y 2020.*

Sistemas Productivos Planta Atocongo		Disponibilidad promedio 2019	Disponibilidad promedio 2020	Variación 2020 vs 2019
Ítem	Máquina			
1	Chancadora Primaria	78.3%	92.4%	14.1%
2	Chancadora Hischmann	76.3%	96.5%	20.3%
3	Chancadora Pennsylvania	76.7%	83.0%	6.3%
4	Pre-homogenización (Apilado)	78.8%	90.8%	12.0%
5	Pre-homogenización (Recuperación)	86.6%	96.2%	9.6%
6	Molino de Crudo	90.3%	99.7%	9.4%

7	Prensa de Crudo 1	78.1%	88.6%	10.5%
8	Prensa de Crudo 2	79.7%	94.7%	15.0%
9	Prensa de Crudo 3	77.2%	92.8%	15.6%
10	Prensa de Crudo 4	79.9%	91.5%	11.6%
11	Línea 1 de clinkerización	88.3%	57.3%	-27.9%
12	Línea 2 de clinkerización	85.2%	99.2%	14.0%
13	Molino Swing	85.3%	93.9%	8.5%
14	Molino de Cemento	88.2%	88.6%	0.4%
15	Prensa de Clinker 1	82.7%	92.6%	9.9%
16	Prensa de Clinker 2	83.5%	94.3%	10.8%
17	Prensa de Clinker 3	82.8%	96.2%	13.4%
18	Prensa de Clinker 4	86.4%	94.0%	7.6%
19	Molienda 1 Carbón	89.4%	97.2%	7.8%
20	Molienda 2 Carbón	90.9%	97.3%	6.4%
21	Envase 2	81.4%	90.1%	8.8%
22	Granel	84.1%	95.1%	11.0%

*Nota:* Información entregada por la empresa.

En la Tabla 7, resaltan los índices de disponibilidad en el 2019, en la mayoría de los sistemas es menor a 90%, en el 2020 se aprecia que el índice de disponibilidad mejoró, este hecho tiene relación con la emergencia sanitaria, la planta no operó 2 meses aproximadamente, no hubo requerimiento de operación en ese periodo, no se efectuaron todos los planes de mantenimiento programados y no ocurrieron averías. Resalta la reducción de la disponibilidad del Horno 1 en 27.9% entre el 2019 y 2020, debido a una avería en la estructura del horno cuya reparación duró más de 2 meses.

De acuerdo con los reportes de disponibilidad de maquinaria de planta presentados por la división de mantenimiento preventivo a la subgerencia de mantenimiento de la planta Atocongo en 2019 y 2020, se pudo estimar las horas perdidas por averías en los sistemas productivos. Según los registros históricos de los sistemas productivos se pudo conocer la capacidad de cada sistema, con la información recolectada se pudo estimar la pérdida de producción por averías, esta

información se muestra en la Tabla 8. Resaltan las horas perdidas de producción del horno 1 en el 2020 que genero más de 1 000 000 de toneladas de clinker dejadas de producir con un valor superior a los \$ 40 000 000.

**Tabla 8**

*Capacidad de sistemas productivos, horas acumuladas por averías y pérdidas de producción por Avería en plata Atocongo de Unacem, 2019 y 2020.*

Sistemas Productivos Planta Atocongo		Capacidad (t/h)	Averías 2019 (horas acum.)	Producción perdida 2019 (ton)	Averías 2020 (horas acum.)	Producción perdida 2020 (ton)
Ítem	Máquina					
1	Chancadora Primaria	1500	343.37	515055	208.73	313095
2	Chancadora Hischmann	1200	582.91	699492	88.84	106608
3	Chancadora Pennsylvania	1200	517.26	620712	257.81	309372
4	Pre-homogenización (Apilado)	1200	424.12	508944	310.84	373008
5	Pre-homogenización (Recuperación)	1200	46.03	55236	140.28	168336
6	Molino de Crudo	70	136.13	9529.1	28.33	1983.1
7	Prensa de Crudo 1	330	431.51	142398.3	412.71	136194.3
8	Prensa de Crudo 2	330	420.12	138639.6	327	107910
9	Prensa de Crudo 3	330	812.77	268214.1	443.84	146467.2
10	Prensa de Crudo 4	330	392.24	129439.2	218.78	72197.4
11	Línea 1 de clinkerización	330	256.09	84509.7	3376.24	1114159
12	Línea 2 de clinkerización	320	128.64	41164.8	74.46	23827.2
13	Molino Swing	80	247.88	19830.4	358.17	28653.6
14	Molino de Cemento	80	157.81	12624.8	768.21	61456.8
15	Prensa de Clinker 1	130	455.28	59186.4	274.15	35639.5
16	Prensa de Clinker 2	130	265.09	34461.7	167.95	21833.5
17	Prensa de Clinker 3	130	494.3	64259	184.54	23990.2
18	Prensa de Clinker 4	130	319.02	41472.6	230.22	29928.6
19	Molienda 1 Carbón	40	378.93	15157.2	248.3	9932
20	Molienda 2 Carbón	40	77.23	3089.2	228.69	9147.6
21	Envase 2	748	2026.6	1515896.8	2292.9	1715089
22	Granel	660	787.8	519948	4636.21	3059899

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

Es importante mencionar que la línea de envasado (Envase 2) está formado por 7 sistemas de embolsado y el sistema de despacho a granel está formado por 6

líneas de despacho, la información recolectada sobre las horas de producción perdidas por avería es por todo el sistema en su conjunto, es por ellos que se tiene un número alto de horas de pérdidas de producción, se puede estimar que las horas perdidas por avería por cada línea de embolsado es aproximadamente 289 y las horas perdidas por avería por cada línea de despacho a granel es aproximadamente 81.

Considerando la información sobre capacidad de planta de la Tabla 2 y la producción de cemento y clinker en la planta Atocongo que se indica en la Tabla 4 se elaboró la Tabla 9, donde se estimó que el sistema de despacho embolsado y a granel trabajó al 61% de su capacidad el 2019 y al 52% de su capacidad el 2020, de manera similar se estimó que el sistema de producción de clinker trabajó al 85% de su capacidad el 2019 y al 45% de su capacidad el 2020, considerando que el año 2020 fue un año atípico debido a la emergencia sanitaria, se concluye que se hace un mayor uso de la capacidad de producción del sistema de producción de clinker en comparación con los sistemas de despacho de cemento.

**Tabla 9**  
*Uso de capacidad de sistema de producción de clinker y despacho de cemento en planta Atocongo de Unacem, 2019 y 2020.*

Sistema Productivo	Uso de capacidad 2019	Uso de capacidad 2020
Fabricación de Clinker	85%	45%
Despacho de Cemento	61%	52%

*Nota.* Información suministrada por le empresa.

Según el registro de órdenes de mantenimiento creadas en SAP, se estimó el costo de mantenimiento de los sistemas productivos en el 2019 y en 2020, en esta evaluación no se han considerado los proyectos de inversión ejecutados en los sistemas productivos. En la Tabla 10 se aprecia que los sistemas con mayor costo de mantenimiento son los hornos 1 y 2, en el caso de la Línea 1 de clinkerización, el

gasto de mantenimiento superó los 21 millones de soles en el 2019 y en el 2020.

El objetivo principal de esta investigación es la Integración del RCM en la industria cementera peruana para generar un impacto favorable en la productividad, se evidenciará su efectividad en el incremento del índice de disponibilidad de los sistemas productivos y en la reducción de los costos de mantenimiento, en consecuencia, se generará el incremento de la utilidad operativa.

**Tabla 10**

*Costo de mantenimiento en planta Atocongo de Unacem, 2019 y 2020.*

Sistemas Productivos Planta Atocongo		Costo de mant. 2019	Costo de mant. 2020	Costo de mant. 2019 + 2020
Ítem	Máquina			
1	Ch. Primaria	S/ 2,099,801.11	S/ 1,995,149.59	S/ 4,094,950.70
2	Ch. Hischmann	S/ 3,437,146.42	S/ 1,831,761.92	S/ 5,268,908.34
3	Ch. Pennsylvania	S/ 3,958,523.71	S/ 2,451,854.03	S/ 6,410,377.74
4	Pre-homogenización (Apilado)	S/ 191,139.42	S/ 335,615.57	S/ 526,754.99
5	Pre-homogenización (Recuperación)	S/ 1,412,536.50	S/ 1,055,091.20	S/ 2,467,627.70
6	Molino de Crudo	S/ 922,526.45	S/ 520,213.76	S/ 1,442,740.21
7	Prensa de Crudo 1	S/ 2,743,941.25	S/ 2,820,153.12	S/ 5,564,094.37
8	Prensa de Crudo 2	S/ 3,071,963.36	S/ 922,725.10	S/ 3,994,688.46
9	Prensa de Crudo 3	S/ 3,499,070.49	S/ 888,242.31	S/ 4,387,312.80
10	Prensa de Crudo 4	S/ 2,059,591.54	S/ 1,103,470.56	S/ 3,163,062.10
11	Línea 1 de clinkerización	S/ 21,279,484.24	S/ 22,593,837.18	S/ 43,873,321.42
12	Línea 2 de clinkerización	S/ 21,419,903.55	S/ 7,650,267.13	S/ 29,070,170.68
13	Molino Swing	S/ 471,586.00	S/ 200,474.57	S/ 672,060.57
14	Molino de Cemento	S/ 4,006,320.60	S/ 2,424,898.18	S/ 6,431,218.78
15	Prensa de Clinker 1	S/ 3,943,250.19	S/ 2,777,593.18	S/ 6,720,843.37
16	Prensa de Clinker 2	S/ 2,019,431.99	S/ 1,958,238.04	S/ 3,977,670.03

17	Prensa de Clinker 3	S/ 4,185,310.05	S/ 1,457,088.27	S/ 5,642,398.32
18	Prensa de Clinker 4	S/ 2,324,656.21	S/ 2,369,252.59	S/ 4,693,908.80
19	Molienda 1 Carbón	S/ 1,170,313.41	S/ 537,686.96	S/ 1,708,000.37
20	Molienda 2 Carbón	S/ 349,235.70	S/ 167,189.09	S/ 516,424.79
21	Envase 2	S/ 10,714,089.80	S/ 8,760,583.67	S/ 19,474,673.47
22	Granel			
23	Sistema de Aire Comprimido	S/ 9,674,753.03	S/ 7,212,086.23	S/ 16,886,839.26
24	Sistema de Agua / Ptar / Edificios /Estructuras / etc.			
TOTAL		<b>S/ 104,954,575.01</b>	<b>S/72,033,472.25</b>	<b>S/ 176,988,047.26</b>

*Nota:* Información suministrada por le empresa.

Con la información presentada en el reporte interno de activos financieros de la planta Atocongo en la tabla 3 y el costo de mantenimiento de los sistemas productivos de la planta Atocongo presentados en la Tabla 10 se puede relacionar el costo de mantenimiento sobre el valor de los activos por año, el resultado se presenta en la Tabla 11 y en la Figura 17.

**Tabla 11**  
*Relación entre el costo de mantenimiento y el valor de activos fijos de la planta Atocongo de Unacem, 2019 y 2020.*

Año	Valor de activos fijos	Costo Mantenimiento	Relación
2019	s/ 1,264,631,984.46	s/ 104,954,575.01	8.3%
2020	s/ 1,190,133,294.95	s/ 72,033,472.25	6.05%

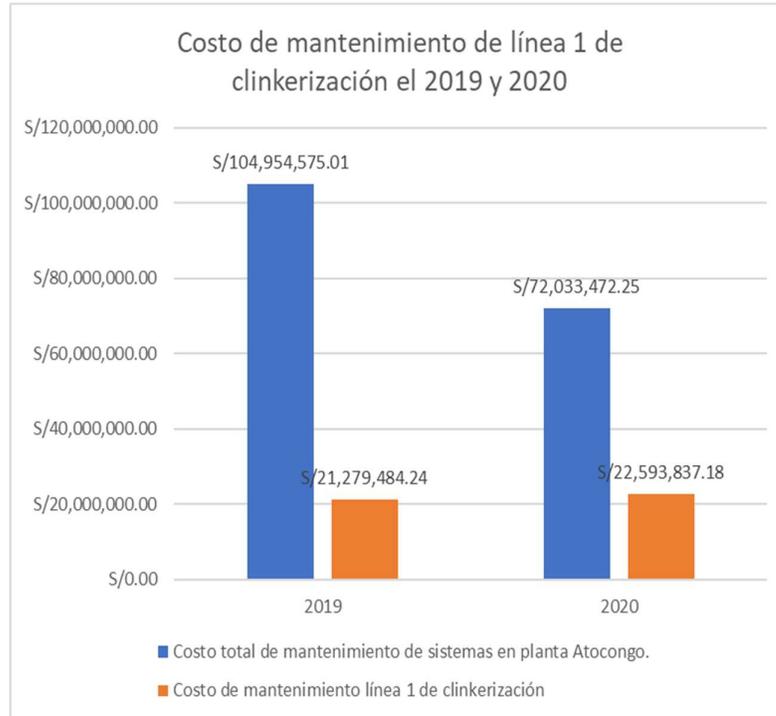
*Nota:* Información suministrada por le empresa.

De la información presentada se evidencia que uno de los sistemas que ha tenido bajo índice disponibilidad, incremento de pérdida de horas producción por averías y alto costo de mantenimiento es el sistema productivo línea 1 de

clinkerización. El costo de mantenimiento de la línea 1 de clinkerización representó el 20.3% el 2019 y 31.4% el 2020 del total del costo de mantenimiento.

**Figura 17**

*Costo total de mantenimiento y costo de mantenimiento de la línea 1 de clinkerización el 2019 y 2020.*

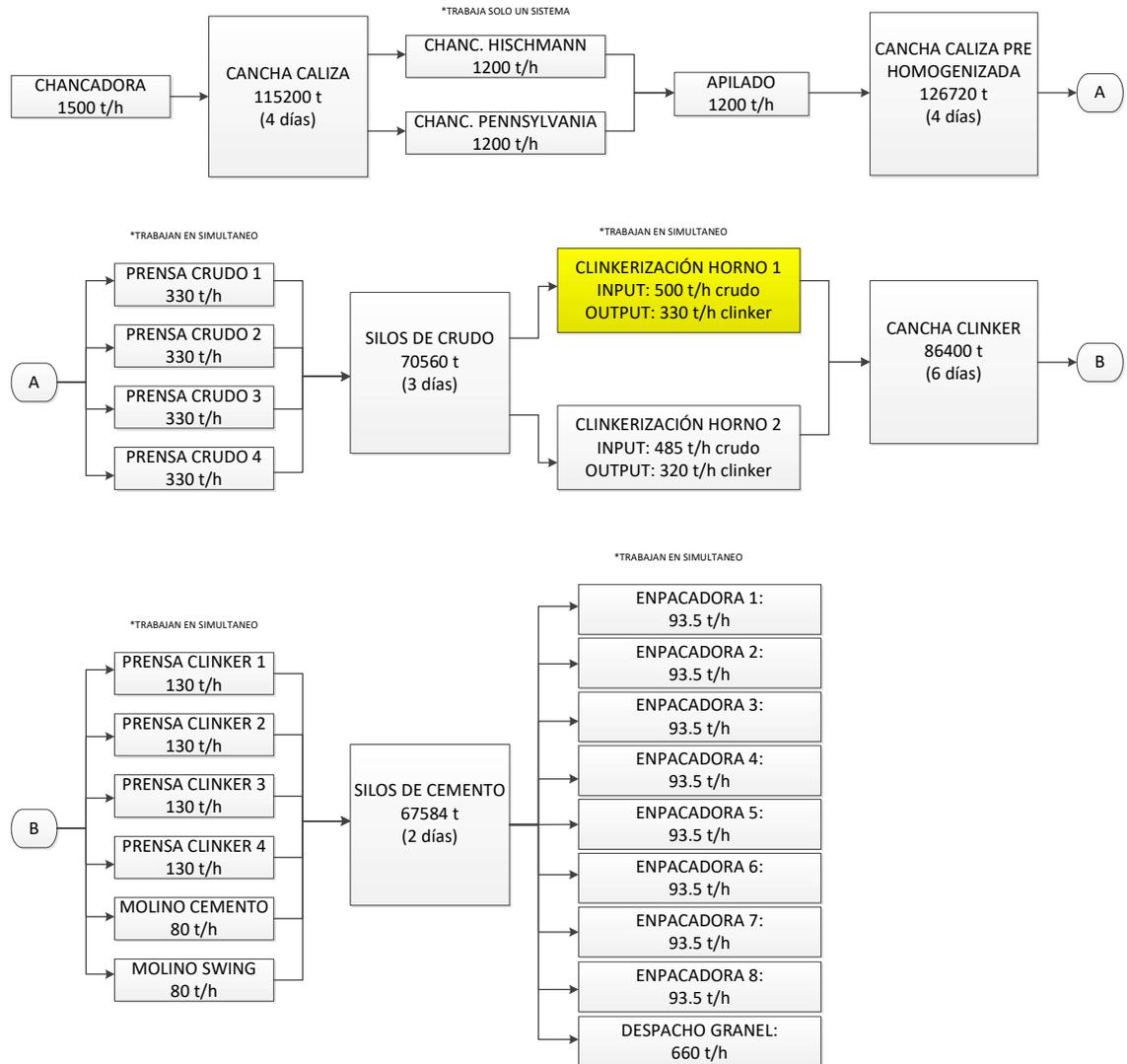


*Nota.* Información suministrada por le empresa.

El diagrama de capacidades nominales de la Figura 18 muestra la importancia del sistema de la línea 1 de clinkerización. En condiciones normales de operación no representa cuello de botella, sin embargo, la parada de toda la línea debido a algún fallo reduce la capacidad de producción de clinker en 51% convirtiendo al sistema de clinkerización en un cuello de botella obligando a reducir la producción de harina cruda para evitar la sobre producción de esta. Considerando que el clinker es el insumo más importante para la producción de cemento, trabajar con una sola línea de clinkerización poner en riesgo toda la cadena productiva del cemento, sumado a ello los gastos fijos comprometidos a pesar de no operar la línea 1.

**Figura 18**

*Diagrama de capacidades nominales de principales sistemas para la producción de cemento en Planta Atocongo de Unacem.*



*Nota:* Información suministrada por le empresa.

García Garrido, 2009, en su libro Ingeniería del Mantenimiento Volumen 1, indica que el RCM no puede estar orientado al análisis de equipos críticos sino al análisis de toda la planta, sin embargo, para fines de la investigación y acotar la aplicación del RCM a un sistema las siguientes fases se centraran en el proceso productivo de Línea 1 de clinkerización de la planta Atocongo de Unacem, por ser el

sistema crítico para la continuidad de las operaciones, presenta mayor costo de mantenimiento y reducción de disponibilidad entre el 2019 y 2020. Los motivos de elección del sistema de la línea 1 de clinkerización se presentan en la Tabla 12.

**Tabla 12**

*Elección del sistema de la línea 1 de clinkerización como sistema crítico.*

Sistema	Motivos
Clinkerización línea 1	Alto costo de mantenimiento (más de S/ 20,000,000.00 por año el 2019 y 2020)
	Baja disponibilidad (88% el 2019 y 57% el 2020)
	Más de 1,000,000 t de clinker dejadas de producir el 2020 por averías.
	Sistema crítico en la cadena productiva del cemento.

*Nota.* Información suministrada por le empresa.

### 3.1.1. Principales Indicadores del Sistema línea 1 de Clinkerización

#### 3.1.1.1. Disponibilidad de la línea 1 de clinkerización el 2019 y 2020

Según los reportes de disponibilidad de maquinaria de planta presentados por la división de mantenimiento preventivo de la planta Atocongo en 2019 y 2020, se elaboró la Tabla 13, donde se registran los índices de disponibilidad de la Línea 1 de clinkerización durante los meses del 2019 y 2020, la disponibilidad es uno de los indicadores de nuestra variable independiente 1.

**Tabla 13**

*Índices de disponibilidad de la Línea 1 de clinkerización, meses del 2019 y 2020.*

Sistema	Índices de Disponibilidad		
	Mes	2019	2020
	Enero	100.0%	89.7%
	Febrero	83.7%	96.7%
	Marzo	96.3%	99.9%

Línea 1 de clinkerización	Abril	100.0%	100.0%
	Mayo	68.1%	100.0%
	Junio	31.7%	47.6%
	Julio	100.0%	65.1%
	Agosto	97.7%	0.0%
	Setiembre	91.1%	0.0%
	Octubre	99.7%	0.0%
	Noviembre	98.3%	0.0%
	Diciembre	93.5%	88.2%
	<b>Promedio</b>	<b>88.3%</b>	<b>57.3%</b>

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

### 3.1.1.2. MTBF y MTTR de la línea 1 de clinkerización el 2019 y

#### 2020.

De los reportes de disponibilidad de maquinaria de planta presentados por la división de mantenimiento preventivo de la planta Atocongo en 2019 y 2020, se obtuvo información para elaborar la Tabla 14 para el 2019 y la Tabla 15 para el 2020, donde se muestra la cantidad de paradas del sistema principal de enero a diciembre, el tiempo de total de funcionamiento del sistema y los tiempos dedicados a reparaciones, El MTBF y MTTR también son indicadores de nuestra variable independiente 1, RCM.

**Tabla 14**

*Indicadores MTBF y MTTR de la Línea 1 de clinkerización del 2019.*

Indicadores MTBF y MTTR 2019						
Sistema productivo	Mes	Cant. de paradas	Tiempo de funcionamiento (horas)	Tiempo de reparaciones (horas)	MTBF 2019	MTTR 2019
	Enero	0	744	0	744.0	0.0
	Febrero	5	562.64	109.36	112.5	21.9
	Marzo	3	716.61	27.39	238.9	9.1

Línea 1 de clinkerización	Abril	0	720	0	720.0	0.0
	Mayo	3	506.59	237.41	168.9	79.1
	Junio	2	228.12	491.88	114.1	245.9
	Julio	0	744	0	744.0	0.0
	Agosto	4	727.21	16.79	181.8	4.2
	Setiembre	1	656.08	63.92	656.1	63.9
	Octubre	3	741.75	2.25	247.3	0.8
	Noviembre	1	707.72	12.28	707.7	12.3
	Diciembre	2	695.52	48.48	347.8	24.2

*Nota.* Información suministrada por la empresa.

**Tabla 15**

*Indicadores MTBF y MTTR de la Línea 1 de clinkerización del 2020.*

Indicadores MTBF y MTTR 2020						
Sistema Productivo	Mes	Cant. De paradas	Tiempo de funcionamiento (horas)	Tiempo de reparaciones (horas)	MTBF 2020	MTTR 2020
Línea 1 de clinkerización	Enero	5	667.5	76.5	133.5	15.3
	Febrero	1	672.74	23.26	672.7	23.3
	Marzo	1	743.2	0.8	743.2	0.8
	Abril	0	720	0	720.0	0.0
	Mayo	0	744	0	744.0	0.0
	Junio	0	343	377	343.0	377.0
	Julio	4	484.05	259.95	121.0	65.0
	Agosto	0	0	744	0.0	744.0
	Setiembre	0	0	720	0.0	720.0
	Octubre	0	0	744	0.0	744.0
	Noviembre	0	0	720	0.0	720.0
	Diciembre	7	656.12	87.88	93.7	12.6

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

### 3.1.1.3. Costo de mantenimiento por producción de clinker de la línea 1 de clinkerización el 2019 y 2020.

Respecto al Indicador costo de mantenimiento por producción de la variable independiente 1, en la Tabla 10 se muestra el costo de mantenimiento en el 2019 y el 2020, en la Tabla 5 se muestra la producción de clinker de la Línea 1 de clinkerización del en el 2019 y 2020. Con esta información se puede obtener el costo de mantenimiento por producción anual, en la Tabla 16 se aprecian los resultados, es notorio el incremento de este índice en el 2020, hecho vinculado a la baja producción del sistema por averías de largo tiempo de reparación.

**Tabla 16**

*Índice de costo de mantenimiento por producción de clinker en el 2019 y 2020 de la Línea 1 de clinkerización.*

Costo de mantenimiento por producción de clinker				
Sistema	Año	Producción clinker H1 (t)	Costo Mantenimiento (s/.)	Índice: Costo de Mantenimiento por producción (S/. / t)
Línea 1 de clinkerización	2019	1,995,627.00	S/ 21,279,484.24	10.66
	2020	769,441.00	S/ 22,593,837.18	29.36

*Nota.* Información suministrada por la empresa.

Este indicador nos muestra la importancia que tiene el costo de mantenimiento dentro de la producción de la empresa, permite saber en qué medida se reducen o incrementan los costos de mantenimiento en la organización.

### 3.1.1.4. Costo de mantenimiento por valor de reposición (activos) de la línea 1 de clinkerización el 2019 y 2020.

Mediante la revisión más detallada del reporte interno de activos financieros de la planta Atocongo que se usó en la elaboración de la Tabla 3 y habiendo tomado conocimiento que los centros de costo del sistema de clinkerización con horno

rotativo 1 son UCA2023100 y UCA2023300 se pudo calcular el valor de los activos de este sistema, considerando el valor de los activos como valor reposición, podremos calcular el indicador costo de mantenimiento por valor de reposición, los resultados se muestran en la Tabla 16, el costo de mantenimiento por valor de reposición también es indicador de la variable independiente 1.

En la Tabla 17, se observa que en el 2020 el indicador incrementó respecto al 2019, debido el aumento del costo de mantenimiento y la depreciación de los activos.

**Tabla 17**

*Indicador de costo de mantenimiento por el valor de reposición de la línea 1 de clinkerización en el 2019 y 2020.*

Costo de mantenimiento por el valor de reposición (Activos)				
Sistema	Año	Valor de Activos	Costo Mantenimiento	Índice: Costo de Mantenimiento por Valor de Reposición (Activos)
Línea 1 de clinkerización	2019	S/ 563,007,333.57	S/ 21,279,484.24	3.779%
	2020	S/ 528,137,542.02	S/ 22,593,837.18	4.28%

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

Este indicador analiza el costo de mantenimiento empleado en el equipo e identifica si es más ventajoso continuar manteniendo el activo o comprar uno nuevo. Lo recomendable es usar este indicador para equipos de alta criticidad.

El valor máximo aceptable es de 6% en un periodo de un año, sin embargo, este valor puede depender de un análisis del equipo, en algunos casos 2.5% ya es bastante (Suazo, s.f.).

Cuanto menor sea el valor es mejor, ya que significa que el equipo o sistema en cuestión no necesita ser reemplazado y todavía vale la pena para mantener este activo por un tiempo más a pesar de las intervenciones de mantenimiento.

### 3.1.1.5. Margen de utilidad bruta de Unacem el 2019 y 2020

El costo de mantenimiento es uno de los costos indirectos que forman parte del costo de ventas, podemos relacionar el costo de ventas y el ingreso de ventas totales para calcular el margen de utilidad bruta, indicador de la variable dependiente 2.

La utilidad bruta la obtenemos de los ingresos operacionales, es decir las ventas totales y el costo de venta, los costos operacionales son todos los ingresos que provienen de la actividad económica principal. La Tabla 18 nos muestra el margen de utilidad bruta de Unacem el 2019 y 2020.

**Tabla 18**  
*Margen Utilidad Bruta Unacem, 2019 y 2020.*

Cuenta	2019	2020
Ingresos de Actividades Ordinarias	S/ 4,099,983,000.00	S/ 3,575,309,000.00
Costo de Ventas	-S/ 2,974,951,000.00	-S/ 2,728,546,000.00
Ganancia (Pérdida)Bruta	S/ 1,125,032,000.00	S/ 846,763,000.00
Margen de Utilidad Bruta	27.440%	23.684%

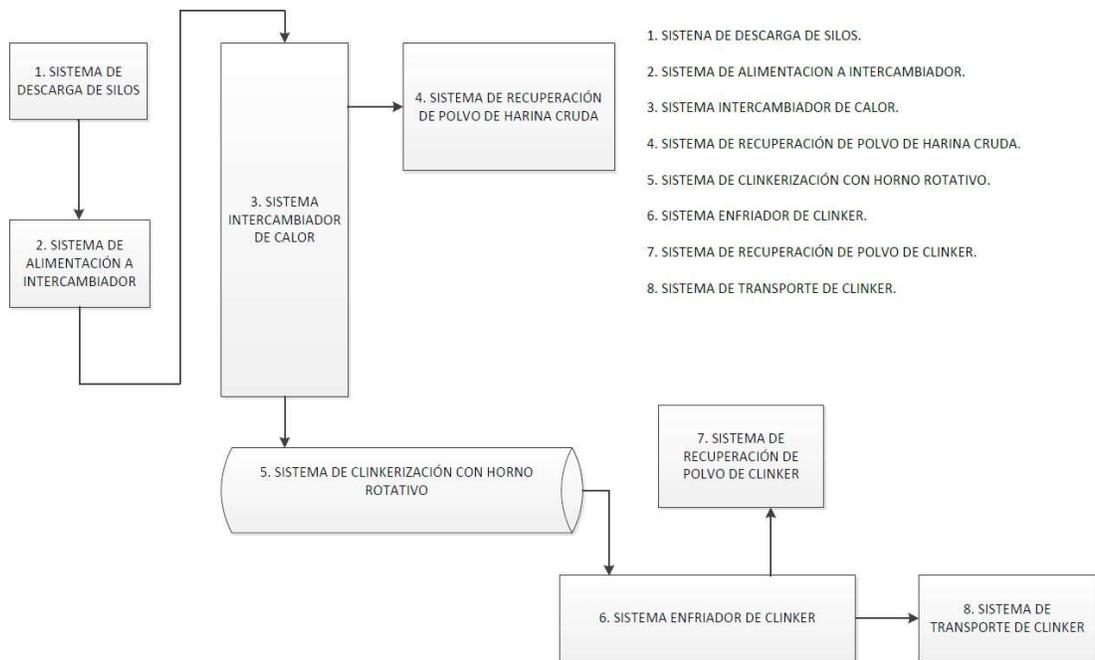
*Nota:* Información presentada en el estado de resultados Unacem, 2019 y 2020.

### 3.2. Fase 2 para la Implementación de RCM: Listado y codificación de equipos

Valiéndonos de las visitas de campo, revisión de la lista de equipos en SAP y revisión del sistema de control en el cuarto de operación de la planta Atocongo de la empresa Unacem, se preparó la Figura 19 donde se presenta el esquema del sistema de la línea 1 de clinkerización formado por 8 sistemas.

**Figura 19**

*Sistemas que conforman el sistema de producción de la línea 1 de clinker de la planta Atocongo de Unacem.*



*Nota:* Información suministrada por la empresa.

### **3.2.1. Sistemas y Subsistemas de la Línea 1 de clinkerización**

Con la información presentada por el área de mantenimiento preventivo, inspecciones de campo y revisión del sistema de control de la Línea 1 de clinkerización se elaboraron las tablas sus, se crearon 2 niveles, sin embargo, esa subdivisión podría ampliarse.

#### **3.2.1.1 Sistema de descarga de silos de mezcla.**

En el sistema de descarga de silos de mezcla, se consideraron 4 subsistemas en el nivel 1, luego se amplió dicha subdivisión a 34 subsistemas o equipos en el nivel 2, esta información y la descripción se presentan en la Tabla 19.

**Tabla 19**

*Subsistemas y equipos del Sistema de descarga de silos de mezcla.*

Sistemas Línea 1 de clinkerización	Subsistemas Línea 1 de clinkerización (Nivel 1)	Subsistemas Línea 1 de clinkerización (Nivel 2)	
		Codificación	Descripción
1. Sistema de descarga de silos de mezcla	1.1. Transporte de polvo recuperado	432VD1	Compuerta para derivar el polvo recuperado desde filtro 1 de mangas hacia el silo 3, 7 o 5 o Molino Swing o Molino Cemento.
		432VD2	Compuerta para derivar el polvo recuperado desde filtro 1 de mangas hacia el silo 3, 7 o 5.
		432VD3	Compuerta para derivar el polvo recuperado desde filtro 1 de mangas hacia el silo 7 o 5.
		432VD4	Compuerta para derivar el polvo recuperado desde filtro 1 de mangas hacia el Molino Swing o Molino Cemento.
		433VD1	Compuerta para derivar el polvo recuperado desde filtro 1 de mangas hacia el silo 3, 7, 4, Molino Swing, Molino Cemento o Molino Crudo.
		433VD2	Compuerta para derivar el polvo recuperado desde filtro 1 de mangas hacia el silo 3, 7, 4.
		433VD3	Compuerta para derivar el polvo recuperado desde filtro 1 de mangas hacia el silo 7, 4.
		433VD4	Compuerta para derivar el polvo recuperado desde filtro 1 de mangas hacia el Molino Swing, Molino Cemento o Molino Crudo.
		433VD5	Compuerta para derivar el polvo recuperado desde filtro 1 de mangas hacia el Molino Swing o Molino Cemento.
		1.2. Transporte de material recirculado	412CN5
	412SAB		Soplador de tramo 1 de canaleta para recircular material al silo 5 o 6.
	412SAC		Soplador de tramo 2 de canaleta para recircular material al silo 5 o 6.
	1.3. Aireación de descarga de silo	361SI1TC1	Tablero de control del sistema de aireación a la descarga del silo 3.
		361SI2TC1	Tablero de control del sistema de aireación a la descarga del silo 4.
		361SI3TC1	Tablero de control del sistema de aireación a la descarga del silo 5.
		361SI4TC1	Tablero de control del sistema de aireación a la descarga del silo 6.
		361CA1	Compresora de aireación para cámara de descarga del silo 3.
		361CA2	Compresora de aireación para cámara de descarga del silo 4.
		361CA3	Compresora de aireación para cámara de descarga del silo 5.
	361CA4	Compresora de aireación para cámara de descarga del silo 6.	

1.4. Descarga de silos	361CA5	Compresora de aireación para anillos descarga de silos de mezcla.
	361CA6	Compresora de aireación para anillos descarga de silos de mezcla.
	411VL1	Válvula de descarga central del silo 3.
	411VL2	Válvula de descarga central del silo 4.
	411VL3	Válvula de descarga central del silo 5.
	411VL4	Válvula de descarga central del silo 6.
	411VL6	Válvula excéntrica para descarga del silo 3.
	411VL7	Válvula excéntrica para descarga del silo 4.
	411VL8	Válvula excéntrica para descarga del silo 5.
	411VL9	Válvula excéntrica para descarga del silo 6.
	411VN106	Válvula para aireación de cono de descarga del silo 3.
	411VN107	Válvula para aireación de cono de descarga del silo 4.
	411VN108	Válvula para aireación de cono de descarga del silo 5.
411VN109	Válvula para aireación de cono de descarga del silo 6.	

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

### 3.2.1.2. Sistema de alimentación al intercambiador de calor.

En el Sistema de alimentación a intercambiador de calor, se consideraron 4 subsistemas en el nivel 1, luego se amplió dicha subdivisión a 40 subsistemas o equipos en el nivel 2, esta información y la descripción se presentan en la Tabla 20.

**Tabla 20**

*Subsistemas del sistema de alimentación al intercambiador de calor.*

Sistemas Línea 1 de clinkerización	Subsistemas Línea 1 de clinkerización (Nivel 1)	Subsistemas Línea 1 de clinkerización (Nivel 2)	
		Codificación	Descripción
2. Sistema de alimentación a intercambiador de calor	2.1. Transporte de crudo a sistema de dosificación	411SA21	Soplador de tramo 1 de canaleta 411CT21.
		411CE11	Compuerta desviadora de material del silo 3 y 4 hacia elevadores 411EB1 o 411EB2.
		411VN110	Válvula neumática de aireación a tramo 2 de canaleta 411CT21.

	411SA23	Soplador de tramo 2 de canaleta 411CT21 y de canaleta que envía material al elevador 411EB1.
	411SA22	Soplador de tramo 1 de canaleta 411CT22.
	411SA24	Soplador de tramo 2 de canaleta 411CT22 y canaleta que envía material al elevador 411EB1.
	411VN113	Válvula neumática que habilita aireación a tramo 2 de canaleta 411CT22.
	411CE12	Compuerta desviadora de material del silo 5 y 6 hacia elevadores 411EB1 o 411EB2.
	411SA25	Soplador de canaletas que transportan material al elevador 411EB1 y 411EB2.
	411EB1	Elevador 1 para llenar la tolva que alimenta la tolva de dosificación de crudo.
	411EB2	Elevador 2 para llenar la tolva que alimenta la tolva de dosificación de crudo.
	411SA5	Soplador de primera canaleta para transportar material desde elevadores 411EB1 y 411EB2 hasta la tolva de dosificación.
	411SA6	Soplador de segunda canaleta para transportar material desde elevadores 411EB1 y 411EB2 hasta la tolva de dosificación.
	411SA7	Soplador de tercera canaleta para transportar material desde elevadores 411EB1 y 411EB2 hasta la tolva de dosificación.
2.2. Sistema de dosificación de harina cruda	411TO1	Tolva del sistema de dosificación de harina cruda para el Horno 1.
	411BL1	Sistema de dosificación de harina cruda para el horno 1.
	411CA6	Compresora para aireación de tolva del sistema de dosificación.
2.3. Sistema de transporte de harina cruda a Intercambiador	411SA8	Soplador para aireación de la segunda canaleta de descarga del sistema de dosificación.
	411SA9	Soplador para aireación de la tercera canaleta de descarga del sistema de dosificación.

	411CL3	Colector de recuperación de polvo del sistema de dosificación de harina cruda.
	411VN8	Compuerta neumática para derivar la harina cruda hacia el elevador 411EB4.
	411VN7	Compuerta neumática para derivar la harina cruda hacia el elevador 411EB3.
	411EB3	Elevador de harina cruda para alimentar el precalentador del Horno 1.
	411EB4	Elevador de harina cruda para alimentar el precalentador del Horno 1.
	411CL4	Colector de recuperación de polvo del circuito de alimentación de harina cruda al Horno 1.
	411VL13	Compuerta de alimentación al precalentador del H1.
	411VL14	Compuerta para recircular el material de alimentación hacia los silos de mezcla.
	411CE1	Compuerta reguladora de alimentación a la torre 1 y torre 2 del precalentador.
	411VR1	Válvula rotativa de alimentación a la torre 1 del precalentador.
	411VR2	Válvula rotativa de alimentación a la torre 2 del precalentador.
	362CL1VL1	Compuerta desviadora de polvo desde el colector 362CL1 al silo 5 o silo 6 de mezcla.
	411SA12	Soplador de canaleta para recircular material al silo 5.
	411SA13	Soplador de canaleta para recircular material al silo 6.
	411CE2	Compuerta desviadora de material recirculado al silo 5 o silo 6 de mezcla.
	411EP23	Espiral de descarga de tolva 1 de almacenamiento de polvo recuperado del 431CL3.
2.4. Transporte de polvo recuperado	411CE3	Compuerta desviadora de polvo recuperado al sistema de despacho de filler.
	431VL1	Compuerta desviadora del polvo recuperado y almacenado en las tolvas 1 y 2 hacia los elevadores 411EB1 o 411EB2.

362SA16	Soplador de canaleta de transporte de polvo del colector 411CL2 hacia tolva 431TO1.
411EP2	Espiral de descarga del colector 411CL2.
411CL2	Colector del sistema de transporte de polvo.

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

### 3.2.1.3. Sistema Intercambiador de Calor.

En el Sistema del Intercambiador de calor, conocido también como precalentador, se consideraron 3 subsistemas en el nivel 1, luego se amplió dicha subdivisión a 24 subsistemas o equipos en el nivel 2, esta información se presenta en la Tabla 21.

**Tabla 21**

*Subsistemas y equipos de sistema Intercambiador de Calor.*

Sistemas Línea 1 de clinkerización	Subsistemas Línea 1 de clinkerización (Nivel 1)	Subsistemas Línea 1 de clinkerización (Nivel 2)	
		Codificación	Descripción
3. Sistema Intercambiador de calor	3.1. Ciclones y calcinador	421CC1	Ciclón 1 de la torre lado cerro del Precalentador.
		421CC2	Ciclón 2 de la torre lado cerro del Precalentador.
		421CC3	Ciclón 3 de la torre lado cerro del Precalentador.
		421CC4	Ciclón 4 de la torre lado cerro del Precalentador.
		421CC5	Ciclón 5 de la torre lado cerro del Precalentador.
		421CC6	Ciclón 6 de la torre lado cerro del Precalentador.
		421CC11	Ciclón 11 de la torre lado pista del Precalentador.
		421CC12	Ciclón 12 de la torre lado pista del Precalentador.
		421CC13	Ciclón 13 de la torre lado pista del Precalentador.

	421CC14	Ciclón 14 de la torre lado pista del Precalentador.
	421CC15	Ciclón 15 de la torre lado pista del Precalentador.
	421CC16	Ciclón 16 de la torre lado pista del Precalentador.
	421CD1	Calcinador del Precalentador.
	421VL11MR1	Desviadora de material del ciclón 14 hacia el ciclón 16 o calcinador.
	421VL1MR1	Desviadora de material del ciclón 4 hacia el ciclón 6 o hacia el calcinador.
	421VL12MR1	Desviadora de material del ciclón 15 hacia el calcinador o al horno.
	421VL2MR1	Desviadora de material del ciclón 5 hacia el calcinador o al horno.
	421AB2TC1	Sistema de cañones neumáticos.
	421AB1TC1	Sistema de cañones neumáticos.
3.2. Sistema de combustión	456VE1TC1	Quemador a Gas.
	454BO4TC1	Dosificador de Carbón.
3.3. Analizador de gases	431CD1TC1	Analizador de gases en cámara de enlace del Horno 1.
	421IC10TC1	Analizador de gases en la torre lado cerro del Precalentador.
	421IC1TC1	Analizador de gases en la torre lado pista del Precalentador.

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

#### **3.2.1.4. Sistema de recuperación de polvo de harina cruda.**

En el Sistema de recuperación de polvo de harina cruda, se consideraron 10 subsistemas en el nivel 1, luego se amplió dicha subdivisión a 52 subsistemas o equipos en el nivel 2, esta información y la descripción se presentan en la Tabla 22.

**Tabla 22**

*Subsistemas y equipos de Sistema de recuperación de polvo de harina cruda.*

Sistemas Línea 1 de clinkerización	Subsistemas Línea 1 de clinkerización	Subsistemas Línea 1 de clinkerización (Nivel 2)	
		Codificación	Descripción

(Nivel 1)			
4. Sistema de recuperación de polvo de harina cruda	4.1. Toma de gases de la torre lado pista	431RE6	Compuerta reguladora de ingreso de aire en ducto de ingreso de 421EX1.
		421RE1	Compuerta reguladora en ducto de ingreso de gases del precalentador hacia 421Ex1.
		421EX1	Exhaustor de gases desde el precalentador hacia filtro de mangas 431CL1 y 431CL2
	4.2. Filtro de mangas Lado cerro de torre lado pista	431RE2	Compuerta de ingreso al filtro de mangas 431CL1.
		431RE4	Compuerta de ingreso de aire fresco al filtro de mangas 431CL1.
		431CL1	Colector de polvo vía filtro de mangas Lado Cerro.
		431EP1	Espiral 1 recolector de polvo del filtro de mangas 431CL1.
		431EP2	Espiral 2 recolector de polvo del filtro de mangas 431CL1.
		431EP3	Espiral 3 recolector de polvo del filtro de mangas 431CL1.
		431EP4	Espiral 4 recolector de polvo del filtro de mangas 431CL1.
		431RE3	Compuerta de ingreso al filtro de mangas LP 431CL2.
		431RE5	Compuerta de ingreso de aire fresco al filtro de mangas 431CL2.
		431CL2	Colector de polvo vía filtro de mangas.
		4.3. Filtro de mangas Lado cerro de torre lado pista	431EP6
	431EP7		Espiral 7 recolector de polvo del filtro de mangas 431CL2.
	431EP8		Espiral 8 recolector de polvo del filtro de mangas 431CL2.
	431EP9		Espiral 9 recolector de polvo del filtro de mangas 431CL2.
	431EP5		Espiral recolector central (lado pista), recupera polvo de los colectores 431CL1 y 431CL2.
	4.4. Transporte de polvo recuperado	431EP10	Espiral recolector central (lado cerro), recupera polvo de los colectores 431CL1 y 431CL2.
431EP11		Espiral recolector Lado Norte a silos de	

		homogenización 1 y 2, desde 431EP10 y 431EP5.
	431EP12	Espiral recolector Lado Sur a silos de homogenización 1 y 2, desde 431EP10 y 431EP5.
	431EP13	Espiral Recolector hacia silos de homogenización desde 431EP11 o 431EP12.
	431VR2	Válvula Rotativa de descarga de espiral 431EP5 hacia silo 7 de filler.
	431VR3	Válvula Rotativa de descarga de espiral 431EP10 hacia silo 7 de filler.
	431BG1	Bomba de grasa de espirales de colectores de polvo 431CL1 o 431CL2.
4.5. Exhaustor de filtros de mangas	431RE1	Compuerta reguladora de ingreso de gases al exhaustor 431EX1.
	431EX1	Exhaustor de gases a la salida de los filtros 431CL1 y 431CL2.
4.6. Toma de gases de la torre lado cerro	421RE3	Compuerta reguladora de ingreso de aire fresco en ducto de ingreso de ID Fan 421EX2.
	421RE2	Compuerta reguladora en ducto de ingreso desde el intercambiador de calor hacia el ID Fan 421EX2.
	421EX2	Exhaustor de gases desde el precalentador hacia el ingreso del filtro de mangas 431CL1 y 431CL2.
4.7. Filtro de mangas de torre lado cerro	431RE11	Compuerta de ingreso de aire al filtro de mangas 431CL3.
	431CL3	Filtro de mangas (piso 1).
	431VR11	Válvula rotativa de descarga de tolva 1 del colector de polvo 431CL3.
	431VR13	Válvula rotativa de descarga de tolva 3 del colector de polvo 431CL3.
	431VR15	Válvula rotativa de descarga de tolva 5 del colector de polvo 431CL3.
	431VR17	Válvula rotativa de descarga de tolva 7 del colector de polvo 431CL3.
	431VR12	Válvula rotativa de descarga de tolva 2 del colector de polvo 431CL3.
	431VR14	Válvula rotativa de descarga de tolva 4 del

		colector de polvo 431CL3.
	431VR16	Válvula rotativa de descarga de tolva 6 del colector de polvo 431CL3.
	431VR18	Válvula rotativa de descarga de tolva 8 del colector de polvo 431CL3.
4.8. Transporte de polvo recuperado	431EP20	Espiral de descarga de polvo recuperado de tolvas 1, 3, 5 y 7 del 431CL3.
	431EP21	Espiral de descarga de polvo recuperado de tolvas 2, 4, 6 y 8 del 431CL3.
	431EP22	Espiral de descarga de polvo recuperado de tolvas del 431CL3.
	431TO1	Tolva 1 de almacenamiento de polvo recuperado del 431CL3.
	431BG2	Bomba de grasa de espirales de colector de polvo 431CL3.
4.9. Exhaustor de filtro de mangas	431RE10	Compuerta reguladora de ingreso de gases exhaustor 431EX2.
	431EX2	Exhaustor de gases a la salida del filtro 431CL3.
4.10. Analizador de gases y emisión de partículas	431CW1TC1	Analizador de gases de chimenea del intercambiador de calor.
	431CW1TC2	Opacímetro de chimenea del intercambiador de calor.
	421AA1TC1	Sistema de aire acondicionado de la sala de variadores.
	421AA1TC5	Sistema de aire acondicionado de la sala de variadores.
	461AA1TC1	Sistema de aire acondicionado de la sala eléctrica del enfriador del H1.

*Nota.* Información suministrada por la empresa.

### 3.2.1.5. Sistema de clinkerización con horno rotativo.

En el Sistema de clinkerización con horno rotativo, se consideraron 4 subsistemas en el nivel 1, luego se amplió dicha subdivisión a 38 subsistemas o equipos en el nivel 2, esta información y la descripción se presentan en la Tabla 23.

**Tabla 23**

*Subsistemas y equipos del sistema de clinkerización con horno rotativo.*

Sistemas Línea	Subsistemas	Subsistemas Línea 1 de clinkerización (Nivel 2)
----------------	-------------	---

1 de clinkerización	Línea 1 de clinkerización (Nivel 1)	Codificación	Descripción
		441SH1MT1	Unidad Hidráulica 1 del Reductor 1 del Horno 1.
		441SH1MT2	Unidad Hidráulica 2 del Reductor 2 del Horno 1.
		441AC2MT1	Motor Auxiliar 1.
		441AC2MT2	Motor Auxiliar 2.
	5.1. Sistema de giro del Horno	441AC1FE1	Freno del motor auxiliar 1.
		441AC1FE2	Freno del motor auxiliar 2.
		441HR1MT1	Sistema de giro principal del Horno 1.
		441HR2MT2	Sistema de giro principal del Horno 1.
		441HR1MT3	Ventilador del motor principal 1.
		441HR1MT4	Ventilador del motor principal 2.
	5.2. Recuperación de calor	421CE1	Compuerta reguladora en ducto de aire terciario.
5. Sistema de clinkerización con horno rotativo		421SA1	Soplador de compuerta en ducto de aire terciario.
		441VE5	Ventilador Shell 2 del Horno1.
		441RE3	Compuerta eléctrica reguladora del ventilador del Shell 2 del horno 1.
	5.3. Sistema de Ventilación y control de encostramiento	441VE4	Ventilador Shell 1 del Horno1.
		441RE2	Compuerta eléctrica reguladora del ventilador del Shell 1 del horno 1.
		441VE3	Ventilador de la boca del Horno 1.
		441RE1	Compuerta de ventilador de boca de horno.
		441VE1	Ventilador de sello del horno.
		441HR1ES1	Horno Rotativo 1.
	5.4. Horno 1	441SL1TC1	Sistema de engrase de la catalina del Horno 1.
		441HR1PO1	Rodillos de soporte de llanta 1, 2 y 3 del Horno 1.
		441HR1PO2	
		441HR1PO3	

	441HR1RD1	Sistema de empuje axial del Horno 1.
	451VE1MT1	Ventilador de aire primario para petróleo.
	451VE1MR1	Compuerta de ventilador de aire primario para petróleo.
	456VE1MT1	Ventilador aire primario.
	456VE1MR1	Compuerta de ventilador de aire primario.
	456VE2MT1	Ventilador auxiliar del aire primario.
	456VE2MR1	Compuerta de ventilador auxiliar de aire primario.
	451QH1	Quemador Principal del Horno 1.
5.5. Quemador Principal del Horno	456CG1	Sistema de dosificación de gas al quemador del Horno 1.
	451BP1	Bomba de petróleo 1 para el quemador del Horno 1.
	451BP2	Bomba de petróleo 2 para el quemador del Horno 1.
	451BP3	Bomba de petróleo 3 para el quemador del Horno 1.
	451QH2MR1	Aguja reguladora motorizada para dosificación de petróleo del Horno 1.
	454B01	Dosificador de Carbón del quemador principal del Horno 1.
	451TH2	Calentador de petróleo Lado Norte.
	451TH3	Calentador de petróleo Lado Sur.

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

### 3.2.1.6. Sistema del enfriador de clinker.

En el Sistema del enfriador de clinker, se consideraron 6 subsistemas en el nivel1, luego se amplió dicha subdivisión a 49 subsistemas o equipos en el nivel 2, esta información y la descripción se presentan en la Tabla 24.

**Tabla 24**

*Subsistemas y equipos del sistema enfriador de Clinker.*

Sistemas Línea 1 de	Subsistemas Línea 1 de	Subsistemas Línea 1 de clinkerización (Nivel 2)
---------------------	------------------------	---

clinkerización	clinkerización (Nivel 1)	Codificación	Descripción
		461VE1TC1	Ventilador 1 del enfriador de clinker.
		461RE1MR1	Compuerta reguladora del ventilador 1.
		461VE2TC1	Ventilador 2 del enfriador de clinker.
		461RE2MR1	Compuerta reguladora del ventilador 2.
		461VE3TC1	Ventilador 3 del enfriador de clinker.
		461RE3MR1	Compuerta reguladora del ventilador 3.
		461VE4TC1	Ventilador 4 del enfriador de clinker.
		461RE4MR1	Compuerta reguladora del ventilador 4.
		461VE5TC1	Ventilador 5 del enfriador de clinker.
		461RE5MR1	Compuerta reguladora del ventilador 5.
	6.1. Ventiladores de enfriamiento	461VE6TC1	Ventilador 6 del enfriador de clinker.
		461RE6MR1	Compuerta reguladora del ventilador 6.
		461VE7TC1	Ventilador 7 del enfriador de clinker.
		461RE7MR1	Compuerta reguladora del ventilador 7.
		461VE8TC1	Ventilador 8 del enfriador de clinker.
		461RE8MR1	Compuerta reguladora del ventilador 8.
		461VE9TC1	Ventilador 9 del enfriador de clinker.
		461RE9MR1	Compuerta reguladora del ventilador 9.
		461VE10TC1	Ventilador 10 del enfriador de clinker.
		461RE10MR1	Compuerta reguladora del ventilador 10.
		461VE11TC1	Ventilador 11 del enfriador de clinker.
		461RE11MR1	Compuerta reguladora del ventilador 11.
	6.2. Sistema de recirculación de aceite	461SH1BA21	Bomba 1 de recirculación de aceite del sistema hidráulico del enfriador.
		461SH1RR31MT1	Ventilador de enfriamiento 1 del sistema hidráulico del enfriador.
		461SH1BA22	Bomba 2 de recirculación de aceite del sistema hidráulico del enfriador.
		461SH1RR32MT1	Ventilador de enfriamiento 2 del sistema hidráulico del enfriador.
		461SH1T01	Tanque de aceite de enfriador.

	461FIMT1	Sistema de filtrado de aceite.
	461SH1BA20MT1	Bomba de llenado del sistema hidráulico del enfriador.
6.3. Sistema de hidráulico para desplazamiento de barras	461VE12MT1	Ventilador lado sur de sala hidráulica.
	461VE13MT1	Ventilador lado norte de sala hidráulica.
	461SH1BA1MT1	Bomba hidráulica 1 para accionamiento del enfriador.
	461SH1BA2MT1	Bomba hidráulica 2 para accionamiento del enfriador.
	461SH1BA3MT1	Bomba hidráulica 3 para accionamiento del enfriador.
	461SH1TC1	Sistema de control de velocidad del enfriador.
	6.4. Transportador de clinker	461EN1DRV1
461EN1DRV2		Barra 2 del enfriador.
461EN1DRV3		Barra 2 del enfriador.
461EN1DRV4		Barra 2 del enfriador.
461EN1BL1		Blaster del enfriador.
6.5. Chancadora de Rodillos	461CH1MT1	Rodillo 1 de chancadora de Clinker del Enfriador.
	461CH1MT2	Rodillo 2 de chancadora de Clinker del Enfriador.
	461CH1MT3	Rodillo 3 de chancadora de Clinker del Enfriador.
	461CH1MT4	Rodillo 4 de chancadora de Clinker del Enfriador.
6.6. Descarga de enfriador	481CE1MR1	Compuerta de descarga de la chancadora de clinker sobre el elevador inclinado 481EI2.
	481CE2MR1	Compuerta de descarga de la chancadora de clinker sobre el elevador inclinado 481EI1.
	481EI1	Elevador inclinado 1 de transporte de clinker desde la chancadora.
	481EI2	Elevador inclinado 2 de transporte de clinker desde la chancadora.
	481MM1	Muestreador automático de clinker.

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

### 3.2.1.7. Sistema de recuperación de polvo de clinker.

En el Sistema de recuperación de polvo de clinker, se consideraron 3 subsistemas en el nivel 1, luego se amplió dicha subdivisión a 41 subsistemas o equipos en el nivel 2, esta información y la descripción se presentan en la Tabla 25.

**Tabla 25***Subsistemas y equipos del sistema de recuperación de polvo de Clinker.*

Sistemas Línea 1 de clinkerización	Subsistemas Línea 1 de clinkerización (Nivel 1)	Subsistemas Línea 1 de clinkerización (Nivel 2)	
		Codificación	Descripción
7. Sistema de recuperación de polvo de clinker	7.1. Electrofiltro de 4 cuerpos	471TS1	Transformador rectificador de celda 1 de electrofiltro.
		471CF1	Calefacción de celda 1.
		471GE1	Golpeador de electrodos de celda 1 de electrofiltro.
		471AR1MT1	Cadena 1 de arrastre en electrofiltro.
		471VR1MT1	Válvula rotativa 1 de descarga del electrofiltro.
		471TS2	Transformador rectificador de celda 2 de electrofiltro.
		471CF2	Calefacción de celda 2.
		471GE2	Golpeador de electrodos de celda 2 de electrofiltro.
		471AR2MT1	Cadena de arrastre 2 de electrofiltro.
		471VR2MT1	Válvula rotativa 2 de descarga del electrofiltro.
		471TS3	Transformador rectificador de celda 3 de electrofiltro.
		471CF3	Calefacción de celda 3.
		471GE3	Golpeador de electrodos de celda 3 de electrofiltro.
		471AR3MT1	Cadena de arrastre 3 del electrofiltro.
		471VR3MT1	Válvula rotativa 3 de descarga del electrofiltro.
		471TS4	Transformador rectificador de celda 4 de electrofiltro.
		471CF4	Calefacción de celda 4.
		471GE4	Golpeador de electrodos de celda 4 de electrofiltro.
		471AR4MT1	Cadena de arrastre 4 de electrofiltro.
		471VR4MT1	Válvula rotativa 4 de descarga del

		electrofiltro.
	471RE1MR1	Compuerta de ingreso de gases a exhaustor electrofiltro.
	471EX1MT1	Exhaustor de electrofiltro.
7.2. Transporte de polvo de clinker recuperado	471EP4MT1	Transportador helicoidal de descarga hacia circuito de transporte de finos.
	471EP5MT1	Transportador helicoidal de descarga hacia circuito de transporte de finos.
	472EP6	Transportador helicoidal del circuito de transporte de finos.
	472EP7	Transportador helicoidal del circuito de transporte de finos.
	472EP8	Transportador helicoidal del circuito de transporte de finos.
	472EB1	Elevador del circuito de transporte de finos.
	472CE2	Compuerta de desvío de finos al silo 5 o silo 7.
	472SA3	Soplador de canaleta para descarga de finos al silo 7.
7.3. Sistema de enfriamiento de gases	461TQ1VS1	Válvula 1 para control de ingreso de agua al tanque del sistema de inyección.
	461TQ1VS2	Válvula 2 para control de ingreso de agua al tanque del sistema de inyección.
	461TQ1	Tanque de Sistema de Inyección de Agua de Enfriamiento de Gases.
	461BH1MT1	Bomba 1 de Inyección de Agua de Enfriamiento de Gases.
	461BH2MT1	Bomba 2 de Inyección de Agua de Enfriamiento de Gases.
	461BH1VS1	Válvula de Ingreso para Bomba 1 de Inyección.
	461BH2VS1	Válvula de Ingreso para Bomba 2 de Inyección.
	461BH1VS3	Válvula Solenoide para Sistema de Inyección de agua - Etapa 1.
	461BH1VS4	Válvula Solenoide para Sistema de Inyección de agua - Etapa 1.
	461BH1VS5	Válvula Solenoide para Sistema de Inyección de agua - Etapa 2.

461BH1VS6	Válvula Solenoide para Sistema de Inyección de agua - Etapa 2.
-----------	--

*Nota.* Información suministrada por la empresa.

### 3.2.1.8. Sistema de transporte de clinker.

En el Sistema de transporte de clinker, se consideraron 2 subsistemas en el nivel 1, luego se amplió dicha subdivisión a 20 subsistemas o equipos en el nivel 2, esta información y la descripción se presentan en la Tabla 26.

**Tabla 26**

*Subsistemas y equipos del sistema de transporte de clinker.*

Sistemas Línea 1 de clinkerización	Subsistemas Línea 1 de clinkerización (Nivel 1)	Subsistemas Línea 1 de clinkerización (Nivel 2)	
		Codificación	Descripción
8. Sistema de transporte de clinker	8.1. Recuperación de polvo	471CL1	Colector a la descarga de clinker sobre elevadores inclinados.
		471EX3MT1	Exhaustor de colector.
		471EP3MR1	Transportador Helicoidal de descarga del colector 471CL1.
		471CL2	Colector de polvo del circuito de descarga de elevadores de clinker.
		471EX4MT1	Exhaustor de colector 471CL2.
		471EP1MR1	Transportador helicoidal de descarga de colector 471CL2.
		471CN4VS1	Válvula guillotina que habilita descarga de la espiral 471EP1 al 471EP2.
		471EP2	Transportador helicoidal de descarga desde 471EP1 hacia circuito de transporte de finos.
		471VG2	Válvula guillotina que habilita descarga del espiral 471EP1 hacia circuito de transporte de clinker.
		471CE1	Compuerta de descarga de polvo de clinker hacia tolva o incocidos (cancha auxiliar)
		482CL4	Colector de polvo de fajas sobre torre 1 y 2 de clinker.

	482EX4MT1	Exhaustor d colector 482CL4.
	481CE4	Compuerta que habilita descarga de tolva de clinker hacia faja 481FT1.
	481FT1	Faja de transporte de clinker hacia Torre 1 o Torre 2 de cancha de clinker.
	481CN1VS1	Compuerta neumática hacia torre 1 o torre 2 vía faja 482FT2.
8.2. Transporte por faja	482FT2	Faja de transporte de clinker hacia torre 2 de cancha de clinker.
	481BH1	Bomba de agua para enfriamiento de clinker transportado por faja 481FT1.
	481FT1VS1	Válvula solenoide 1 para enfriamiento de clinker transportado por faja 481FT1.
	481FT1VS2	Válvula solenoide 2 para enfriamiento de clinker transportado por faja 481FT1.
	481FT1VS3	Válvula solenoide 3 para enfriamiento de clinker transportado por faja 481FT1.

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

### **3.3. Fase 3 para la implementación de RCM: Funciones de subsistemas**

Con la finalidad de enfocar el análisis en sistemas que han generado averías operadas al sistema de la Línea 1 de clinkerización y paradas del proceso de producción de Clinker y gastos por mantenimiento correctivo entre los años 2019 y 2020, se revisó el reporte de paradas del sistema de Línea 1 de clinkerización y gastos de mantenimiento publicados en SAP de la planta Atocongo entre los años indicados. Como resultado se obtendrá lista de equipos o subsistemas que requieren mayor atención.

#### **3.3.1. Evaluación de equipos con mayor cantidad de averías y gasto por mantenimiento en 2019 y 2020**

Según la información publicada en SAP, se obtuvo la cantidad de averías de equipos y subsistemas del sistema de producción de clinker con Horno 1. La Tabla 27 muestra la cantidad de averías de los subsistemas que generaron fallos en el sistema principal el 2019 y la Tabla 28 muestra los resultados del 2020.

**Tabla 27**

*Cantidad de averías del sistema Línea 1 de clinkerización según subsistemas el 2019.*

Averías por subsistema el 2019		
Subsistemas de la Línea 1 de clinkerización	Cant. de averías por subsistema	Porcentaje Acumulado
5. Sistema de clinkerización con horno rotativo.	29	42%
2. Sistema de alimentación a intercambiador.	9	13%
4. Sistema de recuperación de polvo y harina cruda.	8	12%
1. Sistema de descarga de silos.	8	12%
6. Sistema de enfriador de clinker.	7	10%
7. Sistema de recuperación de calor.	6	9%
8. Sistema de transporte de clinker.	2	3%
3. Sistema de intercambiador de calor.	0	0%
TOTAL	69	100%

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

**Tabla 28**

*Cantidad de averías del sistema Línea 1 de clinkerización según subsistemas el 2020.*

Averías por subsistema el 2020		
Subsistemas de la Línea 1 de clinkerización	Cant. de averías por subsistema	Porcentaje Acumulado
5. Sistema de clinkerización con horno rotativo.	24	41%
6. Sistema de enfriador de clinker.	14	24%
2. Sistema de alimentación a intercambiador.	7	12%
7. Sistema de recuperación de calor.	7	12%
8. Sistema de transporte de clinker.	5	9%
4. Sistema de recuperación de polvo y harina cruda.	1	2%
1. Sistema de descarga de silos.	0	0%
3. Sistema de intercambiador de calor.	0	0%
TOTAL	58	100%

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

En la Tabla 7, se determinó que el costo de mantenimiento de la Línea 1 de clinkerización en el 2019 ascendió a s/21,279,484.24 soles y en el 2020 a s/22,593,837.18. El costo de mantenimiento se distribuyó entre trabajos rutinarios, trabajos de mejora y trabajos correctivos. Los trabajos correctivos están asociados a las averías generadas en los equipos de diversos subsistemas generando un impacto negativo en la producción, reduciendo el ratio de producción de clinker o generando paradas del sistema principal.

Accediendo al registro de ordenes rutinarias, ordenes de mejora y ordenes correctivas en SAP, se determinó que el costo total de las ordenes correctivas en el 2019 fue s/ 4,646,513.90 soles, el detalle del costo de mantenimiento correctivo de los subsistemas de la Línea 1 de clinkerización se muestran en la Tabla 29, en el sistema de clinkerización con horno rotativo registró el mayor costo con s/ 1,360,064.94 soles, representando 29.27% del costo total de ordenes correctivas.

**Tabla 29**

*Costo de mantenimiento correctivo por subsistema de la Línea 1 de clinkerización el 2019.*

<b>Subsistema</b>	<b>Costo Mant. Correctivo por Subsistema</b>	<b>% Costo por Mant. Correctivo</b>
5. Sistema de clinkerización con horno rotativo.	s/1,360,064.94	29.27%
6. Sistema de enfriador de clinker.	s/920,396.91	19.81%
4. Sistema de recuperación de polvo y harina cruda.	s/817,535.31	17.59%
3. Sistema de intercambiador de calor.	s/630,907.28	13.58%
2. Sistema de alimentación al intercambiador.	s/516,922.19	11.12%
7. Sistema de recuperación de calor.	s/193,816.85	4.17%
1. Sistema de descarga de silos.	s/127,935.44	2.75%
8. Sistema de transporte de clinker.	s/78,934.98	1.70%

TOTAL	s/4,646,513.90	100.00%
-------	----------------	---------

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

En el 2020 el costo total de ordenes correctivas de los subsistemas de la Línea 1 de clinkerización fue s/ 7,762,830.85 soles, en el sistema de clinkerización con horno rotativo se gastó s/3,752,329.07 soles en mantenimiento correctivo, representando 48.34% del gasto total de ordenes correctivas según se puede apreciar en la Tabla 30.

**Tabla 30**

*Costo de mantenimiento correctivo por subsistema de la Línea 1 de clinkerización el 2020.*

Subsistema	Costo Mant. Correctivo por Subsistema	% Gasto por Mant. Correctivo.
5. Sistema de clinkerización con horno rotativo.	S/ 3,752,329.07	48.34%
3. Sistema de intercambiador de calor.	S/ 1,511,273.32	19.47%
6. Sistema de enfriador de clinker.	S/ 1,166,539.51	15.03%
4. Sistema de recuperación de polvo y harina cruda.	S/ 764,817.51	9.85%
8. Sistema de transporte de clinker.	S/ 231,404.04	2.98%
1. Sistema de descarga de silos.	S/ 162,993.14	2.10%
2. Sistema de alimentación a intercambiador.	S/ 105,852.45	1.36%
7. Sistema de recuperación de calor.	S/ 67,621.81	0.87%
TOTAL	S/ 7,762,830.85	100.00%

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

Revisando la información de la Tabla 29 y Tabla 30 se concluye que el sistema de clinkerización con horno rotativo (sistema 5) generó el mayor gasto por trabajos correctivos frente a los demás subsistemas el 2019 y 2020.

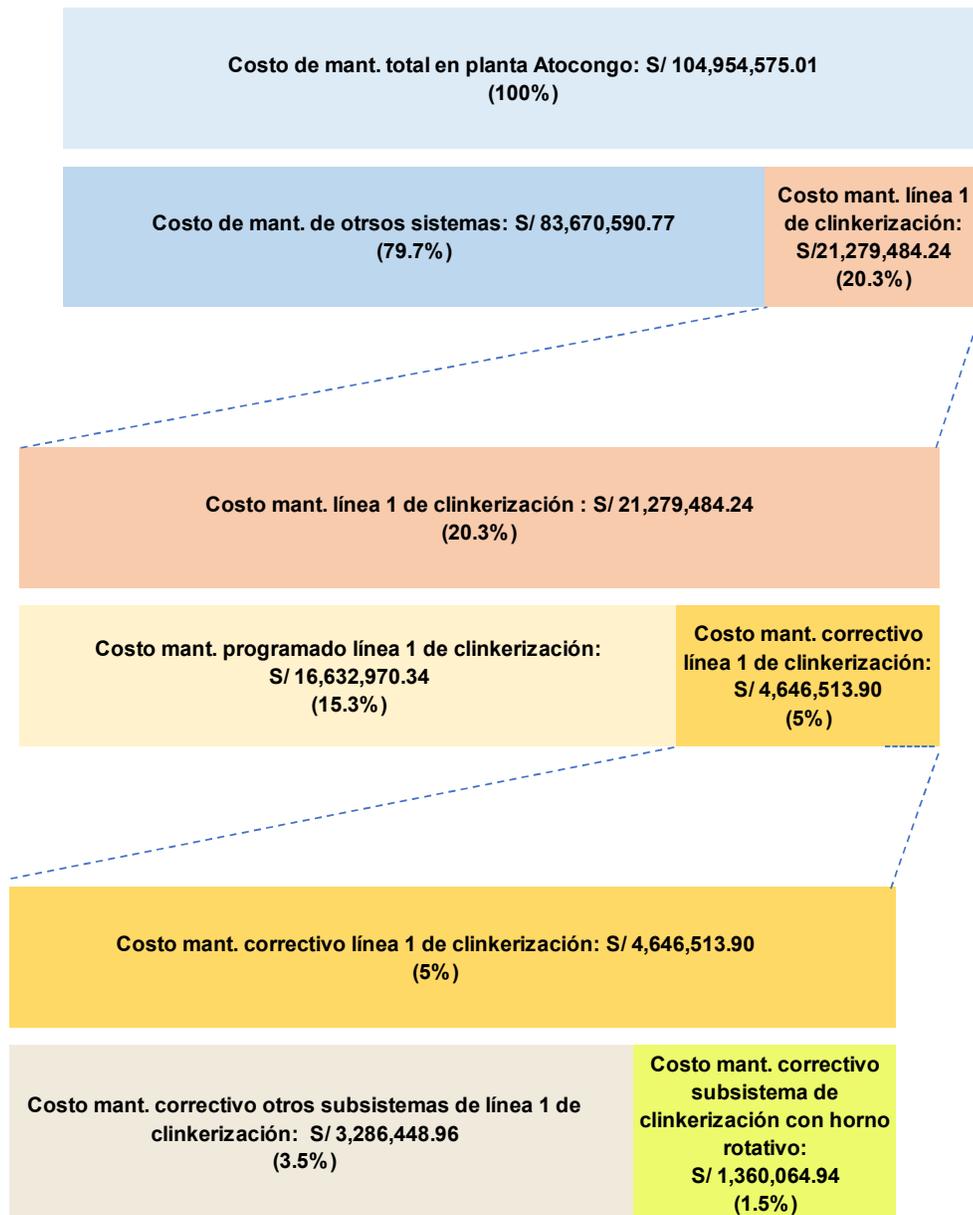
La distribución del costo de mantenimiento total de la planta hasta llegar al

costo de mantenimiento correctivo del horno rotativo 1 el 2019 y 2020 se muestran en la Figura 20 y Figura 21.

**Figura 20**

*Distribución del costo de mantenimiento en planta Atocongo el 2019.*

**Distribución de costo de mantenimiento en planta Atocongo el 2019**

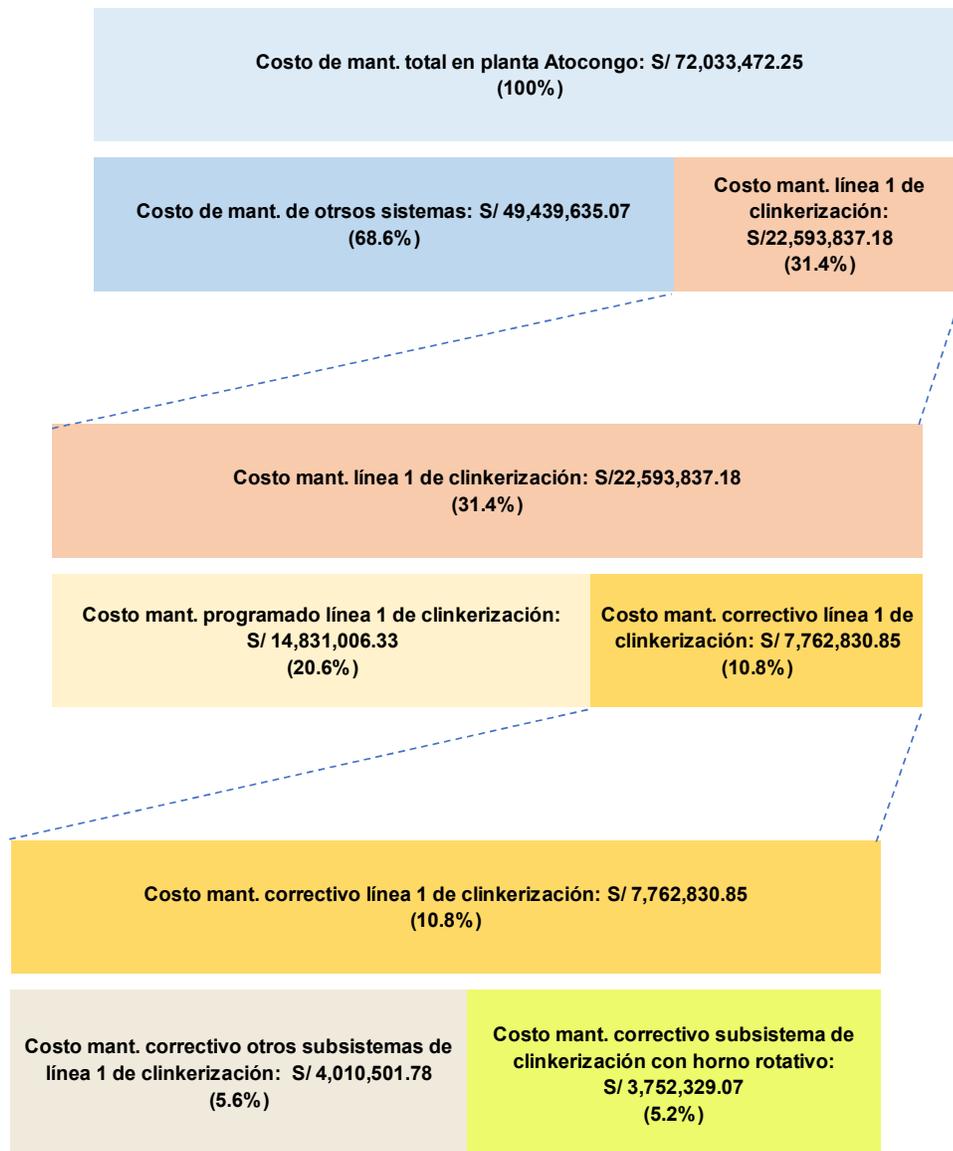


*Nota:* Información suministrada por la empresa.

**Figura 21**

*Distribución de costo de mantenimiento en planta Atocongo el 2020.*

Distribución de costo de mantenimiento en planta Atocongo el 2020



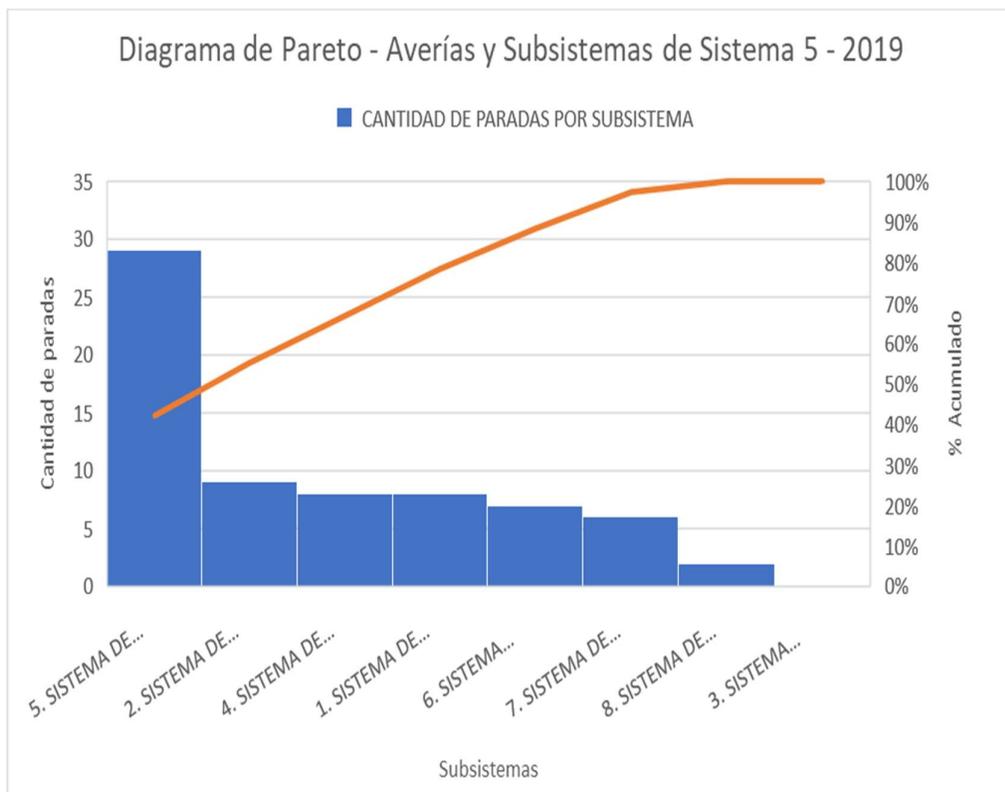
*Nota:* Información suministrada por la empresa.

### 3.3.1.1. Análisis Pareto de averías y subsistemas en 2019 y 2020

Con la información presentada en las Tabla 27 y Tabla 28 se armó el Diagrama de Pareto para identificar el impacto de las averías de los subsistemas en el sistema principal. La Figura 22 y Figura 23 muestran los diagramas de Pareto del 2019 y 2020 respectivamente, el subsistema con mayor cantidad de paradas representando 42% de las paradas el 2019 y 40% el 2020 es el sistema 5, sistema clinkerización con horno rotativo.

#### Figura 22

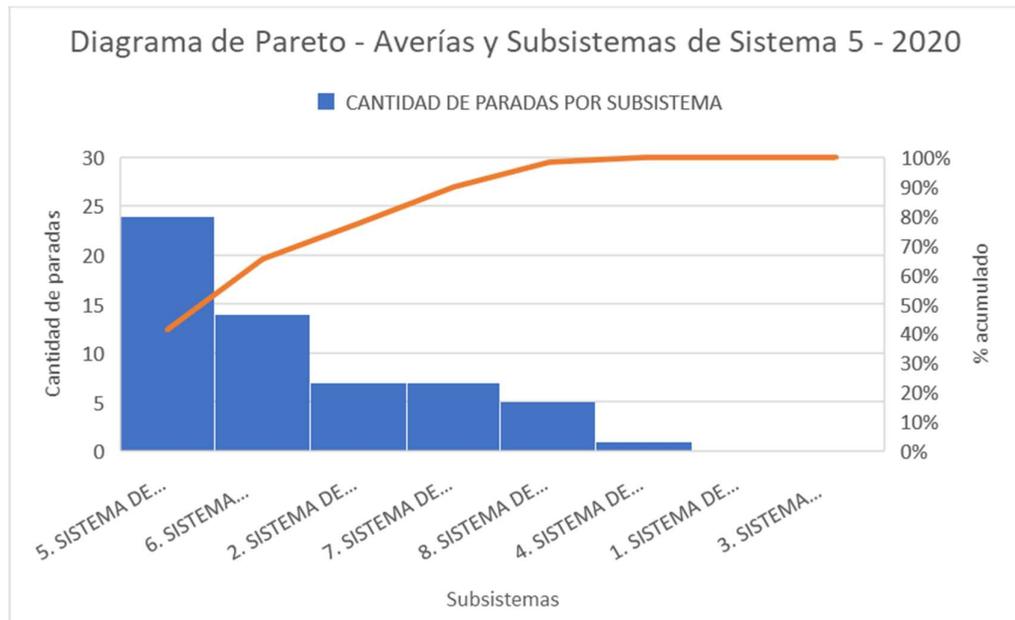
*Diagrama de Pareto de averías y subsistemas de la Línea 1 de clinkerización el 2019.*



*Nota: Información suministrada por la empresa.*

**Figura 23**

*Diagrama de Pareto de averías y subsistemas de la Línea 1 de clinkerización el 2020.*



*Nota:* Información suministrada por la empresa.

Con los resultados obtenidos de los diagramas de Pareto, centraremos el análisis en el subsistema de clinkerización con horno rotativo, Sistema 5, sin embargo, para fines de la investigación, se continuará acotando para reducir el campo de análisis al subsistema con mayor ocurrencia de averías.

Según información más detallada registrada en SAP, las 69 averías registradas en la Tabla 27 pueden ser asignadas a equipos o subsistemas, se construyó la Tabla 31 y se registró la cantidad de averías según equipo o subsistema y resalta que, de las 69 averías del proceso, 29 estuvieron asociadas al subsistema 441HR1, Horno 1 (subsistema 5.4) que forma parte del subsistema de clinkerización con horno rotativo (sistema 5).

**Tabla 31**

*Cantidad de averías en la Línea 1 de clinkerización por equipo o subsistema, 2019.*

Sistema	Cantidad de Averías	Porcentaje acumulado
A040401HR01	29	42%
A040101VL14	3	46%
A040101VR01	3	51%
A040301EP10	3	55%
A040101EB04	2	58%
A040101VL03	2	61%
A040201EX01	2	64%
A040201EX02	2	67%
A040601CH01	2	70%
A040601SH01	2	72%
A040701EF01	2	75%
A040701EX01	2	78%
A040701EX01	2	81%
A040801EI01	2	84%
A040101BL01	1	86%
A040101CA09	1	87%
A040101CE01	1	88%
A040101EB01	1	90%
A040101EB03	1	91%
A040101SA08	1	93%
A040101VL12	1	94%
A040301EP21	1	96%
A040601EN01	1	97%
A040601VE05	1	99%
A040601VE11	1	100%
<b>Total, de averías</b>	<b>69</b>	

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

De manera similar evaluamos la información del 2020, la Tabla 32 muestra que, de las 58 averías, 24 estuvieron asociadas al subsistema 441HR1, Horno 1

(subsistema 5.4).

**Tabla 32**

*Cantidad de averías en la Línea 1 de clinkerización por equipo o subsistema, 2020.*

Sistema	Cantidad de Averías	Porcentaje acumulado
A040401HR01	23	40%
A040601EN01	8	53%
A040701EF01	7	66%
A040101VR01	3	71%
A040601CH01	3	76%
A040101VR02	2	79%
A040601SH01	2	83%
A040801TK01	2	86%
A040802FT01	2	90%
A040101BL01	1	91%
A040201RE01	1	93%
A040301CE04	1	95%
A040502BO01	1	97%
A040601VE11	1	98%
A040801EI01	1	100%
Total de averías	58	

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

Por lo expuesto anteriormente, se continuará la investigación enfocándonos en el subsistema 5.4 Horno 1 y sus subsistemas. La Tabla 33 muestra los motivos por los que se decide continuar la investigación enfocada en el horno rotativo 441HR1 y la Tabla 34 muestra los subsistemas del 441HR1.

**Tabla 33***Elección del subsistema Horno 1 441HR1 para continuar la investigación.*

Subsistema	Motivos
5.4. Horno 1 441HR1	42% del total de averías el 2019 y 40% el 2020
	29.27% del total de costo por Mant. correctivo de la línea de clinkerización el 2019 y 48.34% el 2020
	Por diagrama de Pareto representa más del 20% de las causas se hallan en el horno 1.

*Nota:* Elaboración propia.**Tabla 34***Subsistema 5.4 Horno 1 y sus subsistemas.*

Subsistemas Línea 1 de clinkerización (Nivel 1)	Subsistemas Línea 1 declinkerización (Nivel 2)	
	Codificación	Descripción
5.4. Horno 1441HR1	441HR1ES1	Horno Rotativo 1
	441HR1SL1TC1	Sistema de engrase de la catalina del Horno 1
	441HR1PO1	Rodillos de soporte de llanta 1 del Horno 1
	441HR1PO2	
	441HR1PO3	
441HR1RD1	Sistema de empuje axial del Horno 1	

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

### **3.3.2. Funciones de subsistemas**

En esta fase se determinan las funciones de sistema, cuantificando como se llevan a cabo dichas funciones, este paso es previo y necesario para determinar los fallos del sistema

Las funciones pueden ser primarias o secundarias, las primarias vienen principalmente especificadas en las hojas técnicas de los equipos, las secundarias hacen que el equipo alcance sus especificaciones sin generar riesgo de daño al equipo, a las instalaciones, a las personas o al medio ambiente.

Con la información brindada por las áreas de mantenimiento, información

técnica publicada en SAP, parámetros de operación configurados en el sistema de control del horno 1 e información tomada en campo se definieron las funciones de los subsistemas del Horno 1, se determinaron las especificaciones, funciones primarias y secundarias del sistema en su conjunto.

Las tablas con la definición de funciones de todos subsistemas del sistema de producción de clinker Horno 1 se encuentran en el Anexo 2.

La Tabla 35 muestra las funciones de los subsistemas del 441HR1 (5.4. Horno 1).

**Tabla 35**

*Funciones de los subsistemas del 441HR1 (5.4. Horno 1).*

Subsistemas Línea 1 de clinkerización (Nivel 1)	Subsistemas Línea 1 de clinkerización (Nivel 2)		Funciones
	Codificación	Descripción	
			-Soportar altas temperaturas en su estructura hasta 450°C y soportar ataque químico (Tubo Cilíndrico de acero hasta 1" de espesor, revestido de ladrillo refractario).
			- Girar alrededor de su eje central permitiendo la circulación del material en su interior en dirección axial, durante la marcha describe un movimiento de rotación lento de hasta 0.1 rpm, en operación va de 0.1 a 5 rpm.
5.4. Horno 1 441HR1	441HR1ES1	Horno Rotativo 1	- Recibir el material de modo continuo por su extremo superior con flujo entre 50 y 500 t/h.  - Permitir la completa reacción química de los materiales alimentados, preparados y dosificados.  - Permitir la generación de la fase Líquida en la zona de transición, con temperatura promedio del material de 1200°C y temperatura máxima de 1450°C  - En la zona de clinkerización, con

		<p>temperatura promedio de material de 1500°C, se empiezan a formar cristales de clinker.</p> <p>- En la zona de enfriamiento, con temperatura promedio de material de 1200°C, el clinker formado entra a un proceso de enfriamiento conforme avanza la descarga del horno.</p>
441HR1SL1TC1	Sistema de engrase de la catalina del Horno 1	<p>Lubricar por atomización la transmisión piñón y corona dentada del horno de manera homogénea según la cantidad de lubricante seleccionado: 16 cm<sup>3</sup>/cm x h, 8 cm<sup>3</sup>/cm x h, 5 cm<sup>3</sup>/cm x h, 3.15 cm<sup>3</sup>/cm x h, 2 cm<sup>3</sup>/cm x h, 1.25 cm<sup>3</sup>/cm x h.</p>
441HR1PO1 441HR1PO2 441HR1PO3	Rodillo de soporte de llanta 1 del Horno 1	<p>De manera conjunta con los aros de rodadura, tienen la función de sostener el cilindro del horno y conducir cargas que se presentan a los rodillos. La temperatura de los cojinetes de los rodillos no debe exceder los 80°C.</p>
		<p>-Mantener el horno en la dirección axial, intentando mantener la línea central de la llanta del horno dentro de un rango de más / menos 5 mm desde la posición cero.</p>
441HR1RD1	Sistema de empuje axial del Horno 1	<p>-Trabajar con presión promedio de 25 bar y presión máxima de 50 bar.</p> <p>-El sistema debe generar alarma si el desplazamiento esta fuera del rango más / menos 10 mm. Si el desplazamiento esta fuera del rango más o menos 30 mm o se activan los interruptores de seguridad deberá detenerse el horno.</p>

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

### 3.4. Fase 4 para la implementación de RCM: Fallos funcionales y técnicos.

Un fallo es la incapacidad de un equipo o sistema para cumplir alguna de sus funciones. Por ello, si se realiza correctamente la identificación de funciones principales y secundarias, es muy fácil determinar los fallos. Un fallo es pues la

antifunción, la falta de cumplimiento de una especificación técnica o de una de sus funciones secundarias.

Se analizó el subsistema 5.4 Horno 1, se definieron las funciones de sus subsistemas para luego determinar los fallos, los fallos se han listado e identificado con letras desde la A hasta la E en algunos casos. La Tabla 36 contiene los resultados de este análisis.

**Tabla 36**

*Fallos principales y secundarios de los subsistemas de 5.4 Horno 1.*

Subsistemas Línea 1 de clinkerización (Nivel 1)	Subsistemas Línea 1 de clinkerización (Nivel 2)		Funciones	Fallos principales y secundarios
	Codificación	Descripción		
5.4. Horno 1 441HR1	441HR1ES1	Horno Rotativo 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Soportar altas temperaturas en su estructura hasta 450°C y soportar ataque químico (Tubo Cilíndrico de acero hasta 1" de espesor, revestido de ladrillo refractario).</li> <li>- Girar alrededor de su eje central permitiendo la circulación del material en su interior en dirección axial, durante la marcha describe un movimiento de rotación lento de hasta 0.1 rpm, en operación va de 0.1 a 5 rpm.</li> <li>- Recibir el material de modo continuo por su extremo superior con flujo entre 50 y 500 t/h.</li> <li>- Permitir la completa reacción química de los materiales dosificados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>A. Sobrecalentamiento del acero, no soporta altas temperaturas hasta 450°.</li> <li>B. No alcanza velocidad de 0.1 rpm durante la marcha.</li> <li>C. No logra velocidades de 0.1 a 5 rpm en operación según la consigna.</li> <li>D. No recibe material continuo entre 50 y 500t/h, según la consigna.</li> <li>E. No permite el desarrollo de las fases de formación de clinker.</li> </ul>

- Permitir la generación de la fase Líquida en la zona de transición, con temperatura promedio del material de 1200°C y temperatura máxima de 1450°C.

- En la zona de clinkerización, con temperatura promedio de material de 1500°C, se empiezan a formar cristales de clinker.

- En la zona de enfriamiento, con temperatura promedio de material de 1200°C, el clinker formado entra a un proceso de enfriamiento conforme avanza la descarga del horno.

441HR1SL1TC1	Sistema de engrase de la catalina del Horno 1	-Lubricar por atomización la transmisión piñón y corona dentada del horno a razón de 1.25 cm <sup>3</sup> /cm x h a 16 cm <sup>3</sup> /cm x h.	A. No lubrica el sistema de transmisión de manera homogénea según las condiciones configuradas.
441HR1PO1 441HR1PO2 441HR1PO3	Rodillo de soporte de llanta 1 del Horno 1	De manera conjunta con los aros de rodadura, tienen la función de sostener el cilindro del horno y conducir cargas que se presentan a los rodillos. La temperatura de los cojinetes de los rodillos no debe exceder los 80°C.	A. No sostiene el cilindro del horno ni conduce cargas a los rodillos de llanta 1. B. Temperatura de cojinete mayor a 80°C.
441HR1RD1	Sistema de empuje axial del Horno 1	-Mantener el horno en la dirección axial, mantener la línea central de la llanta del horno dentro de un rango de	A. No mantiene el horno en la dirección Axial, dentro de + o -

+ - 5 mm desde la posición cero.	5mm de la posición cero.
-Trabajar con presión promedio de 25 bar y presión máxima de 50 bar.	B. El sistema trabaja por encima de 50 bar.
-Generar alarma si el desplazamiento esta fuera del rango +- 10 mm. Si el desplazamiento esta fuera del rango +-30 mm o se activan los interruptores de seguridad deberá detenerse el horno.	C. El sistema no genera alarma si el desplazamiento esta fuera del rango + o -10mm.

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

### 3.5. Fase 5 para la implementación de RCM: Modos de fallos.

De manera posterior a la identificación de posibles fallos de un sistema, es necesario estudiar los modos de fallo, podemos definir modo de fallo como la causa primaria de una falla o circunstancias que acompañan un fallo concreto. (García Garrido, 2009)

Cada fallo puede presentar múltiples modos de fallo y cada modo de fallo puede tener múltiples causas, sin embargo, según la experiencia indicada por García Garrido, si tratamos de realizar un estudio muy exhaustivo analizando de forma recurrente cada uno de los modos de fallo usaremos recursos excesivos para completar el análisis, por lo tanto, es importante definir con que grado de profundidad se estudiaran los modos de fallo, de manera que el estudio sea factible.

Es aconsejable profundizar hasta dos niveles, podría perderse parte de información valiosa, pero a cambio se puede lograr realizar el análisis de fallos de toda la instalación con recursos razonables y en un tiempo razonable.

Se realizaron entrevistas a los supervisores de mantenimiento encargados de

los hornos y al jefe de planta del departamento de producción. También se revisaron los manuales de los equipos y subsistemas del Horno 1. En base a la información recolectada se elaboró la tabla de modos de fallo, con la finalidad de reducir el tiempo y recursos se profundizó hasta el nivel 2. Los modos de fallo se muestran en la Tabla 37, donde se complementa con la información de los subsistemas y los fallos.

**Tabla 37**

*Modos de fallo de subsistemas del 5.4 Horno 1.*

Subsistemas Línea 1 de clinkerización (Nivel 1)	Subsistemas Línea 1 de clinkerización (Nivel 2)		Funciones	Fallos principales y secundarios	Modo de fallo	
	Codificación	Descripción			Modo de fallo (Nivel 1)	Causa de Fallo (Nivel 2)
5.4. Horno 1 441HR1	441HR1ES1	Horno Rotativo 1	<p>-Soportar altas temperaturas en su estructura hasta 450°C y soportar ataque químico (Tubo Cilíndrico de acero hasta 1" de espesor, revestido de ladrillo refractario).</p> <p>- Girar alrededor de su eje central permitiendo la circulación del material en su interior en dirección axial, durante la marcha describe un movimiento de rotación lento de hasta 0.1 rpm, en operación va de 0.1 a 5 rpm.</p> <p>- Recibir el material de modo continuo por su extremo superior con flujo entre 50 y 500 t/h.</p>	A. Sobrecalentamiento del acero, no soporta altas temperaturas hasta 450°.	<p>A1. Debilitamiento en carcasa de acero del horno.</p> <hr/> <p>A2. Pérdida de ladrillo refractario.</p>	<p>A1.1 El número de ventiladores no es proporcional a la longitud de horno, insuficiente.</p> <hr/> <p>A1.2. Avería de sistema de refrigeración o ventilación.</p> <hr/> <p>A1.3. Elemento humano, falta de vigilancia del horno y de los instrumentos de control.</p> <hr/> <p>A2.1 Mal sellado entre revestimiento y carcasa de acero</p> <hr/> <p>A2.2. Refractario no cumple con las propiedades requeridas.</p> <hr/> <p>A2.5. Deformación del Shell del horno</p>

<p>- Permitir la completa reacción química de los materiales alimentados, preparados y dosificados.</p> <p>- Permitir la generación de la fase Líquida en la zona de transición, con temperatura promedio del material de 1200°C y temperatura máxima de 1450°C</p> <p>- En la zona de clinkerización, con temperatura promedio de material de 1500°C, se empiezan a formar cristales de clinker.</p> <p>- En la zona de enfriamiento, con temperatura promedio de material de 1200°C, el clinker formado entra a un proceso de enfriamiento conforme avanza la descarga del horno.</p>	B. No alcanza velocidad de 0.1 rpm durante la marcha.	B1. Sistema de giro lento no transmite movimiento.	B1.1. Avería eléctrica en el sistema auxiliar de giro lento. B1.2. Avería en acople y freno del sistema auxiliar de giro lento.
	C. No logra velocidades de 0.1 a 5 rpm en operación según la consigna.	C1. Sistema de regulación de velocidad del horno no controla el movimiento.	C1.1. Avería en variadores de velocidad de motores principales. C1.2. Pérdida de comunicación con variadores de velocidad.
		C2. Avería en sistema de transmisión de movimiento.	C2.1. Avería en motores principales de horno. C2.2. Avería sistema reductor - piñón - corona de horno.
	D. No recibe material continuo entre 50 y 500t/h, según la consigna.	D1. Restricción en zona de ingreso de material (posible atoro)	D1.1. Precipitaciones de costras de en ciclones de precalentador. D1.2. Encostramientos progresivos en ciclones por alto contenido de azufre(so2) del material.
		E. No permite el desarrollo de las fases	E1. Cambio de las características del

			de formación de clinker.	combustible. (debilita anillos, costra).	E1.2. Cambio de procedencia de combustible.
				E2. No hay condiciones favorables para la formación de costra.	E2.1. Avería de sistema de refrigeración o ventilación.
				E3. Variaciones en el volumen de alimentación de crudo.	E3.1. Avería en el sistema de dosificación de crudo. E3.2. Atoro en ciclones de precalentador.
				E4. Ingreso de aire frío al sistema que genera estanqueidad al horno.	E4.1. Avería en sistema de cierre o sellos del horno.
				E5. Pérdida de calor del horno y baja temperatura de gases de combustión.	E5.1. Avería en el quemador del horno. E5.2. Avería en el sistema de dosificación de combustible.
441HR1SL1TC1	Sistema de engrase de la catalina del Horno 1	Lubricar por atomización la transmisión piñón y corona dentada del horno de manera homogénea según la cantidad de lubricante seleccionado: 16 cm <sup>3</sup> /cm x h, 8 cm <sup>3</sup> /cm x h, 5 cm <sup>3</sup> /cm x h, 3.15 cm <sup>3</sup> /cm x h,	A. No lubrica el sistema de transmisión de manera homogénea según las condiciones configuradas.	A1. Nivel mínimo de grasa en barriles. A2. Bomba neumática averiada. A3. Baja presión de aire.	A1.1. No se sustituyó el barril de grasa. A2.1. Ausencia de un plan de mantenimiento. A2.2. Repuestos defectuosos A3.1. Caída de presión en suministro de aire.

		2 cm3/cm x h, 1.25 cm3/cm x h.		A4. Tubería Obstruida.	A4.1. Avería en válvulas de aspersión. A4.2. Filtros saturados.
				A5. Sistema de control no ejecuta lo programado.	A5.1. Avería en sistema de control.
				A1. Acanaladuras o rayados transversales en la superficie lateral de apoyo del aro de rodadura	A1.1. Los rodillos de rodadura no están paralelos al eje del horno. A1.2. Cilindro de horno rotatorio curvado
441HR1PO1 441HR1PO2 441HR1PO3	Rodillo de soporte de llanta 1 del Horno 1	De manera conjunta con los aros de rodadura, tienen la función de sostener el cilindro del horno y conducir cargas que se presentan a los rodillos. La temperatura de los cojinetes de los rodillos no debe exceder los 80°C.	A. No sostiene el cilindro del horno ni conduce cargas a los rodillos de llanta 1.	A2. Deterioro de la superficie del aro de rodadura por sobrecargas, contacto inadecuado, cuerpos extraños, movimiento axial nulo o demasiado escaso del horno rotatorio	A2.1. Sobrecargas del horno. A2.2. Cuerpos extraños en la superficie de aro de rodadura y rodillo. A2.3. Movimiento axial nulo o demasiado escaso del horno.
			B. Temperatura de cojinete mayor a 80°C.	B1. Mal contacto entre aro de rodadura y	B1.1. Alineación del eje de rodillo no es correcta.

				rodillos de rodadura.	B1.2. Sobrecarga por cilindro de horno rotatorio deformado.
					B2.1. Deterioro de vasos lubricadores.
				B2. Cojinete del rodillo de rodadura defectuoso.	B2.2. Fraccionamiento de cojinete. B2.3. Ausencia de lubricación en superficie de rodillo con grafito.
					A1.1. Avería en bomba hidráulica.
				A1. Sistema hidráulico de empuje axial no genera presión.	A1.2. Avería en válvulas del sistema hidráulico A1.3. Avería en acumulador hidráulico
				A2. Referencia errónea de señal de desplazamiento axial.	A2.1. Lectura errónea de sensores de desplazamiento. A2.2. Cambio de referencia cero.
					B1.1. Sobrecarga de horno.
				B1. Sobre esfuerzo del sistema hidráulico de empuje axial	B2.2. Rodillo de empuje fuera de posición. B2.3. Avería en válvulas del sistema hidráulico.
441HR1RD1	Sistema de empuje axial del Horno 1	-Mantener el horno en la dirección axial, intentando mantener la línea central de la llanta del horno dentro de un rango de más / menos 5 mm desde la posición cero.  -Trabajar con presión promedio de 25 bar y presión máxima de 50 bar.  -El sistema debe generar alarma si el desplazamiento esta fuera del rango más / menos 10 mm. Si el	A. No mantiene el horno en la dirección Axial, dentro de + o - 5mm de la posición cero.  B. El sistema trabaja por encima de 50 bar.		

desplazamiento esta fuera del rango más / menos 30 mm o se activan los interruptores de seguridad deberá detenerse el horno.	B2.4. Avería de bloque de grafito lubricador de rodillo de empuje axial.
	B2.5. Filtro de aceite saturado.
C. El sistema no genera alarma si el desplazamiento esta fuera del rango + o - 10mm.	C1. Sistema de monitoreo de desplazamiento axial entrega datos errados.
	C1.1. Avería de sensores de desplazamiento.
	C1.2. Cambios en programa de sistema de medición.
	C1.3. Cambio de referencia cero.

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

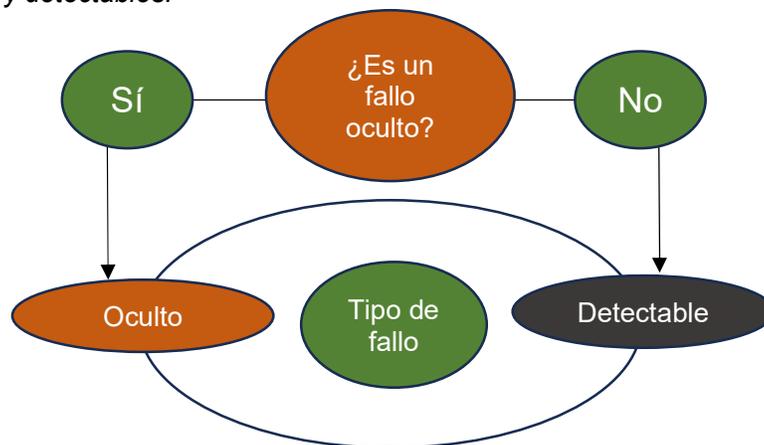
### 3.6. Fase 6 para la implementación de RCM: Consecuencias de fallos, criticidad.

El objetivo de esta fase es determinar la criticidad de cada modo de fallo. García Garrido, en su libro Ingeniería del Mantenimiento propone abordar esta fase en 3 etapas. Primero categorizar los modos de fallo como ocultos o detectables, en una segunda etapa valorar las consecuencias de cada modo de fallo para la seguridad, medio ambiente, producción y para el mantenimiento, en tercer paso se podrá calificar el modo de fallo según la probabilidad que estas ocurran, finalmente se podrán evaluar las 3 categorías para definir la criticidad del modo de fallo.

#### 3.6.1. Categorización para los modos de fallo según su evidencia

Se evalúa si se trata de un fallo oculto o un fallo visible, fácilmente detectable. Se consideran fallos ocultos todos aquellos fallos que estando presentes no dan síntoma que los evidencie, estos deben tener una importancia especial y habrá que desarrollar tareas de mantenimiento que los revelen. La Figura 24 esquematiza el modo de calificar un fallo como oculto o detectable.

**Figura 24**  
*Fallos ocultos y detectables.*



*Nota: García Garrido, 2009.*

### 3.6.2. Categorización para los modos de fallo por consecuencia

La consecuencia de un modo de fallo para la seguridad de las personas es uno de los factores más importantes para categorizar un modo de fallo. Las consecuencias medioambientales son evaluadas en función al daño ocasionado al medio ambiente, sea irreparable, reparable o si no genera ningún impacto. Las consecuencias para la producción asocian los fallos con pérdida o reducción de la producción y para el caso de las consecuencias al costo de reparación de la máquina se sugiere evaluar niveles de gasto de reparación.

García Garrido propone categorizar las consecuencias del modo de fallo en tres niveles: muy grave, grave o leve. En la Tabla 38 se muestran los criterios para poder categorizar las consecuencias de los modos de fallo según su impacto.

**Tabla 38**  
*Nivel de gravedad según el tipo de consecuencia del fallo.*

Consecuencias	Criterio de calificación	Nivel de gravedad
<b>Para la seguridad de las personas</b>	Daños personales de consideración para los trabajadores de la planta	Muy Grave
	Daños leves a trabajadores	Grave
	Sin posibilidad de daños personales	Leve
<b>Para el medioambiente</b>	Daño irreversible al medio ambiente, dañoreparable con alto coste o violación de una norma ambiental	Muy Grave
	Daño medioambiental reparable con coste asumible	Grave
	Sin posibilidad de daño al medio ambiente	Leve
<b>Para la producción</b>	Paralización de la producción	Muy Grave
	Reducción breve de la producción	Grave
	No afecta a la producción	Leve
<b>Para los costes de reparación</b>	Alto coste de reparación (\$50000)	Muy Grave
	Costo medio de reparación (\$10000) o avería repetitiva o reducción de vida útil	Grave
	Avería de costo bajo	Leve

*Nota:* García Garrido, 2009.

### 3.6.3. Categorización para los modos de fallo por probabilidad que ocurran.

Los fallos pueden clasificarse como altamente probables, probables e improbables. García Garrido recomienda considerar un fallo muy probable cuando este se produce antes de 2 años si no se adopta ninguna medida para evitarlo, poco probable cuando sin adoptar ninguna medida preventiva es seguro que ocurrirá en el plazo de 5 años y considerar un fallo improbable cuando sin hacer nada para evitarlo la probabilidad que ocurran es evidentemente baja.

Para combinar las 3 categorías descritas anteriormente, García Garrido presenta una matriz de calificación de los modos de fallo, mostrados en la Tabla 39. Combina la gravedad y la probabilidad, obtendremos una calificación de fallos en insignificante, tolerables, significativos y críticos. Será necesario considerar la evidencia del fallo, si un modo de fallo es considerado evidente se mantiene la calificación, pero si el modo de fallo es oculto se debe elevar un grado la calificación del fallo, así los fallos insignificantes pasaran a ser tolerables, los tolerables a significativos y los fallos significativos a críticos.

**Tabla 39**

*Matriz de calificación de los modos de fallo.*

Probabilidad de ocurrencia	Gravedad		
	Leve	Grave	Muy grave
Altamente improbable	Insignificante	Tolerable	Significativo
Poco probable	Tolerable	Significativo	Crítico
Muy probable	Significativo	Crítico	Crítico

*Nota:* García Garrido, 2009.

### 3.6.4. Calificación de criticidad de modos de fallo del Horno 1 y subsistemas.

La calificación de los 11 modos de fallo y las causas identificadas de los subsistemas del Horno 1 se presentan en la Tabla 40, Tabla 41, Tabla 42, Tabla 43, Tabla 44, Tabla 45, Tabla 46, Tabla 47, Tabla 48, Tabla 49 y Tabla 50.

**Subsistema Nivel 1:** 5.4. Horno 1. **Subsistema nivel 2:** 441HR1ES1 - Horno Rotativo 1.

**Fallo Principal o secundario:** A. Sobrecalentamiento del acero, no soporta altas temperaturas hasta 450°.

**Tabla 40**

*Calificación de consecuencia de modos de fallo para 441HR1ES1: "A. Sobrecalentamiento del acero, no soporta altas temperaturas hasta 450°C".*

Modo de fallo		Consecuencias del fallo							
Modo de fallo (Nivel 1)	Causa de Fallo (Nivel 2)	Consecuencia para la seguridad de las personas	Consecuencias medio ambientales	Consecuencias para la producción	Consecuencia para los activos	Nivel de Gravedad	Probabilidad del fallo	Evidencia del fallo	Calificación del modo de fallo
A1. Debilitamiento en carcasa de acero del horno.	A1.1 El número de ventiladores no es proporcional a la longitud de horno, insuficiente.	No genera daños a la persona (Leve).	No genera daño ambiental (leve).	Paralización de la producción en un plazo corto (Grave).	Disminución de la vida útil (Grave).	Grave	Poco Probable	Fallo detectable	Significativo
	A1.2. Avería de sistema de refrigeración o ventilación.	No genera daños a la persona (Leve).	No genera daño ambiental (leve).	Paralización de la producción en un plazo corto (Grave).	Disminución de la vida útil (Grave).	Grave	Muy Probable	Fallo detectable	Crítico
	A1.3. Elemento humano, falta de vigilancia del	No genera daños a la persona (Leve).	No genera daño ambiental (leve).	Paralización de la producción en un plazo corto	Disminución de la vida útil (Grave).	Grave	Poco Probable	Fallo detectable	Significativo

	horno y de los instrumentos de control.			(Grave).						
A2. Pérdida de ladrillo refractario.	A2.1 Mal sellado entre revestimiento y carcasa de acero	No genera daños a la persona (Leve).	Daño medioambiental reparable con coste asumible (Grave)	Paralización de la producción en un plazo largo (Muy Grave)	Avería de coste elevado y disminución de la vida útil (Grave).	Muy Grave	Poco Probable	Fallo detectable	Crítico	
	A2.2. Refractario no cumple con las propiedades requeridas.	No genera daños a la persona (Leve).	No genera daño ambiental (leve).	Paralización de la producción en un plazo largo (Muy Grave).	Avería de muy alto coste (Muy Grave)	Muy Grave	Poco Probable	Fallo detectable	Crítico	
	A2.3. Deformación del Shell del horno	No genera daños a la persona (Leve).	No genera daño ambiental (leve).	Paralización de la producción en un plazo largo (Muy Grave).	Avería de muy alto coste (Muy Grave)	Muy Grave	Poco Probable	Fallo detectable	Crítico	

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

**Subsistema Nivel 1:** 5.4. Horno 1. **Subsistema nivel 2:** 441HR1ES1 – Horno Rotativo 1.

**Fallo Principal o secundario: B.** No alcanza velocidad de 0.1 rpm durante la marcha.

**Tabla 41**

Calificación de consecuencia de modos de fallo para 441HR1ES1: “B. No alcanza velocidad de 0.1 rpm durante la marcha”.

Modo de fallo		Consecuencias del fallo							
Modo de fallo (Nivel 1)	Causa de Fallo (Nivel 2)	Consecuencia para la seguridad de las personas	Consecuencias medio ambientales	Consecuencias para la producción	Consecuencia para los activos	Nivel de Gravedad	Probabilidad del fallo	Evidencia del fallo	Calificación del modo de fallo
B1. Sistema de giro lento no transmite movimiento.	B1.1. Avería eléctrica en el sistema auxiliar de giro lento.	No genera daños a la persona (Leve).	No genera daño ambiental (leve).	Paralización de la producción en un plazo corto (Grave).	Avería de bajo coste (Leve)	Grave	Poco Probable	Fallo detectable	Significativo
	B1.2. Avería en acople y freno del sistema auxiliar de giro lento.	No genera daños a la persona (Leve).	No genera daño ambiental (leve).	Paralización de la producción en un plazo corto (Grave).	Avería de bajo coste (Leve)	Grave	Improbable	Fallo detectable	Tolerable

*Nota.* Información suministrada por la empresa.

**Subsistema Nivel 1:** 5.4. Horno 1. **Subsistema nivel 2:** 441HR1ES1 - Horno Rotativo 1.

**Fallo Principal o secundario:** C. No logra velocidades de 0.1 a 5 rpm en operación según la consigna.

**Tabla 42**

Calificación de consecuencia de modos de fallo para 441HR1ES1: "C. No logra velocidades de 0.1 a 5 rpm en operación según la consigna".

Modo de fallo		Consecuencias del fallo							
Modo de fallo (Nivel 1)	Causa de Fallo (Nivel 2)	Consecuencia para la seguridad de las personas	Consecuencias medio ambientales	Consecuencias para la producción	Consecuencia para los activos	Nivel de Gravedad	Probabilidad del fallo	Evidencia del fallo	Calificación del modo de fallo
C1. Sistema de regulación de velocidad del horno no controla el movimiento.	C1.1. Avería en variadores de velocidad de motores principales.	No genera daños a la persona (Leve).	No genera daño ambiental (leve).	Paralización de la producción en un plazo corto (Grave).	Avería de coste medio de reparación y disminución de la vida útil (Grave).	Grave	Muy Probable	Fallo detectable	Crítico
	C1.2. Pérdida de comunicación con variadores de velocidad.	No genera daños a la persona (Leve).	No genera daño ambiental (leve).	Paralización de la producción en un plazo corto (Grave).	Avería de bajo coste (Leve)	Grave	Poco Probable	Fallo detectable	Significativo
C2. Avería en sistema de transmisión de movimiento.	C2.1. Avería en motores principales de horno.	No genera daños a la persona (Leve).	No genera daño ambiental (leve).	Paralización de la producción en un plazo corto (Grave).	Avería de muy alto coste (Muy Grave)	Muy Grave	Improbable	Fallo detectable	Significativo
	C2.2. Avería sistema reductor - piñón - corona	No genera daños a la persona (Leve).	No genera daño ambiental (leve).	Paralización de la producción en un plazo largo	Avería de muy alto coste (Muy Grave)	Muy Grave	Poco Probable	Fallo detectable	Crítico

de horno.

(Muy Grave).

*Nota.* Información suministrada por la empresa.

**Subsistema Nivel 1:** 5.4. Horno 1. **Subsistema nivel 2:** 441HR1ES1 - Horno Rotativo 1.

**Fallo Principal o secundario:** D. No recibe material continuo entre 50 y 500t/h, según la consigna.

**Tabla 43**

*Calificación de consecuencia de modos de fallo para 441HR1ES1: "D. No recibe material continuo entre 50 y 500t/h, según la consigna".*

Modo de fallo		Consecuencias del fallo							Calificación del modo de fallo
Modo de fallo (Nivel 1)	Causa de Fallo (Nivel 2)	Consecuencia para la seguridad de las personas	Consecuencias medio ambientales	Consecuencias para la producción	Consecuencia para los activos	Nivel de Gravedad	Probabilidad del fallo	Evidencia del fallo	
D1. Restricción en zona de ingreso de material (posible atoro)	D1.1. Precipitaciones de costras de en ciclonas de precalentador.	No genera daños a la persona (Leve).	No genera daño ambiental (leve).	Paralización de la producción en un plazo corto (Grave).	Avería de bajo coste (Leve)	Grave	Muy Probable	Fallo detectable	Crítico
	D1.2. Encostramientos progresivos en ciclonas por alto contenido de	No genera daños a la persona (Leve).	Daño medioambiental reparable con coste asumible (Grave)	Paralización de la producción en un plazo corto (Grave).	Avería de bajo coste (Leve)	Grave	Muy Probable	Fallo detectable	Crítico

azufre(so2) del material.

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

**Subsistema Nivel 1:** 5.4. Horno 1. **Subsistema nivel 2:** 441HR1ES1 - Horno Rotativo 1.

**Fallo Principal o secundario:** E. No permite el desarrollo de las fases de formación de Clinker.

**Tabla 44**

*Calificación de consecuencia de modos de fallo para 441HR1ES1: "E. No permite el desarrollo de las fases de formación deClinker".*

Modo de fallo		Consecuencias del fallo							
Modo de fallo (Nivel 1)	Causa de Fallo (Nivel 2)	Consecuencia para la seguridad de las personas	Consecuencias medio ambientales	Consecuencias para la producción	Consecuencia para los activos	Nivel de Gravedad	Probabilidad del fallo	Evidencia del fallo	Calificación del modo de fallo
E1. Cambio de las características del combustible. (debilita anillos, costra).	E1.1. Cambio de proveedor de combustible.	No genera daños a la persona (Leve).	No genera daño ambiental (leve).	Paralización de la producción en un plazo corto (Grave).	Avería de bajo coste (Leve)	Grave	Improbable	Fallo detectable	Tolerable
	E1.2. Cambio de procedencia de combustible.	No genera daños a la persona (Leve).	No genera daño ambiental (leve).	Paralización de la producción en un plazo corto (Grave).	Avería de bajo coste (Leve)	Grave	Improbable	Fallo detectable	Tolerable
E2. No hay condiciones favorables para	E2.1. Avería de sistema de refrigeración o	No genera daños a la persona (Leve).	No genera daño ambiental (leve).	Paralización de la producción en un plazo corto	Disminución de la vida útil (Grave).	Grave	Muy Probable	Fallo detectable	Crítico

la formación de costra.	ventilación.			(Grave).						
E3. Variaciones en el volumen de alimentación de crudo.	E3.1. Avería en el sistema de dosificación de crudo.	No genera daños a la persona (Leve).	No genera daño ambiental (leve).	Paralización de la producción en un plazo corto (Grave).	Avería de bajo coste (Leve)	Grave	Muy Probable	Fallo detectable	Crítico	
	E3.2. Atoro en ciclones de precalentador.	No genera daños a la persona (Leve).	Daño medioambiental reparable con coste asumible (Grave)	Paralización de la producción en un plazo corto (Grave).	Avería de bajo coste (Leve)	Grave	Muy Probable	Fallo detectable	Crítico	
E4. Ingreso de aire frío al sistema que genera estanqueidad al horno.	E4.1. Avería en sistema de cierre o sellos del horno.	Daños personales leves a empleados (Grave)	Daño medioambiental reparable con coste asumible (Grave)	Paralización de la producción en un plazo corto (Grave).	Avería de bajo coste (Leve)	Grave	Poco Probable	Fallo detectable	Significativo	
E5. Pérdida de calor del horno y baja temperatura de gases combustión.	E5.1. Avería en el quemador del horno.	No genera daños a la persona (Leve).	Daño medioambiental reparable con coste asumible (Grave)	Paralización de la producción en un plazo corto (Grave).	Avería de bajo coste (Leve)	Grave	Poco Probable	Fallo detectable	Significativo	
	E5.2. Avería en el sistema de dosificación de combustible.	No genera daños a la persona (Leve).	Daño medioambiental reparable con coste asumible	Paralización de la producción en un plazo corto (Grave).	Avería de bajo coste (Leve)	Grave	Poco Probable	Fallo detectable	Significativo	

(Grave)

Nota: Información suministrada por la empresa.

**Subsistema Nivel 1:** 5.4. Horno 1. **Subsistema nivel 2:** 441HR1SL1TC1 - Sistema de engrase de la catalina del Horno 1.

**Fallo Principal o secundario:** A. No lubrica el sistema de transmisión de manera homogénea según las condiciones configuradas.

**Tabla 45**

*Calificación de consecuencia de modos de fallo para 441HR1SL1TC1: "A. No lubrica el sistema de transmisión de manera homogénea según las condiciones configuradas".*

Modo de fallo		Consecuencias del fallo							
Modo de fallo (Nivel 1)	Causa de Fallo (Nivel 2)	Consecuencia para la seguridad de las personas	Consecuencias medio ambientales	Consecuencias para la producción	Consecuencia para los activos	Nivel de Gravedad	Probabilidad del fallo	Evidencia del fallo	Calificación del modo de fallo
A1. Nivel mínimo de grasa en barriles.	A1.1. No se sustituyó el barril de grasa.	No genera daños a la persona (Leve).	No genera daño ambiental (leve).	Paralización de la producción en un plazo corto (Grave).	Avería de bajo coste (Leve)	Grave	Improbable	Fallo detectable	Tolerable
A2. Bomba neumática averiada.	A2.1. Ausencia de un plan de mantenimiento.	No genera daños a la persona (Leve).	No genera daño ambiental (leve).	Paralización de la producción en un plazo corto (Grave).	Avería de bajo coste (Leve)	Grave	Improbable	Fallo detectable	Tolerable

	A2.2. Repuestos defectuosos	No genera daños a la persona (Leve).	No genera daño ambiental (leve).	Paralización de la producción en un plazo corto (Grave).	Avería de bajo coste (Leve)	Grave	Improbable	Fallo detectable	Tolerable
A3. Baja presión de aire.	A3.1. Caída de presión en suministro de aire.	No genera daños a la persona (Leve).	No genera daño ambiental (leve).	Paralización de la producción en un plazo corto (Grave).	Avería de bajo coste (Leve)	Grave	Improbable	Fallo detectable	Tolerable
A4. Tubería Obstruida.	A4.1. Avería en válvulas de aspersión.	No genera daños a la persona (Leve).	No genera daño ambiental (leve).	Paralización de la producción en un plazo corto (Grave).	Avería de bajo coste (Leve)	Grave	Poco Probable	Fallo detectable	Significativo
	A4.2. Filtros saturados.	No genera daños a la persona (Leve).	No genera daño ambiental (leve).	Paralización de la producción en un plazo corto (Grave).	Avería de bajo coste (Leve)	Grave	Poco Probable	Fallo detectable	Significativo
A5. Sistema de control no ejecuta lo programado.	A5.1. Avería en sistema de control.	No genera daños a la persona (Leve).	No genera daño ambiental (leve).	Paralización de la producción en un plazo corto (Grave).	Avería de bajo coste (Leve)	Grave	Improbable	Fallo detectable	Tolerable

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

**Subsistema Nivel 1:** 5.4. Horno 1. **Subsistema nivel 2:** 441HR1PO1 / 441HR1PO2 / 441HR1PO3 - Rodillos de soporte de llantas del Horno 1.

**Fallo Principal o secundario:** A. No sostiene el cilindro del horno ni conduce cargas a los rodillos de llanta 1.

**Tabla 46**

Calificación de consecuencia de modos de fallo para 441HR1PO1 / 441HR1PO2 / 441HR1PO3: " A. No sostiene el cilindro del horno ni conduce cargas los rodillos de llanta 1".

Modo de fallo		Consecuencias del fallo							
Modo de fallo (Nivel 1)	Causa de Fallo (Nivel 2)	Consecuencia para la seguridad de las personas	Consecuencias medio ambientales	Consecuencias para la producción	Consecuencia para los activos	Nivel de Gravedad	Probabilidad del fallo	Evidencia del fallo	Calificación del modo de fallo
A1. Acanaladuras o rayados transversales en la superficie lateral de apoyo del aro de rodadura	A1.1. Los rodillos de rodadura no están paralelos al eje del horno.	No genera daños a la persona (Leve).	No genera daño ambiental (leve).	Paralización de la producción en un plazo corto (Grave).	Avería de bajo coste (Leve)	Grave	Poco Probable	Fallo detectable	Significativo
	A1.2. Cilindro de horno rotatorio curvado	No genera daños a la persona (Leve).	No genera daño ambiental (leve).	Paralización de la producción durante un plazo largo (Muy Grave)	Avería de muy alto coste (Muy Grave)	Muy Grave	Poco Probable	Fallo detectable	Crítico
A2. Deterioro de la superficie del aro de rodadura por sobrecargas, contacto inadecuado,	A2.1. Sobrecargas del horno.	No genera daños a la persona (Leve).	No genera daño ambiental (leve).	Paralización de la producción en un plazo corto (Grave).	Avería de bajo coste (Leve)	Grave	Altamente probable	Fallo detectable	Crítico
	A2.2. Cuerpos extraños en la superficie de aro	No genera daños a la persona (Leve).	No genera daño ambiental (leve).	Paralización de la producción en un plazo corto	Avería de bajo coste (Leve)	Grave	Improbable	Fallo detectable	Tolerable

cuerpos extraños, movimiento axial	de rodadura y rodillo. A2.3.			(Grave).								
nulo o demasiado escaso del horno rotatorio	Movimiento axial nulo o demasiado escaso del horno.	No genera daños a la persona (Leve).	No genera daño ambiental (leve).	No tiene consecuencias para la producción (Leve)	Avería de bajo coste (Leve)	Leve	Poco Probable	Fallo detectable	Tolerable			

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

**Subsistema Nivel 1:** 5.4. Horno 1. **Subsistema nivel 2:** 441HR1PO1 / 441HR1PO2 / 441HR1PO3 - Rodillos de soporte de llantas del Horno 1.

**Fallo Principal o secundario:** B. Temperatura de cojinete mayor a 80°C.

**Tabla 47**

*Calificación de consecuencia de modos de fallo para 441HR1PO1 / 441HR1PO2 / 441HR1PO3: "B. Temperatura de cojinete mayor a 80°C".*

Modo de fallo		Consecuencias del fallo							
Modo de fallo (Nivel 1)	Causa de Fallo (Nivel 2)	Consecuencia para la seguridad de las personas	Consecuencias medio ambientales	Consecuencias para la producción	Consecuencia para los activos	Nivel de Gravedad	Probabilidad del fallo	Evidencia del fallo	Calificación del modo de fallo
B1. Mal contacto entre aro de	B1.1. Alineación del eje de rodillo	No genera daños a la	No genera daño ambiental (leve).	Paralización de la producción en	Avería de bajo coste (Leve)	Grave	Poco Probable	Fallo detectable	Significativo

rodadura y rodillos de rodadura.	no es correcta.	persona (Leve).		un plazo corto (Grave).						
	B1.2.			Paralización de la producción durante un plazo largo (Muy Grave)	Avería de muy alto coste (Muy Grave)	Muy Grave	Poco Probable	Fallo detectable	Crítico	
	Sobrecarga por cilindro de horno rotatorio deformado.	No genera daños a la persona (Leve).	No genera daño ambiental (leve).							
	B2.1. Deterioro de vasos lubricadores.	No genera daños a la persona (Leve).	No genera daño ambiental (leve).	Paralización de la producción durante un plazo largo (Muy Grave)	Avería de coste elevado y disminución de la vida útil (Grave).	Muy Grave	Poco Probable	Fallo detectable	Crítico	
B2. Cojinete del rodillo de rodadura defectuoso.	B2.2. Fraccionamiento de cojinete.	No genera daños a la persona (Leve).	No genera daño ambiental (leve).	Paralización de la producción durante un plazo largo (Muy Grave)	Avería de muy alto coste (Muy Grave)	Muy Grave	Poco Probable	Fallo detectable	Crítico	
	B2.3. Ausencia de lubricación en superficie de rodillo con grafito.	No genera daños a la persona (Leve).	No genera daño ambiental (leve).	No tiene consecuencias para la producción (Leve)	Avería de bajo coste (Leve)	Leve	Poco Probable	Fallo detectable	Tolerable	

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

**Subsistema Nivel 1:** 5.4. Horno 1. **Subsistema nivel 2:** 441HR1RD1 - Sistema de empuje axial del Horno 1.

**Fallo Principal o secundario:** A. No mantiene el horno en la dirección Axial, dentro de + o - 5mm de la posición cero.

**Tabla 48**

Calificación de consecuencia de modos de fallo para 441HR1RD1: "A. No mantiene el horno en la dirección Axial, dentro de + o - 5mm de la posición cero".

Modo de fallo		Consecuencias del fallo							
Modo de fallo (Nivel 1)	Causa de Fallo (Nivel 2)	Consecuencia para la seguridad de las personas	Consecuencias medio ambientales	Consecuencias para la producción	Consecuencia para los activos	Nivel de Gravedad	Probabilidad del fallo	Evidencia del fallo	Calificación del modo de fallo
A1. Sistema hidráulico de empuje axial no genera presión.	A1.1. Avería en bomba hidráulica.	No genera daños a la persona (Leve).	No genera daño ambiental (leve).	Paralización de la producción en un plazo corto (Grave).	Avería de bajo coste (Leve)	Grave	Poco Probable	Fallo detectable	Significativo
	A1.2. Avería en válvulas del sistema hidráulico	No genera daños a la persona (Leve).	No genera daño ambiental (leve).	Paralización de la producción en un plazo corto (Grave).	Avería de bajo coste (Leve)	Grave	Improbable	Fallo detectable	Tolerable
	A1.3. Avería en acumulador hidráulico	No genera daños a la persona (Leve).	No genera daño ambiental (leve).	Paralización de la producción en un plazo corto (Grave).	Avería de bajo coste (Leve)	Grave	Improbable	Fallo detectable	Tolerable
A2. Referencia errónea de señal de desplazamiento	A2.1. Lectura errónea de sensores de desplazamiento.	No genera daños a la persona (Leve).	No genera daño ambiental (leve).	No tiene consecuencias para la producción	Avería de bajo coste (Leve)	Leve	Muy Probable	Fallo detectable	Significativo



			(Grave).	disminución de la vida útil (Grave).					
B2.3. Avería en válvulas del sistema hidráulico.	No genera daños a la persona (Leve).	No genera daño ambiental (leve).	Paralización de la producción en un plazo corto (Grave).	Avería de bajo coste (Leve)	Grave	Improbable	Fallo detectable		Tolerable
B2.4. Avería de bloque de grafito lubricador de rodillo de empuje axial.	No genera daños a la persona (Leve).	No genera daño ambiental (leve).	Paralización de la producción en un plazo corto (Grave).	Avería de bajo coste (Leve)	Grave	Poco Probable	Fallo detectable		Significativo
B2.5. Filtro de aceite saturado.	No genera daños a la persona (Leve).	No genera daño ambiental (leve).	No tiene consecuencias para la producción (Leve)	Avería de bajo coste (Leve)	Leve	Poco Probable	Fallo detectable		Tolerable

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

**Subsistema Nivel 1:** 5.4. Horno 1. **Subsistema nivel 2:** 441HR1RD1 - Sistema de empuje axial del Horno 1.

**Fallo Principal o secundario:** A. El sistema trabaja por encima de 50 bar.

**Tabla 50**

Calificación de consecuencia de modos de fallo para 441HR1RD1: "A. El sistema no genera alarma si el desplazamiento estuviera del rango + o -10mm".

Modo de fallo		Consecuencias del fallo							
Modo de fallo (Nivel 1)	Causa de Fallo (Nivel 2)	Consecuencia para la seguridad de las personas	Consecuencias medio ambientales	Consecuencias para la producción	Consecuencia para los activos	Nivel de Gravedad	Probabilidad del fallo	Evidencia del fallo	Calificación del modo de fallo
C1. Sistema de monitoreo de desplazamiento axial entrega datos errados.	C1.1. Avería de sensores de desplazamiento.	No genera daños a la persona (Leve).	No genera daño ambiental (leve).	No tiene consecuencias para la producción (Leve)	Avería de bajo coste (Leve)	Leve	Muy Probable	Fallo detectable	Significativo
	C1.2. Cambios en programa de sistema de medición.	No genera daños a la persona (Leve).	No genera daño ambiental (leve).	No tiene consecuencias para la producción (Leve)	Avería de bajo coste (Leve)	Leve	Improbable	Fallo detectable	Insignificante
	C1.3. Cambio de referencia cero.	No genera daños a la persona (Leve).	No genera daño ambiental (leve).	No tiene consecuencias para la producción (Leve)	Avería de bajo coste (Leve)	Leve	Poco Probable	Fallo detectable	Tolerable

Nota: Información suministrada por la empresa

### 3.7. Fase 7 para la implementación de RCM: Medidas preventivas

En esta fase se determinan las medidas preventivas que eviten o atenúen los efectos de fallos.

Las medidas que se adopten deben tener relación económica y técnica con el fallo que se pretende evitar, de modo que para un fallo tolerable será absurdo tomar una medida de alto coste y para un fallo crítico será absurdo limitarse a inspecciones visuales cuando otras medida de mayor inversión económica puedan evitar que ocurra el fallo.

García Garrido recomienda seis tipos de medidas preventivas:

- Realización de tareas de mantenimiento programado.
- Implementación de mejoras y modificaciones de la instalación
- Adopción de medidas tendentes a atenuar los efectos de los fallos
- Modificación de instrucciones de operación.
- Modificaciones de instrucciones de mantenimiento.
- Realización de acciones formativas.

La Tabla 51, Tabla 52, Tabla 53, Tabla 54, Tabla 55, Tabla 56, Tabla 57, Tabla 58, Tabla 59, Tabla 60 y Tabla 61 describen las medidas y tareas preventivas que podrían evitar o atenuar los 11 modos de fallos y las causas identificadas de los subsistemas del Horno 1.

**Subsistema Nivel 1:** 5.4. Horno 1. **Subsistema nivel 2:** 441HR1ES1 - Horno Rotativo 1.

**Fallo Principal o secundario:** A. Sobrecalentamiento del acero, no soporta altas temperaturas hasta 450°.

**Tabla 51**

*Medidas preventivas del subsistema 441HR1ES1 para atenuar o eliminar efectos del fallo: "A. Sobrecalentamiento del acero, no soporta altas temperaturas hasta 450°C".*

Modo de fallo		Consecuencias del fallo	Medidas Preventivas
Modo de fallo (Nivel 1)	Causa de Fallo (Nivel 2)	Calificación del modo de fallo	
A1. Debilitamiento en carcasa de acero del horno.	A1.1 El número de ventiladores no es proporcional a la longitud de horno, insuficiente.	Significativo	<p><b>Implementación de mejoras y modificaciones de la instalación:</b></p> <p>1. Actualmente existen 6 ventiladores. Incrementar 2 ventiladores.</p> <p>Según SAP el coste de un equipo es S/2500.00 mano de obra de montaje es s/2000.00</p>
	A1.2. Avería de sistema de refrigeración o ventilación.	Crítico	<p><b>Tareas sistemáticas, condicionales o básicas:</b></p> <p>1. Inspecciones periódicas del estado de operatividad de los ventiladores y anotación de resultados en check list (con personal de Unacem)</p> <p>2. Monitoreo vibracional periódico de los ventiladores. (con personal de Unacem)</p> <p>4. Cambio de motores según condición del equipo.</p> <p><b>Modificaciones:</b></p> <p>1. Monitoreo y generación de alarmas de los ventiladores en el sistema de control: Inversión de Automatización de arranque de ventiladores.</p>
	A1.3. Elemento humano, falta de vigilancia del horno y de los instrumentos de control.	Significativo	<p><b>Tareas Condicionales o básicas:</b></p> <p>1. Verificar temperatura de la carcasa del horno con pirómetro calibrado (con personal de Unacem,</p>

		calibración de pirómetro) 2. Sustituir pirómetro periódicamente.
		<b>Cambios en procedimientos de operación:</b> 1. Implantar procedimiento existente de monitoreo de temperaturas de la carcasa del horno (con personal de Unacem) 2. Entrenamiento de personal responsable (personal de Unacem)
	A2.1 Instalación de refractarios inadecuados o deterioros de estos, o de las juntas de unión.	<b>Tareas sistemáticas, condicionales o básicas:</b> 1. Contratar personal con experiencia en enladrillado de hornos para clinker 2. Supervisión en proceso de instalación de ladrillos trapezoidales. 3. Reinlainado en anillos enladrillados. 4. Revisión del mapa de enladrillado
A2. Pérdida de ladrillo refractario.	A2.2. Refractario no cumple con las propiedades requeridas.	<b>Tareas sistemáticas, condicionales o básicas:</b> 1. Control administrativo por compra de ladrillos básico y ácido 2. Control de calidad y muestreo de producto 3. Inspección de producto durante la recepción 4. Control administrativo por compra de concreto refractario 5. Control de calidad y muestreo de bolsas de concreto
	A2.3. Deformación del Shell del horno	<b>Tareas sistemáticas, condicionales o básicas</b>

	1. Cumplimiento del programa de giro del horno luego de una parada no programada y en calentamiento. 2. Establecer pruebas del sistema de giro auxiliar del horno en paradas programadas y no programadas
--	--

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

**Subsistema Nivel 1:** 5.4. Horno 1. **Subsistema nivel 2:** 441HR1ES1 - Horno

Rotativo 1.

**Fallo Principal o secundario:** B. No alcanza velocidad de 0.1 rpm

durante la marcha.

**Tabla 52**

*Medidas preventivas del subsistema 441HR1ES1 para atenuar o eliminar efectos del fallo: "B. No alcanza velocidad de 0.1 rpm durante la marcha".*

Modo de fallo		Consecuencias del fallo	Medidas Preventivas
Modo de fallo (Nivel 1)	Causa de Fallo (Nivel 2)	Calificación del modo de fallo	
B1. Sistema de giro lento no transmite movimiento.	B1.1. Avería eléctrica en el sistema auxiliar de giro lento.	Significativo	<b>Tareas Condicionales o básicas:</b> 1. Mantenimiento de arranque eléctrico en OVH y paradas cortas. 2. Mantenimiento de motor en OVH y paradas cortas. 3. Mantenimiento y pruebas del sistema de comando remoto, local y emergencia, en OVH y parada corta 4. Mantener 1 unid. como stock mínimo del motor usado en esta aplicación.
	B1.2. Avería en acople y freno del sistema	Tolerable	<b>Tareas básicas:</b> 1. Mantenimiento de

auxiliar de giro lento.		componentes de freno y acople de motor auxiliar en OVH y paradas cortas del H2. 2. Definir frecuencia de lubricación del acople. 3. Inspecciones visuales y sonoras en campo del freno y acople del sistema auxiliar de giro lento.
-------------------------	--	---

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

**Subsistema Nivel 1:** 5.4. Horno 1. **Subsistema nivel 2:** 441HR1ES1 - Horno Rotativo 1.

**Fallo Principal o secundario:** C. No logra velocidades de 0.1 a 5 rpm en operación según la consigna.

**Tabla 53**

*Medidas preventivas del subsistema 441HR1ES1 para atenuar o eliminar efectos del fallo: "C. No logra velocidades de 0.1 a 5 rpm en operación según la consigna".*

Modo de fallo		Consecuencias del fallo	Medidas Preventivas
Modo de fallo (Nivel 1)	Causa de Fallo (Nivel 2)	Calificación del modo de fallo	
C1. Sistema de regulación de velocidad del horno no controla el movimiento.	C1.1. Avería en variadores de velocidad de motores principales.	<b>Crítico</b>	<b>Tareas sistemáticas, condicionales o básicas:</b> 1. Mantenimiento de variadores en OVH o parada Corta, incluir pruebas de operación del equipo en modo local, remoto y emergencia. 2. Seguimiento de variables de corriente, velocidad de motor y temperatura de módulos de variador. 3. Reemplazo de componentes o módulos según condición. 4. Definir el valor mínimo de repuestos de componentes y módulos.

		5. Programar el periodo recomendado por el fabricante para reemplazar componentes o módulos.
C1.2. Pérdida de comunicación con variadores de velocidad.	Significativo	<b>Tareas Condicionales o básicas:</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mantenimiento y ajuste de conexiones de componentes del bus de comunicaciones en OVH y paradas cortas.</li> <li>2. Monitoreo periódico de variables en el bus (escaneo).</li> <li>3. Monitoreo periódico de tensiones de alimentación de elementos del bus.</li> </ol>
C2.1. Avería en motores principales de horno.	Significativo	<b>Tareas Condicionales o básicas:</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Monitoreo periódico de vibración de motor.</li> <li>2. Monitoreo de corriente de motor.</li> <li>3. Mantenimiento de transformador y motor en OVH.</li> <li>4. Mantener 1 motor de repuesto.</li> </ol>
C2. Avería en sistema de transmisión de movimiento.		<b>Tareas sistemáticas, condicionales o básicas:</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mantenimiento al sistema de lubricación del reductor en OVH y paradas cortas.</li> <li>2. Monitoreo de operación del sistema de lubricación del reductor.</li> <li>3. Seguimiento de alarma del sistema lubricación de reductor.</li> <li>4. Mantenimiento anual por OVH y parada corta del sistema de lubricación de corona del horno.</li> <li>5. Monitoreo del estado de engrase de la catalina del</li> </ol>
C2.2. Avería sistema reductor - piñón - corona de horno.	Crítico	

	<p>horno.</p> <p>6. Monitoreo de operación del sistema de lubricación de corona del horno.</p> <p>7. Seguimiento de alarma del sistema de lubricación de corona.</p> <p>8. Mantener un reductor de repuesto.</p> <p>9. Mantener Kit de repuestos para reparación de corona del horno.</p> <p>10. Capacitar al personal de operación sobre funcionamiento y detección de alarmas del reductor y corona del horno.</p>
--	--

*Nota.* Información suministrada por la empresa.

**Subsistema Nivel 1:** 5.4. Horno 1. **Subsistema nivel 2:** 441HR1ES1 - Horno

Rotativo 1.

**Fallo Principal o secundario:** D. No recibe material continuo entre 50 y 500t/h, según la consigna.

**Tabla 54**

*Medidas preventivas del subsistema 441HR1ES1 para atenuar o eliminar efectos del fallo: “D. No recibe material continuo entre 50 y 500t/h, según la consigna”.*

Modo de fallo		Consecuencias del fallo	Medidas Preventivas
Modo de fallo (Nivel 1)	Causa de Fallo (Nivel 2)	Calificación del modo de fallo	
D1. Restricción en zona de ingreso de material (posible atoro)	D1.1. Precipitaciones de costras de en ciclones de precalentador.	Crítico	<p><b>Tareas sistemáticas, condicionales o básicas:</b></p> <p>1. Inspecciones diarias y monitoreo continuo de los valores de presión y temperatura de los ciclones.</p> <p>2. Monitoreo continuo del sistema de aviso de alarmas de parada de precalentador y</p>

		horno
D1.2. Encostramientos progresivos en ciclones por alto contenido de azufre(so2) del material.	<b>Crítico</b>	<b>Tareas sistemáticas, condicionales o básicas:</b> 1. Muestreo periódico de piedra caliza para para detectar el contenido de azufre. 2. Separación de rumas de piedra caliza considerando también el contenido de azufre. 3. Regulación de mezcla de piedra caliza antes de la molienda. 4. Monitoreo de gases en el precalentador.

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

**Subsistema Nivel 1:** Horno 1. **Subsistema nivel 2:** 441HR1ES1 - Horno

Rotativo 1.

**Fallo Principal o secundario:** E. No permite el desarrollo de las fases de formación de Clinker.

**Tabla 55**

*Medidas preventivas del subsistema 441HR1ES1 para atenuar o eliminar efectos del fallo: “E. No permite el desarrollo de las fases de formación de Clinker”.*

Modo de fallo		Consecuencias del fallo	Medidas Preventivas
Modo de fallo (Nivel 1)	Causa de Fallo (Nivel 2)	Calificación del modo de fallo	
E1. Cambio de las características del combustible. (debilita anillos, costra).	E1.1. Cambio de proveedor de combustible.	<b>Tolerable</b>	<b>Tareas básicas:</b> 1. Solicitar y evaluar los datos de calidad de gas emitidos por el proveedor.
	E1.2. Cambio de procedencia de combustible.	<b>Tolerable</b>	<b>Tareas básicas:</b> 1. Solicitar hoja técnica y datos de calidad del Petróleo.
E2. No hay condiciones favorables para la formación de	E2.1. Avería de sistema de refrigeración o ventilación.	<b>Crítico</b>	<b>Tareas sistemáticas, condicionales o básicas:</b> 1. Inspecciones periódicas del

costra.		<p>estado de operatividad de los ventiladores y anotación de resultados en check list (con personal de Unacem)</p> <p>2. Monitoreo vibracional periódico de los ventiladores. (con personal de Unacem)</p> <p>4. Cambio de motores según condición del equipo.</p>
<p>E3. Variaciones en el volumen de alimentación de crudo.</p>	<p>E3.1. Avería en el sistema de dosificación de crudo.</p>	<p><b>Tareas sistemáticas, condicionales o básicas:</b></p> <p>1. Calibración del sistema de dosificación de harina de crudo al horno anualmente o en paradas no programadas.</p> <p>2. Verificación mensual o por condición del sistema de dosificación de harina de crudo al horno.</p> <p>3. Monitoreo continuo del valor de alimentación y de límites de dosificación.</p>
	<p>E3.2. Atoro en ciclones de precalentador.</p>	<p><b>Tareas sistemáticas, condicionales o básicas:</b></p> <p>1. Inspecciones y monitoreo de los valores de presión y temperatura de los ciclones.</p> <p>2. Monitoreo de Temperatura del Shell de horno.</p> <p>3. Monitoreo de gases en la cámara de enlace del horno.</p>
<p>E4. Ingreso de aire frío al sistema que genera estanqueidad al horno.</p>	<p>E4.1. Avería en sistema de cierre o sellos del horno.</p>	<p><b>Tareas Condicionales o básicas:</b></p> <p>1. Mantenimiento anual a pistones de sello de horno.</p> <p>2. Monitoreo diario estado de sello del horno</p> <p>3. Monitoreo diario de presión de aire de pistones.</p> <p>4. Implementación de sistema de detección de baja de presión de aire para pistones.</p>

<p>E5.1. Avería en el quemador del horno.</p> <p>E5. Pérdida de calor del horno y baja temperatura de gases combustión.</p>	<p>Significativo</p>	<p><b>Tareas Condicionales o básicas.</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Monitoreo continuo de presión de gas en el quemador.</li> <li>2. Monitoreo continuo de los ventiladores de aire para el quemador.</li> <li>3. Monitoreo continuo de la llama del horno mediante el monitor de la cámara del horno.</li> <li>4. Monitoreo local por turno o por condición de la llama del horno.</li> <li>5. Monitoreo continuo de presión de aire axial y radial del quemador.</li> <li>6. Mantenimiento de ductos de combustible y aire del quemador cada Ovh anual.</li> <li>7. Cambio de concreto refractario en punta de quemador, cada OVH anual.</li> </ol>
<p>E5.2. Avería en el sistema de dosificación de combustible.</p>	<p>Significativo</p>	<p><b>Tareas Condicionales o básicas:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mantenimiento por Ovh anual y por parada corta de dosificadores de petróleo.</li> <li>2. Mantenimiento anual por Ovh del sistema de regulación de gas.</li> <li>3. Calibración de válvula reguladora en cada Ovh o parada corta.</li> <li>4. Definir repuestos críticos y stock mínimo de repuestos de componentes del sistema de gas.</li> <li>5. Mantenimiento por Ovh y por parada corta del sistema de dosificación de carbón al</li> </ol>

	quemador. 6. Calibrar los dosificadores de carbón y contrastar con peso patrón en OVH o parada corta. 7. Programar verificaciones en línea con frecuencia mensual del sistema de dosificación de carbón. 8. Definir repuestos críticos y stock mínimo de repuestos de componentes del sistema de dosificación de carbón.
--	---

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

**Subsistema Nivel 1:** 5.4. Horno 1. **Subsistema nivel 2:** 441HR1SL1TC1 - Sistema de engrase de la catalina del Horno 1

**Fallo Principal o secundario:** A. No lubrica el sistema de transmisión de manera homogénea según las condiciones configuradas.

**Tabla 56**

*Medidas preventivas del subsistema 441HR1SL1TC1 para atenuar o eliminar efectos del fallo: "A. No lubrica el sistema de transmisión de manera homogénea según las condiciones configuradas".*

Modo de fallo		Consecuencias del fallo	Medidas Preventivas
Modo de fallo (Nivel 1)	Causa de Fallo (Nivel 2)	Calificación del modo de fallo	
A1. Nivel mínimo de grasa en barriles.	A1.1. No se sustituyó el barril de grasa.	Tolerable	<b>Tareas básicas</b> 1. Rutina de inspección diaria del nivel del barril de grasa 2. Monitoreo continuo del panel de alarmas del sistema de lubricación de catalina del horno. 3. Almacenar 1 barril de reemplazo en la zona de trabajo.
A2. Bomba neumática averiada.	A2.1. Ausencia de un plan de mantenimiento.	Tolerable	<b>Tareas básicas:</b> 1. Creación de plan de mantenimiento por OVH de horno y paradas cortas. 2. Revisión anual del plan de

			<p>mantenimiento.</p> <p>3. Definir stock de repuesto mínimo de 1 unidad en bomba.</p>
	A2.2. Repuestos defectuosos	Tolerable	<p><b>Tareas básicas:</b></p> <p>1. Revisión de repuestos por parte de especialistas cuando son entregados en almacén.</p> <p>2. Comprar a proveedores que entreguen garantía mayor a un año y brinden soporte local.</p>
A3. Baja presión de aire.	A3.1. Caída de presión en suministro de aire.	Tolerable	<p><b>Tareas básicas:</b></p> <p>1. Rutina de inspección diaria de la presión de aire para bomba neumática.</p> <p>2. Monitoreo continuo de panel de alarmas del sistema de lubricación de catalina del horno.</p>
A4. Tubería Obstruida.	A4.1. Avería en válvulas de aspersión.	Significativo	<p><b>Tareas Condicionales o básicas:</b></p> <p>1. Mantenimiento anual por OVH o parada corta de válvulas de aspersión.</p> <p>2. Mantener stock mínimo de repuestos de válvulas de aspersión.</p> <p>3. Monitoreo continuo de panel de alarmas del sistema de lubricación de catalina del horno.</p>
	A4.2. Filtros saturados.	Significativo	<p><b>Tareas Condicionales o básicas:</b></p> <p>1. Inspección diaria de estado de filtros.</p> <p>2. Reemplazo periódico de filtros.</p> <p>3. Mantener Stock mínimo de filtros en almacén.</p>
A5. Sistema de control no ejecuta lo programado.	A5.1. Avería en sistema de control.	Tolerable	<p><b>Tareas básicas:</b></p> <p>1. Mantenimiento anual del tablero de control por OVH.</p> <p>2. Mantener Stock Mínimo del PLC y sus módulos.</p> <p>3. Conservar respaldo de programa del sistema de control.</p> <p>4. Monitoreo continuo de panel de alarmas del sistema de lubricación de</p>

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

**Subsistema Nivel 1:** 5.4. Horno 1. **Subsistema nivel 2:** 441HR1PO1

/ 441HR1PO2/ 441HR1PO3 - Rodillos de soporte de llantas del Horno 1.

**Fallo Principal o secundario:** A. No sostiene el cilindro del horno

ni conduce cargas a los rodillos de llanta 1.

**Tabla 57**

*Medidas preventivas de subsistemas 441HR1PO1 / 441HR1PO2 / 441HR1PO3 para atenuar o eliminar efectos del fallo: "A. No sostiene el cilindro del horno ni conduce cargas a los rodillos de llanta 1".*

Modo de fallo		Consecuencias del fallo	Medidas Preventivas
Modo de fallo (Nivel 1)	Causa de Fallo (Nivel 2)	Calificación del modo de fallo	
A1. Acanaladuras o rayadas transversales en la superficie lateral de apoyo del aro de rodadura	A1.1. Los rodillos de rodadura no están paralelos al eje del horno.	Significativo	<b>Tareas Condicionales o básicas:</b> 1. Alineamiento de los rodillos con personal especialista con frecuencia anual en cada OVH. 2. Monitoreo periódico de alineamiento de rodillos respecto al eje del horno. 3. Monitoreo de temperaturas de chumacera de rodillos.
	A1.2. Cilindro de horno rotatorio curvado	Crítico	<b>Tareas sistemáticas, condicionales o básicas:</b> 1. Medición anual de curvatura de horno, en cada OVH. 2. Monitoreo diario de temperaturas del Shell del horno. 3. Monitoreo diario del slip del horno. 4. Aplicación de procedimiento

			de giro del horno luego de una parada no planificada hasta descargar.
A2. Deterioro de la superficie del aro de rodadura por sobrecargas, contacto inadecuado, cuerpos extraños, movimiento axial nulo o demasiado escaso del horno rotatorio	A2.1. Sobrecargas del horno.	Crítico	<b>Tareas sistemáticas, condicionales o básicas:</b> 1. Monitoreo del sistema empuje axial del horno 2. Mantenimiento anual del sistema de empuje axial. 3. Monitoreo del perfil del horno (verificación de aplatanamiento) 4. Aplicación de descarga de Horno y enfriador luego de descargas abruptas.
	A2.2. Cuerpos extraños en la superficie de aro de rodadura y rodillo.	Tolerable	<b>Tareas básicas:</b> 1. Inspección diaria de superficie de rodillos. 2. Limpieza de superficie de rodillos con aire según condición.
	A2.3. Movimiento axial nulo o demasiado escaso del horno.	Tolerable	<b>Tareas básicas:</b> 1. Monitoreo diario del valor y del sistema de desplazamiento axial del horno. 2. Monitoreo diario de fallas del sistema de empuje axial.

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

**Subsistema Nivel 1:** 5.4. Horno 1. **Subsistema nivel 2:** 441HR1PO1 / 441HR1PO2/ 441HR1PO3 - Rodillos de soporte de llantas del Horno 1.

**Fallo Principal o secundario:** B. Temperatura de cojinete mayor a 80°C.

**Tabla 58**

*Medidas preventivas de subsistemas 441HR1PO1 / 441HR1PO2 / 441HR1PO3 para atenuar o eliminar efectos del fallo: "B. Temperatura de cojinete mayor a 80°C".*

Modo de fallo		Consecuencias del fallo	Medidas Preventivas
Modo de fallo (Nivel 1)	Causa de Fallo (Nivel 2)	Calificación del modo de fallo	
B1. Mal contacto entre aro de rodadura y rodillos de rodadura.	B1.1. Alineación del eje de rodillo no es correcta.	Significativo	<b>Tareas Condicionales o básicas:</b> 1. Alineamiento de los rodillos respecto al eje del horno con frecuencia anual en cada OVH. 2. Monitoreo periódico de alineamiento de rodillos respecto al eje del horno. 3. Monitoreo de temperaturas de chumacera de rodillos.
	B1.2. Sobrecarga por cilindro de horno rotatorio deformado.	Crítico	<b>Tareas sistemáticas, condicionales o básicas:</b> 1. Monitoreo del sistema empuje axial del horno 2. Mantenimiento anual del sistema de empuje axial. 3. Monitoreo del perfil del horno. 4. Aplicación de descarga de Horno y enfriador luego de descargas abruptas.
B2. Cojinete del rodillo de rodadura defectuoso.	B2.1. Deterioro de vasos lubricadores.	Crítico	<b>Tareas sistemáticas, condicionales o básicas:</b> 1. Monitoreo periódico de nivel de aceite en chumaceras. 2. Revisión y reemplazo anual de vasos lubricadores según condición. 2. Definir y mantener stock mínimo de vasos lubricadores. 3. Monitoreo diario de temperatura de chumaceras y

		sistema de alarmas de rodillos de hornos.
B2.2. Fraccionamiento de cojinete.	Crítico	<b>Tareas sistemáticas, condicionales o básicas:</b> 1. Inspección semanal de cojinetes 2. Mantener stock mínimo de repuestos de cojinete. 3. Reemplazar rodillo en cada OVH o parada corta según condición.
B2.3. Ausencia de lubricación en superficie de rodillo (con grafito).	Tolerable	<b>Tareas básicas:</b> 1. Inspección diaria de superficie de rodillos. 2. Limpieza de superficie de rodillos con aire según condición. 3. Aplicación de grafito para lubricar superficie de rodillos según condición.

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

**Subsistema Nivel 1:** 5.4. Horno 1. **Subsistema nivel 2:** 441HR1RD1 -

Sistema de empuje axial del Horno 1.

**Fallo Principal o secundario:** A. No mantiene el horno en la dirección Axial, dentro de + o - 5mm de la posición cero.

**Tabla 59**

*Medidas preventivas de subsistemas 441HR1RD1 para atenuar o eliminar efectos del fallo: "A. No mantiene el horno en la dirección Axial, dentro de + o - 5mm de la posición cero".*

Modo de fallo		Consecuencias del fallo	Medidas Preventivas
Modo de fallo (Nivel 1)	Causa de Fallo (Nivel 2)	Calificación del modo de fallo	
A1. Sistema hidráulico de empuje axial no genera presión.	A1.1. Avería en bomba hidráulica.	Significativo	<b>Tareas Condicionales o básicas:</b> 1. Mantenimiento anual por OvH de bomba hidráulica. 2. Inspecciones periódicas de

			bomba hidráulica, monitoreo de presión y temperatura de aceite. 3. Reemplazar elementos internos de la bomba (acople y elementos flexibles) 4. Mantener stock mínimo de 1 bomba.
	A1.2. Avería en válvulas del sistema hidráulico	Tolerable	<b>Tareas básicas:</b> 1. Inspección periódica de válvulas del sistema hidráulico 2. Mantener stock mínimo de válvulas de repuesto. 3. Capacitar el personal para maniobras de cambio de válvulas del sistema hidráulico del sistema de empuje axial.
	A1.3. Avería en acumulador hidráulico	Tolerable	<b>Tareas básicas:</b> 1. Mantenimiento anual del acumulador del sistema hidráulico (medición de presión de nitrógeno) 2. Mantener 1 repuesto del acumulador. 3. Reemplazar el acumulador o parada corta en cada OVH según la condición del equipo.
A2. Referencia errónea de señal de desplazamiento axial.	A2.1. Lectura errónea de sensores de desplazamiento.	Significativo	<b>Tareas Condicionales o básicas:</b> 1. Monitoreo continuo de la señal de desplazamiento principal y redundante. 2. Monitoreo de sistema de alarmas del sistema de desplazamiento axial del horno. 3. Mantenimiento, calibración y verificación anual del sistema de medición del

		desplazamiento axial del horno. 4. Mantener un sensor de repuesto como valor mínimo.
A2.2. Cambio de referencia cero.	Tolerable	<b>Tareas básicas:</b> 1. Monitoreo periódico del valor de referencia cero y el valor de medición digital. <b>Modificaciones:</b> 1. Habilitar en programa la lógica de corrección del sistema de medición.

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

**Subsistema Nivel 1:** 5.4. Horno 1. **Subsistema nivel 2:** 441HR1RD1 -

Sistema de empuje axial del Horno 1.

**Fallo Principal o secundario:** B. El sistema trabaja por encima de 50 bar.

**Tabla 60**

*Medidas preventivas de subsistemas 441HR1RD1 para atenuar o eliminar efectos del fallo: "B. El sistema trabaja por encima de 50 bar".*

Modo de fallo		Consecuencias del fallo	Medidas Preventivas
Modo de fallo (Nivel 1)	Causa de Fallo (Nivel 2)	Calificación del modo de fallo	
B1. Sobre esfuerzo del sistema hidráulico de empuje axial	B1.1. Sobrecarga de horno.	Crítico	<b>Tareas sistemáticas, condicionales o básicas:</b> Monitoreo de sistema de alimentación al horno 2. Establecer y/o actualizar métodos para superar atoros en precalentador Monitoreo de presiones hidráulicas en el enfriador. Monitoreo de temperaturas en electrofiltro.
	B2.2. Rodillo de empuje fuera de posición.	Tolerable	<b>Tareas básicas:</b> 1. Monitoreo periódico de ubicación de rodillo de empuje. 2. Monitoreo de los valores

		límites de presión del sistema de empuje axial del horno.
B2.3. Avería en válvulas del sistema hidráulico.	Tolerable	<b>Tareas básicas:</b> 1. Inspección periódica de válvulas del sistema hidráulico 2. Mantener stock mínimo de válvulas de repuesto. 3. Capacitar el personal para maniobras de cambio de válvulas del sistema hidráulico del sistema de empuje axial.
B2.4. Avería de bloque de grafito lubricador de rodillo de empuje axial.	Significativo	<b>Tareas Condicionales o básicas:</b> 1. Inspección diaria de superficie de rodillos. 2. Limpieza de superficie de rodillos con aire según condición. 3. Aplicación de grafito para lubricar superficie de rodillos según condición.
B2.5. Filtro de aceite saturado.	Tolerable	<b>Tareas básicas:</b> 1. Monitoreo periódico de filtro de aceite los indicadores de filtro 2. Monitoreo continuo del sistema de alarmas del sistema de desplazamiento axial. 3. Mantener stock mínimo de filtros. 4. Programar cambio de filtros según condición.

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

**Subsistema Nivel 1:** 5.4. Horno 1. **Subsistema nivel 2:** 441HR1RD1 - Sistema de empuje axial del Horno 1.

**Fallo Principal o secundario:** C. El sistema no genera alarma si el desplazamiento está fuera del rango + o -10mm.

**Tabla 61**

*Medidas preventivas de subsistemas 441HR1RD1 para atenuar o eliminar efectos del fallo: "C. El sistema no genera alarma si el desplazamiento esta fuera del rango + o -10mm".*

Modo de fallo		Consecuencias del fallo	Medidas Preventivas
Modo de fallo (Nivel 1)	Causa de Fallo (Nivel 2)	Calificación del modo de fallo	
C1. Sistema de monitoreo de desplazamiento axial entrega datos errados.	C1.1. Avería de sensores de desplazamiento.	Significativo	<p><b>Tareas Condicionales o básicas:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Monitoreo continuo de la señal de desplazamiento principal y redundante.</li> <li>2. Mantenimiento, calibración y verificación anual del sistema de medición del desplazamiento axial.</li> <li>3. Mantener un sensor de repuesto como valor mínimo.</li> <li>4. Difundir y aplicar el procedimiento de calibración.</li> </ol>
	C1.2. Cambios en programa de sistema de medición.	Insignificante	<p><b>Tareas Condicionales o básicas:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Realizar respaldos mensuales del programa del PLC.</li> </ol> <p><b>Modificaciones:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Habilitar en programa la lógica de corrección del sistema de medición.</li> </ol>
	C1.3. Cambio de referencia cero.	Tolerable	<p><b>Tareas básicas:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Monitoreo periódico del valor de referencia cero y el valor de medición digital.</li> </ol> <p><b>Modificaciones:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Habilitar en programa la lógica de corrección del sistema de medición.</li> </ol>

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

### **3.8. Fase 8 para la implementación de RCM: Plan de mantenimiento y mejoras.**

#### **3.8.1. Plan de mantenimiento y mejoras como resultado de RCM.**

Luego de determinar las medidas preventivas para evitar fallos potenciales de un sistema, el siguiente paso es la agrupación de las medidas preventivas en sus diferentes categorías: Elaboración del Plan de Mantenimiento, lista de mejoras, planes de formación, procedimientos de operación y de mantenimiento, lista de repuestos que deben permanecer en stock y medidas provisionales a adoptar en cada caso de fallo.

La planta Atocongo de Unacem, cuenta con un plan de mantenimiento para los equipos de sus diversos sistemas, estos planes están en SAP y los administra el área de mantenimiento preventivo.

A continuación, se agruparán las medidas preventivas para los subsistemas del Horno 1 y elaboraremos planes de mantenimiento, las tareas de este nuevo plan que no estén dentro del plan original serán consideradas como parte de la inversión.

##### **3.8.1.1. Actividades de Mantenimiento y mejoras para el subsistema 441HR1ES1**

La Tabla 62 muestra el plan de mantenimiento elaborado para el 441HR1ES1, Horno Rotativo 1.

##### **Tabla 62**

*Tareas del plan de mantenimiento propuesto para el 441HR1ES1.*

<b>Actividades del plan de mantenimiento para 441HR1ES1</b>					
Sistema: Sistema de clinkerización con horno rotativo					
Subsistema: Horno 1					
Equipo: 441HR1ES1					
Descripción de equipo: Horno Rotativo 1					
<b>Ítem</b>	<b>Tarea de Mantenimiento</b>	<b>Tipo de Mant.</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Ejecutor</b>	<b>Valor anual</b>

1	Inspección en operación de los 6 ventiladores portátiles del Shell del horno. Anotación de resultados en check list.	Preventivo (Inspección)	2 días	Personal de Unacem	parte del costo fijo
2	Monitoreo de vibración vibracional de los 6 ventiladores portátiles del Shell del horno (con personal de Unacem). Registrar en SAP.	Preventivo (Medición)	4 sem.	Personal de Unacem	parte del costo fijo
3	Cambio de motores portátiles de Shell del horno según condición del equipo. En 2019 se cambiaron 2 En 2020 se cambió 1 costo de motor SAP 02-00008296: s/2500.00 Mano de obra: s/6000.00 Se considera cambiar 2 por año antes que ocurra el fallo.	Correctivo (Según condición)	52 sem.	Personal contratista	S/ 20,840.00
4	Monitoreo de temperatura del Shell del horno con pirómetro calibrado y monitoreo del slip del horno (dato tomado del scanner del Horno)	Preventivo (Medición)	1 día	Personal de Unacem	parte del costo fijo
5	Calibración de pirómetro usado para medir temperatura del Shell del horno	Preventivo (Calibración)	52 sem.	Personal contratista	S/850.00
6	Sustituir pirómetro para medición de Shell del horno según condición del equipo (SAP: 02-00038435)	Correctivo (Según condición)	104 sem.	Personal de Unacem	S/1,750.0
7	Supervisión del proceso de instalación de ladrillos trapezoidales durante maniobra de cambio de ladrillos.	Preventivo (Supervisión e inspección)	52 sem.	Personal de Unacem	parte del costo fijo
8	Supervisión e inspección del proceso de reenlainado de anillos enladrillados	Preventivo	52 sem.	Personal contratista	parte del costo fijo
9	Revisión del mapa de enladrillado	Preventivo (Supervisión e inspección)	52 sem.	Personal de Unacem	parte del costo fijo

10	Inspección de ladrillos básicos y ácidos para enladrillado de horno, actividad a realizar cuando el pedido llegue al almacén de Unacem.	Preventivo (Inspección)	52 sem.	Personal de Unacem	parte del costo fijo
11	Supervisión del cumplimiento del programa de giro del horno luego de una parada programada o no programada del horno y en calentamiento	Preventivo (Supervisión e inspección)	52 sem.	Personal de Unacem	parte del costo fijo
12	Pruebas del sistema de giro auxiliar del horno en paradas programadas y no programadas.	Preventivo (Supervisión e inspección)	52 sem.	Personal de Unacem	parte del costo fijo
13	Mantenimiento de motor, acople, arranque eléctrico de motor y freno del sistema de giro auxiliar	Preventivo (Supervisión e inspección)	52 sem.	Personal contratista	S/ 1,600.00
14	Pruebas del sistema de arranque remoto, local y emergencia.	Preventivo (Supervisión e inspección)	52 sem.	Personal de Unacem	parte del costo fijo
15	Inspecciones en campo del freno y acople del sistema auxiliar de giro lento.	Preventivo (Inspección)	4 sem.	Personal de Unacem	parte del costo fijo
16	Mantenimiento de variadores, motor y transformador, pruebas de operación del equipo en modo local, remoto y emergencia.	Preventivo	52 sem.	Personal contratista	S/ 86,000.00
17	Monitoreo corriente, velocidad de motor, temperatura de módulos de variadores y vibración de motores principales del horno.	Preventivo (Inspección)	4 sem.	Personal de Unacem	parte del costo fijo
18	Mantenimiento y ajuste de conexiones de componentes del bus de comunicaciones.	Preventivo	52 sem.	Personal contratista	S/ 800.00
19	Monitoreo periódico de variables en el bus de comunicación profibus (escaneo).	Preventivo (Inspección)	8 sem.	Personal de Unacem	parte del costo fijo

20	Mantenimiento al sistema de lubricación de reductores de motores, piñón y corona del horno	Preventivo	52 sem.	Personal contratista	S/ 800.00
21	Monitoreo de operación y alarmas del sistema de lubricación de reductores de motores, piñón y corona del horno.	Preventivo (Medición)	1 día	Personal de Unacem	parte del costo fijo
22	Inspecciones y monitoreo de presión, temperatura y alarmas de ciclones del precalentador y horno.	Preventivo (Medición)	1 día	Personal de Unacem	parte del costo fijo
23	Muestreo de azufre en piedra caliza usada para producir harina cruda.	Preventivo (Medición)	1 día	Personal de Unacem	parte del costo fijo
24	Separación de rumas de piedra caliza con alto contenido de azufre.	Preventivo (Medición)	1 día	Personal de Unacem	parte del costo fijo
25	Monitoreo de gases en el precalentador y cámara de enlace	Preventivo (Medición)	1 día	Personal de Unacem	parte del costo fijo
26	Calibración de sistema de pesaje de tolva de crudo y dosificador de crudo al horno 1	Preventivo (Calibración)	52 sem.	Personal de Unacem	parte del costo fijo
27	Verificación del sistema de dosificación de harina de crudo al horno (Contraste dosificador vs tolva patrón).	Preventivo (Verificación)	4 sem.	Personal de Unacem	parte del costo fijo
28	Monitoreo alarmas del sistema de alimentación al horno.	Preventivo (Monitoreo)	1 día	Personal de Unacem	parte del costo fijo
29	Mantenimiento anual a pistones de sello de horno.	Preventivo (Calibración)	52 sem.	Personal de Unacem	S/.800.00
30	Monitoreo del sistema neumático de sellado del horno a la cámara de enlace.	Preventivo (Monitoreo)	1 día	Personal de Unacem	parte del costo fijo
31	Monitoreo continuo de presión de gas en el quemador, presión axial y radial del aire del quemador, operación y corriente de motores de	Preventivo (Monitoreo)	1 día	Personal de Unacem	parte del costo fijo

	ventiladores del quemador.					
32	Monitoreo de la llama del horno mediante el monitor de la cámara del horno e inspección en campo.	Preventivo (Monitoreo)	1 día		Personal de Unacem	parte del costo fijo
33	Mantenimiento de ductos de combustible y aire del quemador.	Preventivo	52	sem.	Personal contratista	S/ 4,800.00
34	Cambio de concreto refractario en punta de quemador	Preventivo	52	sem.	Personal contratista	S/ 32,000.00
35	Mantenimiento de sistemas de dosificación de petróleo del quemador del horno.	Preventivo	52	sem.	Personal contratista	S/ 6,000.00
36	Mantenimiento y calibración del sistema de regulación y dosificación de gas.	Preventivo	52	sem.	Personal contratista	S/ 4,000.00
37	Mantenimiento y calibración del sistema de dosificación de carbón al quemador.	Preventivo	52	sem.	Personal contratista	S/ 8,000.00
38	Verificaciones en línea del sistema de dosificación de carbón.	Preventivo	4	sem.	Personal de Unacem	parte del costo fijo

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

Considerando 52 semanas por año, el plan de mantenimiento propuesto para 441HR1ES1 asciende a s/168,240.00 este valor ser incluirá en el presupuesto anual. Según la entrevista a los supervisores de mantenimiento, las tareas de los ítems 2, 3, 5, 6, 19, 29, 30, 38 son actividades que no estaban en el plan de mantenimiento original, se estima que el costo del plan de mantenimiento original asciende a s/144,000.00, valor que ya fue incluido en los presupuestos del 2019 y 2020.

La Tabla 63 incluye las modificaciones, cambios de procedimientos y medidas tendentes a minimizar los efectos del fallo sobre el sistema 441HR1ES1.

**Tabla 63**

*Modificaciones, cambios de procedimientos y medidas tendentes a minimizar efectos del fallo sobre 441HR1ES1.*

<b>Modificaciones, cambios de procedimientos y medidas tendentes a minimizar efectos del fallo</b>			
<b>Equipo: 441HR1ES1</b>			
<b>Ítem</b>	<b>Cambios de procedimientos</b>	<b>Ejecutor</b>	<b>Valor anual</b>
1	Creación e implantación de procedimiento y check list de inspección de ventiladores portátiles de Shell del horno.	Personal de Unacem	parte del costo fijo
2	Creación e implantación de procedimiento de monitoreo de temperaturas de Shell del horno	Personal de Unacem	parte del costo fijo
3	Creación del procedimiento de inspección de sistema de giro lento	Personal de Unacem	parte del costo fijo
4	Definir las tareas de reemplazo de componentes de variadores de motores del horno según recomendación del fabricante.	Personal de Unacem	parte del costo fijo
5	Elaboración de procedimiento y check list de monitoreo de variables de motor y variadores del H1	Personal de Unacem	parte del costo fijo
6	Procedimiento y check list de monitoreo de operación y alarmas de sistema de lubricación de reductores de motores de horno, piñón y corona del horno.	Personal de Unacem	parte del costo fijo
7	Procedimiento de monitoreo e inspección de variables del quemador, presión, caudal, llama, corriente de ventiladores.	Personal de Unacem	parte del costo fijo
8	Elaborar procedimiento de regulación de sistema de dosificación de petróleo y sistema de dosificación de gas y sistema de dosificación de carbón.	Personal de Unacem	parte del costo fijo
<b>Ítem</b>	<b>Acciones formativas</b>	<b>Ejecutor</b>	<b>Valor</b>
1	Capacitación y difusión sobre procedimiento de inspección de ventiladores portátiles del Shell del horno	Personal de Unacem	parte del costo fijo
2	Capacitación y difusión sobre procedimiento de monitoreo de temperaturas de Shell del horno	Personal de Unacem	parte del costo fijo
3	Capacitar al personal de operación sobre funcionamiento y detección de alarmas del reductor y corona del horno.	Personal de Unacem	parte del costo fijo
4	Procedimiento de inspección de sistema neumático de sello del horno	Personal de Unacem	parte del costo fijo
<b>Ítem</b>	<b>Medidas tendentes a minimizar los efectos del fallo</b>	<b>Ejecutor</b>	<b>Valor</b>
1	Definir el perfil del personal responsable de la tarea	Personal de	parte del costo fijo

	de enladrillado de hornos para clinker e incluirlo en el procedimiento de adquisición de servicios de enladrillado.	Unacem	
2	Definir stock mínimo del motor auxiliar de giro lento.	Personal de Unacem	parte del costo fijo
3	Definir el valor mínimo de repuestos de componentes y módulos de variadores de velocidad de motores.	Personal de Unacem	parte del costo fijo
4	Mantener 1 motor y 1 reductor de repuesto para sistema de giro principal del horno.	Personal de Unacem	parte del costo fijo
5	Definir cantidad de Kit de repuestos para reparación de corona del horno.	Personal de Unacem	parte del costo fijo
6	Solicitar y evaluar los datos de calidad de gas, calidad de petróleo emitidos por el proveedor.	Personal de Unacem	parte del costo fijo
7	Definir repuestos críticos y stock mínimo de repuestos de componentes del sistema de gas y petróleo.	Personal de Unacem	parte del costo fijo
8	Definir repuestos críticos y stock mínimo de repuestos de componentes del sistema de dosificación de carbón.	Personal de Unacem	parte del costo fijo
Ítem	Modificación	Ejecutor	Valor
1	<p>Actualmente existen 6 ventiladores portátiles, según el registro de órdenes correctivas en SAP, el promedio anual de cambio de motores en ventiladores es 2 y la actividad dura 12 horas en promedio.</p> <p>Se propone 2 ventiladores portátiles, ampliando la base instalada de los ventiladores, se podría cubrir más sectores del Shell y en caso de fallo de algún ventilador los nuevos equipos podrían reemplazar temporalmente hasta culminar la reparación.</p> <p>Motor (código SAP 02-00008296): s/2500.00  Fabricación de ventilador: s/14000.00  Instalación y montaje: s/6000.00</p>	Personal contratista	S/ 45,000.00
2	<p>Automatización de arranque eléctrico de 8 ventiladores portátiles e inclusión de equipos en el sistema de monitoreo de alarmas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 8 arranques eléctricos (guardamotor, contactor, relé), aprox. s/3000.00 c/arranque.</li> <li>- Cableado de 8 motores desde ubicación en campo hasta CCM, aprox. s/12000.00 c/ventilador.</li> <li>- Programación en PLC de 8 ventiladores, aprox. s/1200.00 c/ventilador</li> <li>- Pruebas, documentación. Aprox. s/3500.00</li> </ul>	Personal contratista	S/ 133,100.00

3	Implementación de sistema de detección de baja de presión de aire para pistones de sello del horno.	Personal contratista	S/ 4,000.00
Ítem	Reducción de inventario	Ejecutor	Valor anual
1	Reducir el stock de motores de repuesto para ventilar el Shell de 4 a 2 unidades.	Personal de Unacem	-S/ 5,000.00

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

Las modificaciones, cambios de procedimientos y medidas tendentes a minimizar efectos del fallo ascienden a un valor de S/ 177,100.00 y se invertiría solo un año y se aplicará este valor al presupuesto del año 1.

### 3.8.1.2. Actividades de Mantenimiento para el subsistema

#### 441HR1SL1TC1

La Tabla 64 muestra el plan de mantenimiento elaborado para el 441HR1SL1TC1, Sistema de engrase de la catalina del Horno 1.

#### Tabla 64

*Tareas del plan de mantenimiento propuesto para el 441HR1SL1TC1.*

Actividades del plan de mantenimiento para 441HR1SL1TC1					
Sistema: Sistema de clinkerización con horno rotativo					
Subsistema: Horno 1					
Equipo: 441HR1SL1TC1					
Descripción de equipo: Sistema de engrase de la catalina del Horno 1					
Ítem	Tarea de Mantenimiento	Tipo de Mantenimiento	Frecuencia	Ejecutor	Valor anual
1	Inspección de nivel de barril de grasa, aire del sistema, filtros de aire y aceite.	Preventivo (Inspección)	1 día	Personal de Unacem	parte del costo fijo
2	Trasladar y almacenar 1 barril de aceite para reemplazo en sala de lubricación de catalina de horno 1. Código SAP de barril:05-00005041 (s/10600.00), barriles usados en el año: 17	Preventivo	3 sem.	Personal contratista	S/ 5200.00

3	Inspección de repuestos de bomba neumática y del sistema de lubricación, actividad a realizar cuando el pedido llegue al almacén de Unacem.	Preventivo (Inspección)	52 sem.	Personal de Unacem	parte del costo fijo
4	Monitoreo de alarmas del sistema de lubricación de catalina del horno en panel local.	Preventivo (Inspección)	1 día	Personal de Unacem	parte del costo fijo
5	Mantenimiento anual por OVH o parada corta de válvulas de aspersión	Correctivo (Según condición)	52 sem.	Personal Contratista	S/ 4,800.00
6	Reemplazo de filtros de aceite y aire según condición.	Preventivo	8 sem.	Personal contratista	S/13,000.00
7	Mantenimiento del tablero eléctrico y componentes de control.	Preventivo	52 sem.	Personal contratista	S/ 1,600.00
8	Realizar respaldo del programa	Preventivo	52 sem.	Personal contratista	S/ 800.00

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

El plan de mantenimiento propuesto para el 441HR1SL1TC1 asciende a s/25,400.00, este valor también se añadirá al presupuesto anual. Según entrevistas a supervisores del área de mantenimiento preventivo, las actividades de los ítems 7 y 8 no están incluidas en el plan original, se estima que el plan original tiene un valor de s/23,000.00 y está incluido en presupuesto 2019 y 2020.

La Tabla 65 incluye las modificaciones, cambios de procedimientos y medidas tendentes a minimizar los efectos del fallo sobre el sistema 441HR1SL1TC1.

**Tabla 65**

*Modificaciones, cambios de procedimientos y medidas tendentes a minimizar efectos del fallo sobre 441HR1SL1TC1.*

<b>Modificaciones, cambios de procedimientos y medidas tendentes a minimizar efectos del fallo.</b>
<b>Equipo: 441HR1SL1TC1</b>

Ítem	Cambios de procedimientos	Ejecutor	Valor
1	Revisión del plan de mantenimiento del sistema de lubricación e incluir actividades de mantenimiento de la bomba neumática.	Personal de Unacem	parte del costo fijo
2	Creación de check list de inspección del sistema de lubricación de la catalina del horno 1	Personal de Unacem	parte del costo fijo
Ítem	Acciones formativas	Ejecutor	Valor
1	Capacitación y difusión sobre uso y llenado de check lis de inspección del sistema de lubricación de la catalina.	Personal de Unacem	parte del costo fijo
Ítem	Medidas tendentes a minimizar los efectos del fallo	Ejecutor	Valor
2	Definir stock mínimo de bomba neumática, válvulas de aspersión, filtros, PLC y módulos de expansión.	Personal de Unacem	parte del costo fijo
4	Definir filtro de proveedores de repuestos del sistema de lubricación priorizando garantía mayor a un año y soporte local.	Personal de Unacem	parte del costo fijo
Ítem	Reducción de inventario	Ejecutor	Valor
1	Reducir el stock de cilindros de grasa de 6 a 3 barriles. El periodo de renovación se estima en 3 meses, considerando que el fabricante es local y entrega el producto en 2 semanas.	Personal de Unacem	-S/ 1800.00

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

### 3.8.1.3. Actividades de Mantenimiento para los subsistemas

#### 441HR1PO1, 441HR1PO2 y 441HR1PO3:

La Tabla 66 muestra el plan de mantenimiento elaborado para los equipos rodillos de soporte de llantas 441HRPO1, 441HR1PO2 y 441HR1PO3.

#### Tabla 66

*Tareas del plan de mantenimiento propuesto para los subsistemas 441HR1PO1, 441HR1PO2, 441HR1PO3.*

Actividades del plan de mantenimiento para 441HR1PO1 / 441HR1PO2 / 441HR1PO3					
Sistema: Sistema de clinkerización con horno rotativo					
Subsistema: Horno 1					
Equipo: 441HR1PO1 / 441HR1PO2 / 441HR1PO3					
Descripción de equipo: Rodillos de soporte de llantas 1, 2 y 3 del Horno 1					
Ítem	Tarea de Mantenimiento	Tipo de Mantenimiento	Frecuencia	Ejecutor	Valor

1	Medición anual de curvatura de horno, en cada OVH.	Preventivo (Medición)	52 sem.	Personal contratista (especialista)	S/ 6,400.00
2	Alineamiento de los rodillos respecto al eje e inclinación del horno.	Preventivo	52 sem.	Personal contratista (especialista)	S/ 88,800.00
3	Monitoreo de alineamiento de rodillos respecto al eje del horno.	Preventivo (Medición)	12 sem.	Personal contratista	S/ 20,800.00
4	Monitoreo de temperaturas de chumacera de rodillos por medición local y contrastación con valores del sistema de control.	Preventivo (Medición)	1 día	Personal de Unacem	parte del costo fijo
5	Monitoreo nivel de aceite en chumaceras de rodillos	Preventivo (Medición)	1 día	Personal de Unacem	parte del costo fijo
6	Revisión y reemplazo de vasos lubricadores.	Correctivo (Según condición)	52 sem.	Personal Contratista	S/ 3,200.00
7	Inspección y limpieza de superficie de rodillos.	Preventivo (Inspección)	1 día	Personal de Unacem	parte del costo fijo
8	Aplicación de grafito para lubricar superficie de rodillos según condición,	Correctivo (Según condición)	2 sem.	Personal Contratista	S/ 20800.00
9	Inspección de cojinetes de rodillos	Preventivo (Inspección)	1 sem.	Personal de Unacem	parte del costo fijo
11	Monitoreo del sistema empuje axial del horno 2 (medición local vs valores del sistema de control).	Preventivo (Medición)	1 día	Personal de Unacem	parte del costo fijo
12	Monitoreo de panel de alarmas del sistema de empuje axial del horno.	Preventivo (Inspección)	1 día	Personal de Unacem	parte del costo fijo

13	Mantenimiento del sistema de empuje axial: Bomba hidráulica, Válvulas y cañerías.	Preventivo	52 sem.	Personal contratista	S/ 3,200.00
----	---	------------	---------	----------------------	-------------

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

El plan de mantenimiento propuesto tiene un costo de s/143,200.00 y se incluirá en el presupuesto anual. Según entrevistas a supervisores de mantenimiento preventivo la actividad del ítem 3 no estaba considerada en el plan original, se estima que el presupuesto original tiene un valor de s/122,400.00 y fue incluido en el presupuesto 2019 y 2020. La Tabla 67 incluye las modificaciones, cambios de procedimientos y medidas tendentes a minimizar los efectos del fallo sobre los subsistemas 441HR1PO1 / 441HR1PO2 / 441HR1PO3.

**Tabla 67**

*Modificaciones, cambios de procedimientos y medidas tendentes a minimizar efectos del fallo sobre subsistemas 441HR1PO1 / 441HR1PO2 / 441HR1PO3.*

<b>Modificaciones, cambios de procedimientos y medidas tendentes a minimizar efectos del fallo.</b>			
<b>Equipo: 441HR1PO1 / 441HR1PO2 / 441HR1PO3</b>			
<b>Ítem</b>	<b>Cambios de procedimientos</b>	<b>Ejecutor</b>	<b>Valor</b>
1	Creación del procedimiento y check list de inspección de superficie de rodillos., estado de cojinetes, temperaturas de cojinetes de rodillos y nivel de aceite de cojinetes.	Personal de Unacem	parte del costo fijo
2	Creación de procedimiento y check list de inspección del sistema de empuje axial del horno 1.	Personal de Unacem	parte del costo fijo
<b>Ítem</b>	<b>Acciones formativas</b>	<b>Ejecutor</b>	<b>Valor</b>
1	Capacitación del procedimiento y check list de inspección de rodillos.	Personal de Unacem	parte del costo fijo
2	Capacitación del procedimiento y check list de inspección de sistema de empuje axial del horno 1.	Personal de Unacem	parte del costo fijo
<b>Ítem</b>	<b>Medidas tendentes a minimizar los efectos del fallo</b>	<b>Ejecutor</b>	<b>Valor</b>
1	Definir stock mínimo de cojinetes y rodillos.	Personal de Unacem	parte del costo fijo

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

### 3.8.1.4. Actividades de Mantenimiento para el subsistema 441HR1RD1:

La Tabla 68 muestra el plan de mantenimiento elaborado para el sistema de empuje axial 441HR1RD1.

**Tabla 68**

*Tareas del plan de mantenimiento propuesto para 441HR1RD1.*

Actividades del plan de mantenimiento para 441HR1RD1					
Sistema: Sistema de clinkerización con horno rotativo					
Subsistema: Horno 1					
Equipo: 441HR1RD1					
Descripción de equipo: Sistema de empuje axial del Horno 1.					
Ítem	Tarea de Mantenimiento	Tipo de Mantenimiento	Frecuencia	Ejecutor	Valor
1	Mantenimiento de bomba hidráulica del sistema de empuje axial, reemplazar componentes según condición.	Preventivo	52 sem.	Personal contratista	S/3,200.00
2	Inspección y monitoreo de bomba hidráulica, válvulas, filtros, presión y temperatura de aceite.	Preventivo (inspección)	1 día	Personal de Unacem	parte del costo fijo
3	Mantenimiento de acumulador del sistema hidráulico o reemplazo.	Preventivo	52	Personal contratista	S/2,400.00
4	Monitoreo de señal de desplazamiento axial del horno (medición local vs valores del sistema de control) y calibración según condición.	Preventivo (Medición)	1 día	Personal de Unacem	parte del costo fijo
5	Monitoreo de panel de alarmas del sistema de empuje axial del horno.	Preventivo (Inspección)	1 día	Personal de Unacem	parte del costo fijo
6	Verificación y calibración de	Preventivo	52 sem.	Personal contratista	S/ 1,800.00

	sensores de desplazamiento axial				
7	Monitoreo de variables de alimentación al horno.	preventivo	1 día	Personal de Unacem	parte del costo fijo
8	Monitoreo de presiones hidráulicas en el enfriador.	preventivo	1 día	Personal de Unacem	parte del costo fijo
9	Monitoreo de temperaturas en electrofiltro.	preventivo	1 día	Personal de Unacem	parte del costo fijo
10	Monitoreo de ubicación de rodillo de empuje axial.	preventivo	1 día	Personal de Unacem	parte del costo fijo
11	Realizar respaldo de programa del PLC del sistema del desplazamiento axial.	Preventivo	52 sem.	Personal contratista (especialista)	S/800.00

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

El plan de mantenimiento propuesto para 441HR1RD1 tiene un costo de s/8,200.00 por año y se incluirá en el presupuesto anual. Las actividades de los ítems 2, 3, 4, y 11 no estaban incluidas en el plan original, se estima que el plan original tiene un costo de s/5,000.00 que fue incluido en el presupuesto del 2019 y 2020.

La Tabla 69 incluye las modificaciones, cambios de procedimientos y medidas tendentes a minimizar los efectos del fallo sobre el 441HR1RD1.

**Tabla 69**

*Modificaciones, cambios de procedimientos y medidas tendentes a minimizar efectos del fallo sobre subsistemas 441HR1RD1.*

<b>Modificaciones, cambios de procedimientos y medidas tendentes a minimizar efectos del fallo.</b>			
<b>Equipo: 441HR1RD1</b>			
<b>Ítem</b>	<b>Cambios de procedimientos</b>	<b>Ejecutor</b>	<b>Valor</b>
1	Creación del procedimiento y check list de inspección de bomba, filtros y sensores del desplazamiento axial del horno.	Personal de Unacem	parte del costo fijo
2	Creación del procedimiento de calibración de sensores de desplazamiento axial.	Personal de Unacem	parte del costo fijo

Ítem	Acciones formativas	Ejecutor	Valor
1	Capacitación y difusión del procedimiento y check list de inspección de bomba, filtros y sensores del desplazamiento axial del horno.	Personal de Unacem	parte del costo fijo
2	Capacitación y difusión del procedimiento de calibración de sensores de desplazamiento axial.	Personal de Unacem	parte del costo fijo
3	Capacitación y difusión del procedimiento de cambio de bomba y cambio de válvulas del sistema de desplazamiento axial del horno.	Personal de Unacem	parte del costo fijo
4	Capacitación y difusión del procedimiento para superar atoros en precalentador.	Personal de Unacem	parte del costo fijo
Ítem	Medidas tendentes a minimizar los efectos del fallo	Ejecutor	Valor
1	Definir stock mínimo de bomba hidráulica para desplazamiento axial.	Personal de Unacem	parte del costo fijo
2	Definir stock mínimo de válvulas del sistema de empuje axial	Personal de Unacem	parte del costo fijo
3	Definir stock mínimo de repuesto del acumulador	Personal de Unacem	parte del costo fijo
4	Definir stock mínimo de filtros	Personal de Unacem	parte del costo fijo
5	Definir stock mínimo de sensores de desplazamiento	Personal de Unacem	parte del costo fijo
Ítem	Modificaciones	Ejecutor	Valor
1	Habilitar en programa la lógica de corrección del sistema de medición.	Personal contratista	S/3,200.00

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

### **3.8.2. Plan de implementación de RCM.**

Para el proyecto de aplicación RCM bajo el esquema propuesto en esta tesis se ha considerado trabajar con 3 ingenieros con conocimientos técnicos y de proceso, se recomienda formar un equipo con un representante de mantenimiento mecánico, mantenimiento eléctrico y mantenimiento preventivo, para el año 2 se propone ampliar la capacitación e integrar al equipo a 4 representantes más de las áreas de mantenimiento.

Se propone capacitar a los miembros del equipo en gestión de mantenimiento

y confiabilidad en plantas industriales en un instituto, el curso de especialización dura aprox. 3 meses y tiene un costo de S/4,900 por integrante, en total S/14,70.00 por los 3 integrantes, este monto se cargaría al año 1. Para el año 2 se integrarán al equipo 4 ingenieros más y para ello se invertirá S/19,600 en capacitación.

Finalizada la capacitación del equipo, se propone poner en práctica lo aprendido e iniciar con el estudio y desarrollo de RCM en la planta Atocongo, se plantea como etapa inicial considerar los sistemas críticos y de mayor costo de mantenimiento mencionados en la tesis. Para que el equipo este dedicado al proyecto, se propone contratar 3 ingenieros para que realicen temporalmente las actividades habituales de los integrantes del equipo por un periodo de 3 meses, el sueldo promedio de un Ingeniero de una de las empresas contratistas colaboradoras de Unacem es aproximadamente S/4,000.00, en total S/36,000.00 por 3 ingenieros y 3 meses, estos valores se invertirían en al año 1.

Para la etapa del desarrollo de planes de mantenimiento e ingreso de planes a SAP se estima un tiempo de 2 meses, donde los miembros continuaran abocados al proyecto, se propone contratar a los Ingenieros de las empresas contratistas por 2 meses más, el costo total de esta etapa sería S/24,000.00, estos valores se invertirían en al año 1.

Para la implementación y el seguimiento, se propone 19 reuniones entre los miembros del equipo y representantes de las áreas involucradas en un periodo de 2 años, el gasto logístico por reunión se estima en S/500.00, se estima que en esta etapa se generen 12 horas extras mensuales por cada integrante, el costo de hora extra promedio es aproximadamente S/250.00, se estima invertir S/57,000 en el año 1 y S/102,000.00 en el año 2.

La Tabla 70 muestra el resumen de costos de inversión del proyecto de aplicación de RCM.

**Tabla 70***Inversión del proyecto de aplicación de RCM.*

Descripción	Costo de Inversión
Capacitación del equipo de trabajo (3 personas en el año 1).	S/ 14,700.00
Estudio y desarrollo de RCM, en el año 1.	S/ 36,000.00
Desarrollo de planes de mantenimiento e ingreso de planes a SAP en el año 1.	S/ 24,000.00
Implementación y seguimiento año 1.	S/ 57,000.00
Capacitación del segundo equipo de trabajo (4 personas el año 2, personal de mantenimiento)	S/ 19,600.00
Implementación y seguimiento año 2.	S/ 102,000.00
<b>Total</b>	<b>S/ 253,300.00</b>

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

### **3.9. Fase 9 para la implementación de RCM: Aplicación de medidas preventivas.**

Una vez finalizada la parte teórica del RCM en cada sistema, es necesario llevar a cabo las conclusiones alcanzadas.

Se debe tener en cuenta que la implementación puede llevarse de manera gradual, según se van obteniendo las conclusiones del RCM, debe hacerse un esfuerzo para ir implementando las diferentes conclusiones a medida que se va completando el estudio de cada sistema. Puede resultar beneficioso que el equipo encargado de ejecutar las medidas definidas en el estudio RCM sea diferente del equipo que lo realiza.

Uno de los objetivos del RCM es determinar el plan de mantenimiento óptimo a llevar a cabo en una instalación.

Las tareas propuestas formarán parte del nuevo plan de mantenimiento de mantenimiento, García Garrido recomienda que el plan de mantenimiento producto

del estudio del RCM debe Sustituir y nunca convivir con el plan de mantenimiento anterior. También es imprescindible formar al personal de mantenimiento en el nuevo plan.

Las tablas 62, 64, 66 y 68 muestran los planes de mantenimiento propuestos que reemplazarán a los planes actuales. El análisis basado en RCM también permitió proponer modificaciones, cambios de procedimientos y medidas tendentes a minimizar efectos del fallo, este resultado se muestra en las tablas 63, 65, 67 y 69, el plan de implementación y seguimiento de RCM se muestra en la tabla 70.

La tesis analiza la información del año 2019 y 2020, por tanto, se propone incluir el costo de los planes de mantenimiento propuestos en 2 años, las modificaciones, cambios de procedimientos y medidas tendentes a minimizar efectos del fallo se aplicarán en el año 1. En la Tabla 71 se muestran los costos para el año 1 y en la Tabla 72 los costos para el año 2.

**Tabla 71**

*Costo de mejoras y plan de mantenimiento propuesto para subsistemas del horno1 para el año 1.*

Equipo o subsistema	Costo de plan de mantenimiento propuesto	Costo modificaciones y mejoras	Costo implementación RCM (distribuido)	Costo nuevo plan año 1
441HR1ES1	S/ 164,400.00	S/ 177,100.00	S/ 32,925.00	S/ 374,425.00
441HR1SL1TC1	S/ 25,400.00	- S/ 1800.00	S/ 32,925.00	S/ 56,525.00
441HR1PO1 / 441HR1PO2 / 441HR1PO3	S/ 143,200.00	S/ -	S/ 32,925.00	S/ 176,125.00
441HR1RD1	S/ 8,200.00	S/ 3,200.00	S/ 32,925.00	S/ 44,325.00
<b>Total</b>	S/ 341,200.00	S/ 178,500.00	S/ 131,700.00	S/ 651,400.00

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

**Tabla 72**

*Costo de mejoras y plan de mantenimiento propuesto para subsistemas del horno1 para el año 2.*

Equipo o subsistema	Tareas de mantenimiento adicionales al plan de mantenimiento actual	Costo modificaciones y mejoras	Costo implementación RCM (distribuido)	Costo nuevo plan año 2
441HR1ES1	S/ 164,400.00	S/ -	S/ 30,400.00	S/ 194,800.00
441HR1SL1TC1	S/ 25,400.00	S/ -	S/ 30,400.00	S/ 55,800.00
441HR1PO1 / 441HR1PO2 / 441HR1PO3	S/ 143,200.00	S/ -	S/ 30,400.00	S/ 173,600.00
441HR1RD1	S/ 8,200.00	S/ -	S/ 30,400.00	S/ 38,600.00
<b>Total</b>	S/ 341,200.00	S/ -	S/ 121,600.00	S/ 462,800.00

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

Según la entrevista a los supervisores de mantenimiento preventivo, hay actividades del plan propuesto que son nuevas con respecto al plan original y otras ya existían, se estimó el costo del plan original que fue incluido en el presupuesto de mantenimiento del 2019 y 2020.

Considerando que el plan de mantenimiento y mejoras pudo ser aplicado en el 2019, se puede comparar la variación del costo del plan de mantenimiento y mejoras propuesto para el año 1 y el costo del plan de mantenimiento en 2019. El resultado se presenta en la Tabla 73 y nos muestra que el plan propuesto tiene mayor costo, principalmente porque presentan proyectos de mejoras que serán aplicados solo al primer año y el costo de implementación de RCM del año 1, el objetivo es mitigar o minimizar paros del sistema principal y el número de averías de los subsistemas analizados.

Considerando que para los subsistemas analizados no se aplicarán mejoras en el año 2, se puede comparar la variación del costo del plan de mantenimiento para el año 2 con el costo del plan de mantenimiento en 2020, según se aprecia en la Tabla 74.

**Tabla 73**

Costo del plan de mantenimiento y mejoras del año 1 comparado con costo del plan aplicado el 2019.

Equipo o subsistema	Costo del plan de mantenimiento y mejoras para el Año 1	Costo de plan de mantenimiento original	Variación plan propuesto vs original 2019
441HR1ES1	S/ 374,425.00	S/ 144,000.00	S/ 230,425.00
441HR1SL1TC1	S/ 56,525.00	S/ 23,000.00	S/ 33,525.00
441HR1PO1 / 441HR1PO2 / 441HR1PO3	S/ 176,125.00	S/ 122,400.00	S/ 53,725.00
441HR1RD1	S/ 44,325.00	S/ 5,000.00	S/39,325.00
<b>Total</b>	S/ 651,400.00	S/ 294,400.00	S/ 357,000.00

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

**Tabla 74**

Costo del plan de mantenimiento y mejoras del año 2 comparado con costo del plan aplicado el 2020.

Equipo o subsistema	Costo del plan de mantenimiento y mejoras para el Año 2	Costo de plan de mantenimiento original	Variación plan propuesto vs original 2020
441HR1ES1	S/ 194,800.00	S/ 144,000.00	S/ 50,800.00
441HR1SL1TC1	S/ 55,800.00	S/23,000.00	S/ 32,800.00
441HR1PO1 / 441HR1PO2 / 441HR1PO3	S/ 173,600.00	S/ 122,400.00	S/ 51,200.00
441HR1RD1	S/ 38,600.00	S/ 5,000.00	S/ 33,600.00
<b>Total</b>	S/ 462,800.00	S/ 294,400.00	S/ 168,400.00

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

El costo del nuevo plan es mayor en el año 2 respecto al plan original, debido a costo de tareas que antes no se realizaban, cambios en algunas frecuencias de actividades y actividades de seguimiento de RCM, estos cambios están orientados a mitigar o minimizar los paros del sistema principal y averías de subsistemas

analizados.

### **3.10. Fase 10 para la implementación de RCM: Evaluación de medidas adoptadas.**

Uno de los objetivos fundamentales que promueve el proyecto de implantación de RCM en una instalación industrial debe ser la mejora de resultados, por ello, en la fase 1 se detalla la medición de una serie de indicadores antes de iniciarse la implantación, para poder identificar que se han producido avances significativos que compensen el esfuerzo realizado.

García Garrido, en su libro Ingeniería del Mantenimiento menciona que a partir del sexto mes de implantación de las conclusiones del estudio se comienzan a percibir los resultados. Si se ha implementado correctamente, observaremos una notoria mejoría a partir de que se cumpla un año. La importancia de la mejoría estará en función de una serie de factores:

- El estado de la partida, cuanto peor sea la situación de inicio, mayores y más rápidos serán los resultados obtenidos.
- El rigor con el que se haya realizado el estudio.
- La implicación de la Dirección en el proyecto.
- El conocimiento técnico específico que poseen los integrantes del equipo encargado de realizarlo.
- El rigor con el que se implementen las conclusiones del estudio.

Para estimar los posibles resultados se simularán algunas condiciones y se aplicarán los cambios a los indicadores calculados el 2019 y 2020 y se analizarán los resultados.

Las averías de los subsistemas del Horno 1, 441HR1 (Subsistema 5.4) del 2019 y 2020 están registradas en SAP, sin embargo, no todas generaron paradas de

la Línea de clinkerización 1. Se revisó la descripción de las averías y se construyó la Tabla 75 donde se indica la cantidad de averías que generaron paradas del sistema principal y el periodo de tiempo que tomó recuperar las averías.

**Tabla 75**

*Averías del subsistema Horno 1 que generaron paradas en el sistema principal y el periodo de recuperación, 2019 y 2020.*

Subsistemas Línea 1 de Clinkerización	Mes	Año: 2019		Año: 2020	
		Cantidad de averías que generaron paradas	Tiempo de recuperación (horas)	Cantidad de averías que generaron paradas	Tiempo de recuperación (horas)
5.4 Horno 1: 441HR1ES1 441HR1SL1TC1 441HR1PO1 441HR1PO2 441HR1PO3 441HR1RD1	Enero	0	0	0	0
	Febrero	2	7.75	1	23.26
	Marzo	1	13	1	0.8
	Abril	0	0	0	0
	Mayo	2	18	0	0
	Junio	2	2	0	0
	Julio	0	0	3	16.5
	Agosto	1	0.5	0	0
	Setiembre	0	0	0	0
	Octubre	1	7	0	0
	Noviembre	1	12.28	0	0
	Diciembre	2	48.48	3	3
Total		12	109.01	8	43.56

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

Para la simulación de resultados, consideraremos que el plan de mantenimiento y mejoras se ejecutaron e incluyeron en el presupuesto anual del 2019 y 2020, el tiempo de implementación del plan igual a 5 meses en el año 1 y se considera lo mencionado por García Garrido quien indica que a partir del sexto mes de la implantación se empiezan a ver los resultados, con ello, los resultados se evidenciarán a partir de diciembre del 2019

Para la simulación de los resultados, consideraremos que luego de implementar RCM y el nuevo plan de mantenimiento, tendremos una efectividad de

50%, es decir las averías ocurridas entre diciembre 2019 y diciembre 2020 se reducirán a la mitad, adicional a ello encontraremos particularidades en algunos indicadores.

### 3.10.1. MTBF y MTTR aplicando RCM el 2019 y 2020.

Se reducirán en 50% las averías de subsistemas del Horno 1 que generaron paradas y los tiempos de recuperación desde julio 2019 hasta diciembre 2020 y se correlacionará con las Tabla 13 y Tabla 14 para obtener un nuevo indicador de MTBF, MTTR y disponibilidad, los resultados de presentan en la Tabla 76 para el 2019 y en la Tabla 77 para el 2020.

**Tabla 76**

*Resultados de nuevos indicadores MTBF y MTTR de la línea de clinkerización después de aplicar RCM el 2019.*

Resultados: Indicadores MTBF y MTTR 2019						
Sistemas Productivo Planta Atocongo	Mes	Cantidad de paradas	Tiempo total de funcionamiento (horas)	Tiempo dedicado a reparaciones (horas)	MTBF 2019	MTTR 2019
Línea 1 de clinkerización	Enero	0	744	0	744.00	0.0
	Febrero	5	562.64	109.36	112.53	21.9
	Marzo	3	716.61	27.39	238.87	9.1
	Abril	0	720	0	720.00	0.0
	Mayo	3	506.59	237.41	168.86	79.1
	Junio	2	228.12	491.88	114.06	245.9
	Julio	0	744	0	744.00	0.0
	Agosto	4	727.21	16.79	181.80	4.2
	Setiembre	1	656.08	63.92	656.08	63.9
	Octubre	3	741.75	2.25	247.25	0.8
	Noviembre	1	707.72	12.2800	707.72	12.3
	Diciembre	1	719.76	24.24	719.76	24.24
<b>TOTAL</b>		22	7774.48	985.52		

*Nota:* Basado en información suministrada por la empresa.

Para el 2019 se aprecia el incremento de MTBF en diciembre, para el caso

del MTTR se aprecia un descenso en diciembre. Se puede calcular el tiempo anual de funcionamiento y de reparaciones, antes de la aplicación de RCM el tiempo de funcionamiento fue 7750.24 horas y el tiempo anual de reparaciones fue 1009.76 horas, estos valores mejoraron luego de la aplicación de RCM, el tiempo anual de funcionamiento subió a 7774.48 horas, es decir, el sistema trabajó 24.24 horas más, el tiempo anual de reparaciones bajó a 985.52 horas., es decir, se gastaron 24.24 horas menos en reparación.

**Tabla 77**

*Resultados de nuevos indicadores MTBF y MTTR de la línea de clinkerización después de aplicar RCM el 2020.*

Resultados: Indicadores MTBF y MTTR 2020						
Sistemas Productivo Planta Atocongo	Mes	Cantidad de paradas	Tiempo total de funcionamiento (horas)	Tiempo dedicado a reparaciones (horas)	MTBF 2020	MTTR 2020
Línea 1 de clinkerización	Enero	5	667.5	76.5	133.5	15.3
	Febrero	1	684.37	11.63	684.37	11.63
	Marzo	1	743.6	0.4	746.0	0.4
	Abril	0	720	0	720.0	0.0
	Mayo	0	744	0	744.0	0.0
	Junio	0	343	377	343.0	377.0
	Julio	3	492.3	251.7	492.3	83.9
	Agosto	0	0	744	0.0	744.0
	Setiembre	0	0	720	0.0	720.0
	Octubre	0	0	744	0.0	744.0
	Noviembre	0	0	720	0.0	720.0
	Diciembre	5	657.62	86.38	131.5	17.3
	<b>TOTAL</b>		10	5052.39	3731.61	

*Nota:* Basado en información suministrada por la empresa.

Para el 2020 se aprecia el incremento de MTBF los meses de marzo, julio y diciembre, para el caso del MTTR se aprecia un descenso los meses febrero, marzo y diciembre. Se puede calcular el tiempo anual de funcionamiento y de reparaciones,

antes de la aplicación de RCM el tiempo de funcionamiento fue 5030.61 horas y el tiempo anual de reparaciones fue 3753.39 horas, estos valores mejoraron luego de la aplicación de RCM, el tiempo anual de funcionamiento subió a 5052.39 horas, es decir, el sistema trabajó 21.78 horas más, el tiempo anual de reparaciones bajó a 3731.61, es decir, se gastaron 21.78 horas menos en reparación.

### **3.10.2. Resultados de producción después de aplicar RCM.**

Considerando un régimen nominal de producción de 330 t/h de clinker, costo de tonelada de clinker a \$40.00, tipo de cambio el 2019 S/ 3.338 y S/ 3.497 el 2020, se puede calcular el incremento de producción de clinker y la valorización del clinker producido. Los valores se presentan en la Tabla 78.

**Tabla 78**

*Resultados asociados a producción, luego de aplicar RCM el 2019 y 2020 (simulación).*

<b>Resultados asociados a producción después de aplicar RCM</b>		
Descripción	2019	2020
Resultado: Incremento Tiempo funcionamiento (horas)	24.24	21.78
Resultado: Incremento de producción (t)	7999.2	7187.4
Resultado: Valorización del clinker producido (S/.)	S/ 1,068,053.18	S/ 1,005,373.51

*Nota:* Basado en información suministrada por la empresa.

### **3.10.3. Disponibilidad de la línea 1 de clinkerización aplicando RCM el 2019 y 2020.**

En base a los nuevos indicadores MTBF y MTTR se puede calcular el nuevo valor de la disponibilidad para el 2019 y 2020 y compararlo con los indicadores antes de la aplicación del RCM. La Tabla 79 muestra los resultados de disponibilidad de la línea 1 de clinkerización, se refleja el incremento en el mes de diciembre. La Tabla 80 muestra los resultados de disponibilidad para el 2020, se refleja incremento de la

disponibilidad los meses de febrero, marzo, julio y diciembre.

**Tabla 79**

*Resultado de indicadores de disponibilidad para el 2019 de la línea 1 de clinkerización aplicando RCM.*

<b>Resultados: Indicador Disponibilidad 2019</b>			
Sistemas Productivo Planta Atocongo	Mes	Resultados: Disponibilidad 2019	Antes de RCM: Disponibilidad 2019
Línea 1 de clinkerización	Enero	100.0%	100.0%
	Febrero	83.7%	83.7%
	Marzo	96.3%	96.3%
	Abril	100.0%	100.0%
	Mayo	68.1%	68.1%
	Junio	31.7%	31.7%
	Julio	100.0%	100.0%
	Agosto	97.7%	97.7%
	Setiembre	91.1%	91.1%
	Octubre	99.7%	99.7%
	Noviembre	98.3%	98.3%
	Diciembre	96.7%	93.5%

*Nota:* Basado en información suministrada por la empresa.

**Tabla 80**

*Resultado de indicadores de disponibilidad para el 2020 de la línea 1 de clinkerización aplicando RCM.*

<b>Resultados: Indicador Disponibilidad 2020</b>			
Sistemas Productivo Planta Atocongo	Mes	Resultados: Disponibilidad 2020	Antes de RCM: Disponibilidad 2020
Línea 1 de clinkerización	Enero	89.7%	89.7%
	Febrero	98.30%	96.7%
	Marzo	90.95%	99.90%
	Abril	100.0%	100.0%

Mayo	100.0%	100.0%
Junio	47.6%	47.6%
Julio	66.2%	65.1%
Agosto	0.0%	0.0%
Setiembre	0.0%	0.0%
Octubre	0.0%	0.0%
Noviembre	0.0%	0.0%
Diciembre	88.4%	88.2%

*Nota:* Basado en información suministrada por la empresa.

#### **3.10.4. Resultados asociados al costo de mantenimiento.**

Considerando obtener resultados a partir de diciembre del 2019, se revisó el detalle del costo de mantenimiento del sistema de clinkerización con horno rotativo en dicho periodo, el costo de mantenimiento correctivo en diciembre ascendió a s/ 202,892.02, la correcta y rígida aplicación de RCM permitirá reducir este gasto, en esta etapa de simulación de resultados, se considerará que el gasto se redujo en 50%, es decir el costo por mantenimiento correctivo en diciembre 2019 se reducirá en s/101,446.01.

Para el caso del 2020, el costo de mantenimiento correctivo fue s/ 3,752,329.07, el año 2020 fue un año atípico para la compañía pues la planta dejó de operar los meses de abril y mayo debido a la crisis sanitaria, adicional a ello ocurrió un fallo crítico en la llanta del Horno 1. En entrevista a los supervisores de mantenimiento mecánico indicaron que esta avería fue detectada a inicios del 2020, las estrategias planteadas a inicios del año permitirían realizar la reparación en el OVH del 2021, sin embargo, el equipo falló prematuramente en Julio del 2020, el costo por mantenimiento correctivo por esta avería ascendió a s/2,456,758.74. Para efectos de simulación de resultados este falló no serán incluido en el análisis de los

resultados por presentar condiciones técnicas particulares.

El costo de mantenimiento correctivo del sistema de clinkerización con horno rotativo el 2020, sin considerar la avería en la llanta 2 del horno 1, asciende a s/1,295,570.33, los resultados se presentan en la Tabla 81, para la simulación de resultados, la aplicación correcta de RCM y los nuevos planes de mantenimiento permitirán reducir el costo de mantenimiento correctivo en s/647,785.17.

**Tabla 81**

*Reducción del costo de mantenimiento correctivo generado por averías el 2019 y 2020.*

Reducción de costo de mantenimiento correctivo generado por averías				
Subsistema	Año	Sin RCM	Con RCM	Variación
5. Sistema de clinkerización con horno rotativo.	2019	S/ 1,360,064.94	S/ 1,258,618.93	-S/ 101,446.01
	2020	S/ 3,752,329.07	S/ 3,104,543.91	-S/ 647,785.17

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

En las tablas 71 y 72 se presentaron los costos del plan de mantenimiento y mejoras con RCM para los años 2019 y 2020, el costo del plan de mantenimiento tuvo un incremento debido al aumento de tareas que no fueron consideradas antes de aplicar RCM y a los trabajos de mejora que se ejecutarían el 2019, el incremento de este costo se presenta en la Tabla 82.

**Tabla 82**

*Variación del costo del plan de mantenimiento sin RCM y con RCM el 2019 y 2020.*

Variación del costo del plan de mantenimiento del sistema de clinkerización con horno rotativo sin RCM y con RCM el 2019 y 2020		
Descripción	2019	2020
Costo de plan de mantenimiento sin RCM	S/ 294,400.00	S/ 294,400.00
Costo de plan de mantenimiento con RCM	S/ 651,400.00	S/ 462,800.00
Variación del costo de plan (incremento)	S/ 357,000.00	S/ 168,400.00

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

Considerando la reducción del costo de mantenimiento correctivo por averías y el incremento del costo del plan de mantenimiento del sistema clinkerización con horno rotativo el 2019 y 2020, se puede calcular el aporte en la variación del costo de mantenimiento de la línea 1 de clinkerización, la Tabla 83 registra los resultados.

**Tabla 83**

*Variación del costo de mantenimiento de la línea 1 de clinkerización aplicando RCM, el 2019 y 2020.*

Variación del costo de mantenimiento					
Sistema	Año	Costo	Costo	Variación (S/.)	Variación (%)
		Mantenimiento sin RCM (s/.)	Mantenimiento con RCM (s/.)		
Línea 1 de clinkerización	2019	S/ 21,279,484.24	S/ 21,535,038.23	S/ 255,553.99	1.19%
	2020	S/ 22,593,837.18	S/ 21,114,452.02	-S/ 479,385.16	-2.12%

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

Los resultados mostrados en la Tabla 83 muestran para el 2019 el incremento del costo de mantenimiento de la línea 1 de clinkerización, en 1.19%, es necesario considerar que el 2019 los resultados se evidenciaron en diciembre. Para el caso del 2020 se obtiene una reducción del costo de 2.12%.

**3.10.5. Costo de mantenimiento por producción de clinker aplicando RCM el 2019 y 2020.**

Con los resultados mostrados en las tablas anteriores se puede calcular el índice del costo de mantenimiento por producción de clinker producido en la línea 1 de clinkerización, el resultado se presenta en la Tabla 84.

**Tabla 84**

*Cálculo del índice Costo de Mantenimiento por Producción de Clinker luego de aplicar RCM el 2019 y 2020.*

<b>Resultados: Costo de mantenimiento por producción de clinker</b>				
Subsistema	Año	Producción clinker H1 (t)	Costo Mantenimiento (con RCM)	Índice: Costo de Mantenimiento por producción (S/. /t)
Línea 1 de clinkerización	2019	2,003,626.00	S/ 21,535,038.23	10.74
	2020	776,628.00	S/ 22,114,452.02	28.47

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

Comparando los índices costo de mantenimiento por producción de clinker antes de aplicar RCM mostrado en la Tabla 16 y los resultados luego de aplicar RCM se obtiene un incremento de S/0.085 por tonelada de clinker producido el 2019 y una reducción de S/0.889 por tonelada de clinker producido el 2020. Para el caso del 2019 hubo incremento en el indicador, debido que los beneficios se obtuvieron en un solo mes, para el 2020 si se obtiene un resultado favorable, se obtiene reducción del costo de mantenimiento, reducción de averías, incremento de la disponibilidad del sistema y en consecuencia se logra el incremento de la producción de clinker.

### **3.10.6. Costo de mantenimiento por valor de reposición (activos) de la línea 1 de clinkerización el 2019 y 2020 aplicando RCM**

Conociendo el valor de los activos presentados en la Tabla 3 y el costo de mantenimiento de la línea 1 de clinkerización se puede calcular los índices de costo de mantenimiento por valor de reposición del 2019 y 2020 luego de aplicar RCM. La Tabla 85 muestra los resultados, se obtiene un ligero incremento el 2019, es necesario considerar que los resultados se obtuvieron a partir de diciembre luego de 6 meses de la implementación de RCM. Para el caso del 2020 se aprecia una mayor reducción del índice, es decir, se redujo el gasto de mantener o reponer el activo para que siga operando en las condiciones requeridas.

#### **Tabla 85**

*Costo de mantenimiento por el valor de reposición de la línea 1 de clinkerización luego de aplicar RCM el 2019 y 2020.*

<b>Resultados: Costo de mantenimiento por el valor de reposición (Activos)</b>				
Sistema	Año	Valor de Activos	Costo Mantenimiento (con RCM)	Índice: Costo de Mantenimiento por valor de reposición (Activos)
Línea 1 de clinkerización	2019	S/ 563,007,333.57	S/ 21,535,038.23	3.825%
	2020	S/ 528,137,542.02	S/ 22,114,452.02	4.187%

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

### **3.10.7. Margen de utilidad bruta luego de aplicar RCM en la línea 1 de clinkerización.**

En la Tabla 18 hallamos los resultados de ventas, costo de ventas y ganancia o pérdida bruta publicado en los estados de resultados de Unacem el 2019 y 2020. Para efectos de simulación luego de aplicar RCM, se aplicarán las variaciones del costo de mantenimiento luego de aplicar RCM a los años 2019 y 2020 (Tabla 82). En la Tabla 86 se presenta la estimación del margen de utilidad bruta luego de aplicar RCM, para el caso del 2019 el incremento del costo de mantenimiento en la línea 1 de clinkerización genera una ligera reducción de la utilidad bruta. Para el 2020 la reducción del costo de mantenimiento genera un importante crecimiento de la utilidad bruta.

#### **Tabla 86**

*Margen de utilidad bruta luego de la aplicación de RCM en la línea 1 de clinkerización el 2019 y 2020.*

<b>Resultado: Margen de utilidad bruta luego de aplicación de RCM</b>		
Cuenta	2019	2020
Ingresos de Actividades Ordinarias	S/ 4,099,983,000.00	S/ 3,575,309,000.00
Costo de Ventas	-S/ 2,975,206,553.99	-S/ 2,728,066,614.84
Ganancia (Pérdida) Bruta	S/ 1,124,776,446.01	S/ 847,242,385.17
Margen de Utilidad Bruta	27.434%	23.697%

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

Para el 2019, antes de aplicar RCM la utilidad bruta fue de S/1,125,032,000.00 y el margen de utilidad bruta de 27.440%, luego de aplicar RCM la utilidad bruta se redujo en S/255,553.99, el margen de utilidad bruta se redujo a 27.434.

El 2020, sin aplicar RCM la utilidad bruta fue S/846,763,000.00 y el margen de utilidad bruta de 23.684%, luego de aplicar RCM la ganancia bruta incremento en S/479,385.16 y el margen se elevó a 23.697%, representando un incremento de S/479,385.16, el incremento de la utilidad bruta el 2020 está asociado principalmente al ahorro del gasto por mantenimiento correctivo al reducir la ocurrencia de paradas por fallos o averías en la línea 1 de clinkerización.

### **3.11. Factibilidad económica**

#### **3.11.1. Inversión**

Para el proyecto de aplicación RCM presentada en la tesis, la inversión se enfoca en el incremento del presupuesto para el nuevo plan de mantenimiento que contiene nuevas actividades, proyectos de mejora y tareas para la implementación de RCM en el subsistema Horno 1 del sistema de clinkerización con horno rotativo según se muestra en las Tabla 73 y Tabla 74.

La inversión mayor se da en el año 1, que para esta tesis se asocia al 2019, debido actividades, capacitaciones y proyectos orientados a reducir fallos y paradas no programadas. La Tabla 87 muestra la inversión a realizar el 2019 y 2020.

#### **Tabla 87**

*Inversión 2019 y 2020, incremento de presupuesto en subsistema Horno 1.*

<b>Inversión 2019 y 2020</b>	
	Valor
Incremento presupuesto de plan de mantenimiento en Horno 1	
Incremento presupuesto 2019	S/ 357,000.00

Incremento presupuesto 2020	S/ 168,400.00
-----------------------------	---------------

*Nota:* Elaboración propia.

### **3.11.2. Beneficio**

Para el cálculo del beneficio económico luego de aplicar RCM, en base a la simulación de resultados para el 2019 y 2020, se obtiene una importante reducción del costo de mantenimiento correctivo debido a la reducción de fallos, sin embargo, el nuevo plan de mantenimiento requiere incrementar el presupuesto de mantenimiento programado incluyendo proyectos, mejoras y planes de implementación de RCM.

Para el 2019, se obtuvo una reducción de la utilidad debido al incremento decosto de venta, para el 2020, el beneficio fue mayor debido a la evaluación de resultados desde enero y se obtuvo una importante reducción del costo de venta.

La Tabla 88 muestra la variación de utilidad del 2019 y 2020 con RCM y sin RCM en el subsistema Horno 1 de la Línea 1 de Clinkerización.

**Tabla 88**

*Variación de utilidad bruta sin RCM y con RCM el 2019 y 2020.*

<b>Variación de utilidad bruta sin RCM y con RCM</b>		
<b>Año</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
Sin RCM	S/ 1,125,032,000.00	S/ 846,763,000.00
Con RCM	S/ 1,124,776,446.01	S/ 847,242,385.17
Variación	- S/ 255,553.99	S/ 479,385.16

*Nota:* Información suministrada por la empresa

### **3.11.3. Retorno de inversión**

Con los datos de beneficio e inversión mostrados en la Tabla 87 y Tabla 88, se puede calcular el retorno de inversión para el 2019 y 2020, mostrado en la Tabla 89.

Según los resultados, el 2019 no se recuperó la inversión, principalmente porque los resultados se evaluaron en un solo mes, sin embargo, para el 2020 los nuevos planes de mantenimiento que se elaboraron a partir de RCM estaban en etapa de ejecución y se logró un importante retorno de la inversión.

**Tabla 89**  
*Retorno de Inversión para 2019 y 2020.*

ROI: Retorno de Inversión 2019 y 2020		
	2019	2020
Beneficio	-S/ 255,553.99	S/ 479,385.16
Inversión	S/ 357,000.00	S/ 168,400.00
ROI	-72%	285%

*Nota:* Elaboración propia.

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **CONCLUSIONES**

1. El desarrollo y los resultados de la investigación demuestran la influencia positiva de RCM en el incremento de la rentabilidad de la compañía Unacem principalmente en el año de la aplicación de RCM.

2. La fase 1 de la metodología RCM se orienta hacia la determinación de indicadores y su valoración antes de iniciar el proceso. Los resultados de esta etapa permiten conocer el estado actual de los sistemas productivos, evaluar la gestión de mantenimiento y obtener hallazgos que nos orienten a proponer mejoras para obtener un incremento de la producción y rentabilidad. La planta Atocongo de Unacem, el 2020 experimentó el 47% de reducción de la producción de clinker y el 15% de la reducción de la producción de cemento comparado con el 2019. La variación de la producción fue a causa de fallos en sistemas productivos críticos y la paralización de los sistemas productivos por un periodo de 2 meses aproximados debido a la emergencia sanitaria. El costo de mantenimiento de los sistemas de la planta superó los S/ 100,000,000.00 el 2019 y los S/ 70,000,000.00 el 2020. El costo de mantenimiento es parte del costo de venta del clinker y cemento, por lo tanto, la reducción de los costos de mantenimiento permitirá reducir el costo de venta y lograr incrementar la rentabilidad.

3. La metodología RCM en sus fases 2 y 3 resalta la importancia de la codificación de los equipos y sistemas que componen la planta y sus funciones primarias y secundarias, ello permite realizar un análisis exhaustivo y completo de la instalación. La planta Atocongo posee 24 sistemas productivos relacionados entre sí, desde la extracción de la piedra caliza hasta la producción y despacho de cemento. Los activos de la planta Atocongo de la planta Unacem el 2019 y 2020 bordean S/ 1,200,000,000.00, el alto costo de los activos impulsa la necesidad de mantenerlos, elevar su confiabilidad y obtener su máximo rendimiento. La elaboración de la lista de sistemas y funciones asociando la capacidad de producción de cada sistema, costos de mantenimiento y ocurrencia de avería permite ubicar sistemas críticos que requieran pronta intervención para que no limiten la producción de clinker o cemento y no generen costos adicionales de mantenimiento que puedan reducir la rentabilidad de la compañía, como se evidenció en la línea 1 de clinkerización cuya paralización reduce a 50% la capacidad de producción de clinker y generó costos de mantenimiento correctivo mayores a S/ 4,500,000.00 el 2019 y mayores a S/ 7,700,000.00 el 2020, siendo el subsistema de clinkerización con horno rotativo el que tuvo más del 40% de averías del sistema principal y su gasto de mantenimiento correctivo representó más del 30% del gasto correctivo del sistema principal.

4. En la tesis se aplicó el análisis del modo de fallos y sus efectos como parte de la metodología de RCM presentadas en sus fases 4, 5 y 6, esta técnica permite identificar los fallos principales y sus causas o modos de fallo. Se puede profundizar los modos de fallos en varios niveles, sin embargo, a partir del nivel 2 se obtienen hallazgos importantes que pueden ir corrigiéndose inclusive sin llegar a completar el plan de mantenimiento. La evaluación de las consecuencias de los modos de fallo teniendo como criterio la evaluación de la seguridad de la persona, el impacto en el medio ambiente, el impacto en la producción, el impacto en los activos,

la gravedad del modo de fallo, la probabilidad de ocurrencia y su evidencia permiten calificar de manera acertada el modo de fallo como insignificante, tolerable, significativo y crítico, orientando la atención de la compañía principalmente a mitigar o disminuir el impacto de los fallos críticos y poder alcanzar sus objetivos de seguridad, ambientales, operativos y financieros.

5. Determinar el plan de mantenimiento óptimo es el objetivo más importante de RCM, su metodología permite desarrollar un plan de mantenimiento que no esté basado solo en protocolos de mantenimiento o indicaciones de fabricantes. En la fase 6 de la metodología se realiza el listado de medidas preventivas asociadas mitigar o reducir el impacto de un modo de fallo, posteriormente en la fase 7 valiéndonos del listado de medidas preventivas se prepara en plan de mantenimiento y el plan de mejoras. El plan de mantenimiento programado asciende a S/341,200.00, siendo S/46,800.00 más que el plan original, el plan de mejoras asciende a S/ 178,500.00 y se propone su ejecución en el año 1 (2019 en la simulación de resultados), el plan de implementación de RCM asciende a S/131,700.00 para el año 1 y S/121,600.00 para el año 2. A pesar del incremento de costo del plan de mantenimiento se proyecta el incremento de la producción y la rentabilidad al aumentar la disponibilidad de los equipos, la reducción de fallos y la reducción del costo de mantenimiento correctivo.

6. La Simulación de resultados luego de aplicar RCM usando los indicadores revisados en la fase 1 permite evaluar de forma anticipada el impacto de la aplicación sobre los resultados operativos y financieros de la compañía, sin embargo, el seguimiento de los indicadores debe ser continuo, los planes deben ser revisados y mejorados de manera continua.

7. En la etapa de simulación se obtuvo el incremento de la disponibilidad y MTBF, también se redujo el MTTR de la línea 1 de clinkerización en los meses donde se redujeron las averías, en la etapa de simulación se proyectó el incremento de la

producción de clinker en 7999.2 toneladas el 2019 y 7187.4 toneladas el 2020. Se proyectó reducir el costo de mantenimiento correctivo en S/ 101,446.01 para el 2019 y S/647,785.17 el 2020.

8. Se aplicó la metodología al sistema horno 1 de la línea 1 de clinkerización y valiéndonos de la simulación de resultados se obtuvo una reducción de la utilidad bruta en S/ 255,553.99 para el año 1 aplicado al 2019, debido que se realizó la etapa de capacitación, análisis y propuesta de plan de mantenimiento como resultado de RCM, se ejecutaron los proyectos de mejora y se evaluaron los resultados 6 meses después de la implementación, logrando resultados recién en diciembre del 2019.

9. El año 2, aplicado al 2020, con la proyección de contar con los planes de mejora ejecutados, el nuevo plan de mantenimiento en etapa de aplicación, planes de capacitación del personal y se realiza el seguimiento de las tareas y resultados, se logra un crecimiento importante de la utilidad bruta de S/479,385.16, a pesar de tener 2 meses inoperativa la planta debido a la emergencia sanitaria y por la reparación prolongada del horno 1.

## **RECOMENDACIONES**

1. Aplicar la metodología a todos los sistemas productivos de manera progresiva e instalarla dentro de las políticas de mantenimiento de la compañía.

2. Contar con la lista completa de todos los equipos y registro de eventos en SAP permitirá un mejor seguimiento de indicadores, identificación acertada de averías y elaboración de planes específicos que logren mitigar el impacto de los modos de fallos.

3. Capacitar a los operadores en técnicas de análisis de causa raíz de averías de los equipos y puedan realizar el registro acertado de los eventos, con dicha información se podrá elaborar planes de mantenimiento y mejoras que reducirán la probabilidad de ocurrencia de los fallos.

4. Mantener el acceso de indicadores de confiabilidad, costo de producción, costo de mantenimiento y valor de activos a los miembros del equipo encargado de la implementación de RCM en la compañía.

5. Revisar los indicadores de manera mensual y proponer mejoras que permitan lograr los objetivos de seguridad, ambientales, operativos y financieros.

6. Elaborar un plan de capacitación sobre la metodología RCM para el personal de mantenimiento y de operaciones.

7. Contar con el compromiso de la dirección de la compañía y de los líderes de cada área para lograr el impacto esperado y el logro de objetivos planteados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albarkoly , K., & Park, K. (2015). Implementing a Strategy of Reliability Centered Maintenance (RCM) in the Lybian Cement Industry. *World Academy of Science, Engineering and Technology - International Journal of Economics and Management Engineering*, 1903-1912.
- Amendola, L. (2016). *Modelos Mixtos de Confiabilidad*. Editorial PMM Institute for Learning. Obtenido de <http://www.mantenimientomundial.com/amendola/>
- Asocem. (2020). *Reporte Anual estadístico 2019*. Asociación de productores de cemento.
- Chang, C. (2020). *Fundamento de clasificación de riesgo, Cementos Pacasmayo S.A.A. y Subsidiarias*. Class & Asociados S.A. Calificadora de Riesgo, Lima.
- Cuervo Tafur, J., & Osorio Agudelo, J. (2006). *Costeo basado en actividades - ABC -* (1 ed.). Bogota, Colombia: Ecoe Ediciones.
- Daniel Torres, L. (s/f). *Mantenimiento - Su implementación y gestión* (Vol. 2). Cordova, Argentina: Universitas.
- De la Garza Garza, O. J., & Arteaga Garcia, J. C. (2011). Análisis de la competencia en la industria cementera en México. *EconoQuantum*, 74-89.

- Er Ratby, M., & Mabrouki, M. (2018). Optimization of the Maintenances and Productivity of industrial Organization. *International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562*, 6315-6324.
- García Garrido, S. (2009). *Ingeniería del Mantenimiento - Manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento industrial*. Renovetec.
- Huntzinger, D., & Eatmon, T. (2009). A life-cycle assesment of portland cement manufacturing: comparing the traditional process with alternative technologies. *Journal of Cleaner Production*, 668-675.
- Hupjé, E. (23 de Diciembre de 2017). *Reliability Academy*. Recuperado el 18 de Noviembre de 2020, de <https://www.roadtoreliability.com/why-bad-maintenance-management/>
- Marchena Medina, J., Martinez Puccinelli, P., Paredes Libio, J., & Roldan Rojas, C. (2019). *Diagnóstico Operativo Empresarial de la Empresa Unión Andina de Cementos S.A.A. - Unacem*. Tesis para obtener el grado de magíster en dirección de operaciones productivas , Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Morillo, M. (2001). Rentabilidad Financiera y Reducción de Costos. *Actualidad Contable FACES*, 35-48.
- Pascual J., R. (2002). *Gestión Moderna del Mantenimiento* (Vol. 2). Santiago, Chile: Depto. Ing. Mecánica, U. de Chile.
- Pizarro Mariena. (2021). *Fundamentos de Clasificación de Riesgo Unión Andina de Cementos S.A.A. Class & Asociados S.A. Clasificadora de Riesgo*, Lima.
- Pizarro, Mariena. (2020). *Fundamento de la clasificación de riesgo - Union Andina de Cementos SAA*. Clasificación de Riesgo, Class & Asociados S.A. Calificador de Riesgo.

- Prince Kelvin, O., & Ebenezer Esiful, A. (Junio de 2020). Assessment of the Reliability Program (RCM) for Maintenance & Operation in the Cement Manufacturing Industry: A case study at Ghacem-Tema. *International Journal of Recent Engineering Research and Development (IJRERD)*, 05, 35-48.
- Ramón Martínez, A. (2014). *Estudio del sector cementero a nivel mundial y nacional, con particularización de una empresa cementera situada en la comunidad Valenciana*. Valencia, España: Facultad de Administración y Dirección de empresas. Universidad Politécnica de Valencia.
- rcm3.org*. (s/f). Recuperado el 27 de Noviembre de 2020, de <http://rcm3.org/la-norma-sae-ja-1011>
- Saavedra, A. (11 de Noviembre de 2020). La autoconstrucción y la reconstrucción impulsan los resultados de las cementeras. *Semana Económica*.
- Suazo, L. (s.f.). *Tractian.com*. Recuperado el 18 de 03 de 2024, de <https://tractian.com/es/blog/8-indicadores-indispensables-para-la-gestion-del-mantenimiento>
- Tabares, L. A. (s/f). *Administración Moderna de Mantenimiento*. Brasil: Publicaciones Novo Polo.
- The Cement Institute - TCI. (2020). *Reliability Centered Maintenance (RCM) for the cement industry*. The Cement Institute - TCI, Maintenance. Obtenido de <https://thecementinstitute.com/reliability-centered-maintenance-rcm-for-the-cement-industry/>
- Uzcategui Gutierrez, J., Varela Cardenas, A., & Diaz Garcia, J. (Junio de 2016). Aplicación de herramientas de clase mundial para la gestión de mantenimiento en empresas cementeras basado en la metodología MCC". *Respuestas*, 21, 77-78.

- Vischnu, C., & Regikumar, V. (2016). Reliability Based Maintenance Strategy Selection in Process Plants: A case Study. *Procedia Technology*, 1080-1087.
- Walther, T. (2020). Digital Transformation of the Global Cement Industry. (S. AG, Ed.)

## ANEXOS

### ANEXO 1: Matriz de consistencia

**Tabla 90**

*Matriz de consistencia.*

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES			DISEÑO METODOLÓGICO
			VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	
<u>PROBLEMA PRINCIPAL</u>	<u>OBJETIVO GENERAL</u>	<u>HIPOTESIS PRINCIPAL</u>				
¿Cómo aplicar mantenimiento centrado en la confiabilidad en la industria cementera peruana para incrementar la rentabilidad?	Integrar el mantenimiento centrado en la confiabilidad en la industria cementera peruana para generar un impacto favorable en la rentabilidad.	La aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad en la industria cementera peruana permitirá incrementar la rentabilidad.	<u>VI: Variable independiente</u>	Gestión de equipos	MTTR MTBF Disponibilidad Costo de mant. por producción.	<u>Enfoque:</u> Cuantitativo.
			Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)	Gestión de costos	Costo de mant. por valor de reposición.	<u>Tipo de investigación:</u> Aplicada.
			<u>VD: Variable dependiente</u>	Utilidad	Costo de mant. por valor de reposición.	<u>Nivel de investigación:</u> Descriptiva y explicativa.
			Rentabilidad		Margen de Utilidad Bruta	<u>Diseño:</u> Experimental.
						<u>Población:</u>

<u>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</u>	<u>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</u>	<u>HIPOTESIS ESPECÍFICA</u>	
¿Cómo evaluar la gestión de mantenimiento de las empresas cementeras peruanas, desde la perspectiva del mantenimiento centrado en confiabilidad, para incrementar la rentabilidad?	Elaborar un esquema de evaluación de la gestión de mantenimiento basado en normas orientadas a RCM, que ayude a mejorar la rentabilidad.	La evaluación de gestión de mantenimiento de las empresas cementeras peruanas, desde la perspectiva del mantenimiento centrado en confiabilidad, basado en indicadores favorece el incremento de la rentabilidad.	Empresas productoras de cemento pertenecientes a ASOCEM.  <u>Muestra:</u> Empresa del sector con mayor capacidad de producción y mayor participación en el mercado.  <u>Técnicas:</u> Encuestas y entrevistas Observación y análisis.
¿Cómo definir los sistemas críticos de una empresa del sector cementero que favorezcan el incremento de la rentabilidad?	Desarrollar un procedimiento para determinar los sistemas críticos de una empresa del sector cementero que favorezcan el incremento de la rentabilidad.	La identificación de sistemas críticos de una empresa del sector cementero evaluando indicadores de producción, costo de mantenimiento y ocurrencia de fallos permiten establecer estrategias para incrementar la rentabilidad.	<u>Instrumentos:</u> Cuestionarios Lista de preguntas Registros.

¿Cómo realizar el análisis de modos de fallas y sus efectos de modo que favorezca el incremento de la rentabilidad?	Elaborar un procedimiento para realizar el análisis de modos de fallas y sus efectos que favorezca el incremento de la rentabilidad.	Realizar el análisis de modos de fallas y sus efectos usando la metodología RCM favorece el incremento de la rentabilidad.
¿Cómo preparar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad que mejore la rentabilidad?	Desarrollar un procedimiento para preparar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad orientado a mejorar la rentabilidad.	Preparar un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM mejora la rentabilidad.
¿Cómo validar la propuesta de integración de mantenimiento centrado en la confiabilidad en la industria cementera para favorecer la rentabilidad?	Validar la propuesta de integración del mantenimiento centrado en la confiabilidad en una empresa de la industria cementera peruana para favorecer la rentabilidad.	Validar la aplicación e integración de RCM en la industria cementera mediante la simulación de resultados proyecta el impacto y mejora de la rentabilidad.

*Nota:* Elaboración propia.

## ANEXO 2: Funciones de subsistemas.

**Tabla 91**

*Funciones de subsistemas del sistema de descarga de silos de mezcla de la línea 1 de clinkerización de la planta Atocongo de Unacem.*

Funciones de subsistemas del sistema de descarga de silos de mezcla		
Subsistemas Línea 1 de Clinkerización (Nivel 2)		Funciones
Codificación	Descripción	
432VD1	Compuerta eléctrica para transporte de polvo recuperado desde filtro 1 de mangas hacia el silo 3, 7 o 5 o Molino Swing o Molino Cemento	1. Desviar el material hacia a una de sus dos vías seleccionadas, con consumo máximo de corriente de 1.7A
432VD2	Compuerta eléctrica para transporte de polvo recuperado desde filtro 1 de mangas hacia el silo 3, 7 o 5	1. Desviar el material hacia a una de sus dos vías seleccionadas, con consumo máximo de corriente de 1.7A
432VD3	Compuerta eléctrica para transporte de polvo recuperado desde filtro 1 de mangas hacia el silo 7 o 5	1.Desviar el material hacia a una de sus dos vías seleccionadas, con consumo máximo de corriente de 0.42A
432VD4	Compuerta eléctrica para transporte de polvo recuperado desde filtro 1 de mangas hacia el Molino Swing o Molino Cemento	1. Desviar el material hacia a una de sus dos vías seleccionadas, con consumo máximo de corriente de 1.7A
433VD1	Compuerta eléctrica para transporte de polvo recuperado desde filtro 1 de mangas hacia el silo 3, 7, 4, Molino Swing, Molino Cemento o Molino Crudo	1. Desviar el material hacia a una de sus dos vías seleccionadas, con consumo máximo de corriente de 1.7A
433VD2	Compuerta eléctrica para transporte de polvo recuperado desde filtro 1 de mangas hacia el silo 3, 7, 4	1. Desviar el material hacia a una de sus dos vías seleccionadas, con consumo máximo de corriente de 0.42A
433VD3	Compuerta eléctrica para transporte de polvo recuperado desde filtro 1 de mangas hacia el silo 7, 4	1. Desviar el material hacia a una de sus dos vías seleccionadas, con consumo máximo de corriente de 0.42A
433VD4	Compuerta eléctrica para transporte de polvo recuperado desde filtro 1 de mangas hacia el Molino Swing, Molino Cemento o Molino Crudo	1. Desviar el material hacia a una de sus dos vías seleccionadas, con consumo máximo de corriente de 1.7A
433VD5	Compuerta eléctrica para transporte de polvo recuperado desde filtro 1 de mangas hacia el Molino Swing o Molino Cemento	1. Desviar el material hacia a una de sus dos vías seleccionadas, con consumo máximo de corriente de 1.7A A
411CE2	Compuerta desviadora de material recirculado al silo 5 o silo 6 de mezcla	1. Desviar el material hacia a una de sus dos vías seleccionadas, con consumo máximo de corriente de 0.12A

411SA12	Soplador de canaleta para recircular material al silo 5	1. Inyectar aire para deslizamiento del material hacia el silo 5, con consumo máximo de corriente de 6.5A
411SA13	Soplador de canaleta para recircular material al silo 6	1. Inyectar aire para deslizamiento del material hacia el silo 5, con consumo máximo de corriente de 8.7 A
361SI1TC1	Tablero de control del sistema de aireación a la descarga del silo 3	Controlar la apertura y cierre de las válvulas de aireación de aerodeslizadores para mantener una descarga del silo hasta 500 t/h. Controlar las válvulas reguladoras para alcanzar el setpoint de presión deseado en los anillos y cámaras.
361SI2TC1	Tablero de control del sistema de aireación a la descarga del silo 4	Controlar la apertura y cierre de las válvulas de aireación de aerodeslizadores para mantener una descarga del silo hasta 500 t/h. Controlar las válvulas reguladoras para alcanzar el setpoint de presión deseado en los anillos y cámaras.
361SI3TC1	Tablero de control del sistema de aireación a la descarga del silo 5	Controlar la apertura y cierre de las válvulas de aireación de aerodeslizadores para mantener una descarga del silo hasta 500 t/h. Controlar las válvulas reguladoras para alcanzar el setpoint de presión deseado en los anillos y cámaras.
361SI4TC1	Tablero de control del sistema de aireación a la descarga del silo 6	Controlar la apertura y cierre de las válvulas de aireación de aerodeslizadores para mantener una descarga del silo hasta 500 t/h. Controlar las válvulas reguladoras para alcanzar el setpoint de presión deseado en los anillos y cámaras.
361CA1	Compresora de aireación para cámara de descarga del silo 3	Inyectar aire al circuito de aireación, con un nivel de presión mayor a 9 psi y menor a 14 psi, con consumo de corriente máximo de 55 A.
361CA2	Compresora de aireación para cámara de descarga del silo 4	Inyectar aire al circuito de aireación, con un nivel de presión mayor a 9 psi y menor a 14 psi, con consumo de corriente máximo de 55 A.
361CA3	Compresora de aireación para cámara de descarga del silo 5	Inyectar aire al circuito de aireación, con un nivel de presión mayor a 9 psi y menor a 14 psi, con consumo de corriente máximo de 55 A.
361CA4	Compresora de aireación para cámara de descarga del silo 6	Inyectar aire al circuito de aireación, con un nivel de presión mayor a 9 psi y menor a 14

		psi, con consumo de corriente máximo de 55 A.
361CA5	Compresora de aireación para anillos descarga de silos de mezcla	Inyectar aire al circuito de aireación, con un nivel de presión mayor a 10 psi y menor a 15 psi, con consumo de corriente máximo de 57 A.
361CA6	Compresora de aireación para anillos descarga de silos de mezcla	Inyectar aire al circuito de aireación, con un nivel de presión mayor a 10 psi y menor a 15 psi, con consumo de corriente máximo de 57 A.
411VL1	Válvula de descarga central del silo 3	Regular la apertura del ducto de descarga de 0 a 100% con un margen de error no mayor al 2%
411VL2	Válvula de descarga central del silo 4	Regular la apertura del ducto de descarga de 0 a 100% con un margen de error no mayor al 2%
411VL3	Válvula de descarga central del silo 5	Regular la apertura del ducto de descarga de 0 a 100% con un margen de error no mayor al 2%
411VL4	Válvula de descarga central del silo 6	Regular la apertura del ducto de descarga de 0 a 100% con un margen de error no mayor al 2%
411VL6	Válvula excéntrica para descarga del silo 3	Regular la apertura del ducto de descarga de 0 a 100% con un margen de error no mayor al 2%
411VL7	Válvula excéntrica para descarga del silo 4	Regular la apertura del ducto de descarga de 0 a 100% con un margen de error no mayor al 2%
411VL8	Válvula excéntrica para descarga del silo 5	Regular la apertura del ducto de descarga de 0 a 100% con un margen de error no mayor al 2%
411VL9	Válvula excéntrica para descarga del silo 6	Regular la apertura del ducto de descarga de 0 a 100% con un margen de error no mayor al 2%
411VN106	Válvula para aireación de cono de descarga del silo 3	Permitir el ingreso o anulación de aire al cono de descarga
411VN107	Válvula para aireación de cono de descarga del silo 4	Permitir el ingreso o anulación de aire al cono de descarga
411VN108	Válvula para aireación de cono de descarga del silo 5	Permitir el ingreso o anulación de aire al cono de descarga
411VN109	Válvula para aireación de cono de descarga del silo 6	Permitir el ingreso o anulación de aire al cono de descarga

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

**Tabla 92**

*Funciones de subsistemas del sistema de alimentación a intercambiador de calor de la línea 1 de clinkerización de la planta Atocongo de Unacem.*

Funciones de subsistemas del sistema de alimentación a intercambiador de calor		
Subsistemas Línea 1 de Clinkerización (Nivel 2)		
Codificación	Descripción	Funciones
411SA21	Soplador de canaleta 441CT21 debajo de silo 3	Desplazar el aire del exterior hacia la canaleta con un caudal mayor a 13.59 m <sup>3</sup> /min y consumo de corriente menor a 5.6 A.
411CE11	Compuerta eléctrica desviadora de material del silo 3 y 4 hacia elevadores 411EB1 o 411EB2.	Desviar el material hacia a una de sus dos vías seleccionadas, con consumo máximo de corriente de 0.13 A.
411VN110	Válvula neumática que habilita aireación a tramo 2 de canaleta 411CT21 (Recibe material del silo 3 y 4).	Permitir el ingreso o anulación de aire a la canaleta.
411SA23	Soplador de canaleta 441CT23, debajo del silo 4.	Desplazar el aire del exterior hacia la canaleta con un caudal mayor a 26.59 m <sup>3</sup> /min y consumo de corriente menor a 9.15 A.
411SA22	Soplador de canaleta 441CT22, debajo del silo 5.	Desplazar el aire del exterior hacia la canaleta con un caudal mayor a 13.59 m <sup>3</sup> /min y consumo de corriente menor a 5.6 A.
411SA24	Soplador de canaleta 441CT24, debajo del silo 6.	Desplazar el aire del exterior hacia la canaleta con un caudal mayor a 26.59 m <sup>3</sup> /min y consumo de corriente menor a 9.15 A.
411VN113	Válvula neumática que habilita aireación a tramo 2 de canaleta 411CT22 (Recibe material del silo 5 y 6).	Permitir el ingreso o anulación de aire a la canaleta.
411CE12	Compuerta eléctrica desviadora de material del silo 5 y 6 hacia elevadores 411EB1 o 411EB2	Desviar el material hacia a una de sus dos vías seleccionadas, con consumo máximo de corriente de 0.13 A.
411SA25	Soplador de canaletas a elevador 411EB1 y 411EB2.	Desplazar el aire del exterior hacia la canaleta con un caudal mayor a 10.70 m <sup>3</sup> /min y consumo de corriente menor a 4.4 A.
411EB1	Elevador 1 para llenar la tolva que alimenta la tolva de dosificación de crudo.	Transportar material a un nivel superior a una velocidad mayor a 1.8 m/s, con consumo de corriente menor a 290A, densidad promedio de material transportado de 800 Kg/m <sup>3</sup> .

411EB2	Elevador 2 para llenar la tolva que alimenta la tolva de dosificación de crudo.	Transportar material a un nivel superior a una velocidad mayor a 1.8 m/s, con consumo de corriente menor a 290A, densidad promedio de material transportado de 800 Kg/m3.
411SA5	Soplador de canaleta 411CT5.	Desplazar el aire del exterior hacia la canaleta con un caudal mayor a 22.73 m3/min y consumo de corriente menor a 6.2 A.
411SA6	Soplador de canaleta 411CT6 y 411CT7.	Desplazar el aire del exterior hacia la canaleta con un caudal mayor a 56.18 m3/min y consumo de corriente menor a 14.8 A
411SA7	Soplador de canaleta 411CT7.	Desplazar el aire del exterior hacia la canaleta con un caudal mayor a 29.98 m3/min y consumo de corriente menor a 8.4 A.
411BL1	Sistema de dosificación de harina cruda para el horno 1.	Regular la dosificación de harina cruda desde 118 t/h hasta 590 t/h.
411CA6	Compresora para aireación de tolva del sistema de dosificación y para aireación de la primera canaleta de descarga del sistema de dosificación.	Inyectar aire al circuito de aireación de la tolva, con un nivel de presión mayor a 14 psi y menor a 26 psi, con consumo de corriente máximo de 57 A.
411SA8	Soplador de canaleta 411CT8, 3er piso.	Desplazar el aire del exterior hacia la canaleta con un caudal mayor a 14.01 m3/min y consumo de corriente menor a 6.72 A.
411SA9	Soplador de canaleta 411CT9 y 411CT10.	Desplazar el aire del exterior hacia la canaleta con un caudal mayor a 4.73 m3/min y consumo de corriente menor a 2.2 A.
411CL3	Colector de recuperación de polvo del sistema de dosificación de harina cruda.	Reducir las emisiones de material particulado, mantener caudal de aire reverso mayor a 9500 m3/h, mantener la presión diferencial entre ingreso y salida dentro de 30 mbar y 100 mbar.
411VN8	Compuerta electroneumática para derivar la harina cruda hacia el elevador 411EB4.	Aperturar la descarga hacia ruta seleccionada.
411VN7	Compuerta electroneumática para derivar la harina cruda hacia el elevador 411EB3.	Aperturar descarga hacia ruta seleccionada.
411EB3	Elevador de harina cruda para alimentar el precalentador del Horno 1.	Transportar material a un nivel superior a una velocidad mayor a 1.8 m/s, con consumo de corriente menor a 290A, densidad promedio de material transportado de 800 Kg/m3.

411EB4	Elevador de harina cruda para alimentar el precalentador del Horno 1.	Transportar material a un nivel superior a una velocidad mayor a 1.8 m/s, con consumo de corriente menor a 290A, densidad promedio de material transportado de 800 Kg/m3
411CL4	Colector de recuperación de polvo del circuito de alimentación de harina cruda al Horno 1.	Reducir las emisiones de material particulado, mantener caudal de aire reverso mayor a 9500 m3/h, mantener la presión diferencial entre ingreso y salida dentro de 30 mbar y 100 mbar.
411VL13	Compuerta de alimentación al precalentador del H1.	Habilitar o bloquear la descarga total de material hacia las torres del precalentador según se requiera.
411VL14	Compuerta para recircular el material de alimentación hacia los silos de mezcla.	Habilitar o bloquear la descarga total de material hacia el circuito de recirculación.
411CE1	Compuerta reguladora de alimentación a la torre 1 y torre 2 del precalentador.	Distribuir el material a las torres del intercambiador regulando la apertura de la compuerta de 0 a 100%.
411VR1	Válvula rotativa de alimentación a la torre 1 del precalentador.	Dosificar material con velocidad mayor a 41 RPM con consumo de corriente menor a 8.7 A.
411VR2	Válvula rotativa de alimentación a la torre 2 del precalentador.	Dosificar material con velocidad mayor a 41 RPM con consumo de corriente menor a 8.7 A
362CL1VL1	Compuerta desviadora de polvo desde el colector 362CL1 al silo 5 o silo 6 de mezcla.	Derivar el material recuperado hacia la ruta seleccionada (silo 5 o silo 6).
431EP23	Espiral de descarga de tolva 1 de almacenamiento de polvo recuperado del 431CL3.	Transportar material a una velocidad mayor a 24 RPM y consumo de corriente menor a 8.7.
411CE3	Compuerta desviadora de polvo recuperado al sistema de despacho de filler.	Desviar el material hacia a una de sus dos vías seleccionadas, con consumo máximo de corriente de 0.87 A.
431VL1	Compuerta desviadora del polvo recuperado y almacenado en las tolvas 1 y 2 hacia los elevadores 411EB1 o 411EB2.	Desviar el material hacia a una de sus dos vías seleccionadas e indicar posición real de la compuerta.
362SA16	Soplador de canaleta de transporte de polvo del colector 411CL2 hacia tolva 431TO1.	Desplazar el aire del exterior hacia la canaleta con un caudal mayor a 18.41 m3/min y consumo de corriente menor a 8.7 A.
411EP2	Espiral de descarga del colector 411CL2.	Transportar material a una velocidad mayor a 53 RPM y consumo de corriente menor a 8.7 A.
411CL2	Colector de polvo del sistema de transporte	Reducir las emisiones de material

de polvo.	particulado, mantener caudal de aire reverso mayor a 38000 m3/h, mantener la presión diferencial entre ingreso y salida dentro de 30 mbar y 100 mbar.
-----------	---

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

**Tabla 93**

*Funciones de subsistemas del sistema intercambiador de calor de la línea 1 de clinkerización de la planta Atocongo de Unacem.*

Funciones de subsistemas del sistema intercambiador de calor		
Subsistemas Línea 1 de Clinkerización (Nivel 2)		
Codificación	Descripción	Funciones
421CC1	Ciclón 1 de la torre lado cerro del Intercambiador del Horno 1 (Precalentador).	Permitir el intercambio de calor entre harina cruda y gases calientes. Separar partículas gruesas y transportar el material al ciclón posterior, mantener un perfil de temperatura en la entrada y salida del ciclón entre 260°C y 275°C.
421CC2	Ciclón 2 de la torre lado cerro del Intercambiador del Horno 1 (Precalentador).	Permitir el intercambio de calor entre harina cruda y gases calientes. Separar partículas gruesas y transportar el material al ciclón posterior, mantener un perfil de temperatura en la entrada y salida del ciclón entre 460°C y 475°C.
421CC3	Ciclón 3 de la torre lado cerro del Intercambiador del Horno 1 (Precalentador).	Permitir el intercambio de calor entre harina cruda y gases calientes. Separar partículas gruesas y transportar el material al ciclón posterior, mantener un perfil de temperatura en la entrada y salida del ciclón entre 585°C y 605°C.
421CC4	Ciclón 4 de la torre lado cerro del Intercambiador del Horno 1 (Precalentador).	Permitir el intercambio de calor entre harina cruda y gases calientes. Separar partículas gruesas y transportar el material al ciclón posterior, mantener un perfil de temperatura en la entrada y salida del ciclón entre 690°C y 715°C.
421CC5	Ciclón 5 de la torre lado cerro del Intercambiador del Horno 1 (Precalentador).	Permitir el intercambio de calor entre harina cruda y gases calientes. Separar partículas gruesas y transportar el material al ciclón posterior, mantener un perfil de temperatura en la entrada y salida del ciclón entre 790°C y 810°C.
421CC6	Ciclón 6 de la torre lado cerro del	Permitir el intercambio de calor entre harina

	Intercambiador del Horno 1 (Precalentador).	cruda y gases calientes. Separar partículas gruesas y transportar el material al ciclón posterior, mantener un perfil de temperatura en la entrada y salida del ciclón entre 850°C y 870°C.
421CC11	Ciclón 11 de la torre lado pista del Intercambiador del Horno 1 (Precalentador).	Permitir el intercambio de calor entre harina cruda y gases calientes. Separar partículas gruesas y transportar el material al ciclón posterior, mantener un perfil de temperatura en la entrada y salida del ciclón entre 260°C y 275°C.
421CC12	Ciclón 12 de la torre lado pista del Intercambiador del Horno 1 (Precalentador).	Permitir el intercambio de calor entre harina cruda y gases calientes. Separar partículas gruesas y transportar el material al ciclón posterior, mantener un perfil de temperatura en la entrada y salida del ciclón entre 460°C y 475°C.
421CC13	Ciclón 13 de la torre lado pista del Intercambiador del Horno 1 (Precalentador).	Permitir el intercambio de calor entre harina cruda y gases calientes. Transportar el material al ciclón posterior, mantener un perfil de temperatura en la entrada y salida del ciclón entre 585°C y 605°C.
421CC14	Ciclón 14 de la torre lado pista del Intercambiador del Horno 1 (Precalentador).	Permitir el intercambio de calor entre harina cruda y gases calientes. Transportar el material al ciclón posterior, mantener un perfil de temperatura en la entrada y salida del ciclón entre 690°C y 715°C.
421CC15	Ciclón 15 de la torre lado pista del Intercambiador del Horno 1 (Precalentador).	Permitir el intercambio de calor entre harina cruda y gases calientes. Separar partículas gruesas y transportar el material al ciclón posterior, mantener un perfil de temperatura en la entrada y salida del ciclón entre 790°C y 810°C.
421CC16	Ciclón 16 de la torre lado pista del Intercambiador del Horno 1 (Precalentador).	Permitir el intercambio de calor entre harina cruda y gases calientes. Separar partículas gruesas y transportar el material al ciclón posterior, mantener un perfil de temperatura en la entrada y salida del ciclón entre 850°C y 870°C.
421CD1	Calcinador del intercambiador de calor del Horno 1.	Calcinar el material antes que ingrese al horno mediante transferencia de calor. Mezclar combustibles. Mantener un perfil de temperatura entre 860°C y 1000°C
421VL11MR1	Compuerta reguladora para desviar el	Distribuir el material entre el calcinador y el

	material desde el ciclón 14 hacia el ciclón 16 o hacia el calcinador.	ciclón 16, con un rango de movimiento de 0 y 100% en ambiente con temperaturas mayores a 700°C.
421VL1MR1	Compuerta reguladora para desviar el material desde el ciclón 4 hacia el ciclón 6 o hacia el calcinador.	Distribuir el material entre el calcinador y el ciclón 6, con un rango de movimiento de 0 y 100% en ambiente con temperaturas mayores a 700°C.
421VL12MR1	Compuerta reguladora para desviar el material desde el ciclón 15 hacia el calcinador o al horno.	Distribuir el material entre el calcinador y la entrada al horno, con un rango de movimiento de 0 y 100% en ambiente con temperaturas mayores a 700°C.
421VL2MR1	Compuerta reguladora para desviar el material desde el ciclón 5 hacia el calcinador o al horno.	Distribuir el material entre el calcinador y la entrada al horno, con un rango de movimiento de 0 y 100% en ambiente con temperaturas mayores a 700°C.
421AB2TC1	Sistema de cañones neumáticos de ciclones del intercambiador de calor del H1 (Precaentador).	Evitar obstrucciones o atasco de material en ciclones liberando el material de las paredes generando ráfagas de aire mediante cañones cargados entre 70 y 90 psi.
421AB1TC1	Sistema de cañones neumáticos del calcinador del intercambiador de calor del H1 (Precaentador).	Evitar obstrucciones o atasco de material en ciclones liberando el material de las paredes generando ráfagas de aire mediante cañones cargados entre 70 y 90 psi.
456VE1TC1	Quemador a Gas de Calcinador del Intercambiador del Horno 1.	Regular el suministro de gas al calcinador, con un rango de dosificación entre 1000 y 20000 Sm <sup>3</sup> /h, sin fugas de gas, con presión en el tren de válvulas entre 1 y 2 bar.
454BO4TC1	Dosificador de Carbón del Calcinador del Intercambiador del Horno 1.	Regular el suministro de carbón al calcinador, con un rango de dosificación hasta 31 t/h, sin derrames de carbón, con presión en la línea de transporte entre 0.2 y 0.3 bar y consumo de corriente menor a 8A.
431CD1TC1	Analizador de gases en cámara de enlace del Horno 1 (Unión de Intercambiador con el Horno).	Medición de Oxígeno en la cámara de enlace, con rango de 0 a 25%, con margen de incertidumbre de 1%. Medición de Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> ) en la cámara de enlace, con rango de 0 a 20000 ppm, con margen de incertidumbre de 1% Medición de Óxido de Nitrógeno (NO <sub>x</sub> ) en la cámara de enlace, con rango de 0 a 2500 ppm, con margen de incertidumbre de 1%. Medición de Monóxido de Carbono (CO) en la cámara de enlace, con rango de 0 a 30000 ppm, con margen de incertidumbre de 1%.

		Medición de Oxígeno en la cámara de enlace, con rango de 0 a 25%, con margen de incertidumbre de 1%.
421IC10TC1	Analizador de gases en la torre lado cerro del Intercambiador del horno 1 (Precalentador).	Medición de Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> ) en la cámara de enlace, con rango de 0 a 100000 ppm, con margen de incertidumbre de 1%. Medición de Monóxido de Carbono (CO) en la cámara de enlace, con rango de 0 a 30000 ppm, con margen de incertidumbre de 1%.
		Medición de Oxígeno en la cámara de enlace, con rango de 0 a 25%, con margen de incertidumbre de 1%.
421IC1TC1	Analizador de gases en la torre lado pista del Intercambiador del horno 1 (Precalentador).	Medición de Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> ) en la cámara de enlace, con rango de 0 a 100000 ppm, con margen de incertidumbre de 1%. Medición de Monóxido de Carbono (CO) en la cámara de enlace, con rango de 0 a 30000 ppm, con margen de incertidumbre de 1%.

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

#### **Tabla 94**

*Funciones de subsistemas del sistema de recuperación de polvo de harina cruda de la línea 1 de clinkerización de la planta Atocongo de Unacem.*

<b>Funciones de subsistemas del sistema de recuperación de polvo de harina cruda</b>		
<b>Subsistemas Línea 1 de Clinkerización (Nivel 2)</b>		
<b>Codificación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Funciones</b>
431RE6	Compuerta reguladora de ingreso de aire fresco en ducto de ingreso de ID Fan 421EX1.	Regular la apertura del ducto de ingreso de aire, de 0 a 100% con un margen de error no mayor al 2%.
421RE1	Compuerta reguladora en ducto de ingreso desde el intercambiador de calor hacia el ID Fan 421EX1.	Regular la apertura del ducto de ingreso de gases de 0 a 100% con un margen de error no mayor al 2%.
421EX1	Exhaustor de gases desde el precalentador hacia el ingreso del filtro de mangas 431CL1 y 431CL2.	Extraer gases abrasivos y calientes hasta 400°C del precalentador (torre lado pista), controlar la velocidad de 100 a 1180 rpm, con nivel de vibración menor a 15 mm/s y consumo de corriente máximo de 1800 A.
431RE2	Compuerta de ingreso al filtro de mangas LC 431CL1.	Regular la apertura del ducto de ingreso al filtro, de 0 a 100% con un margen de error no mayor al 2%.
431RE4	Compuerta de ingreso de aire fresco al filtro de mangas lado cerro 431CL1.	Regular la apertura del ducto de ingreso de aire, de 0 a 100% con un margen de error no mayor al 2%.
431CL1	Filtro de mangas Lado Cerro.	Eliminar el polvo de los gases de combustión provenientes del intercambiador de calor lado pista,

		trabajar con gases hasta 260°C, flujo real de gases hasta 8406 Am <sup>3</sup> /min, concentración de polvo a la entrada hasta 56.1 g/Nm <sup>3</sup> y menos de 20 g/Nm <sup>3</sup> a la salida del filtro. Limpiar el polvo adherido a las mangas de tela dentro de las cámaras usando aire comprimido con presión de 3 a 4 .5 bar. Almacenar el material recuperado en las tolvas de descarga.
431EP1	Espiral 1 recolector de polvo del filtro de mangas LC 431CL1.	Transportar material a una velocidad mayor a 59 RPM y consumo de corriente menor a 5.9 A.
431EP2	Espiral 2 recolector de polvo del filtro de mangas LC 431CL1.	Transportar material a una velocidad mayor a 59 RPM y consumo de corriente menor a 5.9 A.
431EP3	Espiral 3 recolector de polvo del filtro de mangas LC 431CL1.	Transportar material a una velocidad mayor a 59 RPM y consumo de corriente menor a 5.9 A.
431EP4	Espiral 4 recolector de polvo del filtro de mangas LC 431CL1.	Transportar material a una velocidad mayor a 59 RPM y consumo de corriente menor a 5.9 A.
431RE3	Compuerta de ingreso al filtro de mangas LP 431CL2.	Regular la apertura del ducto de ingreso al filtro, de 0 a 100% con un margen de error no mayor al 2%.
431RE5	Compuerta de ingreso de aire fresco al filtro de mangas lado pista 431CL2.	Regular la apertura del ducto de ingreso de aire, de 0 a 100% con un margen de error no mayor al 2%.
431CL2	Filtro de mangas Lado Pista.	Eliminar el polvo de los gases de combustión provenientes del intercambiador de calor lado pista, trabajar con gases hasta 260°C, flujo real de gases hasta 8406 Am <sup>3</sup> /min, concentración de polvo a la entrada hasta 56.1 g/Nm <sup>3</sup> y menos de 20 g/Nm <sup>3</sup> a la salida del filtro. Limpiar el polvo adherido a las mangas de tela dentro de las cámaras usando aire comprimido con presión de 3 a 4 .5 bar. Almacenar el material recuperado en las tolvas de descarga.
431EP6	Espiral 6 recolector de polvo del filtro de mangas LC 431CL2.	Transportar material a una velocidad mayor a 59 RPM y consumo de corriente menor a 5.9 A.
431EP7	Espiral 7 recolector de polvo del filtro de mangas LC 431CL2	Transportar material a una velocidad mayor a 59 RPM y consumo de corriente menor a 5.9 A.
431EP8	Espiral 8 recolector de polvo del filtro de mangas LC 431CL2	Transportar material a una velocidad mayor a 59 RPM y consumo de corriente menor a 5.9 A.
431EP9	Espiral 9 recolector de polvo del filtro de mangas LC 431CL2	Transportar material a una velocidad mayor a 59 RPM y consumo de corriente menor a 5.9 A.
431EP5	Espiral recolector central (lado pista), recupera polvo de los colectores 431CL1 y 431CL2	Transportar material a una velocidad mayor a 62 RPM y consumo de corriente menor a 6.32 A.
431EP10	Espiral recolector central (lado cerro), recupera polvo de los colectores 431CL1 y 431CL2.	Transportar material a una velocidad mayor a 62 RPM y consumo de corriente menor a 6.32 A.
431EP11	Espiral recolector Lado Norte a	Transportar material a una velocidad mayor a 84 RPM

	silos de homogenización 1 y 2, y consumo de corriente menor a 17.7 A desde 431EP10 y 431EP5	
431EP12	Espiral recolector Lado Sur a silos de homogenización 1 y 2, desde 431EP10 y 431EP5.	Transportar material a una velocidad mayor a 84 RPM y consumo de corriente menor a 17.7 A.
431EP13	Espiral Recolector hacia silos de homogenización desde 431EP11 o 431EP12.	Transportar material a una velocidad mayor a 84 RPM y consumo de corriente menor a 17.7 A.
431VR2	Válvula Rotativa de descarga de espiral 431EP5 hacia silo 7 de filler.	Dosificar material con velocidad mayor a 20 RPM con consumo de corriente menor a 3.17 A.
431VR3	Válvula Rotativa de descarga de espiral 431EP10 hacia silo 7 de filler.	Dosificar material con velocidad mayor a 20 RPM con consumo de corriente menor a 3.17 A.
431BG1	Sistema de lubricación de espirales de colectores de polvo 431CL1 o 431CL2.	Lubricar de manera periódica los espirales, cumpliendo los tiempos programados para trabajo y pausa.
431RE1	Compuerta reguladora de ingreso de 431EX1.	Regular la apertura del ducto de succión del Exhaustor, de 0 a 100% con un margen de error no mayor al 2%.
431EX1	Exhaustor de gases a la salida de los filtros 431CL1 y 431CL2.	Extraer gases abrasivos y calientes hasta 400°C del precalentador (torre lado pista) y del filtro de mangas, controlar la velocidad de 100 a 1245 rpm, con nivel de vibración menor a 15 mm/s y consumo de corriente máximo de 1034 A.
421RE3	Compuerta reguladora de ingreso de aire fresco en ducto de ingreso de ID Fan 421EX2	Regular la apertura de ingreso de aire, de 0 a 100% con un margen de error no mayor al 2%.
421RE2	Compuerta reguladora en ducto de ingreso desde el intercambiador de calor hacia el ID Fan 421EX2.	Regular la apertura de ingreso de gases, de 0 a 100% con un margen de error no mayor al 2%.
421EX2	Exhaustor de gases desde el precalentador hacia el ingreso del filtro de mangas 431CL1 y 431CL2.	Extraer gases abrasivos y calientes hasta 400°C del precalentador (torre lado cerro), controlar la velocidad de 100 a 1180 rpm, con nivel de vibración menor a 15 mm/s y consumo de corriente máximo de 1612 <sup>a</sup> .
431RE11	Compuerta de ingreso de aire fresco al filtro de mangas 431CL3.	Regular la apertura de ingreso de aire, de 0 a 100% con un margen de error no mayor al 2%.
431CL3	Filtro de mangas (piso 1).	Eliminar el polvo de los gases de combustión provenientes del intercambiador de calor lado pista, trabajar con gases hasta 260°C, flujo real de gases hasta 8406 Am <sup>3</sup> /min, concentración de polvo a la entrada hasta 56.1 g/Nm <sup>3</sup> y menos de 20 g/Nm <sup>3</sup> a la salida del filtro. Limpiar el polvo adherido a las mangas de tela dentro de las cámaras usando aire comprimido con presión de 3 a 4 .5 bar. Almacenar el

		material recuperado en las tolvas de descarga.
431VR11	Válvula rotativa de descarga de tolva 1 del colector de polvo 431CL3.	Dosificar material con velocidad mayor a 3.7 RPM con consumo de corriente menor a 0.4 A.
431VR13	Válvula rotativa de descarga de tolva 3 del colector de polvo 431CL3.	Dosificar material con velocidad mayor a 3.7 RPM con consumo de corriente menor a 0.4 A.
431VR15	Válvula rotativa de descarga de tolva 5 del colector de polvo 431CL3.	Dosificar material con velocidad mayor a 3.7 RPM con consumo de corriente menor a 0.4 A.
431VR17	Válvula rotativa de descarga de tolva 7 del colector de polvo 431CL3.	Dosificar material con velocidad mayor a 3.7 RPM con consumo de corriente menor a 0.4 A.
431VR12	Válvula rotativa de descarga de tolva 2 del colector de polvo 431CL3.	Dosificar material con velocidad mayor a 3.7 RPM con consumo de corriente menor a 0.4 A.
431VR14	Válvula rotativa de descarga de tolva 4 del colector de polvo 431CL3.	Dosificar material con velocidad mayor a 3.7 RPM con consumo de corriente menor a 0.4 A.
431VR16	Válvula rotativa de descarga de tolva 6 del colector de polvo 431CL3.	Dosificar material con velocidad mayor a 3.7 RPM con consumo de corriente menor a 0.4 A.
431VR18	Válvula rotativa de descarga de tolva 8 del colector de polvo 431CL3.	Dosificar material con velocidad mayor a 3.7 RPM con consumo de corriente menor a 0.4 A.
431EP20	Espiral de descarga de polvo recuperado de tolvas 1, 3, 5 y 7 del 431CL3.	Transportar material a una velocidad mayor a 29 RPM y consumo de corriente menor a 8.7 A.
431EP21	Espiral de descarga de polvo recuperado de tolvas 2, 4, 6 y 8 del 431CL3.	Transportar material a una velocidad mayor a 29 RPM y consumo de corriente menor a 8.7 A.
431EP22	Espiral de descarga de polvo recuperado de tolvas del 431CL3.	Transportar material a una velocidad mayor a 40 RPM y consumo de corriente menor a 29.3 A.
431TO1	Tolva 1 de almacenamiento de polvo recuperado del 431CL3.	Recepcionar el polvo recuperado y almacenarlo temporalmente.
431BG2	Bomba de grasa de espirales de colector de polvo 431CL3.	Suministrar grasa para lubricación de espirales.
431RE10	Compuerta reguladora de ingreso al 431EX2.	Regular la apertura del ducto de succión del exhaustor, de 0 a 100% con un margen de error no mayor al 2%.
431EX2	Exhaustor de gases a la salida del filtro 431CL3.	Extraer gases abrasivos y calientes hasta 400°C del precalentador (torre lado pista) y del filtro de mangas, controlar la velocidad de 100 a 1180 rpm, con nivel de vibración menor a 15 mm/s y consumo de corriente

		máximo de 907 A.
431CW1TC1	Analizador de gases de chimenea del intercambiador de calor.	Medir la concentración de Oxígeno en la cámara de enlace, con rango de 0 a 25%, con margen de incertidumbre de 1% Medir la concentración de Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> ) en la cámara de enlace, con rango de 0 a 2000 ppm, con margen de incertidumbre de 1% Medir la concentración de Óxido de Nitrógeno (NO <sub>x</sub> ) en la cámara de enlace, con rango de 0 a 2500 ppm, con margen de incertidumbre de 1% Medir la concentración de (CO) en la cámara de enlace, con rango de 0 a 2500 ppm, con margen de incertidumbre de 1%.
431CW1TC2	Opacímetro de chimenea del intercambiador de calor	Medir la concentración de partículas en la chimenea, con rango de medición de 0 a 496 mg/m <sup>3</sup> , con margen de incertidumbre menor a 1%, desempeñar sus funciones en ambientes hasta 300°C.
421AA1TC1	Sistema de aire acondicionado de la sala de variadores de los motores del horno 1 y exhaustores ID Fan y Filter Fan del 431CL1 y 431CL2.	Mantener la temperatura del ambiente entre 21 °C y 28°C y presurizar la sala.
421AA1TC5	Sistema de aire acondicionado de la sala de variadores de exhaustores ID Fan y Filter Fan del 431CL3.	Mantener la temperatura del ambiente entre 21 °C y 28°C y presurizar la sala.
461AA1TC1	Sistema de aire acondicionado de la sala eléctrica del enfriador del H1.	Mantener la temperatura del ambiente entre 21 °C y 28°C y presurizar la sala.

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

### Tabla 95

*Funciones de subsistemas del sistema de clinkerización con horno rotativo de la línea 1 de clinkerización de la planta Atocongo de Unacem.*

Funciones de subsistemas del sistema de clinkerización con horno rotativo		
Subsistemas Línea 1 de Clinkerización (Nivel 2)		Funciones
Codificación	Descripción	
441SH1MT1	Unidad Hidráulica 1 del Reductor 1 del Horno 1.	Enfriar el aceite y lubricar el reductor, extrayendo el aceite del cárter del reductor mediante la línea de succión y filtrado a razón de 60 l/min. Trabajar con temperatura máxima de aceite de 80°C, presión de aceite máximo 8 bar y mínimo 0.8 bar. La señal de filtro sucio no debe exceder de 2 bar.

		Trabajar con presión de agua menor a 8 bar, el consumo de corriente de la bomba no debe exceder 4.11 A.
441SH1MT2	Unidad Hidráulica 2 del Reductor 2 del Horno 1.	Enfriar el aceite y lubricar el reductor, extrayendo el aceite del cárter del reductor mediante la línea de succión y filtrado a razón de 60 l/min. Trabajar con temperatura máxima de aceite de 80°C, presión de aceite máximo 8 bar y mínimo 0.8 bar. La señal de filtro sucio no debe exceder de 2 bar. Trabajar con presión de agua menor a 8 bar, el consumo de corriente de la bomba no debe exceder 4.11 A.
441AC2MT1	Motor Auxiliar 1.	Girar el horno a máximo 0.1 rpm, giro lento en paradas cortas, para maniobras de montaje, reparación y mantenimiento, trabajando con tensión 440V, consumo de potencia menos a 36Kw y consumo de corriente 54.3A como máximo. El giro se generará por la interacción del motor auxiliar, el reductor auxiliar (n1=1800 / n2=28.63), el reductor principal (n1=900 / n28.63), piñón (Z19) y corona (Z240).
441AC2MT2	Motor Auxiliar 2.	Girar el horno a máximo 0.1 rpm, giro lento en paradas cortas, para maniobras de montaje, reparación y mantenimiento, trabajando con tensión 440V, consumo de potencia menos a 36Kw y consumo de corriente 54.3A como máximo. El giro se generará por la interacción del motor auxiliar, el reductor auxiliar (n1=1800 / n2=28.63), el reductor principal (n1=900 / n28.63), piñón (Z19) y corona (Z240).
441AC1FE1	Freno del motor auxiliar 1.	Detener el giro del horno, se habilita su uso cuando se use el sistema auxiliar. El par de frenado debe ser 850N/m. Consumo de potencia 200W, consumo de corriente de 0.5A.
441AC1FE2	Freno del motor auxiliar 2.	Detener el giro del horno, se habilita su uso cuando se use el sistema auxiliar. El par de frenado debe ser 850N/m. Consumo de potencia 200W, consumo de corriente de 0.5A.
441HR1MT1	Sistema de giro principal del Horno 1.	Girar el horno de 0.1 a 5 rpm según requerimiento del cuarto de control con precisión de + -1%, mediante la interacción del variador de velocidad y motor principal (690V, 855 A, 1417 Rpm, 830 KW), reductor principal (n1=900 / n2 = 40.24), piñón Z19, corona Z240. El giro es un solo sentido, la temperatura de aceite del

		reductor no debe exceder los 100°C. El movimiento producido por la corona se transmite a los anillos de rodadura los cuales giran a la misma velocidad.
441HR2MT2	Sistema de giro principal del Horno 1.	Girar el horno de 0.1 a 5 rpm según requerimiento del cuarto de control con precisión de + -1%, mediante la interacción del variador de velocidad y motor principal (690V, 855 A, 1417 Rpm, 830 KW), reductor principal (n1=900 / n2 = 40.24), piñón Z19, corona Z240. El giro es un solo sentido, la temperatura de aceite del reductor no debe exceder los 100°C. El movimiento producido por la corona se transmite a los anillos de rodadura los cuales giran a la misma velocidad.
441HR1MT3	Ventilador del motor principal 1.	Ventilar el motor principal, las temperaturas de devanado del motor principal no deben llegar a 100°C y las de chumacera deben trabajar a menos de 80°C.
441HR1MT4	Ventilador del motor principal 2.	Ventilar el motor principal, las temperaturas de devanado del motor principal no deben llegar a 100°C y las de chumacera deben trabajar a menos de 80°C.
421CE1	Compuerta reguladora en ducto de aire terciario.	Regular la apertura del ducto de gases calientes del aire terciario, de 0 a 100% con un margen de error no mayor al 2%, mantener hermetismo y evitar fuga de gases al ambiente. Soportar temperaturas hasta 900°C
421SA1	Soplador de compuerta en ducto de aire terciario.	Desplazar el aire del exterior hacia la canaleta con consumo de corriente menor a 8.85 A
441VE5	Ventilador Shell 2 del Horno1.	Ventilar el shell del Horno, con consumo máximo de corriente de 174.3 A y caudal de aire máximo de 13.9 m3/s.
441RE3	Compuerta eléctrica reguladora del ventilador del shell 2 del horno 1.	Regular el caudal de aire aperturando la compuerta de 0 a 100% con margen de error máximo de 2%, soportar un torque máximo de 300 Nm.
441VE4	Ventilador Shell 1 del Horno1	Ventilar el shell del Horno, con consumo máximo de corriente de 174.3 A y caudal de aire máximo de 13.9 m3/s.
441RE2	Compuerta eléctrica reguladora del ventilador del shell 1 del horno 1.	Regular el caudal de aire aperturando la compuerta de 0 a 100% con margen de error máximo de 2%, soportar un torque máximo de 300 Nm.
441VE3	Ventilador de la boca del Horno 1.	Ventilar el shell del Horno, con consumo máximo de corriente de 85 A y caudal de aire máximo de 13.9 m3/s.
441RE1	Compuerta de ventilador de boca de horno.	Regular el caudal de aire aperturando la compuerta de 0 a 100% con margen de error máximo de 2%, soportar un torque máximo de 300 Nm.
441VE1	Ventilador de sello del horno.	Ventilar el sello del horno, con consumo máximo de

		<p>corriente de 75 A y caudal de aire máximo de 9000 m<sup>3</sup>/h.</p>
441HR1	Horno Rotativo 1.	<p>Tubo Cilíndrico hasta 1" de espesor, revestido de ladrillo refractario para soportar altas temperaturas y ataque químico.</p> <p>Permitir la completa reacción química de los materiales alimentados, preparados y dosificados. La fase Líquida en la zona de transición se da con temperatura promedio de 1200°C y temperatura máxima de 1450°C</p> <p>En la zona de clinkerización, con temperatura promedio 1500°C, se empiezan a formar cristales de clinker.</p> <p>En la zona de enfriamiento, temperatura promedio 1200°C, el clinker formado entra a un proceso de enfriamiento conforme avanza la descarga del horno.</p>
441SL1TC1	Sistema de engrase de la catalina del Horno 1.	<p>Lubricar por atomización la transmisión de manera homogénea.</p> <p>La lubricación es automática y tiene la opción de control local, cuenta dos sistemas independientes que trabajan alternadamente, A y B. Los principales elementos del sistema son los barriles de grasa de 200 o 180 litros, bomba de lubricación, filtros, dosificador, toberas de atomización, sistema de control, equipo neumático.</p> <p>Se lubrica 536 cm<sup>3</sup>/h, la frecuencia de lubricación es de 53.6 ciclos por hora, ello puede variar modificando el periodo de pausa. La bomba debe tener capacidad de lubricar 13.49 cm<sup>3</sup>/min y trabajar a presión máxima de 60 bar.</p> <p>La presión de aire durante el ciclo de atomizado debe ser mayor a 4 bar y menor a 5 bar.</p>
441HR1PO1	Rodillo de soporte de llanta 1 del Horno 1.	<p>De manera conjunta con los aros de rodadura o llanta, tienen la función de Sostener la camisa del horno y conducir cargas que se presentan a las estaciones de los rodillos de rodadura o se a las bases. La temperatura de los cojinetes de los rodillos no debe exceder los 80°C.</p>
441HR1PO2	Rodillo de soporte de llanta 2 del Horno 1.	<p>De manera conjunta con los aros de rodadura o llanta, tienen la función de Sostener la camisa del horno y conducir cargas que se presentan a las estaciones de los rodillos de rodadura o se a las bases. La temperatura de los cojinetes de los rodillos no debe exceder los 80°C.</p>

441HR1PO3	Rodillo de soporte de llanta 3 del Horno 1.	De manera conjunta con los aros de rodadura o llanta, tienen la función de Sostener la camisa del horno y conducir cargas que se presentan a las estaciones de los rodillos de rodadura o se a las bases. La temperatura de los cojinetes de los rodillos no debe exceder los 80°C.
441HR1RD1	Sistema de empuje axial del Horno 1.	Mantener el horno en la dirección axial, intentando mantener la línea central (en la unidad maestra) de la llanta del horno dentro de un rango de más / menos 5 mm desde la posición cero. Los movimientos menores dentro de este rango, debido, por ejemplo, a la excentricidad de los neumáticos del horno, serán absorbidos por el acumulador hidráulico. La presión de trabajo promedio es de 25 bar, la presión máxima del sistema es de 50 bares. El sistema debe generar alarma si el desplazamiento esta fuera del rango más o menos 10 mm. Si el desplazamiento esta fuera del rango más o menos 30 mm o se activan los interruptores de seguridad deberá detenerse el horno.
451VE1MT1	Ventilador de aire primario para petróleo.	Generar caudal de aire para la quema de combustible, caudal de aire máximo de 2.49 m3/s, con consumo máximo de corriente de 75 A
451VE1MR1	Compuerta de ventilador de aire primario para petróleo.	Regular la apertura de ingreso de aire, de 0 a 100% con un margen de error no mayor al 2%, torque máximo 140 Nm.
456VE1MT1	Ventilador aire primario.	Generar caudal de aire para la combustión del combustible que se dispara a través del quemador, caudal de aire máximo de 0.07 m3/s, con consumo máximo de corriente de 290 A
456VE1MR1	Compuerta de ventilador de aire primario.	Regular la apertura de ingreso de aire, de 0 a 100% con un margen de error no mayor al 2%
456VE2MT1	Ventilador auxiliar del aire primario.	Generar caudal de aire para la quema de combustible, caudal de aire máximo de 0.83 m3/s, con consumo máximo de corriente de 6 A.
456VE2MR1	Compuerta de ventilador auxiliar de aire primario.	Regular la apertura de ingreso de aire, de 0 a 100% con un margen de error no mayor al 2%.
451QH1	Quemador Principal del Horno 1.	Encender el horno con carbón pulverizado, petróleo, gas natural o cualquier mezcla de estos combustibles. Con capacidad máxima entre 20 y 250 MW. Asegurar una combustión completa, sin exceso de aire y mínima formación de monóxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno (NOX).

		Producir una llama corta, estrecha y fuertemente radiante, para una buena transferencia de calor de la llama al material en la zona de sinterización del horno. Usar la menor cantidad de aire primario posible sin comprometer la estabilidad durante condiciones de operación normales o anormales.
456CG1	Sistema de dosificación de gas al quemador del Horno 1.	Dosificar gas para la combustión del horno. Regular el caudal desde 0 a 25000 Nm <sup>3</sup> /h, con presión de trabajo de 1 a 1.5 bar, temperatura de trabajo del gas 0 a 20°C, presión de suministro de gas hasta 10 bar.
451BP1	Bomba de petróleo 1 para el quemador del Horno 1.	Suministrar petróleo al quemador del horno a razón de 4408.65 gal/min, presión máxima de 60 bar, con consumo máximo de potencia de 63 KW y consumo máximo de corriente 72 A.
451BP2	Bomba de petróleo 2 para el quemador del Horno 1.	Suministrar petróleo al quemador del horno a razón de 4408.65 gal/min, presión máxima de 60 bar, con consumo máximo de potencia de 63 KW y consumo máximo de corriente 72 Amperios.
451BP3	Bomba de petróleo 3 para el quemador del Horno 1.	Suministrar petróleo al quemador del horno a razón de 5379.22 gal/min, presión máxima de 60 bar, con consumo máximo de potencia de 79 KW y consumo máximo de corriente 90 Amperios.
451QH2MR1	Aguja reguladora motorizada para dosificación de petróleo del Horno 1.	Regular la dosificación de petróleo al quemador del horno 1 entre 0 y 15000 l/h, la apertura de la compuerta reguladora va de 0 a 100%, presión de trabajo máxima 50 bar, temperatura promedio del petróleo 120°C.
454B01	Dosificador de Carbón del quemador principal del Horno 1.	Dosificar el suministro de carbón al quemador entre 0 a 24 t/h y presión de aireación promedio de 1.2 bar.
451TH2	Calentador de petróleo Lado Norte.	Calentar el petróleo hasta una temperatura mayor a 100°C, según la consigna indicada por producción.
451TH3	Calentador de petróleo Lado Sur.	Calentar el petróleo hasta una temperatura mayor a 100°C, según la consigna indicada por producción.

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

### **Tabla 96**

*Funciones de subsistemas del sistema de enfriador de clinker de la línea 1 de clinkerización de la planta Atocongo de Unacem*

<b>Funciones de subsistemas del sistema de enfriador de clinker del Horno 1</b>		
<b>Subsistemas Línea 1 de Clinkerización (Nivel 2)</b>		
<b>Codificación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Funciones</b>
461VE1TC1	Ventilador 1 de la cámara 0 del enfriador de clinker.	Suministrar y controlar el volumen de aire de ingreso a la cámara 0 del enfriador, rango de regulación del

		caudal va de 0 a 612 m3/min, el consumo de corriente no debe exceder los 237 A, la vibración no debe exceder 15 mm/s.
461RE1MR1	Compuerta reguladora del ventilador 1.	Regular la apertura de ingreso de aire, de 0 a 100% con un margen de error no mayor al 2%.
461VE2TC1	Ventilador 2 de la cámara 0 del enfriador de clinker.	Suministrar y controlar el volumen de aire de ingreso a la cámara 0 del enfriador, rango de regulación del caudal va de 0 a 612 m3/min, el consumo de corriente no debe exceder los 237A, la vibración no debe exceder los 15 mm/s
461RE2MR1	Compuerta reguladora del ventilador 2.	Regular la apertura de ingreso de aire, de 0 a 100% con un margen de error no mayor al 2%
461VE3TC1	Ventilador 3 de la cámara 1 del enfriador de clinker	Suministrar y controlar el volumen de aire de ingreso a la cámara 1 del enfriador, rango de regulación del caudal va de 0 a 870 m3/min, el consumo de corriente no debe exceder los 292A, la vibración no debe exceder los 15 mm/s
461RE3MR1	Compuerta reguladora del ventilador 3.	Regular la apertura de ingreso de aire, de 0 a 100% con un margen de error no mayor al 2%
461VE4TC1	Ventilador 4 de la cámara 1 del enfriador de clinker.	Suministrar y controlar el volumen de aire de ingreso a la cámara 1 del enfriador, rango de regulación del caudal va de 0 a 870 m3/min, el consumo de corriente no debe exceder los 292A, la vibración no debe exceder los 15 mm/s
461RE4MR1	Compuerta reguladora del ventilador 4.	Regular la apertura de ingreso de aire, de 0 a 100% con un margen de error no mayor al 2%
461VE5TC1	Ventilador 5 de la cámara 2 del enfriador de clinker.	Suministrar y controlar el volumen de aire de ingreso a la cámara 2 del enfriador, rango de regulación del caudal va de 0 a 846 m3/min, el consumo de corriente no debe exceder los 292A, la vibración no debe exceder los 15 mm/s
461RE5MR1	Compuerta reguladora del ventilador 5.	Regular la apertura de ingreso de aire, de 0 a 100% con un margen de error no mayor al 2%
461VE6TC1	Ventilador 6 de la cámara 2 del enfriador de clinker.	Suministrar y controlar el volumen de aire de ingreso a la cámara 2 del enfriador, rango de regulación del caudal va de 0 a 846 m3/min, el consumo de corriente no debe exceder los 292A, la vibración no debe exceder los 15 mm/s.
461RE6MR1	Compuerta reguladora del ventilador 6.	Regular la apertura de ingreso de aire, de 0 a 100% con un margen de error no mayor al 2%.
461VE7TC1	Ventilador 7 de la cámara 3 del enfriador de clinker.	Suministrar y controlar el volumen de aire de ingreso a la cámara 2 del enfriador, rango de regulación del caudal va de 0 a 816 m3/min, el consumo de corriente no debe exceder los 292A, la vibración no debe

		exceder los 15 mm/s.
461RE7MR1	Compuerta reguladora del ventilador 7.	Regular la apertura de ingreso de aire, de 0 a 100% con un margen de error no mayor al 2%.
461VE8TC1	Ventilador 8 de la cámara 3 del enfriador de clinker.	Suministrar y controlar el volumen de aire de ingreso a la cámara 3 del enfriador, rango de regulación del caudal va de 0 a 816 m3/min, el consumo de corriente no debe exceder los 292A, la vibración no debe exceder los 15 mm/s.
461RE8MR1	Compuerta reguladora del ventilador 8.	Regular la apertura de ingreso de aire, de 0 a 100% con un margen de error no mayor al 2%.
461VE9TC1	Ventilador 9 de la cámara 4 del enfriador de clinker.	Suministrar y controlar el volumen de aire de ingreso a la cámara 3 del enfriador, rango de regulación del caudal va de 0 a 1632 m3/min, el consumo de corriente no debe exceder los 573A, la vibración no debe exceder los 15 mm/s.
461RE9MR1	Compuerta reguladora del ventilador 9.	Regular la apertura de ingreso de aire, de 0 a 100% con un margen de error no mayor al 2%.
461VE10TC1	Ventilador 10 de la cámara 5 del enfriador de clinker.	Suministrar y controlar el volumen de aire de ingreso a la cámara 3 del enfriador, rango de regulación del caudal va de 0 a 1566 m3/min, el consumo de corriente no debe exceder los 455A, la vibración no debe exceder los 15 mm/s.
461RE10MR1	Compuerta reguladora del ventilador 10.	Regular la apertura de ingreso de aire, de 0 a 100% con un margen de error no mayor al 2%.
461VE11TC1	Ventilador 11 de la cámara 6 del enfriador de clinker.	Suministrar y controlar el volumen de aire de ingreso a la cámara 3 del enfriador, rango de regulación del caudal va de 0 a 2465 m3/min, el consumo de corriente no debe exceder los 712A, la vibración no debe exceder los 15 mm/s.
461RE11MR1	Compuerta reguladora del ventilador 11.	Regular la apertura de ingreso de aire, de 0 a 100% con un margen de error no mayor al 2%.
461SH1BA21	Bomba 1 de recirculación de aceite del sistema hidráulico del enfriador (bomba de engranajes).	Recircular el aceite de manera continua hacia el sistema de filtrado y al tanque, razón de 228 l/min. La presión de trabaja promedio es entre 2 y 3 bar, la presión máxima en el sistema es 6 bar. Consumo de potencia 4kw, 440 V y 6A.
461SH1RR31MT1	Ventilador de enfriamiento 1 del sistema hidráulico del enfriador.	Reducir la temperatura de aceite recirculado del tanque de almacenamiento de 55°C a 45°C, con consumo de potencia de 35 KW y corriente máxima de 53 A.
461SH1BA22	Bomba 2 de recirculación de aceite del sistema hidráulico del enfriador.	Recircular el aceite de manera continua hacia el sistema de filtrado y al tanque, razón de 228 l/min. La presión de trabaja promedio es entre 2 y 3 bar, la presión máxima en el sistema es 6 bar.

		Consumo de potencia 4kw, 440 V y 6A.
461SH1RR32MT1	Ventilador de enfriamiento 2 del sistema hidráulico del enfriador.	Reducir la temperatura de aceite recirculado del tanque de almacenamiento de 55°C a 45°C, con consumo de potencia de 35Kw y corriente máxima de 53 A.
461SH1T01	Tanque de aceite de enfriador.	Almacenar y abastecer el aceite del sistema hidráulico a una temperatura entre 45° y 55°C, indicar el nivel de aceite (680 a 2200 litros), se requiere indicación de estado de los filtros.
461SH1BA20MT1	Bomba de llenado del sistema hidráulico del enfriador.	Rellenar aceite desde un cilindro al reservorio del sistema hidráulico cuando el nivel descienda menos del 50%, flujo máximo 11.8 gal/min, consumo de corriente máxima 4A.
461VE12MT1	Ventilador lado sur de sala hidráulica del enfriador del horno1.	Ventilar la sala hidráulica con aire limpio del exterior y mantener una temperatura inferior a 33°C
461VE13MT1	Ventilador lado norte de sala hidráulica del enfriador del horno1.	Ventilar la sala hidráulica con aire limpio del exterior y mantener una temperatura inferior a 33°C.
461SH1BA1MT1	Bomba hidráulica 1 para accionamiento del enfriador del horno 1 (Bomba de pistones axiales variables).	Generar presión y caudal para el sistema hidráulico del enfriador, con caudal máximo 700 lpm, presión máxima de trabajo 260 bar, presión promedio de trabajo 110 bar, consumo máximo de corriente 257 A. En combinación con las válvulas proporcionales, variar el flujo de aceite para conseguir la velocidad deseada del enfriador.
461SH1BA2MT1	Bomba hidráulica 2 para accionamiento del enfriador del horno 1 (Bomba de pistones axiales variables).	Generar presión y caudal para el sistema hidráulico del enfriador, con caudal máximo 700 lpm, presión máxima de trabajo 260 bar, presión promedio de trabajo 110 bar, consumo máximo de corriente 257 A. En combinación con las válvulas proporcionales, variar el flujo de aceite para conseguir la velocidad deseada del enfriador.
461SH1BA3MT1	Bomba hidráulica 3 para accionamiento del enfriador del horno 1 (Bomba de pistones axiales variables).	Generar presión y caudal para el sistema hidráulico del enfriador, con caudal máximo 700 lpm, presión máxima de trabajo 260 bar, presión promedio de trabajo 110 bar, consumo máximo de corriente 257 A. En combinación con las válvulas proporcionales, variar el flujo de aceite para conseguir la velocidad deseada del enfriador. Reemplazar a la bomba 1 o bomba 2 ante un eventual fallo.
461SH1TC1	Sistema de control de velocidad del enfriador.	Regular el caudal y la dirección de flujo del aceite que van a los cilindros hidráulicos gobernando las válvulas

		<p>proporcionales con valor de consigna de 15 mm y 185mm de desplazamiento. La velocidad del enfriador se regula entre 4 y 12 str/min.</p> <p>El controlador de movimiento generará rampas para aceleración y desaceleración, controlará los puntos de inicio y detención de los cilindros para obtener el desplazamiento deseado.</p>
461EN1DRV1	Barra 1 del enfriador.	<p>Recibir el clinker caliente desde su salida del horno a 1400°C en promedio, exponerlo al aire de refrigeración y transportarlo hasta la chancadora de rodillos.</p> <p>Trabajar de manera sincronizada con la barra 3.</p>
461EN1DRV2	Barra 2 del enfriador.	<p>Recibir el clinker caliente desde su salida del horno a 1400°C en promedio, exponerlo al aire de refrigeración y transportarlo hasta la chancadora de rodillos.</p> <p>Trabajar de manera sincronizada con la barra 4.</p>
461EN1DRV3	Barra 3 del enfriador.	<p>Recibir el clinker caliente desde su salida del horno a 1400°C en promedio, exponerlo al aire de refrigeración y transportarlo hasta la chancadora de rodillos.</p> <p>Trabajar de manera sincronizada con la barra 1.</p>
461EN1DRV4	Barra 4 del enfriador.	<p>Recibir el clinker caliente desde su salida del horno a 1400°C en promedio, exponerlo al aire de refrigeración y transportarlo hasta la chancadora de rodillos.</p> <p>Trabajar de manera sincronizada con la barra 2.</p>
461EN1BL1	Blaster del enfriador.	<p>Deshacer el material endurecido y acumulado en las paredes del enfriador mediante el uso de cañones neumáticos, los que serán cargados automáticamente con aire entre 5 bar y 8 bar.</p>
461CH1MT3	Rodillo transportador 1 de la chancadora de Clinker del Enfriador.	<p>Transportar el clinker grueso hacia los rodillos trituradores, con velocidad de transporte controlada de 0 hasta 9 rpm y consumo de corriente menor a 47.2 A.</p>
461CH1MT4	Rodillo transportador 2 de la chancadora de Clinker del Enfriador.	<p>Transportar el clinker grueso hacia los rodillos trituradores, con velocidad de transporte controlada de 0 hasta 9 rpm y consumo de corriente menor a 47.2 A.</p>
461CH1MT1	Rodillo triturador 1 de la chancadora de Clinker del Enfriador.	<p>Triturar el clinker grueso a menos de 25 mm, descargar el material hacia los elevadores inclinados, controlar la velocidad del rodillo de 0 a 6.3 rpm, invertir el giro cuando el sistema lo requiera y trabajar con consumo de corriente menor a 47.4 A.</p>
461CH1MT2	Rodillo triturador 2 de la chancadora de Clinker del Enfriador.	<p>Triturar el clinker grueso a menos de 25 mm, descargar el material hacia los elevadores inclinados, controlar la velocidad del rodillo de 0 a 6.3 rpm, Invertir el giro cuando el sistema lo requiera y trabajar con consumo de corriente menor a 47.4 A..</p>
481CE1MR1	Compuerta de descarga de	<p>Habilitar o bloquear la descarga de clinker del</p>

	la chancadora de clinker sobre el elevador inclinado 481EI2.	enfriador sobre el elevador inclinado 481EI2.
481CE2MR1	Compuerta de descarga de la chancadora de clinker sobre el elevador inclinado 481EI1.	Habilitar o bloquear la descarga de clinker del enfriador sobre el elevador inclinado 481EI1.
481EI1	Elevador inclinado 1 de transporte de clinker desde la chancadora.	Transportar el clinker hacia el circuito de fajas transportadora a una velocidad de 0.3 m/s, con flujo máximo de 280 t/h. y consumo de corriente máximo de 88.5 A.
481EI2	Elevador inclinado 2 de transporte de clinker desde la chancadora.	Transportar el clinker hacia el circuito de fajas transportadora a una velocidad de 0.3 m/s, con flujo máximo de 280 t/h. y consumo de corriente máximo de 88.5 A.
481MM1	Muestreador automático de clinker.	Tomar muestra de clinker de manera automática con frecuencia de muestreo programable y permitir el recojo de la muestra de manera segura.

*Nota:* Información suministrada por la empresa.

### **Tabla 97**

*Funciones de subsistemas del sistema de recuperación de polvo de clinker del enfriador de la línea 1 de clinkerización de la planta Atocongo de Unacem.*

<b>Funciones de subsistemas del sistema de recuperación de polvo de clinker del enfriador</b>		
<b>Subsistemas Línea 1 de Clinkerización (Nivel 2)</b>		<b>Funciones</b>
<b>Codificación</b>	<b>Descripción</b>	
471TS1	Transformador rectificador de celda 1 de electrofiltro.	Generar alta tensión continua entre electrodo emisor negativo y electrodo de colección positivo, con valores de tensión entre 40Kv y 80Kv y corriente máxima entre electrodos de 900 mA, con el fin que las partículas de polvo de los gases se adhieran a los electrodos de colección. Este trabajo se realiza mediante un sistema de control automatizado.
471CF1	Calefacción de celda 1 de electrofiltro.	Regular la temperatura en la parte inferior de las tolvas, del aislador y del eje, para mantenerlas secas y libres de humedad, la temperatura de control puede ser configurada entre 80°C y 100°C. Consumo máximo de corriente 15 A.
471GE1	Golpeador de electrodos de celda 1 de electrofiltro.	Golpear placas colectoras (electrodos de colección) y placas de emisión (electrodos emisores de electrones) para desprender el polvo recuperado y depositar el material a la cámara colectora, con una frecuencia de golpeo configurable de 1 a 60 minutos. Consumo

		máximo de corriente 0.62 A.
471AR1MT1	Cadena de arrastre en electrofiltro (Lado Norte).	Transportar el material recuperado del cuerpo 1 del electrofiltro, a una velocidad de 0.06 m/s y consumo de corriente menor a 3.47 A.
471VR1MT1	Válvula rotativa 1 de descarga del electrofiltro.	Descargar el material recuperado por el cuerpo 1 del electrofiltro al circuito de transporte de finos, trabajar con 3.2 rpm de velocidad, con consumo menor a 0.4 A.
471TS2	Transformador rectificador de celda 2 de electrofiltro.	Generar alta tensión continua entre electrodo emisor negativo y electrodo de colección positivo, con valores de tensión entre 40Kv y 80Kv y corriente máxima entre electrodos de 900 mA, con el fin que las partículas de polvo de los gases se adhieran a los electrodos de colección. Este trabajo se realiza mediante un sistema de control automatizado.
471CF2	Calefacción de celda 2 de electrofiltro.	Regular la temperatura en la parte inferior de las tolvas, del aislador y del eje, para mantenerlas secas y libres de humedad, la temperatura de control puede ser configurada entre 80°C y 100°C. Consumo máximo de corriente 15 A.
471GE2	Golpeador de electrodos de celda 2 de electrofiltro.	Golpear placas colectoras (electrodos de colección) y placas de emisión (electrodos emisores de electrones) para desprender el polvo recuperado y depositar el material a la cámara colector, con una frecuencia de golpeo configurable de 1 a 60 minutos. Consumo máximo de corriente 0.62A.
471AR2MT1	Cadena de arrastre en electrofiltro (Central - Lado Norte).	Transportar el material recuperado del cuerpo 2 del electrofiltro, a una velocidad de 0.06 m/s y consumo de corriente menor a 3.47 A.
471VR2MT1	Válvula rotativa 2 de descarga del electrofiltro.	Descargar el material recuperado por el cuerpo 1 del electrofiltro al circuito de transporte de finos, trabajar a una velocidad de 3.2 rpm, con consumo menor a 0.4 A.
471TS3	Transformador rectificador de celda 3 de electrofiltro.	Generar alta tensión continua entre electrodo emisor negativo y electrodo de colección positivo, con valores de tensión entre 40Kv y 80Kv y corriente máxima entre electrodos de 900 mA, con el fin que las partículas de polvo de los gases se adhieran a los electrodos de colección. Este trabajo se realiza mediante un sistema de control automatizado.
471CF3	Calefacción de celda 3 de electrofiltro.	Regular la temperatura en la parte inferior de las tolvas, del aislador y del eje, para mantenerlas secas y libres de humedad, la temperatura de control puede ser configurada entre 80°C y 100°C.

		Consumo máximo de corriente 15 A.
471GE3	Golpeador de electrodos de celda 3 de electrofiltro.	Golpear placas colectoras (electrodos de colección) y placas de emisión (electrodos emisores de electrones) para desprender el polvo recuperado y depositar el material a la cámara colectora, con una frecuencia de golpeo configurable de 1 a 60 minutos. Consumo máximo de corriente 0.62 A.
471AR3MT1	Cadena de arrastre en electrofiltro (Central Lado Sur).	Transportar el material recuperado del cuerpo 3 del electrofiltro, a una velocidad de 0.06 m/s y consumo de corriente menor a 3.47A
471VR3MT1	Válvula rotativa 3 de descarga del electrofiltro	Descargar el material recuperado por el cuerpo 1 del electrofiltro al circuito de transporte de finos, trabajar a 3.2 rpm de velocidad, con consumo menor a 0.4A
471TS4	Transformador rectificador de celda 4 de electrofiltro.	Generar alta tensión continua entre electrodo emisor negativo y electrodo de colección positivo, con valores de tensión entre 40 Kv y 80 Kv y corriente máxima entre electrodos de 900 mA, con el fin que las partículas de polvo de los gases se adhieran a los electrodos de colección. Este trabajo se realiza mediante un sistema de control automatizado.
471CF4	Calefacción de celda 4 de electrofiltro.	Regular la temperatura en la parte inferior de las tolvas, del aislador y del eje, para mantenerlas secas y libres de humedad, la temperatura de control puede ser configurada entre 80°C y 100°C. Consumo máximo de corriente 15 A.
471GE4	Golpeador de electrodos de celda 4 de electrofiltro.	Golpear placas colectoras (electrodos de colección) y placas de emisión (electrodos emisores de electrones) para desprender el polvo recuperado y depositar el material a la cámara colectora, con una frecuencia de golpeo configurable de 1 a 60 minutos. Consumo máximo de corriente 0.62A.
471AR4MT1	Cadena de arrastre en electrofiltro (Lado Sur).	Transportar el material recuperado del cuerpo 4 del electrofiltro, a una velocidad de 0.06 m/s y consumo de corriente menor a 3.47 A.
471VR4MT1	Válvula rotativa 4 de descarga del electrofiltro.	Descargar el material recuperado por el cuerpo 1 del electrofiltro al circuito de transporte de finos, trabajar a 3.2 rpm de velocidad, con consumo menor a 0.4A
471RE1MR1	Compuerta de exhaustor electrofiltro.	Regular la apertura del ducto de toma de gases a la salida del electrofiltro, controlar la apertura de 0 a 100% según requiere el sistema.
471EX1MT1	Exhaustor de electrofiltro.	Tomar gases a través del electrofiltro, regulando la velocidad del motor de 0 a 580 rpm, con consumo de corriente máximo de 715 A y responder a los cambios consigna de velocidad del controlador de presión del

		cabezal del horno.
471EP4MT1	Transportador helicoidal de descarga hacia circuito de transporte de finos.	Transportar material a una velocidad mayor a 28 RPM y consumo de corriente menor a 34.8 A
471EP5MT1	Transportador helicoidal de descarga hacia circuito de transporte de finos.	Transportar material a una velocidad mayor a 28 RPM y consumo de corriente menor a 34.8 A.
471EP6	Transportador helicoidal de descarga hacia circuito de transporte de finos.	Transportar material a una velocidad mayor a 27 RPM y consumo de corriente menor a 17.4 A.
471VG4VS1	Compuerta tipo guillotina que habilita descarga del espiral 471EP6	Habilitar descarga de material, trabajar con consumó máximo de motor de compuerta por debajo de 0.87A.
471VN1VS1	Compuerta neumática que deriva descarga a elevadores inclinados	Derivar el material hacia una de 2 opciones de descarga seleccionadas, completar las distancias de desplazamiento reguladas.
472EP6	Transportador helicoidal del circuito de transporte de finos.	Transportar material a una velocidad mayor a 24 RPM y consumo de corriente menor a 14.15 A.
472EP7	Transportador helicoidal del circuito de transporte de finos.	Transportar material a una velocidad mayor a 38 RPM y consumo de corriente menor a 14.15 A.
472EP8	Transportador helicoidal del circuito de transporte de finos.	Transportar material a una velocidad mayor a 50 RPM y consumo de corriente menor a 23.7 A.
472EB1	Elevador del circuito de transporte de finos.	Transportar material a un nivel superior a una velocidad mayor a 1.17 m/s, con consumo de corriente menor a 29.3 A, densidad promedio de material transportado de 1300 Kg/m3.
472CE2	Compuerta de desvío de finos al silo 5 o silo 7.	Derivar el material hacia una de 2 opciones de descarga seleccionadas, completar las distancias de desplazamiento reguladas, con consumo de corriente menor a 1.6 A.
472SA3	Soplador de canaleta para descarga de finos al silo 7.	Desplazar el aire del exterior hacia la canaleta con un caudal mayor a 29 m3/min y consumo de corriente menor a 8.83 A.
461TQ1VS1	Válvula 1 para control de ingreso de agua al tanque del sistema de inyección.	Dosificar agua al tanque del sistema de enfriamiento de manera controlada según el nivel de agua.
461TQ1VS2	Válvula 2 para control de ingreso de agua al tanque del sistema de inyección.	Dosificar agua al tanque del sistema de enfriamiento de manera controlada según el nivel de agua.
461TQ1	Tanque de Sistema de Inyección de Agua de Enfriamiento de Gases.	Almacenar el agua para necesaria para que funcione el sistema de enfriamiento de gases, contar con indicadores nivel para controlar el llenado y la descarga.

461BH1MT1	Bomba 1 de Inyección de Agua de Enfriamiento de Gases.	Generar caudal de agua para el sistema de enfriamiento por aspersión, con consumo de corriente menor a 27.3 A.
461BH2MT1	Bomba 2 de Inyección de Agua de Enfriamiento de Gases.	Generar caudal de agua para el sistema de enfriamiento por aspersión, con consumo de corriente menor a 27.3 A.
461BH1VS1	Válvula de Ingreso para Bomba 1 de Inyección.	Habilitar el ingreso de agua a la bomba 461BH1.
461BH2VS1	Válvula de Ingreso para Bomba 2 de Inyección.	Habilitar el ingreso de agua a la bomba 461BH2.
461BH1VS3	Válvula Solenoide para Sistema de Inyección de agua - Etapa 1	Habilitar la aspersión de agua a las válvulas de la etapa 1, cuando la temperatura de gases a la entrada del electrofiltro llegue a 355°C y luego baje a menos de 310°C
461BH1VS4	Válvula Solenoide para Sistema de Inyección de agua - Etapa 1	Habilitar la aspersión de agua a las válvulas de la etapa 1, cuando la temperatura de gases a la entrada del electrofiltro llegue a 355°C y luego baje a menos de 310°C
461BH1VS5	Válvula Solenoide para Sistema de Inyección de agua - Etapa 2	Habilitar la aspersión de agua a las válvulas de la etapa 2, cuando la temperatura de gases a la entrada del electrofiltro llegue a 375°C y luego baje a menos de 335°C
461BH1VS6	Válvula Solenoide para Sistema de Inyección de agua - Etapa 2	Habilitar la aspersión de agua a las válvulas de la etapa 2, cuando la temperatura de gases a la entrada del electrofiltro llegue a 375°C y luego baje a menos de 335°C

*Nota:* Elaboración propia.

### **Tabla 98**

*Funciones de subsistemas del sistema de transporte de clinker del Horno 1 de la planta Atocongo de Unacem.*

<b>Funciones de subsistemas del sistema de transporte de clinker</b>		
<b>Subsistemas Línea 1 de Clinkerización (Nivel 2)</b>		<b>Funciones</b>
<b>Codificación</b>	<b>Descripción</b>	
471CL1	Colector a la descarga de clinker sobre elevadores inclinados.	Reducir las emisiones de material particulado, monitorear la presión diferencial entre ingreso y salida hasta -50 mbar.
471EX3MT1	Exhaustor de colector.	Succionar el polvo del circuito de transporte de clinker vía elevadores inclinados hasta llegar al colector 471CL1, con velocidad en el rodete de 3360rpm y con consumo de corriente máximo de 23.7 A.

471EP3MR1	Transportador Helicoidal de descarga del colector 471CL1.	Transportar material recuperado por el colector 471CL1 hacia los elevadores inclinados, con capacidad máxima de 25 t/h y consumo de corriente menor a 7.9 A.
471CL2	Colector de polvo de descarga de elevadores de clinker.	Reducir las emisiones de material particulado, monitorear la presión diferencial entre ingreso y salida hasta -50 mbar.
471EX4MT1	Exhaustor de colector 471CL2.	Succionar el polvo del circuito de transporte de clinker hasta llegar al colector 471CL2, con velocidad en el rodete de 3360rpm y con consumo de corriente máximo de 23.7 A.
471EP1MR1	Transportador helicoidal de descarga de colector 471CL2.	Transportar material recuperado por el colector 471CL2, con capacidad máxima de 25 t/h, velocidad de 92 rpm y consumo de corriente menor a 11.8 A.
471CN4VS1	Válvula guillotina que habilita descarga del 471EP1 al 471EP2.	Habilitar o inhabilitar la descarga sobre el espiral 471EP2 según la selección de descarga.
471EP2	Transportador helicoidal de descarga desde 471EP1 hacia circuito de transporte de finos.	Transportar material recuperado hacia el circuito de recuperación de finos, con capacidad máxima de 25 t/h y consumo de corriente menor a 3.5 A.
471VG2	Válvula guillotina que habilita descarga del espiral 471EP1 hacia circuito de transporte de clinker.	Habilitar o inhabilitar la descarga del polvo recuperado por el 471CL2 hacia la cancha de clinker o fajas transportadoras, con consumo máximo de corriente de 0.87 A.
471CE1	Compuerta de descarga de polvo de clinker hacia tolva o incodidos (cancha auxiliar).	Direccionar el polvo recuperado por el 471CL2 hacia la cancha de clinker o fajas transportadoras, e indicar la posición de descarga habilitada.
482CL4	Colector de polvo de fajas sobre torre 1 y 2 de clinker.	Reducir las emisiones de material particulado, monitorear la presión diferencial entre ingreso y salida hasta -50 mbar.
482EX4MT1	Exhaustor d colector 482CL4.	Succionar el polvo del circuito de transporte de clinker vía fajas transportadoras hasta llegar al colector 482CL4, con velocidad en el rodete de 3360rpm y con consumo de corriente máximo de 19.6 A.
481CE4	Compuerta eléctrica que habilita descarga de tolva de clinker hacia faja 481FT1.	Aperturar o anular la descarga de clinker sobre la faja 481FT1, indicar la posición actual y consumir menos de 1.73 A.
481FT1	Faja de transporte de clinker hacia Torre 1 o Torre 2 de cancha de clinker.	Transportar el clinker hacia la cancha de almacenamiento (torre 1 o torre 2), con velocidad de 0.7 m/s, soportar temperaturas hasta 300°C y consumo de corriente menor a 119 A.
481CN1VS1	Compuerta neumática hacia torre 1 o torre 2 vía faja 482FT2.	Derivar el material transportado por la faja 481FT1 hacia la faja 482FT2 o torre 1 de la cancha de clinker, indicar la posición de la compuerta.
482FT2	Faja de transporte de clinker hacia torre 2 de cancha de clinker.	Transportar el clinker hacia la torre 2 de la cancha de almacenamiento, con velocidad de 0.42 m/s, soportar

		temperaturas hasta 300°C y consumo de corriente menor a 29.6 A.
481BH1	Bomba de agua centrífuga para enfriamiento de clinker transportado por faja 481FT1.	Generar caudal de agua para el sistema de aspersión y enfriar el clinker sobre la faja 481FT1, consumir corriente menor a 2.95 A.
481FT1VS1	Válvula solenoide 1 para enfriamiento de clinker transportado por faja 481FT1.	Regar el tramo 1 de la faja 481FT1 según el valor de la consigna de temperatura del clinker.
481FT1VS2	Válvula solenoide 2 para enfriamiento de clinker transportado por faja 481FT1.	Regar el tramo 2 de la faja 481FT1 según el valor de la consigna de temperatura del clinker.
481FT1VS3	Válvula solenoide 3 para enfriamiento de clinker transportado por faja 481FT1.	Regar el tramo 3 de la faja 481FT1 según el valor de la consigna de temperatura del clinker.

*Nota:* Elaboración propia.