

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

ESCUELA DE POSGRADO



**PROPUESTA PARA AUMENTAR LA EFICACIA GLOBAL DE
UNA PLANTA DE FOSFATO BICÁLCICO EMPLEANDO
HERRAMIENTAS DE LEAN MANUFACTURING**

Tesis para obtener el grado académico de Maestro en
Gestión de la Ingeniería
que presenta:

Juan Carlos Veliz Chapoñán

Asesor:

Mery Roxana León Perfecto

Lima, 2023

Informe de Similitud

Yo, Mery Roxana León Perfecto, docente de la Facultad de ciencias e ingeniería de la Escuela de Posgrado de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis/el trabajo de investigación titulado

Propuesta para aumentar la eficacia global de una planta de fosfato bicálcico empleando herramientas de *lean manufacturing*.

Del autor:

Juan Carlos Veliz Chapoñán

dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 16 %. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 08/12/2021.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

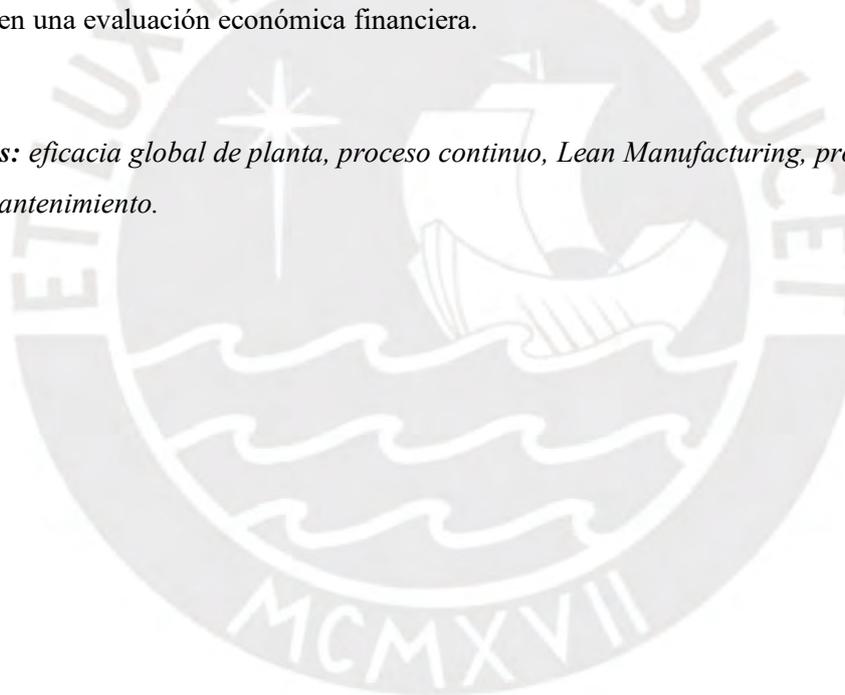
Lugar y fecha: Lima, 30 de mayo 2023

Apellidos y nombres del asesor / de la asesora: <u>León Perfecto, Mery Roxana</u>	
DNI: 09909590	Firma 
ORCID: 0000-0002-9615-1510	

Resumen

En un proceso continuo, en donde hay una diversidad de equipos y junto con ellos una diversidad de problemas (generalmente por mantenimiento o por capacidad del proceso), entornos de trabajo deficientes, y un alto riesgo de accidentes, existe entonces una potencial oportunidad para la aplicación de herramientas de mejora para aumentar la eficacia global de una planta en proceso continuo; uno de esos procesos, es el proceso productivo de fosfato bicálcico en donde se propone la aplicación de herramientas del *Lean Manufacturing* asociadas en un nuevo sistema de mejora continua llamado *CISOPE*, realizando inicialmente diagnósticos en el proceso mediante herramientas de análisis y toma de decisiones en procesos industriales, tales por ejemplo como el diagrama de procesos, el gráfico de Pareto, histogramas, seguidamente en función a esta información se evalúa las herramientas del *Lean Manufacturing* que se deben aplicar para solucionar los problemas enfocándose en las causas que lo originan, evaluando finalmente los beneficios que proporcionarán cada una de ellas en relación a la eficacia global de la planta de fosfato bicálcico, sustentando la viabilidad de la implementación del nuevo sistema en una evaluación económica financiera.

Palabras claves: *eficacia global de planta, proceso continuo, Lean Manufacturing, procesos industriales, mantenimiento.*

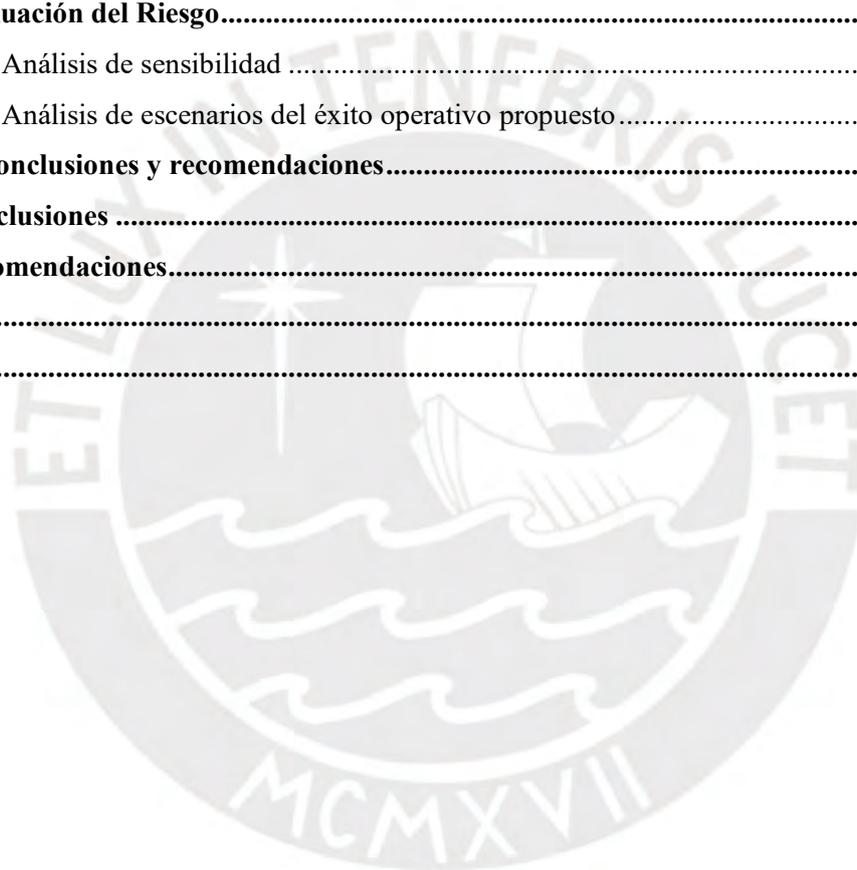


Contenido

Resumen.....	iii
Introducción.....	xii
Capítulo 1: Marco teórico.....	1
1.1. Procesos industriales de fabricación	1
1.2. Características especiales de la industria de procesos	1
1.3. Fundamentos generales del <i>Lean Manufacturing</i>	1
1.4. Objetivo y principios de <i>Lean Manufacturing</i> para la industria de procesos.....	2
1.5. Bases de <i>Lean Manufacturing</i> para la industria de procesos.....	2
1.6. Eficacia global de la planta en la industria de procesos.....	3
1.7. Estructura de las pérdidas	4
1.8. Limitantes de la productividad en la industria de procesos	4
1.9. Herramientas de mejora en procesos industriales	5
1.9.1. 5 S.....	5
1.9.2. Kaizen.....	6
1.9.3. Jidoka	6
1.9.4. TPM (Total productive maintenance)	6
1.10. Herramientas de diagnóstico para procesos industriales	7
1.10.1. Diagrama de Ishikawa.	7
1.10.2. Diagrama de Gantt.....	7
1.10.3. Diagrama matricial.	8
1.10.4. Diagrama de priorización.....	9
1.10.5. Diagramas de flujo en bloques.....	10
1.10.6. Diagramas de flujo de procesos	11
1.10.7. Histogramas.....	11
1.10.8. Gráficas de barras.....	12
1.10.9. Gráfico de Pareto.....	12
1.10.10. Gráficos de control.....	13
1.10.11. Hojas de verificación.....	13
1.10.12. Gráficos de dispersión.....	14
1.10.13. Gráficas de tendencia.....	14
1.10.14. Estratificación.....	15
1.10.15. Técnica de los cinco ¿Por qué?.....	15
1.10.16. 5W-1H.....	16
1.10.17. Indicadores claves de desempeño (KPI)	16
1.10.18. Flujos de caja de proyectos de ingeniería.....	16

1.10.19. Análisis del riesgo financiero.....	16
Capítulo 2: La empresa.....	17
2.1. Descripción de la empresa.....	17
2.2. Política del sistema integrado de gestión.....	17
2.3. Línea de productos	17
2.3.1. Químicos	17
2.3.2. Sales	17
2.4. Materias primas e insumos	18
2.5. Procesos	18
2.5.1. Proceso Industrial cloro soda	18
2.5.2. Proceso Industrial de fosfato bicálcico.....	19
Capítulo 3: Diagnóstico.....	20
3.1. Descripción del proceso productivo de la planta de fosfato bicálcico.	20
3.1.1. Chancado y Molienda.....	20
3.1.2. Lixiviación y Separación	21
3.1.3. Precipitación y Lavado	21
3.1.4. Filtración	22
3.1.5. Secado	22
3.1.6. Envasado	22
3.1.7. Almacenamiento.....	23
3.2. Análisis de los indicadores de gestión de planta	24
3.2.1. Gestión de paradas de planta u operaciones	24
3.2.2. Gestión de la producción y consumo de materiales	27
3.2.3. Gestión de la capacidad de planta	29
3.2.4. Gestión de la calidad de planta	30
3.2.5. Eficacia global de planta de fosfato bicálcico	31
3.3. Criterios de evaluación.....	33
3.4. Selección de operaciones críticas	33
3.5. Identificación y selección de problemas críticos	34
3.6. Análisis de causas y efecto de los problemas críticos	35
Capítulo 4: Propuesta de mejora	39
4.1. Características técnicas de la operación de secado	39
4.2. Selección del sistema de secado para la implementación del CISOPE	43
4.3. Implementación de CISOPE en la operación de secado	44
4.3.1. Alcance	44
4.3.2. Objetivos	44
4.3.3. Metodología de implementación CISOPE	44

Capítulo 5: Evaluación económica financiera	108
5.1. Evaluación Económica y Financiera	108
5.1.1. Ingresos:	108
5.1.2. Egresos	108
5.1.3. Financiamiento	110
5.1.4. Estructura de Pagos	110
5.1.5. Costo Ponderado.....	110
5.1.6. Flujo financiero neto.....	110
5.1.7. Flujo de caja económico financiero	111
5.1.8. Indicadores económico financieros.....	111
5.2. Evaluación del Riesgo.....	111
5.2.1. Análisis de sensibilidad	112
5.2.2. Análisis de escenarios del éxito operativo propuesto.....	113
Capítulo 6: Conclusiones y recomendaciones.....	114
6.1. Conclusiones	114
6.2. Recomendaciones.....	115
Bibliografía.....	116
Anexos.....	119



Índice de tablas

<i>Tabla 1 Las 10 etapas de la autonomación (Jidoka)</i>	8
<i>Tabla 2 Diagrama de priorización para la selección de las operaciones críticas</i>	34
<i>Tabla 3 Diagrama de priorización para la selección de los problemas críticos</i>	35
<i>Tabla 4 Nivel de priorización de los problemas críticos</i>	35
<i>Tabla 5 Hoja de verificación de fallas de equipos en la operación de secado</i>	37
<i>Tabla 6 Lista de causas influyentes en las fallas de los equipos de la operación de secado</i>	38
<i>Tabla 7 Selección de herramientas de mejora para la eliminación de fallas</i>	38
<i>Tabla 8 Equipos y sus funciones en la operación de secado</i>	40
<i>Tabla 9 Horas perdidas en cada sistema de secado en la planta de fosfato bicálcico durante el año 2019</i> ...	41
<i>Tabla 10 Valoración de la severidad</i>	48
<i>Tabla 11 Valoración de la ocurrencia</i>	48
<i>Tabla 12 Plan de implementación del CISOPE en el sistema de secado 01</i>	50
<i>Tabla 13 Valoración de la detección</i>	51
<i>Tabla 14 Valoración del NPR</i>	51
<i>Tabla 15 Análisis de modo y efecto de la falla del sistema de secado 01</i>	53
<i>Tabla 16 Plan de capacitaciones CISOPE</i>	54
<i>Tabla 17 Toneladas perdidas de fosfato bicálcico durante el año 2019</i>	55
<i>Tabla 18 Cantidad y calidad de la pérdida de producto en la operación de secado durante el año 2019</i>	56
<i>Tabla 19 Producto recuperable del total de producto no vendible</i>	57
<i>Tabla 20 Escala de colores de clasificación</i>	57
<i>Tabla 21 Tiempo de parada por falta de limpieza (TPPFL) durante el 2019</i>	61
<i>Tabla 22 Porcentaje disponibilidad de chumaceras en los equipos C-15 y T-27 durante el 2018-2020</i>	62
<i>Tabla 23 Plan de limpieza del ventilador C-15, tornillo sin fin T-27, T28 y secador flash SF01</i>	64
<i>Tabla 24 Plan de lubricación y medición de vibración del ventilador C-15, tornillo sin fin T-27 y T-28</i>	64
<i>Tabla 25 Plan maestro del mantenimiento planificado</i>	66
<i>Tabla 26 Criterios para evaluar la criticidad de los equipos seleccionados en el sistema de secado 01</i>	69
<i>Tabla 27 Calcificación de la criticidad de los equipos seleccionados en el sistema de secado 01</i>	71
<i>Tabla 28 Indicadores de tiempo de los equipos seleccionados del sistema de secado 01</i>	74
<i>Tabla 29 Indicadores de mantenimiento de los equipos seleccionado del sistema de secado 01</i>	75
<i>Tabla 30 Metas propuestas de mantenimiento planificado para los equipos críticos del sistema de secado 01</i>	76
<i>Tabla 31 Equipos de control en el sistema de secado 01</i>	79

<i>Tabla 32 Indicadores de disponibilidad y eficiencia de equipos críticos del sistema de secado 01</i>	87
<i>Tabla 33 MTBF y MTRR de los equipos críticos del sistema de secado 01</i>	88
<i>Tabla 34 Confiabilidad del sistema de secado 01</i>	88
<i>Tabla 35 Costos globales de mantenimiento del sistema de secado 01</i>	89
<i>Tabla 36 Porcentaje de humedad de la torta del filtro prensa FP01 – abril del 2019</i>	93
<i>Tabla 37 Tiempo de reparación de las canaletas del FP01 por corrosión química</i>	94
<i>Tabla 38 Especificaciones de operación del tablero de control Andón</i>	99
<i>Tabla 39 Indicadores de gestión de la implementación del CISOPE en la operación de secado de la planta FBC</i>	103
<i>Tabla 40 Actividades y tiempos estimados por años de los mantenimientos preventivos de los equipos críticos del sistema de secado 01</i>	105
<i>Tabla 41 Ingresos por la implementación del CISOPE</i>	108
<i>Tabla 42 Egresos por la implementación del CISOPE</i>	109
<i>Tabla 43 Estructura de inversión</i>	110
<i>Tabla 44 Estructura de pagos</i>	110
<i>Tabla 45 Costo ponderado del capital</i>	110
<i>Tabla 46 Flujo de caja financiero neto</i>	110
<i>Tabla 47 Flujo de caja económico financiero neto</i>	111
<i>Tabla 48 Indicadores económico financieros</i>	111
<i>Tabla 49 Análisis de sensibilidad inversión versus ingresos</i>	112
<i>Tabla 50 Análisis de escenarios</i>	113
<i>Tabla A 1 Matriz de ponderación de criterios</i>	119
<i>Tabla A 2 Valoración respecto del desempeño</i>	120
<i>Tabla A 3 Valoración respecto de la frecuencia</i>	120
<i>Tabla A 4 Valoración respecto del impacto en el cliente</i>	120
<i>Tabla A 5 Valoración respecto del impacto en la empresa</i>	121
<i>Tabla A 6 Valoración respecto del importancia</i>	121
<i>Tabla A 7 Valoración respecto a la susceptibilidad al cambio</i>	121
<i>Tabla A 8 Matriz de priorización global</i>	121
<i>Tabla B 1 Matriz de ponderación de criterios para la determinación de problemas críticos</i>	123
<i>Tabla B 2 Valoración respecto a la frecuencia</i>	123
<i>Tabla B 3 Valoración respecto al impacto en el cliente</i>	123
<i>Tabla B 4 Valoración respecto al impacto en la empresa</i>	124
<i>Tabla B 5 Valoración respecto a la susceptibilidad al cambio</i>	124
<i>Tabla B 6 Matriz de priorización global</i>	124

Índice de figuras

<i>Figura 1 La casa del sistema de producción de Toyota.</i>	3
<i>Figura 2 Eficacia global de la planta y estructura de pérdidas.</i>	4
<i>Figura 3 Qué son las 5S.</i>	5
<i>Figura 4 Esquema de los componentes del OEE.</i>	7
<i>Figura 5 Diagrama Causa – efecto</i>	9
<i>Figura 6 Ejemplo de diagrama de matriz.</i>	9
<i>Figura 7 Diagrama de proceso de decisión</i>	10
<i>Figura 8 Block Flow Process Diagram for the Production of Benzene.</i>	10
<i>Figura 9 Skeleton Process Flow Diagram (PFD) for the Production of Benzene via the Hydrodealkylation of Toluene</i>	11
<i>Figura 10 Histograma, concentración de jugo de naranja</i>	12
<i>Figura 11 Gráfico de barras</i>	12
<i>Figura 12 Gráfico de Pareto</i>	13
<i>Figura 13 Ejemplos de gráficos de control</i>	13
<i>Figura 14 Formato general de una hoja de verificación o de datos</i>	14
<i>Figura 15 Diagrama de dispersión. Relación peso – estatura</i>	14
<i>Figura 16 Gráfica de tendencia del patrón de demanda aleatoria con estacionalidad</i>	15
<i>Figura 17 Estratificación. Edad de operarios del sector producción</i>	15
<i>Figura 18 Ruta para el diagnóstico del proceso productivo de fosfato bicálcico</i>	20
<i>Figura 19 Diagrama de flujo en bloques del proceso productivo de fosfato bicálcico.</i>	23
<i>Figura 20 Tiempo total de parada por cada operación durante el periodo 2017 – 2019.</i>	24
<i>Figura 21 Frecuencia de paradas por operación durante el periodo 2017 – 2019.</i>	25
<i>Figura 22 Tiempo de paradas programadas durante los años 2017 al 2019</i>	26
<i>Figura 23 Frecuencia de fallas en las paradas de las operaciones durante los años 2017 -2019</i>	26
<i>Figura 24 Consumos unitarios ponderados de los principales materiales empleados en el proceso durante los años 2017 -2019</i>	27
<i>Figura 25 Porcentaje de cumplimiento del presupuesto de producción durante los años 2017 al 2019</i>	28
<i>Figura 26 Indicadores de gestión de planta durante los años 2017 al 2019</i>	29
<i>Figura 27 Defectos de calidad registrados durante los años 2017 al 2019</i>	30
<i>Figura 28 Número de reclamos de clientes durante los años 2017 al 2019</i>	31
<i>Figura 29 Producción reprocesada registrada durante los años 2017 al 2019</i>	31
<i>Figura 30 Eficacia global de planta registrada durante los años 2017 al 2019</i>	32
<i>Figura 31 Diagrama de causa y efecto para el análisis de las fallas de equipos en la operación de secado</i>	36

<i>Figura 32 Diagrama de Pareto para la determinación de causas de las fallas de los equipos en la operación de secado.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 33 Sistema de mejora continua de la eficacia global de una planta.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 34 Diagrama de flujo de procesos (PFD) de la operación de secado</i>	<i>42</i>
<i>Figura 35 Horas perdidas por cada sistema de secado durante el año 2019.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 36 Diagrama de Pareto de los equipos críticos del sistema de secado 01.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 37 Metodología CISOPE para la planta de fosfato bicálcico.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 38 Filosofía para el marketing del CISOPE.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 39 Organigrama del equipo de la oficina técnica AMEF.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 40 Estructura organizacional de la implementación del CISOPE.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 41 Niveles de capacidad.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 42 Diagrama de Pareto de las pérdidas de fosfato bicálcico del sistema de secado 01 durante el 2019</i>	<i>55</i>
<i>Figura 43 Producto de fosfato bicálcico limpieza de tornillos sin fin</i>	<i>56</i>
<i>Figura 44 Producto de fosfato bicálcico limpieza de secador flash</i>	<i>56</i>
<i>Figura 45 Zaranda vibratoria “Z11”.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 46 Formato de tarjeta verde – CISOPE</i>	<i>58</i>
<i>Figura 47 Formato de tarjeta amarilla – CISOPE.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 48 Formato de tarjeta naranja – CISOPE.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 49 Zaranda vibratoria “Z12”.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 50. Formato de tarjeta roja – CISOPE.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 51 Diagrama de flujo para la clasificación de producto</i>	<i>60</i>
<i>Figura 52 Diagrama de Pareto del tiempo de parada por falta de limpieza de los equipos críticos del sistema de secado 01 durante el 2019.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 53 Comportamiento de la vibración en el ventilador C-15.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 54 Ventilador C – 15 y sus componentes</i>	<i>63</i>
<i>Figura 55 Tornillo sin fin T28.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 56 Producto compactado en el canalón del tornillo sin fin T-28.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 57 Registro de las intervenciones de mantenimiento del ventilador C-15 durante el año 201967</i>	
<i>Figura 58 Tipo de avisos de mantenimiento – SAP PM</i>	<i>67</i>
<i>Figura 59 Campos en la creación de avisos MI de mantenimiento en SAP PM</i>	<i>68</i>
<i>Figura 60 Gráfica de Jack Knife.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 61 Diagrama de flujo del sistema de mantenimiento autónomo</i>	<i>73</i>
<i>Figura 62 Diagrama de flujo de mejora de la calidad del mantenimiento correctivo</i>	<i>77</i>
<i>Figura 63 Vista de transacción ZFMRP_RW_BUDCONG: Reporte uso de presupuesto gastos</i>	<i>78</i>
<i>Figura 64 Diagrama de flujo del sistema de mantenimiento de los equipos de la planta FBC</i>	<i>80</i>
<i>Figura 65 Base de datos del control del mantenimiento planificado de planta de fosfato bicálcico ...</i>	<i>81</i>

<i>Figura 66 Plan de cambio de tornillos sin fin de la planta de fosfato bicálcico</i>	82
<i>Figura 67 Plan de cambio de ventiladores de la planta de fosfato bicálcico</i>	82
<i>Figura 68 Base de datos de control de componentes de equipos críticos del sistema de secado 01 de la planta de fosfato bicálcico</i>	83
<i>Figura 69 Diagrama de flujo para la planificación y ejecución del mantenimiento preventivo</i>	84
<i>Figura 70 Diagrama de flujo para la preparación de las paradas generales de planta</i>	85
<i>Figura 71 Diagrama de flujo para la planificación y ejecución del mantenimiento predictivo</i>	86
<i>Figura 72 Diagrama de bloques de la operación en serie de los equipos críticos del sistema de secado 01</i>	87
<i>Figura 73 Metodología de implementación de mejoras enfocadas</i>	90
<i>Figura 74 Análisis del por qué – por qué de las paradas por limpieza del secador SF01</i>	91
<i>Figura 75 Diagrama de flujo de procesos (PFD) de los equipos críticos de la operación de secado</i> .	92
<i>Figura 76 Diagrama de flujo del filtro prensa FP01</i>	92
<i>Figura 77 Tendencia del % de humedad de la torta del filtro prensa FP01 – abril del 2019</i>	93
<i>Figura 78 P&ID básico de la mejora enfocada en el sistema de secado 01 de la planta de fosfato bicálcico</i>	96
<i>Figura 79 Tarjeta CISOPE</i>	98
<i>Figura 80 Tablero de control Andón</i>	99
<i>Figura 81 Tablero de control OPE de uso virtual de la planta de fosfato bicálcico</i>	100
<i>Figura 82 Tablero de control SST de uso en campo de la planta de fosfato bicálcico</i>	101
<i>Figura 83 Metodología de la auditoría CISOPE</i>	102
<i>Figura 84 Tasa de pérdida de producto por efecto de limpieza de los equipos críticos en el sistema de secado 01</i>	104
<i>Figura 85 Tasa de eficiencia de la planta de fosfato bicálcico</i>	105
<i>Figura 86 Tasa de disponibilidad de la planta de fosfato bicálcico</i>	106
<i>Figura 87 Tasa de costos globales de mantenimiento de la planta de fosfato bicálcico</i>	106
<i>Figura 88 Eficacia global de la planta de fosfato bicálcico antes y después de la implementación del CISOPE</i>	107
<i>Figura 89 Integración de las herramientas del CISOPE en el sistema de secado 01</i>	107
<i>Figura C 1 Análisis de la confiabilidad del tornillo T-27</i>	125
<i>Figura C 2 Análisis de la confiabilidad del tornillo T-30</i>	125
<i>Figura C 3 Análisis de la confiabilidad del tornillo SF01</i>	126
<i>Figura C 4 Análisis de la confiabilidad del tornillo T-16</i>	126
<i>Figura C 5 Análisis de la confiabilidad del tornillo T-19</i>	127
<i>Figura C 6 Análisis de la confiabilidad del tornillo T-28</i>	127

Introducción

El presente estudio se enfoca en una propuesta para aumentar la eficacia global de una planta de fosfato bicálcico, siendo esta una planta de flujo continuo, en la cual existe una gran oportunidad de mejora, ya que presenta varios problemas como falla de equipos, fallas en el control del proceso, entre otros.

La permanencia de estas fallas en el tiempo, originarán que la planta continúe perdiendo dinero por paradas intempestivas parciales o totales al no garantizar la disponibilidad de los equipos, o pérdidas por los constantes reprocesos a causa de las fallas en la calidad del mismo proceso o por productos fuera de especificación técnica por una mala gestión del proceso, poniendo en riesgo la relación con sus clientes al no garantizar su tasa de rendimiento, es decir, no poder producir lo suficiente para satisfacer la demanda de sus clientes con la calidad de la especificación técnica requerida, y por tanto, perderlos por retrasos en los tiempos de entrega por falta de producción y calidad.

El presente estudio se basará en la elaboración de una propuesta de mejora para aumentar la eficacia global de una planta de fosfato bicálcico empleando herramientas de *Lean Manufacturing*, llevándose a cabo una profunda exploración bibliográfica sobre los conceptos más significativos y necesarios para la solución del problema. Por consiguiente, los contenidos académicos cumplirán un rol muy sustancial como fuentes de información directa que soportan la correcta aplicación de esta metodología.

La descripción de la empresa, materia de investigación, resulta clave para entender sus procesos en función de sus políticas de trabajo. El diagnóstico que se hará en la planta de fosfato bicálcico es la etapa siguiente en el presente trabajo de investigación, se basará inicialmente en el análisis de los indicadores de gestión de planta disponible y utilizados por la planta, que relacionados permitirán llegar a una síntesis, interpretación e identificación de las causas de las fallas mediante la evaluación de los datos tomados del proceso productivo, aplicando herramientas de análisis y toma de decisiones en procesos industriales tales como diagrama de Ishikawa, gráficos de control, gráfico de Pareto, o 5 W.

Después del análisis del proceso y diagnóstico de los principales problemas y sus respectivas causas que afectan directamente la producción, calidad y disponibilidad de una planta de fosfato bicálcico, se seleccionarán las herramientas del *Lean Manufacturing* adecuadas para dar solución a las causas de los problemas identificados, finalmente estas herramientas se agruparán en un sistema de mejora y se desarrollará su implementación.

El estudio de investigación finaliza con la elaboración de un análisis de la rentabilidad del proyecto de mejora basado en un flujo de caja económico financiero, que busca estimar el valor en términos monetarios de la propuesta de mejora en una planta de fosfato bicálcico después de la implementación, sustentada en su análisis del riesgo financiero.

Capítulo 1: Marco Teórico

En este capítulo, se presenta el desarrollo de los principales conceptos sobre procesos industriales, *Lean Manufacturing*, herramientas de mejora y de diagnóstico.

1.1 Procesos industriales de fabricación

Los procesos industriales dedicados a la fabricación se pueden clasificar en dos grupos: fabricación de ensamblajes y fabricación de la industria de procesos. La fabricación de ensamblajes generalmente consiste en la fabricación de piezas y componentes individuales que los operadores y las máquinas sueldan, atornillan o fijan de otro modo en un producto terminado mientras las industrias de procesos se caracterizan por procesos que incluyen reacciones químicas, mezcla, extrusión, formación de hojas, corte, etc. (King, 2009). Según Smith (1998) la industria de ensamblaje es un proceso discreto y la industria de procesos implica un procesamiento continuo, sin embargo, King (2009) afirmó que aunque muchos de estos procesos son continuos (refinación de petróleo, fabricación de productos químicos a granel), muchos son productos químicos por lotes (pinturas para el hogar, lubricantes industriales) o lo que se podría considerar la preparación de lotes mecánicos (rollos de papel, cubos de fibra) volviéndose discretos más adelante en el proceso (tubos de pasta de dientes, rollos de alfombra, cuarto de galón y cubos de pintura de galón, tarros de mayonesa, cajas de cereal).

1.2 Características especiales de la industria de procesos

Según Suzuki (1995) la industria de procesos se caracteriza por su diversidad de sistemas productivos. Este tipo de plantas, son unidades complejas en relación a su variedad de equipos y operaciones (Arata, 2009), en donde pueden ocurrir cambios físicos y/o químicos ordenadas para la transformación de materias primas en productos finales diferentes (Kirkpatrick, 1956) y asociadas a un conjunto de corrientes de proceso de entrada y salida (Felder & Rousseau, 2011). Según Sinnott y Towler (2012), en este tipo de plantas se requiere operaciones de preparación de las materias primas y de separación y purificación del producto principal y secundarios, operando normalmente de forma continua o discontinua y, logrando un estado estacionario durante su funcionamiento (Moran & Shapiro, 2018), sin embargo, según Suzuki (1995), requieren paradas parciales o totales de sus instalaciones para mantenimiento.

1.3 Fundamentos generales del *Lean Manufacturing*

Es un sistema de producción que se basa en la eliminación del desperdicio (Rajadell & Sánchez, 2011) orientado a mejorar el potencial del recurso humano, con la finalidad de lograr que se adapte al cambio, busque la mejora continua y elimine desperdicios (Ohno, 1988) siendo estos, aquellas acciones que no agregan valor al producto y por lo que, el cliente no está dispuesto a pagar (Rajadell & Sánchez, 2011). Según Krajewski, Ritzman y Malhotra (2016), los sistemas Lean son sistemas de operaciones que de acuerdo a Villaseñor y Galindo (2007) reducen las actividades que no agregan valor, es decir,

maximiza el valor agregado por cada una de las actividades de una empresa (Krajewski, Ritzman & Malhotra, 2016), mediante la eliminación del desperdicio y las demoras según refirió D'Alessio (2015), para tal fin, este sistema se vale de herramientas tales como; 5S, Kaizen, TMP, Kanban, SMED, Jidoka, etc., (Rajadell & Sánchez, 2011) abarcando la estrategia de operaciones de la compañía, el diseño de procesos, la gestión de calidad, la gestión de restricciones, el diseño de la distribución, y de la cadena de suministro y la gestión de tecnología e inventario, y pueden ser utilizados tanto por empresas de servicios como de fabricación (Krajewski, Ritzman & Malhotra, 2016).

1.4 Objetivo y principios de *Lean Manufacturing* para la industria de procesos

Según Womack, Jones y Ross (1991), el objetivo del *Lean Manufacturing* es hacer los procesos más ligeros, incrementando el tiempo de las actividades que suman valor reflejándose en un flujo más rápido y por consiguiente menos costos para los clientes. Este sistema se sustenta en la eliminación de toda clase de desperdicio. El desperdicio o Muda (despilfarro) es toda actividad humana que absorbe recursos, pero no crea valor (Jones & Womack, 2005). Ohno (1988), definió siete tipos de Muda: Defectos, Sobreproducción, Exceso de inventario, sobreprocesamiento, movimientos y transporte innecesario, y finalmente las esperas. Jones y Womack (2005) propusieron un octavo tipo de muda; diseño de bienes y servicios que no responden a las necesidades de los usuarios.

Womack y Jones (2005) plantearon cinco principios para el *Lean Manufacturing*. Los autores consideran que el cliente define el valor de un producto y que la cadena de valor debe cumplir con establecer la solución de problemas, la gestión de la información y el uso de las materias primas en función a los requerimientos del cliente. Así también, el *Lean Manufacturing*, debe continuar reduciendo las actividades que no suman valor y certificar que fluyan continuamente las actividades que agregan valor con pequeños lotes de producción, además que, la programación de la producción debe sustentarse en la necesidad del cliente (Sistemas Pull) y finalmente, que la mejora continua (Kaizen) implica que mediante los cuatro principios anteriores se logre la perfección de los procesos.

1.5 Bases de *Lean Manufacturing* para la industria de procesos

Ohno (1988) definió la base del sistema de producción de Toyota (TPS por sus siglas en inglés) a la eliminación absoluta de los desperdicios y que los dos pilares necesarios para soportar el sistema son; justo a tiempo y autonomía o automatización con un toque humano. King (2009) afirmó que los componentes del sistema de producción Toyota a menudo se representan en forma de una casa según se muestra en la figura 1. El pilar izquierdo se basa en justo a tiempo, definido como hacer lo que el cliente necesita, cuando el cliente lo necesita, en la cantidad exacta. El otro pilar se muestra generalmente como Jidoka, o calidad incorporada, que es el objetivo de la autonomía de Ohno, para emplear máquinas que pueden detectar cualquier situación de mala calidad y detenerse, para evitar que continúen produciendo piezas defectuosas. Esto elimina el desperdicio de retrabajo o descarte defectuoso. Por otro lado, King (2009) afirmó que la esencia de lean es:

- La eliminación implacable de todos los residuos.
- Mejora continua (*Kaizen*)
- Fabricación a una tasa igual a la demanda real del cliente, justo cuando el cliente lo desea (JIT)
- Asegurar la calidad al detectar defectos y detener la producción hasta que se encuentren y corrijan las causas (*Jidoka*)

1.6 Eficacia global de la planta en la industria de procesos

Según Suzuki (1995), las industrias de proceso deben maximizar la eficacia de sus plantas llevándolas a condiciones óptimas de operación y manteniéndolas en ese estado. Para lograrlo Cuatrecasas (2017) sugirió “eliminar todo tipo de actividades que no aumenten el valor del producto en proceso”, siendo algunas de estas actividades, el mal mantenimiento, operación y utilización de los equipos (D’Alessio, 2015), o según indicó Suzuki (1995), las fallas, defectos o problemas que perjudiquen su rendimiento. Suzuki (1995) mencionó que para que una planta logre su máxima eficacia se pueden considerar las siguientes ocho pérdidas (p.23):

- Paradas programadas
- Ajustes de la producción
- Fallos de los equipos
- Fallos de proceso
- Pérdidas de producción normales
- Pérdidas de producción anormales
- Defectos de calidad
- Reprocesamiento

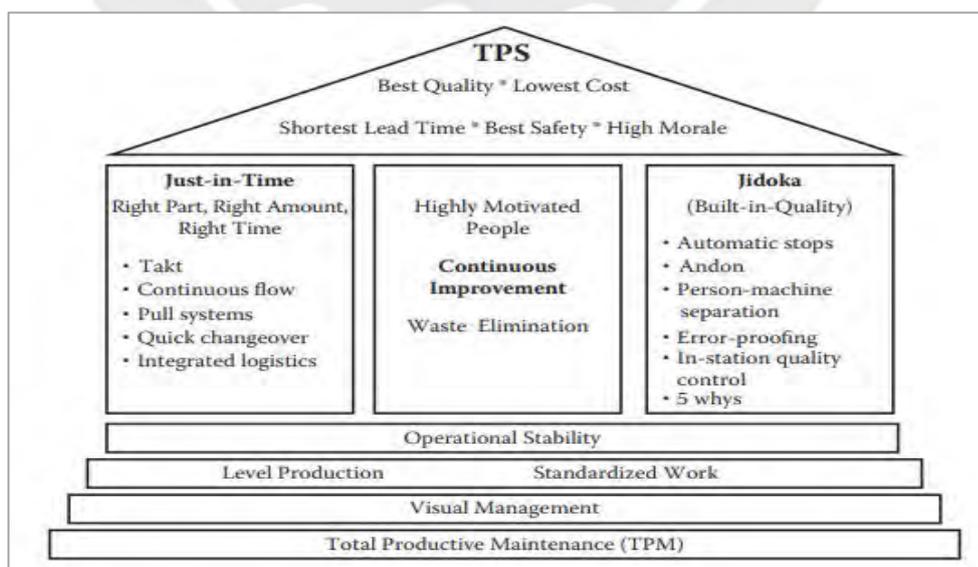


Figura 1 La casa del sistema de producción de Toyota.

Fuente: (King, 2009).

1.7 Estructura de las pérdidas

Según Suzuki (1995) para distinguir y cuantificar las pérdidas que impiden la eficacia, es útil identificar la estructura de las pérdidas que ocurren en una planta, estas son:

- Tiempo de calendario.
- Tiempo de trabajo.
- Tiempo de operación.
- Tiempo neto de operación.
- Tiempo de operación válido.
- Disponibilidad.

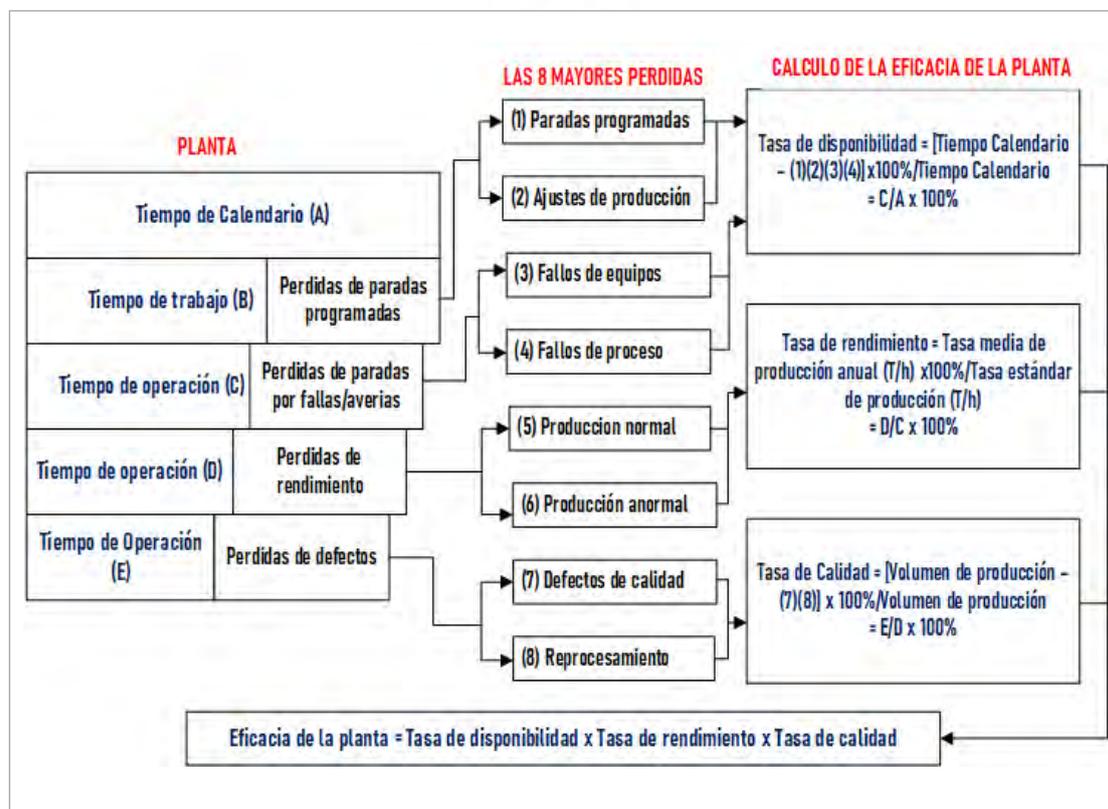


Figura 2 Eficacia global de la planta y estructura de pérdidas.

Fuente: (Suzuki, 1995)

1.8 Limitantes de la productividad en la industria de procesos

Según Socconini (2019), en un proceso se utilizan diferentes tipos de recursos, tales como refirió D'Alessio (2015); materiales, personas, o tecnología, que finalmente se convierten en un producto. La eficacia del proceso se mide por sus indicadores de productividad (Socconini, 2019), viéndose afectada por una amplia variedad de problemas que limitan los resultados que se podrían obtener a partir de los recursos disponibles (D'Alessio, 2015). Los limitantes de la productividad se clasifican en tres grupos (Socconini, 2019):

- Sobrecarga o Muri: En este caso, la productividad de los procesos se reduce cuando se les asigna una carga de trabajo que sobrepasa su capacidad.
- Variabilidad o Mura: Se refiere a las variaciones y los incumplimientos o interrupciones en los procesos que se generan desde los elementos de entrada.
- Desperdicios o Mudras: Se refiere al exceso del consumo de recursos en un proceso en actividades que no son definitivamente esenciales para agregar valor al producto según lo requiere el cliente.

1.9 Herramientas de mejora en procesos industriales

A continuación, se desarrolla los conceptos de las principales herramientas de mejora recomendadas en los procesos industriales.

1.9.1 5 S

King (2009) afirmó que es un proceso de cinco pasos para la organización en el lugar de trabajo y proviene de 5 palabras japonesas: *Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu y Shitsuke*. La traducción aproximada al español de estos cinco términos es: Clasificar, ordenar, limpiar, estandarizar y disciplinar (Rivera, 2008; Villaseñor & Galindo, 2007). Villaseñor y Galindo (2007) afirmaron que las 5S “conducen a tener una mayor eficiencia en el trabajo, basándose en el control visual y en la producción lean” (p. 17).

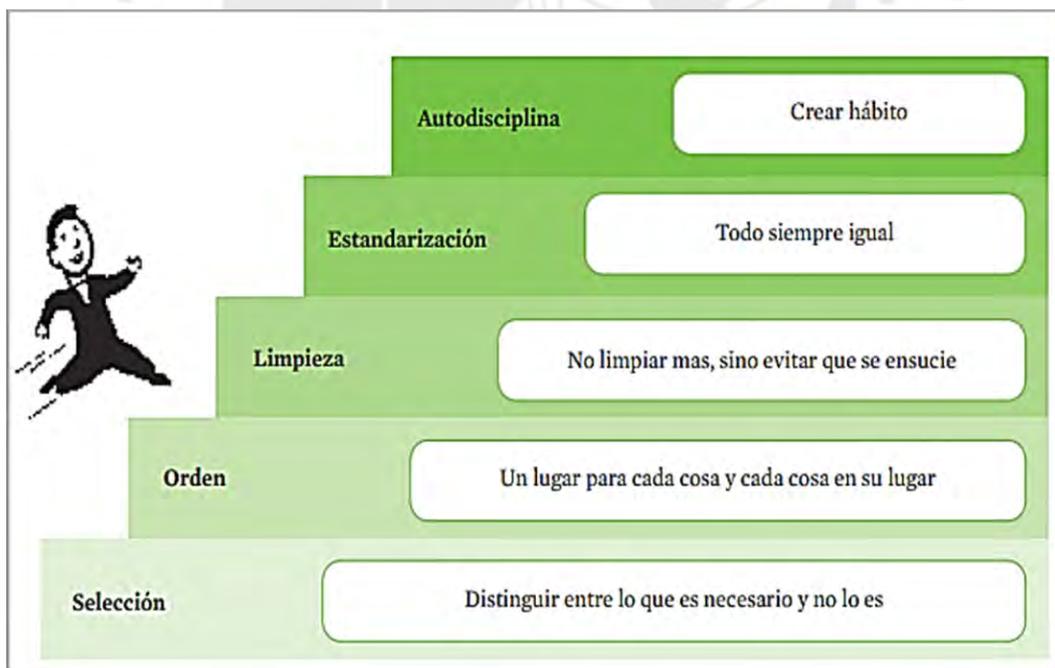


Figura 3 Qué son las 5S

Fuente: (Hernández & Vizán, 2013).

1.9.2 *Kaizen*

King (2009) refirió que es un proceso de trabajo en el que todos los empleados participan en la mejora continua de todos los procesos. *Kaizen* es una forma de pensar y comportarse, es una filosofía total que faculta a los empleados que realmente hacen el trabajo para eliminar el desperdicio y diseñar e implementar procesos más efectivos.

1.9.3 *Jidoka*

King (2009) afirmó que “es uno de los dos pilares de la casa de TPS y se basa en la calidad de la fuente al proporcionar equipos con inteligencia para detenerse automáticamente cuando detecta que está produciendo material de mala calidad” (p. 12). Esta técnica se basa en la automatización que consiste en que el proceso tenga un autocontrol (Villaseñor & Galindo, 2007), para prevenir los errores humanos y de las máquinas con la finalidad de garantizar una alta calidad del producto y del proceso (Rajadell & Sánchez, 2011). En la tabla 1 se muestra un conjunto de pasos sucesivos y técnicas específicas que se pueden ir aplicando para alcanzar una autonomación completa de los equipos según (Hernández & Vizán, 2013).

1.9.4 TPM (*Total productive maintenance*)

“Se refiere a un conjunto de prácticas destinadas a mejorar el rendimiento de la fabricación al mejorar la forma en que se opera y se mantiene el equipo” (King, 2009, p. 14). King (2009) refirió que el TPM busca que la mayoría de las tareas de mantenimiento sean realizadas por los operadores quienes son los que están más cerca del equipo. Según King (2009) el objetivo de TPM podría describirse como el desarrollo de flujos de valor robustos y estables al maximizar la eficacia general del equipo (OEE). (ver figura 4).

Según King (2009) algunos elementos claves del TPM para procesos industriales son:

- Mantenimiento preventivo: mantenimiento basado en el tiempo, mantenimiento realizado según un programa diseñado para evitar averías antes de que puedan ocurrir.
- Mantenimiento predictivo: mantenimiento basado en condiciones, utilizando instrumentos y sensores para tratar de anticipar cuándo el equipo está a punto de descomponerse para que pueda repararse antes de fallar.
- Mantenimiento de averías: reparación del equipo después de una avería.
- Mantenimiento correctivo: modificaciones continuas al equipo para reducir la frecuencia de averías y facilitar su reparación.
- Prevención de mantenimiento: diseñar equipos que rara vez se rompen y son fáciles de reparar cuando fallan.
- Mantenimiento autónomo: mantenimiento en equipo realizado principalmente por operadores de planta.

1.10 Herramientas de diagnóstico para procesos industriales

Según Krajewski et al. (2013), el análisis de procesos mediante el uso de herramientas de gestión es requisito tanto para la reingeniería como para la mejora del proceso, además de ser parte del monitoreo de su desempeño en el tiempo. D'Alessio (2015) mencionó que “las decisiones del proceso se basan en la selección del proceso, elección de la tecnología, análisis del flujo del proceso, distribución de la planta, diseño del trabajo y políticas relativas a la fuerza laboral operativa.

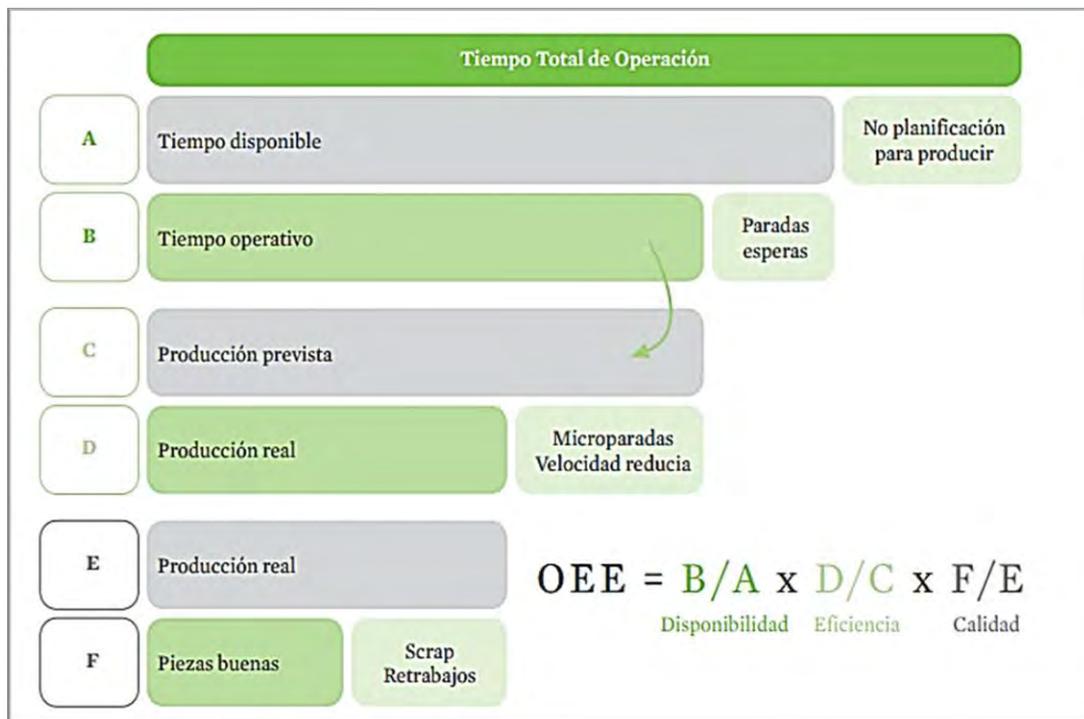


Figura 4 Esquema de los componentes del OEE

Fuente: (Hernández & Vizán, 2013)

1.10.1 Diagrama de Ishikawa

Llamado también diagrama de causa – efecto (D’Alonso, 2015). Esta es una herramienta gráfica que combina un problema con las causas que probablemente lo generan. La esencia de este diagrama radica en la búsqueda de las diferentes causas que afectan el problema materia de análisis (Gutiérrez & De la Vara, 2013), teniendo en cuenta que es importante que sean desarrollados por expertos en el proceso (D’Alonso, 2015) (ver figura 5).

1.10.2 Diagrama de Gantt

Según Krajewski et al. (2013) “es una herramienta que muestra la programación de un proyecto con actividades simultáneas, sus relaciones de precedencia y duraciones estimadas en una línea de tiempo. Este diagrama es popular porque es intuitivo y es sencillo construir”.

1.10.3 Diagrama matricial

Según López (2016) el diagrama de matriz o diagrama matricial, permite establecer también relaciones entre ideas pertenecientes a categorías diferentes, además considero que una de ellas se coloca en forma de fila y la otra de columna. Asimismo, Vilar (1997) indicó que, esta herramienta es utilizada ampliamente en el desarrollo del despliegue de la función calidad (QFD)” (ver figura 6).

Tabla 1 Las 10 etapas de la automatización (Jidoka)

Fase	Descripción	Carga Hombre/máq.
1	Autonomación del proceso: Transferir esfuerzo de operario en esfuerzo de la máquina. Ejemplo: Atornillado automático.	Operaciones simultáneas operario/máq.
2	Autonomación de sujetar Sustitución de apriete manual por sistemas accionados mecánicamente. El operario solo carga el útil.	
3	Autonomación de alimentación Alimentación automática. El operario solo interviene para parar la alimentación en caso de errores.	
4	Autonomación de paradas El sistema de alimentación para correctamente la máquina al final del proceso. El operario puede abandonar el proceso o máquina	Tareas de operario
5	Autonomación de retornos Finalizado y parado el proceso correctamente, el sistema retorna a situación de inicio sin ayuda del operario.	
6	Autonomación de retirada de piezas Finalizado el proceso y retorno, la pieza es retirada automáticamente de forma que la siguiente pieza puede ser cargada sin necesidad de manipular la anterior.	
7	Mecanismos anti error (Poka –Yoke) Para prevenir transferencia de piezas defectuosas al proceso siguiente se instalan dispositivos para detectar errores, parar la producción y alertar al operario.	
8	Autonomación de carga La pieza es cargada sin necesidad de operario. El proceso debe tener capacidad de detectar problemas y parar la operación.	Tareas máquina
9	Autonomación de inicio Completados los pasos anteriores la máquina debe empezar a procesar piezas de forma autónoma. Se deben prever problemas de seguridad y calidad.	
10	Autonomación de transferencia Se enlazan operaciones mediante sistemas de transferencia que eviten la intervención del operario.	

Fuente: (Hernández & Vizán, 2013)

1.10.4 Diagrama de priorización

Según López (2016) el diagrama o matriz de priorización se emplea para priorizar u ordenar una serie de soluciones en base a determinados criterios. Además, para Vilar (1997) estos criterios tienen ponderación conocida. López (2016) también consideró que esta herramienta dispone de varias posibles soluciones que, según Vilar (1997), se reducen a las más eficaces y deseables. Finalmente, López (2016) recomendó que se debe usar por lo general el costo, la comparación riesgo/beneficio, el tiempo necesario para implementarlo, la sostenibilidad, etc. (ver figura 7).

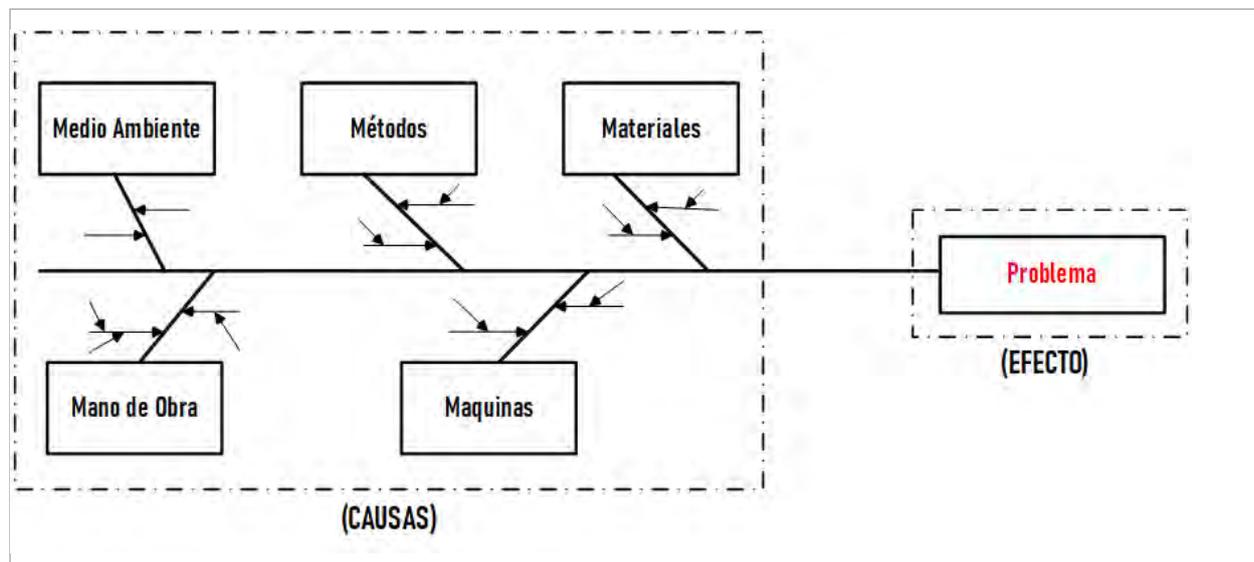


Figura 5 Diagrama Causa – efecto

Fuente: (D'Alessio, 2015)

		ELECCIÓN DE UNA HAMBURGUESA DE RES			
		RESTAURANTES DE CADENA			
		Burger King	Carl's Jr	Chili's	Mc Donald's
CARACTERÍSTICAS	Contenido Energético	○	○	●	△
	Carbohidratos	○	○	●	△
	Proteínas	○	○	●	△
	Grasa	●	○	●	△
	Grasa Saturada	●	○	●	△
	Grasa trans	○	△	●	△
	Peso Total	○	○	●	△

Figura 6 Ejemplo de diagrama de matriz

Fuente: (López, 2016)

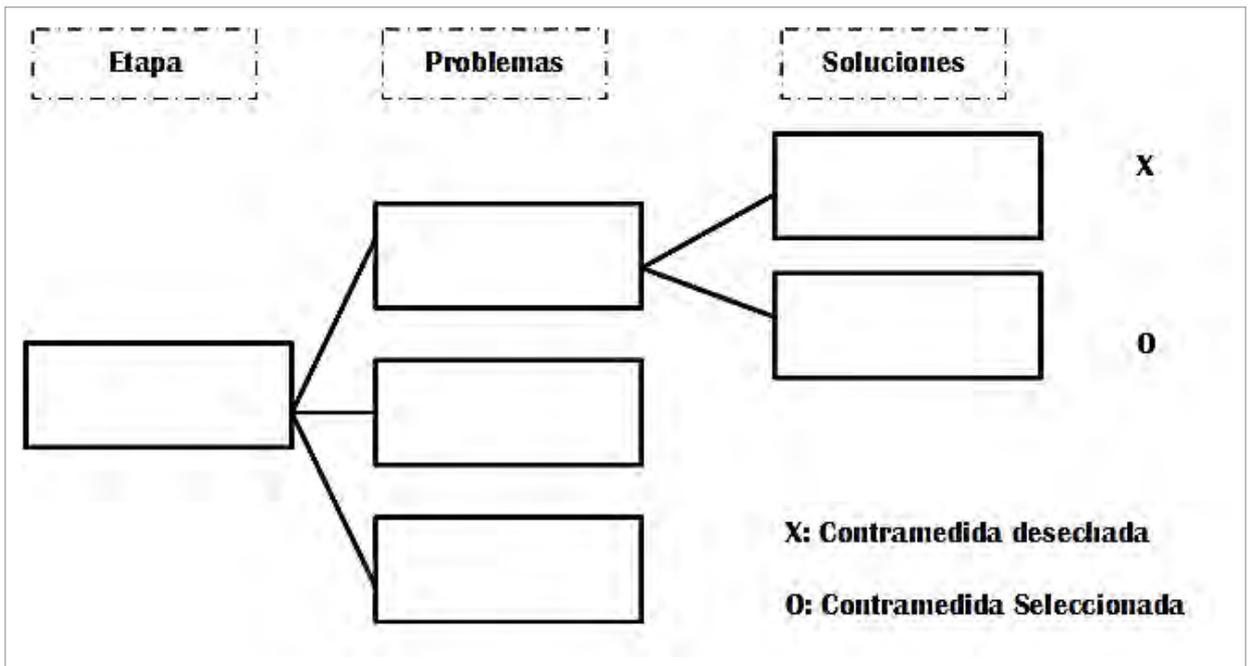


Figura 7 Diagrama de proceso de decisión

Fuente: (López, 2016)

1.10.5 Diagramas de flujo en bloques

Este diagrama es llamado comúnmente “BFD”, por sus siglas en inglés; *block flow diagram*. Es una sucesión de bloques conectados con flujos de entrada y salida. Existen dos tipos de diagrama de flujo en bloques, el primero representa un solo proceso llamado diagrama de flujo de procesos en bloques, y el segundo, representa un complejo químico completo que involucra diferentes procesos químicos y se le llama comúnmente diagrama de flujo de planta en bloques (Turton, Bailie, Whiting & Shaeiwitz, 2009)

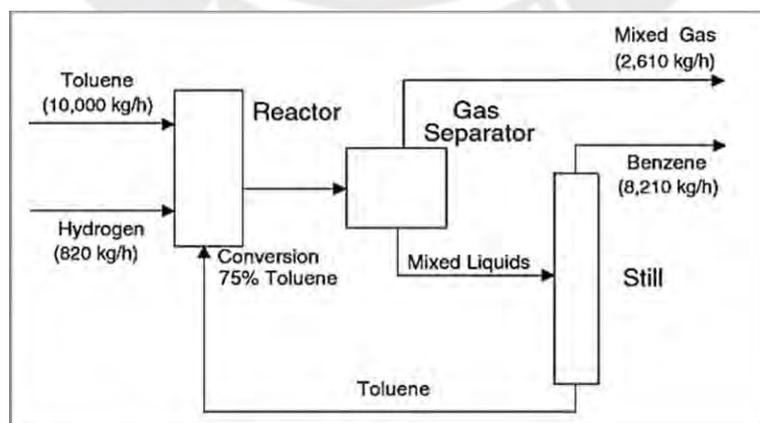


Figura 8 Block Flow Process Diagram for the Production of Benzene

Fuente: (Turton et al., 2009)

1.10.6 Diagramas de flujo de procesos

Este diagrama es llamado comúnmente “PFD”, por sus siglas en inglés; *process flow diagram*. Es un diagrama que proporciona más información por ser más completo que el BFD. El PFD contiene la mayor parte de los datos de la ingeniería del proceso necesario para su diseño, sin embargo, debe hacerse notar que no hay un PFD estándar universalmente aceptada ya que el PFD de una compañía probablemente contendrá información diferente al PFD para el mismo proceso de otra compañía (Turton et al. 2009)

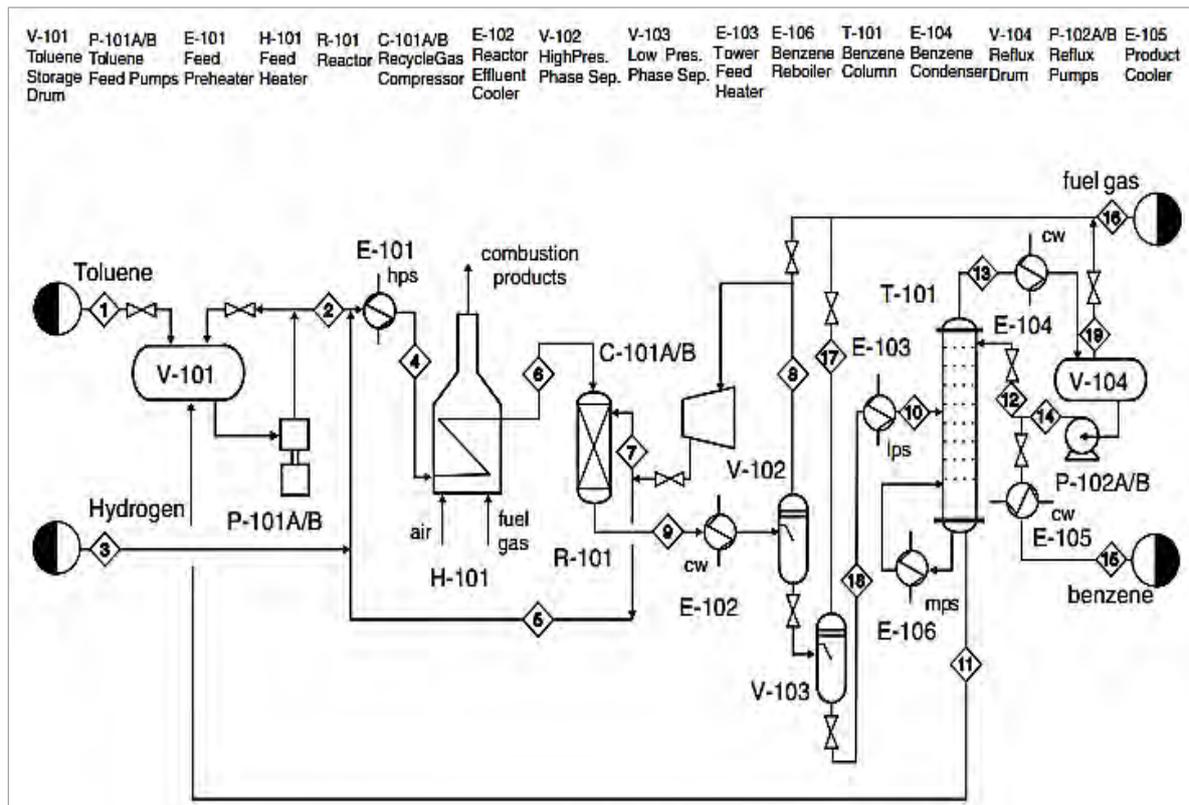


Figura 9 Skeleton Process Flow Diagram (PFD) for the Production of Benzene via the Hydrodealkylation of Toluene

Fuente: (Turton et al., 2009)

1.10.7 Histogramas

Esta herramienta resume los datos en una escala continua, mostrando la distribución de la frecuencia de las fallas de un proceso (Krajewski et al., 2013).

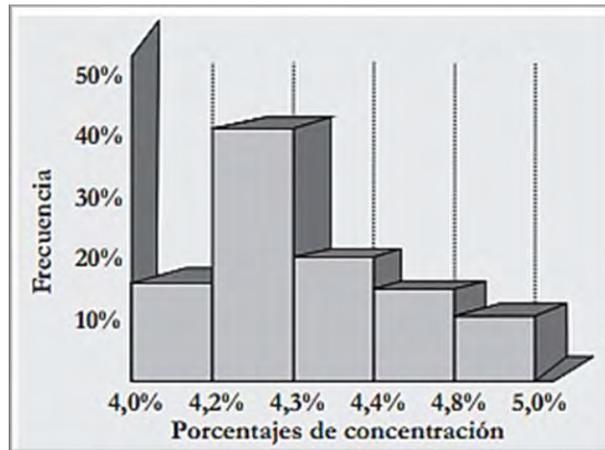


Figura 10 Histograma, concentración de jugo de naranja

Fuente: (Carro & Gózales, 2000)

1.10.8 Gráficas de barras

Es un conjunto de barras que representan la frecuencia de ocurrencia de las características de los datos medidos como sí o no. La altura de la barra refleja el número de veces que se observó una falla en un proceso dado (Krajewski et al., 2013).

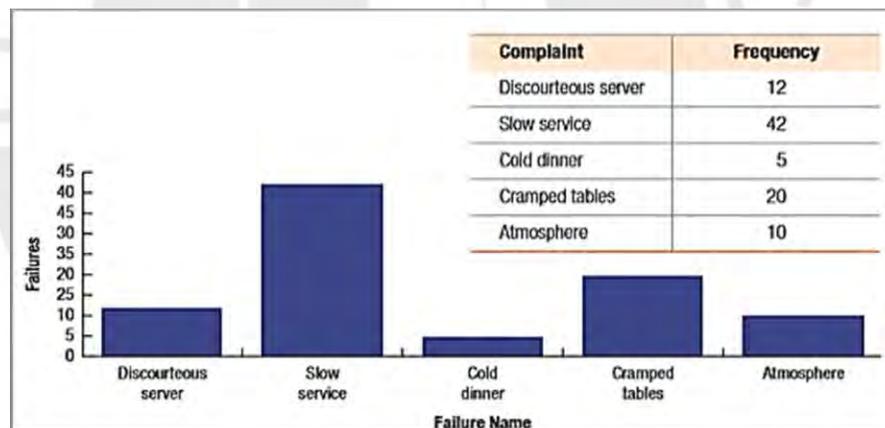


Figura 11 Gráfico de barras

Fuente: (Krajewski et al., 2013)

1.10.9 Gráfico de Pareto

Es una gráfica que tiene dos ejes verticales, la de la izquierda muestra la frecuencia (como histograma) y la de la derecha presenta el porcentaje acumulado de la frecuencia. La curva de la frecuencia acumulada identifica los pocos factores que requieren atención administrativa inmediata (Krajewski et al., 2016).

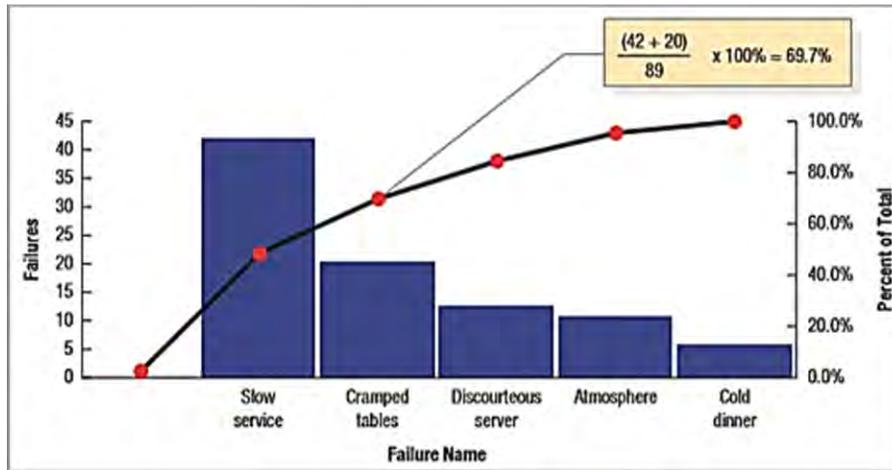


Figura 12 Gráfico de Pareto
Fuente: (Krajewski et al., 2013)

1.10.10 Gráficos de control

Según D'Alessio (2015) es una herramienta avanzada y sirve para evaluar y visualizar la calidad de un proceso y su comportamiento en función del tiempo.

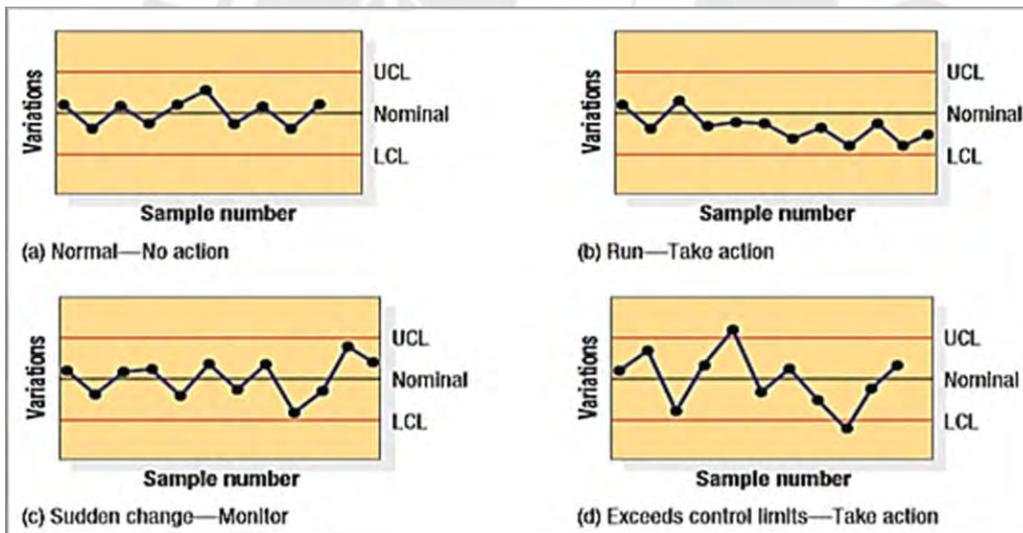


Figura 13 Ejemplos de gráficos de control
Fuente: (Krajewski et al., 2013)

1.10.11 Hojas de verificación

Según García (2016) las hojas de verificación son una herramienta poderosa para la recolección de información, siendo esta una antigua forma de acumular datos estadísticos (D'Alonso, 2015) basada en la observación de tendencias sobre un problema repetitivo (García, 2016) (ver figura 14).

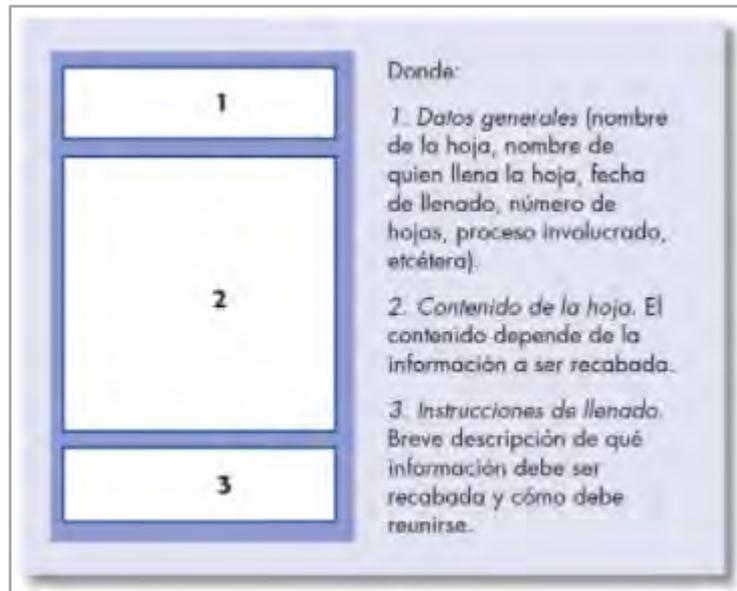


Figura 14 Formato general de una hoja de verificación o de datos

Fuente: (Baca, Cruz, Cristóbal, Baca, Gutiérrez Pacheco, Rivera, Rivera & Obregón, 2014).

1.10.12 Gráficos de dispersión

Según D'Alessio (2015) se muestra la dependencia entre dos variables, la causa en el eje "X", y el efecto en el eje "Y". Los datos se muestran como un conjunto de puntos que admiten visualizar la relación entre ambas variables, permitiendo generar ideas. (p.539) (ver figura 15).

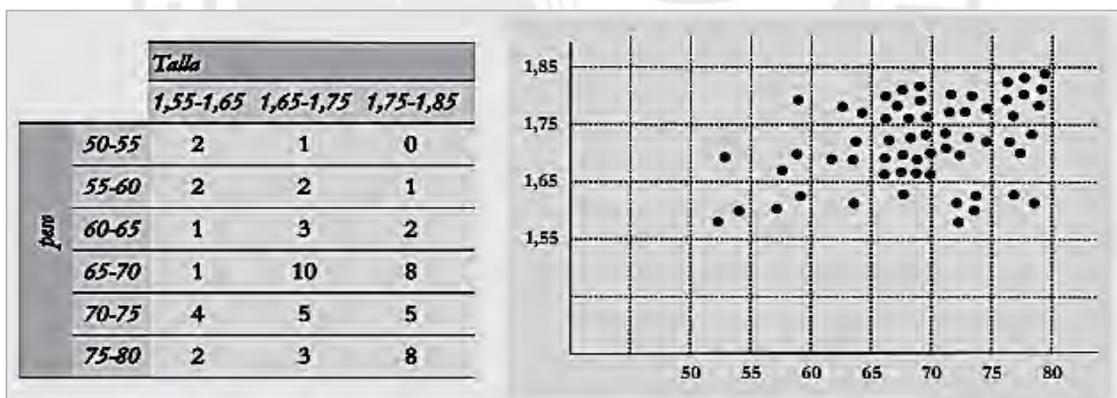


Figura 15 Diagrama de dispersión. Relación peso – estatura

Fuente: (Carro & Gózaes, 2000)

1.10.13 Gráficas de tendencia

D'Alessio (2015) consideró que es la evolución de una variable con relación al tiempo, permitiendo el análisis de la tendencia de dicho comportamiento; mostrando la salida de un proceso en el tiempo. Para la aplicación de esta herramienta, se debe considerar la consistencia de las unidades, un coherente etiquetado de las variables y usar una metodología estándar.

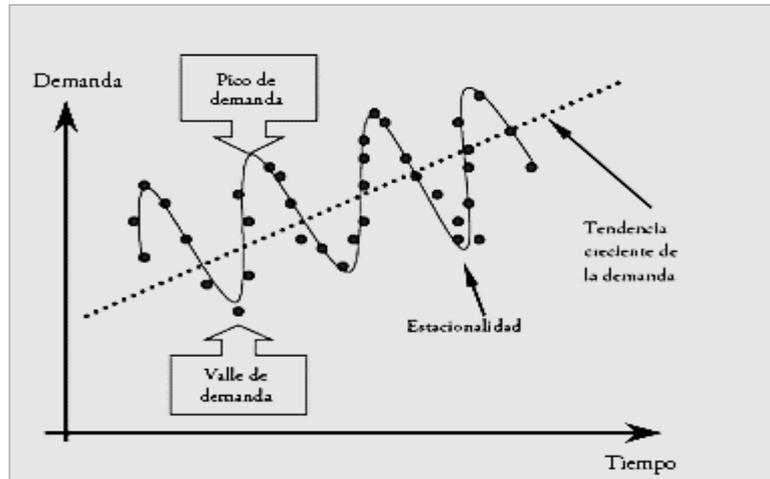


Figura 16 Gráfica de tendencia del patrón de demanda aleatoria con estacionalidad
 Fuente: (Carreño, 2017)

1.10.14 Estratificación

Según Gutiérrez y De la Vara (2013) es una eficaz estrategia de búsqueda, que más que una herramienta es un método de clasificación de datos, según refirió López, (2016), estos datos están relacionados por características similares, con el objetivo, explica Gutiérrez y De la Vara (2013), de profundizar en la búsqueda de la causa raíz de un problema.

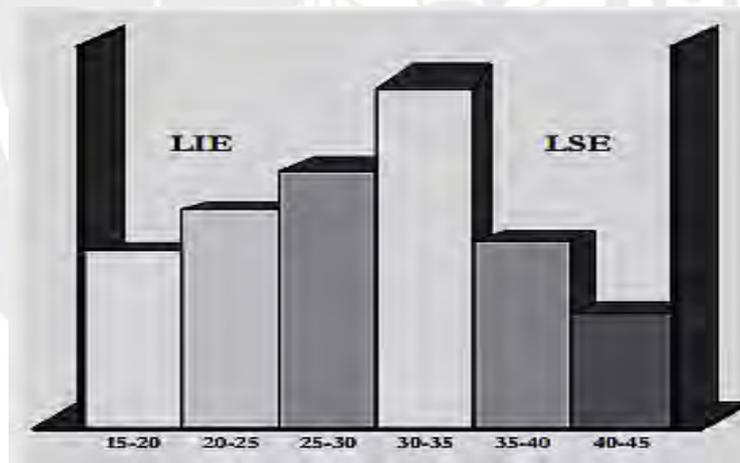


Figura 17 Estratificación. Edad de operarios del sector producción
 Fuente: (Carro & Gózales, 2000)

1.10.15 Técnica de los cinco ¿Por qué?

Es una técnica basada en la pregunta ¿Por qué ocurre el problema?, y se realiza mediante la tormenta de ideas (García, 2016). Esto permite, según refirió Villaseñor y Galindo, (2007), conocer la causa o causas raíz de un problema, las cuales serán graficadas en el diagrama de Ishikawa, según explicó García (2016).

1.10.16 5W-1H

En relación a las 5W-1H, Mariño (2001) consideró que esta herramienta constituye las acciones que se van a continuar para alcanzar la meta. Esta herramienta se refiere a cinco preguntas en inglés cuya letra inicial es la letra W (What?, Why?, Who?, When? y Where?), y a una pregunta con la letra H (How?).

1.10.17 Indicadores claves de desempeño (KPI)

Los KPI representan un conjunto de medidas que se centran en aquellos aspectos del desempeño organizacional (Parmenter, 2010), siendo representativos y fáciles de medir (González, 2004) para el éxito actual y futuro de la organización (Parmenter, 2010). Los indicadores deben ser revisados periódicamente (González, 2004), y siempre se debe tener en cuenta que sólo se puede mejorar aquello que se puede medir (Salgueiro, 2001).

1.10.18 Flujos de caja de proyectos de ingeniería

Bertran y Cueva (2011) mencionaron que el flujo de caja es el estado básico que se utiliza para determinar la rentabilidad de un proyecto. Considera también que los flujos de caja pueden ser económicos (FCE), los cuales se basa en los ingresos y egresos del proyecto considerando que el dueño del proyecto lo financia íntegramente, o flujos de caja financieros (FCF), los cuales se basan en el balance entre el FCE y el flujo de financiación neta el cual está constituido por el monto total por financiar, la amortización de la deuda y los gastos financieros asociados.

1.10.19 Análisis del riesgo financiero

Según Alonso y Berggrun (2015), el riesgo financiero se refiere a aquellas condiciones en la cual existe una posibilidad de desviarse del resultado esperado o deseado respecto a su valor actual (Mascote, 2013) y se presenta siempre que una variable pueda tomar distintos valores (Beltran & Cueva, 2018).

Capítulo 2: La empresa

En el presente capítulo, se describe a la empresa en forma general, teniendo en cuenta sus políticas, materiales y procesos.

2.1 Descripción de la empresa

La compañía materia de estudio, se dedica a la producción y comercialización de insumos químicos tales como; fosfato bicálcico, cloro, soda cáustica y otros productos químicos, y sales para uso doméstico e industrial.

2.2 Política del sistema integrado de gestión

La compañía cuenta con un Sistema Integrado de Gestión (SIG), el cual busca la satisfacción de sus clientes cumpliendo todos sus requerimientos, manteniendo una buena relación con todas las partes interesadas.

El SIG está conformado por un sistema de calidad e inocuidad de sus productos, el cual se garantiza mediante planes, programas y monitoreos permanentes. Además, también conformado por un sistema de Medio Ambiente, el cual se garantiza mediante la prevención, control y mitigación. El SIG se complementa con los sistemas de Seguridad y Salud Ocupacional, basado la prevención de accidentes y enfermedades ocupacionales, y finalmente con un sistema de Seguridad Portuaria y Seguridad de la Cadena de Suministro del Comercio Internacional, que busca fundamentalmente garantizar el comercio seguro de sus productos.

2.3 Línea de productos

La compañía materia de estudio, presenta dos líneas de productos, una línea de químicos tanto solidos como líquidos y una línea de sal.

2.3.1 Químicos

Produce los siguientes productos e insumos químicos:

- a. Soda cáustica líquida.
- b. Soda cáustica sólida.
- c. Cloro líquido.
- d. Hipoclorito de sodio.
- e. Ácido clorhídrico.
- f. Fosfato bicálcico dihidratado.
- g. Cloruro Férrico en solución.
- h. Hipoclorito de calcio.
- i. Sulfato férrico en solución al 40%.

2.3.2 Sales

Produce los siguientes tipos de sales para uso alimentario e industrial:

- a. Sal Mesa Marina Yodo y Fluor.
- b. Sal Cocina Purasal Yodo y Fluor.
- c. Sal Refinada Purasal con Yodo y Fluor.

2.4 Materias primas e insumos

Se muestra a continuación, algunas de las materias primas e insumos que son en general la base para la producción de sus productos químicos y sales:

- Floculantes para pH ácido y básico
- Yodato de Potasio para uso alimenticio humano.
- Fluoruro de Potasio sólido
- Roca Fosfórica
- Antiespumante líquido.
- Carbonato de Calcio.
- Cal Hidratada.
- Carbonato de calcio
- Sacos de polipropileno

2.5 Procesos

En la compañía materia de estudio, se produce insumos químicos y sal de consumo humano, a partir de cloruro de sodio, principalmente, se produce soda cáustica por electrolisis de donde se obtiene como subproductos; cloro e hidrógeno. Todo el hidrógeno producido se transforma en ácido clorhídrico, pero una parte del ácido producido, se distribuye al mercado local e exportación y otra sirve para producir fosfato bicálcico, cloruro férrico y cloruro de calcio. Una parte del cloro sobrante se transforma en cloruro férrico, ácido clorhídrico e hipoclorito de sodio y cloro licuado.

2.5.1 Proceso industrial cloro soda

El hidróxido de sodio en solución o llamado también soda cáustica, se produce a nivel industrial por la electrólisis del cloruro de sodio, generando subproductos como el cloro e hidrógeno. A partir de la soda cáustica en solución se produce soda cáustica sólida, mediante la evaporación del agua de disolución.

En el proceso de electrólisis, se obtiene cloro que sirve como materia prima para la producción de diferentes productos clorados incluyendo el cloro líquido. El cloro líquido, se fabrica a partir del gas producido en la electrólisis, sometido posteriormente a las operaciones de enfriamiento, secado y compresión. El hipoclorito de sodio se produce por la reacción del hidróxido de sodio en solución acuosa con el cloro gaseoso. El ácido clorhídrico se produce a través de la reacción química del gas cloro con el gas hidrógeno. La producción de cloruro férrico en solución se produce a partir de la reacción de mineral de hierro con ácido clorhídrico y cloro y el cloruro de calcio se produce a partir de

la reacción química del carbonato de calcio (caliza) con el ácido clorhídrico. La producción de sulfato férrico en solución al 40%, se produce en una primera etapa al reaccionar mineral de hierro y ácido sulfúrico proveniente del secado de cloro y posteriormente reaccionando con peróxido de hidrogeno.

2.5.2 Proceso industrial de fosfato bicálcico

El proceso para la fabricación de fosfato bicálcico dihidratado, consiste en la reacción de la roca fosfórica con ácido clorhídrico al 6% en contra corriente y posterior la precipitación del flúor disuelto y proveniente de la lixiviación con suspensión de caliza. Continúa una separación del licor monocálcico de las impurezas (lodos) mediante un espesador, de donde el licor limpio se transporta a la siguiente etapa principal del proceso y los lodos son tratados en una nueva etapa de lixiviación. En la precipitación, se origina la reacción del licor monocálcico con suspensión de caliza para precipitar el fosfato bicálcico, con el tiempo de residencia suficiente para que el producto logre la granulometría requerida. El producto formado en la precipitación es lavado con abundante agua y separado mediante un espesador. Posteriormente, se filtra mediante filtros prensa de gran capacidad para luego ser secado mediante secadores tipo flash con temperatura de secado moderada para conservar sus dos moléculas de agua. Finalmente, el producto es envasado en presentaciones de sacos de 25kg y envases tipo bigbag de 750kg con humedad máxima de 2.5% y con %P no menor a 18.5%. El proceso de fosfato bicálcico se desarrolla con más detalle en el ítem 3.1.

Capítulo 3: Diagnóstico

Una planta de flujo continuo, como es el caso de una planta de fosfato bicálcico, se caracteriza por tener sistemas de producción y equipos muy complejos, es, por tanto, que, para realizar un buen diagnóstico del proceso, una vía recomendada son los análisis de sus indicadores de gestión de planta, y para tal fin se establece una ruta mostrada en el siguiente diagrama de bloques.

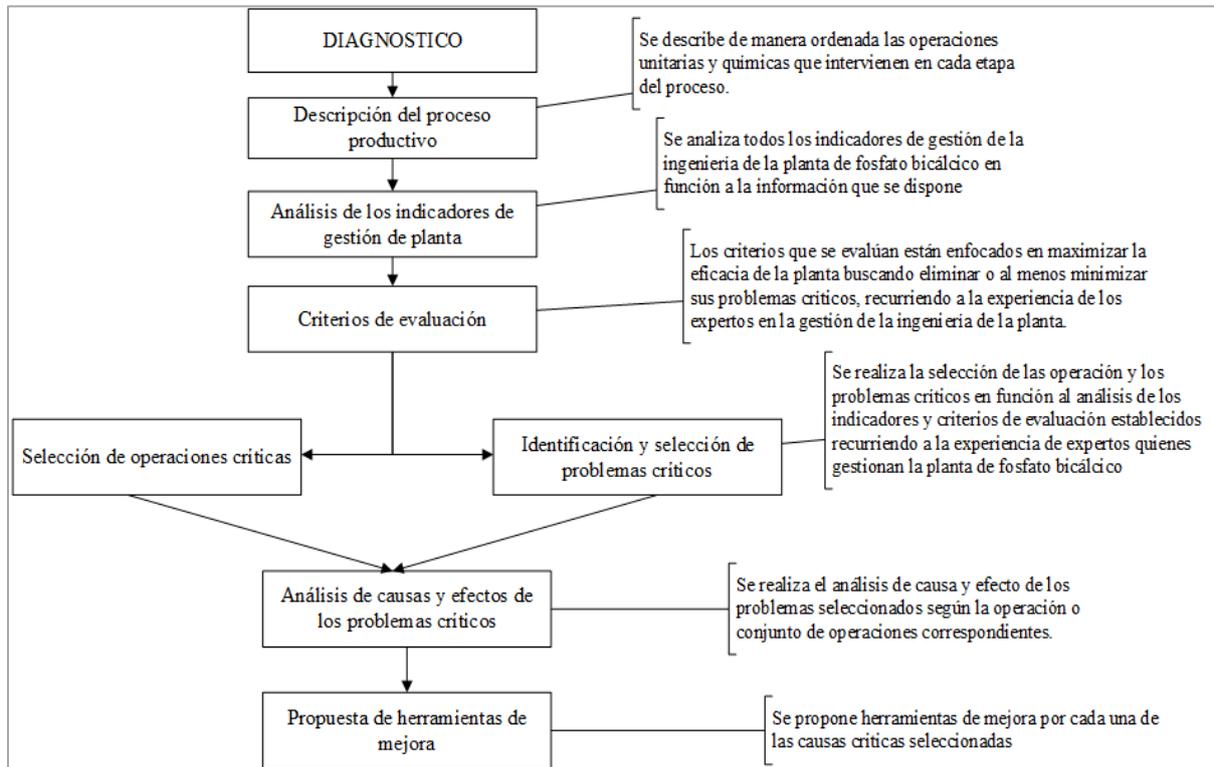


Figura 18 Ruta para el diagnóstico del proceso productivo de fosfato bicálcico

3.1 Descripción del proceso productivo de la planta de fosfato bicálcico

La planta de fosfato bicálcico está diseñada para una capacidad de 310 T/día produciendo un fosfato bicálcico al 18.5% P, a partir de Roca fosfórica al 32% P_2O_5 , Suspensión de caliza a 1.45g/mL y ácido clorhídrico al 6%, cuyas operaciones físicas y químicas del proceso productivo son los siguientes:

3.1.1 Chancado y molienda

En una tolva, se alimenta piedra caliza de 2'' – 4'' de tamaño, la salida de la tolva ingresa a una chancadora de quijada, el producto ingresa a una zaranda de donde se divide en dos corrientes: hacia un molino de martillos y hacia una faja transportadora. El producto obtenido del molino de martillos se une con la faja transportadora, finalmente la faja transportadora alimenta a un elevador de cangilones quien a su vez alimentará a una nueva tolva de caliza chancada que se descarga y alimenta mediante un vibrodosificador a un molino pendular, el producto de la molienda es transportado reumáticamente mediante un ventilador hasta un ciclón, el producto aceptado alimenta a una nueva tolva de caliza

molida y el rechazo es transportado por medio de un ventilador a través de un colector de polvos, donde nuevamente los sólidos alimentan a la tolva de caliza molida. El producto de la tolva es transportado mediante tornillos transportadores hasta un tanque de preparación de suspensión de caliza, mezclado a flujo constante con agua y a una densidad de 1.45 mg/mL

3.1.2 Lixiviación y separación

Roca fosfórica se recibe en una tolva, se alimenta a una faja transportadora y pasa a un elevador de cangilones. Durante la descarga de la roca transportada por el elevador de cangilones se adiciona agua proveniente del tanque de almacenamiento para formar en línea una suspensión que ingresa a un reactor tipo cónico de flujo continuo por la parte superior y ácido clorhídrico diluido 6% HCl, preparado en un tanque a flujo continuo a partir de ácido clorhídrico al 33% HCl, ingresa por la parte inferior transportada mediante una bomba, siendo el producto de la reacción un licor monocálcico.

En el nivel inmediato superior a los reactores se encuentran las torres de absorción, en donde se absorbe mediante agua en contracorriente los vapores ácidos producto de la reacción. El producto obtenido sale por rebose a canaletas que lo trasladan a un reactor de desfluorinación, en donde se adiciona la suspensión de caliza bombeada desde el tanque de suspensión de caliza para precipitar el flúor remanente formado en los reactores. El licor monocálcico defluorinado ingresa a un espesador, cuyo licor pasa a un tanque, y el lodo a un reactor con agitador, al que ingresa también el ácido clorhídrico al 33% HCl bombeado desde los tanques de almacenamiento. La mezcla del reactor agitado pasa por rebose hacia un segundo espesador. El licor monocálcico recibido en un tanque, se bombea a una batería de reactores de precipitación, formada por 12 tanques con agitación.

El sobrenadante del segundo espesador ingresa al tanque de dilución de ácido clorhídrico al 6% HCl y los lodos a un tercer espesador, en el que también ingresa el sobrenadante de un quinto espesador. El sobrenadante del tercer espesador rebosa hacia un tanque, y los lodos hacia unos filtros prensa, de donde el filtrado ingresa al tercer espesador y el cake es almacenado en una cancha de residuos sólidos, desde el tanque que recibe el sobrenadante del tercer espesador se bombea hacia el tanque de preparación de ácido diluido. En todos los espesadores se dosifica mediante una bomba un flujo constante de floculante.

3.1.3 Precipitación y lavado

El proceso se inicia con el bombeo del licor monocálcico procedente de un tanque de paso hacia el primer reactor de precipitación, también se produce el bombeo de la suspensión de caliza necesaria para obtener los cristales de fosfato bicálcico, la suspensión de fosfato bicálcico formado se transferirá consecutivamente a los otros reactores de precipitación que operan en serie y se encuentran conectados mediante un rebose. La suspensión resultante pasa a un cuarto espesador por una canaleta en la que ingresa licor del quinto espesador, y floculante. El licor del cuarto espesador (efluente) ingresa a un reactor de neutralización, donde es tratado con una suspensión de cal a 90g/L y a pH 9.5, el lodo del

cuarto espesador se bombea al quinto espesador donde son concentrados mediante una rastra y lavados con abundante agua. El flujo rebosado del reactor de neutralización ingresa a un sexto espesador en donde el sobrenadante es tratado con ácido clorhídrico al 33% HCl, reduciendo el pH hasta 7, mientras el lodo es bombeado hacia el tercer espesador. Los lodos del quinto espesador ingresan a un tanque con agitación de donde se bombeará hacia los filtros prensa.

3.1.4 Filtración

El lodo del quinto espesador, se dirige hacia un tanque de paso con agitación, desde donde se bombea hacia los filtros prensa. El filtrado de fosfato bicálcico es un proceso por lotes que comprende las siguientes etapas: llenado de placas, lavado de torta, soplado de torta, apertura de placas, descarga de torta, y cierre de placas, que conforman un ciclo de filtrado. El lodo bombeado desde el tanque de paso es enviado a los filtros prensa en donde queda retenida la torta en las placas, luego ingresa agua a las tortas formadas en las placas, para disminuir la concentración de cloruros, el agua usada es retirada por canaletas, las canaletas de los filtros se unen en una línea que ingresa al tanque de paso por gravedad.

Terminado el lavado de las tortas, ingresa aire comprimido a estas para eliminar el agua residual retenida durante su lavado, el agua retirada por el impulso de aire sale de los filtros por las mismas salidas del agua de lavado. Finalmente, las placas son separadas cayendo las tortas formadas entre ellas a una faja transportadora.

3.1.5 Secado

La torta obtenida de los filtros prensa es transportada y mezclada con producto seco, en un conjunto de tornillo mezcladores en serie, finalmente al ducto de secado. El secado se hace mediante secadores flash que, por contacto de la torta mezclada con producto seco, la mezcla, con el aire caliente procedente de una cámara de combustión del secador flash, que es retirado por la succión de un ventilador quien también succiona los gases del colector de polvos y los descarga a la atmósfera a través de una chimenea.

La corriente del ducto de secado ingresa al ciclón para su separación en producto aceptado y finos, los finos pasan a un colector de polvos y las partículas sólidas caen hacia un tornillo mezclándose y en conjunto con el producto aceptado del ciclón se envía directamente a una tolva para el ensacado.

3.1.6 Envasado

Luego de la etapa de secado continua el envasado de fosfato bicálcico en las ensacadoras de sacos de 25kg y en ensacadora big bag. El proceso inicia con el rotulado de los sacos a usar, luego el encendido y calibración de la ensacadora, si es que lo requiere, paletizado, el apilamiento y traslado a zona de almacenamiento.

3.1.7 Almacenamiento

El almacenamiento comprende: traslado, ordenamiento, apilamiento y control de los sacos de fosfato bicálcico. Inicia el apilamiento de las parihuelas o sacos big bag, en forma de columna del lado más alejado de la zona de ubicación de contenedores y desde la pared del almacén respetando los 0.5 m de separación, extendiendo la columna hasta la entrada. El producto terminado es estibado en parihuelas cuyo nivel inferior está a no menos de 0.2 m del piso, 0.6 m del techo y 0.5 m o más entre filas de parihuelas y la pared.

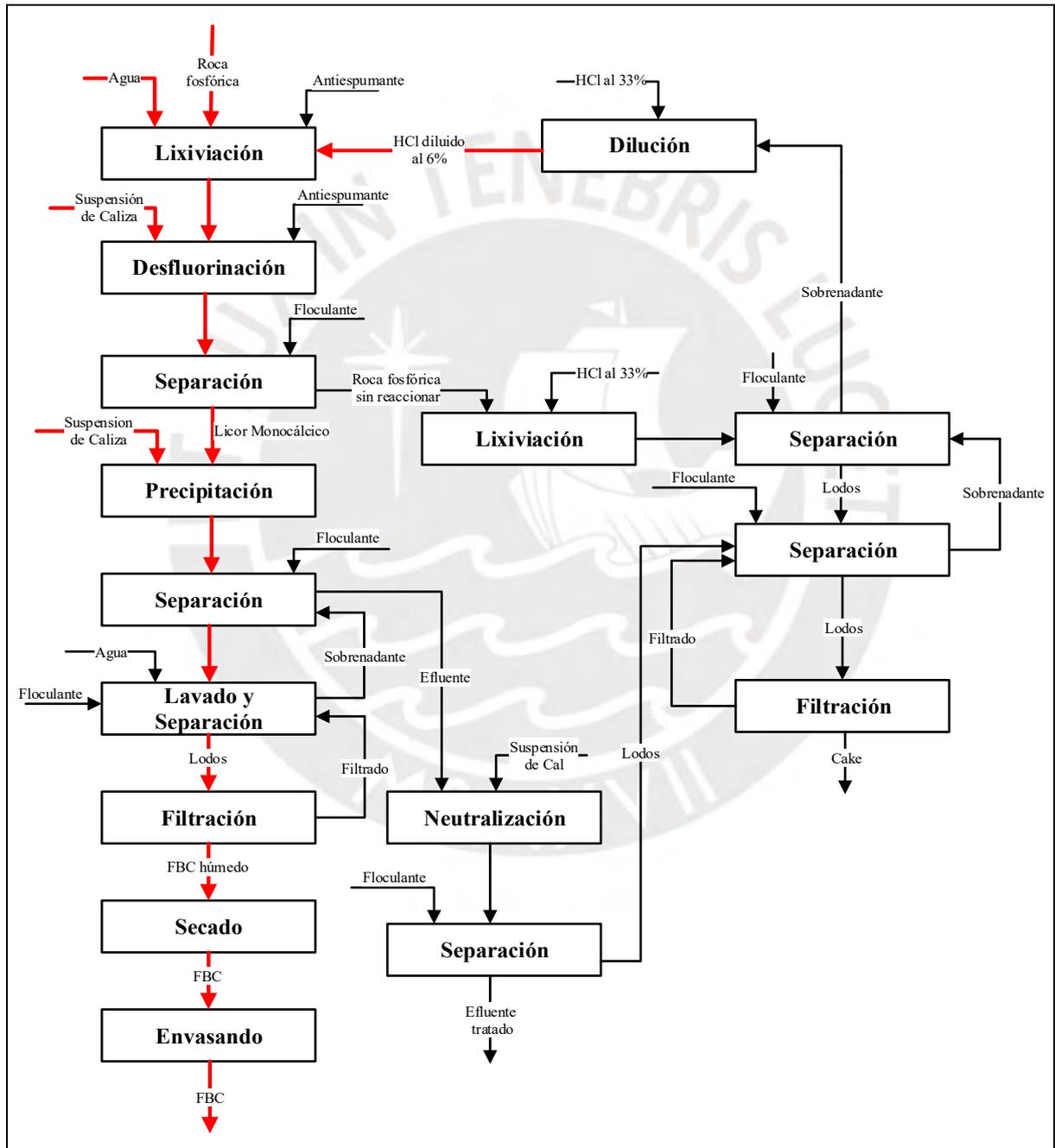


Figura 19 Diagrama de flujo en bloques del proceso productivo de fosfato bicálcico.

3.2 Análisis de los indicadores de gestión de planta

Las plantas de fosfato bicálcico, se caracterizan por tener diversidad de sistemas de producción y equipos, con un control centralizado y pocos operarios. Además, sus diversos problemas están relacionados con sus equipos, cuyo mantenimiento implica parada de las instalaciones. En este tipo de plantas, los productos o insumos se fabrican mediante la operación continua de equipos complejos tales como, reactores con o sin agitación, bombas, compresores, filtros prensa, secadores, cámaras de combustión, espesadores, etc., todas ellas conectadas por tuberías, válvulas, sistemas de instrumentación, etc. En este tipo de procesos, es muy común medir, por ejemplo, los tiempos de parada de la planta o de sus operaciones, la frecuencia de fallas de proceso o equipos, así también los consumos, el rendimiento o eficiencia de planta y otros.

3.2.1 Gestión de paradas de planta u operaciones

En las paradas de planta total o parcial, normalmente se mide los tiempos de parada por operación o la frecuencia con que estas suceden. Las paradas parciales de la planta, están asociadas con las fallas de proceso o de los equipos, y las paradas totales, están asociadas a los mantenimientos programados de la planta o alguna unidad crítica que obligue a una parada general. Todos estos indicadores, está estrechamente relacionados, pero es importante analizar cada uno de ellos para tomar mejores decisiones en la gestión de la ingeniería de la planta. Se analiza a continuación, estos indicadores.

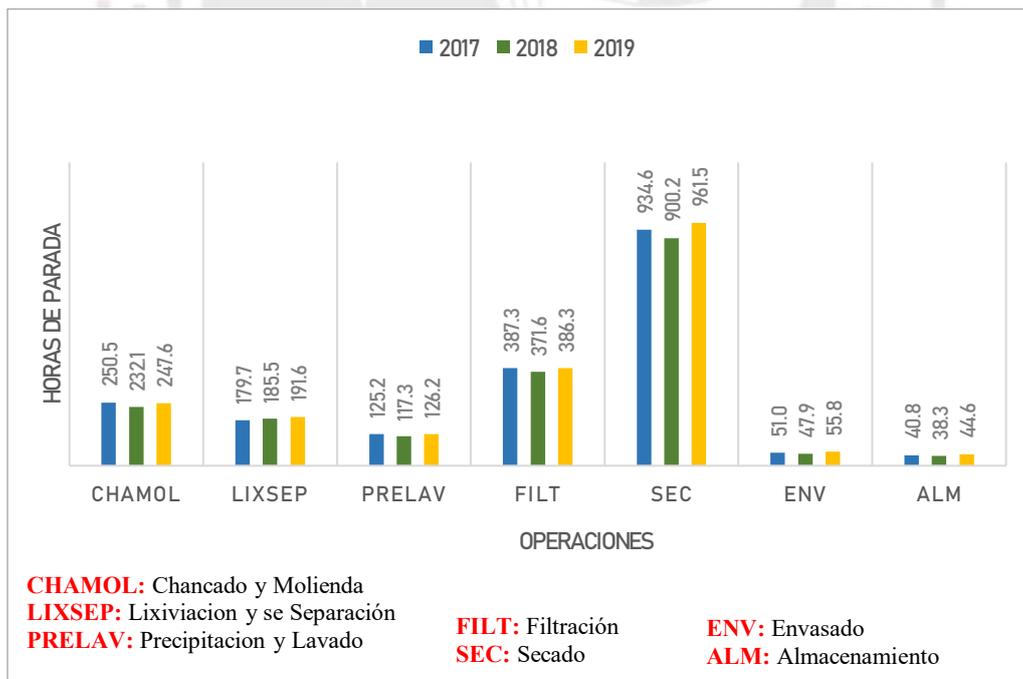


Figura 20 Tiempo total de parada por cada operación durante el periodo 2017 – 2019

En la figura 20 se muestra un histograma estratificado por operaciones según sus tiempos de parada durante los años 2017 al 2019, en donde se puede observar que más del 40% del tiempo total de parada de las operaciones, se concentra en la operación de secado, más del 15% radica en la operación de filtración, mientras que el 45% restante se divide entre las operaciones de chancado, lixiviación y separación, precipitación y lavado, envasado y almacenamiento.

La operación de secado muestra tiempos de parada no menores a 900 horas anuales mientras que las demás operaciones, claramente están por debajo de dicha cantidad. Este indicador mide los tiempos que cada operación permanecerá inoperativa por arranques de la planta, por paradas programadas o no programadas o fallas propias de los equipos de cada operación. El indicador anterior, se complementa con los mostrados en las figuras 21, 22 y 23.

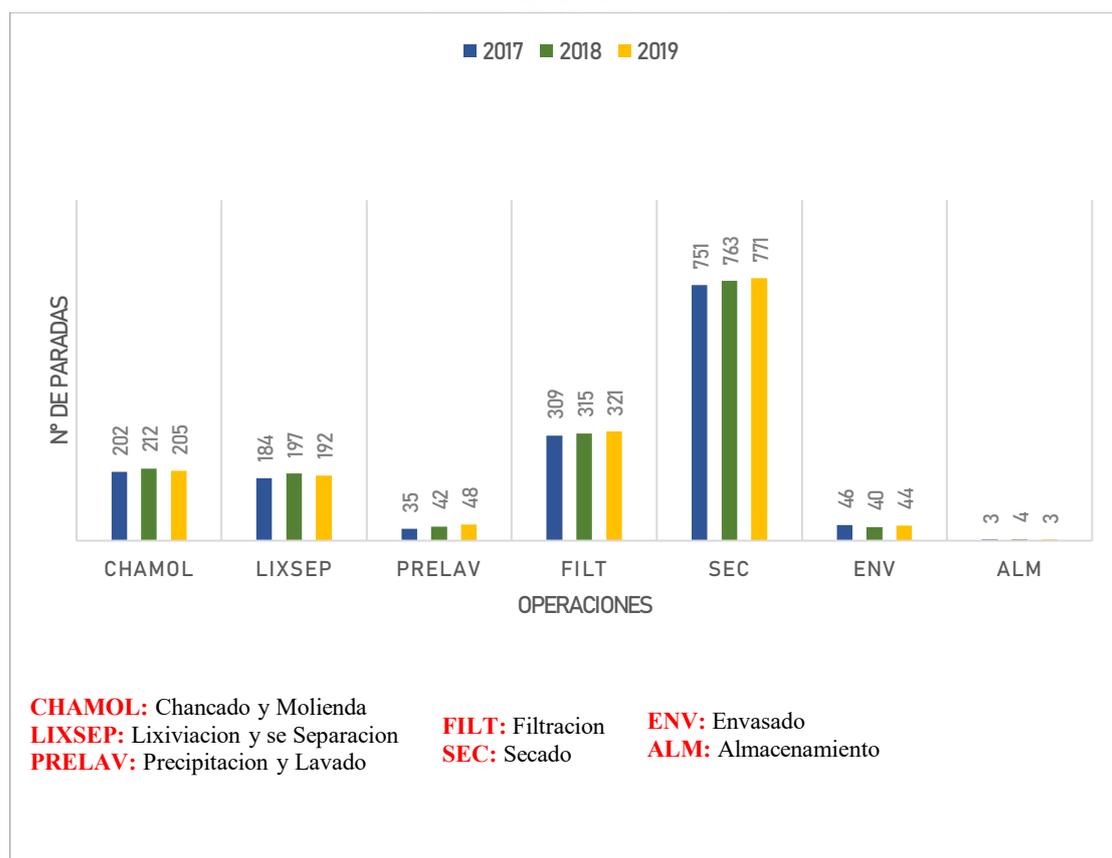


Figura 21 Frecuencia de paradas por operación durante el periodo 2017 – 2019

En la figura 21, se puede apreciar que durante los años 2017 al 2019, el número de paradas de las operaciones de secado estaba por encima de 700 veces al año, seguida de la operación de filtración que registra valores anuales por encima de 300, mientras el resto de operaciones registra aproximadamente menos de 200 paradas anuales. Por tanto, las operaciones más relevantes en número de paradas anuales mostradas en el gráfico anterior, son el secado y filtración, por otro lado, las de menos consideración son las operaciones de envasado y almacenamiento.

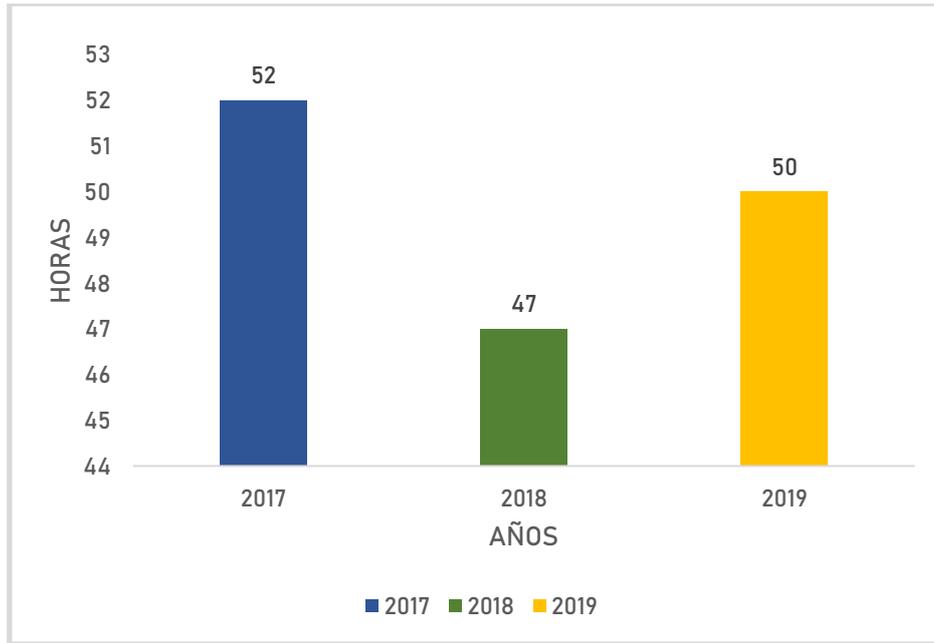


Figura 22 Tiempo de paradas programadas durante los años 2017 al 2019

En la figura 22, muestra los tiempos totales de las paradas generales programadas de la planta, realizadas dos veces por año, las que incluye tiempos de preparación para la parada y los tiempos en el arranque de planta. Se observa que, durante el año 2017, los tiempos en paradas general de planta para mantenimientos programados fueron mayores a 50 horas anuales, siendo una pérdida mayor en comparación con el año 2018 y 2019.

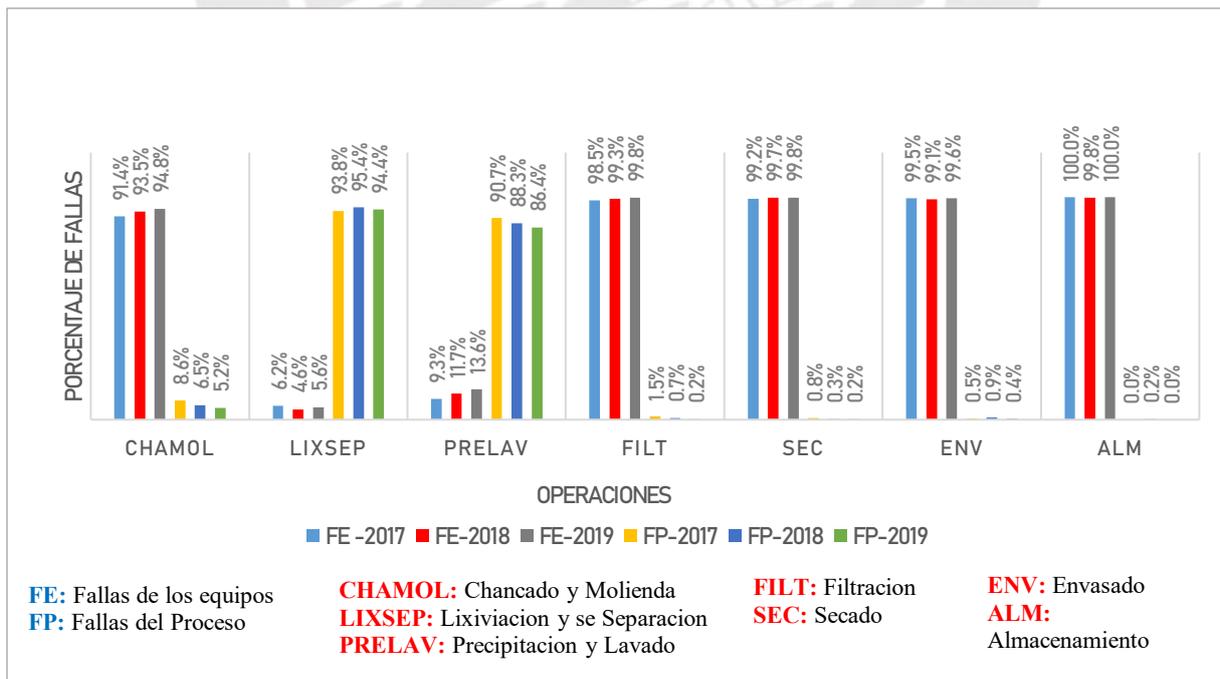


Figura 23 Frecuencia de fallas en las paradas de las operaciones durante los años 2017 -2019

En la figura 23 se muestra un histograma estratificado de la incidencia de fallas por operación según un tipo específico de fallas durante los años 2017 al 2019. Los datos mostrados en el gráfico están en función a la frecuencia de las fallas de los equipos; referido al tiempo perdido de una planta a causa de que un equipo intempestivamente pierde sus funciones específicas o también a los defectos o reducciones de la eficiencia del equipo que se producen mientras la planta está operativa, y a las fallas de proceso, referido al tiempo perdido cuando una planta para como resultado de factores externos al equipo, tales como errores de operación o cambios en las propiedades físicas o químicas de las sustancias que se procesan. La información mostrada en la figura 23 explica que las fallas de los equipos son más frecuentes en las operaciones de filtración y secado, superando el 98% de incidencias con respecto a las fallas de proceso, sin embargo, las fallas de proceso son mucho más frecuentes en las operaciones de lixiviación – Sepación y Precipitación – Lavado, siendo estas por encima del 80% con respecto a las fallas de los equipos. Las fallas de los equipos en la operación de almacenamiento básicamente están en función a las fallas de los montacargas que se encargan de trasladar el producto terminado desde el envasado hasta el almacén y no se considera relevante para efectos del presente estudio.

3.2.2 Gestión de la producción y consumo de materiales

Uno de los indicadores más recurrentes en las plantas de flujo continua, y claramente en una planta de fosfato bicálcico, es la medición de los consumos unitarios de los materiales que intervienen en el proceso productivo. Normalmente se miden y se asocian al cumplimiento del objetivo de producción, que explica cuánto de la producción presupuestada cada mes se logró alcanzar.

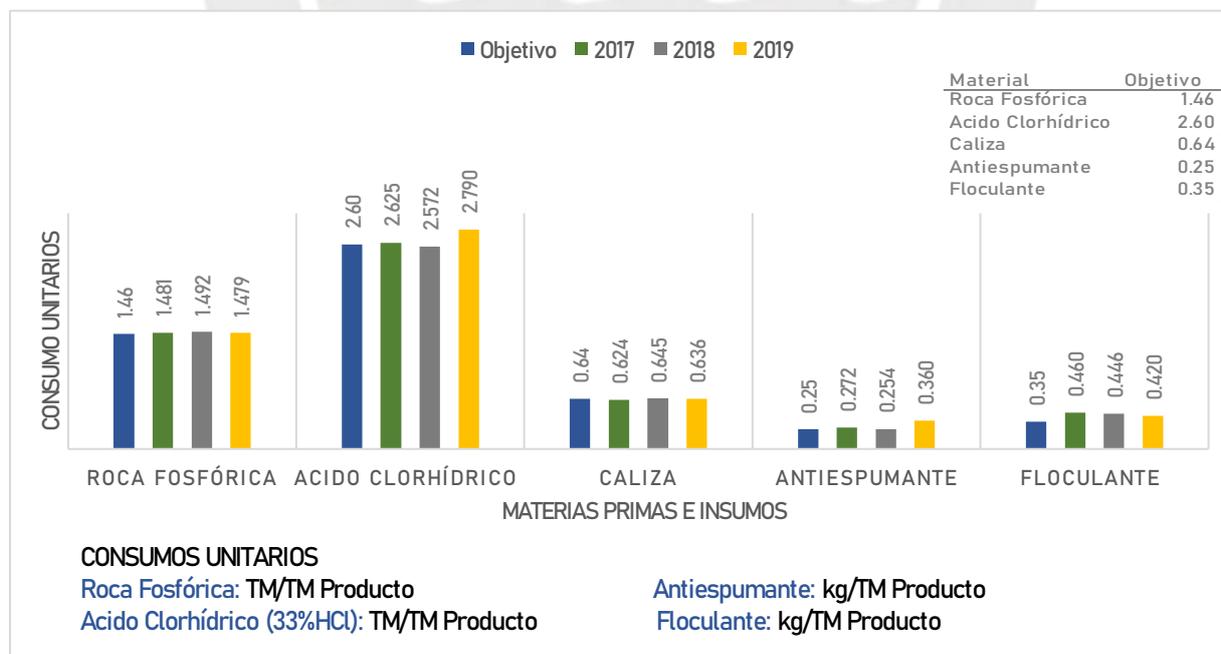


Figura 24 Consumos unitarios ponderados de los principales materiales empleados en el proceso durante los años 2017 - 2019

En la figura 24 se muestra los consumos unitarios ponderados anuales durante los años 2017 al 2019, de los principales materiales utilizados en el proceso productivo de fosfato bicálcico, comparados con los consumos unitarios objetivo anual. En la mayoría de los casos durante los años 2017 al 2019, los consumos unitarios ponderados anuales, están por encima de los valores objetivo por año, y esto es claramente por la frecuencia de fallas de los equipos o del proceso, que involucran consumos innecesarios de materiales.

En la información mostrada en la figura 24, se observa que la materia prima, roca fosfórica, registra consumos excedentes por encima de 1.4% con respecto al valor objetivo durante el año 2017, mientras un valor mucho mayor por encima al 2% se registra durante el año 2018. El ácido clorhídrico, sustancia empleada como agente de proceso en las operaciones de lixiviación, registra un ahorro de aproximadamente un 1% durante el año 2018, mientras un consumo mucho mayor por encima al 7% durante el año 2019. La caliza, es una sustancia empleada como agente de proceso en las operaciones de precipitación, registra un ahorro mayor al 2% durante el año 2017, mientras un consumo ligeramente mayor, por debajo del 1% durante el año 2018. El antiespumante, sustancia empleada en las operaciones de lixiviación y desfluorinación para controlar la espuma formada durante la generación del CO₂, registra consumos excedentes por encima de 1.5% con respecto al valor objetivo durante el año 2018, mientras un valor mucho mayor por encima al 40% se registra durante el año 2019. El floculante, sustancia empleada en las operaciones de separación, registra consumos excedentes de 20% con respecto al valor objetivo durante el año 2019, mientras un valor mucho mayor por encima al 30% se registra durante el año 2017.

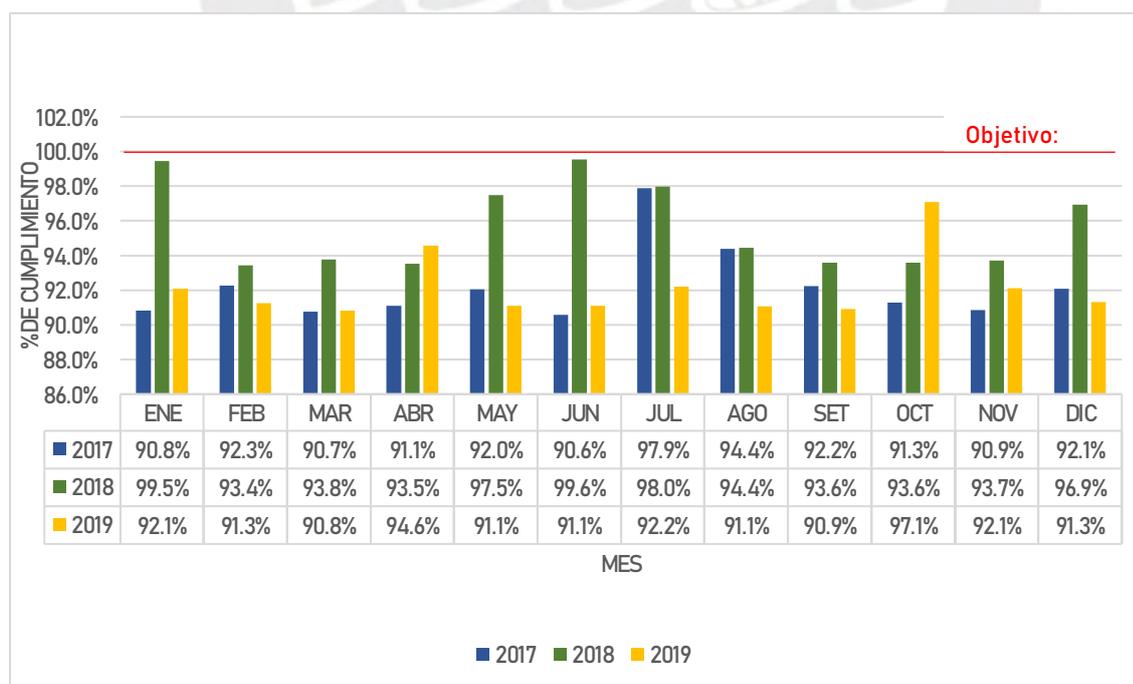


Figura 25 Porcentaje de cumplimiento del presupuesto de producción durante los años 2017 al 2019

En la figura 25 se muestra el porcentaje de cumplimiento de la producción en base a la producción presupuestada, de donde se observa que los porcentajes más bajos del cumplimiento de la producción fueron en el año 2017 y 2019, con valores mínimos de cumplimiento del 90.6% y un máximo del 97.9%, mientras el mejor cumplimiento fue durante el año 2018, con un mínimo del 93.4% y un máximo cumplimiento del 99.6%.

3.2.3 Gestión de la capacidad de planta

En la gestión de la capacidad de planta, se suele medir, el rendimiento de la planta, que relaciona el producto terminado y la materia prima asociada a la pureza del producto terminado. La eficiencia de planta que relaciona la producción real y efectiva y la utilización de la planta que relaciona la producción real y de diseño de la planta. Estos indicadores son un complemento de los indicadores de producción vistas en el punto 3.2.2.

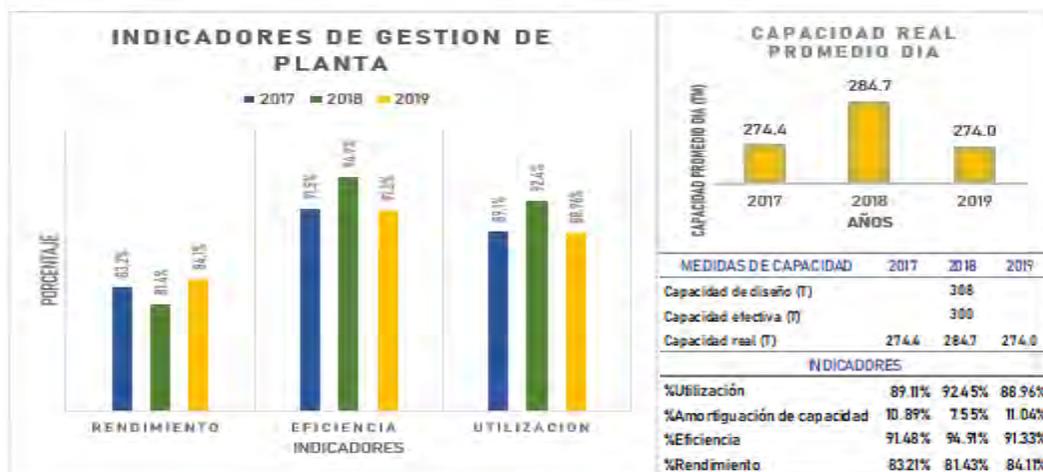


Figura 26 Indicadores de gestión de planta durante los años 2017 al 2019

En la figura 26 se muestra los indicadores más importantes en la gestión de planta, siendo estos, rendimiento, eficiencia y utilización de planta, evaluados durante los años 2017 al 2019. Estos indicadores están afectados por las pérdidas que se originan cuando una planta produce por debajo de su estándar como resultado de las fallas del proceso o de los equipos y otras condiciones anormales que entorpecen en el funcionamiento o influyen en las pérdidas que ocurren durante la producción normal en el arranque, parada y cambio de materiales. El rendimiento de planta está definido en función a la producción real y a la materia prima, la eficiencia de planta está en función de la producción real y a la producción efectiva, mientras la utilización de planta se refiere a la relación entre la producción real y la producción de diseño, finalmente la amortiguación de planta, se refiere de cuánta capacidad se dispone para aumentar la producción efectiva.

Según la información proporcionada en la figura 26, en el año 2018, se registró una producción real promedio por día no mayor a 280 TM, mientras que durante los años 2017 y 2019 la producción

real promedio por día fue no mayor a 275TM. Durante el año 2019 se registró un mayor rendimiento de planta no mayor a 84.1% mientras un menor rendimiento no mayor a 81.4% durante el año 2018. La mayor eficiencia de planta se registra durante el año 2018, con un valor no mayor a 94.9% sin embargo la más baja eficiencia fue de 91.3% registrada durante el año 2019. Con respecto a la utilización de la planta, se logró un mayor porcentaje durante el año 2018 con un valor no mayor a 92.4% mientras el valor más bajo fue de 89.1% registrado durante el año 2017.

3.2.4 Gestión de la calidad de planta

La gestión de la calidad de la planta, está asociada básicamente a la medición de los defectos de calidad, o la cantidad de producción reprocesada, así como de los reclamos de los clientes por alguna cantidad de producción cuyo defecto no se detectó a tiempo antes que llegue a su destino.

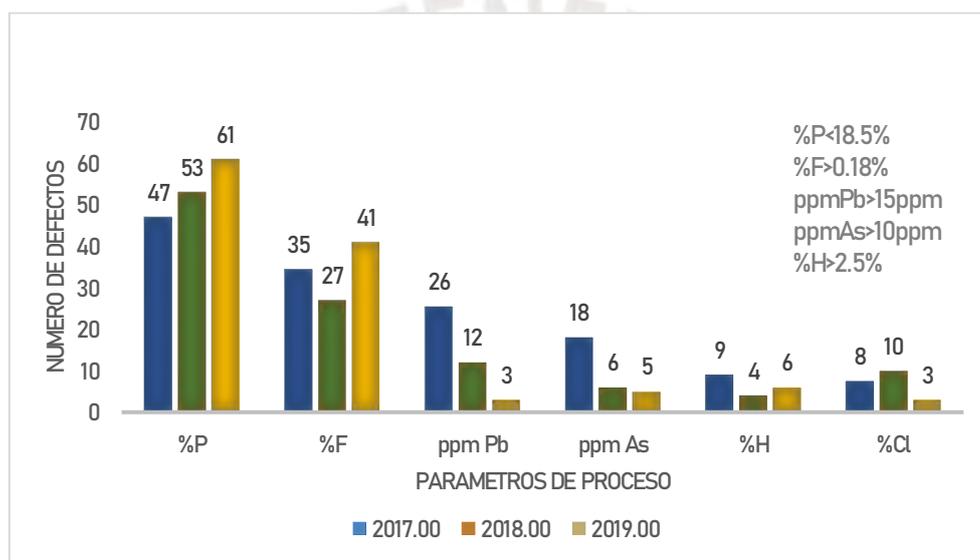


Figura 27 Defectos de calidad registrados durante los años 2017 al 2019

En la figura 27 se muestra los defectos de calidad de los parámetros más relevantes del producto terminado registrados durante los años 2017 al 2019. Los defectos de calidad están en función básicamente a productos fuera de especificación en %F, %P, %H, ppm As y ppm Pb. Más del 45% de los defectos de calidad en los años 2018 y 2019, son por porcentajes de fosforo (%P) menores a la especificación técnica, de 18.5%P, mientras que los defectos de calidad por este mismo parámetro registrados durante el año 2017 no son mayores al 33% del total de defectos.

Con respecto al parámetro del porcentaje de flúor (%F), se observa que, en los años 2017 y 2018, los valores están por debajo del 25% del total de defectos de calidad, mientras que, durante el año 2019, el número de defectos de calidad por %F mayor a 0.18% no son mayores a 34%. Los defectos de calidad de los parámetros como %Humedad, ppm Arsénico, ppm Plomo o %Cloruros, en los años 2017 y 2019 no supera el 45% del total de los defectos. Los defectos de calidad están ligados principalmente a las fallas del proceso, que son finalmente los que afectan al control de las condiciones de operación que aseguran la calidad del producto.

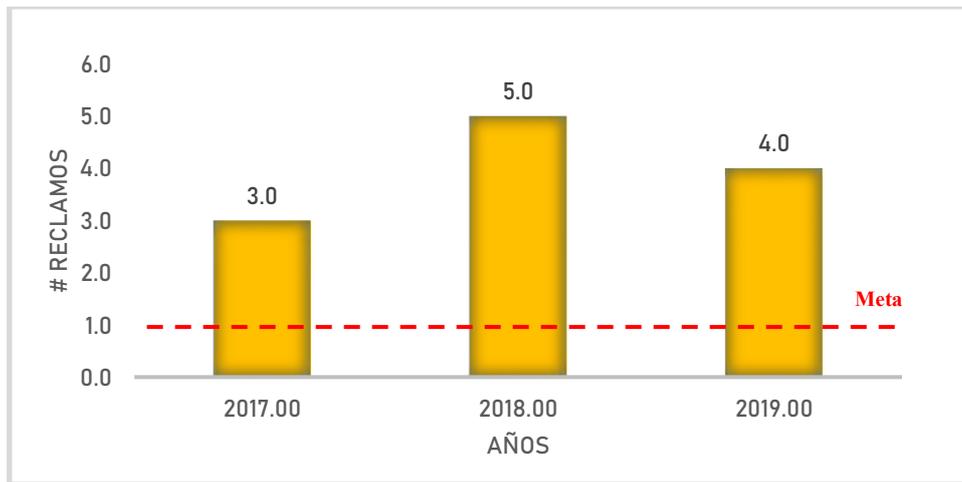


Figura 28 Número de reclamos de clientes durante los años 2017 al 2019

En la figura 28 se muestra el número de reclamos registrados con devolución de producción por año durante el periodo 2017 al 2019. En base a la información mostrada, durante el año 2018 se registró cinco reclamos siendo este el mayor número de reclamos por parte de los clientes seguido de cuatro y tres reclamos en los años 2019 y 2017 respectivamente. Sólo se registró reclamos en función a los parámetros de %P y %F.



Figura 29 Producción reprocesada registrada durante los años 2017 al 2019

En la figura 29 se muestra el total de producción en toneladas reprocesadas durante el periodo 2017 al 2019. Según se puede apreciar en la información mostrada, durante el año 2019 se reprocesó 2611.6TM, siendo la mayor cantidad reprocesada durante el periodo de análisis, mientras que la menor cantidad de producción reprocesada fue de 2577.4TM registrada durante el año 2017.

3.2.5 Eficacia global de planta de fosfato bicálcico

En la producción de la planta de fosfato bicálcico, es muy usual el mantenimiento con parada general, necesarios para mantener el rendimiento y garantizar la seguridad de la planta. Sin embargo, si se trata de la mejora de la eficacia global de la planta, el tiempo en la parada y en el arranque se considera una pérdida.

La planta sufre fallas y averías del proceso además de las propias de los equipos individuales. Las fugas, las obstrucciones y la contaminación, afectan al equipo interna y externamente. Las propiedades de las sustancias químicas que se manejan, la corrosión o el polvo disperso pueden causar fallas que hacen necesario parar la planta. Las caídas de producción que se producen durante el arranque o paradas, son problemas muy comunes en la planta, y las que resultan de defectos de la planta y anomalías son pérdidas por bajos rendimientos de las operaciones físicas o químicas. La planta de fosfato tiene pérdidas de defectos de calidad y por reproceso, los que son grandes impedimentos para elevar la eficacia global de la planta. Las pérdidas por defectos de calidad incluyen a productos fuera de especificación técnica o al producto rechazado por el cliente. Las pérdidas por reprocesamiento surgen cuando un producto rechazable se recicla en un proceso previo, generando pérdidas de tiempo, físicas y de energía.

Finalmente, maximizar la eficacia global de la planta implica, por ejemplo, aumentar el tiempo que la planta opera sin una avería, mejorando su plan de mantenimiento con parada general o reduciendo las pérdidas de rendimiento y los defectos de calidad. Con la información disponible, se ha elaborado la figura 30, que muestra durante los años 2017 al 2019, las tasas de disponibilidad, eficiencia y calidad de la planta de fosfato bicálcico, así como también la eficacia global de planta (%OPE). Se observa entonces, que el OPE de la planta de fosfato bicálcico durante dicho periodo, se encuentra entre 75% y 85%, siendo este un buen nivel, con pérdidas, pero con una gran oportunidad de mejora para alcanzar el nivel de clase mundial, mayor a 95%, que sólo lo logran las mejores compañías manufactureras.

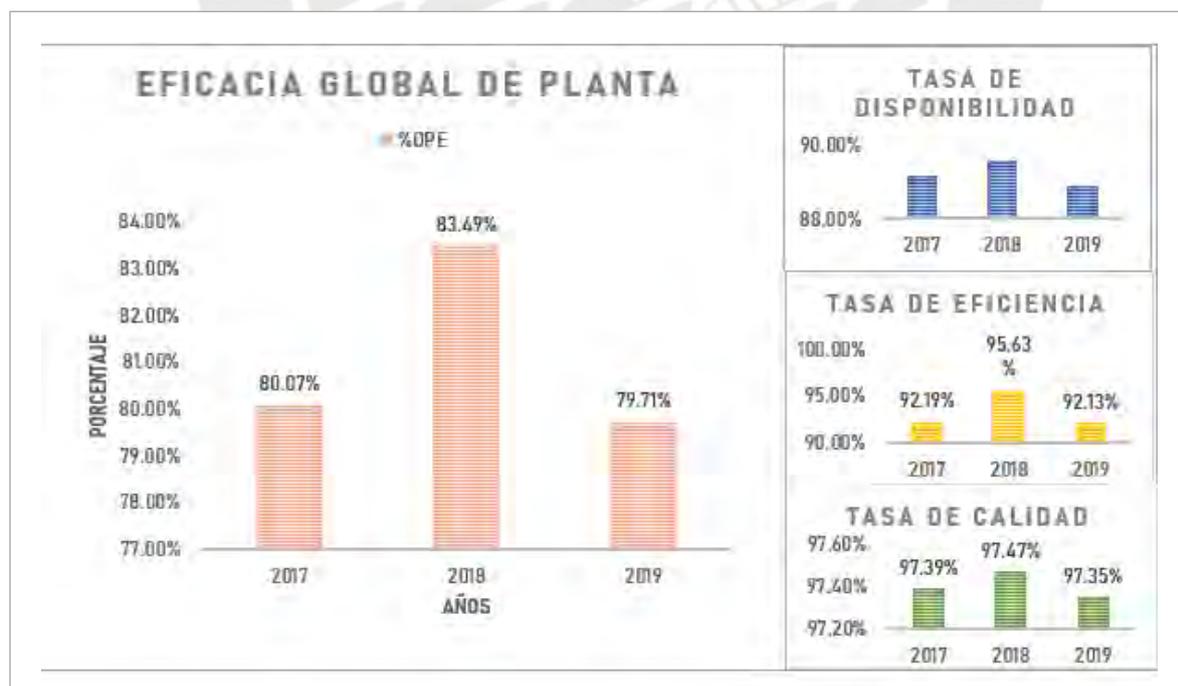


Figura 30 Eficacia global de planta registrada durante los años 2017 al 2019

3.3 Criterios de evaluación

Para maximizar la eficacia de una la planta de fosfato bicálcico, se debe elevar al máximo sus funciones y rendimiento, esto implica llevarla a condiciones óptimas de operación y mantenerla en ese estado eliminando o al menos minimizando sus problemas críticos, sin embargo, vista la complejidad del proceso, es relevante recurrir a la experiencia de los expertos en la gestión de la ingeniería de la planta, que ayudarán a la selección de los problemas críticos así como la relación entre estos y las operaciones críticas. Para tal fin es necesario entonces, establecer los siguientes criterios técnicos de evaluación que permitirá estandarizar el análisis de cada uno de los expertos.

- a. **Desempeño:** Se evalúa en función a la confiabilidad de cada operación.
- b. **Frecuencia:** Evalúa el número de veces con que ocurren las fallas en cada operación
- c. **Impacto en el cliente:** Evalúa la influencia que se puede tener directamente con la calidad del producto final y por ende con la satisfacción del cliente.
- d. **Impacto en la empresa:** Evalúa el impacto en el costo de producción en función a los consumos unitarios de los principales materiales.
- e. **Importancia:** Evalúa la relevancia que se tiene en la gestión de la planta.
- f. **Susceptibilidad al cambio:** Evalúa la probabilidad con la que se pueda en el corto o largo plazo realizar mejoras.

3.4 Selección de operaciones críticas

En la planta de fosfato bicálcico, cada operación juega un papel importante, por tanto, es necesario identificar las operaciones unitarias y químicas críticas que influirían directamente en la eficacia global de la planta en función al análisis realizado de los indicadores de gestión de planta.

Para la selección de las operaciones críticas que influyen en la eficacia global de la planta, se tomará como base el diagrama de priorización construida mediante el método del consenso de criterios de evaluación (ver Anexo A), según lo establecido por el equipo de trabajo formado por expertos en el proceso productivo de la planta de fosfato bicálcico (3 supervisores de planta, un ingeniero de procesos, un jefe de planta y un superintendente de planta). Este diagrama es una de las herramientas de gestión descritas en el capítulo I, y una de las más prácticas para efectos del estudio, relacionando las operaciones descritas del proceso productivo y los criterios técnicos sustentados en base al análisis de los indicadores de gestión de planta antes mencionados. A continuación, se muestra los resultados en la tabla 2.

De la evaluación realizada a las siete operaciones (las operaciones se mencionan según la política de gestión de la planta, las tres primeras representan a un conjunto de operaciones físicas y químicas según sea el caso, descritas en el punto 3.1) y mostrada en la matriz en la Tabla 2, se observa que la operación de secado se considera como la operación crítica e influyente en la eficacia global de

la planta por tener el más alto puntaje de evaluación debido a un bajo desempeño, alta frecuencia de paradas e importante impacto al cliente y a la empresa.

Tabla 2 Diagrama de priorización para la selección de las operaciones críticas

Operación	Criterios						Total
	DP	FC	IC	IE	IP	SC	
Chancado y Molienda	6.59	7.50	4.67	8.26	1.01	1.09	29.12
Lixiviación y Separación	9.17	5.95	7.61	11.41	1.50	2.37	38.01
Precipitación y Lavado	12.90	3.62	6.54	9.05	1.45	1.58	35.14
Filtración	3.15	12.15	6.14	9.84	1.19	2.07	34.55
Secado	2.58	15.26	6.94	10.62	0.72	2.17	38.30
Envasado	12.61	3.10	2.54	2.75	0.49	1.38	22.88
Almacenamiento	16.05	2.84	1.74	2.56	0.31	0.99	24.49

Leyenda: DP: Desempeño; FC: Frecuencia; IC: Impacto en el cliente; IE: Impacto en la empresa; IP: Importancia; SC: Susceptibilidad al cambio

3.5 Identificación y selección de problemas críticos

Los problemas fueron identificados mediante el análisis de los indicadores de gestión de planta, que como bien ya se demostró, influyen directamente en la eficacia global de planta. Así, por ejemplo, los tiempos perdidos durante el *arranque de planta*, los tiempos perdidos durante las *paradas programadas o no programadas*, o los tiempos perdidos por *fallas de proceso o falla de los equipos*, o también los *bajos rendimientos* de las operaciones, son finalmente los problemas que reducen la disponibilidad de la planta y su eficiencia, por otro lado, los *defectos de calidad o devoluciones de los clientes*, son los que impactan en la tasa de calidad.

Para la selección de los problemas críticos más influyentes en la eficacia global de la planta de fosfato bicálcico se tomará como base el diagrama de priorización construida mediante el método del consenso de criterios de evaluación (ver Anexo B), según lo establecido por el equipo de trabajo formado por expertos en el proceso productivo de la planta de fosfato bicálcico (tres supervisores de planta, un ingeniero de procesos, un jefe de planta y un superintendente de planta) relacionando los problemas en base a los criterios técnicos sustentados en el punto 3.3., mediante el análisis de los indicadores de gestión de planta analizados en el punto 3.2. A continuación, se muestra los resultados en la tabla 3 y 4.

De la evaluación realizada a los ocho problemas críticos más influyentes en la eficacia global de la planta de fosfato bicálcico y mostrada en la matriz 3.2 y 3.3, se concluye que las fallas de los equipos, se consideran como problemas críticos influyentes en la eficacia global de la planta (ver Anexo B), por tener el más alto puntaje en la evaluación debido a una alta frecuencia con que ocurre cada

problema, alta importancia que tienen en la operación de la planta, la dificultad para ejecutar soluciones a corto o mediano plazo y el gran impacto que estos tienen sobre el cliente y la empresa.

Tabla 3 Diagrama de priorización para la selección de los problemas críticos

Problemas	Criterios				Total
	FC	IC	IE	SC	
Arranque de planta	3.49	3.06	16.73	2.89	26.17
Bajo rendimiento de las operaciones	12.58	11.99	16.73	6.67	47.96
Defectos de Calidad	10.25	13.63	17.04	6.44	47.37
Devolución de los clientes	2.56	5.64	17.35	6.22	31.78
Fallas de los equipos	12.11	11.28	17.35	10.22	50.96
Fallas de proceso	11.88	12.69	15.80	10.00	50.37
Parada no programada	2.79	6.58	16.42	6.89	32.69
Paradas programadas	3.49	2.12	16.42	6.67	28.70

Leyenda: DP: Desempeño; FC: Frecuencia; IC: Impacto en el cliente; IE: Impacto en la empresa; SC: Susceptibilidad al cambio

Tabla 4 Nivel de priorización de los problemas críticos

Problemas	Puntuación	Porcentaje
Fallas de los equipos	50.96	16.13%
Fallas de proceso	50.37	15.94%
Bajo rendimiento de las operaciones	47.96	15.18%
Defectos de Calidad	47.37	14.99%
Parada no programada	32.69	10.34%
Devolución de los clientes	31.78	10.06%
Paradas programadas	28.70	9.08%
Arranque de planta	26.17	8.28%
Total	316.00	100.00%

3.6 Análisis de causas y efecto de los problemas críticos

A continuación, se desarrolla el análisis de causa – efecto del problema seleccionado en la operación de secado de la planta de fosfato bicálcico, con la finalidad de identificar las herramientas que permitan la solución del problema.

Se desarrolla en la figura 31 (diagrama de causa y efecto), las causas posibles que influyen en las fallas de los equipos de la operación de secado, identificadas en varias categorías en conjunto con el personal técnico de la planta de fosfato bicálcico.

Diagrama de Causa y efecto

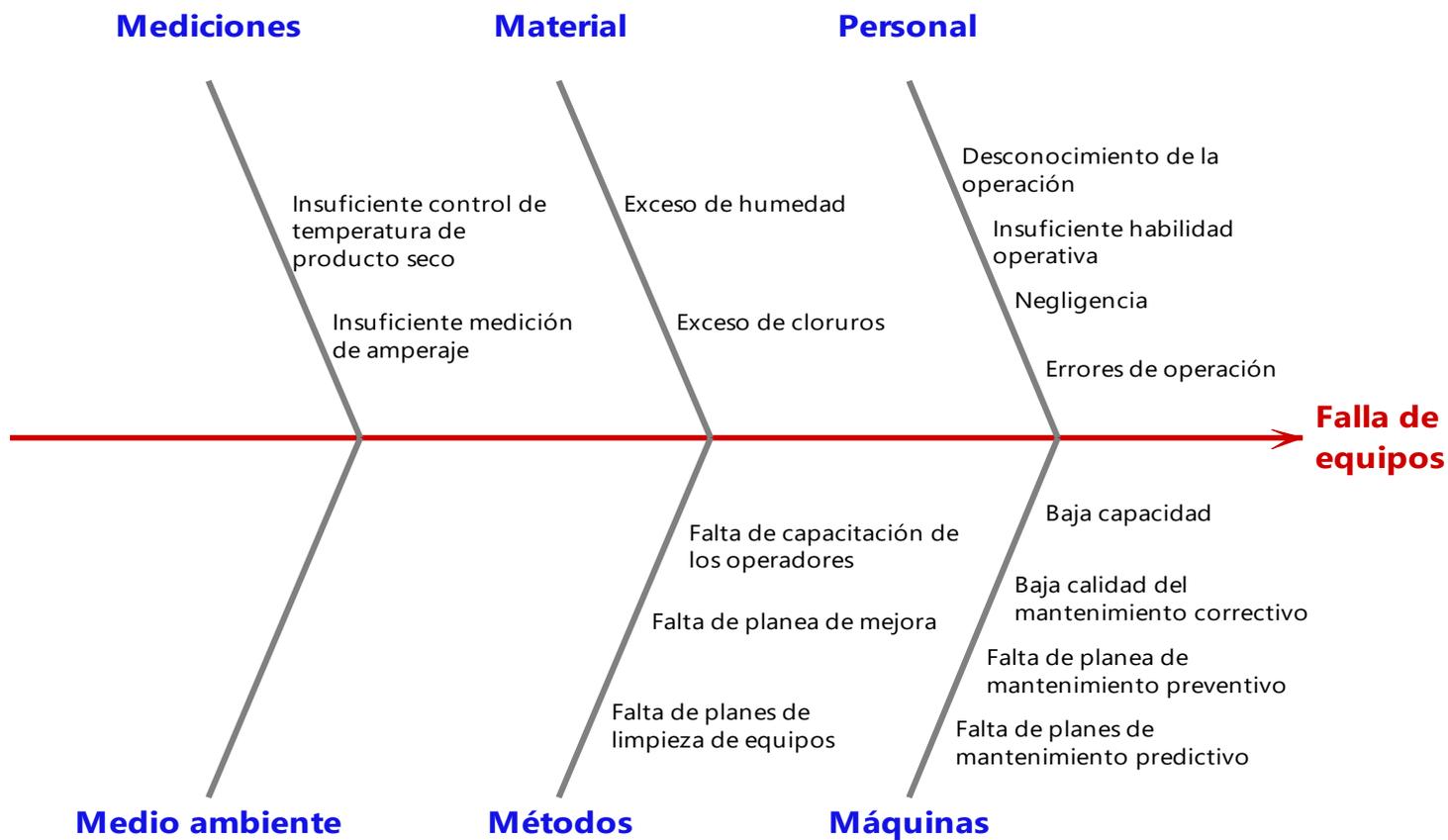


Figura 31 Diagrama de causa y efecto para el análisis de las fallas de equipos en la operación de secado

En la tabla 5, se muestra la medición de la frecuencia con la que ocurre cada una de las causas a la cual se le atribuye las fallas de los equipos en la operación de secado, medidas durante el año 2019. Estas mediciones son sometidas al análisis de Pareto para seleccionar las respectivas causas críticas.

Tabla 5 Hoja de verificación de fallas de equipos en la operación de secado

Defectos	Código	Frecuencia
Baja calidad del mantenimiento correctivo	D1	76
Baja capacidad	D2	35
Desconocimiento de la operación	D3	24
Errores de operación	D4	36
Exceso de cloruros	D5	30
Exceso de humedad	D6	83
Falta de capacitación de los operadores	D7	75
Falta de planes de mantenimiento preventivo	D8	88
Falta de planes de mejora	D9	72
Falta de planes de limpieza de equipos	D10	70
Falta de planes de mantenimiento predictivo	D11	89
Insuficiente control de temperatura de producto seco	D12	35
Insuficiente habilidad operativa	D13	8
Insuficiente medición de amperaje	D14	30
Negligencia	D15	20

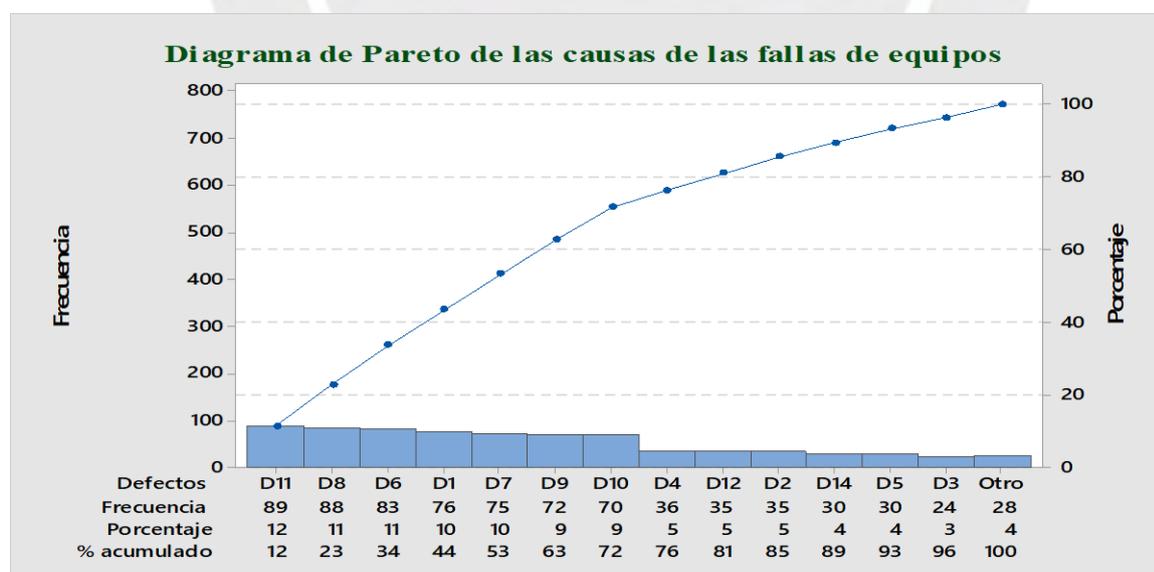


Figura 32 Diagrama de Pareto para la determinación de causas de las fallas de los equipos en la operación de secado

En la Figura 32 se muestra el análisis de Pareto para la determinación de las causas de las fallas de los equipos en la operación de secado, de donde se concluye que el 72%, están asociadas al alto

mantenimiento correctivo, la falta de mantenimiento preventivos y predictivos, falta de capacitación de los operadores, falta de planes de mejora y de la falta de planes de limpieza de equipos. Estas causas seleccionadas, se muestran en la tabla 6.

Tabla 6 Lista de causas influyentes en las fallas de los equipos de la operación de secado

Código	Defectos
D11	Falta de planes de mantenimiento predictivo
D8	Falta de planes de mantenimiento preventivo
D6	Exceso de humedad
D1	Baja calidad del mantenimiento correctivo
D7	Falta de capacitación de los operadores
D9	Falta de planea de mejora
D10	Falta de planes de limpieza de equipos

En base a la determinación de las causas realizado en los puntos 3.6.1, se presentan a continuación las principales propuestas para reducir y/o eliminar las causas de los problemas identificados (fallas de los equipos) empleando herramientas de *Lean Manufacturing* con la finalidad de lograr un aumento en la eficacia global de la planta de fosfato bicálcico mediante la mejora continua del proceso.

Tabla 7 Selección de herramientas de mejora para la eliminación de fallas

Operación	Problemas	Fallas	Herramienta de mejora
Secado	Fallas de equipos	Alta frecuencia de mantenimiento correctivo	Mantenimiento planificado (TPM)
		Falta de planes de mantenimiento preventivo	Mantenimiento planificado (TPM)
		Falta de planes de mantenimiento predictivo	Mantenimiento planificado (TPM)
		Exceso de humedad	Andón, Autonomación (<i>JIDOKA</i>)
		Falta de capacitación de los operadores	Desarrollo del talento humano (TPM)
		Falta de planes de mejora	Mejoras enfocadas (TPM/ <i>JIDOKA</i>)
		Falta de planes de limpieza de equipos	Clasificación y Orden (5S y Mantto Autónomo)

Capítulo 4: Propuesta de mejora

Como bien se estudió en el “capítulo 1” del presente trabajo de investigación, el OPE, relaciona la disponibilidad de la planta, es decir; el tiempo que la planta permanecerá operando. La eficiencia de la planta, que se refiere a la producción real que la planta puede producir considerando fallas de proceso o de equipos y la tasa de calidad, que se refiere a la cantidad de producto vendible. Teniendo en cuenta la naturaleza y el estado de operación del proceso (proceso continuo y estado estacionario), y considerando la identificación de los problemas y la determinación de sus causas mostradas en la tabla 7, se propone a continuación (ver figura 33), un sistema de mejora continua de la eficacia global de una planta de fosfato bicálcico (*continuous improvement system for overall plant effectiveness*, CISOPE), sustentada en herramientas de la filosofía del *Lean Manufacturing*.

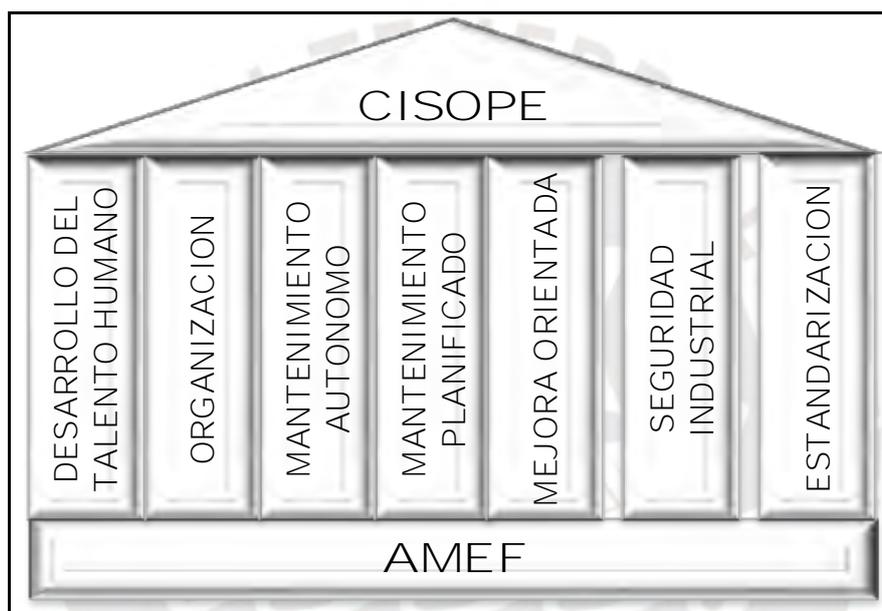


Figura 33 Sistema de mejora continua de la eficacia global de una planta

El sistema de mejora de la eficacia global de una planta de fosfato bicálcico (CISOPE), busca reducir una de las principales fallas que ocurren en el mencionado proceso, las fallas de los equipos en la operación de secado. El sistema propuesto, CISOPE, se basa en herramientas propias del *Lean Manufacturing*, como la organización y la estandarización enfocadas en las 5S, el mantenimiento autónomo, mantenimiento planificado, desarrollo del talento humano, mejora enfocada y la seguridad industrial basados en el TPM. Finalmente, la autonomación basada en la filosofía del *JIDOKA*. El ejercicio de todas las herramientas mencionadas, se sustentan en base al AMEF, siendo esta una herramienta potente muy usada en la implementación del TPM.

4.1 Características técnicas de la operación de secado

La operación de secado consta de dos sistemas idénticos de secado en donde están asociados diferentes tipos de equipos industriales que contribuyen a la producción y calidad del producto. En la figura 34 se muestra un diagrama general de flujo de procesos (PFD), del sistema de secado, en donde

se muestra la interacción entre los equipos. Se muestra en la tabla 8 una lista de todos los equipos que intervienen en la línea de proceso en la operación de secado y las funciones a nivel general de cada uno de ellos.

Tabla 8 Equipos y sus funciones en la operación de secado

Equipos	Cantidad	Función
Cámara de combustión	2	Alojar la combustión del combustible (GN) con el oxígeno del aire
Ciclones	4	Remover el material particulado del flujo de aire
Quemador	4	Combinar el combustible (GN) con el oxígeno del aire para que salte la llama que inicia la combustión.
Secador Flash	2	Secar el fosfato bicálcico húmedo, desde una humedad promedio de 24% H_2O hasta 1.5% H_2O
Tornillos sin fin	16	Transportar el fosfato bicálcico húmedo y seco
Válvula rotatoria	8	Regular el flujo de fosfato bicálcico seco
Ventiladores	6	Transportar aire

En el diagrama de flujo de la figura 34, la línea de color rojo, representa la línea principal del proceso, desde que ingresa el fosfato bicálcico húmedo proveniente de los filtros prensa hasta obtener el producto terminado seco. La línea de color verde, muestra el flujo del producto recuperado y recirculado para reducir la humedad del producto antes de ingresar al secador flash. Las líneas de color azul claro, muestran los flujos de entrada y salida de aire. Finalmente, las líneas de color plomo, muestran el flujo de alimentación del combustible (GN).

En la tabla 9 se muestra las horas perdidas por cada equipo en cada sistema de secado, cuyo análisis se complementa en los gráficos de las figuras 34 y 35.

Tabla 9 Horas perdidas en cada sistema de secado en la planta de fosfato bicálcico durante el año 2019

Equipos	Sistema de Secado 01		Sistema de Secado 02		Total
	Código	Horas	Código	Horas	
Cámara de combustión	Q07	6.5	Q04	8.0	15
Ciclones	F06A	0.5	F08A	0.6	1
	F06B	2.0	F08B	0.5	3
Colector de polvos	CP360	10.1	CP492	9.0	19
Secador flash	SF01	140.8	SF02	45.0	186
Tornillos sin fin	T-16	29.7	T-32	36.0	66
	T-19	26.2	T-33	22.4	49
	T-20	11.7	T-34	11.0	23
	T-22	11.5	T-35	9.6	21
	T-27	45.2	T-36	9.1	54
	T-28	39.6	T-37	10.9	51
	T-30	18.5	T-38	8.2	27
	T-26	12.3	T-39	8.5	21
Válvulas rotatorias	VR09A	8.0	VR24	7.5	16
	VR09B	6.0	VR22A	6.0	12
	VR26	6.0	VR22B	7.0	13
	VRF	8.5	VR25	4.0	13
Ventiladores	C12	2.0	C16	67.0	69
	C13	4.0	C17	2.0	6
	C15	115.0	C18	5.0	120
Quemadores	Q08A	5.0	Q05A	5.0	10
	Q08B	6.0	Q05B	5.0	120
Total	-	515.1	-	287.3	911.4

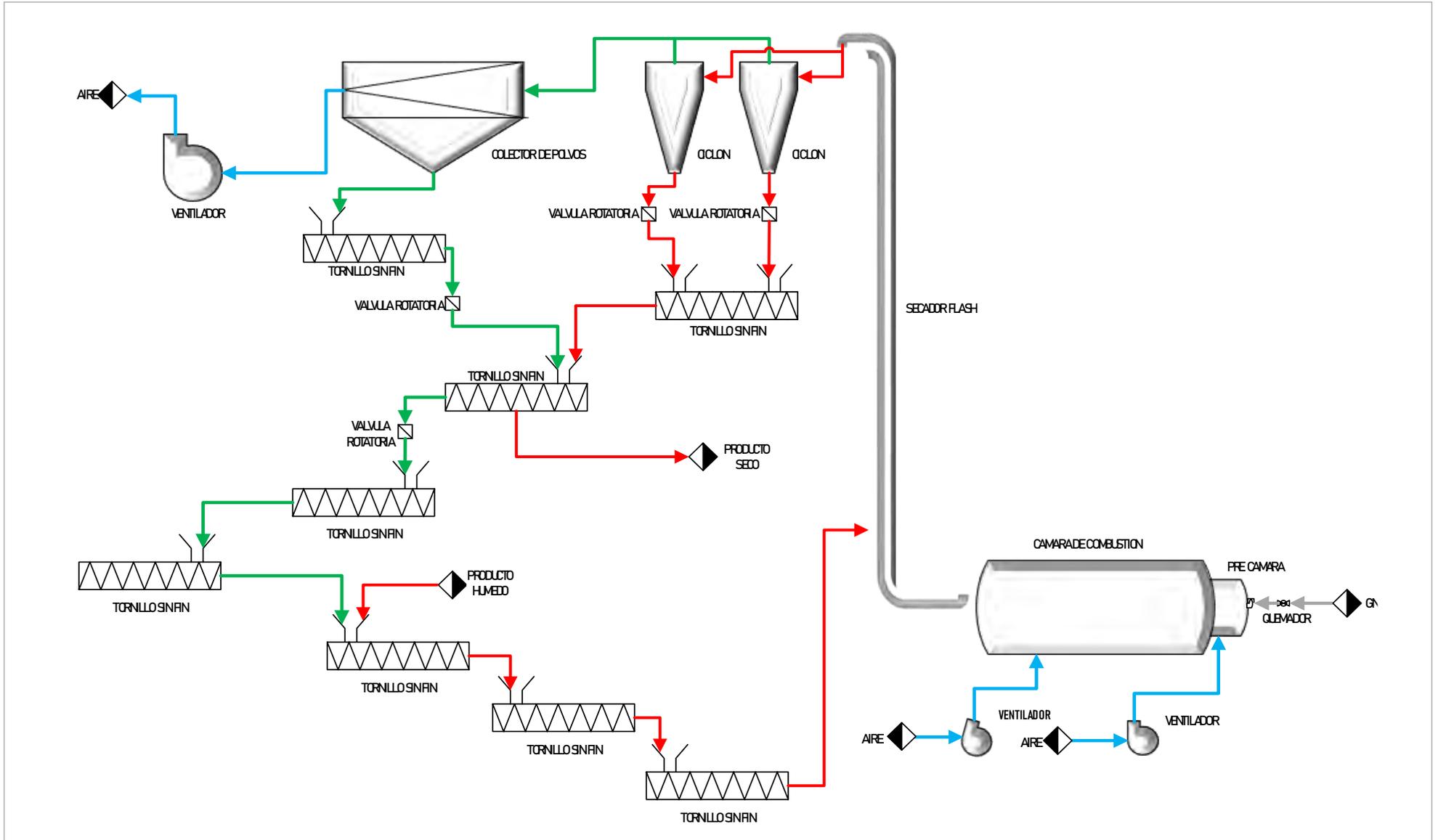


Figura 34 Diagrama de flujo de procesos (PFD) de la operación de secado

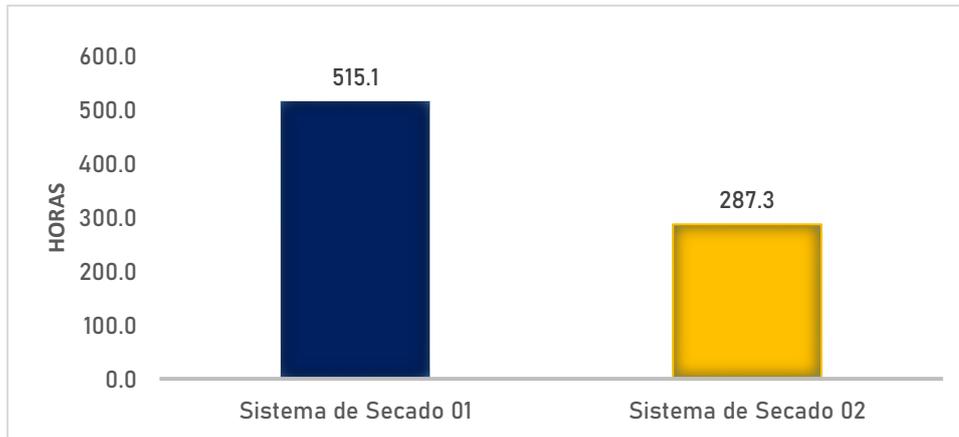


Figura 35 Horas perdidas por cada sistema de secado durante el año 2019

En la figura 35 se determina que el sistema de secado 01, presenta la mayor cantidad de horas perdidas que representa aproximadamente 1.8 veces las horas perdidas del sistema de secado 02. A continuación, se selecciona los equipos críticos y posteriormente la implementación del CISOPE, en el sistema de secado 01.

4.2 Implementación del sistema de secado para la implementación del CISOPE

En la figura 36, basado en la data dispuesta en la tabla 9, se determina que el 80% de las horas perdidas está asociada al secador flash SF01, ventilador C-15, y los tornillos T-27, T-28, T-16, T-19 y T30.

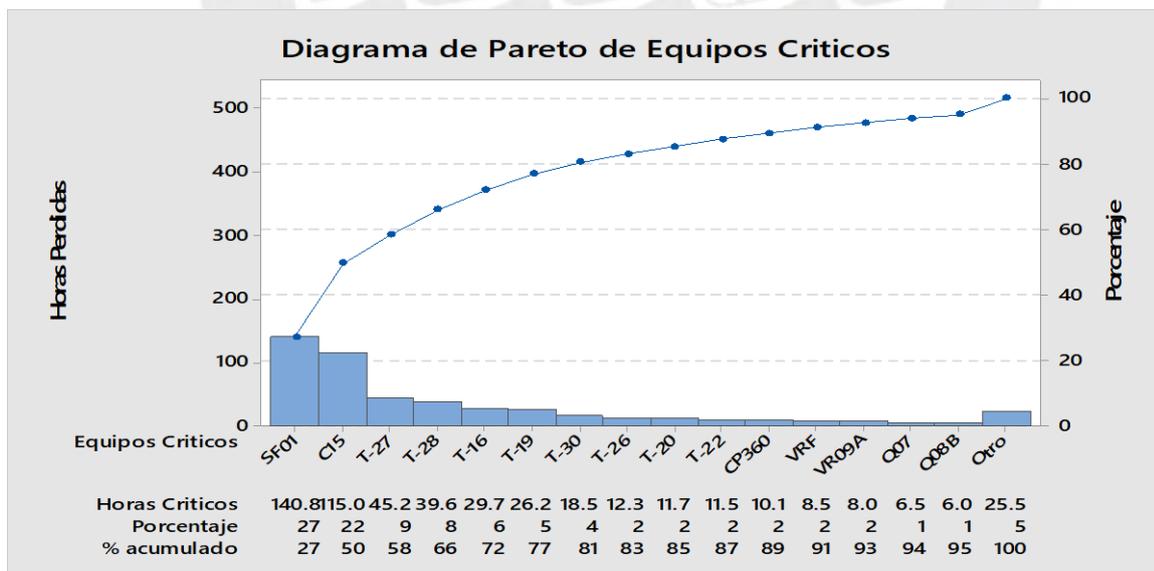


Figura 36 Diagrama de Pareto de los equipos críticos del sistema de secado 01

4.3 Implementación de CISOPE en la operación de secado

La implementación del CISOPE en la planta de fosfato bicálcico, basado en las herramientas del *Lean Manufacturing*, se enfoca en la gestión y organización de la reducción de las pérdidas del sistema de producción buscando finalmente su máxima eficacia. Para tal finalidad, el CISOPE involucra a todos los departamentos de la compañía, principalmente; producción, mantenimiento, logística y ventas. Es sumamente necesario, que estén involucrados desde la alta dirección, gerentes, superintendentes, jefes de planta, supervisores y operarios.

4.3.1 Alcance

- Para alcanzar la mejora del OPE de la planta de fosfato bicálcico, se buscará reducir las fallas de los equipos del sistema de secado 01, mediante la implementación del CISOPE.

4.3.2 Objetivos

- Aumentar la disponibilidad del sistema de secado 01 y el OPE de la planta de fosfato bicálcico.
- Reducir las fallas de los equipos del sistema de secado 01 mediante un mantenimiento autónomo, planificado y planes de mejora enfocadas conjuntamente con el desarrollo del talento humano de los operadores.
- Establecer los planes de limpieza de los equipos seleccionados en el sistema de secado de la planta de fosfato bicálcico.
- Reducir las pérdidas del producto terminado en la operación de secado de la planta de fosfato bicálcico.
- Reducir los tiempos de parada de los equipos seleccionados por falta de limpieza, en el sistema de secado 01 de la planta de fosfato bicálcico.
- Reducir las paradas intempestivas de los tornillos sin fin por sobrecarga.

4.3.3 Metodología de implementación CISOPE

La implementación del CISOPE en el sistema de secado 01 de la planta de fosfato bicálcico se realiza en 14 pasos, separadas en tres fases, según se muestra en la figura 37.

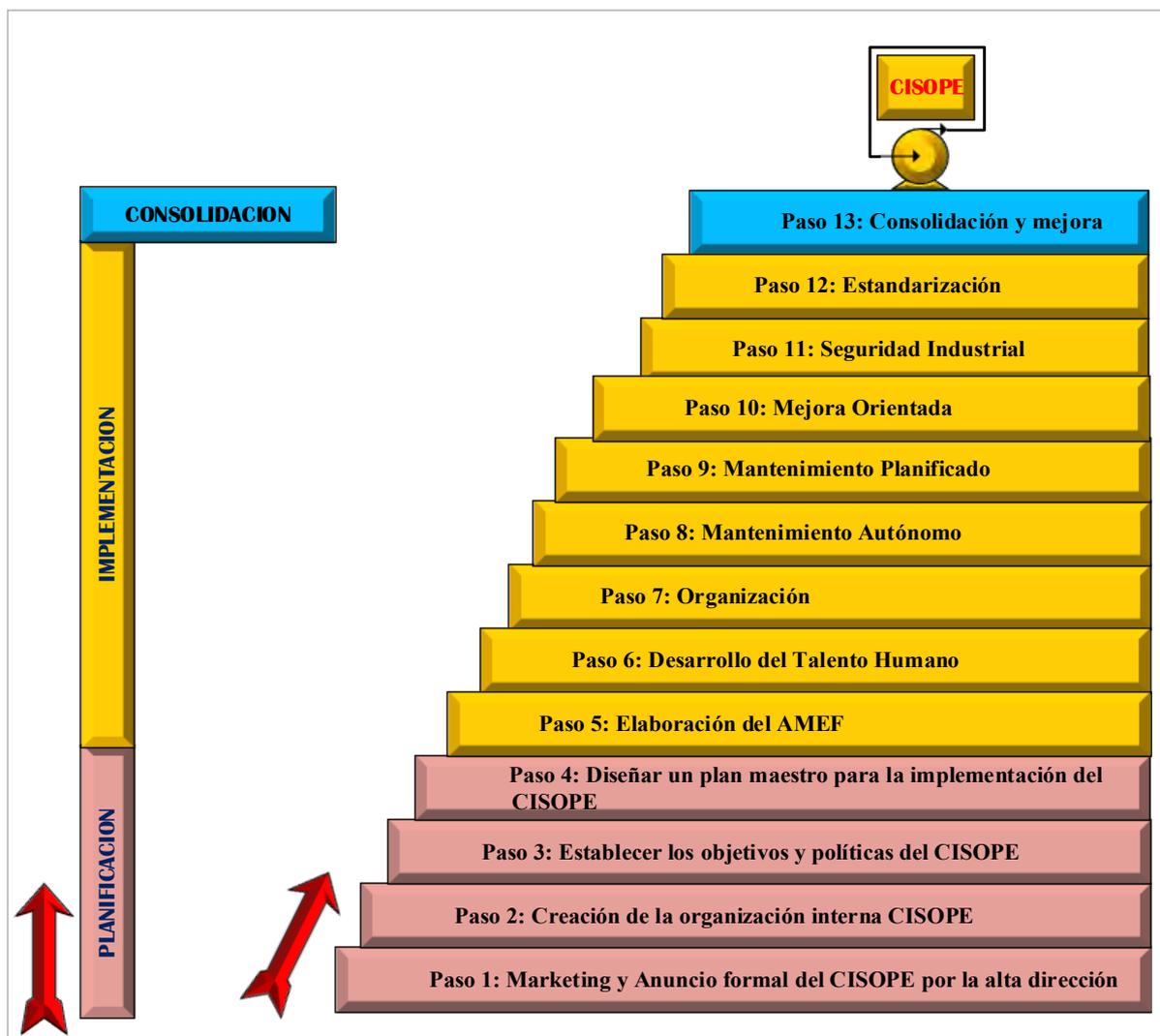


Figura 37 Metodología CISOPE para la planta de fosfato bicálcico

4.3.3.1 Fase 1: Planificación

Esta primera fase, previa a la fase de implementación del CISOPE, se inicia con el compromiso de la alta dirección y finalmente concluye con el diseño del plan maestro de implementación.

Paso 1: Marketing y anuncio formal del CISOPE por la alta dirección

La alta dirección debe informar a toda la compañía, de su intención de implementar el CISOPE en la planta de fosfato bicálcico y transmitir su entusiasmo por el proyecto de mejora. Para garantizar que todos los involucrados en la implementación del CISOPE comprendan las razones estratégicas que han llevado a la alta dirección a aceptarlo, se planifican charlas informativas, boletines informativos, etc., con la finalidad de dotar a las personas de las competencias necesarias para una adecuada implementación, donde se explique el concepto, metas y resultados esperados, dejando clara su intención de seguir la implementación del CISOPE hasta su finalización, y facilitar los recursos necesarios para resolver los diversos problemas que pudieran surgir durante la implementación,

siendo entonces, necesario crear el ambiente propicio que abarque todas las personas involucradas, así como la formación y entrenamiento necesarios, siendo esta una oportunidad para desarrollar la filosofía japonesa de las 3Y (Yakuki, Yaruude, Yaruba).

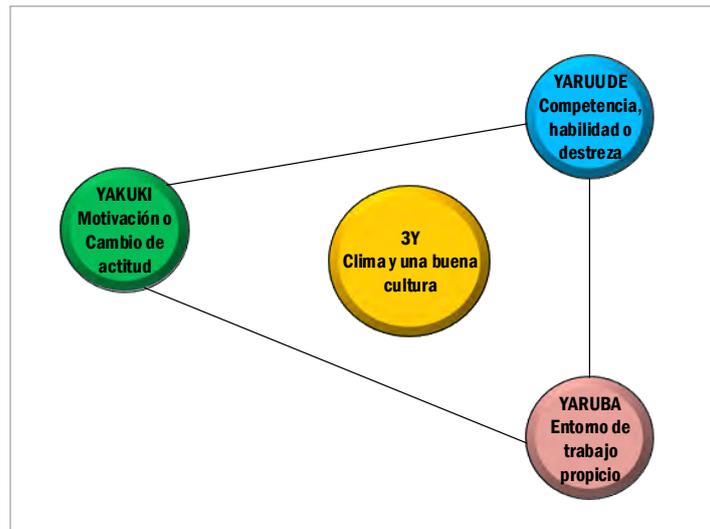


Figura 38 Filosofía para el marketing del CISOPE

Paso 2: Creación de la organización interna CISOPE

La propuesta que se ha elaborado debe ser liderada por la alta dirección de las operaciones en planta, es decir; el gerente de producción y los superintendentes de planta y mantenimiento, buscando en este paso crear el soporte organizacional necesario para dar impulso a la estrategia de implementación del CISOPE, mediante la formación de comités liderados por la alta y media dirección de las operaciones de la planta, sirviendo para reconocer el nivel y las funciones que tiene cada miembro en la jerarquía establecida y permitiendo evaluar el desempeño y eficacia de cada uno de los comités creados en el proceso de implementación del CISOPE.

La propuesta de la estructura organizacional del CISOPE se basa en la creación de cuatro comités y una oficina técnica, que son extremadamente importantes para el éxito y desarrollo general del CISOPE. Los comités se organizan por rangos según se muestra en la figura 37. El ingeniero de procesos lidera el comité de Mejoras Orientadas (MO) Mantenimiento Autónomo (MA) y Organización (O), denominado **comité MOMAO**, que está conformado por los supervisores de planta y operadores. El jefe de planta lidera el comité de Mantenimiento Planificado (MP) y Seguridad Industrial (SI), denominado **comité SIMP**, el cual está integrado por supervisores de mantenimiento, tanto eléctrico, mecánico e instrumental, así como los técnicos en dichos campos, y a su vez es quien articula y evalúa el desempeño del comité MOMAO. El superintendente de planta es quien lidera el comité de **Desarrollo del Talento Humano (DTH)**, quien coordina con el líder de la oficina técnica, y articula y evalúa la eficacia de los comités MAMOMAO y SIMP. El **comité CISOPE** está liderado por el gerente de producción. Recae en la responsabilidad del líder del comité CISOPE, articular y coordinar la

implementación del CISOPE con los procesos de apoyo, sea el caso de seguridad y salud ocupacional, Medio ambiente, calidad, RRHH, entre otros.

Paso 3: Establecer los objetivos y políticas del CISOPE

La incorporación del CISOPE en la política global de la compañía debe indicar los objetivos concretos a alcanzar, así como las directrices a seguir a medio y largo plazo. Los objetivos del CISOPE, deben relacionarse con el plan estratégico de la compañía, y deben decidirse después de consultas con todas las partes interesadas y cumplirse en un periodo establecido según el programa del CISOPE, además estos objetivos deberán expresarse numéricamente en lo máximo posible estableciendo bases de referencia claras, siendo estos desafiantes pero alcanzables, en función a la eficacia global de la planta de fosfato bicálcico.

Paso 4: Diseñar un plan maestro para la implementación del CISOPE

En el diseño del plan maestro de implementación del CISOPE, se debe establecer las acciones necesarias para lograr los objetivos de la implementación, reflexionando y decidiendo sobre las formas más eficientes para descubrir las diferencias entre la situación actual y la situación actual en base a los objetivos buscados (ver tabla 12).

4.3.3.2 Fase 2: Implementación

En esta fase del CISOPE, se desarrolla la implementación de las diferentes herramientas que sustentan el sistema de mejora propuesto, basándose en el AMEF y finalizando con la estandarización del sistema de mejora.

Paso 5: AMEF

Es la base del sistema de mejora propuesta para aumentar el OPE de la planta de fosfato bicálcico. Esta herramienta de análisis permite sustentar la aplicación de las herramientas del CISOPE en el sistema de secado 01 y para ejecutarlo se debe contar con el equipo liderado por el superintendente de mantenimiento (ver figura 39), quien guíe las reuniones y documente el análisis, contando con profundo conocimiento en la metodología.



Figura 39 Organigrama del equipo de la oficina técnica AMEF

A. Severidad

También conocida como gravedad, la severidad se clasifica en una escala de 1 al 10, siendo 1 muy baja y 10 muy alta. En la tabla 10 se muestra la valoración de severidad, permite asignar una calificación exitosa. En los casos donde un modo de falla tenga más de un efecto, se considera el efecto que mayor severidad genera.

Tabla 10 Valoración de la severidad

Severidad	Criterio	Valor
Muy Baja	Esta falla es de pequeña importancia y no origina efecto real alguno sobre la disponibilidad, eficiencia o calidad del sistema de secado 01.	1
Baja	Este tipo de falla originaria un ligero inconveniente en la disponibilidad, eficiencia o calidad del sistema de secado 01, siendo fácilmente subsanable.	2-3
Promedio	La falla produce cierto desnivel en la disponibilidad, eficiencia o calidad del sistema de secado 01.	4-6
Alta	La falla puede ser crítica y verse inutilizado el sistema de secado 01.	7-8
Muy Alta	Modalidad de falla potencial muy crítico que afecta el funcionamiento normal del sistema de secado 01, involucrando seriamente el incumplimiento del presupuesto de producción. Si tales incumplimientos son graves corresponde un 10.	9-10

B. Ocurrencia

Es la probabilidad con que ocurre una falla por la causa anotada y se clasifica en una escala del 1 al 10, siendo 1 Altamente improbable y 10 Muy alta probabilidad. En la tabla 11 se muestra la guía para la calificación de la ocurrencia.

Tabla 11 Valoración de la ocurrencia

Ocurrencia	Criterio	Valor
Altamente improbable	Ninguna falla se asocia a sistemas similares, ni se ha dado nunca en el pasado, pero es concebible	1
Muy baja probabilidad	Fallas aisladas en sistemas similares o casi idénticos. Es razonablemente esperable en la vida del sistema, aunque es poco probable que suceda.	2-3
Probabilidad media	Defecto aparecido ocasionalmente en sistemas similares o previos al actual. Probablemente aparecerá algunas veces en la vida del sistema.	4-5
Alta probabilidad	La falla se ha presentado con cierta frecuencia en el pasado en sistemas similares o previos sistemas que han fallado.	6-8
Muy alta probabilidad	Falla casi inevitable. Es seguro que la falla se producirá frecuentemente	9-10

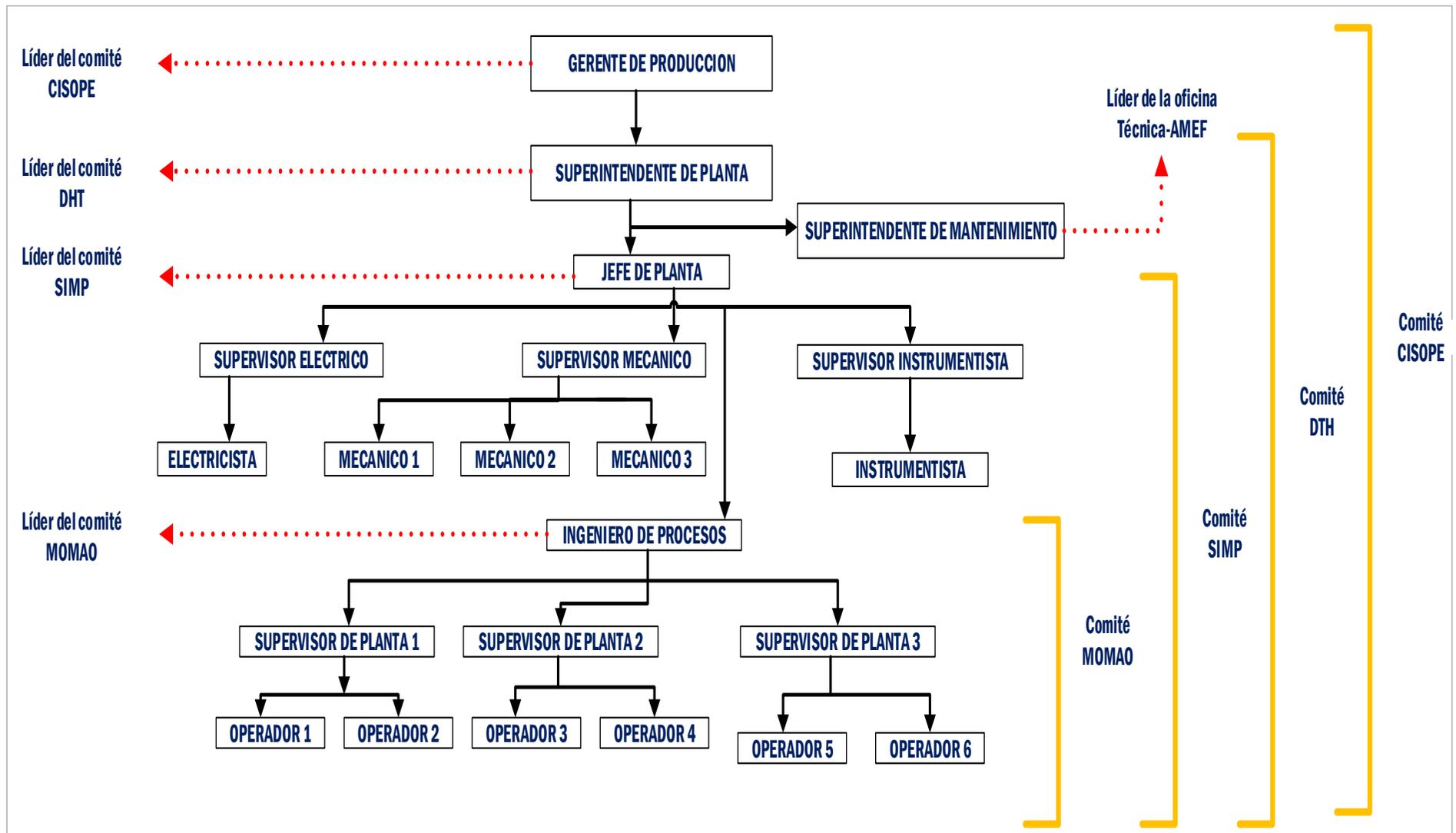


Figura 40 Estructura organizacional de la implementación del CISOPE

Tabla 12 Plan de implementación del CISOPE en el sistema de secado 01

Fases	Pasos	Responsable	Mes - 2020			Mes - 2021								
			Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set
Preparación	Marketing y Anuncio formal del CISOPE por la alta dirección	Gerente de producción	■											
	Creación de la organización interna CISOPE	Superintendente de planta	■											
	Establecer los objetivos y políticas del CISOPE	Superintendente de planta		■										
	Diseñar un plan maestro para la implementación del CISOPE	Ingeniero de procesos/Jefe de Planta		■										
Implementación	AMEF	Superintendente de mantenimiento			■									
	Desarrollo del talento Humano	Superintendente de planta		■	■	■	■	■						
	Organización	Jefe de Planta				■	■							
	Mantenimiento Autónomo	Jefe de Planta				■	■							
	Mantenimiento Planificado	Superintendente de mantenimiento				■	■	■						
	Mejora Orientada	Ingeniero de procesos/jefe de Planta					■	■	■	■	■			
	Seguridad Industrial	Ingeniero de procesos/jefe de Planta				■	■	■	■					
	Estandarización	Ingeniero de procesos/jefe de Planta										■		
Consolidación	Consolidar la implementación del CISOPE	Superintendente de planta										■	■	

C. Detección del control

La detección a cada control, es la medida de la probabilidad con que cada uno de ellos pueden detectar una causa o su modo de falla después de generada pero antes de que se materialice en una avería. Se califica en una escala que va de 1 a 10 (ver tabla 13), siendo 1, un control con muy alta probabilidad de detectar la falla y 10 un control de improbable certeza para detectar la falla.

Tabla 13 Valoración de la detección

Detección	Criterio	Valor
Muy Alta	La falla es obvia. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes	1
Alta	La falla, aunque es obvia y fácilmente detectable, podría en alguna ocasión escapar a un primer control, aunque sería detectado con toda seguridad a posteriori.	2-3
Mediana	La falla es detectable y posiblemente no llegue al cliente. Posiblemente se detecte en los últimos estadios de producción	4-6
Muy baja	La falla es de tal naturaleza que resulta difícil detectarla con los procedimientos establecidos hasta el momento.	7-8
Improbable	La falla no puede detectarse.	9-10

D. Número de prioridad de riesgo (NPR)

Se obtiene al multiplicar el grado de severidad, ocurrencia y detección.

$$\text{NPR} = (\text{Grado de severidad}) (\text{Grado de ocurrencia}) (\text{Grado de detección})$$

Este valor se calcula para priorizar los modos de fallos y sus causas y consideramos la siguiente escala.

Tabla 14 Valoración del NPR

Numero de prioridad de riesgos (NPR)	Valor	
Alto riesgo de falla	500-1000	
Probabilidad media de riesgo	125-499	
Bajo riesgo de falla	1-134	
No existe riesgo	0	

En la tabla 15 se muestra el análisis del modo y efecto de la falla de los equipos críticos del sistema de secado 01.

Paso 6: Desarrollo del talento humano

El desarrollo del talento humano de los participantes en la implementación del CISOPE, influye positivamente tanto en la rentabilidad de la empresa como en la satisfacción de los trabajadores por su trabajo. Para esto es importante que los líderes involucrados directamente con la implementación del CISOPE se dediquen a capacitar al personal a su cargo.

Es importante primero, identificar los niveles de capacidad del personal para lo que se establecen tres niveles mostrados en la figura 41.

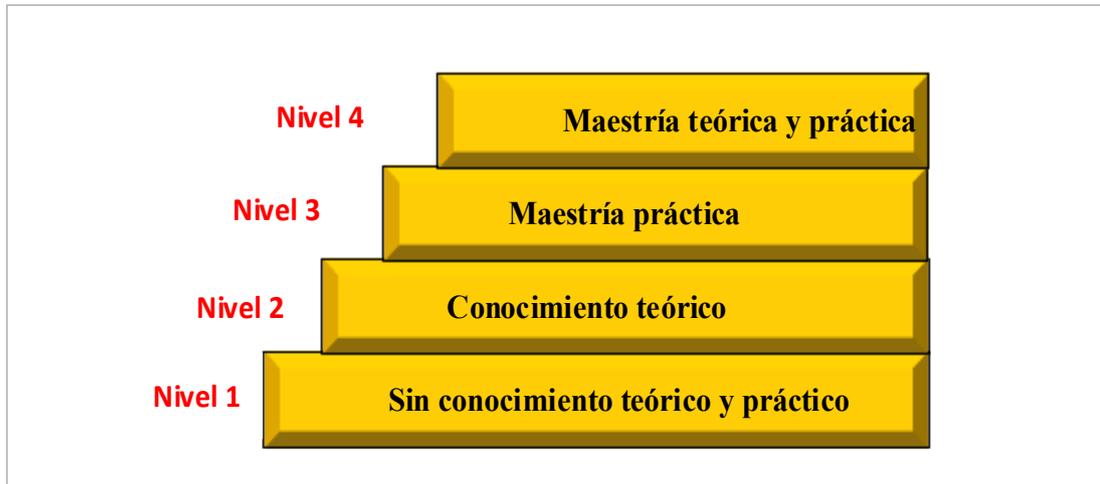


Figura 41 Niveles de capacidad

En la figura 41 se muestran cuatro niveles de capacidad, donde el primer nivel implica la necesidad de aprendizaje, un segundo nivel implica la necesidad de entrenamiento práctico. Un tercer nivel implica la necesidad de lograr el máximo conocimiento teórico, esto significa, que quien esté en este nivel, aún no puede ni debe enseñar a otros, finalmente un cuarto nivel implica un nivel completo de capacidad basado en conocimiento teórico y la experiencia práctica, siendo este el nivel adecuado de un trabajador bajo el enfoque CISOPE para enseñar a otros. Para lograr alcanzar el cuarto nivel, es necesario establecer un plan de capacitación según se muestra en la tabla 15., basado en la necesidad de conocimiento identificado en el AMEF, evaluado en la tabla 16.

Tabla 15 Análisis de modo y efecto de la falla del sistema de secado 01

A.M.E.F.															
AMEF DE: <input checked="" type="checkbox"/> Equipo <input type="checkbox"/> Proceso		ANÁLISIS DEL MODO Y EFECTO DE LA FALLA						Gerencia: Producción			Superintendencia de mantenimiento				
		AMEF No. 0001 FECHA DE JUNTA DE REVISIÓN: 17/12/2020						Departamento: Mantenimiento			Departamentos involucrados: Producción, Mantto				
Proveedor afectado:		Descripción		Nombre del sistema: Sistema de secado 01						Fecha: 04/12/2020			Versión: 01		
Descripción del Equipo	Función del Equipo	Modo de Falla	Efecto de la Falla	Causa de la Falla	Situación Actual				Evaluación de mejoras				Responsable		
					Acciones Actuales	O C U R	S E V E	D E T E	NPR	Acciones Adoptadas	O C U R	S E V E		D E T E	NPR
Secador flash SF-01	Secado del producto de fosfato bicálcico mediante aire caliente	Producto acumulado en la parte inicial del secador	Paradas frecuentes por limpieza	Alta humedad del producto de alimentación	Herramientas adecuadas y personal asignado	10	5	10	500	Organizar la recuperación del producto de las limpiezas frecuentes del secador	6	3	1	18	Ingenieros de proceso/Jefe de planta/Superintendente de mantto
			Perdidas de producción												
			Baja disponibilidad del equipo												
			% Humedad fuera de especificación del producto terminado												
Ventilador C-15	Generar presión de vacío para transportar el producto húmedo a lo largo del secador flash	Alta vibración del ventilador	Paradas frecuentes por balanceo del rodete	Acumulación de producto en el rodete del ventilador	Paradas no programadas para limpieza de rodete con aire comprimido	4	10	10	400	Limpieza programada del rodete	2	5	1	10	Ingenieros de proceso/Jefe de planta/Superintendente de mantto
			Baja disponibilidad del equipo												
			Perdidas de producción												
			Medición programada de la vibración												
Tornillo sin fin T-27, 28 y 26	Mezcla el producto húmedo proveniente del filtro FP-01 prensa con producto seco proveniente del tornillo T-26	Paradas intempestivas por sobrecarga	Alta humedad del producto de alimentación	Limpiezas no programadas de los canales de los tornillos sin fin	9	10	10	000	Controlar la humedad del producto de alimentación mediante mejoras enfocadas basadas en la autonomía	5	2	10	100	Ingenieros de proceso/Jefe de planta/Superintendente de mantto	
		Perdidas de producción													
		Fisura del eje del tornillo sin fin													
		% Humedad fuera de especificación del producto													
Tornillo sin fin T-30 y T-19	Transporte de producto terminado	Desgaste de componentes	Baja disponibilidad del equipo	Falta de lubricación de componentes rotatorios	Inspecciones no programadas de tornillos sin fin	3	2	10	60	Plan de lubricación	1	1	10	10	Ingenieros de proceso/Jefe de planta/Superintendente de mantto
			Perdidas de producción	No hay plan de cambio de componentes						Plan de cambio de componentes					

Realizado Por: Ingenieros de proceso - Oficina Técnica AMEF
 Revisado por: Superintendente de Mantenimiento
 Aprobado por: Gerente de producción
 Callao, 17/12/2020

Tabla 16 Plan de capacitaciones CISOPE

Tipo de capacitación	Tema/curso/charla de capacitación - entrenamiento	Proveedor del Curso		Nro. de Participantes por Curso	Año: 2020	Año: 2021							
		Interno - Responsable	Externo		Requerimiento para el mes:								
					N	D	E	F	M	A	M	J	J
5 S	Eliminación de los desperdicios	-	Instituto para la Calidad - PUCP	15									
	Seleccionar, ordenar y limpiar	-		15									
	Estandarizar y disciplina	-		15									
	Gestión visual	-		15									
AMEF	Análisis de modo y efectos de falla	-	Ex Scientia Veritas	15									
Equipos de proceso	Tópicos de secadores flash	Taller Mecánico	-	9									
	Tópicos de ventiladores centrífugos		-	9									
	Tópicos de tornillos sin fin		-	9									
Equipos de control	Tópicos de sensores de humedad	Taller Instrumentación	-	8									
	Tópicos de sensores de corriente		-	8									
	Tópicos de variadores de velocidad	Taller Eléctrico	-	8									
TPM	Mantenimiento autónomo	-	Iniciativa Empresariales, estrategia de formación – Manager Business School	15									
	Mejora enfocada	-		15									
	Mantenimiento planificado	-		8									
	Educación y formación	-		8									
	Gestión de indicadores	-		8									
Seguridad industrial	Peligros y Riesgos	SSOMA	-	15									
	Controles de peligros	SSOMA	-	15									
	IPERC	SSOMA	-	15									
	ATS	SSOMA	-	15									
	PETAR	SSOMA	-	15									
	Mapa de riesgo	SSOMA	-	15									
	Señales visuales	SSOMA	-	15									

Paso 7: Organización

Durante el año 2019, en el sistema de secado 01, se perdió un total de 728.60 TM de producto, proveniente de las limpiezas de los equipos críticos del sistema, cuyas cantidades por equipo se muestran en la tabla 17, y son analizados en la figura 42.

Tabla 17 Toneladas perdidas de fosfato bicálcico durante el año 2019

Equipos	TM
SF01	678.70
T-28	24.00
T-27	18.00
T-16	6.40
C15	1.20
T-30	0.15
T-19	0.10
Total	728.6



Figura 42 Diagrama de Pareto de las pérdidas de fosfato bicálcico del sistema de secado 01 durante el 2019

El análisis de Pareto muestra evidentemente que el 80% de la pérdida de producto generado durante la limpieza de los equipos, radica en el secador flash 01 perdiéndose un total de 678.70 TM de producto. En promedio, sólo el 68.38% es un producto vendible con calidad promedio de 18.58%, considerando que el valor mínimo de calidad de %P para la venta es de 18.50%P. El 31.62% en promedio, no sirve directamente para la venta, por su granulometría y calidad en %P, tal y como se muestra en la Tabla 18.



Figura 44 Producto de fosfato bicálcico limpieza de secador flash



Figura 43 Producto de fosfato bicálcico limpieza de tornillos sin fin

Tabla 18 Cantidad y calidad de la pérdida de producto en la operación de secado durante el año 2019

Mes	TM	Malla 18		%P	
		%Pasante min: 99%		%P min: 18.50%	
		Pasante	Retenido	Pasante	Retenido
Enero	56.25	68.22%	31.78%	18.61	17.88
Febrero	55.50	68.34%	31.66%	18.52	16.32
Marzo	57.75	66.11%	33.89%	18.63	17.92
Abril	58.50	69.02%	30.98%	18.51	16.87
Mayo	54.75	69.16%	30.84%	18.62	16.89
Junio	53.25	67.88%	32.12%	18.63	15.89
Julio	59.25	68.00%	32.00%	18.54	16.60
Agosto	57.00	69.10%	30.90%	18.54	16.46
Setiembre	56.25	68.99%	31.01%	18.66	15.32
Octubre	52.50	68.10%	31.90%	18.52	16.18
Noviembre	60.00	68.23%	31.77%	18.68	16.03
Diciembre	57.70	69.36%	30.64%	18.50	16.75
Promedio	56.56	68.38%	31.62%	18.58	16.59

Del producto no vendible (retenido de Malla 18), en promedio, sólo el 89.09% tiene partículas menores a 0.5mm, según se muestra en la Tabla 19., es decir, el 11.91% es un producto no recuperable, ya que está conformado por material extraño y partículas de producto de difícil disolución en agua.

Tabla 19 Producto recuperable del total de producto no vendible

Mes	TM	Malla 4 Pasante < 5 mm	
		Pasante	Retenido
Enero	17.88	88.22%	11.78%
Febrero	17.57	88.34%	11.66%
Marzo	19.57	86.11%	13.89%
Abril	18.12	89.02%	10.98%
Mayo	16.88	87.97%	12.04%
Junio	17.10	87.98%	12.02%
Julio	18.96	88.00%	12.00%
Agosto	17.61	88.02%	11.98%
Setiembre	17.44	88.73%	11.27%
Octubre	16.75	88.05%	11.95%
Noviembre	19.06	88.57%	11.43%
Diciembre	17.68	88.08%	11.92%
Promedio	17.89	88.09%	11.91%

Propuesta:

Se dispondrá de una escala de clasificación del producto recuperado de la limpieza del secador flash, según se sustenta en la tabla 20.

Tabla 20 Escala de colores de clasificación

Colores	Clasificación
	Producto Recuperado
	Producto Recuperable
	Producto para Reproceso
	Producto inservible

El equipo de trabajo MOMAO, designará un operador para clasificar el producto obtenido de la limpieza del secador, en la zaranda vibratoria “Z11”, durante el primer turno, sin afectar las actividades programadas del control operativo de la planta, cuya ejecución es estricta responsabilidad del supervisor de turno.



Figura 45 Zaranda vibratoria “Z11”

El producto recuperado, será envasado en sacos grandes (comúnmente llamados Big Bag) de segundo uso, de capacidad de 750kg, identificado con una tarjeta verde, que lo clasificará como producto recuperado. Posteriormente, este producto recuperado será trasladado hasta el tonillo sin fin T-09, con la finalidad de mezclarlo con el producto producido durante el turno.

CISOPE	Tarjeta Verde		FBC
Nº de tarjeta			
Supervisor			
Tipo de producto			
Cantidad			
Acción			
Fecha	Colocación de la etiqueta	Realización acción	
	/ / /	/ / /	

Figura 46 Formato de tarjeta verde – CISOPE

El producto recuperado de la zaranda vibratoria “Z11” que no cumple con la granulometría de un producto vendible, será envasado en un Big Bag de segundo uso, de capacidad de 750kg e identificado con una **tarjeta amarilla**, que lo clasificará como *producto recuperable*. Este producto deberá ser recuperado en la zaranda vibratoria “Z12” y envasado en Big Bag de segundo uso, identificado con una **tarjeta naranja**, que lo clasificará como *producto para reproceso*.

CISOPE	Tarjeta Amarilla		FBC
N° de tarjeta			
Supervisor			
Tipo de producto			
Cantidad			
Acción			
Fecha	Colocación de la etiqueta	Realización acción	
	/ / /	/ / /	

Figura 47 Formato de tarjeta amarilla – CISOPE

CISOPE	Tarjeta Naranja		FBC
N° de tarjeta			
Supervisor			
Tipo de producto			
Cantidad			
Acción			
Fecha	Colocación de la etiqueta	Realización acción	
	/ / /	/ / /	

Figura 48 Formato de tarjeta naranja – CISOPE

El producto cuyo tamaño de partículas está por encima de 5 mm, será almacenado en Big Bag de segundo uso, identificado con una **tarjeta roja**, que lo clasificará como *producto inservible*.



Figura 49 Zaranda vibratoria “Z12”

El producto para reproceso será enviado hacia el tanque de alimentación a filtros prensa, “DP11”, mediante un montacargas.

El producto calificado como inservible, deberá ser separado y ubicado en zonas donde no afecten el libre tránsito, por el supervisor de turno, y eliminado según lo disponga el coordinador de gestión de calidad y medio ambiente (CGCM).

CISOPE	Tarjeta Roja		FBC
Nº de tarjeta			
Supervisor			
Tipo de producto			
Cantidad			
Acción			
Fecha	Colocación de la etiqueta		Realización acción
	/ / /		/ / /

Figura 50. Formato de tarjeta roja – CISOPE

El siguiente diagrama de flujo, grafica en forma resumida la clasificación del producto en sus diferentes categorías.

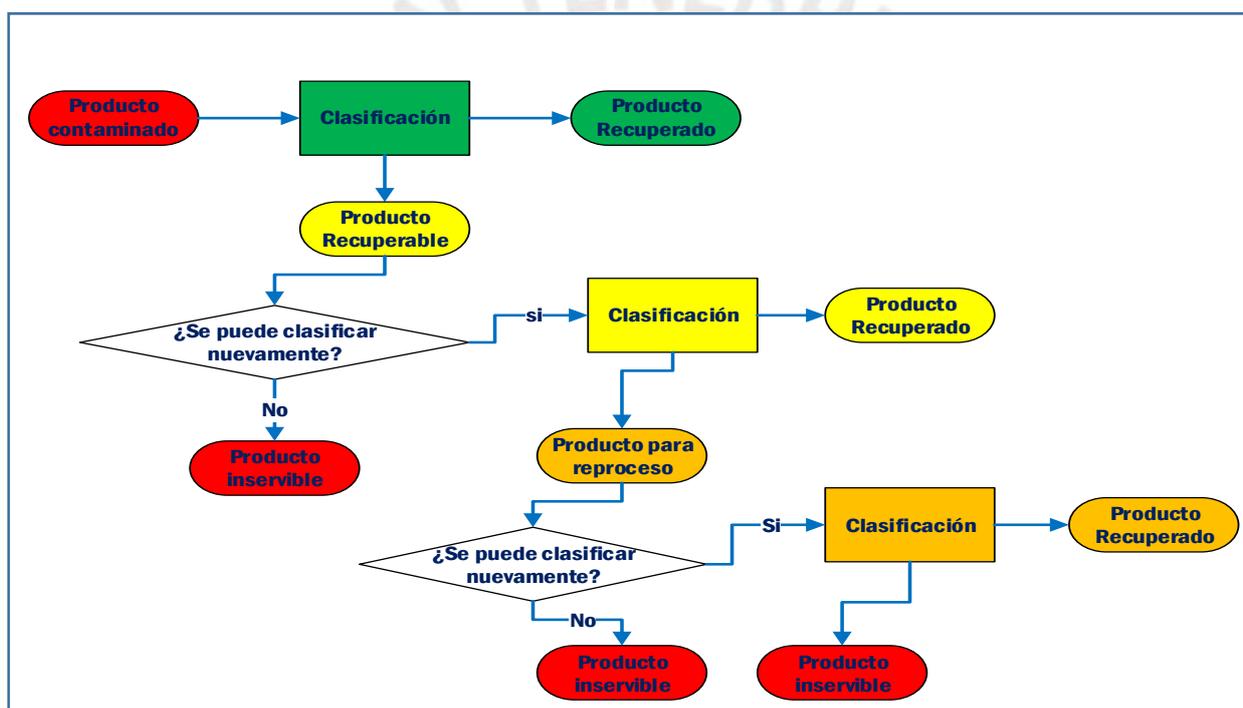


Figura 51 Diagrama de flujo para la clasificación de producto

Paso 8: Mantenimiento autónomo

El ejercicio del mantenimiento autónomo, requiere de un gran cambio de mentalidad del personal de la planta de fosfato bicálcico, quienes conocen superficialmente los equipos que operan.

Durante el 2019, se registró paradas intempestivas por falta de limpieza de los equipos críticos seleccionados en el apartado 4.1.1. siendo el tiempo perdido durante este año de 138.7 h según se muestra en la tabla 21 y se analiza en la figura 52.

Tabla 21 Tiempo de parada por falta de limpieza (TPPFL) durante el 2019

Equipos	TPPFL (h)
SF01	30.42
T-28	25.00
T-27	29.00
T-16	4.00
C15	48.00
T-30	1.20
T-19	1.10
Total	138.7

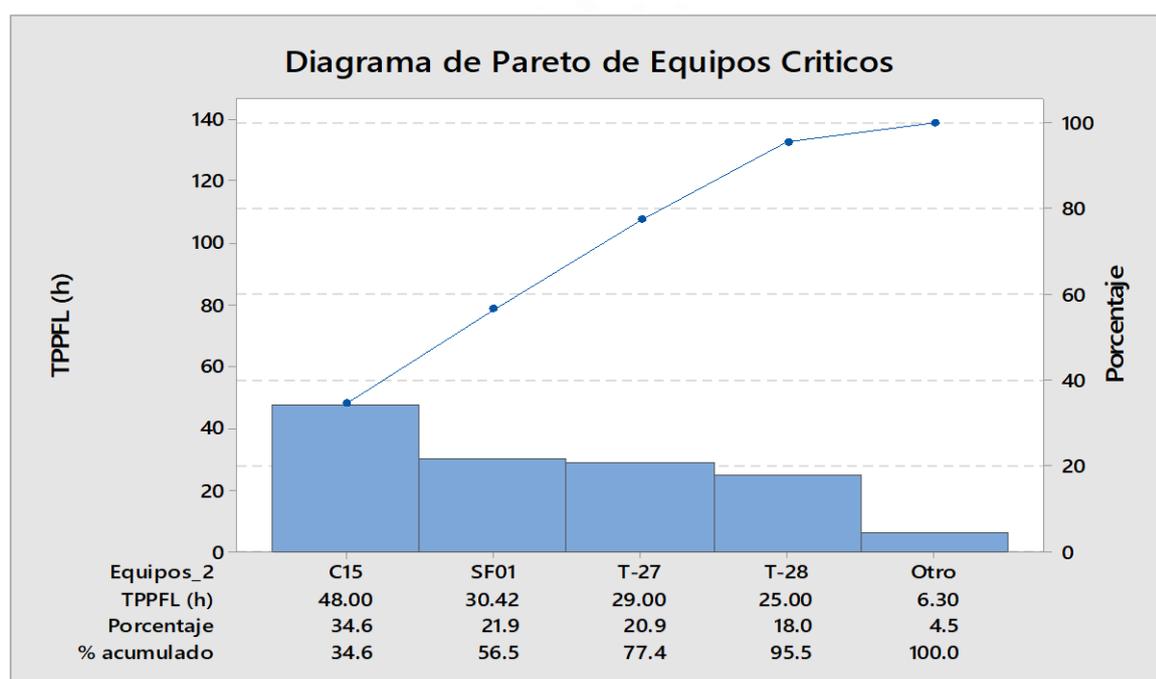


Figura 52 Diagrama de Pareto del tiempo de parada por falta de limpieza de los equipos críticos del sistema de secado 01 durante el 2019

En la figura 52, se observa que el 80% del tiempo de parada por la falta de limpieza radica en el ventilador C-15, secador flash SF01 y el tornillo T-27.

En la figura 53, se muestra el comportamiento de la vibración del ventilador C-15, medidos durante los meses marzo – abril del 2019, siendo la principal causa la acumulación de polvo en el rodete del ventilador.

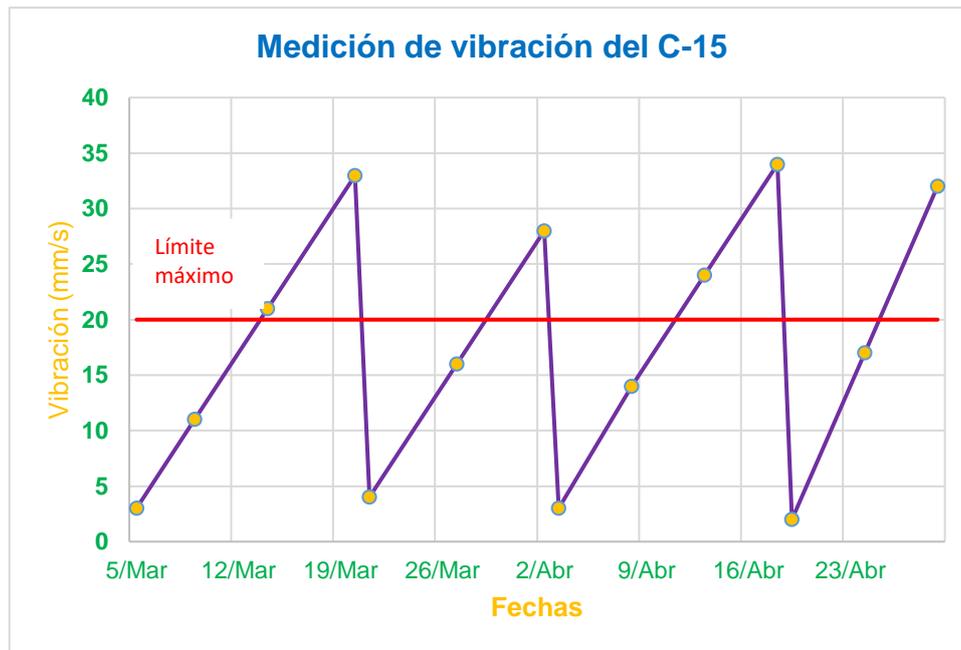


Figura 53 Comportamiento de la vibración en el ventilador C-15

Los componentes rotatorios están asociados a la frecuencia de lubricación, siendo el caso de las chumaceras del ventilador C-15 y el tornillo T-27, los componentes críticos que garantizan la máxima disponibilidad de cada equipo. En la tabla 22 se muestra la disponibilidad de los componentes por cada equipo durante el 2018 al 2020.

Tabla 22 Porcentaje disponibilidad de chumaceras en los equipos C-15 y T-27 durante el 2018-2020

Chumaceras					
Ventilador C-15			Tornillo sin fin T-27		
Fecha de cambio	Horas de operación	% disponibilidad	Fecha de cambio	Horas de operación	% disponibilidad
24/08/2018	3460	61%	13/10/2018	5368	62%
3/02/2019	3912	69%	2/06/2019	5568	65%
12/06/2019	3096	54%	30/01/2020	5808	68%
27/12/2019	4752	83%	29/12/2020	8016	93%

Propuesta:

La propuesta se sustenta en la programación de la limpieza realizada en paralelo del rodete del ventilador C-15, en el secador flash SF01 y en el canalón del tornillo sin fin T-27 y T-28 durante 15 min por día. En la tabla 23 se muestra el plan de limpieza de los equipos mencionados.

En el sistema de secado 01 de la planta de fosfato bicálcico, se trabaja con tres grupos de ocho horas, con rotación semanal, cuyo personal capacitado y dirigido por el supervisor de planta, deberá ejecutar las actividades cuando roten durante el primero turno (A), a las 7:30 am, en donde el supervisor de planta deberá proporcionar las herramientas apropiadas:

- Llaves 15/16"
- Espátulas
- Barretas.
- Manguera de ½" con aire a presión (70 – 90) PSI

Los componentes rotatorios de los equipos críticos seleccionados de los sistemas de secado 01 (ver figura 53, 54 y 55), requieren una frecuencia de lubricación y en el caso específico del ventilador C-15, es necesario establecer una frecuencia de medición de la vibración, según se establece en los planes mostrados en la tabla 23, y 24 sólo en el caso que la vibración supere los 20 mm/s, se coordinará con el supervisor de planta, para el sistema de secado 01 para el balanceo de rodete del C-15.

El ventilador C - 15, cuando tiene demasiada suciedad en el rotor o sufre pérdida de masa por acumulación de polvo, se eleva la vibración empezando a aflojarse las tuercas y pernos, por lo que es necesario las siguientes actividades, que serán ejecutadas durante las ediciones de vibración o la lubricación de los componentes rotatorios.

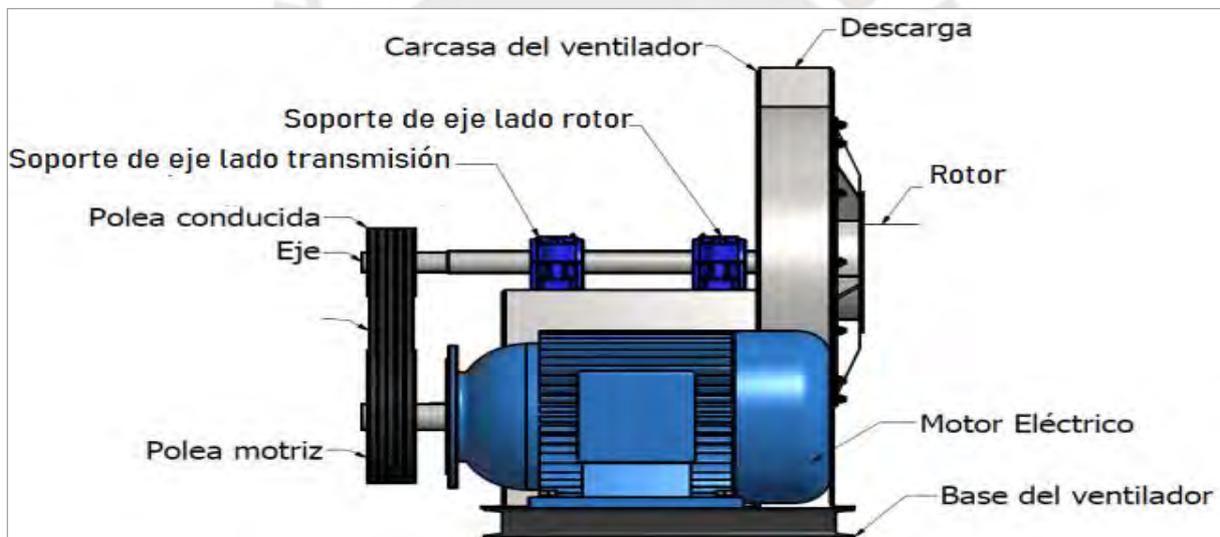


Figura 54 Ventilador C – 15 y sus componentes



Figura 55 Tornillo sin fin T28

Tabla 23 Plan de limpieza del ventilador C-15, tornillo sin fin T-27, T28 y secador flash SF01

Grupo	Tiempo	Coordina/ejecuta	Mes-2020																									
			Agosto	Septiembre					Octubre					Noviembre				Diciembre										
			S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24									
A	Max. 15 min	Supervisor/Operadores	■			■				■			■				■									■		
B		Supervisor/Operadores		■			■				■				■				■				■				■	
C		Supervisor/Operadores			■				■				■					■				■				■		

■ 7:30 am; Limpieza de equipos críticos

Tabla 24 Plan de lubricación y medición de vibración del ventilador C-15, tornillo sin fin T-27 y T-28

Equipo de planta	Herramienta /equipo de mantto	Responsable	Ago-20																																
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
T-27, T-28	Herramienta de lubricación manual	Mecánico de mantenimiento preventivo					■							■																					
C-15	Herramienta de lubricación manual						■							■																					
	Analizador de vibración							■							■									■											■

■ Lubricación de chumaceras
 ■ Medición de vibración



Figura 56 Producto compactado en el canalón del tornillo sin fin T-28

- Asegurar el apriete de los pernos y tuercas.
- Reponer los pernos y tuercas faltantes
- Reemplazar los pernos y tuercas dañados o con desgaste severo
- El comité MOMAO deberá introducir extensivamente controles visuales, tales como:
 1. Marcar el equipo con su nombre y código para una identificación inmediata.
 2. Poner marcas en las tuercas y pernos indicando el nivel de apriete para simplificar el chequeo
 3. Señalar en los indicadores de vacío los rangos aceptables para facilitar una operación correcta del ventilador.
 4. Etiquetar en la guarda de las fajas de transmisión, sus direcciones de rotación y especificaciones (por ejemplo, código del equipo) para mejorar la mantenibilidad y simplificar el chequeo.
 5. Etiquetar las botoneras *on/of* del ventilador para mejorar la mantenibilidad, operatividad y seguridad.

Paso 9: Mantenimiento planificado

Se debe garantizar una relación estrecha entre las áreas de producción, mantenimiento y logística, es la clave para garantizar que el mantenimiento planificado se realice con eficiencia. La implementación del mantenimiento planificado, se hará en base al plan maestro, mostrado en la tabla 25, en donde se muestra los pasos, y las actividades que se deben seguir para la adecuada implementación.

Tabla 25 Plan maestro del mantenimiento planificado

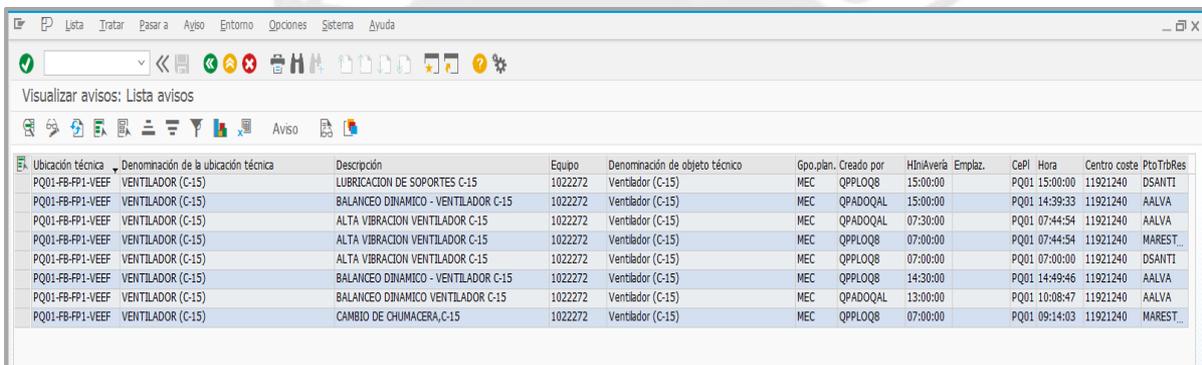
Etapas	Actividades	Mes	Feb				Mar				Abr		
		Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Evaluar las condiciones iniciales del equipo	Preparar o actualizar los registros del equipo		■	■									
	Formular e implantar estándares de evaluación del equipo			■	■								
	Determinar las metas del mantenimiento planificado				■								
Diseñar un sistema de restauración de la disponibilidad del equipo.	Diseñar un sistema de mantenimiento autónomo					■	■	■	■				
	Diseñar un sistema de mantenimiento correctivo					■	■	■	■				
	Establecer acciones inmediatas para reducir las fallas del equipo					■	■	■	■				
Diseñar un sistema de información del mantenimiento	Diseñar un sistema de mantenimiento planificado del equipo			■	■	■							
	Diseñar un sistema de gestión del presupuesto del equipo				■	■							
	Diseñar un sistema para controlar equipos de reserva y componentes de repuesto				■	■	■						
Diseñar un sistema de mantenimiento preventivo	Diseñar un sistema de mantenimiento preventivo del equipo										■		
	Diseñar un sistema de mantenimiento con parada general											■	
	Diseñar un sistema de mantenimiento subcontratado										■		
Diseñar un sistema de mantenimiento predictivo	Diseñar un sistema de mantenimiento predictivo del equipo			■	■								
	Seleccionar equipos y herramientas para mantenimiento predictivo										■		
Evaluar el sistema de mantenimiento planificado	Evaluar la disponibilidad y eficiencia de los equipos										■	■	
	Evaluar la confiabilidad y mantenibilidad de los equipos como un sistema										■	■	■
	Evaluar los costos globales de mantenimiento.										■	■	■

Etapa 1: Evaluar las condiciones iniciales del equipo

En esta primera etapa del plan maestro del mantenimiento planificado, se busca preparar el histórico de los equipos y finalmente establecer las metas.

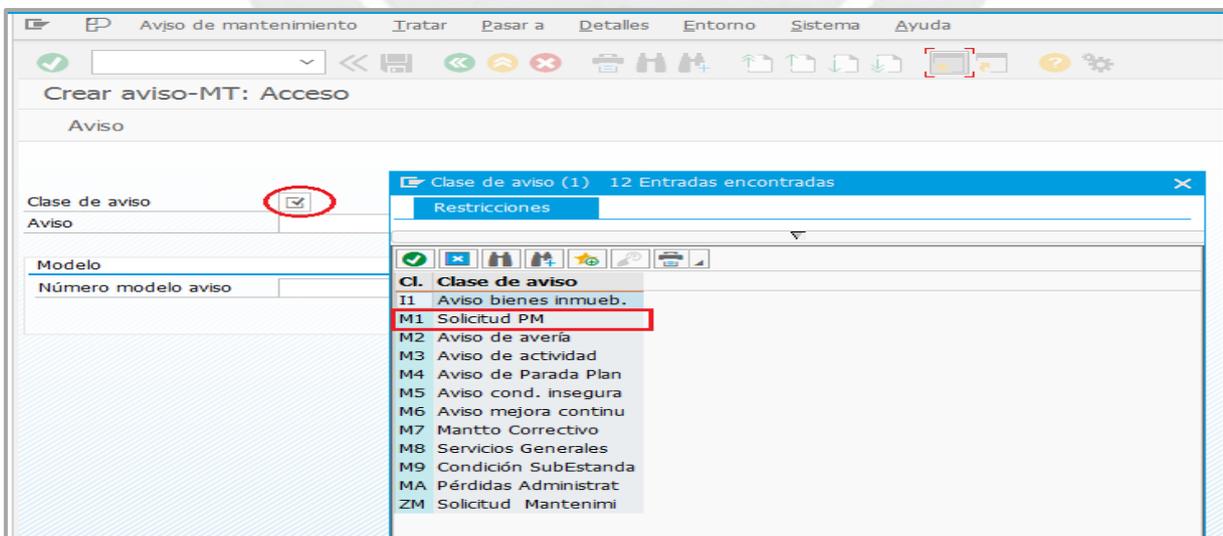
Actividad 1: Preparar o actualizar los registros del equipo

La selección de los equipos que serán objeto de mantenimiento planificado en el sistema de secado 01, se sustenta en el análisis realizado en la figura 57, y en el AMEF desarrollado en el paso 5 de la implementación del CISOPE. La importancia de la primera etapa de la implementación del mantenimiento planificado radica en los datos proporcionados por los registros, encontrándose estos disponibles en el SAP – PM (ver figura 57), de donde se dispondrán los datos de sus diseños y el historial de los equipos. Se debe garantizar entonces, que el supervisor de planta realice los avisos de tipo M1 y el personal de mantenimiento los siguientes tipos de avisos (ver Figura 58 y 59). El orden de la creación de los avisos de mantenimiento, permita reducir los tiempos de intervención que repercutirá en el MTTR de cada equipo a intervenir.



Ubicación técnica	Denominación de la ubicación técnica	Descripción	Equipo	Denominación de objeto técnico	Gpo.plan.	Creado por	HniAvería	Emplaz.	CePl	Hora	Centro costa	PtoTriRes
PQ01-FB-FP1-VEEF	VENTILADOR (C-15)	LUBRICACION DE SOPORTES C-15	1022272	Ventilador (C-15)	MEC	QPPLQ08	15:00:00		PQ01	15:00:00	11921240	DSANTI
PQ01-FB-FP1-VEEF	VENTILADOR (C-15)	BALANCEO DINAMICO - VENTILADOR C-15	1022272	Ventilador (C-15)	MEC	QPADOQAL	15:00:00		PQ01	14:39:33	11921240	AALVA
PQ01-FB-FP1-VEEF	VENTILADOR (C-15)	ALTA VIBRACION VENTILADOR C-15	1022272	Ventilador (C-15)	MEC	QPADOQAL	07:30:00		PQ01	07:44:54	11921240	AALVA
PQ01-FB-FP1-VEEF	VENTILADOR (C-15)	ALTA VIBRACION VENTILADOR C-15	1022272	Ventilador (C-15)	MEC	QPPLQ08	07:00:00		PQ01	07:44:54	11921240	MAREST
PQ01-FB-FP1-VEEF	VENTILADOR (C-15)	ALTA VIBRACION VENTILADOR C-15	1022272	Ventilador (C-15)	MEC	QPPLQ08	07:00:00		PQ01	07:00:00	11921240	DSANTI
PQ01-FB-FP1-VEEF	VENTILADOR (C-15)	BALANCEO DINAMICO - VENTILADOR C-15	1022272	Ventilador (C-15)	MEC	QPPLQ08	14:30:00		PQ01	14:49:46	11921240	AALVA
PQ01-FB-FP1-VEEF	VENTILADOR (C-15)	BALANCEO DINAMICO VENTILADOR C-15	1022272	Ventilador (C-15)	MEC	QPADOQAL	13:00:00		PQ01	10:08:47	11921240	AALVA
PQ01-FB-FP1-VEEF	VENTILADOR (C-15)	CAMBIO DE CHUMACERA,C-15	1022272	Ventilador (C-15)	MEC	QPPLQ08	07:00:00		PQ01	09:14:03	11921240	MAREST

Figura 57 Registro de las intervenciones de mantenimiento del ventilador C-15 durante el año 2019



Crear aviso-MT: Acceso

Aviso

Clase de aviso

Modelo

Número modelo aviso

Clase de aviso (1) 12 Entradas encontradas

Restricciones

- Cl. Clase de aviso
- I1 Aviso bienes inmueb.
- M1 Solicitud PM**
- M2 Aviso de avería
- M3 Aviso de actividad
- M4 Aviso de Parada Plan
- M5 Aviso cond. insegura
- M6 Aviso mejora continu
- M7 Mantto Correctivo
- M8 Servicios Generales
- M9 Condición SubEstanda
- MA Pérdidas Administrat
- ZM Solicitud Mantenimi

Figura 58 Tipo de avisos de mantenimiento – SAP PM

Crear aviso-MT: Solicitud PM

Interlocutor

Aviso: %00000000001 M1 *Nombre del aviso:* "MANTTO / CODIGO DEL EQUIPO / FALLA"

Status mensaje: MEAB

Orden

Aviso | Disponib. instalación | Avería, parada | Datos emplazamiento | Resumen programación mantenimiento | Posiciones | Medidas

Objeto de referencia

Ubic. técn.

Equipo *Código del equipo*

Responsabilidades

Grupo planif. / *Seleccione grupo de planificación*

Pto. tbjo. resp. /

Autor del aviso Fecha de aviso: 05.01.2021 10:12:30

Digitar el nombre del autor del aviso

Fechas extremas

Inicio deseado: 05.01.2021 10:12:30 Prioridad: *Seleccionar la prioridad del equipo*

Fin deseado: 00:00:00 Parada

digitar la fecha de la creacion del aviso

Circunstancias

Descripción

Digitar con mas detalle datos del equipo y la falla

Posición

Parte objeto

Figura 59 Campos en la creación de avisos M1 de mantenimiento en SAP PM

Actividad 2: Formular e implantar estándares de evaluación del equipo

Cada vez que se realice un aviso en SAP PM (ver figura 58 y 59), se debe establecer la prioridad según lo dispuesto en el SAP PM (1 = Muy Crítico, 2 = Crítico y 3=No Crítico). En consecuencia, para la evaluación de la prioridad que se incluirán en el mantenimiento planificado de los equipos seleccionados (SF01, C-15, T-27, T-28, T- 30, T-19 y T-16), se establece a continuación un método de análisis de criticidad de equipos de planta (MACEP).

Este método consiste en establecer criterios técnicos en función a factores que influyen en la gestión de la planta, estos son principalmente la seguridad, medio ambiente, calidad, operatividad y mantenibilidad (ver tabla 26).

Tabla 26 Criterios para evaluar la criticidad de los equipos seleccionados en el sistema de secado 01

Factores	Criterios de evaluación	Valoración
Seguridad: Efecto de la falla sobre personas y las instalaciones (SI)	Una falla del equipo afecta gravemente la integridad de toda la planta o del personal que labora en ella	10
	La falla del equipo puede afectar levemente integridad de la planta o del personal que labora en ella	5
	La falla del equipo no afecta la integridad de la planta o el personal que labora en ella	1
Medio ambiente: Efecto de la falla sobre el medio ambiente (MA)	La falla afecta considerablemente al medio ambiente	10
	La falla afecta al medio ambiente de forma moderada	5
	La falla no afecta al medio ambiente	1
Calidad: Efecto de la falla sobre la calidad del producto (C)	La falla del equipo afecta gravemente la calidad del producto (puede contaminar al producto o generar condiciones anormales que originen un producto fuera de especificación técnica)	10
	Una falla del equipo genera desviaciones de calidad corregibles rápidamente por el operario.	5
	Las fallas no afectan la calidad del producto	1
Operaciones: Efecto de la falla sobre la producción (P)	La falla del equipo afecta gravemente la producción (equipos sin unidades alternas), generando paradas completas de los procesos previos y siguientes o la pérdida de producción es mayor a 12 TM	10
	Una falla del equipo genera una parada parcial del sistema o para la producción solo si el equipo en <i>standby</i> no está en servicio o la pérdida esta entre 12TM y 5 TM	5
	Una falla del equipo tiene poco o ningún afecto sobre la producción o la pérdida es menor a 5TM o su tiempo de parada es no mayor de 1 hora	1
Mantenimiento: Disponibilidad, Tiempo y costo de reparación (M)	La reparación del equipo cuesta más \$10000 o bien el mantenimiento preventivo es posible solo en parada de planta (Ce)	25
	El equipo puede repararse a un costo entre \$2000 y \$10000 (Ce)	15
	El costo de la reparación es inferior a \$2000 o puede dejarse sin reparar hasta que se presente una mejor oportunidad (Ce)	5
	Análisis de frecuencia de fallas y MTTR. (JK)	1-4

Con lo expuesto en la tabla 26 se puede decidir en función a la criticidad determinada semicuantitativamente, cual es el nivel de prioridad que debe establecerse en los avisos de mantenimiento, según lo determinado en la tabla 27.

En los casos muy críticos y críticos hay que poner en práctica medidas predictivas basadas en el uso de equipo de medición de parámetros establecidos como críticos en campo, para prevenir su repetición y, asimismo, prevenir la ocurrencia de fallas similares en otros equipos.

En función a la tabla 26, se establece la criticidad total de riesgo (CTR), calculada según la siguiente ecuación:

$$CTR = FP \times \%R$$
$$\%R = \frac{(CxPxM + SI + MA) - 20}{100}$$

Donde:

CTR: Criticidad total de riesgo

%R: Riesgo de parada del equipo expresado en %

FP: Frecuencia de Parada (Max. 1 parada por año =100, entre 2 a 3 paradas por año =200, entre 4 a 6 paradas por año=300, mayor a 7 paradas por año=400)

C: Factor de calidad

P: Factor de producción

M: Factor de mantenibilidad

SI: Factor de seguridad industrial

MA: Factor de medio ambiente

El factor de mantenibilidad, está asociado con el factor de costo del equipo (Ce) y con la frecuencia y el MTTR del equipo (JK), según la siguiente ecuación:

$$M = Ce \times JK$$

El factor JK, se determina realizando una gráfica de Jack Knife (ver figura 60), según los siguientes pasos

- *Disponer de los datos mínimos por equipo:* Número de equipo (nombre), #Paradas, Tiempo de uso (Real o teórico), Tiempo para reparar (TTR acumulado).
- *Evaluar los indicadores asociados a la confiabilidad y mantenibilidad:* MTTR [TTR/ #Paradas], MTBF[Tiempo Falla/ #Paradas], Tasa de Fallas[1/MTBF], No Disponibilidad[Horas Falla/ Horas Periodo], Disponibilidad [(Horas Periodo-Horas Falla)/Horas Periodo]
- *Determinar el promedio del total de equipos:* El promedio se evalúa como si todos los datos correspondieran a un solo equipo.

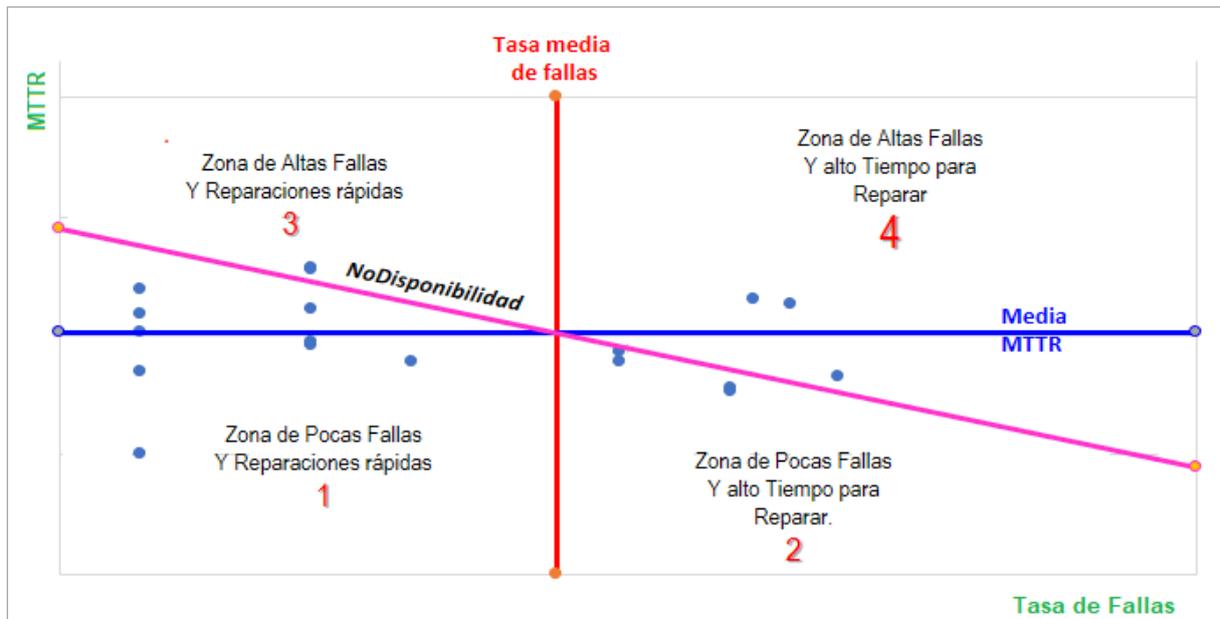


Figura 60 Gráfica de Jack Knife

Tabla 27 Clasificación de la criticidad de los equipos seleccionados en el sistema de secado 01

Prioridad SAP	Criticidad - MACEP
3	≥ 150
2	$\leq 75 < 150$
1	< 75

Para establecer la situación actual de los equipos seleccionados en el sistema de secado 01, es necesario analizar los datos obtenidos en la actividad 1 en base a indicadores definidos y sustentados en la tabla 28 y 29.

El análisis de estos indicadores permite establecer las metas del mantenimiento planificado para reducir las fallas y averías de los equipos seleccionados en el sistema de secado 01, que son finalmente evaluados en su última etapa de la implementación.

Actividad 3: Determinar las metas del mantenimiento planificado

Para establecer la situación actual, se debe reunir datos del número de fallas, frecuencia, severidad, confiabilidad, mantenibilidad, costos de mantenimiento, etc., para posteriormente establecer objetivos con la finalidad de reducir los fallas y averías a través del mantenimiento planificado. La tabla 30, muestra los objetivos de mantenimiento planificado propuestos.

Etapas 2: Diseñar un sistema de restauración de la disponibilidad del equipo

En esta etapa se busca establecer los planes y lineamientos para restablecer la disponibilidad del equipo.

Actividad 4: Diseñar un sistema de mantenimiento autónomo

En esta actividad se tomará como base la continuación del ejercicio del mantenimiento autónomo en los equipos seleccionados en el sistema de secado 01 y desarrollado en el paso 8 de la implementación del CISOPE (ver figura 61).

Actividad 5: Diseñar un sistema de mantenimiento correctivo

En esta actividad se busca evitar la repetición de las fallas en el mismo equipo o en equipos similares, sustentada en el AMEF desarrollado en el paso 5 de la implementación del CISOPE. En esta actividad se debe tener claro un buen procedimiento en mantenimiento correctivo (ver figura 62), que es finalmente el camino más adecuado para lograr un análisis de la falla y de las medidas predictivas acogidas.

Actividad 6: Establecer acciones inmediatas para reducir las fallas del equipo

Las fallas y averías en el sistema de secado 01 de la planta de fosfato bicálcico no necesariamente se presentan por causas claras y asignables a condiciones preestablecidas, más bien muestran un comportamiento gobernado por la variabilidad con características propias de cada equipo.

Para minimizar las fallas de los equipos, se debe recuperar sus condiciones iniciales tan pronto sea posible, previa detección de las señales de la falla inminente. Para lograr la predicción de las fallas de los equipos del sistema, debe realizarse:

- Calibración de los instrumentos de medida y su chequeo programado para mantener su precisión.
- Evaluar contantemente los instrumentos de control y su funcionalidad.
- Usar la data histórica para capacitar a los operadores en la restauración del sistema hasta su estado inicial en el menor tiempo posible.
- Para cada falla del sistema, preparar un informe detallado que describa la naturaleza de la falla y las acciones tomadas a corto y largo plazo.
- Investigar cada falla usando el AMEF, u otra técnica analítica y reconstruir el informe de la falla a la luz de los resultados.

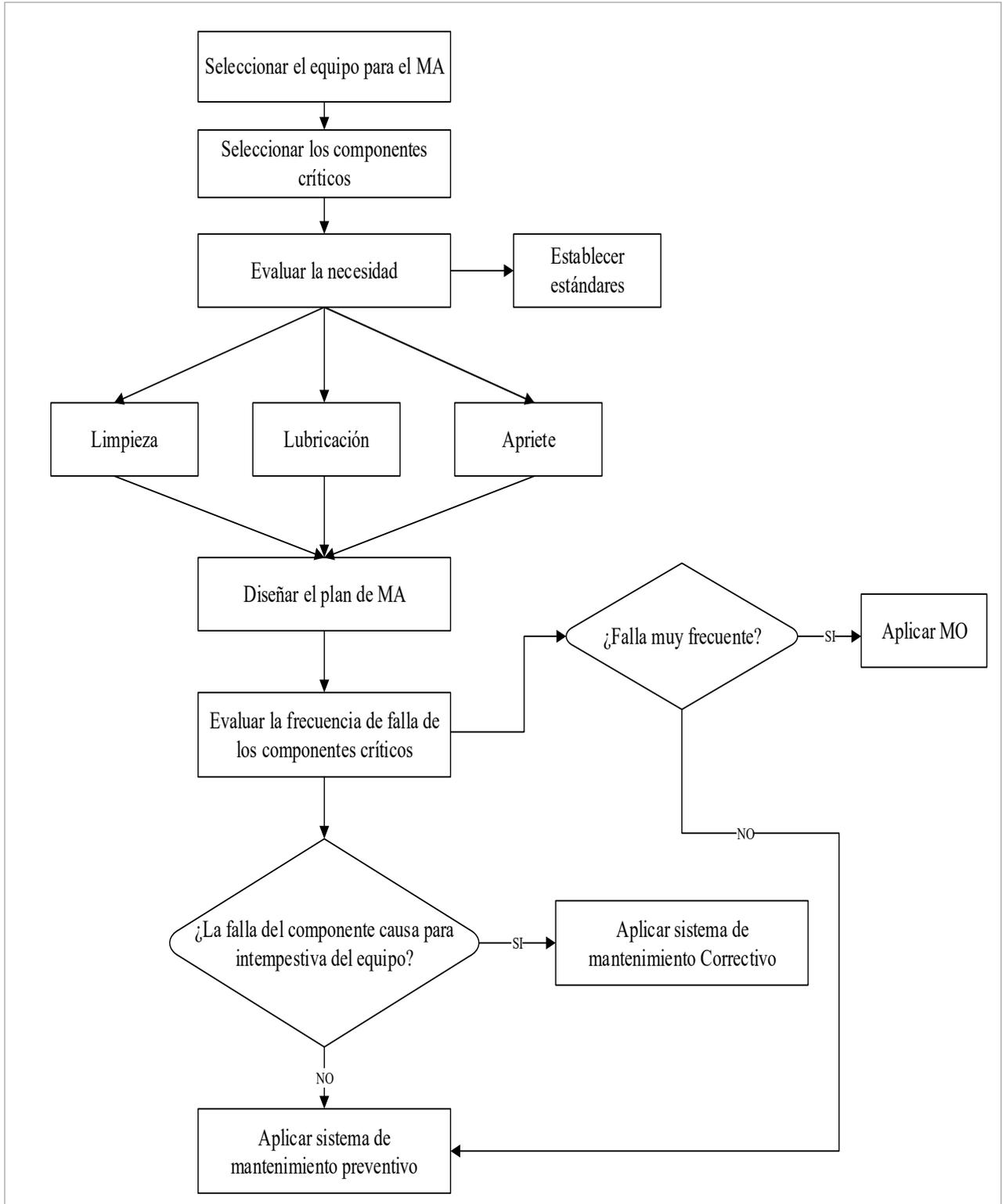


Figura 61 Diagrama de flujo del sistema de mantenimiento autónomo

Tabla 28 Indicadores de tiempo de los equipos seleccionados del sistema de secado 01

Tiempos		Forma de Cálculo		Descripción
Nombre	Símbolo			
Tiempo calendario	de TD	Investigación		Es el tiempo disponible que operan los equipos durante todo el año, semestre o mes, sin considerar paradas planificadas.
Tiempo de Parada Planificada	TPP	Investigación		Es el tiempo necesario para un mantenimiento planificado.
Tiempo de Funcionamiento	TF	$TF = TD - TPP$		Es el tiempo resultado de la resta entre el Tiempo calendario menos el Tiempo de Parada Planificada.
Tiempo de Preparación de Equipo	de TPE	Investigación		Es el tiempo destinado para los arranques del equipo.
Tiempo del Periodo de Operación	de TPO	$TPO = TF - TPE$		Es el tiempo resultado de la resta entre el Tiempo de Funcionamiento menos el Tiempo de Preparación del Equipo.
Tiempo de Parada no Planificada por Equipos	TPPE	Investigación		Es el tiempo perdido por las fallas de los equipos, desde su avería hasta su reparación.
Tiempo de Operación Neta	de TON	$TON = TPO - TPPE$		Es el tiempo resultado de la resta entre el Tiempo del Periodo de Operación menos el Tiempo de Parada no Planificada por Equipos.
Tiempo Perdido por Operación	TPOP	Investigación		Es el tiempo perdido por marchas en vacío, reducción de velocidad de los equipos, falla en el suministro de materia prima o insumos, etc.
Tiempo de Operación Utilizable	de TOU	$TOU = TON - TPOP$		Es el tiempo resultado de la resta entre el Tiempo de Operación Neta menos el Tiempo Perdido por Operación.
Tiempo de intervención de avería	de TIA	Investigación		Es el tiempo resultado desde el momento que se gestiona la intervención del equipo hasta la reparación de la avería (incluye el tiempo de prueba del equipo)

Tabla 29 Indicadores de mantenimiento de los equipos seleccionado del sistema de secado 01

Indicadores		Forma de Cálculo	Descripción
Nombre	Símbolo		
Tiempo medio para reparar avería	MTRR	TIA/NA	Es el tiempo promedio que se tarda en reparar un equipo desde el momento que se gestiona la reparación de la avería
Tiempo medio entre avería	MTBF	TPO/NA	Es el tiempo promedio que opera un equipo antes de la siguiente avería.
Tasa de Disponibilidad del Equipo.	D	$D = (TPO/TF).100\%$	Es la capacidad de un equipo para estar listo para su funcionamiento en el tiempo que se requiera.
Tasa de Eficiencia del Equipo	E	$E = (TOU/TF).100\%$	Es la capacidad real que tiene el quipo para producir teniendo en cuenta los tiempos perdidos por marchas en vacío, reducción de velocidad de los equipos, falla en el suministro de materia prima o insumos, etc.
Tasa de Mantenibilidad del Equipo	M*	$M = (1 - e^{(-TD/MTTR)}).100\%$.	Es la capacidad, que tiene un equipo de ser mantenido o restaurado en un periodo de tiempo a su estado original.
Tasa de Confiabilidad del Equipo	C*	$C = e^{(-TD/MTBF)}100\%$.	Es la capacidad de un equipo para realizar una función requerida bajo condiciones dadas para un intervalo de tiempo dado.
Tasa del cumplimiento del mantenimiento Preventivo	CMP	$CMP = (TMPE/TMP).100\%$	Es la Tasa de los logros del mantenimiento preventivo en base al Total de trabajos de mantenimiento preventivo ejecutados (TMPE)
Tasa de costos de mantenimiento	CM	$CM = (CTM/CTP).100\%$	Es la proporción de los costos totales de mantenimiento (CTM) sobre los costos totales de producción (CTP)
Tasa de costos globales de mantenimiento	CGM	$CGM = (CTM+PP)/CTP.100\%$	Es la proporción de los costos totales de mantenimiento (CTM) más las perdidas por parada (PP) sobre los costos totales de producción (CTP)

Número de averías (NA): Es el número de paradas del equipo cuando ya no es posible operarlo hasta su reparación medidas durante todo el año, semestre o mes.

*Se considera una distribución exponencial, por ser el modelo más común en este tipo de procesos. Arata, 2009.

Etapa 3: Diseñar un sistema de información del mantenimiento

En esta etapa se establece los alcances en la planificación del mantenimiento de los equipos, con la finalidad de disponer de los materiales y presupuestos necesarios para la ejecución del mantenimiento.

Tabla 30 Metas propuestas de mantenimiento planificado para los equipos críticos del sistema de secado 01

Indicador	Meta de Mejora
Fallas según categoría del equipo	Equipo A: 0
	Equipo B: 1/10
	Equipo C: 1/2
Fallas por categorías	Fallas grandes: 0
	Fallas intermedias: 1/10
	Fallas pequeñas: 1/2
Fallas de proceso	Fugas, contaminación y obstrucción: 0
	Presiones, temperaturas y tasas de flujo anormales debidas a causas complejas: 1/2
Severidad de fallas del equipo	TPPE/TON.100%. Menor o igual al 5%
Mantenibilidad del sistema	$(1 - e^{-(TD/MTTR)}) \cdot 100\%$. Mayor o igual 90% (1000 horas de operación)
Confiabilidad del sistema	$e^{-(TD/MTBF)} \cdot 100\%$. Mayor o igual a 63% (1000 horas de operación)
Tasa de realización del mantenimiento preventivo	TMPT/TPTMP.100%. Mayor a 90%
TPPE: Tiempo de Parada no Planificada por Equipos; TON: Tiempo de Operación Neta; MTTR: Tiempo medio de reparación; MTBF: Tiempo medio entre fallas; TD: Tiempo de calendario; TMPT: Trabajos de mantenimiento preventivo terminados; TPTMP: Total programado para trabajos de mantenimiento planificado	

Actividad 7: Diseñar un sistema de mantenimiento planificado del equipo

Los planes de mantenimiento preventivos y correctivos deben ser ejecutados por el área de mantenimiento previa coordinación con la superintendencia de planta FBC, en el caso de la ejecución de los planes de mantenimiento predictivos deben ser ejecutados en conjunto por personal técnico de mantenimiento y operadores de planta (ver figura 64). La planta controlará estos planes mediante el archivo en Excel “FBC-Control de cambios – BD reportes mantto”, mostrado en la figura 65, siendo este documento la fuente de la data para el seguimiento de la mejora de la eficacia global de planta FBC, corroborada y basada en la data dispuesta en el SAP – PM.

La gestión del mantenimiento de los equipos de planta, y especialmente del sistema de secado 01 es asignada a uno de los ingenieros de proceso de la planta FBC, quien debe evaluar los indicadores de planta mensualmente y coordinar con los supervisores de mantenimiento, tanto mecánico, eléctrico e instrumental, las intervenciones programadas durante el día, planificando actividades en paralelo, con la finalidad de aumentar la eficacia de la ejecución del plan de mantenimiento de los equipos de planta.

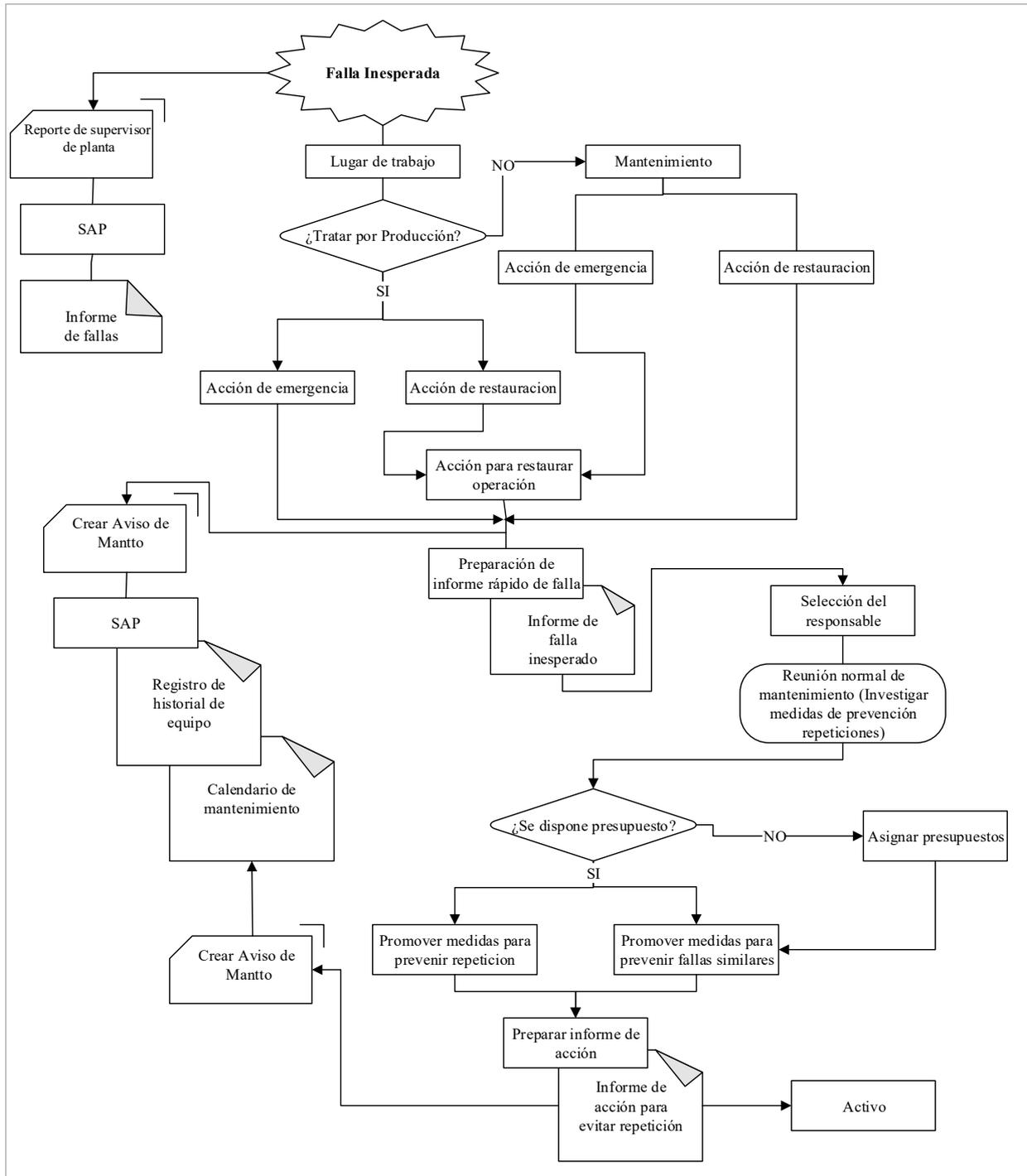


Figura 62 Diagrama de flujo de mejora de la calidad del mantenimiento correctivo

Actividad 8: Diseñar un sistema de gestión del presupuesto del equipo

En la compañía se viene desarrollando la gestión de presupuestos con la implementación del módulo FM de SAP, sin embargo, la información sólo es accesible por la superintendencia, por lo que se debe habilitar las transacciones de visualización de presupuesto a los ingenieros de proceso y supervisores de planta (ZFMRP_RW_BUDCONG: Reporte uso de presupuesto gastos; FMRP_RW_BUDVER: Reporte comparación de presupuesto).

TEXTO DE LA CUBIERTA

Informe Presupuesto Gastos SAP Fecha: 20.04.2021 Hora: 13:07:23 Página: 2 3

CP presupuesto
Versión: 0

Fondo/grupo: 01 Presupuesto Oper Área Funcional/grupo:
 Progr.financiación/grupo: E3, efectividad de caja
 Centro gestor: 10021210 Proyecto Bidualcoo Posición presupuestaria: *

Pos. presupuestaria	FIA	Carr/Ove	Traslados	Suplementos	Ajustes	PMA	Comprometido	Realizado	Disponible
* HojaPres	682,721.97	66,703.08	27,106.20		6,470.00	715,848.39	202,788.09	405,790.11	107,247.59
200102 Serv. Recoyo de residuos	164,417.32		2,950.00			161,467.32		92,100.20	69,279.04
400784 Impresora Tar. Plana	36,726.27	1,133.85	5,400.00			32,460.12	5,090.08	14,974.05	12,486.09
400391 Anal. Lab y Certif.	6,539.00		2,450.00			4,089.00		223.23	3,787.97
200499 Válvulas y accesorios	15,198.19	2,167.90	13,280.00			30,448.48	9,341.17	19,426.47	2,098.01
200493 Espes y Disc Ruptura	2,750.30		1,420.00			4,070.20		729.92	1,011.43
300091 Seguridad	5,225.05	179.06	6,150.00			4,254.91	94.70	2,004.50	1,959.71
300851 Herramientas	227.40		1,500.00			1,727.40	0.01	231.01	1,496.40
401392 Mantn. Pesas, Tanq.	31,481.25	4,521.12	11,270.00			15,791.12	13,345.17	1,220.93	1,229.02
300391 Borne Central Compres	4,900.00	4,362.08	4,380.00			40,213.29	23,600.27	16,388.91	1,224.91
400841 Calibración	10,043.39	1,107.61	6,940.00			8,700.00	2,442.40		1,156.60
300751 Instrum. Industrial	23,616.09		10,850.00			12,760.00	1,223.68	10,529.46	1,012.89
400860 Serv. Técnico especializado	797.23	1,058.23	9,540.00			12,142.46	9,385.14	1,805.23	972.09
400961 Mantn. Eq. Elac.	6,750.00	1,850.00	3,400.00			12,000.00	6,255.40	3,004.00	700.00
300155 Envasadoras y cosedoras	1,090.27		300.00			790.27	164.32		625.95
300694 Filtros	593.15					593.15			593.15
200751 Materiales de Perforación	7,893.54		3,040.00			4,843.54	176.03	4,095.03	378.76
300647 Tuberias y accesorios	10,128.08		9,110.00			19,238.08	2,942.46	15,749.84	546.76
300551 Mat. y Acc. Elacetr.	7,479.04	1,177.75	3,340.00			12,016.79	2,625.38	8,973.13	518.28
300156 Equipos de filtración	201,604.57		104,201.00			94,763.11	20,242.47	66,003.99	516.65
400857 Mantn. Eq. Placa	87,255.36	30,377.18	34,790.00		2,640.00	120,850.64	51,141.78	69,949.89	600.87
401251 Fab. Elementos Maq.	19,599.26	8,810.05	15,862.00			44,271.02	23,498.21	20,348.06	423.95
280191 Aceites lubricantes y grasas	7,409.48		380.00			7,789.48	2,578.05	4,768.10	421.30
300256 Interconectores	12,764.29		11,100.00			1,664.29	134.08	1,190.26	331.99

Figura 63 Vista de transacción ZFMRP_RW_BUDCONG: Reporte uso de presupuesto gastos

Actividad 9: Diseñar un sistema para controlar equipos de reserva y componentes de repuesto

En las figuras 64, 65, 66 y 67, se muestra el plan de control de cambio de los tornillos y ventiladores respectivamente y sus componentes. Estos planes de control están en base a la data disponible en SAP- MM.

Etapa 4: Diseñar un sistema de mantenimiento preventivo

La etapa 4 del mantenimiento planificado está conformado por las siguientes tres actividades, sustentada básicamente en el mantenimiento preventivo.

Actividad 10: Diseñar un sistema de mantenimiento preventivo del equipo

La estructura de la preparación del mantenimiento preventivo está basada en el diagrama de flujo de la figura 68, y es ejecutada por el área de mantenimiento, en sus distintas sub áreas; mecánica, eléctrica e instrumental. El mantenimiento preventivo de los equipos del sistema de secado 01, están en función del número de horas de operación, establecidos según la recomendación de los proveedores.

Actividad 11: Diseñar un sistema de mantenimiento con parada general

Para mejorar la eficiencia de las paradas generales de planta se establece la ruta basada en el diagrama de flujo mostrado en la figura 69. La mejora radica básicamente en la evaluación de la información disponible por el área de mantenimiento y producción, quienes en conjunto tomarán las decisiones más adecuadas respecto de las paradas generales de planta.

Actividad 12: Diseñar un sistema de mantenimiento subcontratado

Se evalúa las subcontratas que actualmente brindan servicio a la planta, en las tres diferentes áreas de mantenimiento; mecánico, eléctrico e instrumental. La evaluación se realiza para seleccionar las subcontratas que estarán disponibles durante las 24 horas en casos de emergencia, con la finalidad de reducir los tiempos de paros por fallas intempestivas. Esta evaluación y selección recae en la responsabilidad del área de mantenimiento quien debe garantizar además un prevencionista de riesgos y un supervisor.

Etapa 5: Diseñar un sistema de mantenimiento predictivo

En esta etapa se desarrolla el mantenimiento predictivo aplicable, desde el diseño del plan hasta la selección de las herramientas y equipos para su ejecución.

Actividad 13: Diseñar un sistema de mantenimiento predictivo del equipo

El mantenimiento predictivo permite predecir una falla mediante la medición de parámetros estandarizados usando los equipos de medición adecuados, sirviendo como base para mejorar los tiempos de intervención de cada falla. Los diferentes tipos de mantenimiento que son parte del mantenimiento planificado, se soportan en el mantenimiento predictivo que puede ser ejecutado tanto por el área de mantenimiento y producción. La estructura de la preparación del mantenimiento predictivo está basado en el diagrama de flujo de la figura 69.

Actividad 14: Seleccionar equipos y herramientas para mantenimiento predictivo

Para fines de la implementación del CISOPE se tendrá como base los equipos seleccionados en el punto 4.1.2., de los cuales, los siguientes sólo cuentan con equipos de control en campo:

Tabla 31 Equipos de control en el sistema de secado 01

Equipos	Equipos de control	
	Dispone	No dispone
SF01	Termocupla	-
T-28	No aplica	
T-27	-	Amperímetro
T-16	-	Sensor de humedad
C15	Vacuómetro	-
T-30	No aplica	
T-19	No aplica	

Como bien se muestra en la tabla 31, el T-27 y T-16, no cuentan con los equipos de medición requeridos para predecir fallas. La instalación de estos equipos de medición, se sustentan en el paso 10, mejora orientada del CISOPE.

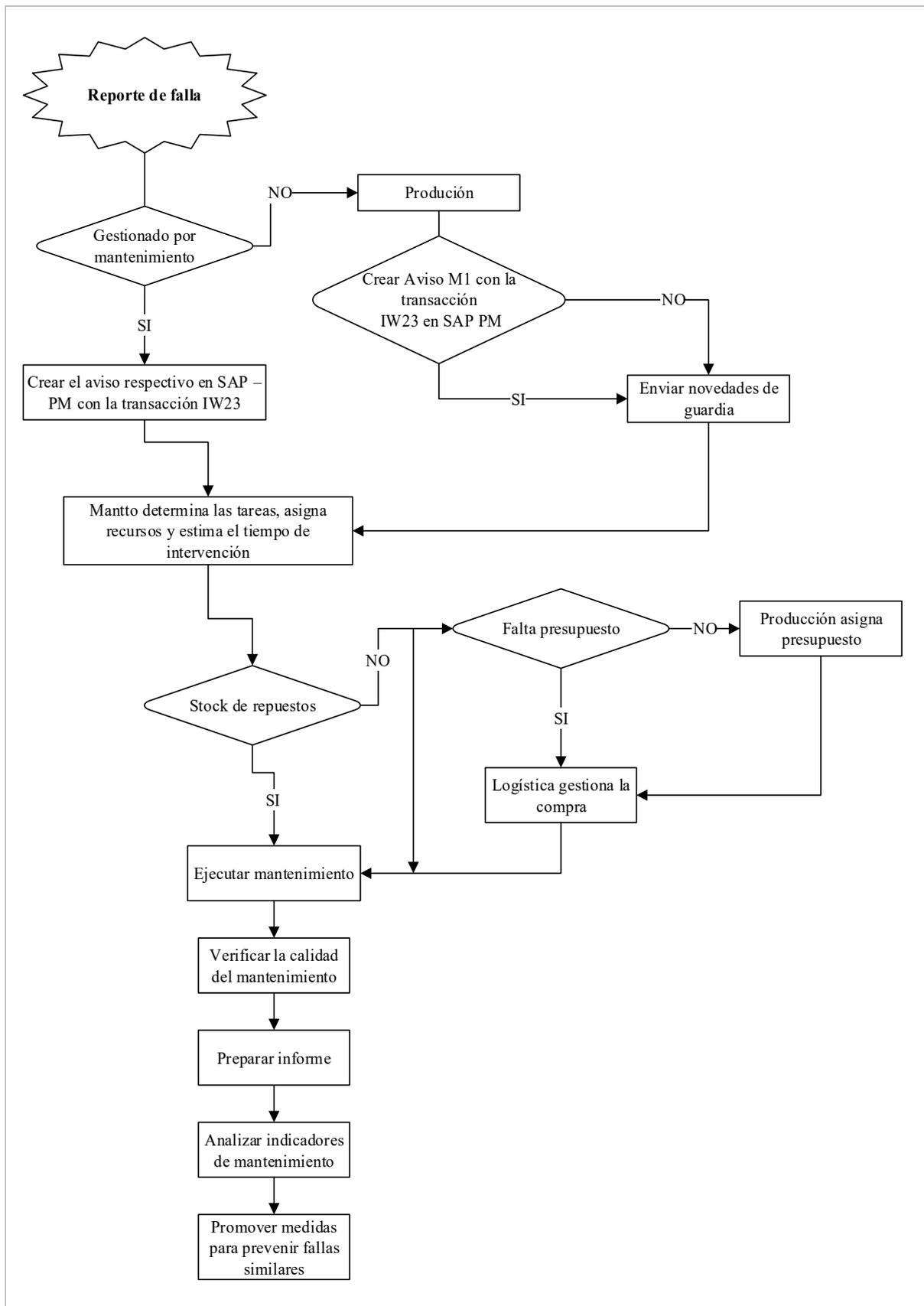


Figura 64 Diagrama de flujo del sistema de mantenimiento de los equipos de la planta FBC

Fecha Reporte	Semana	Reportado	Tag	Plan de accion	Responsable	Fecha de Inicio	Hora inicio ejecuci3n	Hora fin ejecuci3n	Tiempo ejecuci3n (h)	Fecha Cierre	Fecha puesto en marcha	Hora puesto en marcha	Tiempo cierre reporte	Estado del equipo	Status
05/03/21	Semana 09	JC. Veliz	B-29B	Cambio de empaques	Mantenimiento	5/03/2021	09:57:00	10:39:00	0.70	05/03/21	05/03/21	10:40:00	0.0	Operando	Realizado
04/03/21	Semana 09	JC. Veliz	C-15	Balanceo ventilador	Mantenimiento	4/03/2021	15:29:00	16:28:00	0.98	04/03/21	04/03/21	16:30:00	0.1	Operando	Realizado
04/03/21	Semana 09	JC. Veliz	T Mix-01	Cambio de un perno pasante	Mantenimiento	4/03/2021	15:05:00	15:40:00	0.58	04/03/21	04/03/21	15:45:00	0.0	Operando	Realizado
04/03/21	Semana 09	A. Ochoa	DP-04A	Rotacion de unidad, tanque B operativo	Planta	4/03/2021	10:34:00	11:00:00	0.43	04/03/21	04/03/21	11:05:00	0.0	Operando	Realizado
04/03/21	Semana 09	A. Ochoa	K-03	Se cambia malla por una abertura mejor 12mm	Jave	4/03/2021	10:16:00	14:48:00	4.53	04/03/21	04/03/21	15:00:00	0.2	Operando	Realizado
04/03/21	Semana 09	JC. Veliz	C-08B	Cambio fajas de transmision	Mantenimiento	4/03/2021	08:50:00	09:20:00	0.50	04/03/21	04/03/21	09:20:00	0.0	Operando	Realizado
04/03/21	Semana 09	JC. Veliz	T-13	Cambio fajas de transmision	Mantenimiento	4/03/2021	08:40:00	09:17:00	0.62	04/03/21	04/03/21	09:20:00	0.0	Operando	Realizado
04/03/21	Semana 09	C. Hernandez	Balanza 2t	Revison de balanza	Mantenimiento	4/03/2021	08:47:00	11:00:00	2.22	04/03/21	04/03/21		0.2	Operando	Realizado
04/03/21	Semana 09	C. Hernandez	FPL-01	Ajuste de pernos brida piston	GREYDAY	4/03/2021	09:57:00	12:43:00	2.77	04/03/21	04/03/21	12:45:00	0.2	Operando	Realizado
03/03/21	Semana 09	JC. Veliz	B-12B	Cambio tramo de linea pvc 3"	Pachas	3/03/2021	15:35:00	16:22:00	0.78	03/03/21	03/03/21	16:25:00	0.1	Operando	Realizado
03/03/21	Semana 09	JC. Veliz	C-16	Balanceo ventilador	Mantenimiento	3/03/2021	15:10:00	15:56:00	0.77	03/03/21	03/03/21	16:00:00	0.0	Operando	Realizado
03/03/21	Semana 09	C. Verde	T-28	Cambio fajas de transmision	Mantenimiento	3/03/2021	14:10:00	14:38:00	0.47	03/03/21	03/03/21	13:30:00	0.0	Operando	Realizado
03/03/21	Semana 09	C. Verde	T-27	Cambio fajas de transmision	Mantenimiento	3/03/2021	13:40:00	14:05:00	0.42	03/03/21	03/03/21	13:30:00	0.0	Operando	Realizado
03/03/21	Semana 09	JC. Veliz	B-10A	Reparacion lines pvc 3"	Pachas	3/03/2021	14:37:00	15:36:00	0.98	03/03/21	03/03/21	15:40:00	0.1	Operando	Realizado
03/03/21	Semana 09	C. Calixto	T-16	Se identica corto cable motor/se pone aislante	Mantenimiento	3/03/2021	11:20:00	12:00:00	0.67	03/03/21	03/03/21	12:30:00	0.0	Operando	Realizado
03/03/21	Semana 09	C. Calixto	FR10X10	Cambio valvula 3" de alimentacion	Mantenimiento	3/03/2021	10:40:00	12:00:00	1.33	03/03/21	03/03/21	12:34:00	0.1	Operando	Realizado
03/03/21	Semana 09	C. Calixto	FP-02	Cambio de valvula electroneumatica	Mantenimiento	3/03/2021	08:25:00	09:38:00	1.22	03/03/21	03/03/21	09:40:00	0.1	Operando	Realizado
03/03/21	Semana 09	A. Ochoa	FR6x6	Ajuste de chumacera norte	Mantenimiento	3/03/2021	08:15:00	09:45:00	1.50	03/03/21	03/03/21	09:58:00	0.1	Operando	Realizado

Figura 65 Base de datos del control del mantenimiento planificado de planta de fosfato bicálcico
Fuente: (Dashboard de la empresa en estudio)

	Area	Código	Duración mes	Ubicación	Ultimo Reemplazo	Punto Pedido	Programado cambio	Estado	Stock	Pedido	Status
1	Secador Flash 1	T-27	9	Mezclador torta y reciclo	Abr-20	Oct-20	Ene-21	Desgastado		1000392183	Pendiente entrega, Programado cambio 30 Marzo
2	Secador Flash 1	T-28	9	Transportador Mix	Oct-20	Abr-21	Jul-21	Conforme			
3	Secador Flash 2	T-33	9	Transportador Mix	Dic-20	Jun-21	Set-21	Desgastado			Tornillo nuevo por garantia cambio 30 Marzo
4	Secador Flash 2	T-32	9	Mezclador torta y reciclo	Dic-20	Jun-21	Set-21	Conforme			
5	Secador Rotatorio	T-07	9	Mezclador torta y reciclo a Q-01	Mar-21	Set-21	Dic-21	Conforme			Cambiado 19 Marzo, se solicitara cotizacion nuevo
6	Secador Flash 1	T-19	12	Producto a Tolvas	May-20	Abr-21	May-21	Desgastado		1000393435	Pendiente entrega, Programado cambio 30 Marzo
14	Secador Flash 2	T-37	12	Reciclo a Tornillo T-38	Ene-20	Set-20	Dic-20	Desgastado		1000397506	En fabricacion
15	Secador Flash 1	T-16	14	Tornillo alimentador		Jul-20	Abr-21	Desgastado	1	1000385432	Pendiente montaje
16	Secador Flash 2	T-39	18	Descarga colector polvos 492	May-19	Jul-20	Oct-20	Desgastado		1000396707	En fabricacion
18	Secador Rotatorio	T-09	24	Salida Q-01 a elevador T-10B	Ago-18	Abr-20	Jul-20	Desgastado			En cotizacion incluyendo canaletas
21	Secador Flash 2	T-34	24	Transportador a Venturi	May-19	Ene-21	Abr-21	Desgastado	1	1000385433	Cambio 30 marzo
22	Molienda caliza	T-13		Tolva caliza molida D-04 a T-14		Nov-20	Dic-20	Desgastado		1000389147	Pendiente entrega
23	Molienda caliza	T-14		Caliza molida a tanques DA-13		Nov-20	Dic-20	Desgastado	1	1000389409	Pendiente montaje

Figura 66 Plan de cambio de tornillos sin fin de la planta de fosfato bicálcico
Fuente: (Dashboard de la empresa en estudio)

	Area	Código	SAP	Duración mes	Ubicación	Reemplazado	Punto Pedido	Programado	Estado	Stock	Pedido	Fecha envio OC	Proveedor
1	Secador Rotatorio	C-14	010-010220	12	Techo edificio Zona 03	Dic-19	Ago-20	Nov-20	Desgastado	1			
2	Secador SF1	C-15	010-010217	12	3er nivel edificio SF01	Oct-20	Jul-21	Oct-21	Conforme	1			
3	Secador SF2	C-16	010-013371	12	4to nivel edificio SF02	May-20	Ene-21	Abr-21	Desgastado	1			
4	Molienda seca	C-08A		36	4to nivel edificio Molienda		Abr-21	Jul-21	Desgastado	0			
5	Secador Rotatorio	C-05		36	1er nivel SRO		Mar-21	Jun-21	Desgastado	0			
6	Secador Rotatorio	C-06		36	1er nivel SRO		Dic-20	Mar-21	Desgastado	0	1000400116	26/02/2021	FLECOM SAC
7	Secador SF1	C-12		36	1er nivel edificio SF01		Mar-21	Jul-21	Desgastado	0			
8	Secador SF1	C-13		36	1er nivel edificio SF01		Dic-20	Mar-21	Desgastado	0	1000400116	26/02/2021	FLECOM SAC
9	Secador SF2	C-17		36	1er nivel edificio SF02		Mar-21	Jul-21	Desgastado	0			
10	Secador SF2	C-18		36	1er nivel edificio SF02		Mar-21	Jul-21	Desgastado	0			
11	Molienda seca	C-01		48	1er nivel edificio Molienda		Jun-21	Set-21	Conforme	0			

Figura 67 Plan de cambio de ventiladores de la planta de fosfato bicálcico
Fuente: (Dashboard de la empresa en estudio)

Equipo	Codigo SAP Repuesto	Respuesto critico	Unidad	Stock Requerido	Stock Seguridad SAP	Stock Disponible	Stock curso	Orden Compra	Frecuencia	Ultimo cambio
Ventilador (C-15)	010-010217	ROTOR LAMINA ACE.CARBONO T36 N°1402604	PZA	1	1	2				30/10/2020
Ventilador (C-15)	007-005851	SOPORTE DE PIE SNU 517 COMPLETO	PZA	2	1	2	2	1000401005		
Ventilador (C-15)	007-006231	SOPORTE PIE BIPARTIDO 2.15/16"FSQ-SNK517	PZA	2	2	6				
Ventilador (C-15)	007-004936	FAJA TRANSM V 5V1500 - 16mm x 3822mm	PZA	6	4	13				
Tornillo T-16 SF01		TORNILLO T-16	PZA	1		1				
Tornillo T-19 SF01		TORNILLO T-19	PZA	1		0	1	1000393435		1/06/2020
Tornillo T-19 SF01	007-006553	FAJA TRANSM V 3V670 - 9.5x 1700mm.	PZA	2	10	23				
Tornillo T-19 SF01	007-006747	BOCINA PARTIDA BR P/EJE 2.1/2"X4"X3.3/8"	PZA	3	5	5				
Tornillo T-19 SF01	007-001340	SOPORTE DE BRIDA SKF FY 2.1/4 TF	PZA	2	2	6				
Tornillo T-27 Mezclador SF01		TORNILLO T-27	PZA	1		0	1	1000392183		1/04/2020
Tornillo T-27 Mezclador SF01	007-002292	FAJA TRANSM V 3V850 - 9.5mm x 2150mm	PZA	4	15	31				
Tornillo T-27 Mezclador SF01	007-013503	BOCINA PARTIDA BR P/EJE 3" X 75mm C/BASE	PZA	2	6	0				
Tornillo T-27 Mezclador SF01	007-005115	SOPORTE DE BRIDA 3" FYH UCF 315-48	PZA	2	3	4	6	1000399760		
Tornillo T-28 Mezclador SF01		TORNILLO T-28	PZA	1		0				30/10/2020
Tornillo T-28 Mezclador SF01	007-002292	FAJA TRANSM V 3V850 - 9.5mm x 2150mm	PZA	5	15	31				
Tornillo T-28 Mezclador SF01	007-013503	BOCINA PARTIDA BR P/EJE 3" X 75mm C/BASE	PZA	2	6	0				
Tornillo T-28 Mezclador SF01	007-005115	SOPORTE DE BRIDA 3" FYH UCF 315-48		2	3	4	6	1000399760		
Tornillo T-30 SF01		TORNILLO T-30	PZA	1		0				1/05/2020
Tornillo T-30 SF01	007-001341	SOPORTE DE BRIDA SKF FY 2.1/2 TF	PZA	2	2	0	6	1000399600		
Tornillo T-30 SF01	007-001527	CADENA TRANSMISION ASA 120-1 P 1.1/2"	M	2	5	8.05				
Tornillo T-30 SF01	007-002913	CANDADO P/CADENA ASA 120-1 P 1.1/2"	PZA	1	3	10				

Figura 68 Base de datos de control de componentes de equipos críticos del sistema de secado 01 de la planta de fosfato bicálcico
Fuente: (Dashboard de la empresa en estudio)

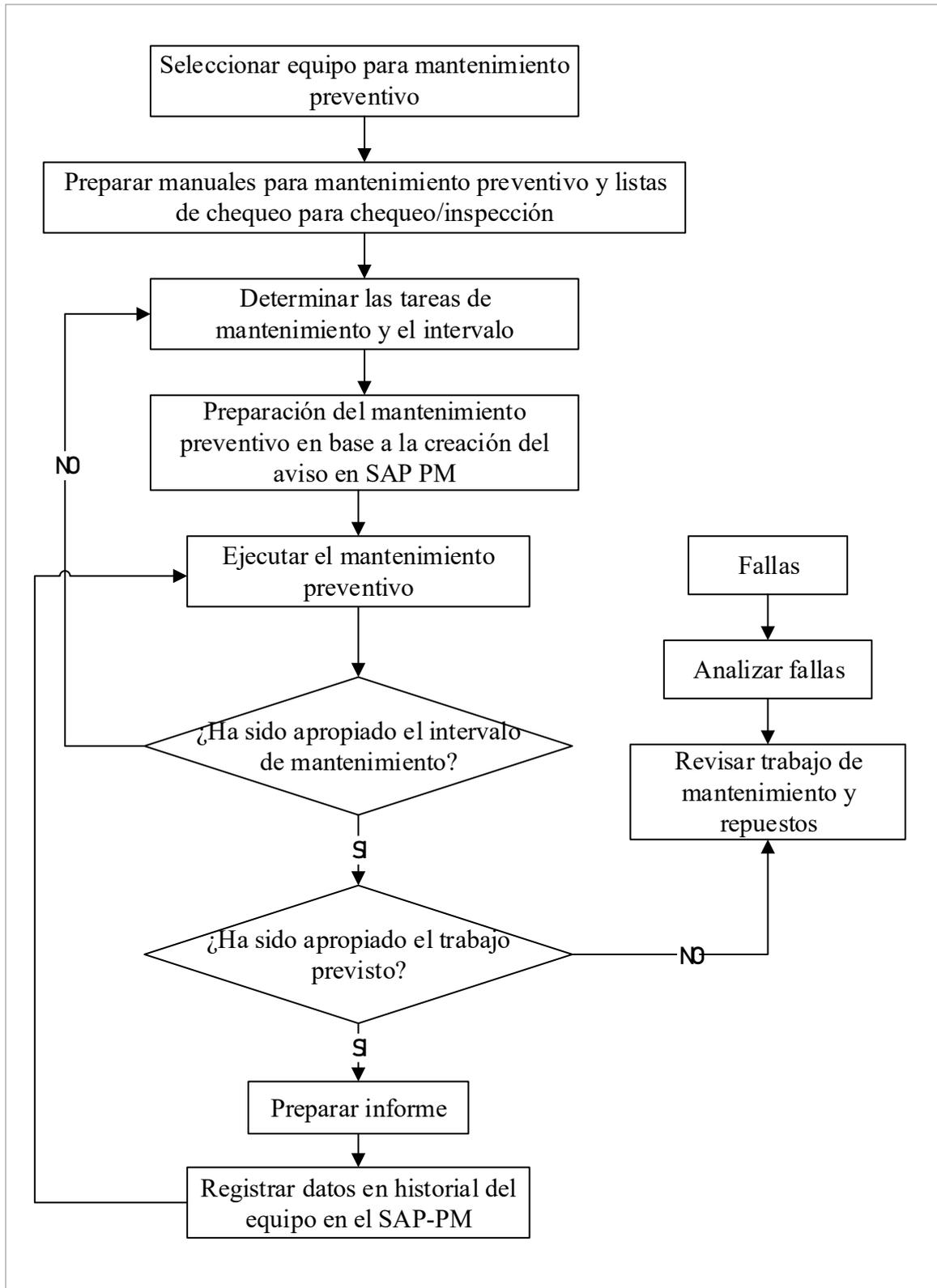


Figura 69 Diagrama de flujo para la planificación y ejecución del mantenimiento preventivo

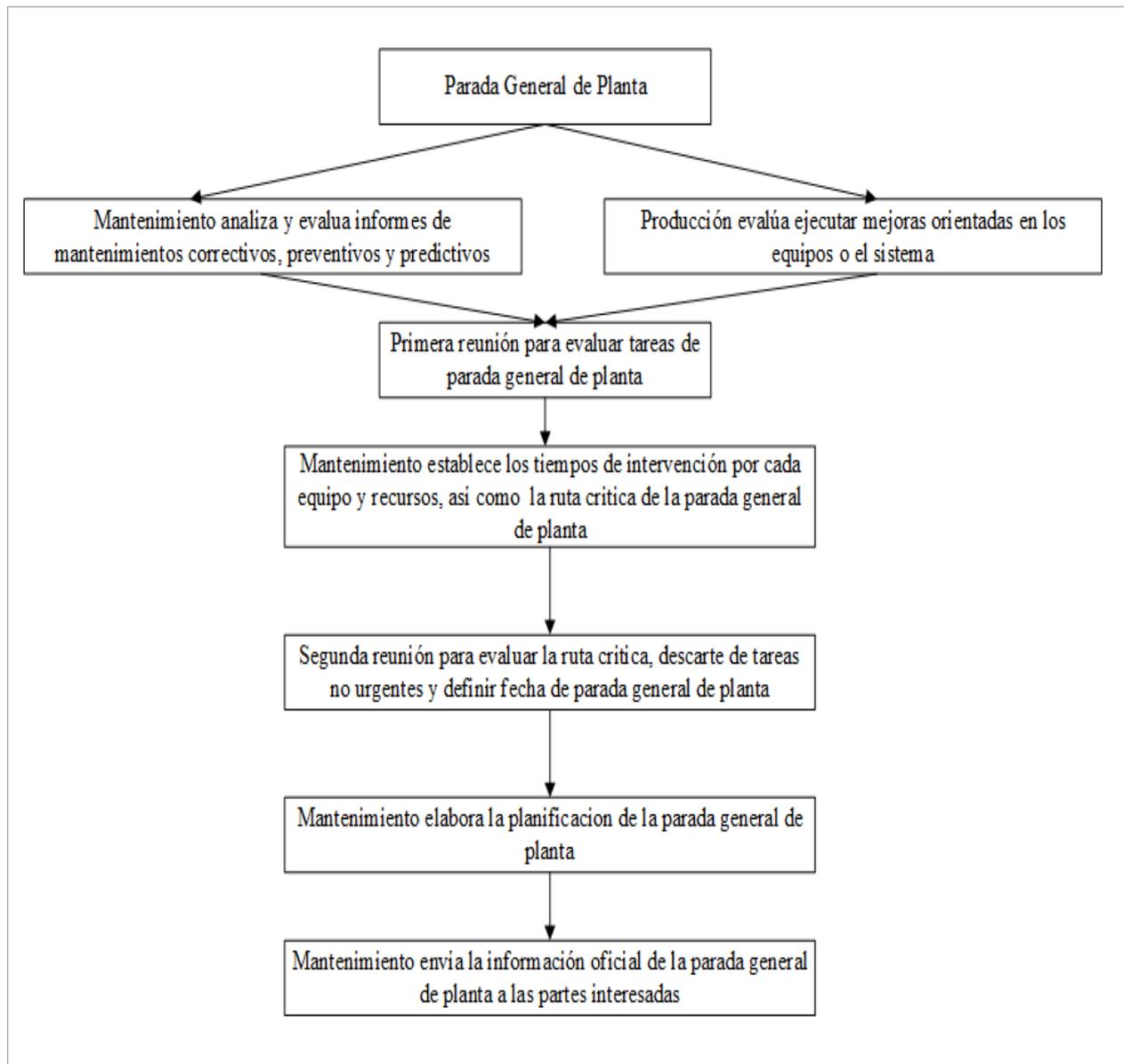


Figura 70 Diagrama de flujo para la preparación de las paradas generales de planta

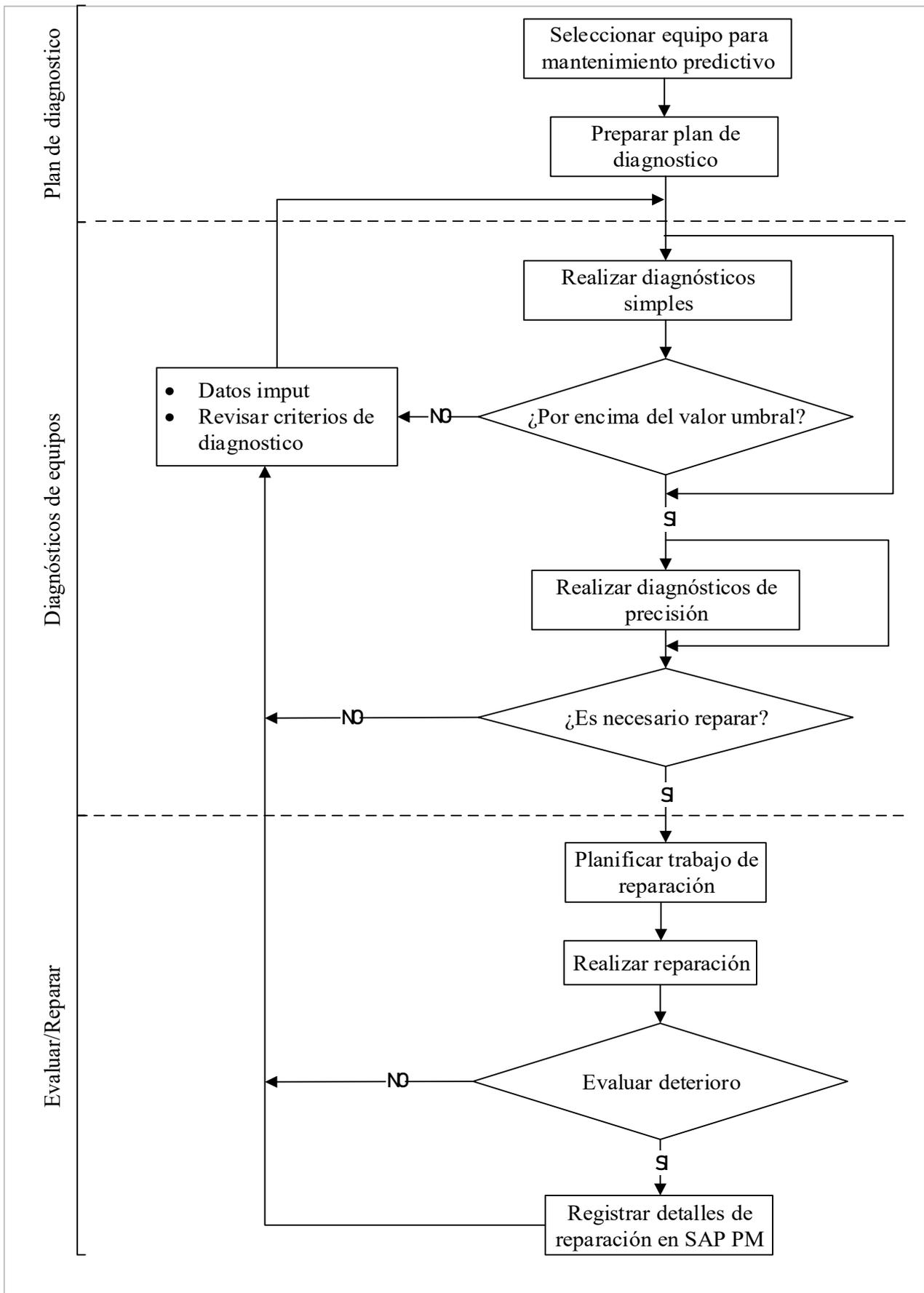


Figura 71 Diagrama de flujo para la planificación y ejecución del mantenimiento predictivo

Etapa 6: Evaluar el sistema de mantenimiento planificado

En esta etapa se evalúa los indicadores más relevantes en el ejercicio del mantenimiento planificado, tanto a nivel de equipo como del sistema de secado 01.

Actividad 15: Evaluar la disponibilidad y eficiencia de los equipos

En la tabla 32 se muestran la disponibilidad y eficiencia de los equipos críticos del sistema de secado 01, en base a los factores de tiempo medidos durante el 2019, de donde se evidencia que la disponibilidad del sistema es de 99.77% mientras que la eficiencia es de 88.96%, toda vez que los equipos funcionan en serie (ver figura 72).

Tabla 32 Indicadores de disponibilidad y eficiencia de equipos críticos del sistema de secado 01

Indicadores (2019)								
Factores		Equipos						
Nombre	Símbolo	T-27	T-28	T-16	SF01	C-15	T-30	T-19
Tiempo calendario	TD	8640	8640	8640	8640	8640	8640	8640
Tiempo de Parada Planificada	TPP	83	83	81	72	78	79	82
Tiempo de Funcionamiento	TF	8557	8557	8559	8568	8562	8561	8558
Tiempo de Preparación de Equipo	TPE	3	3	3	2	3	3	3
Tiempo del Periodo de Operación	TPO	8554	8554	8556	8566	8559	8558	8555
Tiempo de Parada no Planificada por Equipos	TPPE	45.2	39.6	29.7	140.8	115	18.5	26.2
Tiempo de Operación Neta	TON	8508.8	8514.4	8526.3	8425.2	8444.0	8539.5	8528.8
Tiempo Perdido por Operación	TPOP	110	98	55	21.5	110	98	65
Tiempo de Operación Utilizable	TOU	8398.8	8416.4	8471.3	8403.67	8334	8441.5	8463.8
Tasa de Disponibilidad del Equipo	D	99.96%	99.96%	99.96%	99.98%	99.96%	99.96%	99.96%
Tasa de Eficiencia del Equipo	E	98.15%	98.36%	98.98%	98.08%	97.34%	98.60%	98.90%

Tiempos en horas

Actividad 16: Evaluar la confiabilidad y mantenibilidad de los equipos como un sistema

Los equipos del sistema de secado 01, operan en serie (ver figura 72), por consiguiente, la confiabilidad del sistema estará definida por el producto de la confiabilidad de cada equipo (ver tabla 33). Los valores de la confiabilidad de cada equipo, se calculan en base al Minitab 18, usando el modelo de Weibull (ver anexo C).

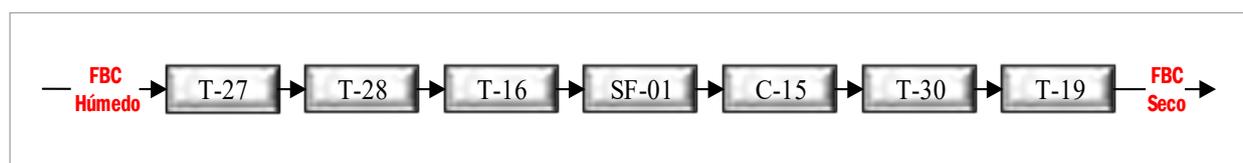


Figura 72 Diagrama de bloques de la operación en serie de los equipos críticos del sistema de secado 01

La mantenibilidad del sistema se puede asociar con el promedio del MTTR de cada equipo, es decir, para reparar una falla en el sistema de secado 01 se tardará 6.9 horas en promedio, según lo deducido de la tabla 33.

Tabla 33 MTBF y MTTR de los equipos críticos del sistema de secado 01

Equipo	TPO		Fallas										N° Fallas	MTBF	
	TIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		MTTR	
T-27	853	1230	3023	817	959	356	678	367	230					9	946
	7.1	4.3	8.3	1.5	5.0	3.0	5.0	3.5	4.0						4.6
T-28	1345	5432	867	210	232	160	272							7	1217
	4.0	7.0	3.4	4.0	6.0	7.2	8.0								5.7
T-16	5670	2032	828											3	2843
	10.5	8.0	11.2												9.9
SF01	1345	6032	843	210										4	2107
	12.0	10.0	12.6	15.1											12.4
C-15	892	802	885	612	1789	589	1192	588	392	413	295			11	768
	2.0	4.4	6.0	1.8	2.1	1.8	10.2	2.0	2.2	3.2	2.3				3.5
T-30	7889	654												2	4271
	6.5	5.4													6.0
T-19	6734	1264	534											3	2844
	8.8	4.1	5.1												6.0

Tabla 34 Confiabilidad del sistema de secado 01

Equipo	Confiabilidad		
	100	500	1000
T-27	95%	69%	39%
T-28	90%	69%	38%
T-16	99%	93%	85%
SF01	94%	76%	59%
C-15	99%	72%	27%
T-30	89%	78%	78%
T-19	97%	84%	70%
Sistema	68.00%	15.87%	1.10%

Puesto que la confiabilidad aceptable por políticas del departamento de mantenimiento de la compañía es de mínimo el 63%, el sistema de secado 01, es confiable sólo hasta las 100 horas de operación.

Actividad 17: Evaluar los costos globales de mantenimiento.

Según la información dispuesta en SAP FM, los costos globales de mantenimiento del sistema de secado 01 son de \$575,987.14 (Año 2019), que representa al 20% del costo global de mantenimiento de la planta de fosfato bicálcico, según se muestra en la tabla 35.

Tabla 35 Costos globales de mantenimiento del sistema de secado 01

Costos	Monto (\$)
Costo de mantenimiento correctivo	\$ 460,789.71
Costo de mantenimiento preventivo y predictivo	\$ 115,197.43
Costos globales de mantenimiento	\$ 575,987.14

Fuente: (Reporte SAP FM 2019 de la empresa en estudio)

Paso 10: Mejora Orientada

La aplicación de la mejora orientada se sustenta en siete actividades (ver figura 73). En este caso, se centra en reducir los tiempos de parada por limpieza (TPPL) del secador flash 01 y el desgaste de los tornillos T-16, T-27 y T-28. Este proyecto de mejora estará liderado por el líder de la oficina técnica - AMEF, quien, en coordinación con los ingenieros de proceso, supervisores de planta y operadores evaluarán la consolidación de los beneficios de la mejora. Según el gráfico de la figura 75 y 77., el secador flash 01, generan una mayor pérdida seguida de los tornillos T-27, 28 y 16, por consiguiente, la mejora enfocada se aplicará a este equipo, según la metodología planteada en la figura 73.

Actualmente en el sistema de secado 01, se originan frecuentes paradas del secador flash SF01 para limpieza de producto húmedo acumulado en el fondo del secador. Estas paradas se originan básicamente por el exceso de humedad del producto (según figura 64) , proveniente de los filtros prensa (según el análisis realizado en la figura 74), generando acumulación frecuente de producto en el fondo del secador flash SF01, por elevada densidad específica del producto que dificulta su traslado por el ducto del secador. En la figura 75, se muestra el diagrama de flujo, donde interactúan los tornillos T27, T28, secador flash SF01, la faja T24 y el Filtro prensa FP01

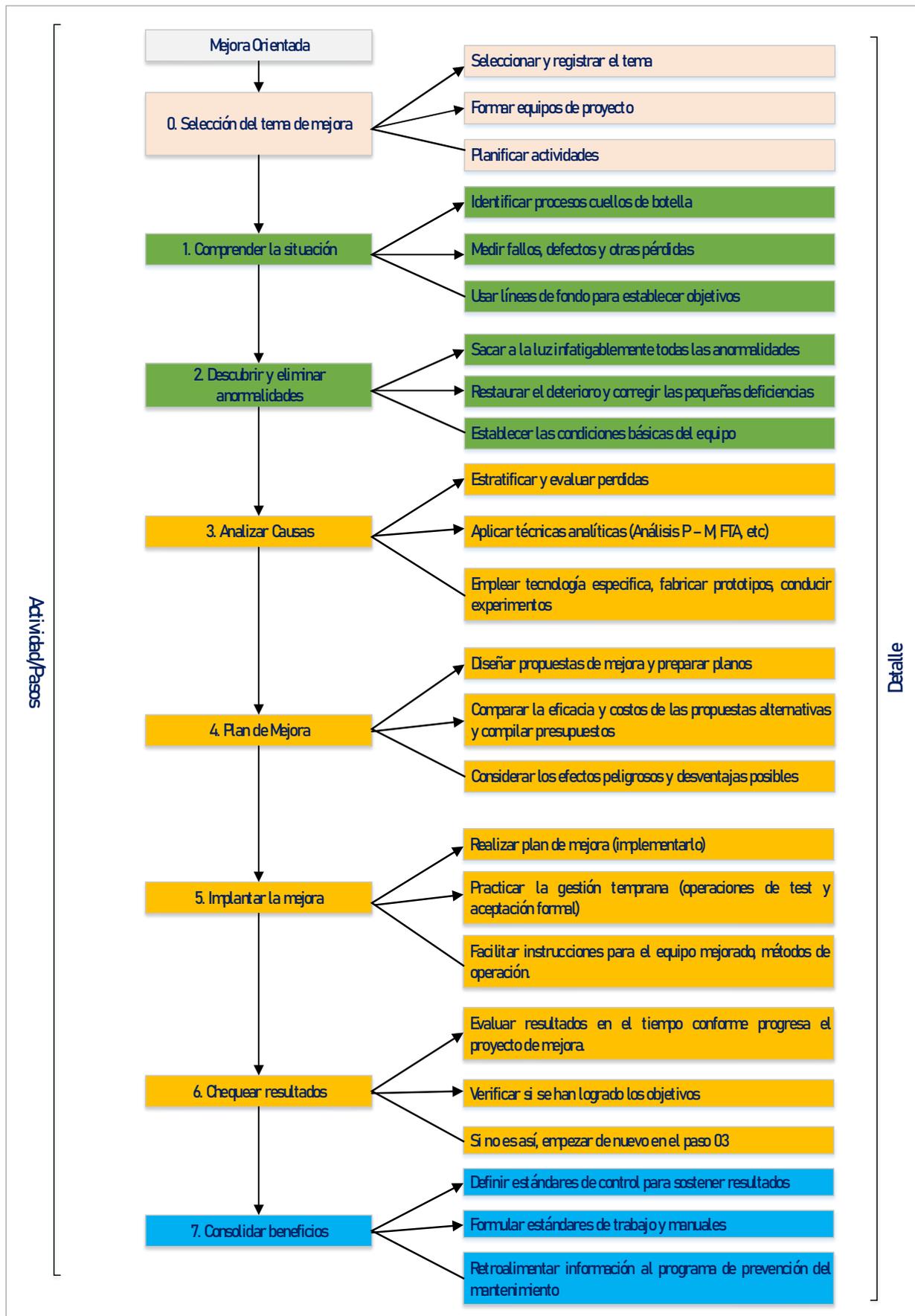


Figura 73 Metodología de implementación de mejoras enfocadas

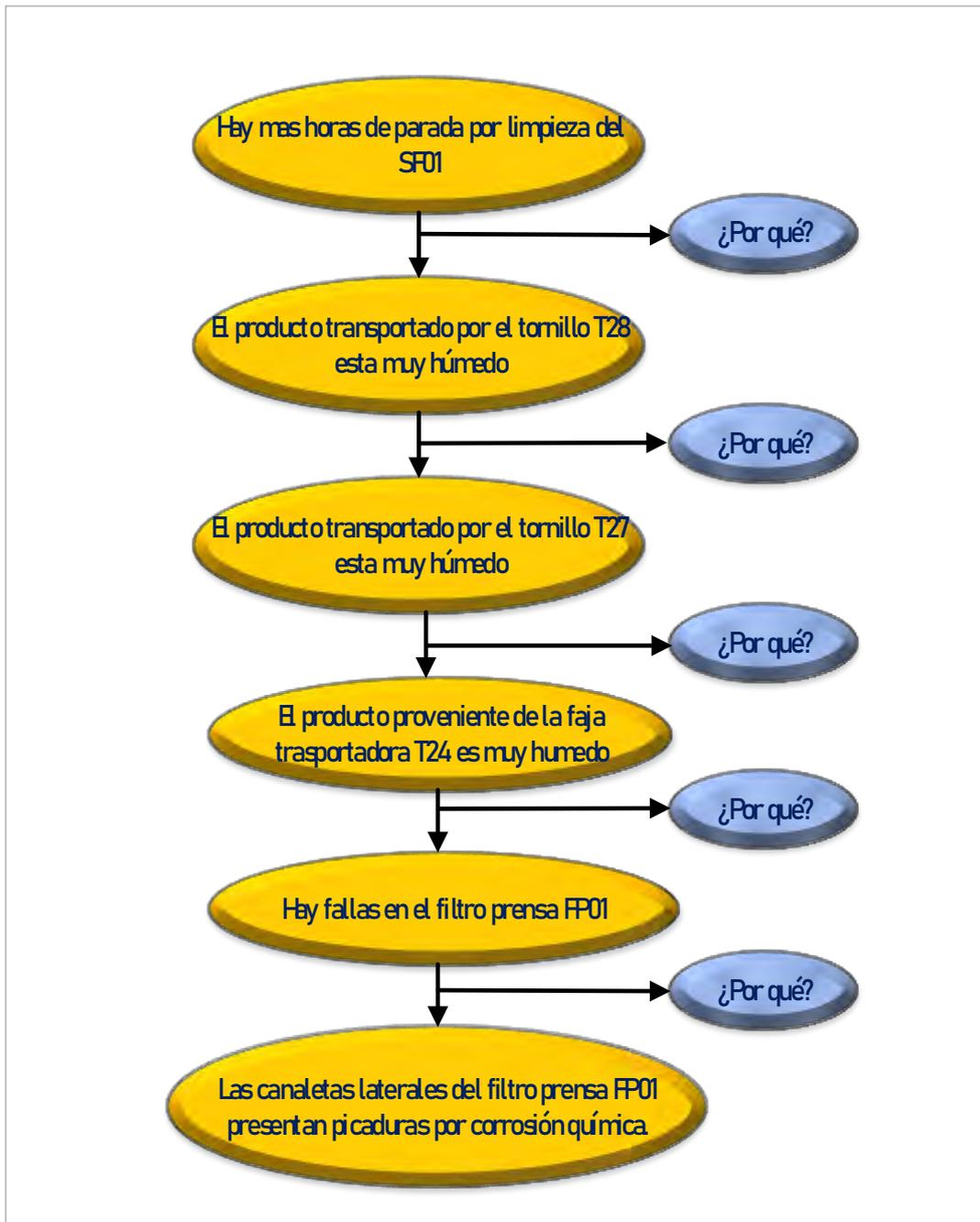


Figura 74 Análisis del por qué – por qué de las paradas por limpieza del secador SF01

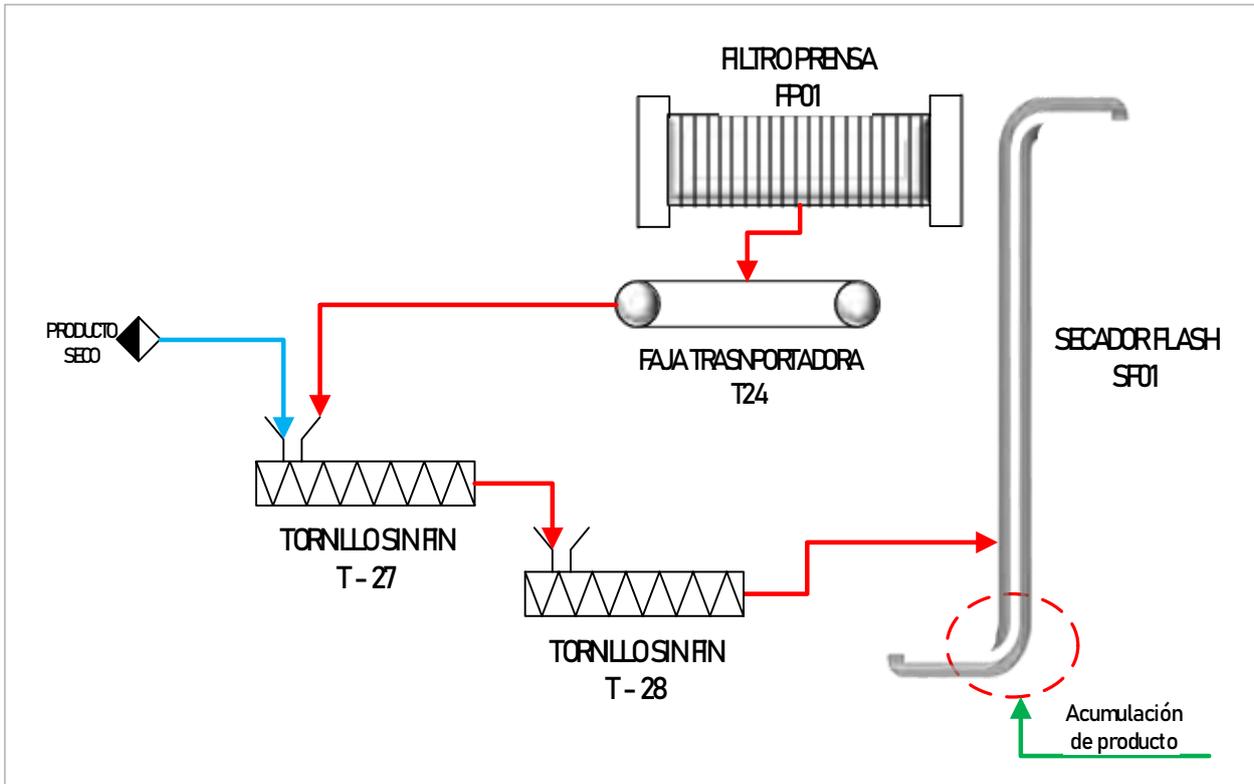


Figura 75 Diagrama de flujo de procesos (PFD) de los equipos críticos de la operación de secado

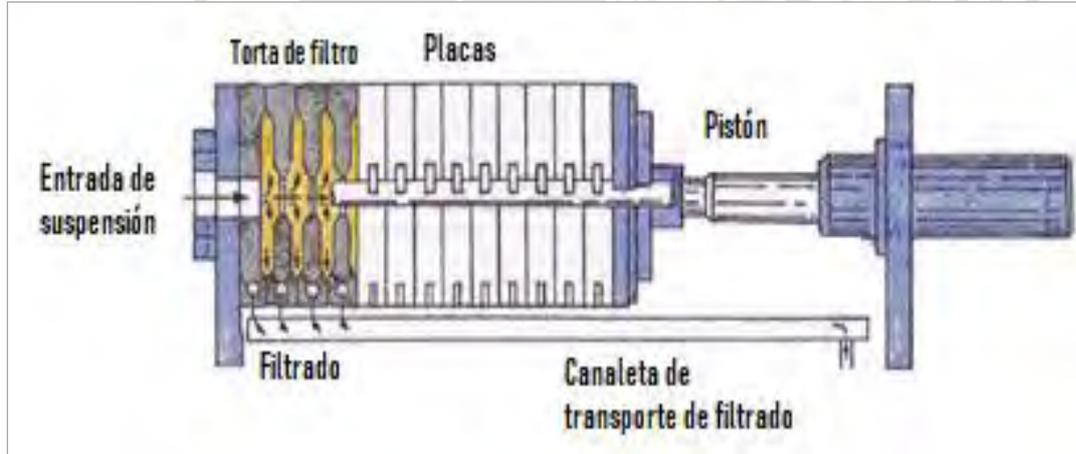


Figura 76 Diagrama de flujo del filtro prensa FP01

Tabla 36 Porcentaje de humedad de la torta del filtro prensa FP01 – abril del 2019

Día	%Humedad	Día	%Humedad
1	25.90	16	25.30
2	26.70	17	25.20
3	24.30	18	24.20
4	22.60	19	24.01
5	23.10	20	23.20
6	22.60	21	22.62
7	23.30	22	22.94
8	27.60	23	23.54
9	28.10	24	24.70
10	25.00	25	27.90
11	24.04	26	28.40
12	23.10	27	29.56
13	22.45	28	23.40
14	22.90	29	23.10
15	22.50	30	22.96

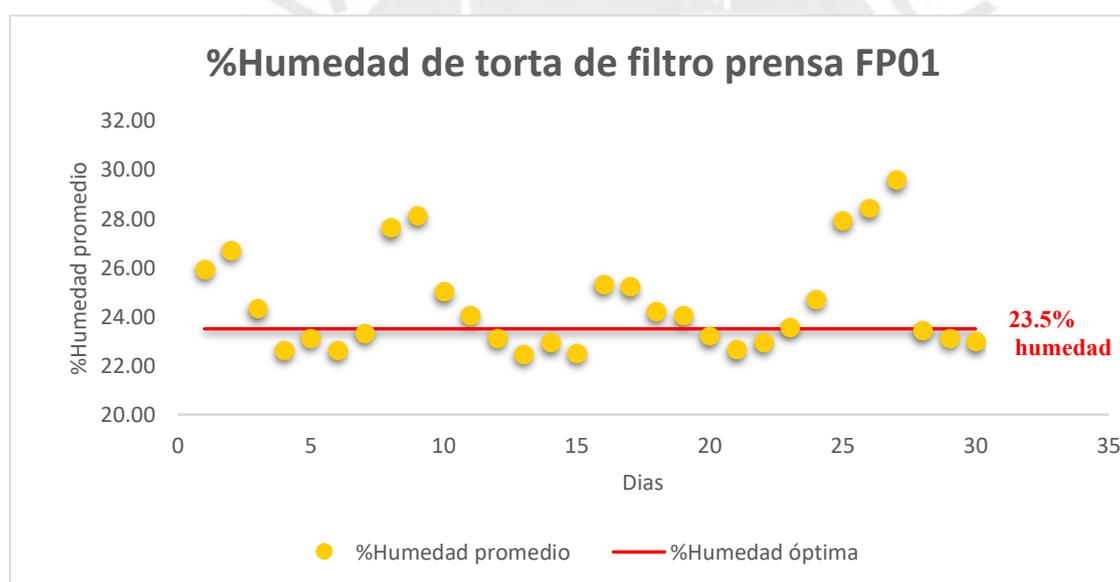


Figura 77 Tendencia del % de humedad de la torta del filtro prensa FP01 – abril del 2019

En la figura 77 se muestra el porcentaje promedio de la humedad de la torta del filtro prensa FP01 antes de ingresar al tornillo T – 27, de donde se observa que más del 50% de las mediciones registradas están por encima del límite máximo de 23.5% humedad, siendo esta la principal causa de las limpiezas constantes en el secador flash SF01 por acumulación de producto húmedo en el fondo del secador.

Se ha identificado que la causa del exceso de humedad en la torta del filtro prensa FP01, son las picaduras que sufren las canaletas de transporte de filtrado, debido al contacto con el ácido clorhídrico al 33% (corrosión química), que se utiliza para el lavado de las lonas de los filtros prensa. Por consiguiente, a pesar que las canaletas son de acero inoxidable, no son resistentes al ácido clorhídrico concentrado.

Tabla 37 Tiempo de reparación de las canaletas del FP01 por corrosión química

Mes	Tiempo de reparación (h)
Enero	1.4
Febrero	1.8
Marzo	0.85
Abril	2.1
Mayo	1.1
Junio	0.6
Julio	1.9
Agosto	1.3
Setiembre	1.1
Octubre	0.7
Noviembre	1.5
Diciembre	1.8

La falla en las canaletas laterales del filtro prensa FP01 por picaduras a causa del ácido clorhídrico al 33% obligan a paradas por mantenimiento correctivos, con la finalidad de hacer reparaciones mediante soldaduras (ver tabla 37). Esta parada del filtro prensa FP01, obligan a paralizar toda la operación de secado, ya que es un equipo crítico y asociado en serie con el secador.

Propuesta

La propuesta de mejora está enfocada en dos etapas: (1) En el cambio de material de las canaletas del filtro prensa FP01. Diseñar y construir canaletas de FRP, garantizarían la seguridad del proceso y la calidad esperada de la torta. Según se mostró en la figura 76, más del 50% de las mediciones de humedad realizadas durante abril del 2019, están por encima del límite máximo, y estos valores están asociadas al deterioro de las canaletas, es decir si se logra usar este nuevo material, se garantiza que el 100% de las mediciones estén por debajo del límite máximo de humedad de la torta que alimenta al tornillo T – 27 y posteriormente al secador flash SF01. El FRP (Polímeros recubiertos con fibra), es altamente resistente a la corrosión. Por lo tanto, a diferencia del acero inoxidable, no se oxidará cuando esté expuesto a condiciones climáticas adversas y productos químicos como el HCl al 33%. También es no conductor y resistente a los impactos. Sin embargo, este tipo de material es altamente costoso. (2) En la automatización de la alimentación del producto húmedo al secador flash 01, según se sustenta en la figura 77. En esta segunda etapa de la propuesta de mejora se busca controlar la humedad y las paradas intempestivas por sobre carga mediante el control de la velocidad rotacional de la válvula rotatoria y el control de la velocidad rotacional de la faja transportadora T-24. Mediante este sistema automatizado, el operador puede detectar fallas a través de la activación de alarmas asociadas con los indicadores de humedad y corriente eléctrica.

Paso 11: Seguridad industrial

La ejecución de los planes de mantenimiento, tanto preventivo y correctivos, están asociados siempre a peligros y riesgos, es por tanto necesario una evaluación exhaustiva de los peligros antes de la ejecución de cada actividad de mantenimiento. En la actualidad, la compañía ya dispone de un sistema de seguridad y salud ocupacional, sin embargo, para el éxito del sistema de mejora del OPE de la planta de fosfato bicálcico, se plantea incluir en los procedimientos actuales los siguientes puntos en el ejercicio de la seguridad durante la ejecución de los mantenimientos respectivos:

- En cada intervención mecánica, eléctrica o instrumental, el técnico debe previamente evaluar un ATS (Análisis de trabajo seguro) y si es necesario un PETAR (Permiso escrito de trabajo de alto riesgo). Si es una subcontrata, estos permisos deben ser elaborados por el prevencionista de riesgo.
- El permiso debe ser evaluado y firmado por el ingeniero de proceso de planta, encargado de hacer seguimiento a la ejecución de las actividades de mantenimiento. En el caso que este trabajo sea ejecutado durante el 2do o 3er turno del día, será evaluado y firmado por el supervisor de planta.
- Los permisos deben ser revisados y firmados por el coordinador SST (seguridad y salud en el trabajo), quien autorizará finalmente la ejecución del trabajo. Si este trabajo se ejecuta durante el 2do o 3er turno, asumirá toda la responsabilidad el supervisor de planta.
- Si hay alguna observación del coordinador SST, el ingeniero de proceso debe coordinar con el supervisor de mantenimiento asignado a la planta FBC el levantamiento inmediato de las observaciones, a fin de no afectar la eficacia de la ejecución del programa de mantenimiento.
- Cualquier incidente o accidente, será informado principalmente al supervisor de planta o al ingeniero de procesos responsable.

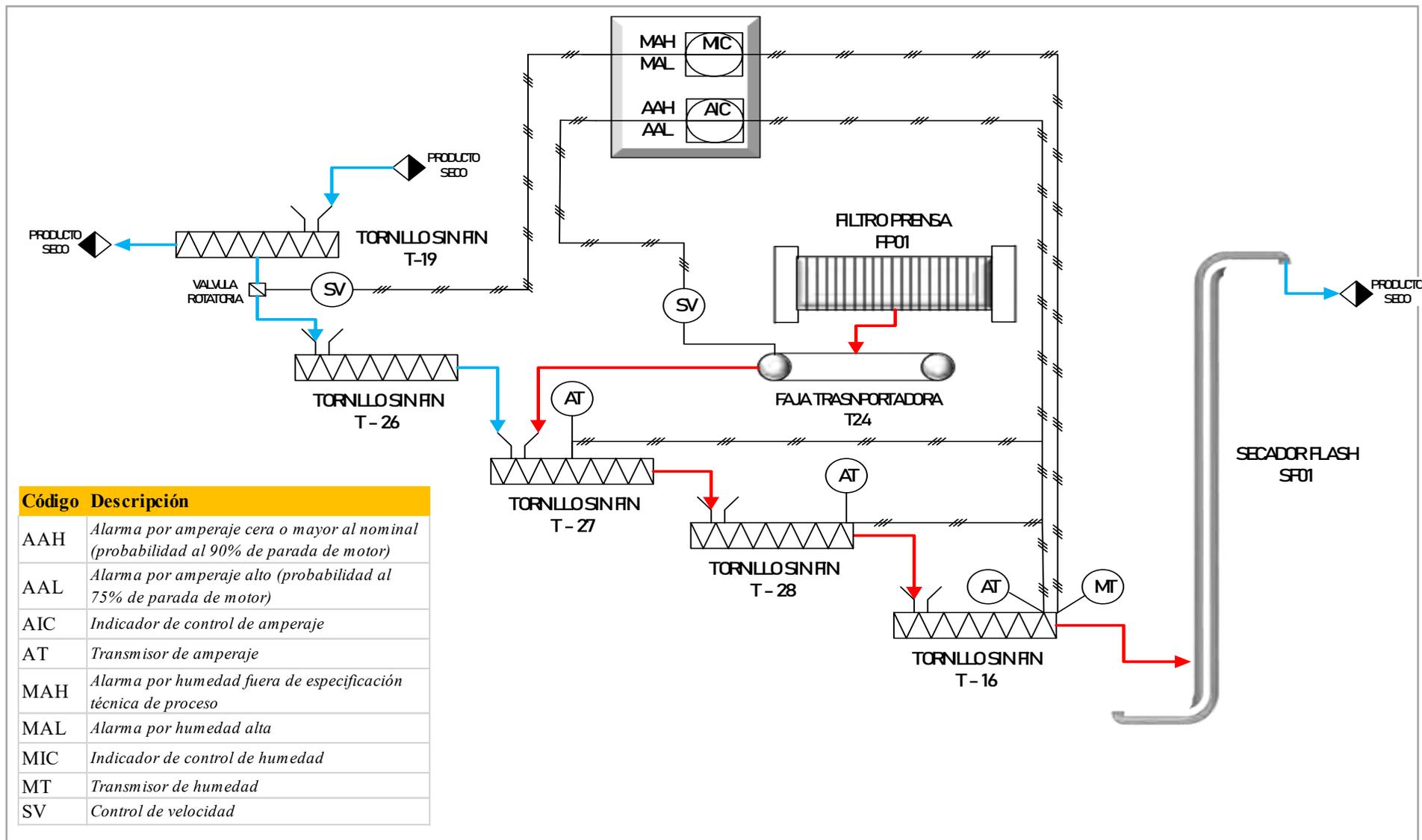


Figura 78 P&ID básico de la mejora enfocada en el sistema de secado 01 de la planta de fosfato bicálcico.

Estas nuevas consideraciones implican la modificación de los formatos y la elaboración de nuevos formatos a fin de establecer los controles adecuados y evitar los accidentes durante la ejecución de los diferentes mantenimientos en el sistema de secado 01 de la planta de fosfato bicálcico.

La gestión de la SST, debe estar visible para toda la planta, por lo que se plantea el tablero de control SST de la planta de fosfato bicálcico según se muestra en la figura 82.

Paso 12: Estandarización

En la estandarización, se establecen los criterios básicos para la ejecución y seguimiento de la mejora del CISOPE, en base a criterios para la elaboración de los procedimientos e indicadores. Para la estandarización de los procedimientos, el ingeniero de procesos deberá, en base a la información recogida de los supervisores de planta de cada turno, considerar los siguientes puntos:

- **Objetivos:** Se deben redactar los objetivos que busca lograr el procedimiento, y debe iniciarse con verbos infinitivos.
- **Alcance:** Debe considerarse los factores de impacto en el procedimiento, tales como: los niveles de recursos variables o las limitaciones de tiempo y regulatorias. Así también los requisitos cambiantes de los interesados y los riesgos externos e internos.
- **Términos y definiciones:** Debe redactarse los términos y definiciones más relevantes y que estén relacionados estrictamente con la descripción del procedimiento.
- **Responsabilidades:** Debe describirse las responsabilidades según el organigrama de la planta.
- **Descripción del procedimiento:** Debe describirse a detalle el procedimiento a seguir durante el inicio, desarrollo y cierre de las actividades relacionadas.
- **Documentos a consultar:** Debe mencionarse todos los documentos relacionados a la ejecución del procedimiento.
- **Registros asociados:** Debe mencionarse todos los registros oficiales que guarden relación con la descripción del procedimiento.
- **Anexos:** opcional, sólo si se requiere adicional información de consulta (tablas de datos técnicos, datos de algún medio de comunicación interna de la planta o empresa, etc.)

Los procedimientos y formatos deberán estar revisados por el jefe de planta y aprobados por el superintendente de planta y a su vez por el gerente de producción de la planta de fosfato bicálcico, donde cada formato deberá contar con un instructivo para su correcto llenado.

La planta de fosfato bicálcico debe establecer y mantener un manual CISOPE, que incluya:

- Los objetivos y el alcance de la implementación, incluyendo los detalles y la justificación de cada uno de ellos.
- Todos los formatos de los documentos utilizados en la ejecución del CISOPE, así como el detalle de la implementación, seguimiento y mejora del CISOPE.
- Una descripción de las operaciones de la planta de fosfato bicálcico, así como las funciones y responsabilidades del personal técnico y gestor involucrados en la implementación.

La documentación aprobada, será difundida y entregada en capacitaciones programadas, a cada operador involucrado, previa coordinación con el supervisor de planta. Cada documento deberá contar con un código y versión. Todo el equipo involucrado en la implementación del CISOPE, deberán evaluar los indicadores de medición para el diagnóstico y mejora del CISOPE según lo establecido en los procedimientos.

En la figura 79 se muestra las tarjetas CISOPE de mantenimiento predictivo, que serán de uso estricto de los operadores, cuya finalidad es únicamente identificar fallas.

CISOPE - FBC

Mantenimiento Predictivo

REPORTE CISOPE

(Operario)

LUGAR DE ANORMALIDAD

Equipo/Modelo: _____

Fecha: _____

Supervisor de planta: _____

Encontrado por: _____

Descripción de la falla:

Entregar esta tarjeta al supervisor de planta FBC

Figura 79 Tarjeta CISOPE

En la figura 80 se muestra el tablero de control Andón, baso en el P&ID básico propuesto en el desarrollo de las mejoras enfocadas del sistema de secado 01 de la planta de fosfato bicálcico (paso 10 del CISOPE).

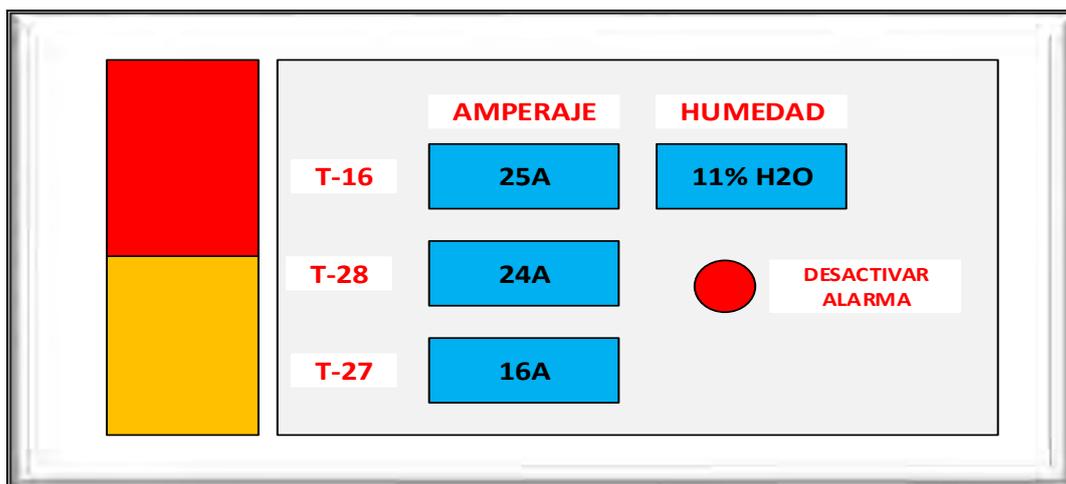


Figura 80 Tablero de control Andón

La operación del tablero de control Andón, se basa según la tabla 38, en función al amperaje y % H₂O de los tonillos sin fin respectivos.

Tabla 38 Especificaciones de operación del tablero de control Andón

Tornillos	Alarma		
	Amarillo		Rojo
T-16	17 - 20 A	11% - 15% H ₂ O	> 20A >15% H ₂ O
T-28	21 - 25A		>25A
T-27	21 - 25A		>25A

Para fines del seguimiento del OPE (eficacia global de planta) de la planta de fosfato bicálcico, se establece dos tableros de control cuya finalidad es monitorizar, analizar y mostrar de forma visual los indicadores de gestión de planta permitiendo hacer seguimiento del estado de la planta, siendo estos; el cuadro de mando de control del OPE (Dashboard) y el tablero de control SST (gestionado en campo y en una zona visible), según se muestra en la figura 81 y 82, donde se muestra los principales indicadores de gestión de planta y las actividades de mantenimiento diarias más relevantes. Estos tableros de control se deben instalar en una parte visible para todos los integrantes de la planta (operadores, terceros, etc.). En la tabla 39, se muestra los indicadores de gestión de planta, más importantes que permitirá medir la eficacia del CISOPE.

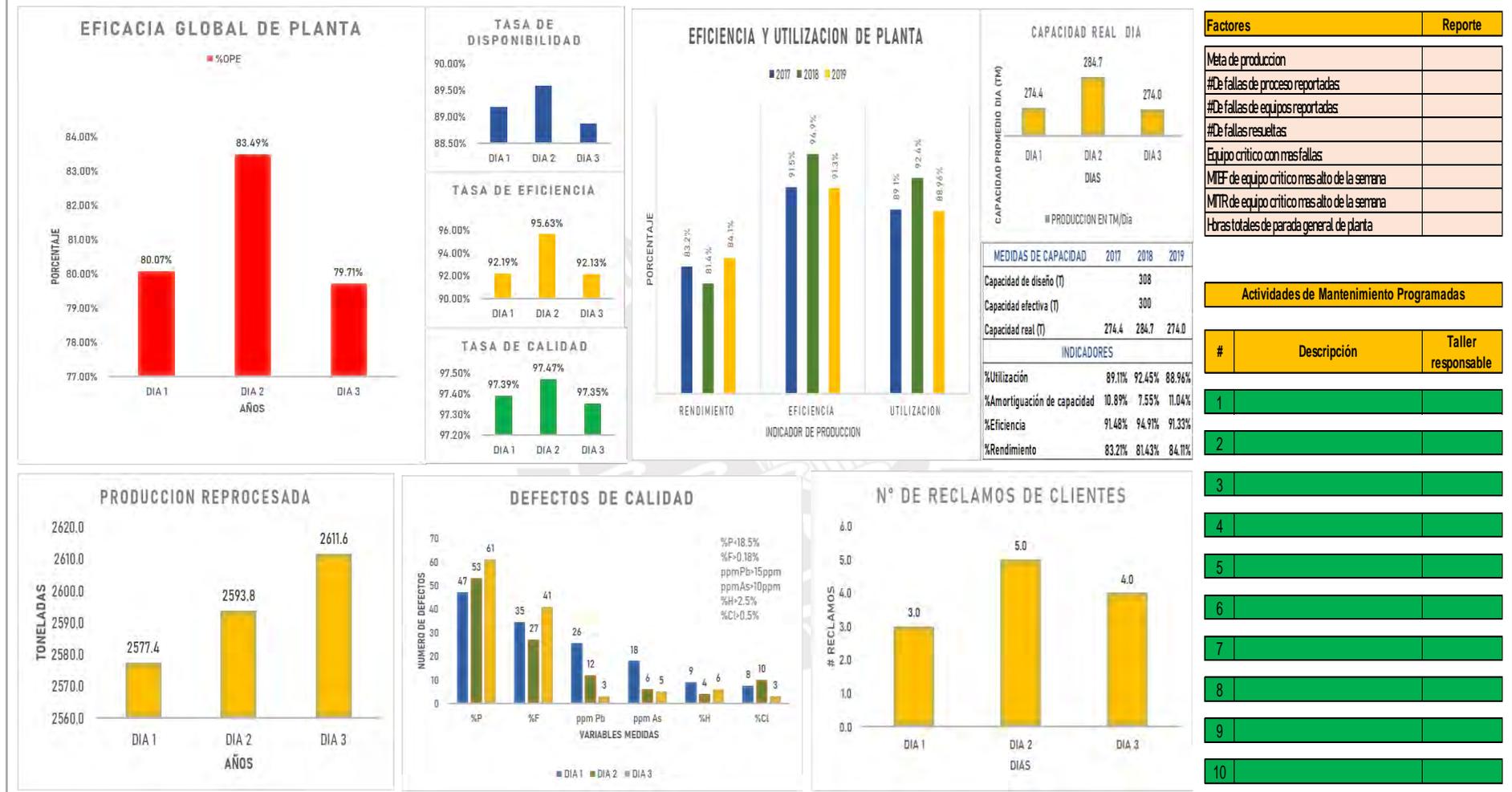


Figura 81 Tablero de control OPE de uso virtual de la planta de fosfato bicálcico

Fecha: / /

Coordinador SST de turno:

Último accidente:

Acto inseguro de la semana:

TRIANGULO DE ACCIDENTABILIDAD PLANTA - FBC

# DE ACCIDENTES:	# CONDICIONES INSEGURAS:
# DIAS SEGUROS:	# ACTOS INSEGUROS:

Factores de Riesgo

Cuestiones de evaluación	Si	No	Ptos
Ha ocurrido algún evento de seguridad dentro de las últimas 24 h?			
El personal del área esta incompleta para operar el día de hoy?			
Se realizaran trabajos de alto riesgo?			
.....?			
.....?			

De 0 a 2 Bap De 3 a 6 Medio De 7 a mas Ato

Condición de día

Plan de acción	Resp.	Fecha	Status

ACTO Y CONDICIONES INSEGURAS	CHARLA DE 5 min	PERC	TELEFONO DE PLANTA	COMUNICADOR	POLITICA SST

Figura 82 Tablero de control SST de uso en campo de la planta de fosfato bicálcico.

Para garantizar la eficacia, continuidad y mejora del CISOPE, es necesario establecer auditorías semestrales o anuales, las cual deben contemplar los siguientes lineamientos:

Objetivo:

- Establecer un *benchmark* en el avance de la implementación del CISOPE sin dejar de considerar lo establecido en la figura 67.
- Evaluar la efectividad de los indicadores establecidos en la figura 67.
- Establecer fortalezas y debilidades de la implementación del CISOPE.
- Hacer recomendaciones para continuar en forma efectiva la implementación, continuidad y mejora del CISOPE.
- Identificar desviaciones en el curso de la implementación, continuidad o mejora del CISOPE, a fin de establecer las acciones correctivas y recuperar el curso.

Metodología:

La metodología de la auditoría CISOPE, se basa en la figura 83, en la cual se establece:

- Reunión de apertura de la auditoría CISOPE, en donde participen todas las áreas involucradas en la implementación del CISOPE.
- Realizar encuestas a varios niveles de; mantenimiento, producción, logística y ventas.
- Analizar los indicadores establecidos en la implementación del CISOPE y mostrados en la tabla 39.
- Reporte con resultados, evaluación y recomendaciones para la mejora del CISOPE
- Reunión de cierre de la auditoría CISOPE.

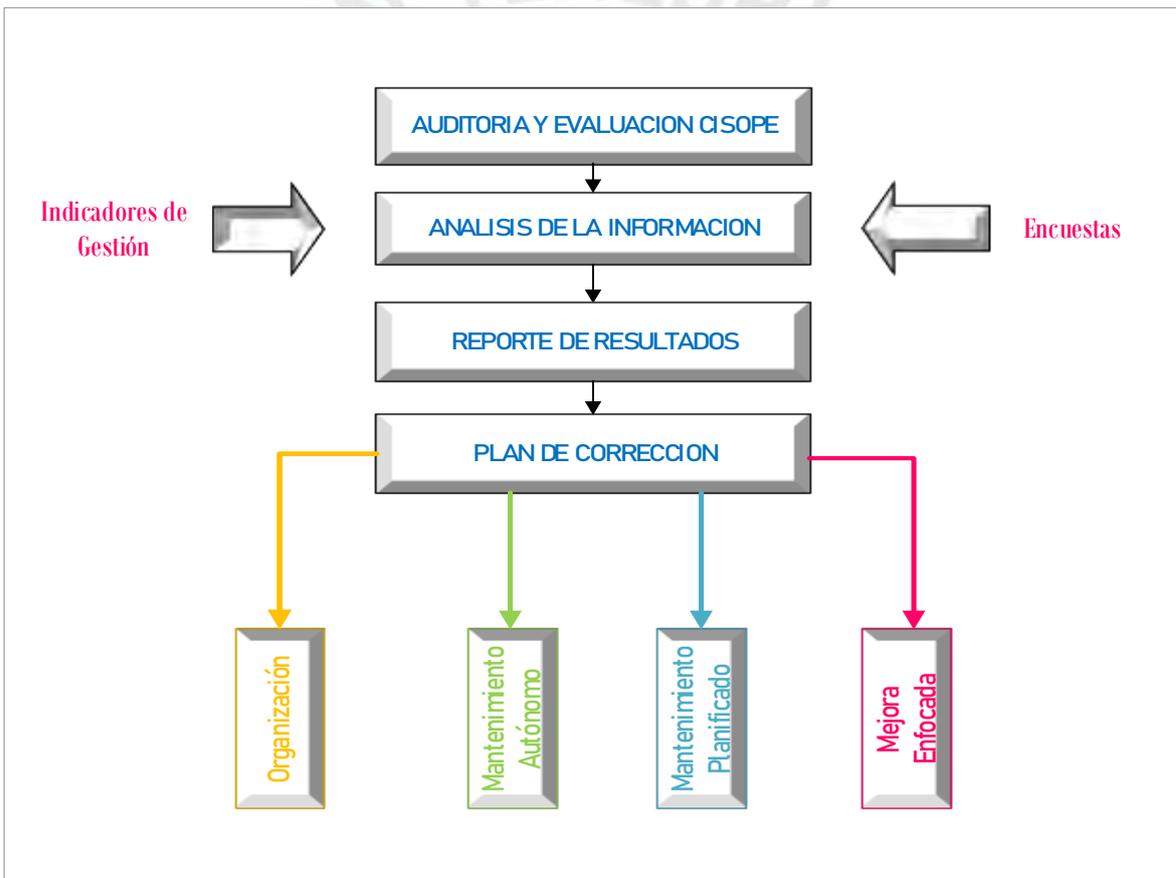


Figura 83 Metodología de la auditoría CISOPE

Tabla 39 Indicadores de gestión de la implementación del CISOPE en la operación de secado de la planta FBC

INDICADORES				META	PRIORIDAD DE MEDICIÓN		SEMÁFORO CONTROL			FRECUENCIA DE VERIFICACIÓN	RESPONSABLES DE DATOS	RESPONSABLES DE LA MEDICIÓN E INFORMACIÓN
Nombre del indicador	Formula o criterio de medición	Unidad de medida	Valor de la medición (línea de base)	31/12/2022	31/12/2021	31/12/2022	Rojo	Amarillo	Verde			
Tasa de producto recuperado	$\frac{Pr}{Pl} \cdot 100\%$	TM/TM	90%	94%	90%	96%	<90%	>=90%<94%	>=94%	Registro de producción	Supervisor de planta	Ingeniero de procesos
Tasa de inservible	$\frac{Pi}{Pl} \cdot 100\%$	TM/TM	10%	6%	10%	6%	>10%	<=10%>6%	<=6%	Registro de producción	Supervisor de planta	Ingeniero de procesos
Tasa de disponibilidad de planta	$\frac{TO}{TC} \cdot 100\%$	H/H	88%	92%	91%	92%	<88%	>=88%<92%	>=92%	Registro de producción	Supervisor de planta	Ingeniero de procesos
Tasa de eficiencia de planta	$\frac{PR}{PE} \cdot 100\%$	TM/TM	92%	94%	93%	94%	<92%	>=92%<94%	>=94%	Registro de producción	Supervisor de planta	Ingeniero de procesos
Tasa de calidad de planta	$\frac{PV}{PR} \cdot 100\%$	TM/TM	97%	98%	97.5%	98%	<97%	>=97%<98%	>=98%	Registro de producción	Supervisor de planta	Ingeniero de procesos
Tasa de costos globales de mantenimiento	$\frac{CM + PP}{CP} \cdot 100\%$	\$/ \$	17%	15%	16%	15%	>17%	<=17%>15%	<=15%	Registro de producción	Supervisor de planta	Ingeniero de procesos
Eficacia global de planta	%D.%E.%C	%	78%	84%	82%	84%	<78%	>=78%<84%	>=84%	Registro de producción	Supervisor de planta	Ingeniero de procesos

Pr: Producto recuperado; **Pd:** Producto inservible; **Pl:** Producto obtenido de la limpieza de equipos; **TO:** Tiempo de operación; **TC:** Tiempo de calendario; **PR:** Producción real; **PE:** Producción efectiva; **PV:** Producción vendible; **CM:** Costos de mantenimiento; **PP:** Perdidas por paradas; **CP:** costos de producción.

4.3.3.3 Fase 03: Consolidación

Para el efecto de la evaluación de la implementación del CISOPE se tomará como base los indicadores del 2019, y se compararán con los indicadores esperados a partir del 2021, año en el que se inicia la implementación del CISOPE.

Durante el año 2019, el sistema de secado 01 en relación a los equipos críticos estudiados, tuvo una pérdida anual de 515.1 horas que equivale a 3219.38 TM, produciendo un total de 35318.14 TM. Durante ese año se produjo una pérdida de 728.6 TM provenientes de la limpieza de los equipos críticos estudiados, representando 1.35% de la capacidad efectiva del sistema de secado 01 (54000TM). De esta pérdida de producto de la limpieza de los equipos, en base a la aplicación del paso 7 del CISOPE (organización), se puede lograr recuperar a partir del 2021, el 89.64%, reduciéndose la pérdida respecto a la producción efectiva del sistema de secado 01 a 0.14%. Después de la aplicación de las mejoras enfocadas, se puede lograr en el secador flash 01 (SF01) la tasa de diseño de acumulación de producto de 50kg/día, esto implica que la cantidad de producto proveniente de la limpieza de los equipos críticos se reduciría a partir del 2022 a 68.15TM por año, y después de la aplicación del CISOPE, en base a las mismas características fisicoquímicas analizadas en el paso 7 (organización), esto equivaldría a una pérdida de 0.005%.

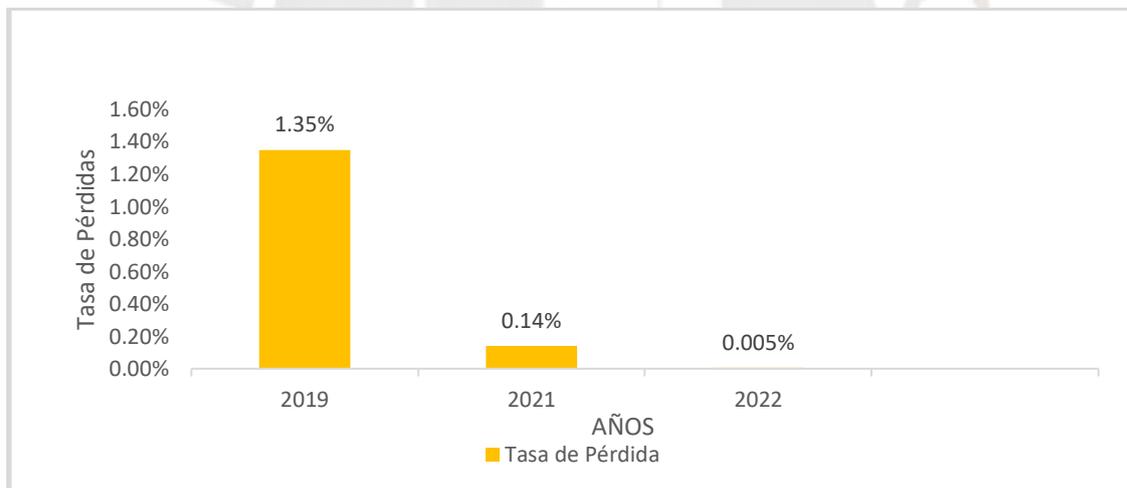


Figura 84 Tasa de pérdida de producto por efecto de limpieza de los equipos críticos en el sistema de secado 01

La producción real anual durante el año 2019 de la planta de fosfato bicálcico fue de 98640 TM que equivale a una tasa de eficiencia de planta de 92.13%. A partir de la implementación del CISOPE, en el 2021 se proyecta un incremento de la tasa de eficiencia de planta del 1.78% y para el 2022 un incremento de la tasa de eficiencia de 2.62% con respecto a la tasa del 2019.

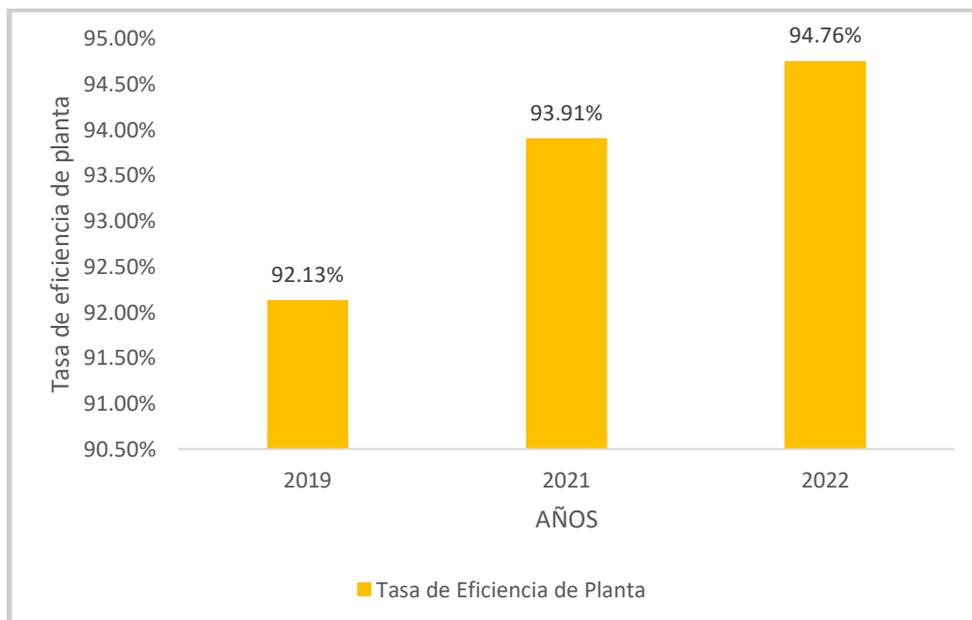


Figura 85 Tasa de eficiencia de la planta de fosfato bicálcico

La tasa anual de disponibilidad de la planta de fosfato bicálcico durante el 2019 fue de 88.87%. A partir de la implementación del CISOPE, en el 2021 se proyecta reducir las horas perdidas en 333.03 h hasta el 2022, mediante el mantenimiento planificado y las mejoras enfocadas del sistema de secado 01, que se repercuten en la reducción de los tiempos por mantenimientos correctivos no programados, paradas intempestivas y tiempos perdidos por limpieza de acumulación de producto en los equipos críticos. Esto implica reducir los tiempos de parada a los mantenimientos preventivos recomendados por los proveedores, el cual se muestra en la tabla 40, por tanto, la disponibilidad de planta proyectada para el 2022 será de 92.73%.

Tabla 40 Actividades y tiempos estimados por años de los mantenimientos preventivos de los equipos críticos del sistema de secado 01

Equipo	Mantenimiento preventivo	Tiempo de parada anual (h)
SF01	Cambio de lana aislante, reforzamiento de cuerpo de secador	14
T-28	Cambio de fajas de transmisión, bocinas, hanger, hélice y eje, Mantenimiento de reductor y motor	13
T-27	Cambio de fajas de transmisión, bocinas, hanger, hélice y eje, Mantenimiento de reductor y motor	13
T-16	Cambio de fajas de transmisión, bocinas, hanger, hélice y eje, Mantenimiento de reductor y motor	10
C15	Balaceo dinámico, Cambio de rodé, chumaceras y fajas de trasmisión. Mantenimiento de motor	14
T-30	Cambio de fajas de transmisión, bocinas, hanger, hélice y eje, Mantenimiento de reductor y motor	7
T-19	Cambio de fajas de transmisión, bocinas, hanger, hélice y eje, Mantenimiento de reductor y motor	11

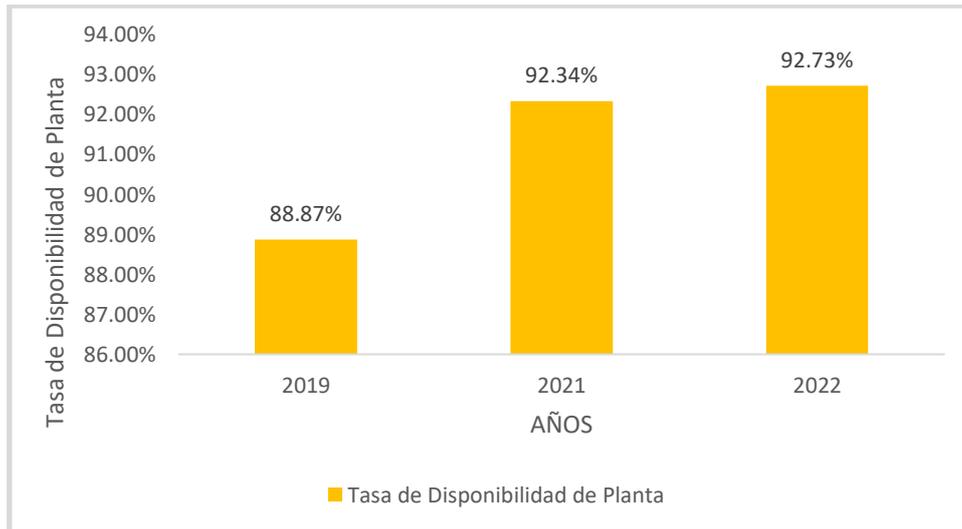


Figura 86 Tasa de disponibilidad de la planta de fosfato bicálcico

Durante el 2019, la tasa de costos globales de mantenimiento fue de 6.56%, después de la implementación del CISOPE, se espera lograr hacia fines del 2022, una tasa de 5.56%.

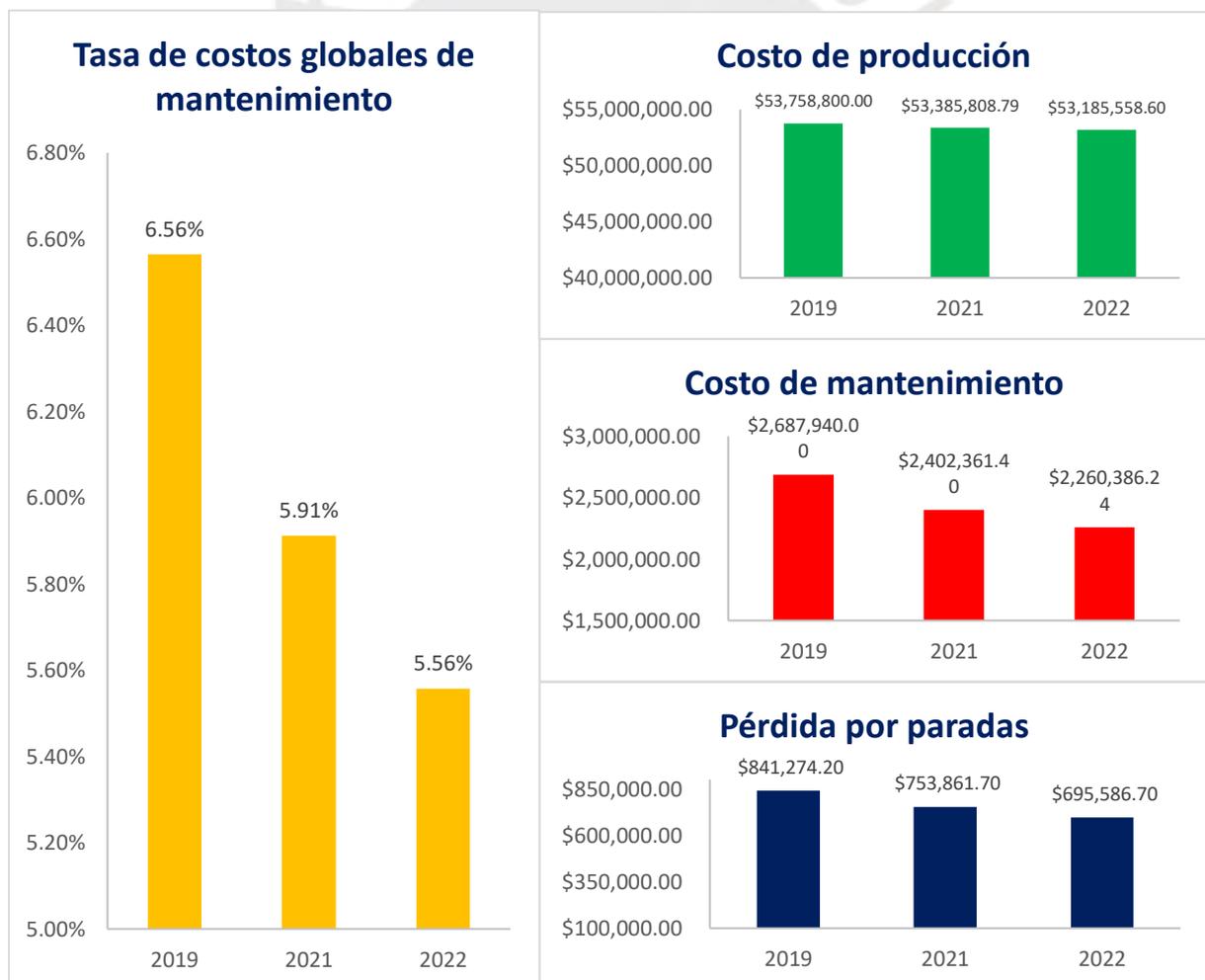


Figura 87 Tasa de costos globales de mantenimiento de la planta de fosfato bicálcico.

La implementación del CISOPE busca finalmente el aumento del OPE (eficacia global de planta) de la planta de fosfato bicálcico. Debido a que el estudio de investigación se enfocó en resolver el problema de las fallas de equipos en la operación de secado, según lo sustentado en el capítulo 3, los resultados no tienen influencia medible sobre la tasa de calidad, por tanto, se considera invariable durante y después de la implementación del CISOPE. Durante el 2019, el OPE de la planta de fosfato bicálcico fue de 79.71%, y para el 2022 se espera lograr un OPE del 85.54%

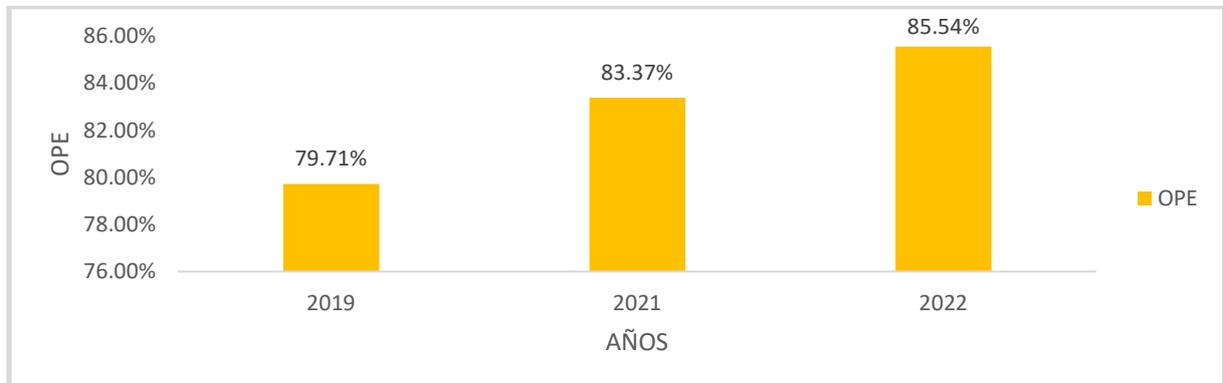


Figura 88 Eficacia global de la planta de fosfato bicálcico antes y después de la implementación del CISOPE.

En la figura 89 se muestra la integración de las herramientas del CISOPE en el sistema de secado 01 en relación a sus equipos críticos, en donde la entrada del sistema está sustentada en el AMEF y la salida en la estandarización. El proceso de implementación siempre estará acompañado por el desarrollo del talento humano y la seguridad industrial a fin de garantizar el éxito del sistema.

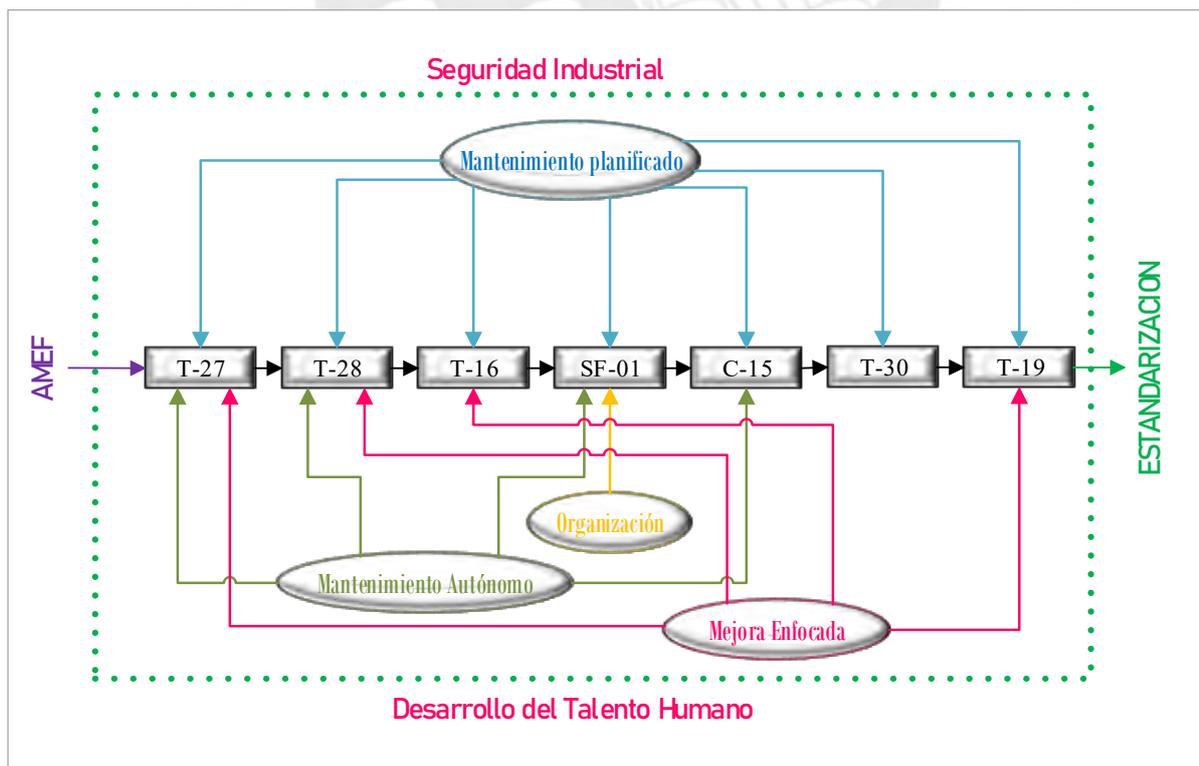


Figura 89 Integración de las herramientas del CISOPE en el sistema de secado 01

Capítulo 5: Evaluación económica financiera

El proyecto de mejora, se evalúa para un tiempo de tres años, según se detalla a continuación, evaluando inicialmente la viabilidad económica financiera y posteriormente el riesgo de la propuesta de mejora.

5.1 Evaluación Económica y Financiera

5.1.1 Ingresos

En base a los costos de producción de la planta de fosfato bicálcico, por cada hora que deja de producir la planta, pierde \$ 875 (ver anexo D). Según lo establecido en el capítulo 3 (punto 3.2.1), la planta paró 961 horas (2019), por diferentes motivos (por fallas de los equipos y por fallas de proceso principalmente) de las cuales 515.1 horas (según lo analizado en el capítulo 4, punto 4.1.1.), corresponden al sistema de secado 01. Mediante la aplicación del CISOPE, se puede reducir las horas perdidas en 64.65%, influyendo directamente en los costos por pérdidas por paradas y puesto que el MTTR de los equipos críticos son muy bajos (según lo analizado en la etapa 6 del Paso 10 del CISOPE), la reducción del costo de mantenimiento está relacionado básicamente al costo por mantenimiento correctivo asociado a la frecuencia de las fallas.

Tabla 41 Ingresos por la implementación del CISOPE

Costos	Actual	CISOPE
Costo de mantenimiento	\$ 2'687,940.00	\$ 2'260,386.24
Pérdida por paradas	\$ 841,274.20	\$ 695,586.70
Costo total anual	\$ 3'529,214.20	\$ 2'955,972.94
Ahorro	\$ 573,241.26	

5.1.2 Egresos

Los egresos para requeridos para la implementación del CISOPE están asociados esencialmente a las capacitaciones, aumento de la mano de obra calificada y al equipamiento y demás recursos para ejecutar el mantenimiento planificado y las mejoras enfocadas en el sistema de secado 01

Tabla 42 Egresos por la implementación del CISOPE

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
Inversión	-\$453,868.84	-\$1,386.11	-\$1,386.11	-\$3,413.89
Capacitaciones	-\$11,829.95			
5 S (externa)	-\$4,770.00			
AMEF (Externa)	-\$2,479.17			
Equipos de proceso (Interna)	-\$153.65			
Equipos de control (Interna)	-\$131.94			
TPM (Externa)	-\$4,080.78			
Seguridad industrial (Interna)	-\$214.41			
Organización	-\$2,736.11	-\$1,236.11	-\$1,236.11	-\$1,236.11
Armario con puerta y llave para herramientas, útiles diversos	-\$777.78			
Insumos de Limpieza	-\$972.22	-\$972.22	-\$972.22	-\$972.22
Etiquetadora	-\$722.22			
Papeles y avisos	-\$263.89	-\$263.89	-\$263.89	-\$263.89
Mantenimiento autónomo	-\$2,277.78	-\$150.00	-\$150.00	-\$2,177.78
Tarjetas de mantenimiento autónomo	-\$150.00	-\$150.00	-\$150.00	-\$150.00
Herramientas	-\$1,527.78			-\$1,527.78
Impresión de manuales de operación	-\$100.00			
Accesorios de lubricación	-\$500.00			-\$500.00
Mantenimiento Planificado	-\$310,000.00			
Mano de obra para Mantenimiento programado (Preventivo, predictivo y correctivo)	-\$60,000.00			
Herramientas y Equipos	-\$250,000.00			
Mejoras enfocadas	-\$127,025.00			
Costo FRP	-\$9,025.00			
Sensor de humedad	-\$16,000.00			
Sensor de amperaje	-\$38,000.00			
PLC	-\$50,000.00			
Sistema Andón	-\$14,000.00			
Costos operativos	-\$36,944.44	-\$97,927.50	-\$97,927.50	-\$97,927.50
Instalación (sistema de mejora enfocada)	-\$36,944.44			
Mantenimiento del sistema de mejora enfocada		-\$12,702.50	-\$12,702.50	-\$12,702.50
Mantenimiento Sistema de mejora enfocada (Mano de obra)		-\$60,000.00	-\$60,000.00	-\$60,000.00
Mantenimiento de herramientas y equipos		-\$25,225.00	-\$25,225.00	-\$25,225.00
Gastos administrativos	-\$100.00	-\$100.00	-\$100.00	-\$100.00
Material de escritorio	-\$100.00	-\$100.00	-\$100.00	-\$100.00
Total	-\$490,913.28	-\$99,413.61	-\$99,413.61	-\$101,441.39

5.1.3 Financiamiento

Puesto que el monto de inversión superar los \$250,000, por política de la empresa, el monto de la inversión será financiado, en un 70% por entidades financieras, a una tasa del 12%.

Tabla 43 Estructura de inversión

Denominación	Préstamo (\$)	Accionistas (\$)	Total (\$)
Inversión Total	\$ -343,639.30	\$ -147,273.98	\$ -490,913.28
%	70%	30%	100%

5.1.4 Estructura de pagos

La inversión financiada, será amortizada en los tres años del tiempo del proyecto de mejora, a una tasa del 12% anual y una cuota de \$143074.

Tabla 44 Estructura de pagos

Años	Saldo inicial	Amortización	Intereses	Cuota	Saldo final
1	\$343,639.30	\$101,837.16	\$41,236.72	\$143,073.87	\$241,802.14
2	\$241,802.14	\$114,057.61	\$29,016.26	\$143,073.87	\$127,744.53
3	\$127,744.53	\$127,744.53	\$15,329.34	\$143,073.87	\$0.00

5.1.5 Costo ponderado

El COK manejado por la compañía es de 15%. Se calcula a continuación el WACC en base a la tasa del monto financiado 12%.

Tabla 45 Costo ponderado del capital

	Monto	Pond (%)	Costo	Costo (d.i.)
Deuda	\$343,639.30	70%	12.0%	8.4%
Capital propio	\$147,273.98	30%	15.0%	4.5%
TOTAL	\$490,913.28		= WACC = CPC	12.90%

5.1.6 Flujo financiero neto

En la tabla 46 se muestra el flujo de caja financiero, en base a las amortizaciones e intereses anuales

Tabla 46 Flujo de caja financiero neto

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
Principal	\$343,639.30			
Amortización		-\$101,837.16	-\$114,057.61	-\$127,744.53
Intereses		-\$41,236.72	-\$29,016.26	-\$15,329.34
Financiam. Neto	\$343,639.30	-\$143,073.87	-\$143,073.87	-\$143,073.87

5.1.7 Flujo de caja económico financiero

En la tabla 47 se muestra el flujo económico financiero en base a los ingresos y egresos de la implementación del CISOPE.

Tabla 47 Flujo de caja económico financiero neto

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
Ingresos		\$573,241.26	\$573,241.26	\$573,241.26
Egresos	-\$490,913.28	-\$99,413.61	-\$99,413.61	-\$101,441.39
FCE	-\$490,913.28	\$473,827.65	\$473,827.65	\$471,799.87
Financiamiento Neto	\$343,639.30	-\$143,073.87	-\$143,073.87	-\$143,073.87
FCF	-\$147,273.98	\$330,753.78	\$330,753.78	\$328,726.00

5.1.8 Indicadores económico financieros

De acuerdo a los resultados hallados mostrados en la tabla 48, el Valor Neto Actual Económico es mayor a cero (\$589,608.61>0), el TIR es mayor a la tasa de descuento (79.88%>15%). El ROI indica que, por cada dólar invertido en el proyecto de mejora, se logrará una ganancia de \$ 2.50, mientras que el indicador B/C, indica que por cada dólar que cuesta implementar el proyecto, se estaría ganando \$ 1.20, por tanto, según el PR, se lograría recuperar la inversión en 15 meses. Finalmente, se puede demostrar que el proyecto es económicamente rentable.

Tabla 48 Indicadores económico financieros

Indicadores Económicos	Valores
COK	15.00%
VPNE	\$589,608.61
TIRE	79.88%
PR	15 meses
ROI	2.50
B/C	1.20
Indicadores Financieros	
WACC	12.90%
VPNF	\$633,605.04
TIRF	217.47%

5.2 Evaluación del riesgo

En la evaluación del riesgo financiero, en primer lugar, se tomará como base el análisis de sensibilidad según el VAN económico, relacionado con el incremento gradual de la inversión versus la reducción gradual de los ingresos. En segundo lugar, la evaluación de escenarios será en base al incremento del OPE (eficacia global de planta). En este caso, el enfoque será en la evaluación de los indicadores económicos de dos escenarios, un escenario pesimista y un escenario optimista.

5.2.1 Análisis de sensibilidad

Tabla 49 Análisis de sensibilidad inversión versus ingresos

VANE	Ingresos										
	\$589,608.61	-10%	-20%	-30%	-40%	-50%	-60%	-70%	-80%	-90%	-100%
Inversión	10%	\$409,633.40	\$278,749.51	\$147,865.63	\$16,981.75	-\$113,902.14	-\$244,786.02	-\$375,669.91	-\$506,553.79	-\$637,437.67	-\$768,321.56
	20%	\$360,542.07	\$229,658.19	\$98,774.30	-\$32,109.58	-\$162,993.47	-\$293,877.35	-\$424,761.23	-\$555,645.12	-\$686,529.00	-\$817,412.89
	30%	\$311,450.74	\$180,566.86	\$49,682.97	-\$81,200.91	-\$212,084.79	-\$342,968.68	-\$473,852.56	-\$604,736.45	-\$735,620.33	-\$866,504.21
	40%	\$262,359.41	\$131,475.53	\$591.65	-\$130,292.24	-\$261,176.12	-\$392,060.01	-\$522,943.89	-\$653,827.77	-\$784,711.66	-\$915,595.54
	50%	\$213,268.09	\$82,384.20	-\$48,499.68	-\$179,383.57	-\$310,267.45	-\$441,151.33	-\$572,035.22	-\$702,919.10	-\$833,802.99	-\$964,686.87
	60%	\$164,176.76	\$33,292.87	-\$97,591.01	-\$228,474.89	-\$359,358.78	-\$490,242.66	-\$621,126.55	-\$752,010.43	-\$882,894.31	-\$1,013,778.20
	70%	\$115,085.43	-\$15,798.45	-\$146,682.34	-\$277,566.22	-\$408,450.11	-\$539,333.99	-\$670,217.87	-\$801,101.76	-\$931,985.64	-\$1,062,869.53
	80%	\$65,994.10	-\$64,889.78	-\$195,773.67	-\$326,657.55	-\$457,541.43	-\$588,425.32	-\$719,309.20	-\$850,193.09	-\$981,076.97	-\$1,111,960.85
	90%	\$16,902.77	-\$113,981.11	-\$244,864.99	-\$375,748.88	-\$506,632.76	-\$637,516.65	-\$768,400.53	-\$899,284.41	-\$1,030,168.30	-\$1,161,052.18
	100%	-\$32,188.55	-\$163,072.44	-\$293,956.32	-\$424,840.21	-\$555,724.09	-\$686,607.97	-\$817,491.86	-\$948,375.74	-\$1,079,259.63	-\$1,210,143.51

En el análisis de sensibilidad *Inversión versus ingresos*, el proyecto dejará de ser rentable sólo si, los ingresos se reducen más de 40% o la inversión aumenta más de un 90% respecto a la inversión (\$490,913.28) e ingresos (\$573,241.26), objetivos del proyecto de mejora. Por consiguiente, la implementación del CISOPE, es financieramente confiable incluso en escenarios extremos.

A continuación, se sustentan dos escenarios probables, en base al análisis de sensibilidad mostrado en la tabla 49.

5.2.2 Análisis de escenarios del éxito operativo propuesto

Un escenario pesimista después de la implementación del CISOPE, se sustenta en resultados sin beneficio de la implementación del mantenimiento autónomo, mantenimiento planificado, las mejoras enfocadas, sin embargo, aún en el escenario pesimista, y en base a los análisis fisicoquímicos del producto obtenido de las limpiezas de los equipos críticos, mostrados en el paso 7 de la implementación del CISOPE y considerando que la planta ya cuenta con los recursos necesarios para la recuperación del producto, se lograría recuperar 726.03 TM de producto, que implicaría un incremento del OPE respecto al 2019 en 0.9%, que equivaldría al 18% del beneficio esperado. Considerando la efectividad de los pasos de la implementados del CISOPE, un escenario optimista, se sustenta en incrementar el OPE en 3.65% con respecto al 2019, logrando el 60% del beneficio esperado con un incremento de la inversión en 10%, según se estimó en el análisis de sensibilidad (ver tabla 49).

Tabla 50 Análisis de escenarios

	CISOPE	Pesimista	Optimista
Variabes			
OPE	85.50%	80.60%	83.40%
Beneficio	\$573,241.26	\$102,360.78	\$343,944.76
Inversión	-\$490,913.28	-\$981,826.56	-\$540,004.61
indicadores económicos			
VPNE	\$589,608.61	-\$976,265.10	\$36,943.45
TIRE	79.88%	-89.09%	16.89%
PR	15 meses	***	72 meses
ROI	8.81	-0.69	0.91
B/C	6.25	-0.99	0.07

*** No hay retorno de la inversión

De la tabla 50 se puede concluir que, en un escenario pesimista, si se duplica la inversión y sólo el OPE actual de la planta de 79.71% se incrementará en 0.9%, la implementación del CISOPE, no sería rentable, ya que el VANE <0, mientras que en un escenario donde la inversión se incrementará en 10% y el OPE se incrementará en 3.65% (respecto al 2019), la implementación del CISOPE sería rentable y se lograría recuperar la inversión en 72 meses.

Capítulo 6: Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Conclusiones

- El problema más crítico que afecta el proceso de la planta de fosfato bicálcico es la falla de sus equipos, siendo las tres causas más críticas, la falta de planes de mantenimiento de preventivo y predictivo y exceso de humedad del producto antes del secado.
- Las herramientas del *Lean Manufacturing*, que permiten la mejora de la eficacia global de la planta de fosfato bicálcico, se agrupan en el CISOPE, basado en el AMEF, desarrollo del talento humano, organización, mantenimiento autónomo, mantenimiento planificado, mejora orientada, seguridad industrial y estandarización.
- La aplicación del CISOPE, se enfocó en la reducción de las pérdidas del sistema de secado 01, de la planta de fosfato bicálcico, demostrándose el aumento de la eficacia global de planta de 79.71% a 85.54%.
- Mediante la organización basada en la clasificación y el orden, se puede recuperar el producto proveniente de la limpieza de los equipos del sistema de secado 01.
- Mediante el mantenimiento autónomo se puede reducir las averías por desgaste, producto de la falta de limpieza o lubricación de los componentes críticos de cada equipo del sistema de secado 01 de la planta de fosfato bicálcico.
- Mediante el mantenimiento planificado se puede identificar las fallas en etapa temprana, y reducir las pérdidas por paradas intempestivas, haciendo mantenimientos preventivos, predictivos y cambios de componentes de cada equipo crítico.
- Las mejoras enfocadas aplicadas al sistema de secado 01 de la planta de fosfato bicálcico, permiten aumentar la eficiencia de la planta y reducir las paradas intempestivas por fallas de los equipos o por alguna desviación de algún parámetro de control de la operación.
- La mejora de la gestión de la seguridad industrial de la planta permite asegurar la ejecución del mantenimiento planificado de forma segura y sin contratiempos asociados a accidentes.
- La estandarización permite mantener la mejora continua del CISOPE, y enfocarse en seguir reduciendo las pérdidas, y por tanto, la mejora del CISOPE.
- La implementación de la propuesta de mejora (CISOPE) es económicamente viable, sustentada en el análisis de sensibilidad, inversión versus ingresos, de donde se concluye que el proyecto dejará de ser rentable sólo si, los ingresos se reducen más de 40%, o la inversión aumenta más de un 90% respecto a la inversión (\$490,913.28) e ingresos (\$573,241.26) objetivos del proyecto de mejora.

6.2 Recomendaciones

- Se recomienda la implementación del CISOPE en la industria de procesos, ya que se ajusta a los problemas más comunes en una planta de procesos; las fallas de los equipos y fallas de proceso, en general, asociados a la falta de estrategias eficaces de mantenimiento y de automatización.
- Se recomienda basar la gestión del CISOPE en la medición de indicadores claves de desempeño (KPI).



Bibliografía

- Alonso, J., & Berggrun, L. 2015. *Introducción al riesgo financiero*. 3era. Edición. Bogotá, Colombia: Ecoe Ediciones.
- Amendola, L., (2012)., *Organización y gestión del mantenimiento, Mantenimiento como negocio "Balanced Scorecard"*. Valencia, España: Ediciones PMM Institute for Learning.
- Arata, A. (2009). *Ingeniería y Gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales*. Chile: Ril Editores
- Baca, G., Cruz, M., Cristóbal, I., Baca, G., Gutiérrez, J., Pacheco, A., Rivera, A., Rivera, I., & Obregón, M., (2014). *Introducción a la Ingeniería Industrial*. 2da. Edición. México D.F. México: Grupo Editorial Patria.
- Beltrán, A. & Cueva, H. (2016). *Ejercicios de evaluación privada de proyectos*. Cuarta Edición. Lima: Centro de Investigación Universidad del Pacifico.
- Beltrán, A., & Cueva, H. (2018). *Evaluación Privada de Proyectos*. Cuarta Edición. Lima: Fondo Editorial Universidad del Pacifico.
- Branan, C.R. (2000). *Soluciones prácticas para el Ingeniero químico*. 2da ed. México: McGraw Hill.
- Cuatrecasas, Ll., (2000). *Total productive Maintenance, TPM, hacia la competitividad a través de la eficiencia de los equipos de producción*. Barcelona, España. Gestión 2000.com.
- Cuatrecasas, Ll., (2017). *Ingeniería de procesos y de planta, Ingeniería Lean*. Barcelona, España. Profir Editorial.
- Cuatrecasas, Ll., & Torrell, F., (2010). *TPM en un entorno Lean Management*. Barcelona, España: Profit Editorial.
- D'Alessio, I., (2015). *Administración de las operaciones productivas*. Lima, Perú: Person Educación de Perú S.A.
- De, Jesús, D., Pergher, I., Antunes, J., & Roehe, L. (2017). Exploring the integration between Lean and the Theory of Constraints in Operations Management. *International Journal of Lean Six Sigma*. doi: 10.1108/IJLSS-08-2017-0095.
- Dryden, C., & Winfield, M. (1963). *Chemical Engineering Costs*. 1ra ed. USA. Engineering Experiemnt station, Ohio State University
- Felder, R., & Rousseau, R., (2011). *Principios Químicos de los Procesos Químicos*. México, D.F.: Editorial Limusa.
- Fortuny, J., Cuatrecasas, L., Cuatrecasas, O., & Olivella, J., (2008). Metodología de implantación de la gestión lean en plantas industriales. *Universia Business Review*, (20), 28-41

- Gonzales, F. (2004). *Auditoría del mantenimiento e indicadores de gestión*. Madrid, España: Fundación Confemetal
- Hernández J., & Vizán, A. (2013). *Lean Manufacturing*. Madrid, España: Fundación EOI.
http://nulan.mdp.edu.ar/1614/1/09_administracion_calidad.pdf
- Kafka, Kiener & Folke (2004). *Evaluación Estratégica de Proyectos de Inversión*. Segunda edición. Lima: Universidad del Pacífico.
- Kekier L. (2012). The Origins and Evolution of Lean Management System. *Journal of International Studies*, 5(1), 2012, 46-51.
- King, P (2009). *Lean for the process Industrial. Dealing with complexity*. New York, USA: Taylor & Francis group.
- King, P., & King, J., (2015). *Value Stream Mapping for The Process Industries*. New York, USA: Taylor & Francis Group.
- Kirkpatrick, S., (1956). *The Chemical Process Industries*. 2da Edición. New York. USA: International Student Edition
- Krajewski, L., Ritzman, L., & Malhotra, M., (2013). *Administración de Operaciones Procesos y Cadena de suministros*. México, México: Person Educación de México S.A.
- Krajewski, L., Ritzman, L., & Malhotra, M., (2016). *Operations Management Processes and Supply Chains*. Boston, USA: Pearson Education, Inc.
- López, P., (2016)., *Herramientas para la mejora de la calidad. Métodos para la mejora continua y la solución de problemas*. Madrid, España. FC Editorial.
- Mariño, H., (2001). *Gerencia de Procesos*. Bogotá, Colombia. Alfaomega
- Montgomery, R., (2002). *Probabilidad y estadística aplicada a la ingeniería*. México, México: Editorial Limusa S.A.
- Moran, M., & Shapiro, H., (2018). *Fundamentos de Termodinámica Técnica*. Barcelona, España: Editorial Reverté.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System. Beyond Large Scale Production*. New York, USA: Productivity Press
- Parmenter, D. (2010). *Developing, Implementing and Using Winning KPIs*. 2da. Edition. New Yersey, USA: Wiley & Sons
- Perry, R.; Green, D., & Maloney, J. (Editores) (2000). *Manual del ingeniero químico*. 6ta ed. México: Magraw Hill

- Peter, M., & Timmerhaus, K., (1968). *Diseño de plantas y su evaluación económica para ingenieros químicos*. New York: USA: Magraw Hi
- Rajadell, M., & Sánchez, J. (2011). *Lean Manufacturing. La evidencia de una necesidad*. Madrid, España: Díaz de santos.
- Rey, F. (2001). *Mantenimiento total de la producción, TPM. Proceso de implementación y desarrollo*. Madrid, España: FC Editorial.
- Rivera, L. (2008). *Justificación Conceptual de un Modelo de Implementación de Lean Manufacturing. Heurística*, 15.
- Sagueiro, A. (2001). *Indicadores de gestión y cuadros de mando*. Madrid, España: Ediciones Diaz de Santos S.A.
- Santos, J., Wysk, R., & Torres, J. (2010). *Mejorando la producción con lean thinking*. Madrid, España: Grupo Anaya S.A.
- Sinnott, R., & Towler, G., (2012). *Diseño en Ingeniería Químico*. Barcelona, España: Editorial Reverté.
- Smith, W. (1998). *Time Out: Using Visible Pull Systems to Drive Process Improvement*. New York, USA: John Wiley & Sons.
- Socconini, L. (2019). *Lean Manufacturing paso a paso*. Barcelona, España; Gestiona Editorial
- Suzuki, T. (1995). *TPM en industrias de procesos*. Madrid, España: TGP Hoshin.
- Taha, H. (2017). *Investigación de operaciones*. México, México: Person Educación de México S.A.
- Villaseñor A., & Galindo E. (2008). *Conceptos y reglas de Lean Manufacturing*. Monterey, Mexico: Limusa.
- Womack, J., Jones, D., & Ross D. (1991). *The Machine that Changed the World*. New York. USA: Harper Perennial.
- Womack, J., & Jones, D., (2005). *Lean Thinking. Como utilizar el pensamiento lean para eliminar los despilfarros y crear valor en la empresa*. Barcelona, España: Gestión 2000

Anexos

Anexo A: Diseño de la matriz de priorización para la determinación de las operaciones críticas en el proceso productivo de fosfato bicálcico

El equipo técnico formado por tres supervisores de planta (SP1, SP2, SP3), un ingeniero de procesos (IP), un jefe de planta (JP) y un superintendente (SP), se tomará a continuación la decisión respecto a la determinación de las operaciones críticas según lo descrito en el punto 3.1. y para valorar las distintas alternativas y poder llegar a la selección óptima, el equipo técnico decidió construir una matriz de priorización por ser una herramienta sencilla y práctica para este caso de estudio, teniendo en cuenta los criterios descritos en el punto 3.3.

El primer paso es realizar la ponderación de los seis criterios, pues todo el equipo técnico está de acuerdo en que no tienen el mismo peso ni el mismo valor relativo. A continuación, se hace una matriz donde se compara todos los criterios de ponderación entre sí según se muestra en la tabla A1 en donde se otorgará las puntuaciones 1, 2, 3, 4 y 5 (impacto muy bajo, bajo, medio, regular y alto respectivamente) y en su posición opuesta con 1/p (donde p es: 1, 2, 3, 4 o 5).

Tabla A 1 Matriz de ponderación de criterios

	Desempeño	Frecuencia	Impacto en el cliente	Impacto en la empresa	Importancia	Susceptibilidad al cambio	Total
Desempeño	0.00	0.33	0.33	0.33	0.33	0.20	1.5
Frecuencia	3.00	0.00	0.25	0.33	0.33	0.20	4.1
Impacto en el cliente	3.00	4.00	0.00	3.00	0.33	0.25	10.6
Impacto en la empresa	3.00	3.00	0.33	0.00	0.33	0.20	6.9
Importancia	3.00	3.00	3.00	3.00	0.00	5.00	17.0
Susceptibilidad al cambio	5.00	5.00	4.00	5.00	0.20	0.00	19.2
Total	17.00	15.33	7.92	11.67	1.53	5.85	59.3
Peso Relativo	28.67%	25.86%	13.35%	19.67%	2.59%	9.87%	100%

Según este resultado, el criterio con más peso es el desempeño (28.67%) mientras la importancia es el criterio con menos peso (2.59%).

Una vez ponderados los criterios de valoración, se elabora diferentes matrices en L que van reflejando la puntuación que cada miembro del equipo técnico le otorga a cada operación. Se empiezan puntuando entre 1 y 10 siendo la puntuación más baja cuando peor sea el impacto de la operación respecto al criterio y la puntuación más alta, cuando mejor sea el impacto de la operación respecto al criterio.

Tabla A 2 Valoración respecto del desempeño

Desempeño (28,67%)	SP1	SP2	SP3	IP	JP	SP	Total	Total ponderado
Chancado y Molienda	5	3	4	3	5	3	23	6.59
Lixiviación y Separación	6	6	4	5	5	6	32	9.17
Precipitación y Lavado	8	7	7	8	8	7	45	12.90
Filtración	3	1	2	3	1	1	11	3.15
Secado	2	1	2	1	1	2	9	2.58
Envasado	6	8	8	8	6	8	44	12.61
Almacenamiento	10	9	9	9	9	10	56	16.05

Tabla A 3 Valoración respecto de la frecuencia

Frecuencia (825,86%)	SP1	SP2	SP3	IP	JP	SP	Total	Total ponderado
Chancado y Molienda	4	4	6	5	5	5	29	7.50
Lixiviación y Separación	4	3	3	5	3	5	23	5.95
Precipitación y Lavado	1	3	3	3	3	1	14	3.62
Filtración	7	7	7	9	8	9	47	12.15
Secado	10	10	10	10	10	9	59	15.26
Envasado	2	1	3	1	2	3	12	3.10
Almacenamiento	1	2	3	2	1	2	11	2.84

Tabla A 4 Valoración respecto del impacto en el cliente

Impacto en el cliente (13,35%)	SP1	SP2	SP3	IP	JP	SP	Total	Total ponderado
Chancado y Molienda	5	5	7	7	6	5	35	4.67
Lixiviación y Separación	10	9	10	10	9	9	57	7.61
Precipitación y Lavado	9	7	7	8	9	9	49	6.54
Filtración	7	9	7	7	9	7	46	6.14
Secado	10	10	10	9	9	4	52	6.94
Envasado	4	4	2	4	3	2	19	2.54
Almacenamiento	3	2	2	3	2	1	13	1.74

Tabla A 5 Valoración respecto del impacto en la empresa

Impacto en la empresa (19,67%)	SP1	SP2	SP3	IP	JP	SP	Total	Total ponderado
Chancado y Molienda	6	8	6	8	6	8	42	8.26
Lixiviación y Separación	10	9	10	9	10	10	58	11.41
Precipitación y Lavado	9	8	7	8	7	7	46	9.05
Filtración	9	8	9	7	8	9	50	9.84
Secado	9	9	9	9	9	9	54	10.62
Envasado	3	2	3	3	1	2	14	2.75
Almacenamiento	3	2	2	1	3	2	13	2.56

Tabla A 6 Valoración respecto del importancia

Importancia (2,59%)	SP1	SP2	SP3	IP	JP	SP	Total	Total ponderado
Chancado y Molienda	7	7	7	5	7	6	39	1.01
Lixiviación y Separación	10	9	10	9	10	10	58	1.50
Precipitación y Lavado	10	9	10	9	9	9	56	1.45
Filtración	7	7	8	9	8	7	46	1.19
Secado	4	4	5	6	4	5	28	0.72
Envasado	3	2	2	4	4	4	19	0.49
Almacenamiento	1	3	3	1	2	2	12	0.31

Tabla A 7 Valoración respecto a la susceptibilidad al cambio

Susceptibilidad al cambio (9.87%)	SP1	SP2	SP3	IP	JP	SP	Total	Total ponderado
Chancado y Molienda	1	1	1	3	3	2	11	1.09
Lixiviación y Separación	5	4	4	4	4	3	24	2.37
Precipitación y Lavado	2	3	2	3	3	3	16	1.58
Filtración	4	4	3	4	3	3	21	2.07
Secado	3	5	3	4	4	3	22	2.17
Envasado	2	1	3	3	3	2	14	1.38
Almacenamiento	3	1	1	1	3	1	10	0.99

Se elabora una última matriz con los resultados parciales de comparar las alternativas con cada criterio (ver Tabla A8). Multiplicando los resultados ya ponderados correspondientes a cada criterio, la puntuación final que alcanza cada alternativa es la que se muestra en la columna “TOTAL”.

Tabla A 8 Matriz de priorización global

Operación	Criterios						Total
	DP	FC	IC	IE	IP	SC	
Chancado y Molienda	6.59	7.50	4.67	8.26	1.01	1.09	29.12
Lixiviación y Separación	9.17	5.95	7.61	11.41	1.50	2.37	38.01
Precipitación y Lavado	12.90	3.62	6.54	9.05	1.45	1.58	35.14
Filtración	3.15	12.15	6.14	9.84	1.19	2.07	34.55
Secado	2.58	15.26	6.94	10.62	0.72	2.17	38.30
Envasado	12.61	3.10	2.54	2.75	0.49	1.38	22.88
Almacenamiento	16.05	2.84	1.74	2.56	0.31	0.99	24.49

Leyenda: DP: Desempeño; FC: Frecuencia; IC: Impacto en el cliente; IE: Impacto en la empresa; IP: Importancia; SC: Susceptibilidad al cambio

Las operaciones seleccionadas son lixiviación – separación y Secado ya que tiene las mejores puntuaciones otorgadas por el equipo técnico.

Anexo B: Diseño de la matriz de priorización para la determinación los problemas críticos de la planta de fosfato bicálcico.

Para fines de la construcción de la matriz de priorización donde se busca determinar los problemas críticos de la planta de fosfato bicálcico, El equipo técnico descrito en el Anexo A, ha determinado ocho problemas que influyen en la eficacia global de la planta de fosfato bicálcico, mostrados en la tabla B1. Para valorar las distintas alternativas y poder llegar a la selección óptima, el equipo técnico decidió construir una matriz de priorización por ser una herramienta sencilla y práctica para este caso de estudio, teniendo en cuenta alguno de los criterios descritos en el punto 3.3. finalmente se seguirá la metodología descrita en el Anexo A.



Tabla B 1 *Matriz de ponderación de criterios para la determinación de problemas críticos*

	Frecuencia	Impacto en el cliente	Impacto en la empresa	Susceptibilidad al cambio	Total
Frecuencia	0.0	4.0	5.0	0.2	9.2
Impacto en el cliente	0.3	0.0	2.0	1.0	3.3
Impacto en la empresa	0.2	0.5	0.0	4.0	4.7
Susceptibilidad al cambio	5.0	1.0	0.3	0.0	6.3
Total	5.5	5.5	7.3	5.2	23.4
Peso Relativo	23.29%	23.50%	30.98%	22.22%	100.0%

Tabla B 2 *Valoración respecto a la frecuencia*

Frecuencia (23.29%)	SP1	SP2	SP3	IP	JP	SP	Total	Total ponderado
Arranque de planta	3	2	2	2	3	3	15	3.49
Bajo rendimiento de las operaciones	10	10	10	8	8	8	54	12.58
Defectos de Calidad	8	6	7	8	7	8	44	10.25
Devolución de los clientes	2	1	2	1	2	3	11	2.56
Fallas de los equipos	8	8	8	9	9	10	52	12.11
Fallas de proceso	8	9	7	9	9	9	51	11.88
Parada no programada	3	3	1	2	2	1	12	2.79
Paradas programada	3	2	3	2	2	3	15	3.49

Tabla B 3 *Valoración respecto al impacto en el cliente*

Impacto en el cliente (23.50%)	SP1	SP2	SP3	IP	JP	SP	Total	Total ponderado
Arranque de planta	2	2	3	2	1	3	13	3.06
Bajo rendimiento de las operaciones	9	8	8	10	8	8	51	11.99
Defectos de Calidad	9	10	9	10	10	10	58	13.63
Devolución de los clientes	4	3	4	4	4	5	24	5.64
Fallas de los equipos	9	7	8	8	7	9	48	11.28
Fallas de proceso	10	9	8	10	8	9	54	12.69
Parada no programada	4	4	6	5	4	5	28	6.58
Paradas programada	3	1	1	2	1	1	9	2.12

Tabla B 4 Valoración respecto al impacto en la empresa

Impacto en la empresa (30.98%)	SP1	SP2	SP3	IP	JP	SP	Total	Total ponderado
Arranque de planta	9	9	9	8	10	9	54	16.73
Bajo rendimiento de las operaciones	10	9	8	10	9	8	54	16.73
Defectos de Calidad	10	9	10	9	8	9	55	17.04
Devolución de los clientes	10	10	8	9	10	9	56	17.35
Fallas de los equipos	9	10	9	8	10	10	56	17.35
Fallas de proceso	8	8	8	10	9	8	51	15.80
Parada no programada	8	10	9	8	8	10	53	16.42
Paradas programada	9	8	9	9	9	9	53	16.42

Tabla B 5 Valoración respecto a la susceptibilidad al cambio

Susceptibilidad al cambio (22.22%)	SP1	SP2	SP3	IP	JP	SP	Total	Total ponderado
Arranque de planta	2	2	2	1	3	3	13	2.89
Bajo rendimiento de las operaciones	5	4	6	5	5	5	30	6.67
Defectos de Calidad	5	5	4	5	4	6	29	6.44
Devolución de los clientes	6	4	4	4	5	5	28	6.22
Fallas de los equipos	8	8	8	7	6	9	46	10.22
Fallas de proceso	7	8	7	8	6	9	45	10.00
Parada no programada	4	6	6	6	4	5	31	6.89
Paradas programada	6	6	4	6	4	4	30	6.67

Tabla B 6 Matriz de priorización global

Problemas	Criterios				Total
	FC	IC	IE	SC	
Arranque de planta	3.49	3.06	16.73	2.89	26.17
Bajo rendimiento de las operaciones	12.58	11.99	16.73	6.67	47.96
Defectos de Calidad	10.25	13.63	17.04	6.44	47.37
Devolución de los clientes	2.56	5.64	17.35	6.22	31.78
Fallas de los equipos	12.11	11.28	17.35	10.22	50.96
Fallas de proceso	11.88	12.69	15.80	10.00	50.37
Parada no programada	2.79	6.58	16.42	6.89	32.69
Paradas programada	3.49	2.12	16.42	6.67	28.70

Leyenda: DP: Desempeño; FC: Frecuencia; IC: Impacto en el cliente; IE: Impacto en la empresa; SC: Susceptibilidad al cambio

Los problemas críticos seleccionadas son las fallas de proceso y fallas de equipos ya que tiene las mejores puntuaciones otorgadas por el equipo técnico.

Anexo C: Análisis de la confiabilidad de los equipos críticos del sistema de secado 01

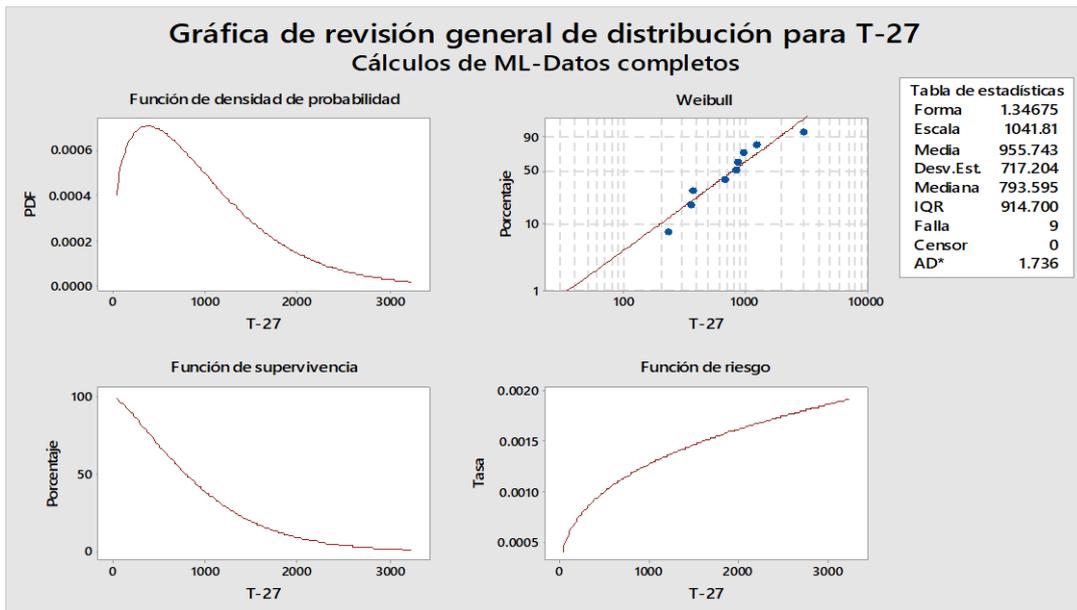


Figura C 1 Análisis de la confiabilidad del tornillo T-27

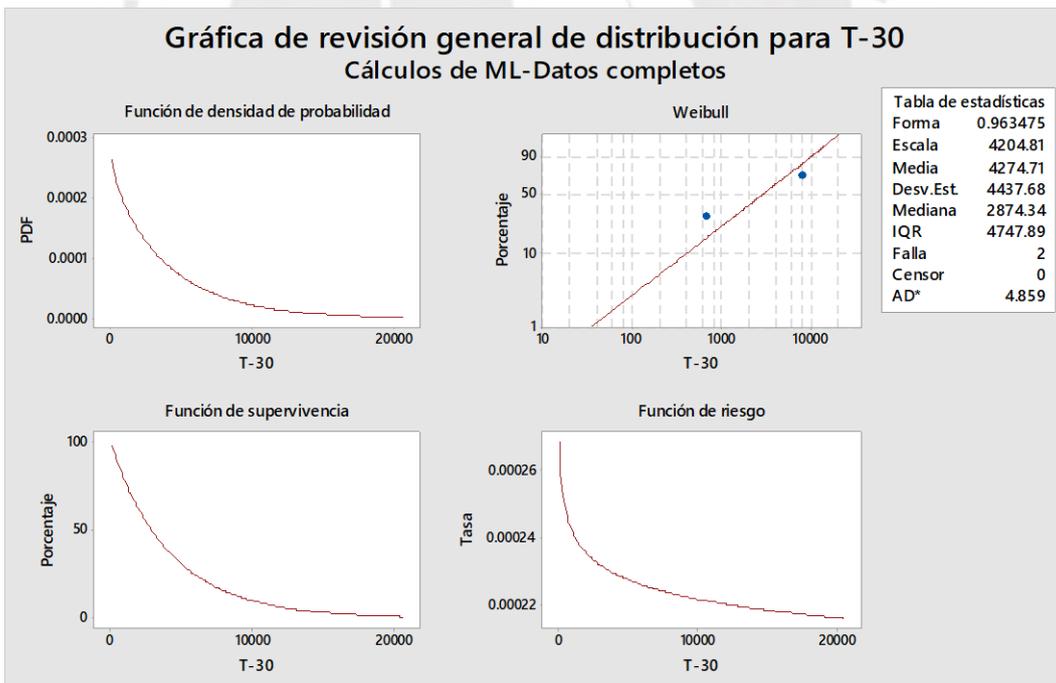


Figura C 2 Análisis de la confiabilidad del tornillo T-30

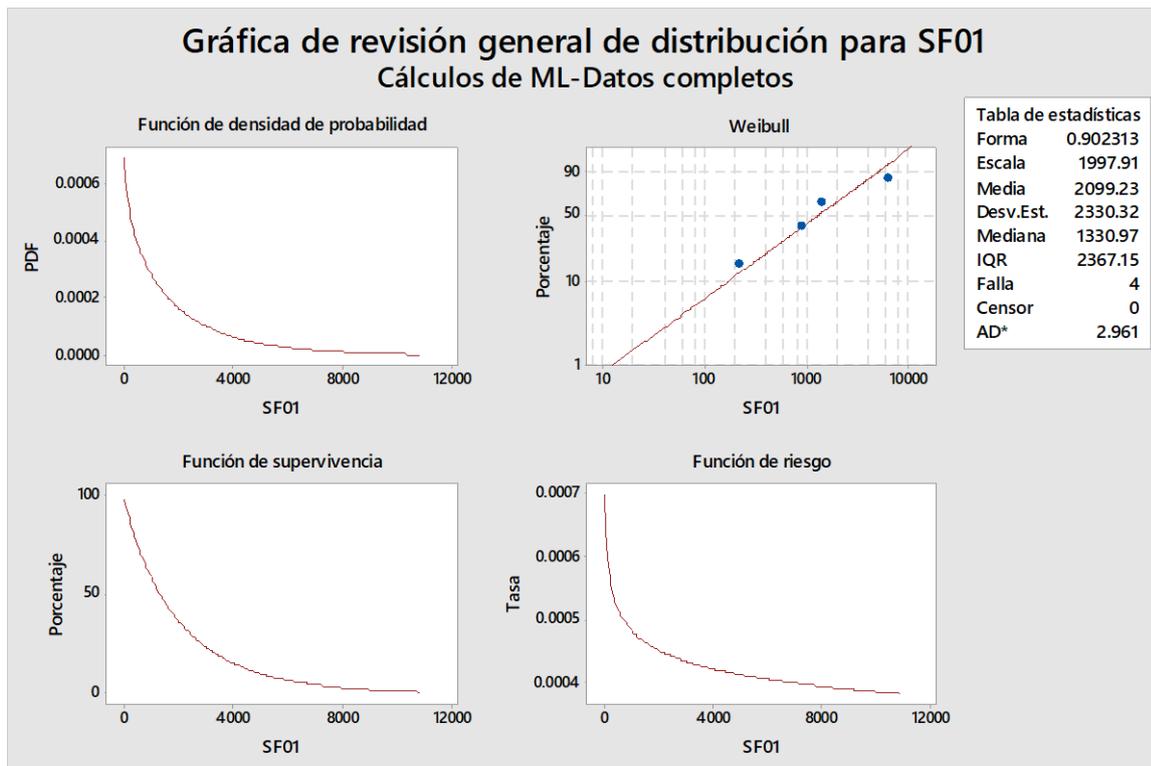


Figura C 3 Análisis de la confiabilidad del tornillo SF01

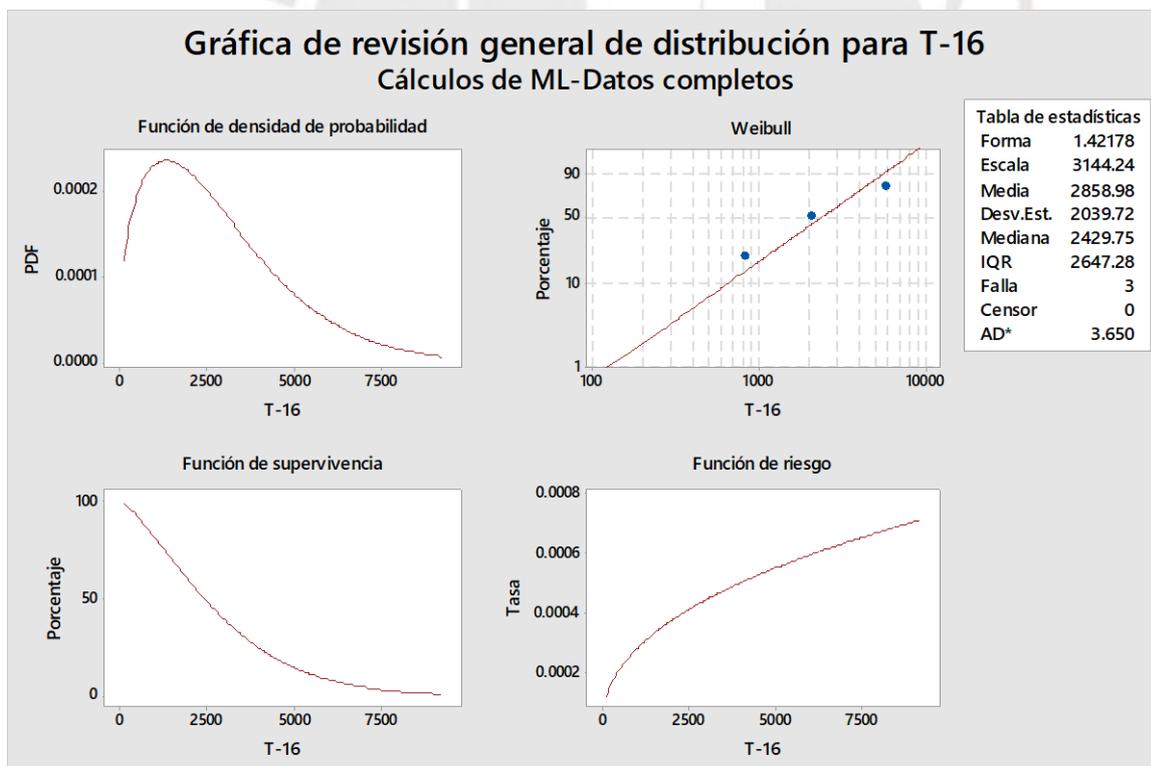


Figura C 4 Análisis de la confiabilidad del tornillo T-16

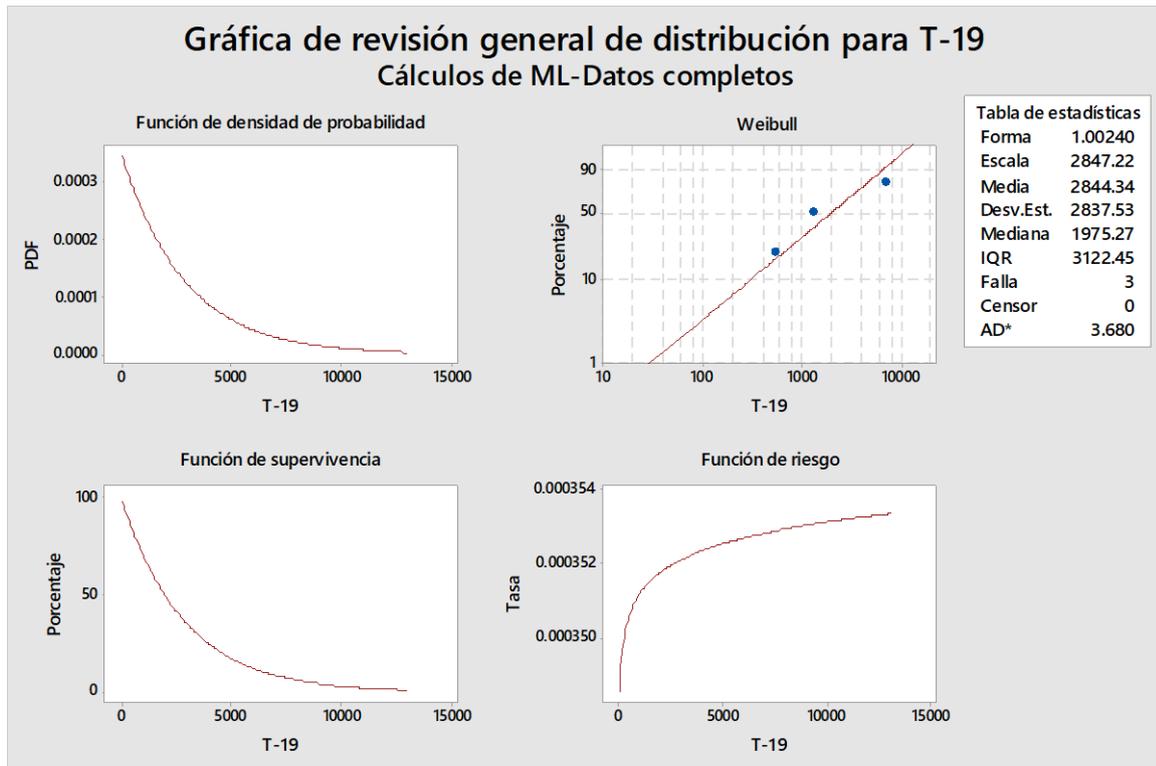


Figura C 5 Análisis de la confiabilidad del tornillo T-19

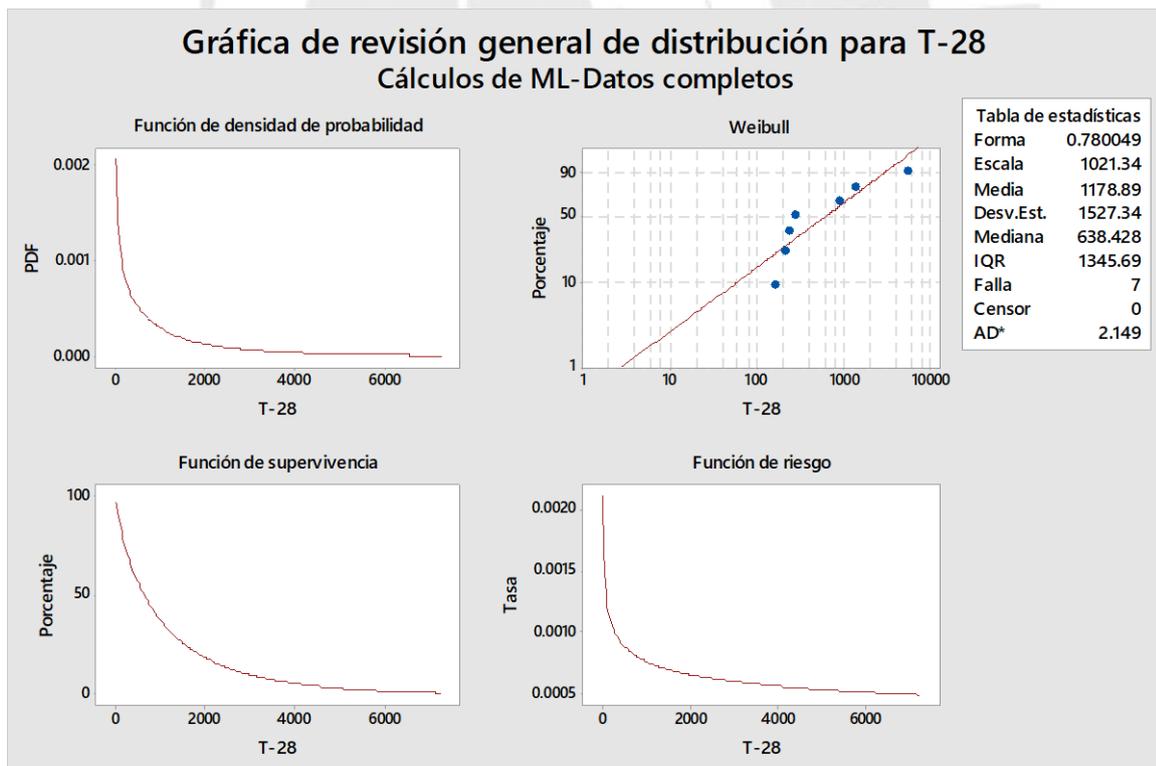


Figura C 6 Análisis de la confiabilidad del tornillo T-28

Anexo D: Cálculo de las pérdidas por paradas

Según Arata (2009), las pérdidas por parada se definen mediante la siguiente ecuación:

$$C_i = (P_v - C_v)\dot{Q}$$

Donde:

C_i: Costo o pérdidas por paradas

P_v: Precio de venta del producto

C_v: Costo Variable

Q: Flujo de producción

Según la compañía, el precio de venta unitario promedio del fosfato bicálcico es de \$ 560/TM y el costo variable unitario promedio es de \$490/TM. El flujo de producción de la planta de fosfato bicálcico es de 12.5 TM/h. Si sólo opera un sistema de secado, los flujos se ajustan a la mitad, siendo el flujo de producción de 6.25 TM/h.

$$C_i = (560 - 490)12.5 = \$875/h$$

Por consiguiente, la planta pierde \$875/h por parada general.

Anexo E: Cálculo de la confiabilidad de un sistema de equipos en serie

Según Arata (2009) la confiabilidad de un sistema de equipos en serie se calcula como la productoria de las confiabilidades de cada equipo, según la siguiente ecuación.

$$R_s = \prod_{i=1}^n R_i$$

Donde:

R_s: Confiabilidad del sistema

R_i: Confiabilidad de cada uno de sus elementos