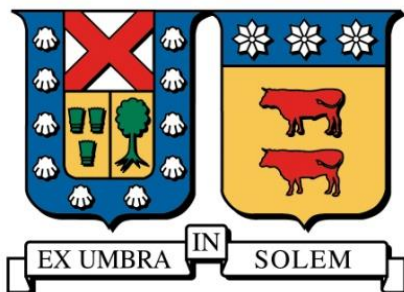


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
SANTIAGO – CHILE



**“DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO
PARA PLANTA DE ADHESIVOS”**

María José Martínez Saavedra

**MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERA CIVIL MECÁNICA**

PROFESOR GUÍA: Ing. Luis Guzmán Bonet
PROFESOR CORREFERENTE: Ing. Nelson Álvarez Campillay

Agosto de 2022

AGRADECIMIENTOS

Quiero partir agradeciendo a mis padres y hermano, especialmente a mi mamá Luz, por seguir en este mundo apoyándome y dando la pelea a pesar de todo, siendo un ejemplo a seguir en todos los ámbitos de la vida y siempre creer en mis capacidades. A mi abuela Emilia, que siempre ha contribuido con mi crecimiento y desarrollo profesional, gracias por cuidarme durante tanto tiempo y amarme como me amas.

A mis fieles amigos y compañeros de estudio Claudio mi gran partner desde el día uno, Daniel A., Daniel G., Pablo L., Thomas L. y Pablo C. por haber hecho mi instancia universitaria mucho más amena, muchas veces acompañándome en el sufrimiento o en eternas jornadas de estudio, nunca olvidaré la paciencia que tuvo más de alguno explicándome cosas y ayudándome a pasar ramos en la última prueba. A mi amigo Giorgio, que no nos separamos más desde nuestra primera actividad de promo, gracias por tu alegría inagotable y tu apoyo incondicional, gracias a mi amiga Belén que durante años me acompañó en nuestro rincón de la biblioteca, haciéndonos compañía y tomando tecito, siempre teniendo el hombro de la otra si después de una prueba nos iba mal. A Paula y Mane, gracias por su infinito apoyo, por escucharme, por quererme y creer en mí.

Gracias a mi amorcito, Mauricio Garrido por amarme, nunca dudar de que me la podía y darme animo siempre, sin tu apoyo en estos momentos no lo hubiese conseguido.

Gracias la empresa Artecola por ser parte de este proceso, permitirme desarrollar este plan de mantenimiento y responder todas mis dudas, en especial a Luis Hormazábal y Pablo Toro, el equipo de mantenimiento que me tuvo paciencia durante todo este periodo.

Y tantos más por agradecer que han contribuido con mi crecimiento, pero no alcancé a trazar en esta pequeña página.

RESUMEN

El actual trabajo de título tiene como objetivo diseñar un plan de mantenimiento para equipos críticos en una planta de adhesivos, con la intención de disminuir las paradas no programadas. Se definen objetivos específicos a conseguir, además de una metodología de trabajo que permitirá alcanzar los objetivos definidos.

El desarrollo de este trabajo comienza con el levantamiento de la información de la empresa para contextualizar el rubro, su estrategia y misión, luego de esto se realizó un levantamiento a nivel operacional y de maquinaria, para tener la claridad de los procesos, de los equipos existentes en las distintas plantas, obteniendo como resultado un listado de equipos.

Luego se procede a estudiar la criticidad en tres niveles, por planta, por equipos y por componentes con herramientas entregadas por las normas ISO 31.000 e ISO 31.010, utilizando matrices de riesgo y análisis FMECA a cada uno de los componentes del listado obtenido en el levantamiento, clasificándolos como críticos, semi críticos y poco críticos, para que al momento de desarrollar el plan de mantenimiento sea posible enfocar de mejor manera los recursos en equipos que tengan el mayor impacto.

Con la clasificación de criticidad realizada se decide utilizar RCM y sus siete preguntas fundamentales a los equipos seleccionados, ya que esta metodología de mantenimiento va en línea con la estrategia de la empresa, como también se ajusta a las herramientas que esta posee.

A continuación, se diseña el plan de mantenimiento, enfocando los recursos en los componentes obtenidos de la jerarquización, obteniendo para cada componente una planilla con las actividades correspondientes y un adicional con los estándares requeridos por algunas de las actividades. Con los planes de mantenimiento se obtienen tres planes matrices anuales, uno por cada una de las zonas abarcadas.

Finalmente se realiza un análisis económico que busca comparar la pérdida de ingreso por una falla intempestiva con el costo del plan de mantenimiento diseñado, concluyendo que el plan es rentable y trae beneficios económicos y operacionales.

ABSTRACT

The objective of the present work is to design a maintenance plan for critical equipment in an adhesives plant, with the intention of reducing unscheduled shutdowns. Specific objectives to be achieved are defined, as well as a work methodology that will allow to reach the defined objectives.

The development of this work begins with the survey of the company's information to contextualize the industry, its strategy and mission. After this, an operational and machinery survey was carried out to clarify the processes and the existing equipment in the different plants, obtaining as a result a list of equipment.

Then we proceeded to study the criticality at three levels, by plant, by equipment and by components with tools provided by ISO 31.000 and ISO 31.010 standards, using risk matrices and FMECA analysis to each of the components of the list obtained in the survey, classifying them as critical, semi-critical and less critical, so that when developing the maintenance plan it is possible to better focus resources on equipment that have the greatest impact.

With the criticality classification made, it was decided to use RCM and its seven fundamental questions to the selected equipment, since this maintenance methodology is in line with the company's strategy, as well as it is adjusted to the tools it has.

Then, the maintenance plan is designed, focusing the resources on the components obtained from the hierarchy, obtaining for each component a spreadsheet with the corresponding activities and an additional one with the standards required by some of the activities. With the maintenance plans, three annual matrix plans are obtained, one for each of the areas covered.

Finally, an economic analysis is performed to compare the loss of income due to an untimely failure with the cost of the maintenance plan designed, concluding that the plan is profitable and brings economic and operational benefits.

GLOSARIO

KPI	:	Indicadores de rendimiento de mantenimiento por sus siglas en inglés (Key Performance Indicators).
FMECA	:	Análisis de Modos de Fallo, Efectos y Criticidad por sus siglas en inglés (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis)
FRL	:	Filtro Regulador Lubricador utilizado en los sistemas neumáticos.
LCQ	:	Laboratorio de control de calidad por sus siglas en inglés (Quality control laboratory).
MA	:	Medio Ambiente
MP	:	Materia Prima.
MTBF	:	Tiempo medio entre fallos por sus siglas en inglés (Mean Time Between Failures)
MTTR	:	Tiempo medio de reparación por sus siglas en inglés (Mean Time To Repair)
NPR	:	Número Prioritario de Riesgo.
OF	:	Orden de Fabricación.
PT	:	Producto terminado.
RCM	:	Mantenimiento Centrado en Confiabilidad por sus siglas en inglés (Reliability Centred Maintenance).
SSO	:	Seguridad y Salud Ocupacional.
SN	:	Sistema neumático.
TPM	:	Mantenimiento productivo total por sus siglas en inglés (Total Productive Maintenance).
TAG	:	Etiqueta

1. Contenido

AGRADECIMIENTOS.....	1
RESUMEN	2
ABSTRACT	3
GLOSARIO	4
Listado de tablas	9
Listado de figuras	14
2. Introducción	15
3. Objetivos	17
4. Presentación del problema	18
5. Plan de trabajo.....	19
6. Antecedentes de la empresa y procesos	21
6.1. Marco estratégico.....	21
6.2. Historia.....	22
6.3. Organización de la empresa	23
6.4. Proceso productivo	24
6.4.1. Polvos	25
6.4.2. Pastas	27
6.4.3. Acuosos	29
6.4.4. Solvente	31
7. Marco teórico	33
7.1. Mantenimiento	33

7.1.1.	Tipos de mantenimiento	33
7.1.2.	Indicadores de mantenimiento.....	36
7.1.3.	Costos de mantenimiento	37
7.2.	SIPOC	39
7.3.	ISO 31000	40
7.3.1.	ISO 31010.....	41
7.4.	RCM.....	43
7.4.1.	SAE JA 1011	44
7.4.2.	SAE JA 1012	45
8.	Levantamiento	47
8.1.	Sistema de aire comprimido	47
8.1.1.	Sala de compresores	48
8.1.2.	Exterior de polvos.....	48
8.1.3.	En planta de polvos	49
8.1.4.	En planta de acuosos.....	50
8.1.5.	En planta de pastas	51
8.2.	Sistema de refrigeración	52
8.3.	Planta de polvos	53
8.3.1.	Distribución de arena.....	53
8.3.2.	Distribución de cemento	54
8.3.3.	Etapas de mezclado	55
8.3.4.	Etapas de descarga	56
8.3.5.	Filtros exteriores para polvos	57
8.4.	Planta de acuosos	58
8.4.1.	Equipos principales disponibles	58
8.4.2.	Equipos y accesorios	59
8.5.	Planta de pastas	60
8.6.	Planta de solventes.....	61

8.6.1.	Estanques de materia prima	62
9.	Criticidad	64
9.1.	Historial de fallas y estado actual	64
9.1.1.	Planta de solventes	64
9.1.2.	Planta de acuosos.....	66
9.1.3.	Planta de pastas.....	67
9.1.4.	Planta de polvos.....	69
9.2.	Análisis de criticidad para plantas	73
9.2.1.	Jerarquización.....	77
9.3.	Análisis de criticidad para equipos	77
9.3.1.	Jerarquización.....	80
9.4.	Análisis de criticidad para etapa de descarga, mezclado y filtrado	81
9.4.1.	Jerarquización.....	85
10.	Elección de herramienta	87
11.	Diseño plan de mantenimiento	88
11.1.	Equipos críticos.....	89
11.1.1.	Aro del eje en área de descarga	89
11.1.2.	Eje en área de descarga.....	91
11.1.3.	Boquilla en área de descarga	92
11.1.4.	Tolva de área de descarga.....	94
11.2.	Equipos semi críticos	95
11.2.1.	Eje de mezcladora o zona de mezcla	96
11.2.2.	Tolva de mezcladora o zona de mezcla	97
11.2.3.	Válvula guillotina de ensacadora o zona de descarga	98
11.2.4.	Rodamientos y manguitos de la zona de mezcla	100
11.3.	Plan matriz.....	101
11.4.	Puesta en marcha.....	105

12.	Análisis económico	107
12.1.	Ingresos	108
12.2.	Pérdida.....	111
12.3.	Costo del plan de mantenimiento	112
12.3.1.	Costos variables.....	112
12.3.2.	Costos fijos	115
13.	CONCLUSIONES.....	117
13.1.	Conclusiones generales	117
13.2.	Conclusiones específicas.....	118
13.3.	Recomendaciones.....	119
	BIBLIOGRAFÍA	121
14.	ANEXOS	122
14.1.	Matrices de riesgo	122
14.2.	Matrices de riesgo planta de polvos	125
14.3.	Análisis FMECA zona de descarga.....	129
14.4.	Análisis FMECA zona de mezclado	133
14.5.	Análisis FMECA zona de filtrado.....	137
14.6.	Planes de mantenimiento zona de descarga	140
14.7.	Planes de mantenimiento zona de mezcla	142
14.8.	Planes de mantenimiento zona de filtrado.....	145

Listado de tablas

Tabla 8.1: Listado de equipos en sala de compresores.....	48
Tabla 8.2: Listado de equipos para distribución de aire en exterior de las plantas.	48
Tabla 8.3: Listado de equipos para distribución de aire en planta de polvos.	49
Tabla 8.4: Listado de equipos para distribución de aire en planta de acuosos.	50
Tabla 8.5: Listado de equipos para distribución de aire en planta de pastas.....	51
Tabla 8.6: Listado de equipos para sistema de refrigeración de la empresa.	52
Tabla 8.7: Listado de equipos para la distribución de arena en polvos.	53
Tabla 8.8: Listado de equipos para la distribución de cemento en polvos.	54
Tabla 8.9: Listado de equipos en la etapa de mezclado en polvos.	55
Tabla 8.10: Listado de equipos en la etapa de descarga de mezcla en polvos.	56
Tabla 8.11: Listado de equipos de filtración para planta de polvos.	57
Tabla 8.12: Listado de equipos principales en planta de acuosos.	58
Tabla 8.13: Listado de equipos y accesorios en planta de acuosos.	59
Tabla 8.14: Listado de equipos en planta de pastas.....	60
Tabla 8.15: Listado de equipos en planta de solventes.....	61
Tabla 8.16: Listado de equipos y estanques para distribución de materia prima.	62
Tabla 9.1: Indicadores para planta de solvente.....	65
Tabla 9.2: Indicadores para planta de acuosos.	67
Tabla 9.3: Indicadores para planta de pastas.	69
Tabla 9.4: Indicadores para planta de pastas.	72
Tabla 9.5: Matriz de riesgo para definir criticidad de plantas productivas.	74
Tabla 9.6: Matriz de riesgo para la planta de polvos.....	76
Tabla 9.7: Jerarquización por plantas.	77
Tabla 9.8: Sección “costo reparación/reemplazo” de la matriz de riesgo modificada.	78
Tabla 9.9:Matriz de riesgo para ensacadora o etapa de descarga.	79
Tabla 9.10: Jerarquización de etapas de la planta de polvos.	80
Tabla 9.11: Análisis FMECA para el eje de la ensacadora en zona de descarga.	81
Tabla 9.12: Puntuación asignada para el criterio severidad.	83

Tabla 9.13: Puntuación asignada para el criterio ocurrencia.....	83
Tabla 9.14: Puntuación asignada para el criterio de detectabilidad.	84
Tabla 9.15: Definición de nivel de criticidad según puntaje obtenido en FMECA.....	84
Tabla 9.16: Nivel de criticidad según NPR.	85
Tabla 11.1: Planificación de mantenimiento para aro del eje (ensacadora).	89
Tabla 11.2: Estándares de actividad requeridos para la planificación de mantenimiento del aro del eje.....	90
Tabla 11.3: Planificación de mantenimiento para eje (ensacadora).	91
Tabla 11.4: Estándares de actividad requeridos para la planificación de mantenimiento del aro del eje.....	92
Tabla 11.5: Planificación de mantenimiento para la boquilla (ensacadora).....	93
Tabla 11.6: Estándares de actividad requeridos para la planificación de mantenimiento de la boquilla.	93
Tabla 11.7:Planificación de mantenimiento para la tolva del área de descarga.	94
Tabla 11.8:Estándares de actividad requeridos para la planificación del mantenimiento de la tolva en el área de descarga.	95
Tabla 11.9: Planificación de mantenimiento para el eje de la mezcladora.....	96
Tabla 11.10: Estándares de actividad requeridos para la planificación del mantenimiento del eje de la zona de mezcla.	97
Tabla 11.11:Planificación de mantenimiento para la tolva de la zona de mezclado.	97
Tabla 11.12: Estándares de actividad requerido para la planificación de mantenimiento de la tolva de la zona de mezclado.	98
Tabla 11.13: Planificación de mantenimiento para la válvula guillotina de la zona de descarga.	99
Tabla 11.14: Estándares de actividad requeridos para la planificación de mantenimiento de la válvula guillotina en la zona de descarga.	99
Tabla 11.15: Planificación de mantenimiento para la válvula guillotina de la zona de descarga.	100
Tabla 11.16: Estándares de actividad requeridos para la planificación de mantenimiento los rodamientos en la zona de mezcla.	101

Tabla 11.17: Plan matriz de mantenimiento zona de descarga.....	102
Tabla 11.18: Plan matriz de mantenimiento zona de mezclado.	103
Tabla 11.19: Plan matriz de mantenimiento zona de filtrado.....	104
Tabla 12.1: Datos contables planta de polvos.	109
Tabla 12.2: Costos variables de repuestos ensacadora.	112
Tabla 12.3: Costos variables de repuestos mezcladora	113
Tabla 12.4: Costos variables de repuestos filtros.	113
Tabla 12.5: Costos variables de insumos para plan de mantenimiento.....	114
Tabla 12.6: Costos variables para plan de mantenimiento.	114
Tabla 12.7: Costos fijos para el plan de mantenimiento.	115
Tabla 12.8: Costo anual de mantenimiento.	115
Tabla 14.1: Matriz de riesgo para la planta de acuosos.....	122
Tabla 14.2: Matriz de riesgo para la planta de solventes.....	123
Tabla 14.3: Matriz de riesgo para la planta de pastas.....	124
Tabla 14.4: Matriz de riesgo para distribución de arena.	125
Tabla 14.5: Matriz de riesgo para distribución de cemento.	126
Tabla 14.6: Matriz de riesgo para mezcladora o zona de mezclado.....	127
Tabla 14.7: Matriz de riesgo para zona de filtrado.....	128
Tabla 14.8: Análisis FMECA para el motor eléctrico de la ensacadora.....	129
Tabla 14.9: Análisis FMECA para los rodamientos del eje de la ensacadora.....	129
Tabla 14.10: Análisis FMECA para aro del eje de la ensacadora.	130
Tabla 14.11: Análisis FMECA para los sellos del eje de la ensacadora.	130
Tabla 14.12: Análisis FMECA para las correas motor-eje de la ensacadora.	130
Tabla 14.13: Análisis FMECA para la boquilla de la ensacadora.....	131
Tabla 14.14: Análisis FMECA para las válvulas guillotina de la ensacadora.....	131
Tabla 14.15: Análisis FMECA para las poleas del motor de la ensacadora.....	131
Tabla 14.16: Análisis FMECA para la tolva de la ensacadora.	132
Tabla 14.17: Análisis FMECA para el sello de conexión tolva-ensacadora.	132
Tabla 14.18: Análisis FMECA para motor eléctrico ensacadora.	133
Tabla 14.19: Análisis FMECA para caja reductora mezcladora.	133

Tabla 14.20: Análisis FMECA para rodamientos/ manguito de ensacadora.....	134
Tabla 14.21: Análisis FMECA para protección y sellos del eje de mezcladora.	134
Tabla 14.22: Análisis FMECA para eje mezcladora.	135
Tabla 14.23: Análisis FMECA sellos eje mezcladora.	135
Tabla 14.24: Análisis FMECA para correas motor-caja de mezcladora.	135
Tabla 14.25: Análisis FMECA para tolva de mezcladora.	136
Tabla 14.26: Análisis FMECA para vibrador en tolva de mezcladora.....	136
Tabla 14.27: Análisis FMECA para válvula guillotina de mezcladora.....	136
Tabla 14.28: Análisis FMECA para sello de conexión tolva-mezcladora.	137
Tabla 14.29: Análisis FMECA para extractor zona de filtros.	137
Tabla 14.30: Análisis FMECA para motor eléctrico zona de filtros.	138
Tabla 14.31: Análisis FMECA para separador zona de filtros.....	138
Tabla 14.32: Análisis FMECA para mangas zona de filtros.	139
Tabla 14.33: Análisis FMECA para extractores zona de filtros.....	139
Tabla 14.34: Planificación de mantenimiento para motor eléctrico de la zona de descarga.	140
Tabla 14.35: Estándares de actividad requeridos para la planificación del mantenimiento del motor eléctrico de la zona de descarga.	140
Tabla 14.36: Planificación de mantenimiento para los rodamientos de la zona de descarga.	141
Tabla 14.37: Estándares de actividad requeridos para la planificación del mantenimiento de rodamientos de zona de descarga.	141
Tabla 14.38: Planificación de mantenimiento para la válvula guillotina de la zona de mezcla.	142
Tabla 14.39: Estándares de actividad requeridos para la planificación del mantenimiento válvula guillotina de la mezcladora.	142
Tabla 14.40: Planificación de mantenimiento para motor eléctrico mezcladora.	143
Tabla 14.41: Estándares de actividad requeridos para la planificación del mantenimiento del motor eléctrico de la mezcladora.	143
Tabla 14.42: Planificación de mantenimiento para las correas de la zona de descarga.	144

Tabla 14.43: Estándares de actividad requeridos para la planificación del mantenimiento de las correas de la zona de mezclado.....	144
Tabla 14.44: Planificación de mantenimiento para las mangas de la zona de filtrado.....	145
Tabla 14.45: Estándares de actividad requeridos para la planificación del mantenimiento de las mangas.	145
Tabla 14.46: Planificación de mantenimiento para extractor de zona de filtrado.	146
Tabla 14.47: Estándares de actividad requeridos para la planificación del mantenimiento del extractor.	146
Tabla 14.48: Planificación de mantenimiento para las mangas de la zona de filtrado.....	146
Tabla 14.49: Estándares de actividad requeridos para la planificación del mantenimiento del separador.....	146

Listado de figuras

Figura 1: Esquema plan de trabajo	19
Figura 2: Organigrama de la empresa.....	23
Figura 3: Diagrama de procesos general.	24
Figura 4: Diagrama de procesos planta de polvos.....	25
Figura 5: Diagrama de procesos planta de pastas.....	27
Figura 6: Diagrama de procesos planta de acuosos.....	29
Figura 7: Diagrama de procesos planta de solventes.....	31
Figura 8: Principales tipos de mantenimiento.	34
Figura 9: Layout de la planta.....	63
Figura 10: Acumulación de pérdida de arena por correa transportadora.	70
Figura 11: Distribución de los equipos según criticidad	86
Figura 12: Antes y después del mantenimiento del motor eléctrico de la mezcladora.	105
Figura 13: Estado del aro y la boquilla al realizar plan de mantenimiento por primera vez.	106

2. Introducción

Si bien en la actualidad cuando se piensa en adhesivos se tiende a asociar con las manualidades, los adhesivos en realidad tienen una gran importancia a nivel industrial, esto debido a que pueden simplificar distintos montajes, ya sea evitando tornillos, remaches, soldaduras, también para reforzar las uniones y prolongar su adherencia, pero por sobre todo son utilizados para unir superficies y distintos materiales de manera definitiva de manera prolija, el objetivo que tienen estos polímeros es unir superficies y utilizar a su favor las propiedades en la unión, como la flexibilidad del pegado, resistencia a la temperatura, impermeabilidad, entre otras. Ya con estos antecedentes, se trabaja en conjunto con una empresa donde se realizan estos productos en distintas presentaciones y formatos, ya sea en base acuosa, en base solvente o popularmente conocidos como adhesivo de contacto, en formato de pastas o en polvo que es utilizado frecuentemente ya sea en construcciones o llegando a nuestros propios hogares.

La finalidad de este trabajo de título es evitar las paradas no programadas y fallas en las líneas productivas de esta empresa, ya que estos inconvenientes afectan directamente a la producción, generando costos no previstos por productos perdidos y tiempos muertos. Además, al ser una industria química, una falla o falta de mantenimiento puede generar daño a la salud de los trabajadores.

En vista de lo mencionado anteriormente, el departamento de mantenimiento junto con gerencia, tienen la iniciativa de generar un plan de mantenimiento para mejorar el desempeño y los tiempos de producción de la misma empresa, se busca minimizar al máximo las fallas y paradas no programadas, además de potenciar y mejorar el desempeño de las máquinas, por lo que, se busca consolidar un plan estratégico de mantenimiento.

El paso a paso a seguir de esta investigación consta de una búsqueda de información general de la empresa y herramientas tácticas de mantenimiento que se adecuen a las necesidades y estrategias de negocio existentes. Posteriormente se realizará un levantamiento operativo para evaluar las condiciones actuales de las plantas en términos productivos, de operación y de mantenimiento, para luego determinar la criticidad de

procesos y equipos para aplicar la herramienta táctica adecuada con los requerimientos estudiados.

En línea con el objetivo de elaborar un plan de mantenimiento con la herramienta seleccionada, se estudia la factibilidad económica de la propuesta, para así validar todo el trabajo realizado.

3. Objetivos

El objetivo general que busca este trabajo de título es proponer plan de mantenimiento para equipos críticos en procesos de planta de adhesivos con la finalidad de evitar las paradas de planta no programadas.

Para obtener lo anterior es necesario plantear los siguientes objetivos específicos:

1. Realizar un levantamiento en los procesos para conocer el estado actual de la planta en términos de operación y mantenimiento.
2. Determinar la criticidad de procesos, equipos y componentes para jerarquizar la confección de un plan de mantenimiento.
3. Seleccionar la herramienta táctica de mantenimiento adecuada con los requerimientos de los procesos
4. Elaborar un plan de mantenimiento con herramienta seleccionada
5. Estudiar factibilidad económica asociada al plan de mantenimiento propuesto

4. Presentación del problema

La empresa en donde se trabaja es una industria química de producción de adhesivos, en sus instalaciones se originan distintos tipos de adherentes, ya sean del tipo base a solventes, en base acuosa, más densos del tipo pasta o en polvo. En las distintas plantas donde se trabaja, el principal inconveniente son las fallas y paradas no programadas que se presentan, por lo que el problema se reduce a la falta de mantenimiento o más específicamente a la falta de un plan de mantenimiento.

Si bien actualmente la empresa cuenta con un departamento de mantenimiento, solo se realizan acciones del tipo reactivas, es decir, solo se corrigen los imprevistos del momento, no existe una cultura de mantenimiento preventivo ni mucho menos del tipo predictivo, además al departamento se les dan pocas atribuciones y se tiene como prioridad producir, sin tener en cuenta el daño que esto puede causar a la maquinaria, la misma producción y a la seguridad de los operarios.

Otro problema que también está presente es la falta de seguimiento que se tiene de las reparaciones que se realizan, por lo que debido al descuido que existe, vuelven a presentar inconvenientes. Además, tampoco se busca la causa raíz del problema, ni se indaga profundamente en el este, simplemente se repara y se queda a la espera de que vuelva a presentar alguna falla o parada imprevista para prestarle atención y realizar las acciones correspondientes, por lo que tampoco se estaría realizando un mantenimiento del tipo proactivo luego de las fallas para evitar su ocurrencia.

Es importante mencionar que el encargado de mantenimiento al tener tantos problemas de qué preocuparse, olvida lo importante que es tener métricas para el proceso de mejora y tampoco documenta todos los cambios, modificaciones, fallas y ocurrencias de las plantas.

Por lo que es de suma importancia comenzar a implementar una cultura de mantenimiento en la empresa y con ayuda del personal lograr implementar un plan de mantenimiento del tipo preventivo que pueda aliviar los dolores que se presentan.

5. Plan de trabajo

El plan de trabajo diseñado debe ser implementado en línea con los objetivos previamente definidos, que deben ir completándose a medida que se avance con la investigación, por lo que se describe un paso a paso con orden lógico de etapas y acciones a realizar para finalmente obtener el estudio de factibilidad económica asociada al plan de mantenimiento propuesto.

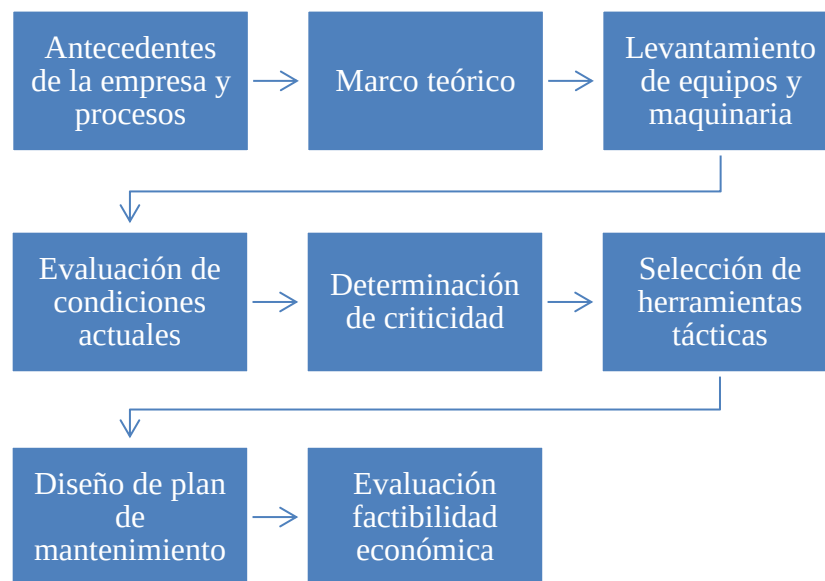


Figura 1: Esquema plan de trabajo

Fuente: Elaboración propia

Antecedentes de la empresa y proceso

Recopilación de información de la empresa, equipos, procesos, líneas productivas y aspectos organizacionales relevantes.

Marco teórico

Definición y aterrizaje de conceptos asociados al desarrollo del trabajo de título, descripción de las herramientas técnicas y normativas a utilizar.

Levantamiento de equipos y maquinaria

Se realiza un diagnóstico de las condiciones en las que se encuentra la planta, sus maquinarias y componentes, para tener claras las condiciones en que se encuentran los activos.

Evaluación de condiciones actuales

Se evalúa la información obtenida en el levantamiento previo, para cruzar la información respecto a fallas y paradas presentadas por equipos, para obtener los modos de falla y su frecuencia.

Determinación de criticidad

Luego de evaluar las condiciones actuales, se procede a jerarquizar los equipos y componentes mediante distintas herramientas, con la finalidad de encontrar los equipos y/o componentes críticos que serán la prioridad para desarrollar las siguientes etapas

Selección de herramientas tácticas

Se selecciona la herramienta táctica en la que se basará el diseño del plan de mantenimiento, se elige la que mejor se adecue a los requerimientos de la estrategia de negocio, la producción, los trabajadores y mantenedores.

Diseño de plan de mantenimiento

Se diseña el plan de mantenimiento con la herramienta seleccionada para los equipos/componentes más críticos. En esta etapa se definen los pasos a seguir con los equipos a estudiar, que tipo de mantenimiento se aplicará a cada componente/equipo y la frecuencia en la que deben realizarse, además del stock de repuestos críticos.

Evaluación factibilidad económica

En esta etapa final se presenta la propuesta de plan de mantenimiento, junto con el estudio y evaluación del costo asociado a la planificación y ejecución. En el plan se presentan los aspectos a mejorar, tareas y acciones a ejecutar, además de los ahorros que presenta el plan, hablando tanto de costo monetario como de disponibilidad de maquinaria.

6. Antecedentes de la empresa y procesos

Con unidades productivas en Brasil, Chile, México, Argentina, Perú y Colombia, además de una red de distribuidores exclusivos en toda América Latina, la empresa invierte, constantemente, para crear soluciones innovadoras para sus clientes.

Referencia en insumos químicos y suministros industriales en América Latina, la empresa fabrica productos para las más diferentes aplicaciones, pero todos ellos con un punto en común: innovación para resultados.

La empresa cuenta con una amplia gama de adhesivos capaces de satisfacer requerimientos de adhesión en diversas industrias, contando principalmente con cuatro plantas en esta ubicación; la planta de solventes, acuosos, pastas y polvos.

6.1. Marco estratégico

La empresa tiene un marco estratégico compuesto de misión corporativa, misión adhesivos y valores.

Misión corporativa:

Entregar soluciones innovadoras en las cadenas de valor en las que actuamos, generando retornos superiores para todas las partes interesadas.

Misión Adhesivos

Desarrollar relaciones duraderas, ofreciendo soluciones en sistemas de fijación y cierre a través de servicios y tecnologías diferenciadas.

Valores

- Resultados: Compromiso para la perpetuidad
- Clientes: Prioridad y compromiso con su negocio.
- Integridad: Transparencia y coherencia en las actitudes.
- Innovación: Diferenciación en las soluciones ofrecidas.
- Personas: Valorización y desarrollo de nuestra gente.

- Sustentabilidad: Económica, social y ambiental.

Política de calidad

En la empresa se brindan soluciones diferenciadas para los clientes. Esto se logra a través de la búsqueda de excelencia en los procesos, aplicando la mejora continua, para tomar los negocios más competitivos y generar valor a las partes interesadas, cumpliendo con los requisitos aplicables.

6.2. Historia

La empresa, fue fundada en Brasil en 1948, por el Sr. Francisco Xavier Kunst. Inicialmente el objetivo de la empresa era producir adhesivos para suplir el mercado emergente de la Industria Calzadista de la región “Vale dos Sinos” zona metropolitana de Porto alegre en RS – Brasil.

Durante el año 2000, se funda la empresa en Chile, más específicamente en Santiago, operando como Centro de Distribución.

En mayo de 2007 el grupo empresarial adquiere tres de las empresas de Artiquim S.A., la cual inició sus operaciones en 1944 y que a su vez poseía unidades productivas como Pegamentos Sintéticos S.A., que está entre las dos mayores de Perú y a Asequim en Argentina.

Hoy una de las más innovadoras empresas productoras de adhesivos industriales, laminados especiales y suministros para calzados de América Latina.

Además de ser reconocida en el mercado del calzado, el grupo actúa también en diferentes mercados como el sector del mueble, automotriz, de papel y embalajes, entre otros. Con unidades productivas en Brasil, Chile, México, Argentina, Perú y Colombia, además de una red de distribuidores exclusivos en toda América Latina. La empresa invierte, constantemente, para crear soluciones innovadoras para sus clientes, siendo una referencia en insumos químicos y suministros industriales con diferentes aplicaciones, pero todos ellos con un punto en común: innovación para resultados.

6.3. Organización de la empresa

La empresa cuenta con una amplia estructura organizacional, por lo que a continuación se presenta la organización en detalle del área de producción.

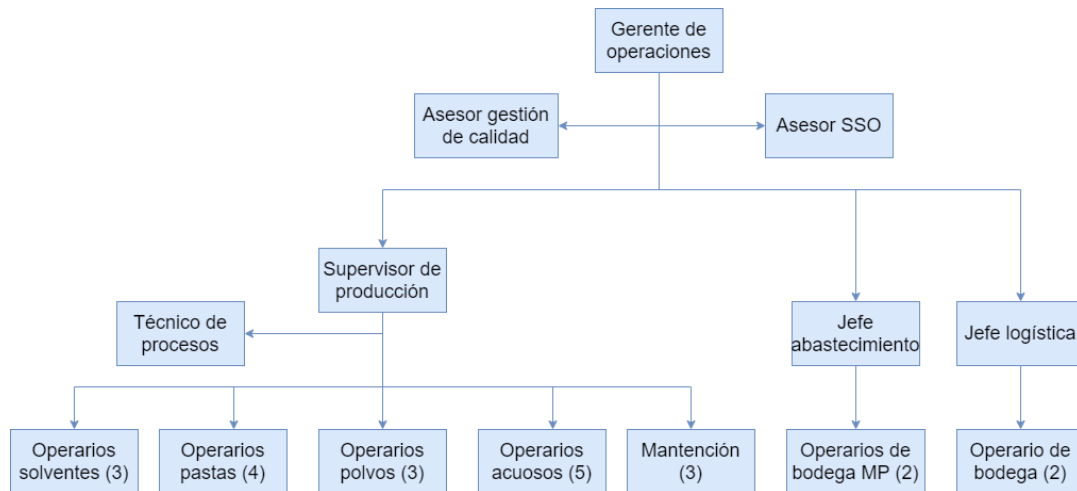


Figura 2: Organigrama de la empresa.

Fuente: Elaboración propia.

6.4. Proceso productivo

Tal como se presenta en la Figura 3, y se ha expuesto anteriormente, existen cuatro procesos productivos dentro de la empresa, donde se producen adhesivos con base de solventes, adhesivos con base acuosa, adhesivos del tipo pasta y adhesivos en polvo.

A continuación, se muestran los procesos productivos de cada planta:

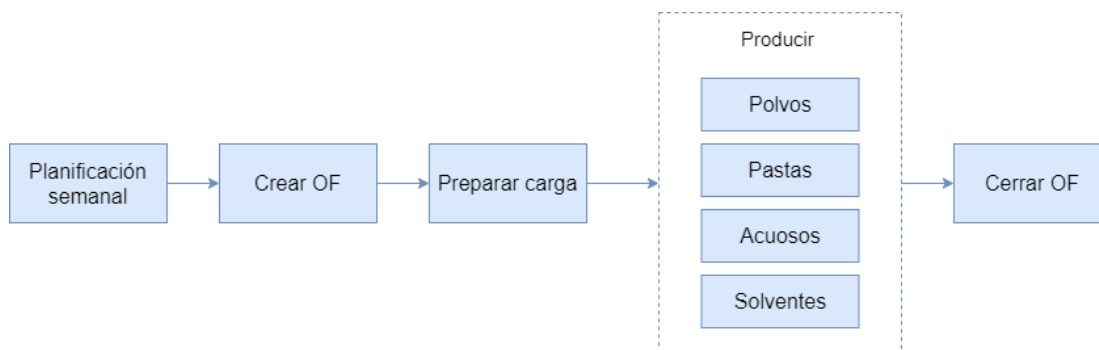


Figura 3: Diagrama de procesos general.

Fuente: Elaboración propia basada en base de datos de la empresa.

6.4.1. Polvos

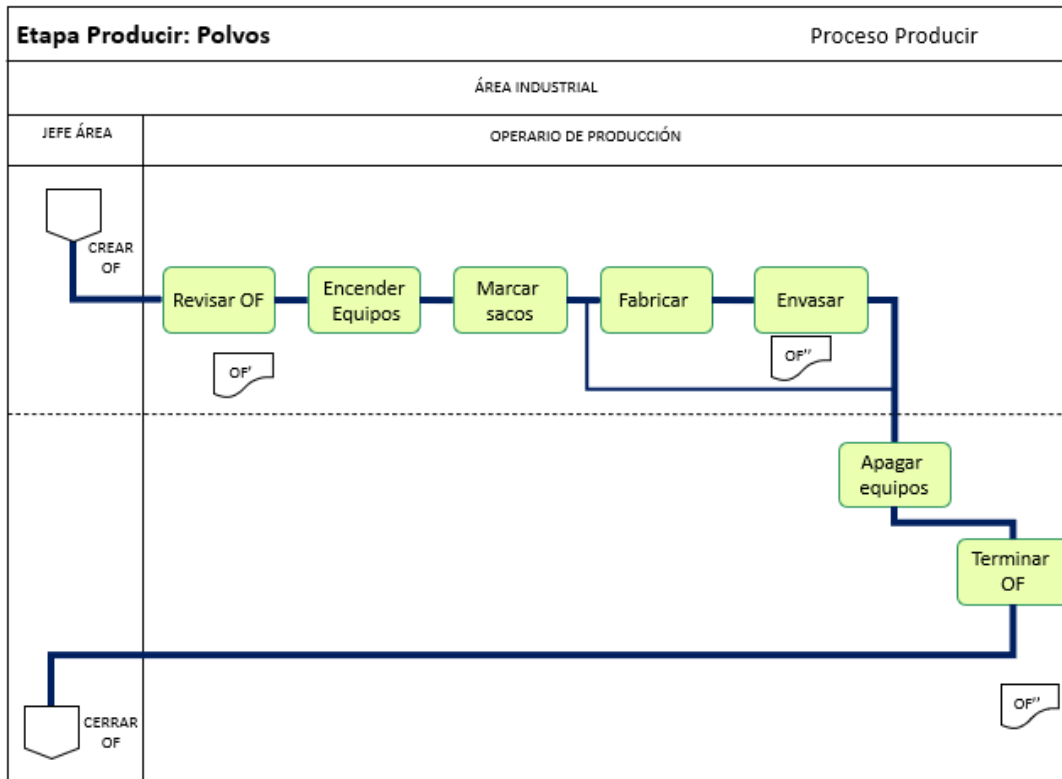


Figura 4: Diagrama de procesos planta de polvos.

Fuente: Base de datos empresa.

6.4.1.1. Descripción de tareas

- Revisar OF

A cargo de: Operario de producción.

1. Revisar el producto a fabricar según OF.
2. Revisar Materias Primas (MP's) a utilizar.
3. Anotar Lotes a Fabricar en la OF.

- Encender equipos

A cargo de: Operario de producción.

1. Encender Mezclador a utilizar.
2. Encender Compresor.
3. Encender Envasadora.

4. Encender Equipo de Extracción.

- Marcar sacos

A cargo de: Operario de producción.

1. Identificar el producto a fabricar.
2. Identificar la cantidad de sacos a producir.
3. Marcar con plumón los sacos a producir con el producto a fabricar.
4. Identificar la cantidad de sacos según lote.
5. Marcar sacos según lotes, con etiquetas de aprobado.

- Fabricar

A cargo de: Operario de producción.

1. Fabricar producto según OF, repetir según cantidad de partidas a fabricar.

- Envasar

A cargo de: Operario de producción.

1. Una vez aprobado el producto por el LCQ, llenar saco válvulado con producto.
2. Disponer de pallet (1 x1.2 mts).
3. Poner cartón en la base del pallet.
4. Poner filas de 8 o 7 sacos según producto.
5. Alternar el orden de las filas.
6. Apilar hasta obtener las 10 filas.
7. Envolver el pallet en film stretch.
8. Apilar de máximo dos pallets.

- Apagar equipos

A cargo de: Operario de producción.

1. Apagar Mezclador utilizado.
2. Apagar Compresor.
3. Apagar Envasadora.
4. Apagar Equipo de Extracción.

- Terminar OF

A cargo de: Operario de producción.

1. Contar los sacos producidos.
2. Anotar los sacos producidos en la OF.
3. Entregar la OF al jefe de Producción para su posterior ingreso al sistema.

6.4.2. Pastas

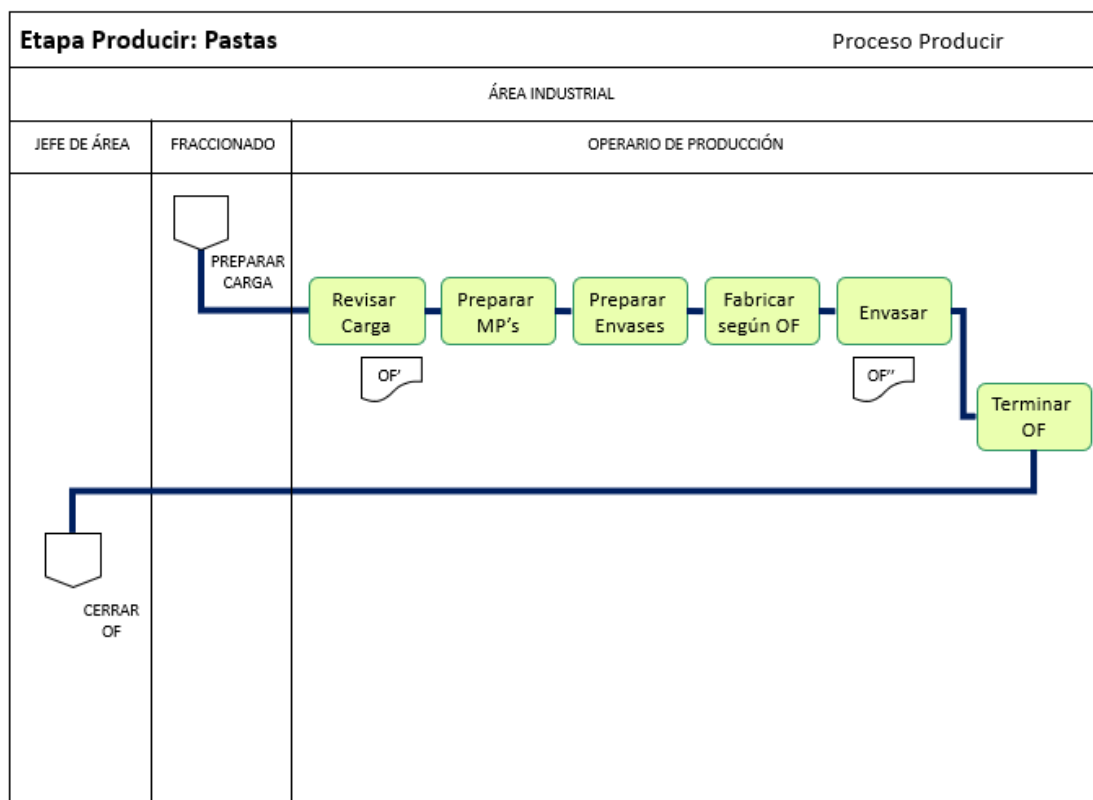


Figura 5: Diagrama de procesos planta de pastas.

Fuente: Base de datos empresa

6.4.2.1. Descripción de tareas

- Revisar Carga

A cargo de: Operario de producción.

1. Revisar el producto a fabricar.
2. Revisar las cantidades de las MP's recepcionadas.

- Preparar MP's.

A cargo de: Operario de producción.

1. Identificar las MP's que no son enviadas por el área de fraccionado.
2. Fraccionar las cantidades de estas MP's a utilizar (líquidos o carbonatos).

- Preparar Envases

A cargo de: Operario de producción.

1. Identificar el producto a fabricar.
2. Identificar los formatos solicitados en la OF.
3. Solicitar las cantidades de insumos a fraccionado (Envases).
4. Etiquetar los envases y poner el lote.
5. Armar las cajas necesarias para el envasado del producto.

- Envasar

A cargo de: Operario de producción.

1. Una vez aprobado el producto por el LCQ, llenar el envase con el producto fabricado, confirmando su peso.
2. Tapar o sellar el envase.
3. Poner los envases en su correspondiente caja, si aplica.
4. Colocar los aprobados entregados por LCQ en las cajas o envases, asegurando su presentación.
5. Disponer de pallet (1x1.20m).
6. Poner el Producto Terminado (PT) en el pallet.
7. Asegurar el pallet con film stretch.

- Terminar OF

A cargo de: Operario de producción.

1. Contar las cajas o unidades producidas y anotarlas en la OF.
2. Llevar el producto hacia afuera de la Bodega Central.
3. Entregar la OF al jefe de Producción para su posterior ingreso al sistema.

6.4.3. Acuosos

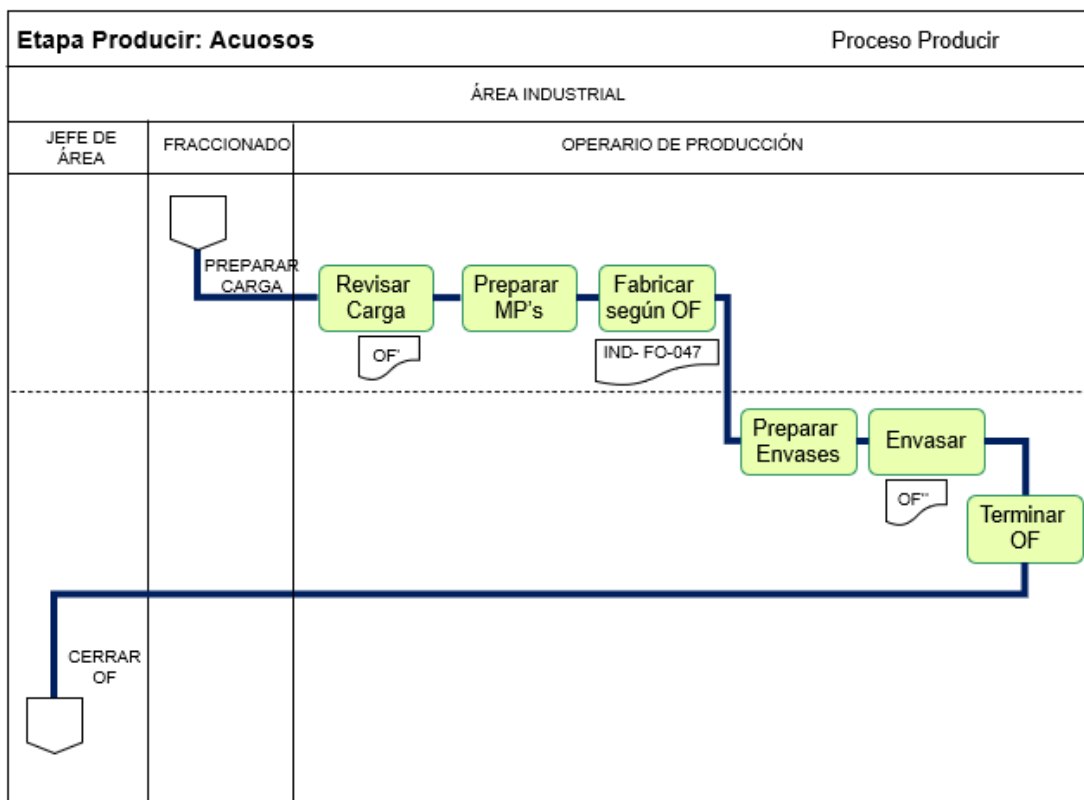


Figura 6: Diagrama de procesos planta de acuosos.

Fuente: Base de datos empresa

6.4.3.1. Descripción de tareas

- Revisar Carga.
A cargo de: Operario de producción.
 1. Revisar el producto a fabricar.
 2. Revisar las cantidades de las MP's recepcionadas.
- Preparar MP's
A cargo de: Operario de producción.
 1. Identificar las MP's que no son enviadas por el área de fraccionado.
 2. Fraccionar las cantidades de estas MP's a utilizar (líquidos o carbonatos).
- Fabricar según OF.
A cargo de: Operario de producción.

1. Preparar los recursos necesarios para la fabricación del producto (vapor, aire, enfriamiento, monómero en premix, etc).
 2. Fabricar producto según OF.
 3. Controlar la temperatura en polimerizaciones, si aplica.
- Preparar Envases

A cargo de: Operario de producción.

 1. Identificar el producto a fabricar.
 2. Identificar los formatos solicitados en la OF.
 3. Solicitar las cantidades de envases a fraccionamiento (Envases).
 4. Preparar los envases, etiquetar y poner el lote.
 - Envasar

A cargo de: Operario de producción.

 1. Una vez aprobado el producto por el LCQ, llenar el envase con el producto fabricado, controlando su peso.
 2. Tapar o sellar el envase, colocar el aprobado entregado por LCQ, asegurando su presentación.
 3. Disponer de pallet (1x1.20m) si aplica.
 4. Poner el Producto Terminado (PT) en el pallet, si aplica.
 5. Asegurar el pallet con film stretch, si aplica.
 - Terminar OF

A cargo de: Operario de producción.

 1. Contar las unidades producidas y anotarlas en la OF.
 2. Llevar el producto hacia afuera de la Bodega Central o Patio de acopio de totes.
 3. Entregar la OF al jefe de Producción para su posterior ingreso al sistema.

6.4.4. Solvente

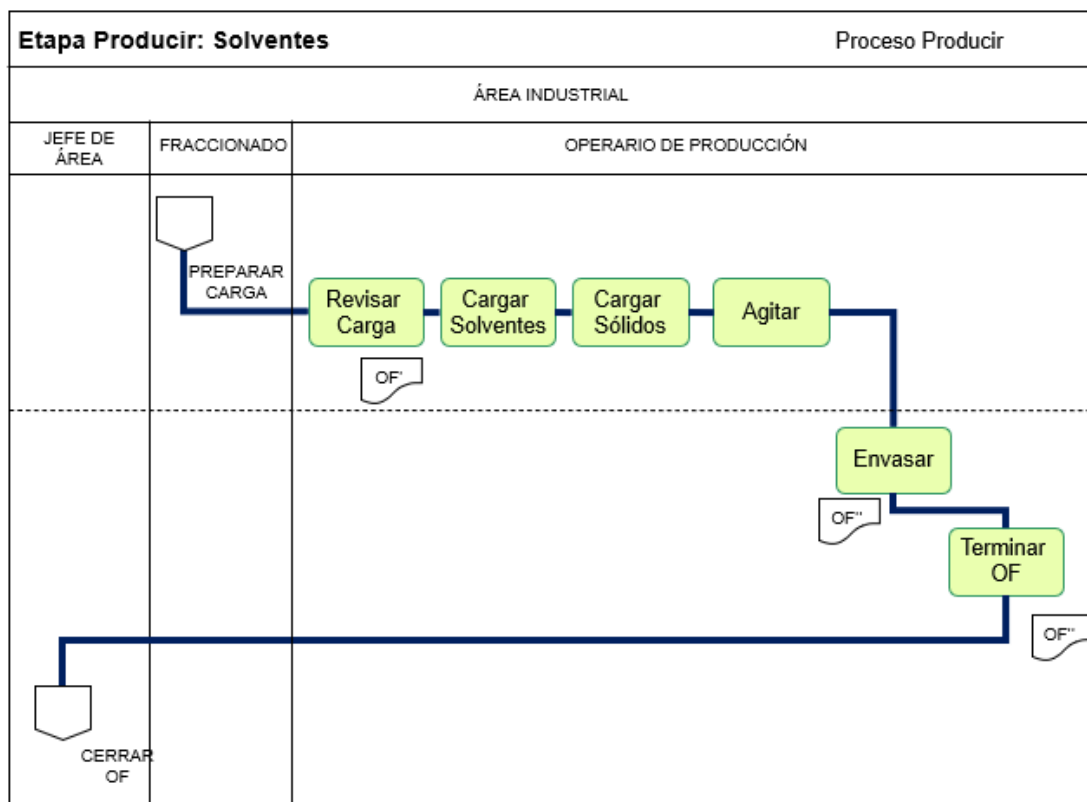


Figura 7: Diagrama de procesos planta de solventes.

Fuente: Base de datos empresa

6.4.4.1. Descripción de tareas

- Revisar Carga
A cargo de: Operario de producción.
 1. Revisar el producto a fabricar según OF.
 2. Revisar las cantidades de las MP's recepcionadas.
- Cargar Solventes
A cargo de: Operario de producción.
 1. Según se indique en la OF, cargar la cantidad de solventes necesarios para la fabricación del producto.
 2. En caso de dudas, verificar procedimiento de fabricación asociado en la OF o consultar con el LCQ.
- Cargar Sólidos

A cargo de: Operario de producción.

1. Según indica la OF, cargar los sólidos necesarios para la fabricación del producto.
2. En caso de dudas, verificar el procedimiento de fabricación asociado a la OF o consultar con el LCQ.

- Agitar

A cargo de: Operario de producción.

1. Dejar el producto en agitación según el producto lo indique.
2. Sacar muestra para la aprobación del producto por LCQ.
3. Según indique LCQ, realizar ajustes necesarios para la aprobación del producto.

- Envasar

A cargo de: Operario de producción.

1. Identificar los formatos solicitados en la OF.
2. Solicitar las cantidades de envases y cajas a producir.
3. Armar las cajas necesarias para el envasado del producto.
4. Una vez aprobado el producto por el LCQ, envasar controlando su peso.
5. Embalar el producto fabricado, identificándolo con los aprobados entregados por LCQ, asegurando su presentación.
6. Disponer de pallet (1x1.20m).
7. Poner el Producto Terminado (PT) en el pallet.
8. Asegurar el pallet con film stretch.

- Terminar OF

A cargo de: Operario de producción.

1. Contar las cajas o unidades producidas y anotarlas en la OF.
2. Solicitar el retiro del PT al Bodeguero de Sustancias Inflamables.
3. Entregar la OF al jefe de Área para su posterior ingreso al sistema.

7. Marco teórico

La finalidad de este trabajo de título es desarrollar un plan de mantenimiento, por lo que es relevante conocer ciertos conceptos y herramientas esenciales, los cuales serán presentados a continuación:

7.1. Mantenimiento

Una de las definiciones que presenta La Real Academia Española, plantea que el mantenimiento es un conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que instalaciones, edificios, industrias, etc., puedan seguir funcionando adecuadamente [1] adicionalmente el autor Alejandro Pistarelli plantea que el mantenimiento es un proceso que tiene como misión lograr los niveles establecidos de disponibilidad para las funciones de la instalación en su contexto operativo, valiéndose de talentos humanos, recursos, activos, controles y mecanismos de gestión, y satisfaciendo los niveles de Producción/Servicio comprometidos por la Organización durante un determinado horizonte de tiempo con los estándares de seguridad vigentes y sin incurrir en gastos que no contribuyan con el sostenimiento de las condiciones anteriores. [2]

Es importante mencionar que existen distintos tipos de mantenimiento, los cuales son importantes conocer para el desarrollo de este trabajo.

7.1.1. Tipos de mantenimiento

Basado en lo que presenta Pistarelli [2] es apropiado separar los tipos de mantenimientos en dos grupos, por un lado, se encontrarán las acciones del tipo reactivas y por el otro las acciones del tipo proactivas, tal como se presenta a continuación:

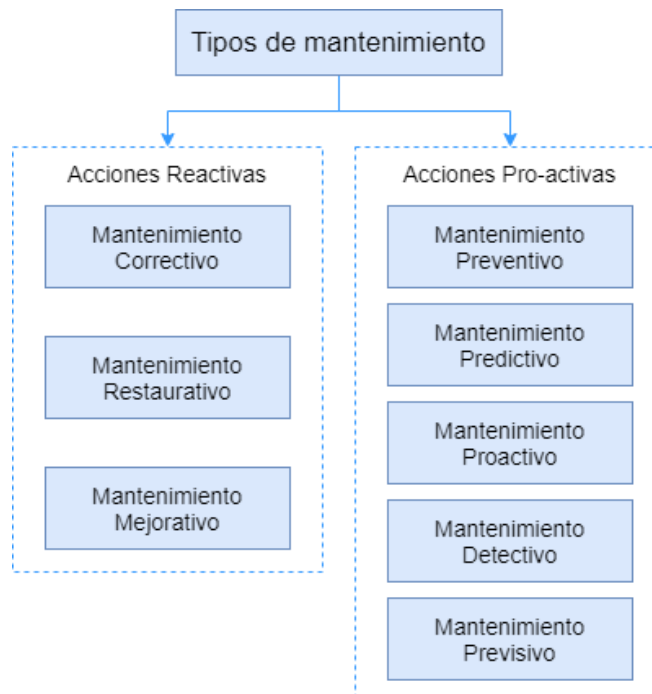


Figura 8: Principales tipos de mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia basado en Manual de Mantenimiento [2].

Las *acciones reactivas* se refieren a tomar medidas para restablecer funciones originales que fueron perdidas por eventos no previstos, en algunos casos puede ser una emergencia donde claramente no existe una programación o es improvisada.

Las *acciones proactivas* son las que constituyen los planes de mantenimiento, tienen el objetivo de impedir las fallas o minimizar sus consecuencias y frecuencia. Gestionar los eventos de falla antes de que ocurran, es llevar adelante *acciones proactivas*.

A continuación, se explicarán los tipos de mantenimiento importantes a conocer para clarificar aspectos de este trabajo de título:

- **Mantenimiento correctivo:**

Según Pistarelli [2] es la reparación de fallos o averías funcionales a medida que se van produciendo, en general el operador de la máquina es quien las identifica y notifica al personal capacitado para reparar, en algunas ocasiones el mismo operador es quien las puede corregir.

Muchas de estas reparaciones resultan no ser definitivas y en exceso tienden a aumentar el número de equipos en paralelo, lo que dificulta el presupuesto debido a la aleatoriedad de los eventos, aumentando también los gastos de operación y mantenimiento.

- **Mantenimiento Preventivo**

Este tipo de mantenimiento busca disminuir la frecuencia de paradas no programadas, encontrando el momento más adecuado para la producción, como para el mantenimiento, esta estrategia de mantenimiento permite preparar los repuestos, insumos herramientas y tener más tiempo para reunir al personal más capacitado. En este tipo de mantenimiento se encuentran los servicios de inspección cíclicos, conservación y restauración de ítems para prevenir, detectar o corregir defectos sin importar necesariamente el estado del ítem a mantener.

- **Mantenimiento Predictivo**

Esta estrategia de mantenimiento hace posible detectar síntomas prematuros de desajustes o desperfectos antes de que se produzca la parada no programada. Al estar atentos, por medio de herramientas tecnológicas adecuadas se tendrán las alertas correspondientes para monitorear el estado de los componentes para determinar anticipadamente la mayor cantidad de potenciales fallas.

Con esta información se puede programar su reemplazo o reparación, algunas de las herramientas que se pueden utilizar son: Análisis de vibraciones, termografía infrarroja, análisis de partículas de desgaste, análisis de amperaje, inspección de ultrasonido, emisión acústica, etc.

- **Mantenimiento Proactivo**

Como afirma Alejandro Pistarelli [2], parecido al mantenimiento predictivo se monitorean las propiedades de ciertos parámetros en los componentes antes de decidir realizar una intervención, pero buscando causas raíz que pudieran provocar una falla sintomática, por lo que el mantenimiento proactivo busca anticiparse y establecer con la debida antelación, la causa raíz de la falla.

Algunos ejemplos de mantenimiento proactivo son el monitoreo de contaminantes de un lubricante, conteo de partículas, alineación y balanceo, monitoreo de viscosidad y acidez de lubricantes, etc.

7.1.2. Indicadores de mantenimiento

Los indicadores de rendimiento de mantenimiento o KPIs (Key Performance Indicators) son métricas que determinamos para medir el rendimiento de una acción determinada. Pueden medir tanto el tiempo ocupado con una parada (planificada o no), como la evolución de la producción.

Las métricas de mantenimiento varían según la empresa, sus objetivos, las estrategias y el plan de acción definidos. Sin embargo, hay un conjunto de métricas que son más importantes y se usan más a menudo.

La idea es poner en práctica la técnica SMART: Specific, Measurable, Attainable, Relevant, Timely (Específico, Medible, Alcanzable, Relevante, a Tiempo)

Aunque los KPIs tienen una relación directa con los objetivos que se pretende alcanzar, no son metas. Un KPI de mantenimiento es una métrica que sirve para evaluar, de forma cuantitativa el rendimiento de una determinada actividad, activo o departamento.

Es por esto, que se utilizan las siguientes métricas:

- MTBF (Mean Time Between Failures):

También conocido como el Indicador de **confiabilidad**, mide la tasa de fallos aleatorios, es decir que no son previstos. Es una métrica temporal en la que se considera el intervalo entre un fallo y el siguiente, por lo que mientras más alto sea el MTBF más fiable es el equipo.

La fórmula para calcular el MTBF es restar del Tiempo Total Disponible (TTD) el Tiempo Total Perdido (TTP); dividido por el Número de Paradas. El TTD puede ser de 24 horas o el período de tiempo que el equipo está en funcionamiento. El TTP considera el tiempo perdido hasta que el equipo vuelva a estar operativo.

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total disponible} - \text{Tiempo de inactividad}}{\text{Número de paradas}}$$

- MTTR (Mean Time To Repair)

Este indicador se puede aplicar a un activo. Considera el tiempo medio que tarde su equipo técnico en intervenir o resolver una avería o problema después de que haya ocurrido. El objetivo es reducir al máximo este KPI de mantenimiento. En cierto modo, la reducción del MTTR sirve de detonante para tomar decisiones que mejoren su estrategia de mantenimiento, siempre con el objetivo de maximizar los beneficios y reducir los riesgos.

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo Total de mantenimiento}}{\text{Número de reparaciones}}$$

7.1.3. Costos de mantenimiento

Los planes de mantenimiento deben ir sustentado de una planificación, donde la inversión y expectativas deben ir alineadas con los objetivos, estrategia y visión de la empresa.

El mantenimiento muchas veces puede ser considerado un gasto más que una inversión o un seguro de producción, por lo que las empresas organizadas toman los gastos de mantenimiento y manifiestan interés por dicho costo y su crecimiento, tomando en cuenta el bienestar y la funcionalidad de la planta y los activos en la producción.

El manejo adecuado de estos puede discrepar entre la competitividad y la ruina de la empresa que debe prepararse para el reto de nuevos conocimientos y procesos. Por lo que se hace importante conocer los componentes de los costos para minimizarlos.

El manual de mantenimiento, ingeniería, gestión y organización de Alejandro Pistarelli menciona que los gastos de mantenimiento se agrupan con dos criterios, por tipo de gasto y por la relación con el volumen de actividad.

La primera categorización contempla gastos por:

- Mano de obra:

Este puede representar el mayor gasto en mantenimiento. Los gastos en mano de obra asociados a acciones proactivas y correctivas surgen de planificar la demanda de dichas acciones en función de la planificación del mantenimiento de cada activo, ya que solo así se puede establecer con certeza el volumen de dotación del personal que se encarga de las labores administrativas y técnicas.

- Materiales:

Los repuestos, insumos y materiales constituyen un buen porcentaje del total de los gastos operativos de mantenimiento. Estos se generan por los repuestos retirados del almacén y que son consumidos por las tareas de mantenimiento, insumos, materiales y herramientas.

- Terceros:

Si bien la tercerización tiende a bajar los gastos fijos y suele utilizarse ocasionalmente, ya sea en un trabajo especializado, paradas de planta o cuando se quiere reducir el tiempo de detención debido a que se debe realizar más de una tarea a la vez y se requiere mayor personal.

- Financieros:

Aquí se incluye el gasto por mantener stock de insumos inmovilizado, el costo de amortización o bien instrumentación especializada para tareas de alta complejidad.

- Por fallos:

Se refieren a la pérdida de beneficio que la empresa afronta debido al actuar del departamento de mantenimiento, la ocurrencia de fallas puede reflejarse en productos defectuosos, detenciones, desechos, reprocesos o mayores gastos por reparaciones.

La segunda categorización contempla gastos:

- Fijos

Son aquellos en las que incurre la empresa independiente del volumen de la actividad, como remuneraciones del personal, gastos administrativos, repuestos de uso programado, servicios contratados periódicamente, entre otros.

- Variables

Son los que guardan relación con el volumen de la actividad de mantenimiento o el régimen de funcionamiento de los activos, como las horas extras y repuestos necesarios debido a acciones no previstas.

7.2. SIPOC

Esta herramienta es utilizada para identificar y aclarar lo que se necesita para crear un producto o un servicio. Su sigla, que está en inglés, simboliza los términos Proveedores, Insumos, Procesos, Salidas y Clientes. Con este modelo se permite vincular los requerimientos que presenta el cliente con lo que se requiere del proveedor.

Para este modelo se define:

- Proveedor: Son las empresas o personas que proveen de insumos al proceso, que pueden ser materiales, información y/o recursos.
- Insumo: Se define como insumo todo material, información y/o soporte que necesita el proceso.
- Proceso: Es toda actividad o acción necesaria para convertir los insumos en salidas.
- Salidas: Son todas las salidas del proceso, todas estas deben ser medibles.
- Clientes: Es toda parte interesada para el cual la salida fue creada.

7.3. ISO 31000

La ISO 31000 es una norma internacional que proporciona principios y directrices genéricas sobre la gestión del riesgo. Esta norma define el riesgo como el efecto de la incertidumbre sobre los objetos, con lo anterior se define además la gestión de riesgo, como las actividades coordinadas para dirigir y controlar una organización en lo relativo al riesgo. La gestión del riesgo es fundamental en el presente trabajo de título, ya que, al ser parte de un ámbito industrial, la gestión de riesgo controla y disminuye las amenazas o potenciales catástrofes en el contexto operacional, ya sea en pérdida de producción, daño al medio ambiente, ocurrencia de accidentes o riesgo en la salud de los trabajadores.

Debido a lo anterior, el riesgo es un ámbito para tomar en cuenta en el desarrollo del plan de mantenimiento, pues la manipulación responsable y el mantenimiento de los equipos son ejes fundamentales para manejar los riesgos que la operación de los equipos conlleva. La mala gestión del riesgo puede generar accidentes con tiempo perdido para la producción, además de accidentes a los trabajadores o consecuencias al medio ambiente.

La norma plantea los siguientes pasos para lograr una implementación de la gestión del riesgo:

- Planificación de la evaluación
- Diseño de la estructura de trabajo (Gestión de riesgo)
- Implementación de la gestión de riesgo (Con herramientas de la 31010)
- Seguimiento y revisión de la estructura
- Continuar con la mejora de la gestión
- Registro del proceso de gestión de riesgos

En el primer paso, donde se planifica la evaluación se define el contexto donde se desarrollará la gestión de riesgo, es decir, definir el alcance, los objetivos que se buscan cumplir, donde se aplicará esta gestión y hasta donde abarcará.

En el segundo punto, se debe realizar un levantamiento de la información completo, donde se recolecte información que permita analizar los datos para desarrollar y aplicar los modelos que se estimen convenientes.

Ya para el siguiente paso, con el levantamiento se busca identificar los riesgos y sus antecedentes, es decir, el origen de estos y sus causas. Con esto terminado, se debe verificar la eficacia de los controles que existen actualmente para mitigar estos riesgos, para tener conocimiento de las consecuencias y probabilidad de ocurrencia, es decir, tener conocimiento de su ocurrencia, severidad y detectabilidad. Idealmente con ayuda de las herramientas presentadas en la ISO 31.010.

Para el cuarto paso, se deben validar los resultados, además de monitorear y revisar los avances. El quinto paso es la aplicación de los resultados para apoyar las decisiones sobre la importancia del riesgo. El último paso, es registrar el proceso y los resultados de la evaluación de riesgos para poder usarlos en un futuro.

7.3.1. ISO 31010

La ISO 31.010 es una norma de soporte a la ISO 31.000, esta proporciona distintas herramientas para la gestión del riesgo y busca dar cumplimiento a los pasos de la ISO 31.000

A continuación, se muestran las herramientas extraídas de esta norma que tienen mayor relevancia en este trabajo de título.

7.3.1.1. Matriz de riesgo

Según la norma, la matriz de riesgo es un medio que combina clasificaciones cualitativas, semicuantitativas o cuantitativas, es una forma de mostrar los riesgos de acuerdo con su consecuencia y probabilidad, para combinar estas características y obtener una ponderación de la importancia del riesgo.

Para los ejes de la matriz se definen escalas personalizadas, los ejes pueden tener puntos, ya sean cualitativos, semicuantitativos o cuantitativos, tal como se menciona con anterioridad, los cuales deben ir en línea y consecuentes con la información disponible de la empresa.

Esta matriz requiere ser desarrollada con un equipo que entienda los riesgos que se están clasificando, se requiere también de información disponible para usar escalas lo más reales y aterrizadas posible.

Las **ventajas** de esta herramienta se presentan a continuación:

- Es relativamente fácil de usar
- Entrega una rápida clasificación de los riesgos en sus diferentes niveles de importancia.
- Entrega una clara visualización de la relevancia y significancia por nivel de riesgo.
- Puede ser utilizada para comparar riesgos con diferentes tipos de consecuencias.

Por otro lado, esta herramienta tiene las siguientes **desventajas**:

- Requiere experticia para diseñar una matriz con validez.
- Puede ser difícil definir escalas comunes que se apliquen en una variedad de circunstancias relevantes para una organización
- Su uso es muy subjetivo y diferentes personas suelen asignar calificaciones distintas al mismo riesgo. Esto lo deja abierto a la manipulación.

7.3.1.2. FMECA

La sigla FMECA significa Análisis de modos de falla, efectos y criticidad por sus siglas en inglés (Failure Modes and Effects Analysis). Esta herramienta subdivide un activo, un sistema, un proceso, un equipo u otros, en elementos. Luego de esto, para cada elemento se consideran las maneras en que pueda fallar, sus causas y los efectos de este fallo, luego se realiza un análisis de criticidad para definir la importancia de cada modo de falla.

Para cada elemento se debe registrar lo siguiente:

- Su función
- La falla / modo de falla que podría ocurrir.
- Los mecanismos que pueden provocar la falla.
- La naturaleza de las consecuencias en caso de ocurrir la falla / modo de falla.

- La gravedad de la falla, es decir si es inofensiva o dañina.
- Como y cuando se puede detectar la falla.
- Las provisiones inherentes que existen para compensar la falla.

Las ventajas y fortalezas de utilizar esta herramienta son las siguientes:

- Se puede aplicar ampliamente a modos humanos, técnicos, y procedimientos.
- Identifica modos de falla, sus causas y sus efectos en el sistema, presentándolos en un formato de fácil lectura.
- Evita la necesidad de costosas modificaciones de los equipos en servicio al identificar los problemas de manera temprana en el proceso de diseño.
- Brinda información para los programas de mantenimiento y monitoreo al resaltar características clave para ser monitoreado.

Las limitaciones que presenta la herramienta son las siguientes:

- Solo se puede usar para identificar modos de falla únicos, no combinaciones de modos de falla.
- A menos que estén adecuadamente controlados y enfocados, los estudios pueden llevar mucho tiempo y ser costosos.
- Puede ser difícil y tedioso para sistemas complejos de múltiples capas.

7.4. RCM

Como se presenta en el texto *“Manual de mantenimiento, ingeniería, gestión y organización”*, el RCM o Mantenimiento centrado en la confiabilidad por sus siglas en inglés (Reliability Centred Maintenance) es un método estructurado, deductivo y participativo que define la estrategia de mantenimiento más apropiada para cada equipo actuando en su contexto operativo real. Esta introduce la idea hoy entendida por la mayoría, que el mantenimiento tiene como finalidad asegurar que las funciones de los equipos se mantengan en el tiempo.

Hacer RCM e implementar sus recomendaciones, es alinear el mantenimiento con las metas del negocio.

Anthony Smith define al RCM como: Una filosofía de gestión del mantenimiento, en la cual un grupo multidisciplinario de trabajo se encarga de optimizar la confiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, estableciendo las actividades más efectivas de mantenimiento en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema.

Como regla general, el RCM busca responder siete preguntas fundamentales dispuestas de tal forma que se constituyen dos etapas claramente diferentes. En la primera, se definen y determinan las funciones, fallas funcionales, modos de falla y efecto de los fallos, lo que significa responder a las cuatro primeras preguntas. La información resultante genera una planilla llamada Hoja de Análisis. La segunda etapa (responder las 3 últimas preguntas), define las tareas de mantenimiento más efectivas y económicas o las acciones alternativas (reactivas) en caso de no encontrarlas. Para esto último se usa un diagrama de decisión al que se somete cada modo de falla, y se obtiene la Hoja de Resultados. La Hoja de Resultados contiene el plan de mantenimiento sugerido por la revisión RCM (con responsable y frecuencia de ejecución) y las acciones de mejora a implementar en el activo o en los procedimientos de operación.

7.4.1. SAE JA 1011

Existen criterios de evaluación para los procesos RCM, los cuales están definidos por la SAE JA1011, en esta se detalla que para los procesos de RCM existen 7 pasos esenciales, más conocidos como 7 preguntas del RCM.

Estas son presentadas a continuación:

1. ¿Cuáles son las funciones y respectivos estándares de desempeño de este bien en su contexto operativo presente?
2. ¿De qué manera falla al realizar sus funciones?
3. ¿Qué causa el modo de falla?

4. ¿Qué sucede cuando la falla ocurre?
5. ¿De qué forma afecta la falla?
6. ¿Qué se puede hacer para predecir/prevenir las fallas?
7. ¿Qué puede hacerse si acaso una tarea proactiva no puede ser encontrada?

Las respuestas a las preguntas presentadas se pueden obtener mediante distintas herramientas y técnicas que RCM ofrece, sin embargo, se debe partir por definir cuáles son las funciones, la falla funcional, modos de falla, sus efectos y sus consecuencias, con esto analizado y definido, se deben definir las actividades proactivas y/o predictivas.

7.4.2. SAE JA 1012

La norma SAE JA1012 es una guía para el estándar de RCM (“A Guide to the Reliability-Centered Maintenance Standard”) amplifica y aclara cada uno de los criterios claves listados en la norma SAE JA1011 (“Evaluation Criteria for RCM Processes”), es decir, se toma el proceso entregado por la SAE JA1011 y se detalla en el cómo se deben desarrollar cada una de las etapas o preguntas del mantenimiento centrado en la confiabilidad.

7.4.2.1. Funciones

Se realiza un levantamiento operacional, tener claras las funciones del componente y definir su funcionamiento.

7.4.2.2. Fallas

Se deben identificar las fallas funcionales para los componentes en donde no se cumplen los parámetros aceptables para la organización.

7.4.2.3. Modos de falla

Los modos de falla son como se reflejan las fallas, es la forma en la que un activo pierde la capacidad de desempeñar su función.

7.4.2.4. Efectos de falla

En esta sección se deben mencionar los efectos de la falla, describiendo que es lo que sucede cuando se presenta el modo de falla.

7.4.2.5. Consecuencias de la falla

A partir de los puntos realizados anteriormente, se deben evaluar las consecuencias que estos presentan, en términos de amenaza para la seguridad de los trabajadores, amenaza para el medioambiente, qué consecuencias tiene en el área de producción y operación, y cuáles son las acciones que deben llevarse a cabo para reparar la falla cuando se presente.

Con el análisis de esto se responde la pregunta 6 del RCM “¿Qué se puede hacer para predecir/prevenir las fallas?”, asignando las actividades o tareas preventivas que buscan predecir o prevenir la falla, mencionadas previamente en la sección Mantenimiento (7.1).

La pregunta 7 del RCM se responde cuando los pasos anteriores no permitieron encontrar tareas preventivas o predictivas para el componente, equipo o sistema. En este caso se reconocen tres principales categorías, el descubrimiento de fallas, que implica un constante control y levantamiento de los procesos para identificar si hubo o hay fallas; el rediseño es la segunda categoría que busca realizar cambios de ser necesario, respecto a la capacidad interna del sistema, y finalmente la tercera categoría que es el mantenimiento no programado, que significa no prevenir o anticipar los modos de falla, esperando su ocurrencia para llegar a actuar, es decir, acudir al mantenimiento del tipo reactivo o correctivo.

8. Levantamiento

En esta sección se detalla el listado de equipos existentes de la empresa de adhesivos obtenidos a partir de un levantamiento desarrollado en terreno por la autora al comienzo de este trabajo de título. El levantamiento se hizo según áreas, principalmente se tienen las cuatro plantas productivas, la planta de polvos, pastas, acuosos y solventes, sin embargo, se tienen áreas comunes que aportan en las distintas plantas como el sistema de aire comprimido, y el sistema de refrigeración.

8.1. Sistema de aire comprimido

El sistema de aire comprimido comienza en la sala de compresores dispuesta al costado del taller de mantenimiento, tal como se muestra en la Figura 9, desde esta ubicación y con un compresor de tornillo de 30 HP se alimentan todos los espacios necesarios de la planta donde se requiere de la administración de aire comprimido. La instalación de este compresor fue en marzo de 2021 y su distribución por plantas se presenta en las secciones siguientes, desglosadas y con mayor detalle para un mejor entendimiento.

8.1.1. Sala de compresores

En la sala de compresores se encuentra la generación de aire, esta se dirige hacia: el taller de mantenimiento para la utilización de una pistola de aire manipulada para limpiezas, hacia la planta de polvos, de acuosos y pastas, en estas tres plantas el aire es el responsable de la descarga del producto terminado. Este proceso es realizado mediante los componentes y equipos presentados a continuación.

Tabla 8.1: Listado de equipos en sala de compresores.

Fuente: Elaboración propia.

EQUIPO	MARCA	MODELO	QTY	OBS
Compresor de Tornillo	Ingersert	ING30/10	1	No existe TAG
Acumulador	Ingersert	600L	1	-
Secador	Ingersert	DRY30	1	-
Descarga automática por temporizador	Ingersert	BSP ¾ PN80	3	-
Válvula de bola hacia Taller	Logic	BSP ¾ PN80	2	-

8.1.2. Exterior de polvos

Por fuera de la planta de polvos tal como se muestra en la Figura 9, entre la zona de filtros y el exterior de la planta de polvos se encuentra el circuito de distribución de aire, el cual entrega suministros a la planta de polvos, pastas y acuosos por el interior de estas plantas.

Tabla 8.2: Listado de equipos para distribución de aire en exterior de las plantas.

Fuente: Elaboración propia.

EQUIPO	MARCA	MODELO	QTY	OBS
Válvula de bola	Dimaflow	BSP 1" PN20	1	Principal
Válvula de bola	Dura	BSP ½" PN16	1	Hacia la correa
Válvula de bola	Dimaflow	BSP ½" PN16	1	Purga de la ensacadora
Válvula de bola	Dimaflow	BSP ½" PN16	2	Hacia acuoso
FRL 1/4" 10 bar	Microtec	QBM1 G1/4	1	Seteada a 4 bar (correa arena)
Válvula 5/2	Microtec	222002522 ¼"	1	Arena

8.1.3. En planta de polvos

Desde la sala de compresores la primera ramificación se extiende a la planta más cercana, la planta de polvos, en esta ubicación es importante una distribución de calidad, ya que la máquina ensacadora rellena los sacos con producto, mediante un eje rotatorio en conjunto con la presión de la inyección de aire. El listado de equipos se presenta a continuación, donde se puede observar una gran cantidad de FRL (Filtro Regulador Lubricador) para obtener y mantener la calidad esperada en el proceso.

Tabla 8.3: Listado de equipos para distribución de aire en planta de polvos.

Fuente: Elaboración propia.

EQUIPO	MARCA	MODELO	QTY	OBS
FRL 1/2" 16 bar	Microtec	QBM4 G1/2	1	Seteada a 8 bar (principal)
FRL 1/4" 10 bar	Microtec	QBM1 G1/4	1	Seteada a 4 (ensacadora)
FRL 1/4" 10 bar	Microtec	QBM1 G1/4	1	Seteada a 3,5 bar (ensacadora)
Regulador de presión	Microtec	0104000822	1	Seteado a 1,5 bar (ensacadora)
Válvula antirretorno	Microtec	0400000622	1	-
Válvula 5/3 NC	Microtec	02590002922	1	Con memoria en ensacadora
Válvula 5/2	Microtec	222002522 1/4"	4	Ensacadora
Válvula 2/2	Microtec	240002844/010	1	Ensacadora
Cilindro doble efecto	Stafsgo	AC200	1	Mezcladora
Cilindro doble efecto	Stafsjo	AC200	1	Mezcladora - Ensacadora
Cilindro doble efecto	Stafsjo	-	2	Ensacadora
Válvula de bola	Dimaflow	BSP ½" PN16	1	A descarga pasta (en polvos)
FRL 1/2" 16 bar	Microtec	QBM4 G1/2	1	Seteada a 6 bar

8.1.4. En planta de acuosos

Como se menciona en la sección 8.1.2 desde el exterior de polvos nace la ramificación hacia la planta de acuosos, en esta área de la fábrica el aire comprimido se utiliza para la descarga del adhesivo en base acuosa, esto con la finalidad de facilitar la bajada de material, que inicialmente debería descargarse exclusivamente por la fuerza gravitacional, logrando una descarga considerablemente más lenta. La instalación para facilitar la descarga se realiza en los reactores y mezcladores de polímero (MP1 y MP2) mediante los equipos y accesorios que se presentan a continuación.

Tabla 8.4: Listado de equipos para distribución de aire en planta de acuosos.

Fuente: Elaboración propia.

EQUIPO	MARCA	MODELO	QTY	OBS
FRL 1/4" 1 MPa	EMC	AL4000-06	1	A la bomba de diafragma interior
Válvula de bola	DURA	NPT ½" PN15	2	A la subida
Válvula de bola	DURA	BSP ½" PN15	1	A la entrada
Válvula de bola	Dimaflow	BSP ½" PN15	1	A la bomba de diafragma exterior
Válvula de bola	Ball Valve	NPT ½" PN40	3	Descarga RP2
Válvula de bola	Genebre	BSP ¾" PN20	2	Descarga RP1
Válvula de bola	Genebre	BSP 1" PN25	1	Descarga MP1
Válvula de bola	Genebre	NPT 1" PN25	1	Descarga MP2

8.1.5. En planta de pastas

La siguiente ramificación está dirigida hacia las dos secciones de la planta de pastas. Es importante mencionar que la sección de pastas está dividida en dos partes de la fábrica, una sección está en la planta de polvos y una se encuentra en una sección en la planta de acuosos. La distribución de aire es posible gracias a los siguientes equipos y accesorios.

Tabla 8.5: Listado de equipos para distribución de aire en planta de pastas.

Fuente: Elaboración propia.

EQUIPO	MARCA	MODELO	QTY	OBS
Válvula de bola	Genebre	NPT ½" PN16	2	Al dispersor
FRL 1/2" 16 bar	Microtec	QBM4 G1/4	1	Seteada a 4,5 bar
Válvula de bola	Genebre	BSP ½" PN16	1	Al cilindro DP1
Cilindro doble efecto	Genérico	A medida	1	DP1
Válvula de bola	Genebre	BSP ½" PN16	1	Salida cilindro DP1
Válvula de bola	Dimaflow	BSP ½"	2	Graco
FRL 1 MPa	BHL	AL2000	1	Seteada a 0,35 Mpa (a tapadora)
FRL 1 MPa	BHL	AL2000	1	Seteada a 0,5 Mpa (a graco)
Válvula 5/2	Microtec	222002522 ¼"	1	A tapadora
Válvula 5/2	Microtec	222002522 ¼"	2	A descarga graco
Válvula 5/2	Microtec	222002522 ¼"	1	Selladora
Válvula 5/2	Microtec	222002522 ¼"	1	Craqueladora
Silenciador	Microtec	-	2	-
Cilindro doble efecto	Genérico	-	1	Descarga Graco
Cilindro doble efecto	Genérico	-	1	Tapadora
Craqueladora	-	A medida	1	-
Selladora	-	A medida	1	-

8.2. Sistema de refrigeración

El sistema de refrigeración es utilizado principalmente en la planta de acuoso, donde están conectadas fuera de esta y en paralelo, dos torres de enfriamiento y un chiller. La tercera torre se encuentra fuera de la planta de solventes. Cumplen la función de bajar la temperatura de los procesos debido a que en estas dos plantas se trabaja a altas temperaturas. El listado de equipos se presenta a continuación.

Tabla 8.6: Listado de equipos para sistema de refrigeración de la empresa.

Fuente: Elaboración propia.

EQUIPO	MARCA	MODELO	QTY	OBS
Torre de enfriamiento	Insumin	TL 24/10	1	Solvente (Tsol)
Torre de enfriamiento	Insumin	TL 50/10	1	Acuoso (Tac)
Torre de enfriamiento	HidroTerm	HTM 60	1	Acuoso (Tac nueva)
Chiller	Frascold	S 733 Y	1	Acuoso
Bomba chiller	Leo	ESM70	1	Motobomba
Motor chiller	Leo	2 HP	1	Motobomba
Válvula Chiller	Logic	BSP 1" PN80		-
Bomba Tsol	Pentax	CST300/3	1	Torre solvente
Motor Tsol	Pentax	3 HP	1	Motobomba
Válvula Tsol	Dimaflow	BSP 2" PN20	1	Salida Tsol
Motor Tac nueva	WEG	11 kW 15 HP	1	Torre nueva acuosos
Bomba Tac nueva	Famac	FN2	1	-
Válvula Tac nueva	Genebre	NPT 3" PN25	1	-
Motor Tac	Imatesa	15 HP	1	-
Bomba Tac	Insumin	50/20	1	Desde el chiller
Válvula Tac	Genebre	NPT 2" PN20	1	-

8.3. Planta de polvos

Para el proceso productivo de polvos, hay que tener claro que este proceso puede dividirse en cuatro áreas. La gran parte de los adhesivos en polvo producidos en la planta tienen como materia prima el cemento y la arena, los cuales son provistos mediante dos silos que se encuentran al exterior de la planta, cada uno de ellos tiene un sistema distinto de distribución, los cuales serán detallados más adelante.

8.3.1. Distribución de arena

La distribución de arena hacia la mezcladora se realiza principalmente por una correa transportadora y los equipos presentados a continuación.

Tabla 8.7: Listado de equipos para la distribución de arena en polvos.

Fuente: Elaboración propia.

EQUIPO	MARCA	MODELO	QTY	OBS
Correa transportadora arena	-	A medida	1	Tacos deteriorados
Caja reductora	Andes	40/1	1	-
Motor	Ebehle	-	1	Placa borrada
Guillotina de arena	WAM	VLC0300	1	
Polines	-	A medida	12	Nunca se ha mantenido
Silo	Polpaico	2 [Ton]	1	-
Tolva	-	A medida	1	-

8.3.2. Distribución de cemento

La distribución de cemento hacia la mezcladora se realiza principalmente por un tornillo sinfín dividido en tres secciones para facilitar su despiece, los cuales en conjunto con los equipos presentados a continuación permiten el desplazamiento del cemento hacia la mezcladora.

Tabla 8.8: Listado de equipos para la distribución de cemento en polvos.

Fuente: Elaboración propia.

EQUIPO	MARCA	MODELO	QTY	OBS
Sinfín	-	A medida	1	Dividido en tres partes
Rodamientos	SKF	6209 Z	4	Dos en cada extremo
Motorreductor	-	-	1	Placa borrada
Silo cemento	Polpaico	2 [Ton]	1	
Válvula de descarga	Genérico	A medida	1	

8.3.3. Etapa de mezclado

En la etapa de mezclado, se preparan las materias primas y aditivos, se depositan en la mezcladora. Según el producto que se esté realizando se espera el tiempo adecuado para la mezcla correcta. La máquina principal para este proceso es la mezcladora, la cual funciona mediante un eje rotatorio principal. Los accesorios adicionales se presentan a continuación.

Tabla 8.9: Listado de equipos en la etapa de mezclado en polvos.

Fuente: Elaboración propia.

EQUIPO	TAG	MARCA	MODELO	QTY	OBS
Mezcladora	MC1	-	A medida	1	-
Motor mezcladora	-	Baldor	2,2 [kW]	1	-
Caja reductora	-	Morse	-	1	
Rodamientos eje	-	Timken	22220 EK/C3	2	-
Manguito de fijación	-	Timken	H 320	2	-
Protección rodamientos	-	Timken	SNL 520 617	2	-
Sellos rodamientos	-	Timken	ASNH 520	2	-
Eje mezcladora	-	-	A medida	1	-
Sellos de teflón eje superior	-	CZM	1"	-	Teflón grafitado
Pernos tapa mezcladora	-	-	1/2x1 1/2		Tapa mezcladora
Correas	-	Genérico	vb 148	4	-
Tolva	-	-	A medida	1	-
Vibrador	-	Tang ju	0.2 Kw	1	En tolva
Válvula guillotina	-	Genérico	Acondicionada	1	-
Sello	-	CZM	A medida	1	Caucho

8.3.4. Etapa descarga

Luego de transcurrido el tiempo de mezcla, esta es bajada a la ensacadora, donde es descargada en los sacos mediante aire y un eje principal rotatorio. Es importante mencionar que existe un aro alrededor del eje que es el responsable de generar la rotación del material para la posterior descarga. Los equipos y accesorios que permiten este proceso se muestran a continuación.

Tabla 8.10: Listado de equipos en la etapa de descarga de mezcla en polvos.

Fuente: Elaboración propia.

EQUIPO	TAG	MARCA	MODELO	QTY	OBS
Envasadora	EC1	-	A medida	1	-
Motor eléctrico	-	Modena	7,5 [kW]	1	Envasadora
Rodamientos eje	-	Timken	P207	2	Envasadora
Eje envasadora	-	-	A medida	1	-
Aro eje	-	-	A medida	1	-
Sellos	-	CZM	1 1/2"	-	Teflón
Correas	-	Genérico	vb 65	2	-
Boquilla descarga	-	CZM	A medida	1	-
Válvula guillotina	-	Genérico	Acondicionada	1	Para descarga de mezcla
Polea ensacadora	-	Genérico	A medida	1	Para dos correas
Polea motor	-	Genérico	A medida	1	Para dos correas
Tolva	-	-	A medida	1	Mezcladora-Ensacadora
Válvula guillotina	-	Genérico	Acondicionada	1	Mezcladora-Ensacadora
Sello	-	CZM	A medida	1	Caucho

8.3.5. Filtros exteriores para polvos

Al trabajar la planta de polvos con material en suspensión, es importante que exista un sistema de extracción y filtración de polvos para mantener a los trabajadores en un ambiente seguro para su salud y adicionalmente que el aire que vuelva al ambiente se encuentre bajo normativa para el cuidado del medio ambiente. El listado de equipos se presenta a continuación.

Tabla 8.11: Listado de equipos de filtración para planta de polvos.

Fuente: Elaboración propia.

EQUIPO	MARCA	MODELO	QTY	OBS
Extractor	Sodeca	CSXRT-800-15	1	Sobredimensionada
Motor extractor	Sodeca	11 kW	1	De la turbina
Colector	Sodeca	500 [L]		
Mangas cortas	Reicotex	Art 4029 160x1450	10	
Mangas largas	Reicotex	Art 4029 220x1250	35	
Extractores	Sodeca	HCD-35-4M	4	

8.4. Planta de acuosos

En la planta de acuosos existen principalmente reactores y mezcladores para realizar los adhesivos en base acuosa. El proceso es sencillo, se mezclan las materias primas necesarias dependiendo del producto que se requiere realizar y se mantiene la maquinaria bajo estándares definidos según el producto en la OF. La planta no presenta mayores problemas de fallas no programadas, generalmente se presentan problemas con sellos o rodamientos, sin embargo, hay pocas situaciones donde se presente una parada no programada. Los equipos y accesorios se presentan a continuación.

8.4.1. Equipos principales disponibles

Tabla 8.12: Listado de equipos principales en planta de acuosos.

Fuente: Elaboración propia.

EQUIPO	TAG	MODELO	QTY	OBS
Reactor	RP1	6000 kg	1	-
Reactor	RP2	5000 kg	1	-
Mezclador	MP1	4000 kg	1	-
Mezclador	MP2	4000 kg	1	-
Mezclador	MP3	2000 kg	1	Descarga por gravedad
Mezclador	MP4	7000 kg	1	Descarga por bomba
Dosificadora	Premix 1	2600 kg	1	Alimenta solo reactores
Dosificadora	Premix 2	2600 kg	1	Alimenta solo reactores
Reactor piloto	RP3	200 kg	1	-
Mezclador piloto	MP5	400 kg	1	Resinato
Estanque	ET-200	10000 kg	1	-
Estanque	ET-60	20000 kg	1	-
Condensador	CP1	-	1	RP1
Condensador	CP2	-	1	RP2

8.4.2. Equipos y accesorios

Tabla 8.13: Listado de equipos y accesorios en planta de acuosos.

Fuente: Elaboración propia

EQUIPO	MARCA	MODELO	QTY	OBSERVACIONES
Válvula de bola	Genebre	BSP 3" PN 40	1	Descarga MP1
Válvula de bola	Genebre	NPT 3" PN 25	3	Descarga MP2, MP4, RP1
Válvula de bola	Genebre	BSP 3" PN 25	3	Descarga MP2, MP3, RP2
Motor eléctrico	Sew	15 kW	2	RP1 - RP2
Motor eléctrico	Sew	3 HP	1	RP3 (piloto)
Motor eléctrico	Sew	15 kW	2	MP1 y MP2
Motor eléctrico	CEG	15 kW	2	MP3 y MP4
Motor eléctrico	BBC	2.2 kW	1	Premix 1
Motor eléctrico	BBC	3 HP	1	Premix 2
Caja reductora	Emerson Electric	F136003	2	Premix 1 y 2
Caja reductora	Sew	-	1	RP y RP2
Caja reductora	STRONG	SF-7	1	MP2
Caja reductora	Sew	-	2	MP1 y MP3
Caja reductora	VARMEC	RCV 602 P	1	MP4
Manómetro	Tempres	EN 837-1	1	RP1, RP2, MP1 y MP2
Flujómetro	Omel	34.127.550	1	RP1 y RP2
Bomba de diafragma	Rudimix	RMX50 PPSP	1	De reactores a estanque
Bomba de tornillo	Bonfiglioli	C15BC31APH SSHCP	2	Transporte T-200
Caja reductora	Bonfiglioli	C512 P HS	2	Transporte T-200
Motor eléctrico	Weg	12.5 [HP]	2	Transporte T-200

8.5. Planta de pastas

La maquinaria necesaria para realizar los productos de pastas, se encuentran dispuestos entre una sección de las plantas de polvos y acuosos. Al ser un producto final bastante denso, el primer problema presentado en los equipos es la falta de limpieza y mantención de esta.

Tabla 8.14: Listado de equipos en planta de pastas

Fuente: Elaboración propia.

EQUIPO	TAG	MARCA	MODELO	QTY	OBS
Amasadora	AP1	-	700 kg	1	-
Motor eléctrico	-	Sumitomo	CHHM156165C15	1	AP1
Amasadora	AP2	-	400 kg	1	-
Motor eléctrico	-	Sumitomo			AP2, placa borrada
Amasadora	DZ	-	600 kg	1	Doble Z
Dispensor	DP1	-	800 kg	1	-
Correas	-	Genérico	-	3	DP1
Motor eléctrico	-	Sumitomo	7 kW	1	DP1
Motor eléctrico	-	VEM	0.55 kW	1	Descarga DP1
Dispensor	DP2	-	200 kg	1	Mal etiquetado
Motor eléctrico	-	BBC	5.5 kW	1	DP2
Envasadora Graco	E1	-	ALFA – SB1000MF	1	Para montaje

8.6. Planta de solventes

La planta de solventes tiene distintos equipos, pero todos, tienen el mismo proceso productivo básico. En general esta planta no presenta problemas a lo largo del tiempo, más que taponamientos por material o cambios rutinarios de sellos y rodamientos. Los equipos son presentados a continuación.

Tabla 8.15: Listado de equipos en planta de solventes.

Fuente: Elaboración propia.

EQUIPO	TAG	MARCA	MODELO	QTY	OBS
Mezcladora	MS1	-	480 kg	1	Para SBS
Mezcladora	MS2	-	550 kg	1	Para TPU
Mezcladora	MS3-5	-	550 kg	3	Para policloropreno
Mezcladora	MS6-7	-	2000 kg	2	Para policloropreno
Mezcladora	MS10	-	1500 kg	1	Para policloropreno
Motor eléctrico	-	-	7.5 Kw	1	MS1 (Placa borrada)
Motor eléctrico	-	ASEA	2,8 kW	4	MS2-MS5
Motor eléctrico	-	SEW	14,5 kW	1	MS6
Motor eléctrico	-	VEB	14,5 kW	1	MS76
Motor eléctrico	-	Olisted	20 HP	1	MS10
Válvula de bola	-	Dimaflow	BSP 1 ½" PN20		Descarga MS3-MS4
Válvula de bola	-	Dimaflow	NPT 2" PN65	1	Descarga MS2-MS5
Válvula de bola	-	Dimaflow	BSP 2" PN65	1	Descarga MS1
Válvula de bola	-	Dimaflow	NPT 2" PN25	1	Descarga MS10
Válvula de bola	-	Dimaflow	NPT 3" PN25		Descarga MS6-MS7
Bomba	-	Insumin	12R	1	Carga desde el MS10
Motor bomba	-	Insumin	3 HP	1	Bomba
Correa	-	Genérica	B-75	2	Motor MS10
Correa	-	Genérica	Borrada	3	Motor MS1
Correa	-	Genérica	B-58	4	MS6
Caja reductora	-	SEW	KA87AD4	1	MS7
Caja reductora		SEW	RF100	1	MS6

8.6.1. Estanques de materia prima

Los estanques de materia prima almacenan los solventes utilizados para la planta descrita en la sección anterior, estos se encuentran de manera subterránea y se puede observar su ubicación de mejor forma en la Figura 9. Además, es importante mencionar que también se encuentra el estanque de VAM, el que es principal materia prima de algunos productos realizados en la planta de acuosos. El listado de estanques se presenta a continuación.

Tabla 8.16: Listado de equipos y estanques para distribución de materia prima.

Fuente: Elaboración propia.

EQUIPO	TAG	MARCA	MODELO	QTY	OBS
Tanque Vinil Acetato Monómero	TK1	-	50 m ³	1	Hacia acuosos
Tanque Ciclohexano	TK2	-	50 m ³	1	A solvente
Tanque DSP	TK3	-	50 m ³	1	A solvente
Tanque Acetona	TK4	-	11 m ³	1	A solvente
Tanque Xileno	TK5	-	4 m ³	1	A solvente
Tanque Ciclohexano	TK6	-	4 m ³	1	A solvente
Tanque DSP	TK7	-	4 m ³	1	A solvente
Válvula de bola	-	Genebre	BSP ½" PN16	4	Matriz estanques
Bomba de diafragma neumática	-	Rudimix	RDA 40 ASFF	1	Ciclo hexano y DSP
Caudalímetro	-	Xavier Kunst	100-10958	1	Al interior de solventes
Bomba centrifuga	-	Vogt	H618FMS-150	1	VAM
Motor bomba	-	Weg	5.5 HP	1	VAM
Válvula VAM	-	Genebre	NPT 3" PN25	2	VAM
Bombas centrifuga	-	Vogt	H618FMS-180	1	Solventes
Motor Solvente	-	Weg	7.5 HP	1	Solventes

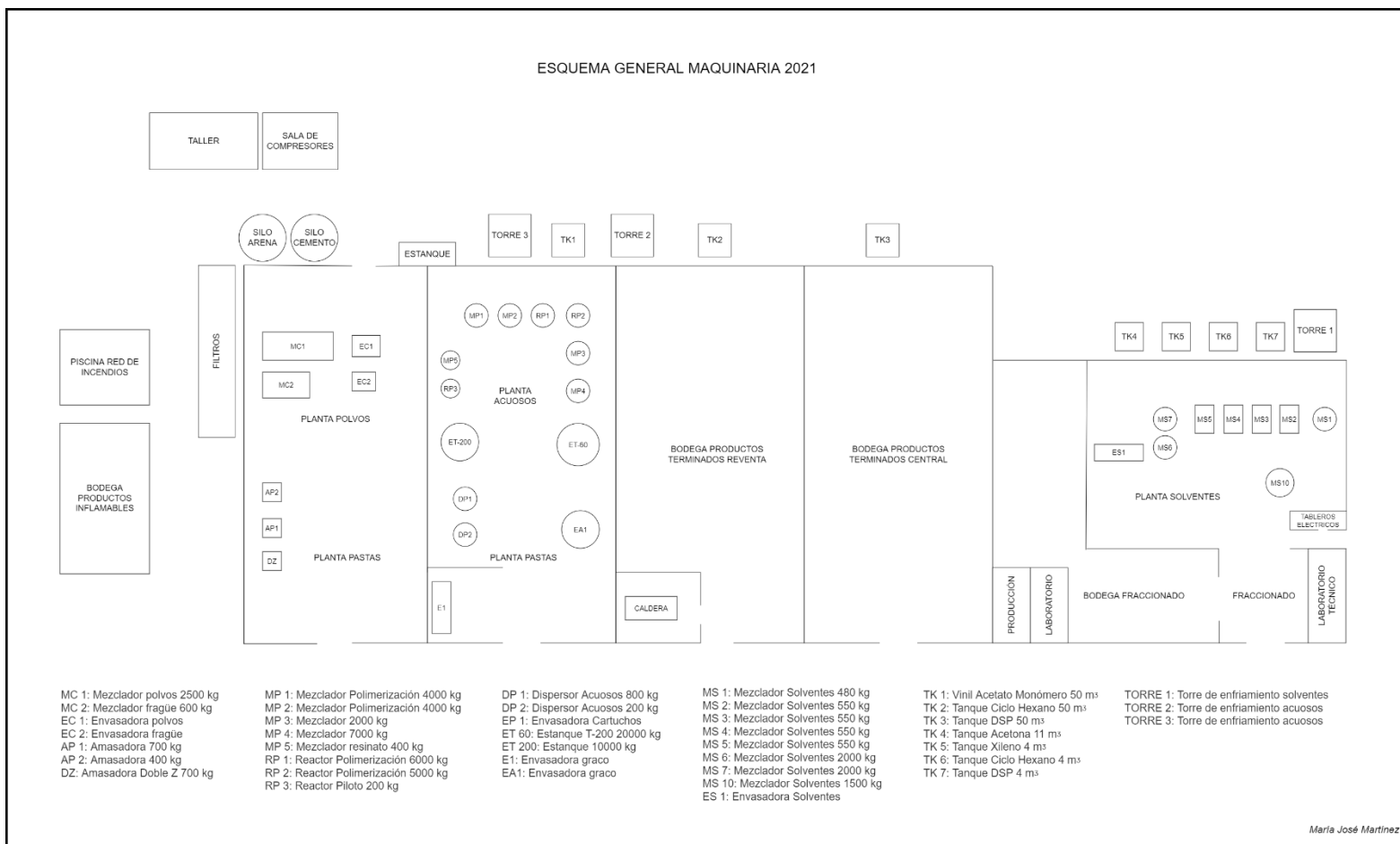


Figura 9: Layout de la planta.

Fuente: Elaboración propia.

9. Criticidad

Esta sección tiene como objetivo principal obtener una jerarquización de las plantas productivas y así enfocar los recursos a los activos disponibles dentro de la planta más crítica, donde la autora se basará en las herramientas descritas por la norma ISO31.010 explicadas en el apartado Marco teórico (Véase sección 7 Marco teórico). En primera instancia se analizará la criticidad por plantas, posteriormente se estudia para los equipos disponible en su interior y finalmente un desglose según corresponda para sus componentes.

Para realizar la comparación entre plantas se necesita información como el estado actual, el historial de fallas y su frecuencia, las cuales se presentan a continuación:

9.1. Historial de fallas y estado actual

La empresa con la que se está trabajando lamentablemente no tiene un historial de fallas, tiempos o documentación respecto a esto, sin embargo, con la ayuda de la conversación diaria con los supervisores, operadores de las máquinas y los técnicos de mantenimiento se obtiene información que es de ayuda y relevante acerca del estado actual de las plantas y del historial de fallas. Debido a la gran cantidad de activos y maquinaria existente, se verá esta sección dividida por plantas a continuación.

9.1.1. Planta de solventes

En la planta de solventes, no suelen presentarse dolores muy seguido. Por falta de periodicidad en el cambio de sellos existen fugas del producto terminado, que al ser un fluido muy viscoso y no tener las conexiones eléctricas adecuadas, genera sobrecargas térmicas en los motores de las mezcladoras 6 y 7 (MS6 y MS7).

El filtro existente al comienzo de la entrega de la materia prima (desde estanques de solventes), queda tapado por elementos indeseados caen a los estanques al momento que

proveedores externos los rellenan, no se realiza ningún tipo de inspección o actividad preventiva, solo se diagnostica cuando está taponado y se debe desarmar.

Otro dolor que se presenta es el taponamiento que sucede por no seguir el procedimiento carga al agregar materias primas sin la agitación, generando que las materias primas más pesadas se vayan al fondo sin tener oportunidad de disolverse, generando un tapón en la llave de descarga retrasando el proceso, esto también genera pérdida de tiempo para los mantenedores, que cuando ya se ha acumulado bastante material, deben desarmar y destapar por su cuenta.

Existe deficiente atención en esta planta, debido a que usualmente no presenta problemas mayores que afecten o detengan la producción significativamente, sin embargo, es una planta que presenta un riesgo alto a la salud de los trabajadores y al medio ambiente, ya que los productos terminados son inflamables y se trabaja con solventes potencialmente dañinos en el largo plazo para la salud.

A continuación, se presenta una tabla con los indicadores de mantenimiento de los equipos de los que se tiene información respecto a las fallas, sin embargo, es importante destacar que los indicadores fueron calculados con la información recolectada y sujeta a la experiencia de los operadores y mantenedores, por lo que se sugiere revisar y corregir conforme avance la implementación del plan de mantenimiento y el registro de fallas:

Tabla 9.1: Indicadores para planta de solvente.

Fuente: Elaboración propia

Planta	Equipo	Falla	Frecuencia	MTBF	MTTR
Solvente	Sello	Obsoleto	Anual	2012	240
Solvente	Motor	Sobrecarga	Dos veces	992	960
Solvente	Filtro solvente	Taponamiento	Bianual	4029	180
Solvente	Llaves	Taponamiento	Trimestral	501	185

9.1.2. Planta de acuosos

En la planta de acuosos existen fugas de material debido a los sellos gastados, los operadores no informan de estos desgastes hasta que se requiere un cambio urgente y la pérdida de PT o MT es evidente. Otro tipo de problemas que es recurrente debido a la antigüedad de las instalaciones, son las fugas de aire, ya sean en las mismas tuberías, accesorios o por las compuertas de los mezcladores y reactores. La antigüedad de la planta se ve reflejada en el estado de las tuberías que comunican los estanques con los reactores o mezcladores, además, debido a una acumulación de material y alto flujo, anualmente colapsan las tuberías del estanque de T-200, ya sea con una fuga, con taponamientos completos que no permiten pasar material o cuando es más extremo un colapso que hace que el material salga expulsado por donde pueda.

Al inspeccionar y recopilar información de los reactores se encuentra un dolor constante y común entre ellos, los pernos de sujeción de las aspas internas suelen cortarse en un periodo menor a cuatro meses, debido al desgaste que tienen los pernos durante este tiempo, volviendo más pesado el eje por falta de limpieza y dificultando la rotación debido a la deficiencia del sello inferior que lo mantiene centrado, además, al ser un producto viscoso que es preparado bajo altas temperaturas se generan sobrecargas de corriente en el variador de frecuencia, lo que disminuye considerablemente su vida útil.

Las bombas con las que se realiza el transporte de las bases, o productos que se mueven de reactores a mezcladores por el mismo proceso, presentan problemas con los sellos internos y repuestos varios, se presentan fugas de material constante por distintos lados, todo por no cambiar los sellos en el momento con la frecuencia requerida.

Finalmente, al momento de la descarga de PT se saturan las válvulas de bola debido a falta de limpieza y preocupación por parte de los operarios, ya que a medida que avanzan los días se genera una capa de adhesivo que se va acumulando a con el tiempo, problema que ocurre cada una o dos semanas.

A continuación, se presenta una tabla con los indicadores de mantenimiento de los equipos de los que se tiene información respecto a las fallas, sin embargo, es importante destacar, al igual que en la planta anterior, que los indicadores fueron calculados con la

información recolectada y sujeta a la experiencia de los operadores y mantenedores, por lo que se sugiere revisar y corregir conforme avance la implementación del plan de mantenimiento y el registro de fallas:

Tabla 9.2: Indicadores para planta de acuosos.

Fuente: Elaboración propia.

Planta	Equipo	Falla	Frecuencia	MTBF	MTTR
Acuosos	Cañerías	Fuga producto	Semestral	1007	60
Acuosos	Cañerías	Fuga aire	Trimestral	503	60
Acuosos	Reactores	Rotura de pernos	Semestral	984	1440
Acuosos	Bomba	Sellos	Cuatrimstral	648	1440
Acuosos	Válvula de descarga	Taponamiento	Quincenal	83	60

9.1.3. Planta de pastas

En la planta de pastas existen distintos tipos de maquinaria, debido a los distintos productos y propiedades que se requieren. Para la máquina graco se presentan distintos problemas, pero que no necesariamente requieren detener la producción, sin embargo, pueden afectar la integridad de las máquinas y la calidad del PT en el corto plazo; esta máquina se encuentra constantemente cubierta por el adhesivo que ahí se produce, dificultando la manipulación de los pulsadores y un taponamiento frecuente en la manguera de descarga por adhesivo seco, situación que podría evitarse fácilmente con una limpieza periódica.

Pasando a los dispersores (DP1 y DP2) se encontraron problemas similares a la envasadora graco y más. Además de la falta de limpieza que existe, las correas del motor solo se reemplazan de manera reactiva cuando debido a su corte se detiene inesperadamente la producción, el pistón principal tiene fugas por el desgaste actual de los sellos y la falta de repuestos que existe debido a su origen oriental. Por otro lado, se tiene la olla en donde se realiza la mezcla, que además de tener una deficiente limpieza en donde los sólidos de la mezcla quedan adheridos en la superficie, el motor que se utiliza para la descarga tiene una mala utilización, los operadores mantienen encendido el motor sin realizar la descarga, por

lo que se ha debido realizar mantenimiento correctivo más de una vez debido a sus fallas y sobrecalentamiento.

Las amasadoras han tenido detenciones inesperadas durante el periodo 2021 debido a desgastes a los que no se les prestaba atención, como las cadenas de la amasadora de 700 kg (AP1) que se cortaron en medio de la producción de un lote, de la mano de esto se generó un daño irreparable en una corona de la caja reductora, además de que se descubre que existe un mal dimensionamiento de las ruedas dentadas y del motor eléctrico, ya que este no soporta la potencia necesaria de la máquina y se sobrecarga generando daños mayores. En esta máquina se prioriza la producción, ya que se realiza montaje, un producto de alta rotación durante todo el año.

En la doble Z (DZ) también se dañó la caja reductora y se envió a reparar durante el verano del 2021, se tuvo también un desgaste notable del piñón debido al tiempo que se tuvo trabajando sin inspección visual y mucho menos un mantenimiento, situación que tuvo la máquina detenida por más de un mes y que además dañó al motor. Es importante mencionar también, que esta máquina requiere de limpieza periódica ya que su válvula de descarga por falta de cuidado y limpieza queda destruida al año de vida.

Finalmente, la amasadora de 400 kg (AP2), es mucho menos problemática, nunca ha presentado fallas que detengan la producción a excepción de cambios de rodamientos cuando no se está utilizando el equipo. Sin embargo, nunca se le ha realizado mantenimiento al motor o se ha tenido considerada en algún tipo de mantenimiento preventivo.

A continuación, se presenta una tabla con los indicadores de mantenimiento de los equipos de los que se tiene información respecto a las fallas, sin embargo, es importante destacar, al igual que en la planta anterior, que los indicadores fueron calculados con la información recolectada y sujeta a la experiencia de los operadores y mantenedores, por lo que se sugiere revisar y corregir conforme avance la implementación del plan de mantenimiento y el registro de fallas:

Tabla 9.3: Indicadores para planta de pastas.

Fuente: Elaboración propia.

Planta	Equipo	Falla	Frecuencia	MTBF	MTTR
Pastas	Manguera graco	Taponamiento	Cuatrimestral	669	180
Pastas	Cadena AP1	Rotura	Dos veces	1006	120

9.1.4. Planta de polvos

La planta de polvos en comparación con las plantas anteriores, además de tener paradas no programadas, presenta dolores constantes que afectan la durabilidad de los equipos, la seguridad del medio ambiente y los trabajadores.

Comenzando por la distribución de arena, se tiene una pérdida constante de material debido a la correa transportadora deteriorada, ya que tiene tacos en mal estado, despegados y mal mantenidos, además se tiene la válvula guillotina de descarga, acondicionada para la función con los sellos en mal estado, por lo que se genera una acumulación de material en su hendidura, dejando un espacio para la filtración del material. Nunca se ha realizado un cambio en la correa desde su instalación inicial, solo se realizan soluciones transitorias en los dientes de la correa, sin embargo, nunca se ha solucionado la pérdida constante de arena que llega a pérdidas acumuladas significativas (Figura 10). Adicionalmente, el motor y caja reductora de la distribución de arena no han recibido mantenciones preventivas.



Figura 10: Acumulación de pérdida de arena por correa transportadora.

Fuente: Elaboración propia

Para la distribución de cemento, debido a la humedad presente en el ambiente y a la poca hermeticidad existente de los silos, el cemento genera acumulación y adherencia de material en el tornillo sinfín, dañando los alabes de este, los rodamientos y finalmente el hilo de la sujeción de este sistema, provocando que el eje de la distribución de cementos descienda rotando en la tapa del sistema hasta perforarla por lo menos una vez cada dos años. Es importante mencionar la poca preocupación del motor y la caja reductora del sistema, el motor al estar en altura y a un difícil acceso, por lo que no recibe ningún tipo de inspección, sin embargo, se han realizado reparaciones a la caja reductora por fallas que detienen la producción y la rotación del eje.

Para la parte de los filtros exteriores de polvo, se presenta una baja eficiencia en la filtración de aire por la parte externa de la planta, ya que se tienen fugas a lo largo del proceso y no se tiene el sistema más ideal, por no decir que es inadecuado. En la última sección de filtrado se tienen las mangas sin alguna cobertura por lo que no tiene el funcionamiento correcto, sin contar que además no existe una medición constante de las emisiones resultantes de este sistema, se tiene una baja limpieza en las mangas lo que se ve reflejado en la saturación de ellas y sus ductos, adicionalmente no se tiene una chimenea para devolver el aire filtrado al ambiente.

Al interior de la planta en la sección superior, es decir la zona de mezclado, la caja reductora tiene filtraciones de aceite y un ruido molesto, se tiene un golpeteo constante del motor y la caja reductora, estas se encuentran de manera colgante, lo que genera una carga en el eje que lo flexiona innecesariamente, dañando los rodamientos cada dos o tres meses, siendo que deberían tener una vida más prolongada, finalmente en el sistema de transmisión de la mezcladora, se utilizan tres correas que generan la transmisión motor-caja, las cuales además de no cambiarse hasta que se cortan, tampoco se adquieren hasta este punto, generando un retraso adicional. Cabe mencionar que para el motor y la caja no se tiene registro de la última vez que recibió un correcto mantenimiento. Al interior de la mezcladora los sellos del eje no se cambian hasta que se generan filtraciones de material que pueden afectar al trabajador y dificultar su trabajo cuando caen desde altura.

Finalmente llegando a la parte de descarga de la planta de polvos, se encuentra la ensacadora que presenta problemas en la mayoría de sus componentes. El problema más habitual y frecuente que presenta es el taponamiento de la salida y la detención del eje, que la mayoría del tiempo es debido a la humedad indeseada existente en la mezcla, este problema también puede presentar pérdidas de eficiencia y daño en el eje, rodamientos, sellos y sistema neumático; el problema sucede una vez a la semana en promedio.

Como bien se mencionó la humedad tiene un impacto bastante alto, sumando además que para destrabar y quitar el tapón que se genera por la humedad en la máquina se introduce un fierro de metal que saca el material estancado, dañando la boquilla. Debido a la pérdida de giro del eje de la ensacadora el motor puede generar un sobrecalentamiento haciendo reaccionar los relés térmicos y desgastando las correas debido a que se desliza sobre la polea sin generar la transmisión de potencia requerida.

Adicional a los múltiples problemas mencionados en el párrafo anterior, el eje de la ensacadora es acompañado de un aro a su alrededor, este es el que le da la dirección a la mezcla para poder ser descargado; el material circula por las paredes internas de este aro con ayuda del aire y las revoluciones del eje, esto produce que el aro vaya desgastándose frecuentemente, durando un máximo de cinco meses (en el mejor de los casos), necesitando un cambio ineludiblemente, ya que sin este componente la descarga no es posible.

A continuación, se presenta una tabla con los indicadores de mantenimiento de los equipos de los que se tiene información respecto a las fallas, sin embargo, es importante destacar, al igual que en la planta anterior, que los indicadores fueron calculados con la información recolectada y sujeta a la experiencia de los operadores y mantenedores, por lo que se sugiere revisar y corregir conforme avance la implementación del plan de mantenimiento y el registro de fallas:

Tabla 9.4: Indicadores para planta de pastas.

Fuente: Elaboración propia.

Planta	Equipo	Falla	Frecuencia	MTBF	MTTR
Polvos	Aro del eje	Perforación	Cuatrimestral	669	180
Polvos	Tapa eje sinfín	Perforación	Bienal	4030	120
Polvos	Sellos mezcladora	Fugas	Anual	2015	60
Polvos	Rodamientos	Obsolescencia	Semestral	1006	120
Polvos	Boquilla	Taponamiento	Quincenal	60	1440

9.2. Análisis de criticidad para plantas

Para realizar el análisis respecto a las plantas productivas, la autora recurre a matrices de riesgo basándose en la norma ISO 31.010, donde se toma en cuenta, valga la redundancia, el riesgo al que está expuesto el medio ambiente, la seguridad del trabajador, la frecuencia entre las fallas que ocurren, el costo de hora perdida y el tiempo fuera de servicio.

Los tópicos mencionados con anterioridad se valorizan según un análisis cuantitativo y cualitativo según se estime conveniente.

Como se puede apreciar en la Tabla 9.5, el riesgo de impacto medioambiental y seguridad de los trabajadores son tópicos del tipo cualitativos en donde es importante llegar a consensos con operadores, mantenedores y gerencia para disminuir la subjetividad o sesgo en los criterios y así obtener resultados lo más acertados posible. Por otro lado, se tienen los tópicos frecuencia entre fallas, costo hora perdida y tiempo fuera de servicio, los cuales son criterios objetivos y cuantitativos, los cuales tienen tramos y puntajes definidos. Se les confiere puntaje con ayuda del historial de fallas, datos entregados por la empresa y el equipo de mantenimiento.

Es importante mencionar que este análisis se realiza en las cuatro plantas productivas disponibles dentro de la empresa paralelamente; por otro lado, el sistema neumático, de refrigeración y los estanques, se evaluarán dependiendo de la jerarquización obtenida, ya que, estas áreas están directamente relacionadas con los distintos procesos en las plantas.

La matriz de riesgo utilizada para definir la planta critica es la siguiente:

Tabla 9.5: Matriz de riesgo para definir criticidad de plantas productivas.

Fuente: Elaboración propia.

Planta			
Valoración	Descripción	Pje	Asignado
Riesgo al medio Ambiente			
Nulo	Una falla en la planta no genera riesgo apreciable al medio ambiente.	0	
Bajo	Una falla puede generar un riesgo menor al MA, es controlable.	1	
Moderado	Una falla puede generar un riesgo considerable al MA, es controlable.	2	
Alto	Una falla puede generar un riesgo considerable al MA, incontrolable, pero sin catástrofes.	3	
Muy alto	Una falla puede generar un riesgo considerable al MA, se podría convertir en una catástrofe.	4	
Riesgo a la salud y seguridad del trabajador			
Nulo	Una falla en la planta no genera un riesgo la salud y seguridad de los trabajadores.	0	
Bajo	Una falla puede generar un riesgo menor en los trabajadores, es controlable.	1	
Moderado	Una falla puede generar un riesgo considerable al trabajador, es controlable.	2	
Alto	Una falla puede generar un riesgo considerable al trabajador, incontrolable, pero sin catástrofes.	3	
Muy alto	Una falla puede generar un riesgo considerable al trabajador, podría generar una catástrofe.	4	
Frecuencia de fallas			
Nulo	No existen fallas que provoquen una parada en el proceso productivo.	0	
Bajo	Puede presentar fallas que detienen el proceso productivo cada 3 o más meses	1	
Moderado	Puede presentar fallas que detienen el proceso productivo cada 1 o 2 meses.	2	
Alto	Puede presentar fallas que detienen la producción cada 2 o 3 semanas.	3	
Muy alto	Puede presentar fallas que detienen la producción cada mínimo una semana.	4	
Costo hora perdida			
Nulo	Una detención no genera costo hora perdida.	0	
Bajo	Una detención puede generar un costo menor a 500 USD por hora perdida.	1	
Moderado	Una detención puede generar un costo entre 501 y 1000 USD por hora.	2	
Alto	Una detención puede generar un costo entre 1001 y 1500 USD por hora.	3	
Muy alto	Una detención puede generar un costo mayor a 1500 USD por hora.	4	
Tiempo fuera de servicio			
Nulo	Una falla no presenta detenciones en el proceso.	0	
Muy bajo	Una falla puede presentar detenciones en el proceso de máximo 1 hora.	1	
Bajo	Una falla puede presentar detenciones mayores a 1 hora y menores a 6 horas.	2	
Moderado	Una falla puede presentar detenciones mayores a 6 hora y menores a 12 horas	3	
Alto	Una falla puede presentar detenciones mayores a 12 horas y menores a 1 día.	4	
Muy alto	Una falla puede presentar detenciones en el proceso mayores a 24 horas.	5	
			Total

Como se puede observar en la tabla, las categorías tienen un mínimo de cero puntos y un máximo de 4, a diferencia del tiempo de servicio que tiene un máximo de 5 puntos, debido a que esa categoría, a criterio de la autora requería una subcategoría adicional. La graduación descrita se adjudica según el impacto que cada planta tenga en las distintas categorías según corresponda.

Los puntajes obtenidos por cada categoría se suman, es decir, que cada planta puede tener en la escala de criticidad un mínimo de cero puntos, y un máximo de 21 puntos. Es importante mencionar que ningún criterio toma más peso que otro al realizar la evaluación, dándole la misma importancia al cuidado del medio ambiente, la seguridad del trabajador y la producción, al igual que el costo monetario de detención y la frecuencia de fallas, por lo que una falla en la planta que genere una gran detención en la producción y bajo impacto en la seguridad, es igual de crítica que una que pudiese generar un alto impacto en la seguridad y bajo en la producción de la planta.

Es importante mencionar que para obtener el costo por hora perdida se utiliza el valor del dólar al día 23 de diciembre del año 2021, teniendo un valor de 860.68 CLP.

La tabla obtenida para la planta de polvos se presenta a continuación, el lector puede revisar el seguimiento de esta planta desde su proceso productivo hasta este punto.

Tabla 9.6: Matriz de riesgo para la planta de polvos.

Fuente: Elaboración propia.

Planta	POLVOS		
Valoración	Descripción	Pje	Asignado
Riesgo al medio Ambiente			
Nulo	Una falla en la planta no genera riesgo apreciable al medio ambiente.	0	3
Bajo	Una falla puede generar un riesgo menor al MA, es controlable.	1	
Moderado	Una falla puede generar un riesgo considerable al MA, es controlable.	2	
Alto	Una falla puede generar un riesgo considerable al MA, incontrolable, pero sin catástrofes.	3	
Muy alto	Una falla puede generar un riesgo considerable al MA, se podría convertir en una catástrofe.	4	
Riesgo a la salud y seguridad del trabajador			
Nulo	Una falla en la planta no genera un riesgo la salud y seguridad de los trabajadores.	0	2
Bajo	Una falla puede generar un riesgo menor en los trabajadores.	1	
Moderado	Una falla puede generar un riesgo considerable al trabajador, es controlable.	2	
Alto	Una falla puede generar un riesgo considerable al trabajador, incontrolable, pero sin catástrofes.	3	
Muy alto	Una falla puede generar un riesgo considerable al trabajador, podría generar una catástrofe.	4	
Frecuencia de fallas			
Nulo	No existen fallas que provoquen una parada en el proceso productivo.	0	4
Bajo	Puede presentar fallas que detienen el proceso productivo cada 3 o más meses	1	
Moderado	Puede presentar fallas que detienen el proceso productivo cada 1 o 2 meses.	2	
Alto	Puede presentar fallas que detienen la producción cada 2 o 3 semanas.	3	
Muy alto	Puede presentar fallas que detienen la producción cada mínimo una semana.	4	
Costo hora perdida			
Nulo	Una detención no genera costo hora perdida.	0	1
Bajo	Una detención puede generar un costo menor a 500 USD por hora perdida.	1	
Moderado	Una detención puede generar un costo entre 501 y 1000 USD por hora.	2	
Alto	Una detención puede generar un costo entre 1001 y 1500 USD por hora.	3	
Muy alto	Una detención puede generar un costo mayor a 1500 USD por hora.	4	
Tiempo fuera de servicio			
Nulo	Una falla no presenta detenciones en el proceso.	0	5
Muy bajo	Una falla puede presentar detenciones en el proceso de máximo 1 hora.	1	
Bajo	Una falla puede presentar detenciones mayores a 1 hora y menores a 6 horas.	2	
Moderado	Una falla puede presentar detenciones mayores a 6 hora y menores a 12 horas	3	
Alto	Una falla puede presentar detenciones mayores a 12 horas y menores a 1 día.	4	
Muy alto	Una falla puede presentar detenciones en el proceso mayores a 24 horas.	5	
		Total	15

Como se desprende de la tabla anterior se tiene que, para la planta de polvos, sumando las categorías riesgo al medio ambiente, a la salud y seguridad del trabajador, la frecuencia entre fallas, el costo hora perdida y el tiempo fuera de servicio se obtiene una ponderación de 15 puntos, siendo esta la con mayor puntuación.

Si el lector o la lectora lo desea, puede profundizar en el análisis de las tablas de criticidad para las demás plantas, las cuales se encuentran en la sección Anexos.

9.2.1. Jerarquización

Luego de realizada las matrices de riesgo para cada una de las plantas productivas, se obtiene el siguiente orden de criticidad respecto a los tópicos estudiados en secciones anteriores:

Tabla 9.7: Jerarquización por plantas.

Fuente: Elaboración propia.

Nivel de criticidad	Planta productiva	Puntaje obtenido en matriz de riesgo
1°	Polvos	15
2°	Acuosos	14
3°	Solventes	11
4°	Pastas	6

Como se desprende de la tabla anterior, la planta más crítica alcanza 15 puntos según los criterios utilizados, siendo esta la planta de polvos, por lo que a continuación se realizará un análisis más en detalle para los equipos de esta planta.

9.3. Análisis de criticidad para equipos

Luego de haber encontrado la planta más crítica, se adapta la matriz de riesgo utilizada en la sección 9.2 Análisis de criticidad para plantas, para realizar el análisis correspondiente a cada máquina o subsistema disponible dentro de ella.

Para adaptar la matriz de riesgo el tópico reemplazado es “costo hora perdida” por “costo reparación/reemplazo”, el cual se mantiene como una categoría del tipo cuantitativa que puede tomar valores de 0 a 4 donde se toma la reparación o reemplazo más costoso dentro de la máquina o subsistema. Los valores considerados para puntuar esta categoría se encuentran en anexos por si el lector está interesado en profundizar mejor en el tema.

Basado en que la matriz de la Tabla 9.5 solo es modificada en una categoría, a continuación, se presenta el nuevo tópico “costo reparación/reemplazo”:

Tabla 9.8: Sección “costo reparación/reemplazo” de la matriz de riesgo modificada.

Fuente: Elaboración propia.

Costo reparación/reemplazo			
Muy bajo	El costo estimado de reparación/reemplazo del equipo es menor a 1000 USD	0	
Bajo	El costo estimado de reparación/reemplazo del equipo está entre 1001 y 3000 USD	1	
Moderado	El costo estimado de reparación/reemplazo del equipo está entre 3001 y 4000 USD	2	
Alto	El costo estimado de reparación/reemplazo del equipo está entre 4001 y 5000 USD	3	
Muy alto	El costo estimado de reparación/reemplazo del equipo es mayor a 5000 USD	4	

Análogo a la Tabla 9.5 los puntajes obtenidos por cada categoría se suman, es decir, que cada equipo o subsistema puede tener en la escala de criticidad un mínimo de cero puntos, y un máximo de 21 puntos. Es importante mencionar que ningún criterio toma más peso que otro al realizar la evaluación, dándole la misma importancia al cuidado del medio ambiente, la seguridad del trabajador y la producción, al igual que el costo de reparación/reemplazo y la frecuencia de fallas, por lo que una falla o problema en un equipo que genere una gran detención en la producción y bajo impacto en la seguridad, es igual de crítica que uno que pudiese generar un alto impacto en la seguridad y bajo en la producción de la planta.

Es importante mencionar que para obtener el costo por hora perdida se utiliza el valor del dólar al día 23 de diciembre del año 2021, teniendo un valor de 860.68 CLP, esto con el fin de utilizar las mismas constantes que la matriz de riesgo para las plantas.

La matriz obtenida para la sección de la ensacadora o descarga se presenta a continuación:

Tabla 9.9: Matriz de riesgo para ensacadora o etapa de descarga.

Fuente: Elaboración propia.

Planta	ETAPA DE DESCARGA			
Valoración	Descripción	Pje	Asignado	
Riesgo al medio Ambiente				
Nulo	Una falla en la planta no genera riesgo apreciable al medio ambiente.	0	3	
Bajo	Una falla puede generar un riesgo menor al MA, es controlable.	1		
Moderado	Una falla puede generar un riesgo considerable al MA, es controlable.	2		
Alto	Una falla puede generar un riesgo considerable al MA, incontrolable, pero sin catástrofes.	3		
Muy alto	Una falla puede generar un riesgo considerable al MA, se podría convertir en una catástrofe.	4		
Riesgo a la salud y seguridad del trabajador				
Nulo	Una falla en la planta no genera un riesgo la salud y seguridad de los trabajadores.	0	4	
Bajo	Una falla puede generar un riesgo menor en los trabajadores.	1		
Moderado	Una falla puede generar un riesgo considerable al trabajador, es controlable.	2		
Alto	Una falla puede generar un riesgo considerable al trabajador, incontrolable, pero sin catástrofes.	3		
Muy alto	Una falla puede generar un riesgo considerable al trabajador, podría generar una catástrofe.	4		
Frecuencia de fallas				
Nulo	No existen fallas que provoquen una parada en el proceso productivo.	0	4	
Bajo	Puede presentar fallas que detienen el proceso productivo cada 3 o más meses	1		
Moderado	Puede presentar fallas que detienen el proceso productivo cada 1 o 2 meses.	2		
Alto	Puede presentar fallas que detienen la producción cada 2 o 3 semanas.	3		
Muy alto	Puede presentar fallas que detienen la producción cada mínimo una semana.	4		
Costo reparación/reemplazo				
Muy bajo	El costo estimado de reparación/reemplazo del equipo es menor a 1000 USD	0	0	
Bajo	El costo estimado de reparación/reemplazo del equipo está entre 1001 y 3000 USD	1		
Moderado	El costo estimado de reparación/reemplazo del equipo está entre 3001 y 4000 USD	2		
Alto	El costo estimado de reparación/reemplazo del equipo está entre 4001 y 5000 USD	3		
Muy alto	El costo estimado de reparación/reemplazo del equipo es mayor a 5000 USD	4		
Tiempo fuera de servicio				
Nulo	Una falla no presenta detenciones en el proceso.	0	5	
Muy bajo	Una falla puede presentar detenciones en el proceso de máximo 1 hora.	1		
Bajo	Una falla puede presentar detenciones mayores a 1 hora y menores a 6 horas.	2		
Moderado	Una falla puede presentar detenciones mayores a 6 hora y menores a 12 horas	3		
Alto	Una falla puede presentar detenciones mayores a 12 horas y menores a 1 día.	4		
Muy alto	Una falla puede presentar detenciones en el proceso mayores a 24 horas.	5		
			Total	16

Como se desprende de la tabla anterior se tiene que, para la etapa de descarga, sumando las categorías riesgo al medio ambiente, a la salud y seguridad del trabajador, la frecuencia entre fallas, el costo de reparación/reemplazo y el tiempo fuera de servicio se obtiene una ponderación de 16 puntos, siendo esta la con mayor puntuación.

Si el lector o la lectora lo desea, puede profundizar en el análisis de las tablas de criticidad para las demás etapas, las cuales se encuentran en la sección Anexos.

9.3.1. Jerarquización

Finalizado el punto anterior se obtiene el siguiente orden de criticidad para las etapas de la planta de polvos:

Tabla 9.10: Jerarquización de etapas de la planta de polvos.

Fuente: Elaboración propia.

Nivel de criticidad	Planta productiva	Puntaje obtenido en matriz de riesgo
1°	Descarga	16
2°	Mezclado	15
3°	Filtrado	14
4°	Cemento	11
5°	Arena	6
6°	Neumática	5

Como se desprende de la tabla anterior, las etapas más críticas son, la descarga con 16 puntos, la zona de mezclado con 15 puntos y la zona de filtrado con 14 puntos, estas serán vistas en detalle mediante la herramienta FMECA descrita en el Marco Teórico según la norma ISO 31.010, debido a que tienen puntajes similares y estas 3 zonas trabajan en la misma línea productiva.

9.4. Análisis de criticidad para etapa de descarga, mezclado y filtrado

Finalmente, debido a la extensión de la empresa, se focaliza el trabajo de título en la planta de polvos, más específicamente en las zonas de descarga, mezclado y filtrado. Para definir los activos más críticos y priorizarlos en el plan de mantenimiento. Se acude a la herramienta FMECA para utilizar la metodología RCM, por lo que la autora recurre a las normas ISO 31.010 y las normas SAE JA 1011 y SAE JA 1012.

Se realiza para cada uno de los equipos presentados con anterioridad en la sección Levantamiento, gracias al historial de fallas y estado actual que se tiene, esto con la ayuda del encargado de mantenimiento, de producción y los trabajadores.

Es importante mencionar que la implementación de los FMECA no se encuentra desarrollada al 100%, ya que la organización no cuenta con estándares de desempeño definidos para los distintos activos estudiados.

Debido a la extensión del desglose de las zonas a tratar, a continuación, se presenta uno de los FMECA realizados. Cabe mencionar que los factores S, O, D y NPR tienen valores cuantitativos claros y definidos que serán presentados más adelante.

Tabla 9.11: Análisis FMECA para el eje de la ensacadora en zona de descarga.

Fuente: Elaboración propia.

Equipo	Función	Modo de fallo	Efecto de falla	S	Causas de fallo	O	Control actual de detección	D	NPR
Eje de la ensacadora	Desplazar la mezcla al aro para realizar descarga	Eje sin rotación	Sin desplazamiento de mezcla/ no descarga de material	7	Material húmedo estancado	9	Ninguno	10	630
				7	Corte de correa	2	Inspección visual	4	56
			Eje dañado	8	Objeto externo atrapado	4	Ninguno	10	320
	Descarga ralentizada		Rotación con menos velocidad	5		4		10	200
			Perdida de eficiencia en descarga	5		10	Ninguno	10	500
				5		7	Ninguno	10	350
			Desgaste prematuro del eje	7	Rodamiento dañado	3	Inspección acústica	5	105

Como se aprecia en la Tabla 9.11, para el equipo que se está analizando existen distintos modos de falla, donde cada uno tiene distintos efectos y causas. Además, se debe tener el conocimiento de cuáles son los controles actuales para poder divisar y/o anticipar los distintos fallos y poder solucionar o evitarlos.

En la última columna, aparece la sigla NPR o Número de prioridad de riesgo, es un valor que establece la prioridad de la falla o a través de la multiplicación de los factores S, O y D, los cuales son severidad, ocurrencia y detectabilidad respectivamente, lo cual nos orienta para enfocar y distribuir los recursos de mejor manera, identificando ítems críticos, siendo estos los NPR más altos. En caso de querer revisar las demás secciones estudiadas, los FMECA correspondientes a cada uno se encuentran en la sección Anexos.

En este trabajo de título se asignan las siguientes puntuaciones para los factores severidad, ocurrencia y detectabilidad.

Para la severidad nos referimos a que tan grave puede llegar a ser el modo de falla y cuál será el impacto de este en términos de rendimiento, interrupciones o indisponibilidad. El efecto puede ser en la producción, en la salud de los trabajadores o al medio ambiente clasificándose entre que no genera ningún efecto (asignando la puntuación 0) y que puede poner en riesgo al operador, afectando la producción y/o involucrando al MA ocurriendo sin aviso (asignando un puntaje de 10). La tabla de severidad se presenta a continuación

Tabla 9.12: Puntuación asignada para el criterio severidad.

Fuente: Elaboración propia.

S	CRITERIO SEVERIDAD
1	Ningún efecto
2	Variabilidad de los parámetros de proceso fuera de especificaciones.
3	Interrupción menor a la línea de producción. Baja de rendimiento momentáneo o indisponibilidad de máx.1 [hr]
4	Interrupción menor a la línea de producción. Baja de rendimiento momentáneo o indisponibilidad de 1 a 4 [hr].
5	Interrupción menor a la línea de producción. Baja de rendimiento constante o indisponibilidad de 4 a 6 [hr]
6	Interrupción mayor a la línea de producción. Indisponibilidad de 6 a 12 horas.
7	Interrupción mayor a la línea de producción. Indisponibilidad de 12 a 24 horas.
8	Interrupción mayor a la línea de producción. Más de 24 horas.
9	Puede poner en riesgo al operador, el modo de falla afecta la producción y/o involucra el MA. Ocurrirá CON aviso
10	Puede poner en riesgo al operador, el modo de falla afecta la producción y/o involucra el MA. Ocurrirá SIN aviso

Para el criterio ocurrencia se ocupa de referencia el historial de fallas, para ver cuál es la probabilidad de que suceda el modo de falla, clasificándose entre que el incidente es inverosímil (asignando puntuación 1) y que el incidente es casi inevitable (asignando puntuación de 9 o 10). La tabla con los criterios se presenta a continuación:

Tabla 9.13: Puntuación asignada para el criterio ocurrencia.

Fuente: Elaboración propia.

O	CRITERIO OCURRENCIA
1	El incidente es inverosímil
2	Relativamente pocos incidentes
3	
4	Incidentes ocasionales
5	
6	
7	Incidente repetitivo
8	
9	El incidente es casi inevitable
10	

Para terminar, el criterio de detectabilidad mide cual es la probabilidad de encontrar causas de los modos de falla, clasificándose desde “Es casi seguro detectar una posible causa del respectivo modo de falla” (asignándole un puntaje de 1), hasta “Los controles actuales no pueden detectar la causa potencial o no hay control alguno” (asignándole un puntaje de 10). La tabla con los criterios se presenta a continuación:

Tabla 9.14: Puntuación asignada para el criterio de detectabilidad.

Fuente: Elaboración propia.

D	CRITERIO DETECTABILIDAD
1	Es casi seguro detectar una posible causa del respectivo modo de falla.
2	Muy altas probabilidades de detectar una posible causa del respectivo modo de falla.
3	Altas probabilidades de detectar una posible causa del respectivo modo de falla.
4	Probabilidades moderadamente altas de detectar una posible causa del respectivo modo de falla.
5	Moderadas probabilidades de detectar una posible causa del respectivo modo de falla.
6	Bajas probabilidades de detectar una posible causa del respectivo modo de falla.
7	Muy bajas probabilidades de detectar una posible causa del respectivo modo de falla.
8	Remotas probabilidades de detectar una posible causa del respectivo modo de falla.
9	Muy remotas probabilidades de detectar una posible causa del respectivo modo de falla.
10	Los controles actuales no pueden detectar la causa potencial o no hay control alguno.

Cuantificando los factores se obtiene un NPR, se utilizará la siguiente jerarquización para los valores obtenidos.

Tabla 9.15: Definición de nivel de criticidad según puntaje obtenido en FMECA.

Fuente: Elaboración propia.

Riesgo	NPR
Critico	$NPR \geq 400$
Semi critico	$400 > NPR \geq 120$
Poco crítico	$NPR < 120$

Definiendo como críticos a los componentes con un NPR mayor o igual a 400, semi críticos a los que se encuentran entre 120 y 400 (incluyendo el 120) y como poco críticos a los con un puntaje menor a 120.

9.4.1. Jerarquización

Con la sección anterior podemos obtener finalmente cual es la jerarquización y los componentes en los que se enfocará el plan de mantenimiento. Basándonos en la escala definida para el NPR en la Tabla 9.15, la jerarquización se presenta a continuación:

Tabla 9.16: Nivel de criticidad según NPR.

Fuente: Elaboración propia

Equipo	Zona	NPR	Riesgo
Aro del eje	Descarga	700	Crítico
Eje de ensacadora	Descarga	630	Crítico
Tolva	Descarga	450	Crítico
Boquilla	Descarga	400	Crítico
Eje mezcladora	Mezcla	320	Semi crítico
Tolva	Mezcla	320	Semi crítico
Válvulas guillotina	Descarga	280	Semi crítico
Rodamientos/manguito eje mezcladora	Mezcla	280	Semi crítico
Válvula guillotina	Mezcla	280	Semi crítico
Mangas	Filtrado	270	Semi crítico
Extractor	Filtrado	180	Semi crítico
Separador	Filtrado	160	Semi crítico
Motor eléctrico ensacadora	Descarga	140	Semi crítico
Motor eléctrico mezcladora	Mezcla	140	Semi crítico
Rodamientos eje ensacadora	Descarga	120	Semi crítico
Correas motor-eje	Descarga	120	Semi crítico
Correas motor-caja mezcladora	Mezcla	120	Semi crítico
Extractores	Filtrado	100	Poco crítico
Poleas motor	Descarga	96	Poco crítico
Caja reductora	Mezcla	96	Poco crítico
Sellos eje	Descarga	80	Poco crítico
Sellos eje	Mezcla	80	Poco crítico
Vibrador	Mezcla	80	Poco crítico
Motor eléctrico	Filtrado	72	Poco crítico
Protección y sellos	Mezcla	64	Poco crítico
Sello conexión tolva-ensacadora	Descarga	36	Poco crítico
Sello conexión tolva-mezcladora	Mezcla	36	Poco crítico

Para visualizar de mejor forma la distribución obtenida de criticidad para los equipos/componentes, se presenta el siguiente grafico:

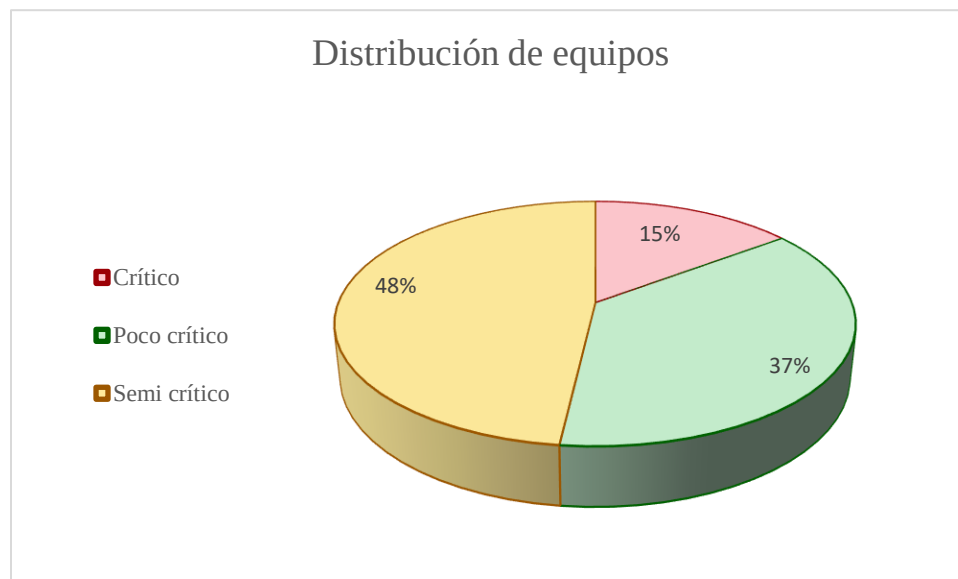


Figura 11: Distribución de los equipos según criticidad

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 9.16 se desprende que existen cuatro equipos críticos, siendo estos, parte de la máquina ensacadora o zona de descarga, representando un 15% de los componentes totales analizados. La distribución porcentual se observa en la Figura 11, teniendo una repartición restante de los equipos poco críticos y semi críticos de un 37% y 48% respectivamente.

Cabe destacar que el motivo principal por el que se busca jerarquizar los equipos es para dirigir los recursos hacia aquellos equipos y componentes que tengan el mayor impacto en el proceso productivo, la seguridad del trabajador y/o el medio ambiente en caso de alguna eventualidad. Así entonces el plan de mantenimiento diseñado en este trabajo de título estará enfocado en los equipos críticos mostrados anteriormente y los equipos semi críticos.

De esta forma queda definido que, de las cuatro plantas productivas, es decir, pastas, solventes, acuosos y polvos, el enfoque va a esta última, dirigiendo los recursos a un poco

más del 50% de los equipos dentro de las tres zonas más importantes o críticas, logrando acotar el universo levantado en la sección 8 Levantamiento y poder enfocar los recursos.

10. Elección de herramienta

La herramienta seleccionada en esta ocasión es RCM, mantenimiento centrado en la confiabilidad, se utilizarán sus 7 preguntas para lograr el desarrollo exitoso del plan de mantenimiento. Paralelamente se consideran los estudios del análisis FMECA de los componentes, los cuales, tal como se menciona en secciones anteriores se encuentran en la sección Anexos.

Esta herramienta fue seleccionada en línea con la estrategia que tiene la empresa, si bien al efectuar el análisis FMECA se responden las primeras cinco preguntas del paso a paso, en esta ocasión se responderá la pregunta número 6 “¿Qué se puede hacer para predecir/prevenir las fallas?” con el fin de obtener las acciones y/o actividades que puedan prevenir una falla y también definir la frecuencia con la que se realizarán. De todas formas, es importante mencionar que hay modos de falla que no pueden prevenirse, por lo que se pasa a la pregunta número 7 “¿Qué puede hacerse si acaso una tarea proactiva no puede ser encontrada?” obteniendo acciones del tipo reactivas, quedando estas dentro del mantenimiento reactivo o correctivo.

11. Diseño plan de mantenimiento

A partir de la jerarquización de la sección Criticidad (Sección 9) del presente trabajo, se comienza a desarrollar el plan de mantenimiento para los equipos seleccionados.

El siguiente plan será abordado con las herramientas propuestas en el Marco teórico, más específicamente RCM, tal como se menciona en la sección anterior, se utilizarán los antecedentes que se tienen en la empresa como el historial de fallas y los manuales existentes. Además, es importante destacar que el plan de mantenimiento que se presenta fue realizado en conjunto con el área de mantenimiento, los operadores de la planta de polvos, el encargado de mantenimiento y el jefe de producción, abordando las acciones y/o actividades de manera aterrizada en cuando a las necesidades de la planta y las capacidades de esta, además de tomar en cuenta la capacidad actual del personal de mantenimiento.

En esta sección la autora presentará planes de mantenimiento proactivo de los equipos críticos y semi críticos seleccionados, en donde se realizarán actividades del tipo proactivas y preventivas para disminuir las paradas no programadas.

La estructura del plan de mantenimiento para cada componente se reduce a enumerar las actividades que se realizaran, su frecuencia, el tiempo esperado para realizarse y el encargado de ejecutarlas; adicionalmente existe una tabla con estándares para las actividades que lo requieren. Los planes se detallan a continuación:

11.1. Equipos críticos

Como se menciona con anterioridad, los componentes críticos resultantes son: El aro de la ensacadora, su eje, la tolva y boquilla de la zona de descarga, cabe mencionar que todos estos componentes son parte de la máquina ensacadora, que es la encargada de llenar los sacos en el proceso de descarga de producto terminado. A continuación, se presenta el plan diseñado para cada uno de los componentes en detalle:

11.1.1. Aro del eje en área de descarga

En la sección de descarga, como bien se menciona en sección Historial de fallas y estado actual (Véase capítulo 9.1), se presenta que uno de los problemas es el daño que se genera en el aro del eje por desgaste, siendo una pieza fundamental ya que entrega la eficiencia al giro del eje direccionando la descarga del PT. El aro es un componente hecho a medida, si bien su composición es simple, cumple un objetivo fundamental.

A continuación, se presenta el diseño del plan de mantenimiento inicial, seguido de los estándares requeridos para algunas de las actividades:

Tabla 11.1: Planificación de mantenimiento para aro del eje (ensacadora).

Fuente: Elaboración propia.

Plan de mantenimiento					
Equipo/Instalación		Aro del eje			
Marca		-			
Modelo		A medida			
Observaciones					
El aro se daña por la abrasión del material y en especial la arena, es imperativo su cambio y estudio de material más adecuado en su reemplazo					
n°	Actividad	Frecuencia	Tipo de mantenimiento	Tiempo estimado	Encargado
1	Limpieza y desarme	Con cambio de producto	Preventivo	3 [hr]	Mantenedor
2	Cambio	Cuatrimstral	Preventivo	6 [hr]	Mantenedor
3	Inspección	Con cambio de producto	Preventivo	0,25 [hr]	Operador

La limpieza del aro debe realizarse con cada cambio de producto, con la finalidad de no acumular material en las superficies y que con la humedad aceleren el desgaste, paralelamente a la limpieza debe realizarse una inspección verificar el estado en el que se encuentra el aro y su cuidado. Por otro lado, el cambio se realizará inicialmente cada cuatro meses, esto con el respaldo de la experiencia del mecánico mantenedor, ya que habitualmente cada cinco o seis meses la maquina debe pararse para reemplazar este componente, debido a que ya no cumple su función. Esta acción lograra planificar el cambio y no tener que parar la producción en medio de una partida, poniendo en riesgo el producto final, la integridad de las máquinas y eventualmente al operador.

En el caso de la inspección y la limpieza existen estándares definidos, como por ejemplo el grosor mínimo que debe presentar el eje al momento de la inspección para tener una idea de cómo es el avance que está teniendo el desgaste de la superficie del aro, para que en caso de que este desgaste sea acelerado, buscar la causa raíz y extender su vida, o finalmente adelantar el reemplazo.

La tabla con los estándares de las actividades requeridas se presenta a continuación:

Tabla 11.2: Estándares de actividad requeridos para la planificación de mantenimiento del aro del eje.

Fuente: Elaboración propia.

Estándares de actividad				
n°	Actividad	A evaluar	Estándar	Tipo de Control
1	Inspección	Superficie del aro	Sin desgaste notorio	Visual
2	Inspección	Superficie del aro	Con grosor mínimo de 4 [mm]	Medible
3	Limpieza y desarme	Superficie del aro	Sin material adherido en superficies	Visual
4	Limpieza y desarme	Instalación	Concéntrico con el eje	Visual
5	Limpieza y desarme	Caja	Sin desgaste notorio	Visual
6	Limpieza y desarme	Caja	Sin material adherido en rincones	Visual

11.1.2. Eje en área de descarga

Análogamente al componente anterior, el eje del área de descarga presenta una criticidad importante y también según el historial de fallas. Es un componente hecho a medida, lo que implica que se debe tener repuestos para su cambio, el eje suele presentar desgastes en sus alabes y un desajuste de alineamiento en los mismos. El eje es un componente crucial, ya que, si comienza a bajar su capacidad de giro o eficiencia, se verá reflejado directamente en la velocidad de llenado de los sacos. Su planificación se presenta a continuación, al igual que los estándares requeridos para las actividades:

Tabla 11.3: Planificación de mantenimiento para eje (ensacadora).

Fuente: Elaboración propia.

Plan de mantenimiento					
Equipo/Instalación		Eje de ensacadora			
Marca		-			
Modelo		A medida			
Observaciones					
El eje de la ensacadora pierde sujeción de los alabes por vibraciones existentes, además sufre desgaste por el material abrasivo con el que se trabaja.					
nº	Actividad	Frecuencia	Tipo de mantenimiento	Tiempo estimado	Encargado
1	Limpieza exterior	Con cambio de producto	Preventivo	1 [hr]	Operador
2	Cambio completo	Anual	Preventivo	4 [hr]	Mantenedor
3	Inspección visual	Cuatrimestral	Preventivo	0,25 [hr]	Mantenedor
4	Reapriete de alabes	Cuatrimestral	Preventivo	1 [hr]	Mantenedor

El plan es similar al propuesto para el aro del eje, sin embargo, este al tener un desalineamiento en los alabes del eje a largo plazo, los trabajos requeridos necesitan mayor cantidad de estándares, los cuales se presentan a continuación:

Tabla 11.4: Estándares de actividad requeridos para la planificación de mantenimiento del aro del eje.

Fuente: Elaboración propia.

Estándares de actividad				
n°	Actividad	A evaluar	Estándar	Tipo de Control
1	Cambio completo	Instalación	Sonidos conocidos, sin variaciones	Sonora
2	Cambio completo	Instalación	No debe tener grandes vibraciones fuera de lo común	Sonora
3	Reapriete de alabes	Ubicación	Alabes alineados en ubicación correcta	Visual
4	Inspección visual	Superficie	Sin desgastes que afecten el funcionamiento previsto	Visual
5	Inspección visual	Grosor	No debe ser menor a 8 [mm]	Visual
6	Limpieza exterior	Superficie	Sin material adherido en superficies	Visual

11.1.3. Boquilla en área de descarga

La boquilla es el componente que permite dirigir el producto al interior de los sacos, esta sufre golpes constantes al estar más expuesta que los otros componentes, además el operador la manipula constantemente con el destape que se realiza cuando se satura por material húmedo. Es importante mencionar que al igual que los dos componentes vistos anteriormente, es una pieza a medida, lo que explica la urgencia de tener repuestos en caso de una falla intempestiva. Con el fin de evitar su desgaste excesivo o falla se plantea el siguiente plan de mantenimiento:

Tabla 11.5: Planificación de mantenimiento para la boquilla (ensacadora).

Fuente: Elaboración propia.

Plan de mantenimiento					
Equipo/Instalación		Boquilla			
Marca		-			
Modelo		A medida			
Observaciones					
La boquilla sufre desgaste por destapes realizados de forma poco optima, además de depositarse material húmedo en sus paredes					
n°	Actividad	Frecuencia	Tipo de mantenimiento	Tiempo estimado	Encargado
1	Limpieza de material	Con cambio de producto	Preventivo	10 [min]	Operador
2	Cambio	Bianual	Preventivo	1 [hr]	Mantenedor
3	Inspección visual	Cuatrimestral	Preventivo	5 [min]	Operador
4	Reapriete de instalación	Semestral	Preventivo	15 [min]	Operador

Si bien, las acciones o actividades que se realizan para la boquilla demoran un tiempo reducido, se tienen estándares para la mayoría de sus actividades, las cuales se presentan a continuación:

Tabla 11.6: Estándares de actividad requeridos para la planificación de mantenimiento de la boquilla.

Fuente: Elaboración propia.

Estándares de actividad				
n°	Actividad	A evaluar	Estándar	Tipo de Control
1	Inspección visual	Superficies de boquilla	Sin abolladuras	Visual
2	Inspección visual	Superficie interior y exterior	Sin trizaduras/grietas	Visual
3	Inspección visual	Superficie interior y exterior	Sin fugas de material	Visual
4	Inspección visual	Superficie interior y exterior	Sin falta de material	Visual
5	Limpieza de material	Superficie interior y exterior	Sin producto solido adherido	Visual
6	Limpieza de material	Superficie interior y exterior	Limpia, sin material adherido	Visual
7	Cambio	Alineación	A favor de dirección de descarga	Visual
8	Cambio	Sujeción	Sin fugas de material	Visual

11.1.4. Tolva de área de descarga

La tolva de descarga se encuentra entre la mezcladora y la ensacadora, esta tiene una celda de carga que permite controlar la bajada de material desde la mezcladora. Cabe destacar que esta tolva acumula material en sus paredes, por lo que, para facilitar la bajada de este, el operador con un mazo golpea las paredes de la tolva con la finalidad de agilizar la bajada del producto acumulado, evidentemente esta acción no contribuye con el cuidado ni la integridad de las paredes de esta. De esta manera, este componente requiere de una limpieza semanal por la acumulación de material en las paredes, adicional se realiza una inspección visual de esta en caso de necesitar alguna acción fuera del plan y para tener bajo control la frecuencia en que deben realizarse las acciones.

El plan propuesto para la tolva y los estándares mínimos necesarios se presentan a continuación:

Tabla 11.7: Planificación de mantenimiento para la tolva del área de descarga.

Fuente: Elaboración propia.

Plan de mantenimiento					
Equipo/Instalación		Tolva			
Marca		-			
Modelo		A medida			
Observaciones					
La tolva sufre desgaste por el material y su naturaleza abrasiva.					
n°	Actividad	Frecuencia	Tipo de mantenimiento	Tiempo estimado	Encargado
1	Limpieza interna	Semanal	Preventivo	0,5 [hr]	Operador
2	Inspección visual	Semanal	Preventivo	10 [min]	Operador
3	Calibrar celda de carga	Semestral	Preventivo	3 [hr]	Externo
4	Realizar refuerzos	Anual/ Al fallo	Proactivo	6 [hr]	Mantenedor

Tabla 11.8: Estándares de actividad requeridos para la planificación del mantenimiento de la tolva en el área de descarga.

Fuente: Elaboración propia.

Estándares de actividad				
n°	Actividad	A evaluar	Estándar	Tipo de Control
1	Inspección visual	Superficies de tolva	Sin grietas en las superficies	Visual
2	Inspección visual	Superficies de tolva	Sin fugas de material	Visual
3	Inspección visual	Superficies de tolva	Sin abolladuras	Visual
4	Limpieza externa	Superficies de tolva	Limpia, sin material adherido	Visual
5	Realizar refuerzos	Superficies de tolva	Debe cumplir función anterior estipulada	Visual
6	Calibrar celda de carga	Celda de carga	Sin material adherido	Visual

Podemos observar de la Tabla 11.8 donde se presentan los estándares para las actividades a realizar en la tolva del área de descarga, que se tienen distintos estándares establecidos en la inspección visual, esto con la intención de tener bajo control el estado de esta, teniendo la oportunidad de modificar la frecuencia de las actividades en caso de que la situación así lo permita.

11.2. Equipos semi críticos

Para seguir con el plan de mantenimiento se describirán los planes propuestos para los siguientes equipos en la lista obtenida en la sección 9.4.1, los cuales son: el eje, la tolva y los rodamientos/manguitos de la zona de mezcla y la válvula guillotina de la ensacadora o zona de descarga, los equipos restantes irán en anexo debido a la extensión del plan de mantenimiento.

11.2.1. Eje de mezcladora o zona de mezcla

El eje de la mezcladora es aquel que permite obtener el producto terminado, mediante su rotación, es el encargado de homogenizar las materias primas. Al ser este el primer componente que se enfrenta al material, quiere decir que las MP vienen desde el interior de silos, pudiendo contener impurezas, humedad acumulada o simplemente recibir el impacto de estas, al agregarse para ser mezcladas entre ellas. Dentro de las actividades o acciones que se deben realizar se encuentra su limpieza, inspección visual y además un reapriete de alabes cada semestre, debido a que el impacto afecta directamente la sujeción y alineación de estos. El plan diseñado para el eje principal de la mezcladora se presenta a continuación:

Tabla 11.9: Planificación de mantenimiento para el eje de la mezcladora

Fuente: Elaboración propia.

Plan de mantenimiento					
Equipo/Instalación		Eje principal mezcladora			
Marca		-			
Modelo		A medida			
Observaciones					
El eje de la mezcladora recibe el impacto de las MP's desde la distribución de arena y cemento, como también de aditivos que se agregan en formato de sacos de 25 [kg]					
n°	Actividad	Frecuencia	Tipo de mantenimiento	Tiempo estimado	Encargado
1	Limpieza exterior	Con cambio de producto	Preventivo	2 [hr]	Operador
2	Reapriete de alabes	Semestral	Preventivo	2 [hr]	Mantenedor
3	Inspección visual	Semestral	Preventivo	15 [min]	Mantenedor

Al igual que los planes de mantenimiento presentados para otros componentes, a continuación, se presentan los estándares de actividad requeridos para este componente:

Tabla 11.10: Estándares de actividad requeridos para la planificación del mantenimiento del eje de la zona de mezcla.

Fuente: Elaboración propia.

Estándares de actividad				
n°	Actividad	A evaluar	Estándar	Tipo de Control
1	Reapriete de alabes	Ubicación	Alabes alineados en ubicación correcta	Visual
2	Inspección visual	Superficie	Sin desgastes que afecten el funcionamiento	Visual
3	Limpieza exterior	Superficie	Sin material adherido en alabes o partes del eje	Visual

11.2.2. Tolva de mezcladora o zona de mezcla

La tolva de la mezcladora es similar a la tolva de la ensacadora, con la diferencia de que esta cuenta con un vibrador para facilitar el desprendimiento del material adherido en las paredes, además, esta tolva se encuentra a mayor altura y conectada con los silos, por lo que limpiar en su interior es de difícil acceso. El plan de la tolva y sus estándares de actividad se presentan a continuación:

Tabla 11.11: Planificación de mantenimiento para la tolva de la zona de mezclado.

Fuente: Elaboración propia.

Plan de mantenimiento					
Equipo/Instalación		Tolva mezcladora			
Marca		-			
Modelo		A medida			
Observaciones					
La tolva es de difícil acceso en la zona interior para realizar una limpieza de las paredes, por lo que se tiene un vibrador que facilita el desprendimiento de material adherido.					
n°	Actividad	Frecuencia	Tipo de mantenimiento	Tiempo estimado	Encargado
1	Inspección visual	Semestral	Preventivo	10 [min]	Operador
2	Calibrar celda de carga	Anual	Preventivo	3 [hr]	Externo
3	Inspección de vibrador	Anual	Preventivo	30 [min]	Mantenedor
4	Realizar refuerzos	Anual / Al fallo	Proactivo	5 [hr]	Mantenedor

Tabla 11.12: Estándares de actividad requerido para la planificación de mantenimiento de la tolva de la zona de mezclado.

Fuente: Elaboración propia.

Estándares de actividad				
n°	Actividad	A evaluar	Estándar	Tipo de Control
1	Inspección visual	Superficie de tolva	Espesor mínimo de 1 [cm]	Medible
2	Inspección visual	Superficie de tolva	Sin filtración de material	Visual
3	Inspección visual	Superficie de tolva	Sin grietas en superficies	Visual
4	Realizar refuerzos	Refuerzo	Debe cumplir función estipulada	Visual
5	Calibrar celda de carga	Celda de carga	Sin material adherido	Visual

11.2.3. Válvula guillotina de ensacadora o zona de descarga

Esta válvula es la encargada de permitir el paso de material desde la tolva que conecta la mezcladora y la ensacadora, siendo la responsable de vincular y conectar ambas etapas. Su accionamiento es del tipo neumático, por lo que su mantenimiento está más enfocado a las conexiones, la alimentación y la conservación de la entrega del aire. El plan de mantenimiento y sus estándares se presentan a continuación:

Tabla 11.13: Planificación de mantenimiento para la válvula guillotina de la zona de descarga.

Fuente: Elaboración propia.

Plan de mantenimiento					
Equipo/Instalación		Guillotina			
Marca		-			
Modelo		A medida			
Observaciones					
n°	Actividad	Frecuencia	Tipo de mantenimiento	Tiempo estimado	Encargado
1	Lubricación FRL	Mensual	Preventivo	15 [min]	Mantenedor
2	Reapriete de sello mecánico	Mensual	Preventivo	20 [min]	Mantenedor
3	Inspección del SN	Bimestral	Preventivo	30 [min]	Mantenedor
4	Limpieza profunda	Trimestral	Preventivo	60 [min]	Operador
5	Regulación de presión	Trimestral	Preventivo	20 [min]	Mantenedor
6	Cambio sello mecánico	Semestral	Preventivo	40 [min]	Mantenedor
7	Cambio de mangueras	Anual	Preventivo	45 [min]	Mantenedor
8	Cambio de sello cilindro	Anual	Preventivo	40 [min]	Mantenedor
9	Cambio terminal pistón	Anual	Preventivo	40 [min]	Mantenedor

Tabla 11.14: Estándares de actividad requeridos para la planificación de mantenimiento de la válvula guillotina en la zona de descarga.

Fuente: Elaboración propia.

Estándares de actividad				
n°	Actividad	A evaluar	Estándar	Tipo de Control
1	Cambio de mangueras	Mangueras	Buen estado terminales	Visual
2	Cambio de mangueras	Presión	Presión de máximo 4 [bar]	Visual
3	Cambio de mangueras	Mangueras	Sin fugas de aire	Visual
4	Cambio de mangueras	Mangueras	Sin dobleces innecesarios	Visual
5	Inspección visual	Mangueras	Sin material adherido en un interior	Visual
6	Inspección visual	Mangueras	Sin cambio de tonalidad	Visual
7	Cambio terminal pistón	Terminal	Buena sujeción de mangueras	Visual
8	Cambio sello mecánico	Terminal	Sin filtraciones de aire	Visual
9	Cambio de sellos	Sellos	Sin filtraciones de aire o material	Visual

11.2.4. Rodamientos y manguitos de la zona de mezcla

Los rodamientos y manguitos de la mezcladora representan una importante función, ya que, al ser parte del sistema del eje, estos resisten los esfuerzos realizados del sistema motorreductor colgante, que genera flexión en el eje, la cual es soportada por el rodamiento siendo también un componente de sacrificio para mantener el eje en el estado deseado. Es por lo que es importante definir su correcta frecuencia de cambio y cuidados generales, además de que también es una pieza importante en el giro del eje.

A continuación, se presenta el plan de mantenimiento definido para los rodamientos y manguitos (adaptador):

Tabla 11.15: Planificación de mantenimiento para la válvula guillotina de la zona de descarga.

Fuente: Elaboración propia.

Plan de mantenimiento					
Equipo/Instalación		Rodamientos / Manguitos			
Marca		Timken / Timken			
Modelo		22220 EK/C3 / H 320			
Observaciones					
Rodamiento de rodillos esféricos					
n°	Actividad	Frecuencia	Tipo de mantenimiento	Tiempo estimado	Encargado
1	Lubricación rodamientos	Mensual	Preventivo	30 [min]	Operador
2	Cambio de manguito	Anual	Preventivo	3 [hr]	Mantenedor
3	Cambio de rodamientos	Anual	Preventivo	3 [hr]	Mantenedor

Además, aunque sean acotados, se presentan los estándares requeridos para las actividades definidas:

Tabla 11.16: Estándares de actividad requeridos para la planificación de mantenimiento los rodamientos en la zona de mezcla.

Fuente: Elaboración propia.

Estándares de actividad				
n°	Actividad	A evaluar	Estándar	Tipo de Control
1	Cambio rodamientos	Rodamiento	No deben existir fugas de material	Visual
2	Cambio rodamientos	Rodamiento	Alineado con el eje	Visual
3	Lubricación rodamientos	Graseras	Sin obstrucciones y libre de impurezas	Visual

Si el lector desea consultar los planes de los activos restantes, puede consultar el Anexo.

11.3. Plan matriz

Si bien ya se tiene el plan diseñado para realizar el plan de mantenimiento, se debe cuadrar la distribución de los tiempos y el personal a aplicar, es por lo que nace el siguiente plan matriz, dividido por las tres máquinas estudiadas, es decir: la zona de descarga (ensacadora), la zona de mezcla (mezcladora) y la zona de filtrado (filtros), definiendo bien la frecuencia de cada actividad.

Tabla 11.17: Plan matriz de mantenimiento zona de descarga.

Fuente: Elaboración propia.

Componente	Actividad	Mes/ Semana Frecuencia	Mar		Abr		May		Jun		Jul		Ago		Sept		Oct		Nov		Dic		Ene		Feb		Mar		
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
Aro	Limpieza y desarme	Con cambio de producto																											
	Cambio	Cuatrimestral																											
	Inspección	Con cambio de producto																											
Eje	Limpieza exterior	Con cambio de producto																											
	Cambio completo	Anual																											
	Inspección visual	Cuatrimestral																											
	Reapriete de alabes	Cuatrimestral																											
Boquilla	Limpieza de material	Con cambio de producto																											
	Cambio	Bianual																											
	Inspección visual	Cuatrimestral																											
	Reapriete de instalación	Semestral																											
Tolva	Limpieza externa	Semanal																											
	Inspección visual	Semanal																											
	Calibrar celda de carga	Semestral																											
	Realizar refuerzos	Anual/ Al fallo																											
Motor	Verificar consumo	Semestral																											
	Ajuste terminales de conexión	Semestral																											
	Verificar RPM	Semestral																											
	Control de temperatura	Semestral																											
	Mantenimiento externo	Bianual																											
Guillotina	Lubricación FRL	Mensual																											
	Reapriete de sello mecánico	Mensual																											
	Inspección del sistema neumático	Bimestral																											
	Limpieza profunda	Trimestral																											
	Regulación de presión	Trimestral																											
	Cambio sello mecánico	Semestral																											
	Cambio de mangueras	Anual																											
	Cambio de sello cilindro	Anual																											
	Cambio terminal piston	Anual																											
Rodamientos y correa	Lubricación rodamientos	Mensual																											
	Ajustar tensión correa	Mensual																											
	Cambio rodamientos	Semestral																											
	Cambio correa	Anual																											

Tabla 11.18: Plan matriz de mantenimiento zona de mezclado.

Fuente: Elaboración propia

Componente	Actividad	Mes/ Semana Frecuencia	Mar				Abr				May				Jun				Jul				Ago				Sept				Oct				Nov				Dic				Ene				Feb				Mar			
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4												
Eje mezcladora	Limpieza exterior	Con cambio de producto																																																				
	Reapriete de alabes	Semestral																																																				
	Inspección visual	Semestral																																																				
Tolva	Inspección visual	Semestral																																																				
	Calibrar celda de carga	Anual																																																				
	Inspección vibrador	Anual																																																				
	Realizar refuerzos	Anual / Al fallo																																																				
Rodamientos- manguitos	Lubricación rodamientos	Mensual																																																				
	Cambio de manguito	Anual																																																				
	Cambio de rodamientos	Anual																																																				
Guillotina	Reapriete de sello mec	Cuatrimestral																																																				
	Limpieza profunda	Semestral																																																				
	Regulación de presión	Semestral																																																				
	Cambio sello mecánico	Semestral																																																				
	Cambio de mangueras	Semestral																																																				
	Cambio de sello cilindro	Anual																																																				
	Cambio terminal piston	Anual																																																				
	Lubricación FRL	Anual																																																				
	Inspección del SN	Anual																																																				
Motor electrico	Verificar consumo	Semestral																																																				
	Ajuste terminales conex	Semestral																																																				
	Verificar RPM	Semestral																																																				
	Control de temperatura	Semestral																																																				
	Mantenimiento externo	Bianual																																																				
Correa	Ajustar tensión correa	Trimestral																																																				
	Cambio correas	Anual																																																				

Tabla 11.19: Plan matriz de mantenimiento zona de filtrado.

Fuente: Elaboración propia.

Equipo o instalación	Actividad	Mes/ Semana Frecuencia	Mar				Abr				May				Jun				Jul				Ago				Sept				Oct				Nov				Dic				Ene				Feb				Mar			
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4								
Mangas	Limpieza	Trimestral																																																				
	Cambio	Anual																																																				
Extractor	Limpieza de ductos	Bienal																																																				
	Mantenimiento externo	Bienal																																																				
Separador	Limpieza	Anual																																																				

11.4. Puesta en marcha

Del plan de mantenimiento presentado podemos observar que las actividades inician en marzo, esto debido a que cuando se terminó de diseñar el plan con el equipo de mantenimiento, se comenzó a implementar en el mes de marzo del presente año. Para esta ocasión ocurre el escenario más desfavorable, que es realizar todas las acciones de mantenimiento preventivo en el año.

En esa fecha se desmontaron los motores dentro del plan que necesitaban mantenimiento externo, enviándolos al proveedor correspondiente. El desmonte de los motores nos dio un tiempo de siete días hábiles para poder desarrollar las tareas correspondientes al peor de los escenarios, debido a que no existían registros ni antecedentes de que en algún momento los motores hayan recibido mantenimiento. A continuación, se tienen registros de algunas de las tareas realizadas durante su puesta en marcha:



Figura 12: Antes y después del mantenimiento del motor eléctrico de la mezcladora.
Fuente: Elaboración propia.

Ademas podemos ver el estado en el que se encontraban el aro del eje (lado izquierdo) y el interior de la boquilla de descarga (lado de derecho).



Figura 13: Estado del aro y la boquilla al realizar plan de mantenimiento por primera vez.

Fuente: Elaboración propia.

Con estas imágenes, se evidencia la importancia de este plan de mantenimiento al ver el desgaste alcanzado por los componentes, lo más probable es que si no se hubiese aplicado este mantenimiento, la planta hubiese tenido una parada no programada y con pérdida de producción significativa.

12. Análisis económico

El análisis económico en este trabajo permitirá visualizar si el plan propuesto es conveniente en términos productivos y aplicable a la organización, además de poder conocer cuál es el impacto que se genera gracias a este.

Si bien en el presente trabajo se tiene un levantamiento del historial de fallas e indicadores, actualmente en el departamento de mantenimiento no se tiene un registro claro y actualizado de cuándo y cuáles han sido las acciones implementadas en cada máquina, en consecuencia, no se tiene un control real de gastos aplicados en el mantenimiento, ni mucho menos cuales son las perdidas alcanzadas. De esta manera se procede a estimar el plan propuesto en cuanto a gastos, poniéndose en el peor escenario, que es realizar las actividades planificadas de mantenimiento en un mismo año y a su vez comparar el costo que este genera, con la perdida que se tendría al tener fallas intempestivas en el mismo periodo de tiempo, basándonos en el historial de fallas actual. Hay que recordar que en la planta de polvos una falla puede mantener la planta detenida durante una semana y que, según años anteriores, suelen pasar de una a dos veces en el periodo de un año. Ya con esto planteado se procede a realizar en análisis económico con los siguientes datos:

12.1. Ingresos

La empresa cuenta con cuatro plantas productivas, y para este trabajo de título se tienen las ganancias separadas para cada una de ellas, al igual que con la producción en cantidades, según los datos proporcionados por la empresa para el periodo 2021 se tiene lo siguiente:



Gráfico 1: Ingreso año 2021 en planta de polvos.

Fuente: Elaboración propia con ayuda de datos proporcionados por la empresa.

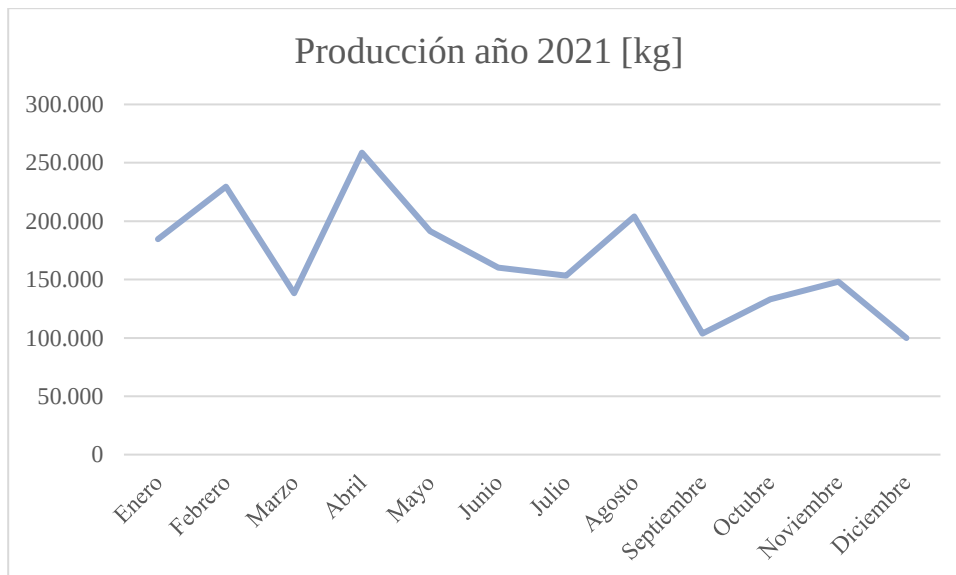


Gráfico 2: Producción año 2021 en planta de polvos.

Fuente: Elaboración propia con ayuda de datos proporcionados por la empresa.

Con los datos proporcionados por la empresa y extraídos del gráfico, tenemos que:

Tabla 12.1: Datos contables planta de polvos.

Fuente: Fuente: Elaboración propia con ayuda de datos proporcionados por la empresa.

Año	Venta anual [CLP]	Promedio venta mensual [CLP]	Cantidad producida anual [kg]	Promedio cantidad mensual [kg]
2021	\$464.117.064	\$38.676.422	2.005.200	167.100

Por lo que, basándose en el año 2021, al ser el escenario realista y acertado con la realidad de la planta en este momento, se puede calcular lo que nos importa para el plan de mantenimiento, que es el costo por la hora perdida si la planta llegara a detenerse por una falla intempestiva. Utilizando la venta y la cantidad producida anual tenemos que:

$$\text{Ingreso por kg producido} = \frac{\text{Venta anual}}{\text{Cantidad producida anual}} \quad (1)$$

$$\text{Ingreso por kg producido} = \frac{\$464.1173.064}{2.005.200} \quad (2)$$

$$\text{Ingreso por kg producido} = \$231 \quad (3)$$

Obteniendo un ingreso por kg producido de \$231 chilenos, además, con este valor, podemos obtener cuanto es lo que se gana por unidad vendida, que en este caso son sacos de 25 [kg]:

$$\text{Ingreso por saco de 25 [kg] producido} = \$231 \cdot 25 \quad (4)$$

$$\text{Ingreso por saco de 25 [kg] producido} = \$5.786 \quad (5)$$

Con estos datos y considerando que se utiliza de referencia el año 2021, que contó con un total de 252 días laborales en el año, además según la jornada que realiza la planta de polvos (8 horas de jornada diaria), se tiene un equivalente a un total de 2016 horas efectivas considerando un cumplimiento del 90%. Además, la producción mínima promedio de polvos en un día común es de cuatro partidas diarias de 2000 [kg] cada una, equivalente a 8000 [kg] producidos al final de la jornada (320 sacos de 25 [kg])

Considerando entonces un ingreso de \$231 por kg, con una producción diaria de 8000 [kg] se tiene que el ingreso diario corresponde a:

$$\text{Ingreso diario} = \$231 \cdot 8000 \quad (6)$$

$$\text{Ingreso diario} = \$1.851.654 \quad (7)$$

Obteniendo entonces un ingreso diario de \$1.851.654 en una jornada laboral de 8 hora, por lo que se puede calcular el costo de hora perdida en caso de una parada no programada.

$$\text{Costo hora perdida} = \frac{\$1.851.654}{8} \quad (8)$$

$$\text{Costo hora perdida} = \$231.457 \quad (9)$$

Por lo tanto, se obtiene un valor aproximado de **\$231.500 por hora perdida** si se detiene intempestivamente la planta de polvos.

Con ayuda de la ecuación (7) se calcula el ingreso semanal (5 días hábiles) y anual (252 días hábiles) con 90% de horas efectivas a modo de apoyo para utilizar más adelante:

$$\text{Ingreso semanal} = 5 \cdot \$1.851.654 = \$9.258.270 \quad (10)$$

$$\text{Ingreso anual} = 252 \cdot \$1.851.654 \cdot 90\% = \$419.955.117 \quad (11)$$

12.2. Pérdida

Con los datos de la sección anterior, se puede estimar cual es la perdida de ganancia que se puede generarse una falla intempestiva en la planta de polvos.

Para estimar esto, se realiza con la ayuda del historial de falla, los operadores de planta, el equipo de mantenimiento y la jefatura del área; al igual que para generar los planes presentados en secciones anteriores. Según los últimos antecedentes, durante los años pasados, existieron en promedio dos paradas no programadas de una semana por una falla en un componente que no se tenía repuestos o requería de una reparación externa que tomaba días, además del tiempo requerido para volver a montar un componente en la planta. Por lo tanto, asumiendo una detención de dos semanas en el año, considerando el valor de ingreso semanal calculado en la ecuación (10) se obtiene entonces que:

$$\text{Pérdida de ingreso anual} = 2 \cdot \$9.258.270 = \$18.516.540 \quad (12)$$

Lo que podría verse como **una pérdida de aproximadamente \$20.000.000** si se llegara a detener la planta dos veces en un año, con una extensión promedio de 5 días cada una.

12.3. Costo del plan de mantenimiento

Calculado todo lo necesario del escenario actual, se procede a aterrizar de manera contable el plan propuesto anteriormente, cabe destacar que será calculado en el peor de los escenarios, que es realizar todas las actividades de mantenimiento preventivo durante el primer año de aplicación.

En la sección Marco teórico se presentan los costos de mantenimiento y su clasificación entre fijos y variables, para este diseño del plan de mantenimiento se ven costos fijos en el año, reflejados como los sueldos y los costos variables, que vendrían siendo la adquisición de repuestos durante el año y las reparaciones con externos realizados.

12.3.1. Costos variables

Para los costos variables se tiene entonces la adquisición de insumos, repuestos y los trabajos externalizados. A continuación, se presentan los costos variables anuales según equipo:

Para los repuestos de la ensacadora según el plan matriz de la Tabla 11.17, el listado de repuestos requeridos durante el año es el siguiente:

Tabla 12.2: Costos variables de repuestos ensacadora.

Fuente: Elaboración propia con ayuda de los datos de la empresa.

Descripción	Qty	Precio unitario	Total
Kit impeller (aro y eje)	2	\$ 600.000	\$ 1.200.000
Boquilla	1	\$ 80.000	\$ 80.000
Mantenimiento externo del motor	1	\$ 199.700	\$ 199.700
Calibración	1	\$ 62.526	\$ 62.526
Sello cilindro	2	\$ 12.000	\$ 24.000
Rodamientos	2	\$ 68.800	\$ 137.600
Correa motor	2	\$ 15.460	\$ 30.920
			\$ 1.734.746

Para las actividades de la mezcladora según el plan matriz de la Tabla 11.18, el listado de repuestos requeridos durante el año es el siguiente:

Tabla 12.3: Costos variables de repuestos mezcladora

Fuente: Elaboración propia con ayuda de los datos de la empresa.

Descripción	Qty	Precio unitario	Total
Calibración celda	1	\$ 62.000	\$ 62.000
Rodamiento eje	2	\$ 65.000	\$ 130.000
Manguito	2	\$ 44.000	\$ 88.000
Sello cilindro	2	\$ 12.000	\$ 24.000
Sello (Tapa rodamientos)	2	\$ 7.900	\$ 15.800
Motor	1	\$ 187.000	\$ 187.000
Correa	4	\$ 32.000	\$ 128.000
			\$ 634.800

Para las actividades de los filtros según el plan matriz de la Tabla 11.19 el listado de repuestos requeridos durante el año es el siguiente:

Tabla 12.4: Costos variables de repuestos filtros.

Fuente: Elaboración propia con ayuda de los datos de la empresa.

Descripción	Qty	Precio unitario	Total
Mangas cortas	20	\$ 8.250	\$ 165.000
Mangas largas	10	\$ 8.880	\$ 88.800
			\$253.800

Adicionalmente, hay insumos que se requieren para realizar las actividades de mantenimiento propuestas, por lo cual, para la duración de un año, los insumos necesarios son los siguientes:

Tabla 12.5: Costos variables de insumos para plan de mantenimiento

Fuente: Elaboración propia con ayuda de los datos de la empresa.

Descripción	Qty	Precio unitario	Total
Aceite FRL	1	\$ 3.766	\$ 3.766
Empaquetadura [m]	2	\$ 51.200	\$ 102.400
Mangueras para ensacadora [m]	15	\$ 1.360	\$ 20.400
Lubricante rodamiento	1	\$ 54.900	\$ 54.900
Aceite FRL	1	\$ 3.766	\$ 3.766
Empaquetadura [m]	2	\$ 51.200	\$ 102.400
Mangueras para mezcladora [m]	25	\$ 1.360	\$ 34.000
			\$ 321.632

Finalmente, ya calculados todos los precios se procede a sumarlos y obtener los precios variables totales, de esta forma se suman los costos de los insumos y repuestos de la máquina ensacadora, mezcladora y zona de filtrado, la tabla se presenta a continuación:

Tabla 12.6: Costos variables para plan de mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia.

Costos ensacadora	\$ 1.734.746
Costos mezcladora	\$ 634.800
Costo filtros	\$ 253.800
Costos insumos	\$ 321.632
COSTOS VARIABLES	\$ 2.944.978

12.3.2. Costos fijos

Por otro lado, para los costos fijos actualmente solo existen los sueldos del personal de mantenimiento. Si bien la empresa tiene una presencia multilatin, el equipo de mantenimiento es acotado, teniendo dos personas dentro de este, un mantenedor mecánico y un mantenedor eléctrico, que cumple también con las labores de administración del departamento, además el mismo personal es el encargado de realizar las reparaciones necesarias en las otras plantas productivas (solvente, pastas y acuoso), por lo que es justo que la remuneración de los trabajadores sea repartida equitativamente según las cuatro plantas productivas de las que se ocupan. Por lo tanto:

Tabla 12.7: Costos fijos para el plan de mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia.

Remuneraciones	Mensual	Anual	Anual por plantas
Sueldo mecánico	\$680.000	\$8.160.000	\$2.040.000
Sueldo eléctrico	\$750.000	\$9.000.000	\$2.250.000
TOTAL	\$1.430.000	\$17.160.000	\$4.290.000

De la Tabla 12.7, se obtiene entonces un costo fijo anual de \$4.290.000, por lo que se puede obtener el valor final de implementar un plan de mantenimiento preventivo en la siguiente tabla:

Tabla 12.8: Costo anual de mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia.

Costo de inversión [CLP]	\$ 0
Costo variable anual [CLP]	\$ 2.944.978
Costo fijo anual [CLP]	\$ 4.290.000
Costo anual de mantenimiento [CLP]	\$ 7.234.978

Para obtener entonces que tan significativo es el plan de mantenimiento comparado con la pérdida de ingreso por una parada intempestiva, se realiza lo siguiente:

Con ayuda de lo obtenido en la ecuación (12), donde se calcula la pérdida de ingreso al año con dos fallas intempestivas de una semana y el costo anual de mantenimiento calculado en la Tabla 12.8, se tiene:

$$\frac{\text{Costo anual de mantenimiento}}{\text{Pérdida de ingreso anual}}\% \quad (13)$$

$$\frac{\$7.234.978}{\$18.516.540} = 39,1\% \quad (14)$$

Obteniendo entonces que el costo anual de mantenimiento representa un 39,1% de la pérdida de ingreso anual

Mientras que correspondiente al ingreso anual obtenido de la ecuación (11) se tiene:

$$\frac{\text{Costo anual de mantenimiento}}{\text{Ingreso anual}}\% \quad (15)$$

$$\frac{\$7.234.978}{\$419.955.117} = 1,7\% \quad (16)$$

Obteniendo que, respecto al ingreso anual, representa solo un 1,7%

Por lo que el plan de mantenimiento no solo es rentable productivamente, sino que económicamente también.

13. CONCLUSIONES

Para finalizar este trabajo de título, es importante sacar conclusiones generales y más específicas, se comentará acerca del cumplimiento de los objetivos presentados al comienzo de este título y conclusiones generales que escapan de los objetivos definidos. Adicionalmente se entregarán recomendaciones a la empresa para seguir avanzando con este trabajo de título a futuro.

13.1. Conclusiones generales

El presente trabajo de título logró la finalidad de generar un plan de mantenimiento preventivo con la finalidad de evitar las paradas de planta no programadas, lo anterior logrado bajo un desarrollo de trabajo basado en metodologías que rigen en la actualidad en el mundo del mantenimiento como lo es RCM, además de también la gestión del riesgo definida por la norma ISO 31.000.

Es importante mencionar que el presente trabajo tiene el respaldo de la organización donde se trabaja, ya que actualmente es un plan que se está utilizando para mantener la planta de polvos sin paradas programadas, objetivo que se ha cumplido hasta el día de hoy desde su puesta en marcha en marzo del presente año. Al ser un plan respaldado y además que cuenta con la colaboración de los mismos trabajadores de la planta y sus mantenedores implica que responde fielmente a la estrategia de la empresa y sus necesidades, siendo además un plan que busca replicarse en las demás plantas.

13.2. Conclusiones específicas

Las conclusiones específicas van enfocadas al cumplimiento de los objetivos específicos planteados al comienzo de este trabajo, por lo tanto:

- Se logra un levantamiento de información operativa y productiva de la empresa, al igual que se obtiene el estado actual de la planta en términos de mantenimiento. Dentro de este levantamiento se logra conocer el proceso de las cuatro plantas productivas, su maquinaria y sus problemas diarios. Con ayuda de los operadores de las distintas plantas se conoce la realidad y problemas que han aquejado a las distintas plantas a lo largo del tiempo, resultando en un registro del historial de fallas; si bien no se tienen indicadores más acertados, debido al déficit de estos y la poca o nula documentación que existen, estas conversaciones e información obtenida nos permite tener una aproximación a cuáles son las frecuencias y los problemas presentados en cada planta de manera general. Con ayuda del equipo de mantenimiento se logra tener una lista por planta de cuáles son los activos existentes, su modelo, su marca, la cantidad que existe en la planta, el TAG en caso de existir y una observación en caso de requerirla.
- Como segundo objetivo específico, se logra determinar la criticidad y jerarquizar los activos, que gracias a la investigación realizada en el Marco Teórico se facilita mediante las normas ISO 31.000 e ISO 31.010, más específicamente gracias a matrices de riesgo y la herramienta FMECA. Mediante estas herramientas se obtiene una planta crítica, donde se priorizan los activos, para luego jerarquizar sus componentes, obteniendo un listado en orden de mayor a menor criticidad.
- Para el tercer objetivo sobre seleccionar la herramienta adecuada a aplicar, se opta por la herramienta RCM o mantenimiento centrado en la confiabilidad y sus 7 preguntas fundamentales, metodología que se ajusta a las necesidades de la organización al aplicar acciones de mantenimiento preventivo y proactivo.
- Con los objetivos anteriores concluidos que son el levantamiento de información, el análisis de criticidad y la herramienta seleccionada, además de los manuales entregados por proveedores y experiencia de los operadores/mantenedores se

obtiene un plan de mantenimiento para los equipos/activos críticos y semi críticos más relevantes de la etapa de descarga, mezclado y filtrado. Finalmente obteniendo un diseño de plan de mantenimiento a través de un plan matriz con extensión de un año, donde se presenta la frecuencia en que se realizan las acciones y en que semanas del mes deben realizarse.

- Para finalizar es importante mencionar que se realiza un análisis económico considerando los costos fijos, que vendrían siendo las remuneraciones de los involucrados, y los costos variables que vienen siendo los repuestos e insumos necesarios para llevar a cabo el plan diseñado. Estos costos se comparan con la pérdida de ingreso generado al ocurrir una falla intempestiva por falta de mantenimiento en la planta de polvos, con la frecuencia estimada según el historial de fallas ocurrido en los años anteriores. Con la obtención de los costos en el peor de los escenarios que viene siendo que se realicen todas las acciones preventivas durante el primer año, se concluye que el desarrollo del presente plan de trabajo es rentable operacional y económicamente

13.3. Recomendaciones

A continuación, se realizan recomendaciones a la organización y al departamento de mantenimiento que surgieron del presente trabajo de título, estas no pudieron llevarse a cabo debido a su extensión y a que quedan fuera del alcance de los objetivos definidos en el presente trabajo. A continuación, se presentan algunas recomendaciones:

- Una de las principales recomendaciones es aplicar la metodología 5S inicialmente a la planta de polvos para poder extender esta metodología en un futuro a la organización completa. De esta manera sería posible implementar de buena forma la metodología TPM, que en esta ocasión no se implementó debido a la falta de recursos y precariedad de la planta en cuanto a metodologías, comenzando a aplicar 5S se podrían aplicar los pilares de TPM y aplicar

mantenimiento autónomo a la organización, llegando a bajar la dependencia de trabajos externos.

- Uno de los principales obstáculos que tuvo la autora al realizar el trabajo de título, fue la falta de documentación y falta de información respecto al historial de fallas o reparaciones que se realizaron, por lo que al comenzar a implementar el plan propuesto, se deben documentar las fallas no previstas que se presenten en la planta, de preferencia un historial por equipo para poder mejorar la implementación del plan, generar indicadores y medir las mejoras que se vayan formando debido a la ejecución del plan, ya que esto permitirá cuantificar la efectividad de este y modificar las frecuencias definidas en post del progreso del mismo plan de mantenimiento. Además, es importante comenzar a tener estándares de desempeño, ya que esto nos permitirá sacar un mejor provecho de los FMECA aplicados a los componente, ya que al momento de actualizar el plan, se realizarán mejoras con mayor certeza.
- De mano con la sugerencia anterior, se sugiere actualizar el plan de mantenimiento a medida que las necesidades de los mismos equipos y la organización lo vayan requiriendo, es decir, acomodar la frecuencia de acuerdo con los datos o indicadores reales que se vayan generando, las actividades a realizar y los encargados, ya que, con el paso del tiempo, la gestión del mantenimiento debe mejorar.
- Finalmente se recomienda replicar el plan de mantenimiento a las demás plantas de la organización que, si bien el presente trabajo de título se focaliza en las tres zonas más críticas de la planta de polvos, las otras plantas también presentan problemas que se reflejan en paradas no programadas, además en la jerarquización ya se tiene el orden de prioridad en que deberían atacarse los problemas en las demás plantas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] RAE, «Definición de mantenimiento». <https://dle.rae.es/mantenimiento>
- [2] A. J. Pistarelli, *Manual de mantenimiento: Ingeniería, gestión y organización*. 2020.
- [3] ISO 31.000: *Risk management - principles and guidelines*, 1st ed. : 2009-11-15. Geneva: ISO, 2010.
- [4] «Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF)», *Ingenio Empresa*, enero de 2022. <https://www.ingenioempresa.com/analisis-modo-efecto-fallas-amef/>
- [5] «Arteca Química», *Arteca Química*, junio de 2021. <https://www.artecolaquimica.cl/>
- [6] M. Riquelme, «Definición de costos de mantenimiento», *Web y empresas*, agosto de 2021. <https://www.webyempresas.com/que-son-los-costos-de-mantenimiento/>
- [7] P. T. Z. Trujillo, «Diseño de Plan de Mantenimiento para Equipos Críticos de Planta Desmineralizadora de una Central de Cogeneración», p. 153.
- [8] «Indicadores de mantenimiento», *InfrsSpeak*, 2021. <https://blog.infraspeak.com/es/indicadores-de-mantenimiento/>
- [9] ISO 31010: *Risk management. Risk assessment techniques*, Definitive. 2019.
- [10] «Lean Solutions», diciembre de 2021. https://leansolutions.co/conceptos-lean/lean-manufacturing/amef-analisis-de-modo-y-efecto-de-falla/#:~:text=NPR%20%3DSeveridad*Ocurrencia*Detecci%C3%B3n,cada%20modo%20de%20falla%20identificado.
- [11] «Número de prioridad de riesgo», *CMMS: Consultoría y servicios para optimizar tu gestión.*, enero de 2022. <https://cmms.pe/que-es-el-numero-de-prioridad-del-riesgo-2/>
- [12] G. Markusovic, «“PROPUESTA DE PLAN DE MEJORA DE EFICIENCIA OPERACIONAL EN UNA EMPRESA DE IMPRESIÓN DIGITAL”», p. 149.
- [13] «SAE JA 1011: Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes». 2009.
- [14] «SAE JA 1012: Una Guía para la Norma de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC)». SAE.
- [15] E. Fabio, «Diseño de propuesta de estrategia de mantenimiento en la sala de máquinas de una empresa faenadora avícola». 2021.

14. ANEXOS

14.1. Matrices de riesgo

Tabla 14.1: Matriz de riesgo para la planta de acuosos.

Fuente: Elaboración propia.

Planta	ACUOSOS		
Valoración	Descripción	Pje	Asignado
Riesgo al medio Ambiente			
Nulo	Una falla en la planta no genera riesgo apreciable al medio ambiente.	0	1
Bajo	Una falla puede generar un riesgo menor al MA, es controlable.	1	
Moderado	Una falla puede generar un riesgo considerable al MA, es controlable.	2	
Alto	Una falla puede generar un riesgo considerable al MA, incontrolable, pero sin catástrofes.	3	
Muy alto	Una falla puede generar un riesgo considerable al MA, se podría convertir en una catástrofe.	4	
Riesgo a la salud y seguridad del trabajador			
Nulo	Una falla en la planta no genera un riesgo la salud y seguridad de los trabajadores.	0	1
Bajo	Una falla puede generar un riesgo menor en los trabajadores.	1	
Moderado	Una falla puede generar un riesgo considerable al trabajador, es controlable.	2	
Alto	Una falla puede generar un riesgo considerable al trabajador, incontrolable, pero sin catástrofes.	3	
Muy alto	Una falla puede generar un riesgo considerable al trabajador, podría generar una catástrofe.	4	
Frecuencia de fallas			
Nulo	No existen fallas que provoquen una parada en el proceso productivo.	0	2
Bajo	Puede presentar fallas que detienen el proceso productivo cada 3 o más meses	1	
Moderado	Puede presentar fallas que detienen el proceso productivo cada 1 o 2 meses.	2	
Alto	Puede presentar fallas que detienen la producción cada 2 o 3 semanas.	3	
Muy alto	Puede presentar fallas que detienen la producción cada mínimo una semana.	4	
Costo hora perdida			
Nulo	Una detención no genera costo hora perdida.	0	4
Bajo	Una detención puede generar un costo menor a 500 USD por hora perdida.	1	
Moderado	Una detención puede generar un costo entre 501 y 1000 USD por hora.	2	
Alto	Una detención puede generar un costo entre 1001 y 1500 USD por hora.	3	
Muy alto	Una detención puede generar un costo mayor a 1500 USD por hora.	4	
Tiempo fuera de servicio			
Nulo	Una falla no presenta detenciones en el proceso.	0	3
Muy bajo	Una falla puede presentar detenciones en el proceso de máximo 1 hora.	1	
Bajo	Una falla puede presentar detenciones mayores a 1 hora y menores a 6 horas.	2	
Moderado	Una falla puede presentar detenciones mayores a 6 hora y menores a 12 horas	3	
Alto	Una falla puede presentar detenciones mayores a 12 horas y menores a 1 día.	4	
Muy alto	Una falla puede presentar detenciones en el proceso mayores a 24 horas.	5	
		Total	11

Tabla 14.2: Matriz de riesgo para la planta de solventes.

Fuente: Elaboración propia.

Planta	SOLVENTES		
Valoración	Descripción	Pje	Asignado
Riesgo al medio Ambiente			
Nulo	Una falla en la planta no genera riesgo apreciable al medio ambiente.	0	4
Bajo	Una falla puede generar un riesgo menor al MA, es controlable.	1	
Moderado	Una falla puede generar un riesgo considerable al MA, es controlable.	2	
Alto	Una falla puede generar un riesgo considerable al MA, incontrolable, pero sin catástrofes.	3	
Muy alto	Una falla puede generar un riesgo considerable al MA, se podría convertir en una catástrofe.	4	
Riesgo a la salud y seguridad del trabajador			
Nulo	Una falla en la planta no genera un riesgo la salud y seguridad de los trabajadores.	0	4
Bajo	Una falla puede generar un riesgo menor en los trabajadores.	1	
Moderado	Una falla puede generar un riesgo considerable al trabajador, es controlable.	2	
Alto	Una falla puede generar un riesgo considerable al trabajador, incontrolable, pero sin catástrofes.	3	
Muy alto	Una falla puede generar un riesgo considerable al trabajador, podría generar una catástrofe.	4	
Frecuencia de fallas			
Nulo	No existen fallas que provoquen una parada en el proceso productivo.	0	1
Bajo	Puede presentar fallas que detienen el proceso productivo cada 3 o más meses	1	
Moderado	Puede presentar fallas que detienen el proceso productivo cada 1 o 2 meses.	2	
Alto	Puede presentar fallas que detienen la producción cada 2 o 3 semanas.	3	
Muy alto	Puede presentar fallas que detienen la producción cada mínimo una semana.	4	
Costo hora perdida			
Nulo	Una detención no genera costo hora perdida.	0	3
Bajo	Una detención puede generar un costo menor a 500 USD por hora perdida.	1	
Moderado	Una detención puede generar un costo entre 501 y 1000 USD por hora.	2	
Alto	Una detención puede generar un costo entre 1001 y 1500 USD por hora.	3	
Muy alto	Una detención puede generar un costo mayor a 1500 USD por hora.	4	
Tiempo fuera de servicio			
Nulo	Una falla no presenta detenciones en el proceso.	0	2
Muy bajo	Una falla puede presentar detenciones en el proceso de máximo 1 hora.	1	
Bajo	Una falla puede presentar detenciones mayores a 1 hora y menores a 6 horas.	2	
Moderado	Una falla puede presentar detenciones mayores a 6 hora y menores a 12 horas	3	
Alto	Una falla puede presentar detenciones mayores a 12 horas y menores a 1 día.	4	
Muy alto	Una falla puede presentar detenciones en el proceso mayores a 24 horas.	5	
		Total	14

Tabla 14.3: Matriz de riesgo para la planta de pastas.

Fuente: Elaboración propia.

Planta	PASTAS		
Valoración	Descripción	Pje	Asignado
Riesgo al medio Ambiente			
Nulo	Una falla en la planta no genera riesgo apreciable al medio ambiente.	0	1
Bajo	Una falla puede generar un riesgo menor al MA, es controlable.	1	
Moderado	Una falla puede generar un riesgo considerable al MA, es controlable.	2	
Alto	Una falla puede generar un riesgo considerable al MA, incontrolable, pero sin catástrofes.	3	
Muy alto	Una falla puede generar un riesgo considerable al MA, se podría convertir en una catástrofe.	4	
Riesgo a la salud y seguridad del trabajador			
Nulo	Una falla en la planta no genera un riesgo la salud y seguridad de los trabajadores.	0	1
Bajo	Una falla puede generar un riesgo menor en los trabajadores.	1	
Moderado	Una falla puede generar un riesgo considerable al trabajador, es controlable.	2	
Alto	Una falla puede generar un riesgo considerable al trabajador, incontrolable, pero sin catástrofes.	3	
Muy alto	Una falla puede generar un riesgo considerable al trabajador, podría generar una catástrofe.	4	
Frecuencia de fallas			
Nulo	No existen fallas que provoquen una parada en el proceso productivo.	0	1
Bajo	Puede presentar fallas que detienen el proceso productivo cada 3 o más meses	1	
Moderado	Puede presentar fallas que detienen el proceso productivo cada 1 o 2 meses.	2	
Alto	Puede presentar fallas que detienen la producción cada 2 o 3 semanas.	3	
Muy alto	Puede presentar fallas que detienen la producción cada mínimo una semana.	4	
Costo hora perdida			
Nulo	Una detención no genera costo hora perdida.	0	1
Bajo	Una detención puede generar un costo menor a 500 USD por hora perdida.	1	
Moderado	Una detención puede generar un costo entre 501 y 1000 USD por hora.	2	
Alto	Una detención puede generar un costo entre 1001 y 1500 USD por hora.	3	
Muy alto	Una detención puede generar un costo mayor a 1500 USD por hora.	4	
Tiempo fuera de servicio			
Nulo	Una falla no presenta detenciones en el proceso.	0	2
Muy bajo	Una falla puede presentar detenciones en el proceso de máximo 1 hora.	1	
Bajo	Una falla puede presentar detenciones mayores a 1 hora y menores a 6 horas.	2	
Moderado	Una falla puede presentar detenciones mayores a 6 hora y menores a 12 horas	3	
Alto	Una falla puede presentar detenciones mayores a 12 horas y menores a 1 día.	4	
Muy alto	Una falla puede presentar detenciones en el proceso mayores a 24 horas.	5	
		Total	6

14.2. Matrices de riesgo planta de polvos

Tabla 14.4: Matriz de riesgo para distribución de arena.

Fuente: Elaboración propia.

Planta	DISTRIBUCIÓN DE ARENA			
Valoración	Descripción	Pje	Asignado	
Riesgo al medio Ambiente				
Nulo	Una falla en la planta no genera riesgo apreciable al medio ambiente.	0	1	
Bajo	Una falla puede generar un riesgo menor al MA, es controlable.	1		
Moderado	Una falla puede generar un riesgo considerable al MA, es controlable.	2		
Alto	Una falla puede generar un riesgo considerable al MA, incontrolable, pero sin catástrofes.	3		
Muy alto	Una falla puede generar un riesgo considerable al MA, se podría convertir en una catástrofe.	4		
Riesgo a la salud y seguridad del trabajador				
Nulo	Una falla en la planta no genera un riesgo la salud y seguridad de los trabajadores.	0	2	
Bajo	Una falla puede generar un riesgo menor en los trabajadores.	1		
Moderado	Una falla puede generar un riesgo considerable al trabajador, es controlable.	2		
Alto	Una falla puede generar un riesgo considerable al trabajador, incontrolable, pero sin catástrofes.	3		
Muy alto	Una falla puede generar un riesgo considerable al trabajador, podría generar una catástrofe.	4		
Frecuencia de fallas				
Nulo	No existen fallas que provoquen una parada en el proceso productivo.	0	1	
Bajo	Puede presentar fallas que detienen el proceso productivo cada 3 o más meses	1		
Moderado	Puede presentar fallas que detienen el proceso productivo cada 1 o 2 meses.	2		
Alto	Puede presentar fallas que detienen la producción cada 2 o 3 semanas.	3		
Muy alto	Puede presentar fallas que detienen la producción cada mínimo una semana.	4		
Costo reparación/reemplazo				
Muy bajo	El costo estimado de reparación/reemplazo del equipo es menor a 1000 USD	0	1	
Bajo	El costo estimado de reparación/reemplazo del equipo está entre 1001 y 3000 USD	1		
Moderado	El costo estimado de reparación/reemplazo del equipo está entre 3001 y 4000 USD	2		
Alto	El costo estimado de reparación/reemplazo del equipo está entre 4001 y 5000 USD	3		
Muy alto	El costo estimado de reparación/reemplazo del equipo es mayor a 5000 USD	4		
Tiempo fuera de servicio				
Nulo	Una falla no presenta detenciones en el proceso.	0	1	
Muy bajo	Una falla puede presentar detenciones en el proceso de máximo 1 hora.	1		
Bajo	Una falla puede presentar detenciones mayores a 1 hora y menores a 6 horas.	2		
Moderado	Una falla puede presentar detenciones mayores a 6 hora y menores a 12 horas	3		
Alto	Una falla puede presentar detenciones mayores a 12 horas y menores a 1 día.	4		
Muy alto	Una falla puede presentar detenciones en el proceso mayores a 24 horas.	5		
			Total	6

Tabla 14.5: Matriz de riesgo para distribución de cemento.

Fuente: Elaboración propia.

Planta	DISTRIBUCIÓN DE CEMENTO		
Valoración	Descripción	Pje	Asignado
Riesgo al medio Ambiente			
Nulo	Una falla en la planta no genera riesgo apreciable al medio ambiente.	0	2
Bajo	Una falla puede generar un riesgo menor al MA, es controlable.	1	
Moderado	Una falla puede generar un riesgo considerable al MA, es controlable.	2	
Alto	Una falla puede generar un riesgo considerable al MA, incontrolable, pero sin catástrofes.	3	
Muy alto	Una falla puede generar un riesgo considerable al MA, se podría convertir en una catástrofe.	4	
Riesgo a la salud y seguridad del trabajador			
Nulo	Una falla en la planta no genera un riesgo la salud y seguridad de los trabajadores.	0	2
Bajo	Una falla puede generar un riesgo menor en los trabajadores.	1	
Moderado	Una falla puede generar un riesgo considerable al trabajador, es controlable.	2	
Alto	Una falla puede generar un riesgo considerable al trabajador, incontrolable, pero sin catástrofes.	3	
Muy alto	Una falla puede generar un riesgo considerable al trabajador, podría generar una catástrofe.	4	
Frecuencia de fallas			
Nulo	No existen fallas que provoquen una parada en el proceso productivo.	0	1
Bajo	Puede presentar fallas que detienen el proceso productivo cada 3 o más meses	1	
Moderado	Puede presentar fallas que detienen el proceso productivo cada 1 o 2 meses.	2	
Alto	Puede presentar fallas que detienen la producción cada 2 o 3 semanas.	3	
Muy alto	Puede presentar fallas que detienen la producción cada mínimo una semana.	4	
Costo reparación/reemplazo			
Muy bajo	El costo estimado de reparación/reemplazo del equipo es menor a 1000 USD	0	4
Bajo	El costo estimado de reparación/reemplazo del equipo está entre 1001 y 3000 USD	1	
Moderado	El costo estimado de reparación/reemplazo del equipo está entre 3001 y 4000 USD	2	
Alto	El costo estimado de reparación/reemplazo del equipo está entre 4001 y 5000 USD	3	
Muy alto	El costo estimado de reparación/reemplazo del equipo es mayor a 5000 USD	4	
Tiempo fuera de servicio			
Nulo	Una falla no presenta detenciones en el proceso.	0	2
Muy bajo	Una falla puede presentar detenciones en el proceso de máximo 1 hora.	1	
Bajo	Una falla puede presentar detenciones mayores a 1 hora y menores a 6 horas.	2	
Moderado	Una falla puede presentar detenciones mayores a 6 hora y menores a 12 horas	3	
Alto	Una falla puede presentar detenciones mayores a 12 horas y menores a 1 día.	4	
Muy alto	Una falla puede presentar detenciones en el proceso mayores a 24 horas.	5	
		Total	11

Tabla 14.6: Matriz de riesgo para mezcladora o zona de mezclado.

Fuente: Elaboración propia.

Planta	ETAPA DE MEZCLADO		
Valoración	Descripción	Pje	Asignado
Riesgo al medio Ambiente			
Nulo	Una falla en la planta no genera riesgo apreciable al medio ambiente.	0	2
Bajo	Una falla puede generar un riesgo menor al MA, es controlable.	1	
Moderado	Una falla puede generar un riesgo considerable al MA, es controlable.	2	
Alto	Una falla puede generar un riesgo considerable al MA, incontrolable, pero sin catástrofes.	3	
Muy alto	Una falla puede generar un riesgo considerable al MA, se podría convertir en una catástrofe.	4	
Riesgo a la salud y seguridad del trabajador			
Nulo	Una falla en la planta no genera un riesgo la salud y seguridad de los trabajadores.	0	3
Bajo	Una falla puede generar un riesgo menor en los trabajadores.	1	
Moderado	Una falla puede generar un riesgo considerable al trabajador, es controlable.	2	
Alto	Una falla puede generar un riesgo considerable al trabajador, incontrolable, pero sin catástrofes.	3	
Muy alto	Una falla puede generar un riesgo considerable al trabajador, podría generar una catástrofe.	4	
Frecuencia de fallas			
Nulo	No existen fallas que provoquen una parada en el proceso productivo.	0	2
Bajo	Puede presentar fallas que detienen el proceso productivo cada 3 o más meses	1	
Moderado	Puede presentar fallas que detienen el proceso productivo cada 1 o 2 meses.	2	
Alto	Puede presentar fallas que detienen la producción cada 2 o 3 semanas.	3	
Muy alto	Puede presentar fallas que detienen la producción cada mínimo una semana.	4	
Costo reparación/reemplazo			
Muy bajo	El costo estimado de reparación/reemplazo del equipo es menor a 1000 USD	0	3
Bajo	El costo estimado de reparación/reemplazo del equipo está entre 1001 y 3000 USD	1	
Moderado	El costo estimado de reparación/reemplazo del equipo está entre 3001 y 4000 USD	2	
Alto	El costo estimado de reparación/reemplazo del equipo está entre 4001 y 5000 USD	3	
Muy alto	El costo estimado de reparación/reemplazo del equipo es mayor a 5000 USD	4	
Tiempo fuera de servicio			
Nulo	Una falla no presenta detenciones en el proceso.	0	5
Muy bajo	Una falla puede presentar detenciones en el proceso de máximo 1 hora.	1	
Bajo	Una falla puede presentar detenciones mayores a 1 hora y menores a 6 horas.	2	
Moderado	Una falla puede presentar detenciones mayores a 6 hora y menores a 12 horas	3	
Alto	Una falla puede presentar detenciones mayores a 12 horas y menores a 1 día.	4	
Muy alto	Una falla puede presentar detenciones en el proceso mayores a 24 horas.	5	
		Total	15

Tabla 14.7: Matriz de riesgo para zona de filtrado.

Fuente: Elaboración propia.

Planta	FILTROS EXTERIORES		
Valoración	Descripción	Pje	Asignado
Riesgo al medio Ambiente			
Nulo	Una falla en la planta no genera riesgo apreciable al medio ambiente.	0	3
Bajo	Una falla puede generar un riesgo menor al MA, es controlable.	1	
Moderado	Una falla puede generar un riesgo considerable al MA, es controlable.	2	
Alto	Una falla puede generar un riesgo considerable al MA, incontrolable, pero sin catástrofes.	3	
Muy alto	Una falla puede generar un riesgo considerable al MA, se podría convertir en una catástrofe.	4	
Riesgo a la salud y seguridad del trabajador			
Nulo	Una falla en la planta no genera un riesgo la salud y seguridad de los trabajadores.	0	4
Bajo	Una falla puede generar un riesgo menor en los trabajadores.	1	
Moderado	Una falla puede generar un riesgo considerable al trabajador, es controlable.	2	
Alto	Una falla puede generar un riesgo considerable al trabajador, incontrolable, pero sin catástrofes.	3	
Muy alto	Una falla puede generar un riesgo considerable al trabajador, podría generar una catástrofe.	4	
Frecuencia de fallas			
Nulo	No existen fallas que provoquen una parada en el proceso productivo.	0	1
Bajo	Puede presentar fallas que detienen el proceso productivo cada 3 o más meses	1	
Moderado	Puede presentar fallas que detienen el proceso productivo cada 1 o 2 meses.	2	
Alto	Puede presentar fallas que detienen la producción cada 2 o 3 semanas.	3	
Muy alto	Puede presentar fallas que detienen la producción cada mínimo una semana.	4	
Costo reparación/reemplazo			
Muy bajo	El costo estimado de reparación/reemplazo del equipo es menor a 1000 USD	0	2
Bajo	El costo estimado de reparación/reemplazo del equipo está entre 1001 y 3000 USD	1	
Moderado	El costo estimado de reparación/reemplazo del equipo está entre 3001 y 4000 USD	2	
Alto	El costo estimado de reparación/reemplazo del equipo está entre 4001 y 5000 USD	3	
Muy alto	El costo estimado de reparación/reemplazo del equipo es mayor a 5000 USD	4	
Tiempo fuera de servicio			
Nulo	Una falla no presenta detenciones en el proceso.	0	4
Muy bajo	Una falla puede presentar detenciones en el proceso de máximo 1 hora.	1	
Bajo	Una falla puede presentar detenciones mayores a 1 hora y menores a 6 horas.	2	
Moderado	Una falla puede presentar detenciones mayores a 6 hora y menores a 12 horas	3	
Alto	Una falla puede presentar detenciones mayores a 12 horas y menores a 1 día.	4	
Muy alto	Una falla puede presentar detenciones en el proceso mayores a 24 horas.	5	
		Total	14

14.3. Análisis FMECA zona de descarga

Tabla 14.8: Análisis FMECA para el motor eléctrico de la ensacadora.

Fuente: Elaboración propia.

Equipo	Función	Modo de fallo	Efecto de falla	S	Causas de fallo	O	Control actual detección	D	NPR
Motor eléctrico ensacadora	Transmitir potencia al equipo	Falla en encendido	Descarga no realizada	6	Sobrecalentamiento	3	Inspección térmica	5	90
				6	Corto circuito	1	Inspección eléctrica	2	12
				6	Falla eléctrica	2	Inspección eléctrica	2	24
		Baja en eficiencia	Ralentización en la descarga	5	Suciedad	7	Inspección visual	4	140
			Daño en eje y correas	8	Mala manipulación	3	Inspección visual	4	96
			Sobre requerimiento del motor	6	Rodamientos dañados	3	Inspección acústica	4	72
		Sin movimiento del eje	Sobre calentamiento del motor	6		3	Inspección acústica	4	72
			Daño del motor	8	Falla eléctrica	2	Inspección eléctrica	2	32

Tabla 14.9: Análisis FMECA para los rodamientos del eje de la ensacadora.

Fuente: Elaboración propia.

Equipo	Función	Modo de fallo	Efecto de falla	S	Causas de fallo	O	Control actual detección	D	NPR
Rodamientos eje ensacadora	Permitir rotación del eje	No rotación del eje	Sin descarga de material	5	Rodamiento dañado	3	Inspección acústica	4	60
			Desgaste prematuro de los rodamientos	4	Suciedad	7	Inspección visual	4	112
				4	Falta de lubricación del rodamiento	3	Ninguno	10	120
			Desgaste prematuro del eje	7	Mala instalación prensa estopa	2	Inspección visual	4	56
			Deslizamiento en correa	3	Mal ajuste sellos	2	Inspección visual	4	24
		Deficiente rotación del eje	Descarga deficiente	4		2	Inspección visual	4	32
			Sobre requerimiento del motor	6		2	Inspección visual	4	48
				6	Rodamiento dañado	3	Inspección acústica	4	72

Tabla 14.10: Análisis FMECA para aro del eje de la ensacadora.

Fuente: Elaboración propia.

Equipo	Función	Modo de fallo	Efecto de falla	S	Causas de fallo	O	Control actual detección	D	NPR
Aro del eje	Dirigir la descarga a boquilla	Descarga ralentizada	Demora por velocidad de llenado	5	Material endurecido en paredes del aro	10	Ninguno	10	500
				5	Desgaste del aro	7	Ninguno	10	350
		Sin descarga	No llega material a la boquilla	7		7	Ninguno	10	490
				7	Material endurecido en paredes del aro	10	Ninguno	10	700
			No hay descarga de material	8	Objeto externo	5	Ninguno	10	400

Tabla 14.11: Análisis FMECA para los sellos del eje de la ensacadora.

Fuente: Elaboración propia.

Equipo	Función	Modo de fallo	Efecto de falla	S	Causas de fallo	O	Control actual detección	D	NPR
Sellos eje	Evitar fugas	Fugas de material	Daño en rodamientos y eje	5	Desgaste del sello	4	Inspección visual	4	80
				5	Mal ajuste de la prensa	2	Inspección visual	4	40
			Aumento de polvo en suspensión	9		2	Inspección visual	4	72
				9	Material del sello inadecuado	2	Inspección visual	4	72

Tabla 14.12: Análisis FMECA para las correas motor-eje de la ensacadora.

Fuente: Elaboración propia.

Equipo	Función	Modo de fallo	Efecto de falla	S	Causas de fallo	O	Control actual detección	D	NPR
Correas motor-eje	Transmitir movimiento de la polea al eje	Sin rotación del equipo	No hay transmisión de movimiento	7	Deslizamiento de correa en polea	3	Inspección visual	4	84
			Desgaste en polea	8		3	Inspección visual	4	96
			Desgaste en eje	8	Tensión inadecuada	2	Inspección visual	4	64
	Cuidar el motor y el eje en caso de atascamientos	Corte de correa	No hay transmisión de movimiento	6		2	Inspección visual	4	48
				6	Excede el tiempo de vida promedio	5	Inspección visual	4	120

Tabla 14.13: Análisis FMECA para la boquilla de la ensacadora.

Fuente: Elaboración propia.

Equipo	Función	Modo de fallo	Efecto de falla	S	Causas de fallo	O	Control actual detección	D	NPR
Boquilla	Descargar material	Rotura de material	Detención de la producción	7	Mala manipulación del operador	5	Inspección visual	4	140
			Daño al trabajador	9	Objeto inadecuado en la mezcla	2	Ninguno	10	180
		Taponamiento	Daño a los activos	6		2	Ninguno	10	120
			No hay descarga de material	8	Material húmedo en boquilla	5	Ninguno	10	400
		Fugas de material	Pérdida de material	5	Mala instalación	2	Inspección visual	4	40
				5	Mal posicionamiento del saco	4	Inspección visual	4	80

Tabla 14.14: Análisis FMECA para las válvulas guillotina de la ensacadora.

Fuente: Elaboración propia.

Equipo	Función	Modo de fallo	Efecto de falla	S	Causas de fallo	O	Control actual detección	D	NPR
Válvulas guillotina	Controlar el caudal de material	Falla accionamiento	No es posible realizar descarga	8	Falla control neumático	3	Inspección acústica	5	120
			Daño a boquilla y/o compuerta	7	Obstrucción de material y/u objeto	4	Ninguno	10	280
			Apertura u obertura fija de la guillotina	5	Ajuste inadecuado de prensa estopa	2	Inspección visual	4	40
		Fuga de material	Pérdida de material	5		2	Inspección visual	4	40
				5	Desgaste de sellos	4	Inspección visual	4	80

Tabla 14.15: Análisis FMECA para las poleas del motor de la ensacadora.

Fuente: Elaboración propia.

Equipo	Función	Modo de fallo	Efecto de falla	S	Causas de fallo	O	Control actual detección	D	NPR
Poleas motor	Permitir movimiento eje-motor	Eje sin rotación	Daño eje y/o correa	8	Exceso de tensión en la correa	3	Inspección visual	4	96
			No es posible realizar descarga	8	Corte en correa	2	Inspección visual	4	64
			Desgaste prematuro de la polea	8	Deslizamiento en correa	3	Inspección visual	4	96

Tabla 14.16: Análisis FMECA para la tolva de la ensacadora.

Fuente: Elaboración propia.

Equipo	Función	Modo de fallo	Efecto de falla	S	Causas de fallo	O	Control actual detección	D	NPR
Tolva	Descargar mezcla a ensacadora	Adherencia de material en paredes	Retraso en descarga	5	Inclinación inadecuada	1	Ninguno	10	50
				5	Falta de vibrador adecuado	1	Ninguno	10	50
		Rotura en paredes	Perdida de material	5	Material húmedo	9	Ninguno	10	450
				5	Falta de reforzamiento	3	Inspección visual	4	60
			Desgaste innecesario de la tolva	6	Golpes operarios	8	Inspección visual	4	192
				6	Material abrasivo la mezcla	10	Inspección visual	4	240

Tabla 14.17: Análisis FMECA para el sello de conexión tolva-ensacadora.

Fuente: Elaboración propia.

Equipo	Función	Modo de fallo	Efecto de falla	S	Causas de fallo	O	Control actual detección	D	NPR
Sello conexión tolva- ensacadora	Evitar fugas	Ruptura	Potencial daño al trabajador	7	Tiempo de cambio inadecuado	1	Inspección visual	4	28
				7	Material inadecuado	1	Inspección visual	4	28
		Filtraciones	Aumento de polvo en suspensión	9	Mala instalación	1	Inspección visual	4	36

14.4. Análisis FMECA zona de mezclado

Tabla 14.18: Análisis FMECA para motor eléctrico ensacadora.

Fuente: Elaboración propia.

Equipo	Función	Modo de fallo	Efecto de falla	S	Causas de fallo	O	Control actual detección	D	NPR
Motor eléctrico mezcladora	Transmitir potencia al equipo	Motor no enciende	No es posible realizar la descarga	6	Sobrecalentamiento	3	Inspección térmica	5	90
				6	Corto circuito	1	Inspección eléctrica	2	12
				6	Falla eléctrica	2	Inspección eléctrica	2	24
		Baja en eficiencia	Ralentización de la descarga	5	Suciedad	7	Inspección visual	4	140
			Daño en eje y correas	8	Mala manipulación	3	Inspección visual	4	96
			Sobre requerimiento del motor	6	Rodamientos dañados	3	Inspección acústica	4	72
		Motor sin movimiento	Sobrecalentamiento del motor	6		3	Inspección acústica	4	72
			Daño del motor	8	Falla eléctrica	2	Inspección eléctrica	2	32

Tabla 14.19: Análisis FMECA para caja reductora mezcladora.

Fuente: Elaboración propia.

Equipo	Función	Modo de fallo	Efecto de falla	S	Causas de fallo	O	Control actual detección	D	NPR
Caja reductora	Reducir velocidad de salida del motor	Eje sin rotación	No es posible realizar la mezcla	8	Falla eléctrica	1	Inspección eléctrica	2	16
			Sobrecalentamiento de la caja	8	Daño en el motor	1	Inspección térmica	5	40
				8	Ruedas dañadas	2	Inspección acústica	4	64
			Desgaste prematuro de caja	8	Rodamientos de la caja dañados	2	Inspección acústica	4	64
		Reducción de velocidad inadecuada	Fuga de aceite	6	Sellos dañados	3	Inspección visual	4	72
			Sobrecalentamiento	6	Falla eléctrica	1	Inspección térmica	5	30
				6	Rodamientos dañados	2	Inspección acústica	4	48
			Desgaste prematuro de la caja	8		2	Inspección acústica	4	64
				8	Mala manipulación	3	Inspección visual	4	96

Tabla 14.20: Análisis FMECA para rodamientos/ manguito de ensacadora

Fuente: Elaboración propia.

Equipo	Función	Modo de fallo	Efecto de falla	S	Causas de fallo	O	Control actual detección	D	NPR
Rodamiento/ manguito eje mezcladora	Permitir rotación del eje	Eje sin rotación	No hay mezcla de material	5	Rodamiento dañado	3	Control de calidad	2	30
			Desgaste prematuro de los rodamientos	4	Suciedad	2	Inspección visual	4	32
				4	Falta de lubricación	3	Ninguno	10	120
			Desgaste prematuro del eje	7	Mala instalación prensa estopa	2	Inspección visual	4	56
				7	Caída de material de golpe	4	Ninguno	10	280
			Deslizamiento en correa	4	Mal ajuste sellos	2	Inspección visual	4	32
		Deficiente rotación del eje	Mezcla deficiente	5		2	Inspección visual	4	40
			Sobre requerimiento del motor	5		2	Inspección visual	4	40
				5	Rodamiento dañado	3	Inspección acústica	4	60

Tabla 14.21: Análisis FMECA para protección y sellos del eje de mezcladora.

Fuente: Elaboración propia.

Equipo	Función	Modo de fallo	Efecto de falla	S	Causas de fallo	O	Control actual detección	D	NPR
Protección y sellos	Evitar daños externos en el rodamiento	Avería del material	Rodamiento expuesto	8	Golpes por mala manipulación	2	Inspección visual	4	64
			Deterioro prematuro del rodamiento	8	Mala instalación	1	Inspección visual	4	32
		Ingreso de material indeseado		8	Mal ajuste protección	1	Inspección visual	4	32

Tabla 14.22: Análisis FMECA para eje mezcladora.

Fuente: Elaboración propia.

Equipo	Función	Modo de fallo	Efecto de falla	S	Causas de fallo	O	Control actual detección	D	NPR
Eje mezcladora	Mezclar materias primas	Eje sin rotación	No hay mezcla y/o no aprueba el control de calidad	7	Objeto externo atrapado	3	Ninguno	10	210
				7	Material húmedo estancado	2	Ninguno	10	140
				7	MP descargada de golpe	4	Ninguno	10	280
				7	Problema con sistema de transmisión	3	Inspección acústica	4	84
				4		4	Inspección acústica	4	80
		Rotación ralentizada	Rotación con menos velocidad	5	Objeto externo atrapado	5	Ninguno	10	250
				5					
			Mezcla insuficientemente homogénea	3	Material húmedo	3	Ninguno	10	90
				3	Desgaste en el eje	3	Ninguno	10	90
			Desgaste prematuro del eje	8	Daño en los sellos	6	Inspección visual	4	192
				8	Rodamiento dañado	4	Inspección visual	4	128

Tabla 14.23: Análisis FMECA sellos eje mezcladora.

Fuente: Elaboración propia

Equipo	Función	Modo de fallo	Efecto de falla	S	Causas de fallo	O	Control actual detección	D	NPR
Sellos eje	Evitar fugas	Fugas de material	Daño en rodamientos y eje	5	Desgaste del sello	4	Inspección visual	4	80
				5	Mal ajuste de la prensa	2	Inspección visual	4	40
				9		2	Inspección visual	4	72
			Aumento de polvo en suspensión	9	Material del sello inadecuado	2	Inspección visual	4	72

Tabla 14.24: Análisis FMECA para correas motor-caja de mezcladora.

Fuente: Elaboración propia

Equipo	Función	Modo de fallo	Efecto de falla	S	Causas de fallo	O	Control actual detección	D	NPR
Correas motor-caja mezcladora	Transmitir movimiento	Equipo sin rotación	No hay transmisión de movimiento	7	Deslizamiento de correa en polea	3	Inspección visual	4	84
			Desgaste en polea	8		3	Inspección visual	4	96
			Desgaste en eje	8	Tensión inadecuada	2	Inspección visual	4	64
	Cuidar el motor, el eje y caja en caso de atrancamientos	Corte de correa	No hay transmisión de movimiento	6		2	Inspección visual	4	48
				6	Excede el tiempo de vida promedio	5	Inspección visual	4	120

Tabla 14.25: Análisis FMECA para tolva de mezcladora.

Fuente: Elaboración propia

Equipo	Función	Modo de fallo	Efecto de falla	S	Causas de fallo	O	Control actual detección	D	NPR
Tolva	Descargar materias primas a mezcladora	Adherencia de material en paredes	Retraso en descarga	5	Falta de inclinación	1	Ninguno	10	50
			Perdida de material	5	Material húmedo	9	Ninguno	10	450
		Rotura en paredes		5	Falta de reforzamiento	3	Inspección visual	4	60
			Desgaste innecesario de la tolva	6	Golpes operarios	8	Inspección visual	4	192
				6	Material abrasivo de las MP's	10	Inspección visual	4	240
	Controlar cantidad de materias primas	No entrega valores	Retraso en la carga	4	Falla eléctrica	2	Ninguno	10	80
		Entrega masas erróneas	Problema en la carga	4	Problema en la calibración	2	Ninguno	10	80

Tabla 14.26: Análisis FMECA para vibrador en tolva de mezcladora.

Fuente: Elaboración propia

Equipo	Función	Modo de fallo	Efecto de falla	S	Causas de fallo	O	Control actual detección	D	NPR
Vibrador	Favorecer la separación de material en tolva	No descienden las MP's adheridas en la tolva	Material adherido en paredes de tolva	2	Falla eléctrica	2	Ninguno	10	40
				2	Mala sujeción del vibrador	2	Inspección visual	4	16
				2	Sobrecalentamiento	2	Ninguno	10	40
			Daño en paredes de la tolva	4	Tiempo	5	Inspección visual	4	80

Tabla 14.27: Análisis FMECA para válvula guillotina de mezcladora.

Fuente: Elaboración propia

Equipo	Función	Modo de fallo	Efecto de falla	S	Causas de fallo	O	Control actual detección	D	NPR
Válvula guillotina	Controlar caudal de material	Falla accionamiento	No es posible realizar descarga	8	Falla control neumático	3	Inspección acústica	5	120
			Daño a boquilla y/o compuerta	7	Obstrucción de material y/u objeto	4	Ninguno	10	280
			Apertura u obertura fija de la guillotina	5	Ajuste inadecuado de prensa estopa	2	Inspección visual	10	100
				5		2	Inspección visual	10	100
		Fuga de material	Perdida de material	5	Desgaste de sellos	4	Inspección visual	4	80
				5					

Tabla 14.28: Análisis FMECA para sello de conexión tolva-mezcladora.

Fuente: Elaboración propia.

Equipo	Función	Modo de fallo	Efecto de falla	S	Causas de fallo	O	Control actual detección	D	NPR
Sello conexión tolva-mezcladora	Evitar fugas	Rotura de sello	Potencial daño al trabajador	7	Tiempo de cambio inadecuado	1	Inspección visual	4	28
				7	Material inadecuado	1	Inspección visual	4	28
		Filtraciones	Aumento de polvo en suspensión	9	Mala instalación	1	Inspección visual	4	36

14.5. Análisis FMECA zona de filtrado

Tabla 14.29: Análisis FMECA para extractor zona de filtros.

Fuente: Elaboración propia.

Equipo	Función	Modo de fallo	Efecto de falla	S	Causas de fallo	O	Control actual detección	D	NPR
Extractor	Extraer polvo de planta	No extraer polvos o bajar eficiencia en la extracción	Baja visibilidad / Ambiente contaminado	9	Exceso de polvo en suspensión	2	Inspección visual	4	72
				9	Ductos con exceso de material	2	Ninguno	10	180
				9	Mala limpieza de las mangas	4	Inspección visual	4	144
				9	Mangas dañadas	2	Inspección visual	4	72
			Peligro potencial de sílice	9	Descuido por parte del operador	5	Inspección visual	4	180
			Clausura por SEREMI	9	Mal manejo del protocolo	2	Inspección visual	4	72

Tabla 14.30: Análisis FMECA para motor eléctrico zona de filtros.

Fuente: Elaboración propia.

Equipo	Función	Modo de fallo	Efecto de falla	S	Causas de fallo	O	Control actual detección	D	NPR
Motor eléctrico	Transmitir potencia al equipo	Equipo no enciende	No hay extracción	6	Sobrecalentamiento	2	Inspección térmica	5	60
				6	Falla eléctrica	2	Inspección eléctrica	2	24
		Baja en eficiencia	Extracción deficiente	5	Suciedad	2	Inspección visual	4	40
			Acumulación de material en ductos	5	Problema en transmisión de potencia	2	Inspección acústica	4	40
			Ambiente contaminado	9		2	Inspección acústica	4	72
				9		2	Inspección acústica	4	72
		Motor sin movimiento	No hay extracción	6	Falla eléctrica	2	Inspección eléctrica	2	24

Tabla 14.31: Análisis FMECA para separador zona de filtros.

Fuente: Elaboración propia.

Equipo	Función	Modo de fallo	Efecto de falla	S	Causas de fallo	O	Control actual detección	D	NPR
Separador	Decantar material solido al fondo del equipo	Solidos indeseados	Daño prematuro en las mangas	4	Exceso de material en el fondo	3	Ninguno	10	120
			Sobre exigencia de las mangas	4	Baja frecuencia de extracción de residuo	4	Ninguno	10	160
		Fugas de material	Ambiente contaminado al exterior	9	Uniones con exceso de presión	1	Ninguno	10	90
				9	Ruptura de superficie	1	Inspección visual	4	36
		Retorno de material	Ambiente contaminado al interior	9	Falta de limpieza	4	Inspección visual	4	144

Tabla 14.32: Análisis FMECA para mangas zona de filtros.

Fuente: Elaboración propia.

Equipo	Función	Modo de fallo	Efecto de falla	S	Causas de fallo	O	Control actual detección	D	NPR
Mangas	Separar el aire de partículas más finas	No filtrar las partículas finas	Retorno de material	9	Material adherido en paredes	4	Inspección visual	4	144
			Sobrecalentamiento del sistema	4	Retorno de material	4	Inspección visual	4	64
			Saturación de los ductos	8	Manga saturada	5	Inspección visual	4	160
			Contaminación ambiental dentro y fuera de la planta	9		5	Inspección visual	4	180
				9	Falta de limpieza	5	Inspección visual	4	180
		Ruptura de la manga		9		5	Inspección visual	4	180
			Contaminación ambiental fuera de la planta con posible clausura del SEREMI	9	Desgaste de material	3	Inspección visual	4	108
				9	Exposición a altas temperaturas	3	Ninguno	10	270
				9	Aumento de presión	2	Ninguno	10	180
				9	Material inadecuado de la manga	1	Inspección visual	4	36

Tabla 14.33: Análisis FMECA para extractores zona de filtros.

Fuente: Elaboración propia.

Equipo	Función	Modo de fallo	Efecto de falla	S	Causas de fallo	O	Control actual detección	D	NPR
Extractores	Extraer polvo en suspensión de la planta	Equipo sin rotación	Contaminar ambiente	5	Problema eléctrico	2	Ninguno	10	100
		Rotación en sentido contrario	Retornar material	5		1	Ninguno	10	50

14.6. Planes de mantenimiento zona de descarga

Tabla 14.34: Planificación de mantenimiento para motor eléctrico de la zona de descarga.

Fuente: Elaboración propia.

Plan de mantenimiento					
Equipo/Instalación		Motor de ensacadora			
Marca		Modena			
Modelo		7,5 [kW]			
Observaciones					
Requiere de mantenimiento de un externo					
n°	Actividad	Frecuencia	Tipo de mantenimiento	Tiempo estimado	Encargado
1	Verificar consumo	Semestral	Preventivo	1 [hr]	Mantenedor
2	Ajuste de terminales de conexión	Semestral	Preventivo	20 [min]	Mantenedor
3	Verificar RPM	Semestral	Preventivo	30 [min]	Mantenedor
4	Control de temperatura	Semestral	Preventivo	30 [min]	Mantenedor
5	Mantenimiento externo	Bianual	Preventivo	5 [dia]	Externo

Tabla 14.35: Estándares de actividad requeridos para la planificación del mantenimiento del motor eléctrico de la zona de descarga.

Fuente: Elaboración propia.

Estándares de actividad				
n°	Actividad	A evaluar	Estándar	Tipo de Control
1	Verificar consumo	Consumo	Menor a 15,6 [A]	Medible
2	Verificar RPM	RPM	Menores a 1740 rpm en vacío	Medible
3	Control de temperatura	Temperatura	No debe estar caliente al tacto ni emitir calor	Térmica
4	Control de temperatura	Temperatura	Menor a 40 ° C	Térmica

Tabla 14.36: Planificación de mantenimiento para los rodamientos de la zona de descarga.

Fuente: Elaboración propia.

Plan de mantenimiento					
Equipo/Instalación		Rodamientos / Correa			
Marca		SKF / Genérica			
Modelo		P207 / Vb65			
Observaciones					
n°	Actividad	Frecuencia	Tipo de mantenimiento	Tiempo estimado	Encargado
1	Lubricación rodamientos	Mensual	Preventivo	30 [min]	Operador
2	Ajustar tensión correa	Mensual	Preventivo	20 [min]	Mantenedor
3	Cambio rodamientos	Semestral	Preventivo	2 [hr]	Mantenedor
4	Cambio correa	Anual	Preventivo	30 [min]	Mantenedor

Tabla 14.37: Estándares de actividad requeridos para la planificación del mantenimiento de rodamientos de zona de descarga.

Fuente: Elaboración propia.

Estándares de actividad				
n°	Actividad	A evaluar	Estándar	Tipo de Control
1	Cambio rodamientos	Rodamiento	No deben existir fugas de material	Visual
2	Cambio rodamientos	Rodamiento	Alineado con el eje	Visual
3	Lubricación rodamientos	Graseras	Sin obstrucciones y libre de impurezas	Visual
4	Cambio de correa	Correa	Alineada	Visual
5	Cambio de correa	Polea	La polea no debe estar cristalizada	Visual y al tacto

14.7. Planes de mantenimiento zona de mezcla

Tabla 14.38: Planificación de mantenimiento para la válvula guillotina de la zona de mezcla.

Fuente: Elaboración propia.

Plan de mantenimiento					
Equipo/Instalación		Válvula Guillotina			
Marca		Genérico			
Modelo		Acondicionada			
Observaciones					
n°	Actividad	Frecuencia	Tipo de mantenimiento	Tiempo estimado	Encargado
1	Reapriete de sello mec	Cuatrimestral	Preventivo	45 [min]	Mantenedor
2	Limpieza profunda	Semestral	Preventivo	30 [min]	Operador
3	Regulación de presión	Semestral	Preventivo	30 [min]	Mantenedor
4	Cambio sello mecánico	Semestral	Preventivo	20 [min]	Mantenedor
5	Cambio de mangueras	Semestral	Preventivo	15 [min]	Mantenedor
6	Cambio de sello cilindro	Anual	Preventivo	1 [hr]	Mantenedor
7	Cambio terminal pistón	Anual	Preventivo	1 [hr]	Mantenedor
8	Lubricación FRL	Anual	Preventivo	1 [hr]	Mantenedor
9	Inspección del SN	Anual	Preventivo	1 [hr]	Mantenedor

Tabla 14.39: Estándares de actividad requeridos para la planificación del mantenimiento válvula guillotina de la mezcladora.

Fuente: Elaboración propia.

Estándares de actividad				
n°	Actividad	A evaluar	Estándar	Tipo de Control
1	Cambio de mangueras	Mangueras	Buen estado terminales	Visual
2	Cambio de mangueras	Presión	Presión de máximo 4 [bar]	Visual
3	Cambio de mangueras	Mangueras	Sin fugas de aire	Visual
4	Cambio de mangueras	Mangueras	Sin dobleces innecesarios	Visual
5	Inspección visual	Mangueras	Sin material adherido en un interior	Visual
6	Inspección visual	Mangueras	Sin cambio de tonalidad	Visual
7	Cambio terminal pistón	Terminal	Buena sujeción de mangueras	Visual
8	Cambio sello mecánico	Terminal	Sin filtraciones de aire	Visual
9	Cambio de sellos	Sellos	Sin filtraciones de aire o material	Visual

Tabla 14.40: Planificación de mantenimiento para motor eléctrico mezcladora.

Fuente: Elaboración propia.

Plan de mantenimiento					
Equipo/Instalación		Motor eléctrico mezcladora			
Marca		Baldor			
Modelo		2,2 [kW]			
Observaciones					
n°	Actividad	Frecuencia	Tipo de mantenimiento	Tiempo estimado	Encargado
1	Verificar consumo	Semestral	Preventivo	1 [hr]	Mantenedor
2	Ajuste terminales conex.	Semestral	Preventivo	20 [min]	Mantenedor
3	Verificar RPM	Semestral	Preventivo	30 [min]	Mantenedor
4	Control de temperatura	Semestral	Preventivo	30 [min]	Mantenedor
5	Mantenimiento externo	Bianual	Preventivo	5 [dia]	Externo

Tabla 14.41: Estándares de actividad requeridos para la planificación del mantenimiento del motor eléctrico de la mezcladora.

Fuente: Elaboración propia.

Estándares de actividad				
n°	Actividad	A evaluar	Estándar	Tipo de Control
1	Verificar consumo	Consumo	Menor a 15,6 [A]	Medible
2	Verificar RPM	RPM	Menores a 1740 rpm en vacío	Medible
3	Control de temperatura	Temperatura	No debe estar caliente al tacto ni emitir calor	Térmica
4	Control de temperatura	Temperatura	Menor a 40 ° C	Termica

Tabla 14.42: Planificación de mantenimiento para las correas de la zona de descarga.

Fuente: Elaboración propia.

Plan de mantenimiento					
Equipo/Instalación		Correas			
Marca		Genérico			
Modelo		Vb 148			
Observaciones					
n°	Actividad	Frecuencia	Tipo de mantenimiento	Tiempo estimado	Encargado
1	Ajustar tensión correa	Trimestral	Preventivo	20 [min]	Mantenedor
2	Cambio correas	Anual	Preventivo	1 [hr]	Mantenedor

Tabla 14.43: Estándares de actividad requeridos para la planificación del mantenimiento de las correas de la zona de mezclado.

Fuente: Elaboración propia.

Estándares de actividad				
n°	Actividad	A evaluar	Estándar	Tipo de Control
1	Cambio de correa	Correa	Alineada	Visual
2	Cambio de correa	Polea	La polea no debe estar cristalizada	Visual y al tacto

14.8. Planes de mantenimiento zona de filtrado

Tabla 14.44: Planificación de mantenimiento para las mangas de la zona de filtrado.

Fuente: Elaboración propia.

Plan de mantenimiento					
Equipo/Instalación		Mangas			
Marca		Reicotex			
Modelo		Art 4029 160x1450 / Art 4029 220x1250			
Observaciones					
n°	Actividad	Frecuencia	Tipo de mantenimiento	Tiempo estimado	Encargado
1	Limpieza	Trimestral	Preventivo	1 [hr]	Mantenedor
2	Cambio	Anual	Preventivo	2 [hr]	Mantenedor

Tabla 14.45: Estándares de actividad requeridos para la planificación del mantenimiento de las mangas.

Fuente: Elaboración propia.

Estándares de actividad				
n°	Actividad	A evaluar	Estándar	Tipo de Control
1	Limpieza	Superficie de la manga	Sin material adherido	Visual
2	Limpieza	Superficie de la manga	Sin desgastes que afecten el funcionamiento	Visual
3	Limpieza	Superficie de la manga	Sin orificios	Visual
4	Cambio	Estructura	Firmes	Visual

Tabla 14.46: Planificación de mantenimiento para extractor de zona de filtrado.

Fuente: Elaboración propia.

Plan de mantenimiento					
Equipo/Instalación		Extractor			
Marca		Sodeca			
Modelo		CSXRT-800-15			
Observaciones					
n°	Actividad	Frecuencia	Tipo de mantenimiento	Tiempo estimado	Encargado
1	Limpieza de ductos	Bienal	Preventivo	1 [hr]	Mantenedor
2	Mantenimiento externo	Bienal	Preventivo	3 [día]	Externo

Tabla 14.47: Estándares de actividad requeridos para la planificación del mantenimiento del extractor.

Fuente: Elaboración propia.

Estándares de actividad				
n°	Actividad	A evaluar	Estándar	Tipo de Control
1	Limpieza de ductos	Paredes de ducto	Sin polvo ni material adherido	Visual

Tabla 14.48: Planificación de mantenimiento para las mangas de la zona de filtrado.

Fuente: Elaboración propia.

Plan de mantenimiento					
Equipo/Instalación		Separador			
Marca		Sodeca			
Modelo		500 [L]			
Observaciones					
n°	Actividad	Frecuencia	Tipo de mantenimiento	Tiempo estimado	Encargado
1	Limpieza	Anual	Preventivo	30 [min]	Mantenedor

Tabla 14.49: Estándares de actividad requeridos para la planificación del mantenimiento del separador.

Fuente: Elaboración propia.

Estándares de actividad				
n°	Actividad	A evaluar	Estándar	Tipo de Control
1	Limpieza	Paredes	Libres de polvo y material adherido	Visual