UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

Repositorio Digital USM **https://repositorio.usm.cl**

Tesis USM TESIS de Pregrado de acceso ABIERTO

2017

GENERACIÓN Y DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN BASE A CRITICIDAD, SEGÚN CRITERIOS DE ESTADÍSTICAS DE FALLA EN EMPRESA QUÍMICA CLARIANT

MORALES RETAMAL, SERGIO ENRIQUE

http://hdl.handle.net/11673/23029

Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

VALPARAÍSO-CHILE

“GENERACIÓN Y DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN BASE A CRITICIDAD, SEGÚN CRITERIOS DE ESTADÍSTICAS DE FALLA EN EMPRESA QUÍMICA CLARIANT”.

SERGIO ENRIQUE MORALES RETAMAL

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO MENCIÓN EN PRODUCCIÓN

PROFESOR GUÍA: DR.-ING LUIS PEREZ POZO.
PROFESOR CORREFERENTE: DR.-ING FREDY KRISTJANPOLLER RODRÍGUEZ.

JULIO 2017.

Resumen.

Clariant Ltda. es una empresa multinacional dedicada a la elaboración de materias primas químicas específicas para las grandes industrias del mundo. La empresa busca mejorar y estandarizar la calidad de sus procesos productivos y de gestión de la unidad de negocios Masterbatches de Clariant Chile, la cual produce pellets de distintos tipos de polímeros para que otras empresas logren fabricar sus productos finales. Ésta presenta gran cantidad de detenciones no programadas, por lo cual requiere un análisis y mejora de la gestión del mantenimiento en sus equipos.

Para esto, se hace una introducción de las estrategias de mantenimiento existentes, conceptos de confiabilidad, disponibilidad, estudio de las principales técnicas de jerarquización de activos y herramientas analíticas para optimizar la gestión del mantenimiento. Se estudian en detalle las técnicas de jerarquización de activos para conocer las alternativas de determinación de los equipos críticos. Se analiza el proceso productivo de la planta, con el fin de conocer el funcionamiento e importancia de cada máquina.

Se recopilan datos históricos de las fallas de cada equipo y se investigan los requerimientos corporativos de la compañía para selección de equipos críticos. Ya conocido el contexto operacional, se analizan las ventajas y desventajas de cada método de selección. Se establece que el método de mejor aplicación es el analytic hierarchy process (AHP), con lo cual se identifican los equipos críticos del proceso. Los resultados son comparados con los obtenidos mediante la técnica Jack Knife, lo cual muestra similitud de resultados.

Finalmente se desarrollan planes de mantenimiento a cada equipo crítico, integrando la herramienta de análisis FMEA y las restricciones de recursos técnicos y humanos del departamento, los cuales incorporan criterios de mantenibilidad en su diseño.

Abstract.

Clariant Ltda. it´s a multinational company dedicated to the elaborate a chemical raw for the major industries of the world. The company seeks to improve and standardize the quality of their production processes and management of business of Clariant Masterbatches Chile, which produces pellets of different types of polymers so that other companies can manufacture the final products. This company presents a big number of detentions not scheduled, so it requires an analysis and improvement of the management of the maintenance on their equipment.

For this intervention is necessary an introduction of the existing maintenance strategies, concepts of reliability, availability, study of the main techniques of hierarchy of assets and analytical tools is done to optimize the management of the maintenance. Assets ranking techniques are discussed in detail to learn about alternatives to determination of critical equipment. The production process of the plant is analyzed in order to know the functioning and importance of each machine.

Historical data of each equipment failures are collected and investigated the corporate requirements of the company for selection of critical equipment. Already known the operational context, the advantages and disadvantages of each method of selection are analyzed. Establishes that the best application method is the analytic hierarchy process (AHP), which identified critical process equipment. The results are compared with those obtained using the Jack Knife technique, which shows similarity of results. Finally develop maintenance plans at each critical equipment, integrating analysis FMEA tool and the restrictions of technical and human resources of the department, which incorporate judgement for maintainability in your design.

ÍNDICE

Resumen. 2
Abstract. 3
1 Introducción. 14
2 Objetivo general. 16
3 Objetivos específicos. 16
4 Marco teórico. 18
4.1 El mantenimiento, la confiabilidad y la disponibilidad. 18
4.1.1 El concepto del mantenimiento 18
4.1.2 El objetivo del mantenimiento 19
4.1.3 La evolución del mantenimiento en el tiempo 19
4.1.4 Modos de falla. 21
4.1.5 Fundamentos de la confiabilidad 22
4.1.5.1 Teoría de confiabilidad 23
4.1.5.2 Cálculo general de la confiabilidad 23
4.1.5.3 Modelos de probabilidad aplicados al cálculo de la confiabilidad. 27
4.1.5.4 MTBF (mean time between failures). 35
4.1.5.5 MTTR (Mean time to repair) 36
4.1.5.6 Disponibilidad. 36
4.1.5.7 Mantenibilidad 38
4.1.5.8 Confiabilidad y disponibilidad de sistemas 39
4.1.6 Costos Globales. 41
4.2 Estrategias de mantenimiento. 43
4.2.1 Mantenimiento correctivo. 43
4.2.2 Mantenimiento restaurativo/correctivo planificado. 44
4.2.3 Mantenimiento mejorativo. 45
4.2.4 Mantenimiento preventivo. 46
4.2.4.1 Mantenimiento preventivo a edad constante. 46
4.2.4.2 Mantenimiento preventivo a fecha constante. 47
4.2.4.3 Mantenimiento preventivo basado en la condición. 48
4.2.5 Mantenimiento predictivo. 49

4.2.5.1 El intervalo P-F. 50
4.2.5.2 Principales técnicas predictivas. 54
4.2.5.2.1 Análisis de vibraciones. 54
4.2.5.2.2 Termografía infrarroja. 56
4.2.5.2.3 Análisis de aceite. 58
4.2.6 Mantenimiento imperativo o legal. 59
4.3 Técnicas de Gestión de Mantenimiento. 60
4.3.1 Mantenimiento centrado en confiabilidad/Reliability centered maintenance (RCM). 60
4.3.1.1 Análisis de modo y efecto de falla (FMEA o AMEF). 62
4.3.2 Planificación de un proceso RCM. 64
4.3.3 Resultados de un proceso RCM. 65
4.3.3.1 Análisis de causa raíz (ACR). 68
4.4 Técnicas de jerarquización de activos según criticidad. 73
4.4.1 Análisis de dispersión Jack Knife [47]. 78
4.4.2 Cost Scatter Diagram (CSD) [48], [49]. 82
4.4.3 Análisis de Pareto [50]. 84
4.4.4 Modelos de riesgo (risk assessment techniques) [39]. 89
4.4.4.1 Criticidad total por Riesgo 89
4.4.4.2 Risk Priority Number (RPN) [26]. 92
4.4.5 Métodos gráficos [56]. 95
4.4.6 Método SMART (simple multiattribute rating techniques) [57]. 100
4.4.7 Analytic herarchy process (AHP) [59], [60]. 103
4.4.8 Método cuantitativo (Disponibilidad/Confiabilidad/Mantenibilidad) [17]. 112
5 Contexto operacional de la compañía en análisis. 116
5.1 Antecedentes de la compañía. 116
5.1.1 Descripción de la compañía [61]. 116
5.1.2 Historia de la compañía [62]. 118
5.1.3 Misión y visión de la compañía [63]. 119

5.1.4 Unidades de negocios..... 120
5.1.5 Localización de la compañía..... 121
5.2 Unidad de negocios Masterbatches (MB)..... 122
5.2.1 Descripción de la unidad de negocios..... 122
5.2.2 Definición del Masterbatch..... 123
5.2.3 Organigrama BU Masterbatch (MB)..... 126
5.2.4 Actividades y organigrama de mantenimiento..... 127
5.3 Proceso productivo..... 129
5.3.1 Estudio del proceso de fabricación..... 129
5.3.1.1 Proceso de producción de Masterbatch mediante las materias primas en polvo. 132
5.3.1.2 Proceso de producción de Masterbatch mediante grano como materia prima..... 133
5.3.2 Máquinas empleadas y su descripción..... 134
5.3.2.1 Mezcladores..... 134
5.3.2.1.1 Mezcladores A_1 y A_2..... 134
5.3.2.1.2 Mezclador B..... 136
5.3.2.1.3 Mezclador C..... 137
5.3.2.2 Extrusoras..... 138
5.3.2.2.1 Extrusora A..... 140
5.3.2.2.2 Extrusora B..... 141
5.3.2.2.3 Extrusora C..... 142
5.3.2.2.4 Extrusora D..... 143
5.3.2.3 Tinas de enfriamiento..... 145
5.3.2.4 Secadores..... 146
5.3.2.5 Pelletizadores..... 148
5.3.2.6 Tamizadores..... 151
5.3.2.7 Transporte vibratorio..... 152
5.3.2.8 Conos de transporte..... 153
5.3.2.9 Máquinas Envasadoras..... 154

5.3.2.10 Molinos Scrubber. 155
5.3.2.11 Sistema de extracción de gases. 156
5.3.2.12 Sistemas de aspiración de polvo. 159
5.3.2.12.1 Sistema de aspiración de polvo A. 159
5.3.2.12.2 Sistema de aspiración de polvo B. 160
5.3.2.13 Elevador de carga A. 161
6 Evaluación de las técnicas de jerarquización. 165
7 Determinación de los equipos críticos del proceso. 175
7.1 Determinación de los equipos críticos de la planta en base al método Analytic Herarchy Process (AHP). 176
8 Análisis de resultados obtenidos mediante el AHP. 191
9 Desarrollo de planes de mantenimiento a los equipos críticos. 200
10 Propuesta de mejoras en el sistema de registro y de planificación del mantenimiento. 210
11 Conclusiones. 211
12 Referencias. 214
13 Anexos. 220
13.1 Anexo 1: Calculo del MTBF, según la etapa de vida del activo. 220
13.2 Anexo 2: Configuraciones lógicas Stand-by y redundancia parcial. 221
13.3 Anexo 3: Ejemplo de análisis causa raíz usando diagrama Ishikawa. 223
13.4 Anexo 4: Elaboración de diagrama Pareto a equipo de la tabla 3, graficando la variable tiempo de detención. 225
13.5 Anexo 5: Propiedades mecánicas de los polímeros. 226
13.6 Anexo 6: Requerimientos corporativos de Clariant para determinar los equipos/elementos críticos de un sistema. 227
13.7 Anexo 7: Base de datos de fallas recopilados entre el año 2009 y 2016. 228
13.8 Anexo 8: Tablas resumidas de frecuencia de falla y costo de fallas. 235
13.9 Anexo 9: Planes de mantenimiento elaborados. 237

Índice de Figuras

Figura 1 Diagrama de evolución de las políticas de mantenimiento por generación.. 21
Figura 2 Representación de función de densidad de probabilidad de falla, función acumulada de falla y confiabilidad. 25
Figura 3 Gráfico de probabilidad de falla acumulada F(t) [6]. 25
Figura 4 Curva característica de confiabilidad de un activo en el tiempo. 26
Figura 5 Curva de función de densidad de probabilidad exponencial variando solo parámetro lambda [8]. 28
Figura 6 Curva de la bañera o de Davies [9]. 29
Figura 7 Gráfico de variabilidad de la función de densidad de probabilidad en distribución Weibull según valores del parámetro β [10]. 31
Figura 8 Comportamiento de la curva de densidad de probabilidad de fallos variando solo el parámetro Alfa [11]. 32
Figura 9 Comportamiento de la curva de densidad de probabilidad de fallos variando solo el parámetro Gamma [11]. 33
Figura 10 Curvas de probabilidad de fallos en distintos tipos de componentes [15].. 34
Figura 11 Representación temporal del MTTR y el MTBF [16]. 37
Figura 12 Factores que alteran la mantenibilidad de los equipos [18]. 38
Figura 13 Esquema de configuración en serie. 39
Figura 14 Esquema de configuración en paralelo. 40
Figura 15 Curva de costo global. 42
Figura 16 Esquema temporal de mantenimiento preventivo a edad constante. 46
Figura 17 Mantenimiento preventivo a fecha constante. 47
Figura 18 Esquema de Diagrama PF. 50
Figura 19 Intervalo PF neto con una frecuencia baja de inspección (1 mes). 51
Figura 20 Intervalo PF neto con una frecuencia alta de inspección (6 meses). 51
Figura 21 Intervalos PF característicos de distintas técnicas predictivas o según condición. 52

Figura 22 Intervalos PF característicos de distintas técnicas predictivas o según condición. 53
Figura 23 Espectros de vibración y perfil completo de vibración. 55
Figura 24 Termografía en interruptores de un tablero principal. 57
Figura 25 Termografía en un manifold de refrigeración. 57
Figura 26 Resultado de un análisis de aceite. 58
Figura 27 Flujograma de implementación de la técnica FMEA 62
Figura 28 Ejemplo de elaboración de un diagrama Jack Knife. 80
Figura 29 Diagrama Jack Knife con curvas de iso-indisponibilidad en escala logarítmica. 80
Figura 30 Ejemplo de diagrama CSD. 83
Figura 31 Ejemplo de diagrama de Pareto para la base estadística referida en la tabla 3. 87
Figura 32 Ejemplo de la elaboración de una matriz de criticidad por riesgo. 91
Figura 33 Flujograma para evaluación de la criticidad en el método gráfico. 95
Figura 34 Esquema de relación entre criterios y las alternativas en análisis según AHP. 104
Figura 35 Matriz de comparación de parámetros en el AHP. 107
Figura 36 Variables necesarias para la realización de un análisis cuantitativo. 113
Figura 37 Distribución porcentual de empleados de Clariant S.A en el mundo. 116
Figura 38 Ventas , EBITDA y margen porcentual por área de negocio. 117
Figura 39 Distribución de compañias Clariant S.A en el mundo. 118
Figura 40 Historia de la compañía [62]. 119
Figura 41 Aumento de eficiencia energética y disminución de contaminantes en la compañía [64]. 119
Figura 42 Unidades de negocios existentes en Chile. 120
Figura 43 Ubicación de la industria en Chile. 121
Figura 44 Productos Masterbatches terminados. 123
Figura 45 Productos fabricados en base al masterbatch producido. 124
Figura 46 Productos fabricados en base al masterbatch producido. 125

Figura 47 Organigrama BU Masterbatch. 126
Figura 48 Organigrama áreas de servicios. 128
Figura 49 Diagrama de producción en base a materias primas en polvo. 130
Figura 50 Diagrama de producción en base a materias primas en grano. 131
Figura 51 Mezclador A1. 135
Figura 52 Mezclador A2. 135
Figura 53 Mezclador B. 136
Figura 54 Mezclador C. 137
Figura 55 Extrusora genérica mono tornillo y sus principales componentes. 139
Figura 56 Extrusora A 141
Figura 57 Extrusora B. 142
Figura 58 Extrusora C. 143
Figura 59 Extrusora D. 144
Figura 60 Tinas de la planta Masterbatch. 145
Figura 61Secador de planta Masterbatch. 146
Figura 62 Secador auxiliar de producción Masterbatch. 147
Figura 63 Cuchillo móvil y fijo pelletizador A y C. 149
Figura 64 Pelletizador tipo A y C. 149
Figura 65 Tipo de transmisión en pelletizadores B y D 150
Figura 66 Tamizador de la planta Masterbatch. 151
Figura 67 Transporte vibratorio de producción Masterbatch. 152
Figura 68 Cono de transporte de sólidos a granel. 153
Figura 69 Ensacadora de producción. 154
Figura 70 Molino Scrubber. 155
Figura 71 Sistema extractor de gases en su conjunto. 157
Figura 72 Ductos de aspiración por línea de extrusión. 158
Figura 73 Sistema de extracción de polvo en área de mezclado de polvo. 159
Figura 74 Unión de ductos de aspiración de polvo a una tolva de descarga de una extrusora. 160
Figura 75 Vista frontal de elevador de carga desde plataforma del segundo nivel... 162

Figura 76 Vista del elevador de carga desde plataforma del segundo nivel. 162
Figura 77 Gráfico de costos acumulados de fallas por equipos. 182
Figura 78 Gráfico de cantidad de fallas acumuladas por equipo. 183
Figura 79 Matriz resultante de comparación entre criterios. 186
Figura 80 Costos por falla en la Extrusora A 193
Figura 81 Diagrama de dispersión Jack Knife de la frecuencia de falla acumulada vs sus costos acumulados por equipos. 196
Figura 82 Valores asignados de impacto a la producción de equipos de producción Masterbatch. 197
Figura 83 Extracto del plan de mantenimiento de la extrusora A. 203
Figura 84 Extracto de plan de mantenimiento de Extrusora C. 204
Figura 85 Extracto de plan de mantenimiento de Sistema extractor de polvo A. 205
Figura 86 Extracto de plan de mantenimiento Mezclador A1 206
Figura 87 Extracto de plan de mantenimiento de la Extrusora D. 207
Figura 88 Extracto de plan de Pelletizador A-C. 208
Figura 89 Extracto de plan de mantenimiento del Tamizador C. 209

Índice de Tablas

Tabla 1 Ejemplo de análisis FMECA en una turbina hidráulica [27]. 67
Tabla 2 Etapas de la metodología ACR. 72
Tabla 3 Ejemplo de base estadística no ordenada para generación de diagrama Pareto. 85
Tabla 4 Ejemplo de bases estadísticas ordenada según frecuencia relativa de mayor a menor para generación de diagrama Pareto. 86
Tabla 5 Ejemplo de valores ponderados por parámetros. 90
Tabla 6 Estratificación de probabilidad de falla según SAE J1739. 93
Tabla 7 Ejemplo de análisis RPN para un aerogenerador [54]. 94
Tabla 8 Ranking SMART para máquinas prensadoras. 101
Tabla 9 Valores de ponderación por criterio 101
Tabla 10 Evaluaciones finales de las alternativas para método SMART. 102
Tabla 11 Ejemplo de ponderaciones para el criterio de frecuencia de falla. 105
Tabla 12 Ejemplo de tabla comparativa entre criterios. 106
Tabla 13 Valores de índice aleatorios de consistencia generados por comparaciones aleatorias [59]. 111
Tabla 14 Capacidades productivas de cada extrusora de la planta. 139
Tabla 15 Equipos de producción Masterbatch y sus funciones dentro del proceso .. 163
Tabla 16 Ventajas y desventajas del método gráfico. 165
Tabla 17 Ventajas y desventajas del método de criticidad total por riesgo. 166
Tabla 18 Ventajas y desventajas del método RISK PRIORITY NUMBER (RPN). 167
Tabla 19 Ventajas y desventajas del método de análisis de Pareto. 168
Tabla 20 Ventajas y desventajas del método de JACK KNIFE. 169
Tabla 21 Ventajas y desventajas del método CSD. 170
Tabla 22 Ventajas y desventajas del método AHP. 171
Tabla 23 Ventajas y desventajas del método SMART. 172
Tabla 24 Ventajas y desventajas del método Cuantitativo. 173
Tabla 25 Ventajas y desventajas del método FMECA. 174

Tabla 26 Equipos a ser evaluados por técnica AHP. 177
Tabla 27 Ponderación de la cantidad de fallas en AHP. 178
Tabla 28 Ponderación de los costos de fallas en AHP. 179
Tabla 29 Ponderación de los posibles impactos a la seguridad de las personas de las fallas. 179
Tabla 30 Ponderación del impacto del medio ambiente de las fallas. 179
Tabla 31 Ponderación del impacto a la producción de las fallas. 180
Tabla 32 Evaluación de los equipos en cada parámetro definido. 184
Tabla 33 Valores ponderados de comparación entre criterios. 185
Tabla 34 Ponderaciones finales de criticidad obtenidas por AHP ordenadas de mayor a menor..... 189
Tabla 35 Resumen de pesos obtenidos por parámetros del AHP..... 191
Tabla 36 Ponderación final de criticidad de equipos según AHP asumiendo criterios de modelos de riesgo..... 194
Tabla 37 identificación de equipos críticos mediante el diagrama de dispersión de Jack Knife del número de fallas y sus costos totales por equipo. 198

1 Introducción.

Gran cantidad de las empresas que no tienen incorporado un estándar de operación bajo los parámetros modernos de calidad o que están en su fase inicial/media de crecimiento; tienden a asociar el concepto de mantenimiento sólo a realizar intervenciones correctivas ante averías inesperadas de una cierta máquina o equipo.

Esta visión ha ido evolucionando durante el tiempo en la búsqueda de garantizar una mayor y más eficiente productividad de las empresas. Se busca tener una menor probabilidad de fallos en la planta productiva; teniendo así una mayor capacidad de producción y un menor costo de ineficiencia.

Los actuales departamentos de mantención no sólo tienen como misión rectificar anomalías en los equipos; sino que también gestionan la cantidad de "spare parts" necesarias para un determinado equipo, analizan la aplicabilidad de someter un equipo a inspecciones preventivas/predictivas, evalúan recursos necesarios versus recursos disponibles, etc.

Clariant es una empresa suiza que cuenta con altos estándares de calidad en el mundo; sin embargo en Sudamérica aún se encuentra en crecimiento; estando en la fase más básica de la gestión del mantenimiento.

Este trabajo de título tiene como objetivo: estudiar el funcionamiento de una de las plantas productivas de Clariant Chile (Masterbatches), para posteriormente optimizar la gestión de su mantenimiento, realizando planes de mantenimiento preventivo a los equipos críticos de la operación. Se realiza una investigación acerca de las distintas metodologías que permitan distinguir los equipos críticos en un proceso. Cada una de las metodologías debe ser evaluada en cuanto a sus ventajas y desventajas de aplicabilidad dependiendo del contexto operativo.

Se debe realizar un análisis a fondo del contexto de la compañía; evaluando el perfil de la empresa, como también; el detalle del proceso productivo que permite la fabricación

del producto terminado (Masterbatch). Todos los equipos que participan del proceso son descritos tanto en su parte de diseño técnico como en la funcionalidad que otorga al sistema.

Una vez seleccionada la técnica de jerarquización más aplicable al contexto existente y a las exigencias corporativas se procede a identificar los equipos críticos.

Ya definidos los equipos críticos de la producción; se elaboran planes de mantenimiento preventivo que busquen aumentar la disponibilidad del proceso y por ende generar una disminución de paradas no programadas y de costos de ineficiencia por pérdida de producción.

2 Objetivo general.

El objetivo general de este trabajo de título es desarrollar un plan de mantenimiento preventivo para los equipos críticos de la planta productiva Masterbatches en la empresa Clariant Chile; esto con el fin aumentar la disponibilidad y reducir los tiempos de detención de la planta.

3 Objetivos específicos.

a) Elaborar un estado del arte del concepto de mantenimiento, su gestión y evolución; integrando conceptos de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad.

b) Elaborar un estado del arte: de los distintos métodos de jerarquización para la identificación de la criticidad de los equipos en el proceso productivo.

c) Describir y analizar el proceso productivo de la planta, explicando el funcionamiento de cada una las máquinas y equipos, contemplando su rol dentro del proceso; obteniendo así diagramas de proceso del flujo de producción

d) Definir la metodología con la que se jerarquizarán los equipos; realizando un análisis comparativo que identifique las ventajas y desventajas de cada una de las técnicas estudiadas; las cuales deben enmarcarse dentro de las posibilidades que ofrece la empresa (existencia de data histórica de fallas, entrega de información de costos, etc.).

e) Fundamentar cuantitativamente el análisis mediante la recopilación de datos estadísticos acerca de las fallas ya ocurridas en períodos anteriores de cada uno de los equipos del proceso.

f) Determinar los equipos críticos de la planta mediante alguna de las técnicas investigadas.

g) Definir las políticas de mantenimiento y actividades a implementar a cada uno de los equipos críticos mediante análisis de efectos y consecuencias de sus fallas funcionales.

h) Analizar e incluir criterios de disponibilidad de recursos humanos y recursos técnicos para acotar el plan a la capacidad del área de mantenimiento.

i) Confeccionar planes de mantenimiento preventivo para cada uno de los equipos críticos de la planta.

j) Diseñar una propuesta de mejora para el sistema de gestión del mantenimiento que planifique, coordine, y por sobre todo registre todas las actividades de mantención generando así una base estadística sólida para futuros análisis.

4 Marco teórico.

4.1 El mantenimiento, la confiabilidad y la disponibilidad.

4.1.1 El concepto del mantenimiento

El mantenimiento es un proceso de gestión integral asociado al manejo de los diversos activos fijos de una industria a lo largo de todo su ciclo de vida (desde la fecha de concepción de una máquina, equipo, etc. hasta su deterioro total).

Es el conjunto de acciones de preservación de activos en un determinado sector productivo para satisfacer los estándares de calidad, seguridad o servicio. Estas acciones incluyen la combinación de las diferentes técnicas operacionales y administrativas existentes.

Según la norma francesa AFNOR NF 60.010 [1], mantenimiento se define como "el conjunto de acciones que permiten mantener o restablecer un bien a un estado especificado o a la capacidad de asegurar un servicio determinado".

Todas las decisiones tomadas en relación a un activo como parte de un sistema productivo de bienes o servicios tienen inevitablemente algún impacto en su desempeño, por ende dentro del concepto de mantenimiento se incluyen todas las actividades operacionales tales como: comprobaciones, mediciones, reemplazos, ajustes y reparaciones necesarias para mantener cierta unidad funcional del proceso productivo.

Todos los activos fijos a medida que están en funcionamiento o que se exponen a condiciones ambientales no ideales sufren un deterioro en sus cualidades operativas y/o en su estado físico.

Desde el punto de vista contable también se incluye este factor; ya que dentro del flujo de caja de una empresa se incluyen las depreciaciones de los bienes del activo de una empresa, los cuales corresponden al menor valor que tiene un bien, producto de su uso

o desgaste. Se asume la depreciación como un gasto necesario para producir la renta y por ende reduce la utilidad antes de impuesto [2].

Cada tipo de activo presenta un distinto nivel de desgaste en el tiempo. Existen curvas teóricas que modelan el comportamiento del desgaste en el tiempo según el tipo de activo, sin embargo, para un análisis en detalle sirven sólo de referencia. Desde el punto de vista financiero, también existe una especie de estimación en cuanto a este tema; visto a que el Servicio de Impuestos Internos dispone de una tabla que nos entrega la cantidad de años de vida útil por tipo de activo [3].

4.1.2 El objetivo del mantenimiento

La finalidad a nivel industrial, es conseguir el mayor beneficio posible al evitar las pérdidas por menor producción o costo de ineficiencia, considerando el costo que el mantenimiento tiene asociado y teniendo siempre en cuenta las políticas de la empresa en lo que respecta a cuidados de la seguridad del personal y medio ambiente.

4.1.3 La evolución del mantenimiento en el tiempo

El Mantenimiento y su gestión han tenido una clara evolución en cuanto a su interpretación/ejecución en el tiempo.

El concepto ha ido evolucionando desde la simple función de arreglar y reparar los equipos al momento de fallar, hasta la concepción actual que contempla las funciones de prevenir, inspeccionar, y modelar los equipos, a fin de optimizar su disponibilidad y disminuir su costo global.

Para el autor Juan Díaz Navarro en su Libro “Técnicas de mantenimiento industrial”; la historia del mantenimiento se divide en los siguientes 4 periodos [4].

1ª Generación: La más larga, desde la revolución industrial (mediados del siglo XVIII) hasta después de la 2ª Guerra Mundial (década del 50). El Mantenimiento se ocupa sólo de arreglar las averías, es el mantenimiento correctivo.

2ª Generación: Entre la 2ª Guerra Mundial (década del 50) y finales de los años 70. Se descubre la relación entre edad de los equipos y probabilidad de su fallo. Se comienza a hacer sustituciones preventivas, es el mantenimiento preventivo.

3ª Generación: Surge a principios de los años 80. Se comienza a realizar estudios causa-efecto para averiguar el origen de los problemas, es el mantenimiento predictivo ó detección precoz de síntomas incipientes para actuar antes de que las consecuencias sean inadmisibles. Se comienza a hacer partícipe a producción en las tareas de detección de fallos.

4ª Generación: Aparece en los primeros años de la década de los 90. El Mantenimiento se contempla como una parte del concepto de calidad total. Mediante una adecuada gestión del mantenimiento es posible aumentar la disponibilidad al mismo tiempo que se reducen los costos, es el mantenimiento basado en el riesgo (MBR). Se concibe el mantenimiento como un proceso de la empresa al que contribuyen también otros departamentos. Se identifica el mantenimiento como fuente de beneficios frente al antiguo concepto de mantenimiento. La posibilidad de que una máquina falle y las consecuencias asociadas para la empresa es un riesgo que hay que gestionar.

La figura 1 representa la evolución de las políticas en el tiempo por las generaciones referidas.

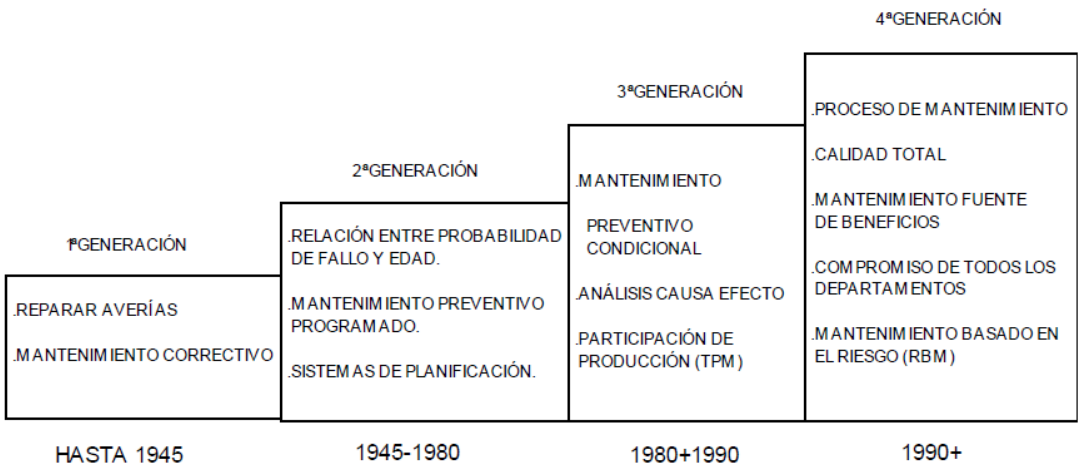


Figura 1 Diagrama de evolución de las políticas de mantenimiento por generación.

Dependiendo de la estrategia de negocio y los estándares de calidad de las diferentes empresas, se pueden encontrar industrias que operen bajo políticas de mantenimiento antiguas (1ª o 2ª generación), pero se destaca que a nivel global, se ha roto el paradigma de que el mantenimiento es sólo un servicio para la reparación de averías o fallas, sino que también persigue anticiparse a las fallas aplicando métodos de análisis para evitar su ocurrencia o mitigar sus consecuencias. Este cambio de concepto ha sido forzado por la necesidad de cumplir con las expectativas actuales de producción en el mercado.

4.1.4 Modos de falla.

Los modos de falla son las posibles causas que originan la pérdida o degradación de la(s) función(es) de cualquiera de las partes individuales de un equipo.

Cada parte o componente tiene al menos un modo de falla.

Cada equipo se compone por un conjunto de componentes individuales relacionados tecnológicamente. Éste es más o menos complejo, dependiendo de la cantidad de componentes individuales que tenga. Por lo mismo es necesario definir hasta qué nivel hay que estudiar el sistema.

El desglosar un equipo en todos sus componentes identificando sus respectivos modos de falla, facilita los análisis estadísticos de confiabilidad y disponibilidad de los sistemas, ya que se puede obtener una correcta estimación de la tasa de falla los componentes de un equipo.

Para el diseño y optimización de un plan de mantenimiento es muy importante determinar todos los modos de falla (potenciales y reales). Una buena manera de clasificar los modos de falla es agrupándolo según su origen; a este tipo de clasificación se le denomina: clasificación por causa.

Según esta clasificación los modos de falla pueden ser los siguientes [5]:

a) De diseño.
b) De fabricación.
c) De traslado.
d) De uso u operación.
e) Por desgaste Natural o envejecimiento.

4.1.5 Fundamentos de la confiabilidad

Durante las últimas décadas los requerimientos del mercado han sido cada vez más exigentes y cambiantes. Esto ha conllevado a que las empresas deben implementar nuevos técnicas de gestión en sus operaciones; teniendo como resultado una mayor productividad, aumento de la calidad, etc.

Esta evolución productiva ha dado como resultado que la ocurrencia de una falla genera un alto costo global; siendo los costos por pérdida operacional lo más preponderantes.

Durante esta sección se presenta los elementos básicos que tienen relación al cálculo de la confiabilidad de un equipo.

A continuación se entrega un breve resumen de los conceptos y herramientas necesarias para poder modelar y minimizar los efectos de las fallas de o los equipos dentro de un sistema productivo.

4.1.5.1 Teoría de confiabilidad

La confiabilidad de un equipo, componente, sistema, etc. en función del tiempo; se define como la probabilidad de que éste mantenga sus nivel de operación, es decir, que no falle durante un período determinado de tiempo, bajo condiciones estándares de operación (un ambiente constante donde se desenvuelva).

Existen dos estados de funcionamiento fundamental, el de buen funcionamiento, y el de funcionamiento defectuoso; a cualquier elemento se le puede asociar la probabilidad de encontrarse en uno u otro estado.

Para la cuantificación de esta probabilidad es necesario:

- Establecer de manera clara el criterio que determina si el elemento funciona o no.
- Establecer el contexto o medio ambiente donde el elemento se desempeñará.
- Definir el intervalo de tiempo en el cual se requiere que el elemento funcione.

4.1.5.2 Cálculo general de la confiabilidad

La confiabilidad al ser una probabilidad, se puede modelar mediante diversas funciones de densidad probabilística. Refleja qué tan probable es que un elemento no presente fallas durante un tiempo establecido.

En la práctica se obtiene la confiabilidad de un elemento, mediante el cálculo previo de la probabilidad de que el elemento falle.

El resultado depende de 2 variables: de la frecuencia de falla o tasa de falla (λ) y del tiempo transcurrido.

El tiempo es una variable continua, por lo cual se aplica la teoría probabilística para este tipo de variables.

A continuación se detalla las ecuaciones generales para este tipo de variable:

1) Función de probabilidad acumulada de falla F(t).

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt \ . \tag{1}$$

La función de densidad probabilística de falla $f(t)$ representa la probabilidad de que un elemento falle en un instante de tiempo "t" cualquiera.

La función de probabilidad de falla $F(t)$ cuantifica la probabilidad que el elemento o sistema falle en el intervalo [0, t]. De una manera gráfica se muestra como el área bajo la curva de densidad de probabilidad de falla.

2) Confiabilidad $R(t)$.

$$R(t) = \int_t^\infty f(t)dt = 1 - \int_0^t f(t)dt = 1 - F(t) \ . \tag{2}$$

La figura 2 resume este análisis:

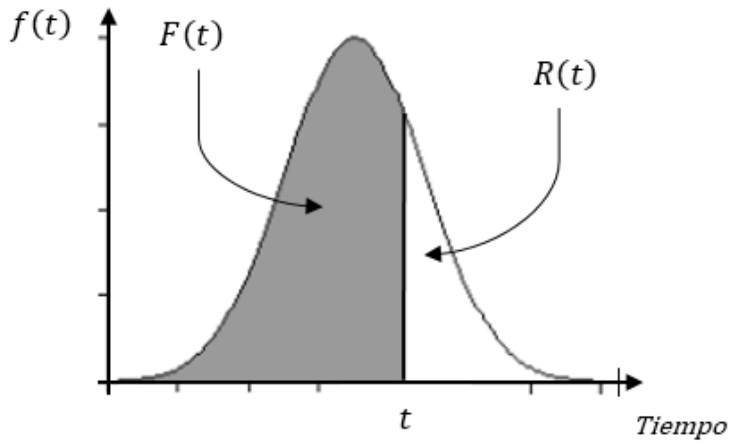


Figura 2 Representación de función de densidad de probabilidad de falla, función acumulada de falla y confiabilidad.

La fisonomía más común de la función de probabilidad acumulada de falla $F(t)$ se muestra en la figura 3.

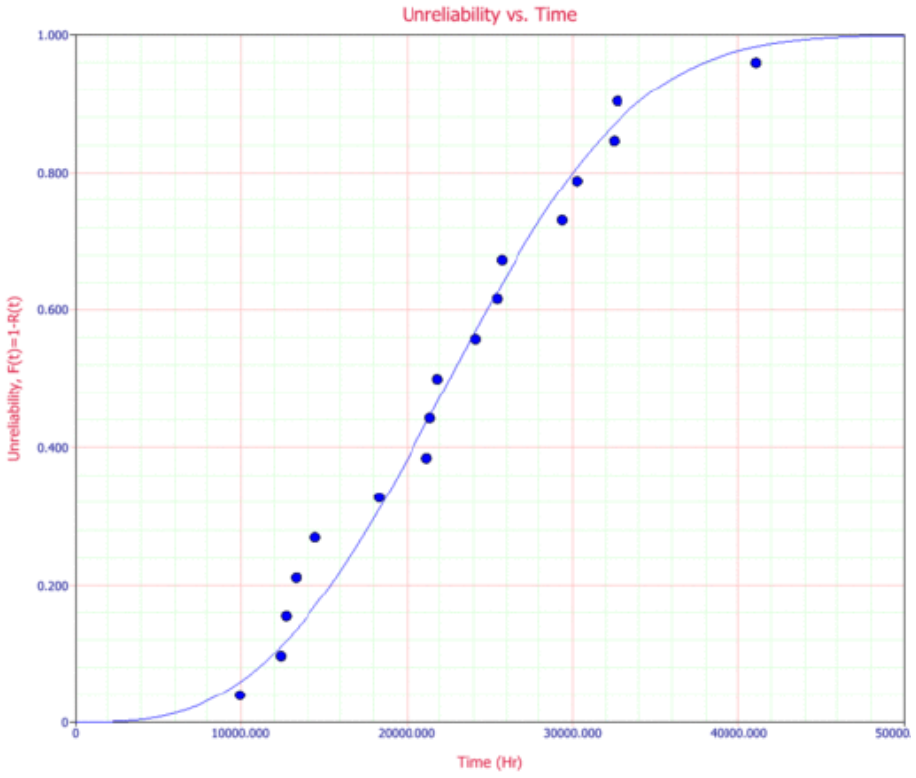


Figura 3 Gráfico de probabilidad de falla acumulada F(t) [6].

Las principales características de esta curva son:

a) Presenta un comportamiento siempre creciente en el tiempo. Ningún equipo disminuirá su probabilidad acumulada de falla sin alguna intervención que tenga que ver con mejoras o cambios de componentes.
b) Su figura se relaciona con el comportamiento que presentan la mayoría de los equipos en cuanto a la aparición de fallas. Presenta una escasa probabilidad de fallos al inicio del ciclo de vida; el cual comienza a aumentar conforme transcurre el tiempo; terminando en una disminución relacionada a equipos que sólo presentarán falla por fatiga de componentes.

Por el contrario la curva de Confiabilidad del equipo presenta una forma que es constantemente decreciente al pasar del tiempo; comenzando con el valor $R(t) = 1$, que implica un equipo con confiabilidad del 100%, como se muestra en la figura 4.

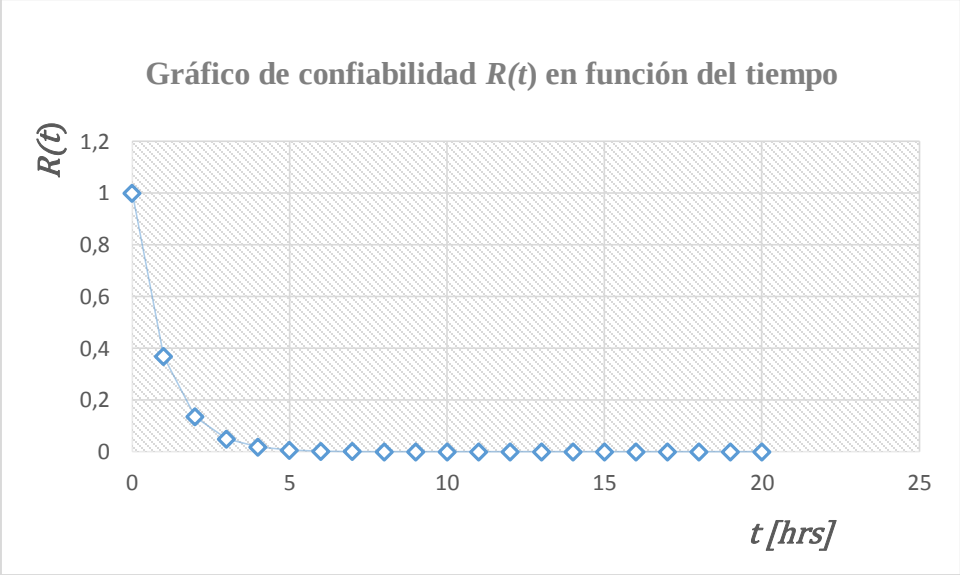


Figura 4 Curva característica de confiabilidad de un activo en el tiempo.

En la práctica, la mayor complejidad se encuentra en determinar cuál es la función de probabilidad de fallos $f(t)$, que representa el comportamiento de los equipos.

A continuación se hace referencia a las funciones de probabilidad de fallos de mayor uso en los análisis de confiabilidad.

4.1.5.3 Modelos de probabilidad aplicados al cálculo de la confiabilidad.

La confiabilidad de un elemento puede ser caracterizada por diversas distribuciones de probabilidades. Las siguientes funciones de distribución son las más empleadas en análisis de confiabilidad

a) <u>Distribución exponencial:</u> Función que modela una disminución progresiva de la confiabilidad de los equipos. El único parámetro que define esta función es la tasa de falla del equipo (λ) . La tasa de fallas se calcula de la siguiente manera:

$$\lambda = \frac{n^{\circ}\ de\ fallas}{tiempo}. \tag{3}$$

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}. \tag{4}$$

La ecuación (4) representa la función de densidad de probabilidad para la distribución exponencial.

El comportamiento gráfico depende sólo de la tasa de fallas del elemento; pudiendo ésta tomar valores menores a uno, iguales a uno o mayores a uno. La función de distribución toma los valores entregados por la ecuación sí y sólo si los valores de tiempo son positivos.

Este modelo asume una tasa de falla constante en el tiempo; lo cual no contempla ciertos casos de degradación; como por ejemplo la fatiga. Es por esto que suele ser usada para caracterizar el comportamiento de los componentes electrónicos [7].

En la figura 5, se muestra el comportamiento de la función, según sea el valor asumido por la tasa de falla.

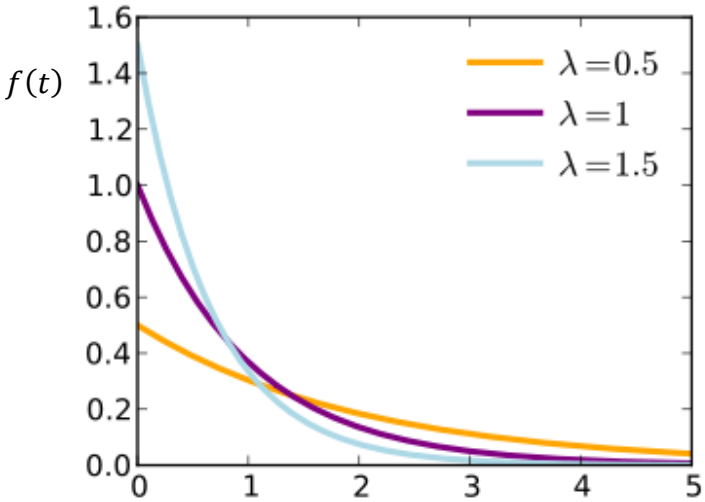


Figura 5 Curva de función de densidad de probabilidad exponencial variando solo parámetro lambda [8].

La probabilidad de fallos acumulados en un tiempo t se calcula mediante la siguiente expresión:

$$F(t) = \int_0^t \lambda * e^{-\lambda t} dt = 1 - e^{-\lambda t}. \quad (5).$$

La confiabilidad se calcula según la ecuación (6):

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\lambda t}. \quad (6)$$

b) Distribución Weibull: Es la distribución de probabilidades más ampliamente usada a través de los años para modelar el comportamiento de los equipos y componentes mecánicos. La distribución Weibull a diferencia de la distribución exponencial asume que la tasa de fallas de los equipos (λ) varía a través del tiempo, no obstante, el modelo presenta tres patrones claros de comportamiento de ésta: etapa de fallas tempranas, período normal de vida útil y etapa de desgaste. La curva teórica que representa el comportamiento de la tasa de fallas (λ) de un equipo a través de todo su ciclo de vida, se denomina: curva de la bañera o de Davies. Esto se representa en la figura 6.

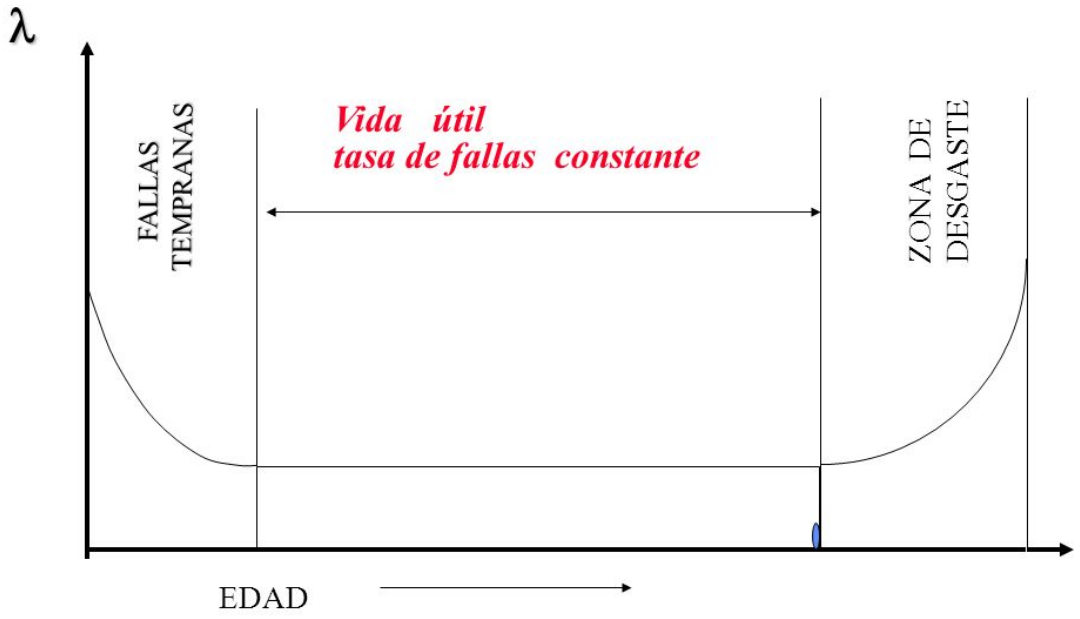


Figura 6 Curva de la bañera o de Davies [9].

Las etapas ya mencionadas de este modelo tienen las siguientes características:

Fallas tempranas: Etapa caracterizada por tener elevada tasa de fallas, la cual decrece rápidamente con el tiempo. Estos fallos pueden deberse a diferentes razones como: falla en la instalación, error de fábrica en el componente, desconocimiento del equipo por parte de los operadores, etc.

Fallos normales o fase de vida útil: Etapa con una tasa de falla menor y constante. Las fallas presentan igual probabilidad de ocurrencia. Presenta un comportamiento similar a la distribución exponencial.

Fallos por desgaste: Etapa caracterizada por una tasa de fallas creciente. Los fallos se producen por desgaste natural del equipo debido a su deterioro en el tiempo. Desde el punto de vista de la confiabilidad de los equipos; estos entran a una etapa de degradación; la cual tenderá a la falla cada vez con mayor probabilidad.

Las ecuaciones (7), (8) y (9) modelan esta distribución.

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} * \left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} * e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta}} . \tag{7}$$

$$\lambda(t) = \left(\frac{\beta}{\alpha}\right) * \left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} . \tag{8}$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta}} . \tag{9}$$

Se aprecia que todas las ecuaciones dependen de los siguientes tres parámetro: parámetro de escala α, parámetro de forma β y parámetro de posición γ. Cada uno de estos aporta valiosa información acerca del estado en el que se encuentra el equipo.

El significado y la función de cada uno de los parámetros son los siguientes:

- Parámetro de forma (β): Este parámetro entrega información acerca de en qué etapa del ciclo de vida se encuentra un equipo. Si $\beta<1$, entonces, la probabilidad de fallos es decreciente en el tiempo, por lo cual, representa la etapa de fallas tempranas. Si $\beta=1$, la probabilidad de fallos se convierte constante, por lo que representa la etapa de vida útil (se aprecia reemplazando el valor en la función de distribución de falla). Finalmente, si $\beta>1$; la probabilidad de fallos es creciente y representa la etapa de desgaste. Mientras mayor sea el valor de β, el desgaste es más acelerado.

La variabilidad que aporta este parámetro al modelo, se puede apreciar en la siguiente figura.

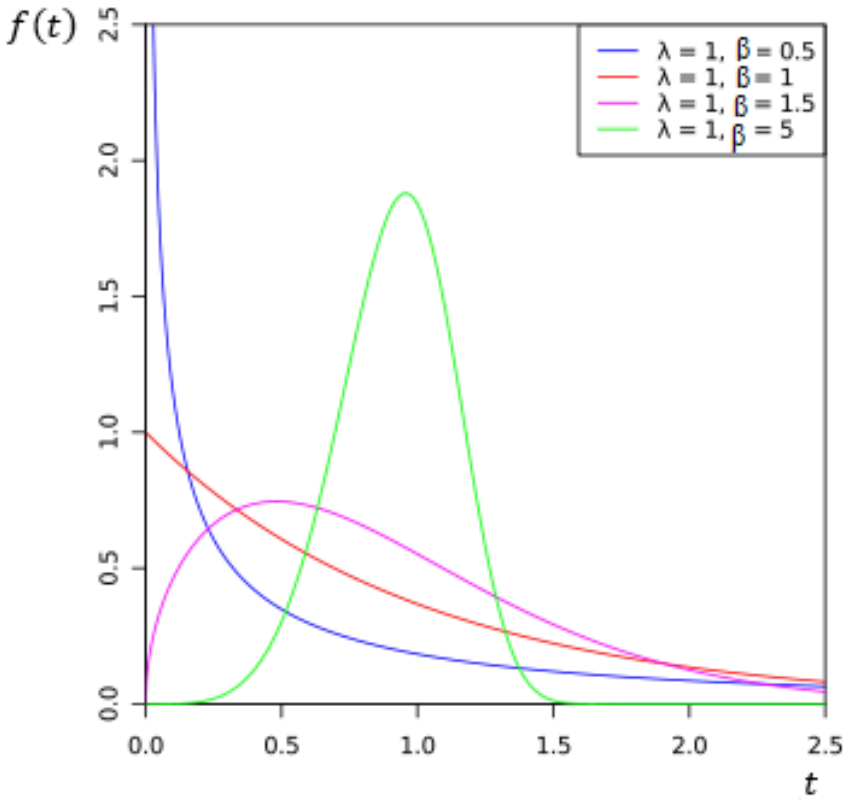


Figura 7 Gráfico de variabilidad de la función de densidad de probabilidad en distribución Weibull según valores del parámetro β [10].

- Parámetro de escala (α): Este parámetro tiene unidad de tiempo. Siempre asume valores positivos. Su efecto en el modelo es comprimir o expandir la curva de densidad de probabilidad de falla en el eje de las abscisas (eje del tiempo). La forma de la distribución; así como el origen son siempre los mismos, siempre y cuando los otros dos parámetros se mantengan constantes.

La figura 8 representa el comportamiento de la curva de densidad de probabilidad de fallos, variando sólo el parámetro α (β y γ constantes).

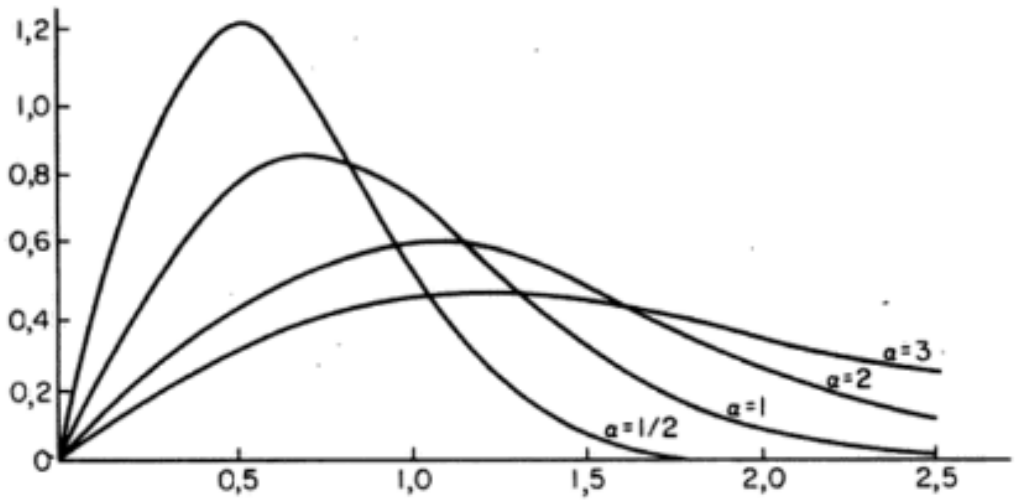


Figura 8 Comportamiento de la curva de densidad de probabilidad de fallos variando solo el parámetro Alfa [11].

- Parámetro de posición (γ): Este parámetro también usa unidad de tiempo. Su interpretación tiene que ver con la ocurrencia de fallos en la etapa inicial del equipo. De manera práctica, este parámetro permite modificar el origen de la curva de distribución de fallas [11].

Si $\gamma<0$; indica que algunas fallas han comenzado antes del origen del tiempo. Se puede deducir que han fallado en almacenamiento o en alguna otra etapa previa de funcionamiento. Si $\gamma=0$; se producen fallos desde el instante inicial de la vida del equipo. Si $\gamma>0$; existe un periodo de tiempo libre de fallos.

La figura 9 esquematiza las modificaciones posibles de este parámetro en la curva de densidad de probabilidad de fallas.

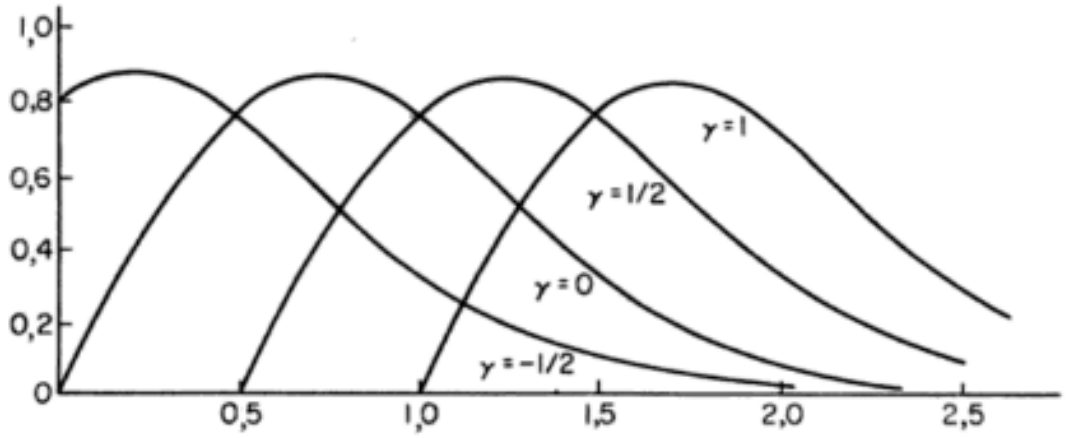


Figura 9 Comportamiento de la curva de densidad de probabilidad de fallos variando solo el parámetro Gamma [11].

Cada uno de los parámetros puede ser calculado con su respectiva ecuación; sin embargo por su alta complejidad matemática, diversos autores recomiendan hacer uso de herramientas informáticas (uso de softwares) [11].

c) <u>Distribución Normal:</u> Función de distribución usada para modelar las fallas producidas en etapa de deterioro o fatiga (etapa de desgaste). Presenta una menor complejidad matemática que la distribución Weibull por lo que es ampliamente usada para modelar equipos en esta etapa de desgaste [12].

Las funciones $f(t)$ y $\lambda(t)$ vienen dadas por las siguientes ecuaciones:

$$f(t) = \left(\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\right) e^{-1/2\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2}, \tag{10}$$

$$\lambda(t) = \frac{e^{-1/2\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2}}{\int_t^\infty e^{-1/2\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} dt}, \tag{11}$$

siendo μ la media aritmética de la muestra y σ la desviación estándar de la muestra.

Si el parámetro β de la distribución Weibull tiene la magnitud de 3.2, ésta se aproxima mucho a los valores obtenidos mediante la distribución Normal [13].

Adicionalmente a las distribuciones ya descritas; cabe mencionar la importancia de la distribución Log- Normal**.** Esta función de distribución modela fallos que suelen producirse en componentes o equipo en donde existe una constante degradación o desgaste de los materiales. Fenómenos como la corrosión química en líneas de tuberías son representados por esta función de probabilidad [14].

Estos cuatro modelos son los más comunes para el cálculo de la probabilidad de fallos en los sistemas. Con estos valores puede determinarse el o los equipos con menor confiabilidad dentro de un proceso y los costos derivados por la pérdida de confiabilidad.

La curva de la bañera o de Davies es sólo referencial, ya que en la actualidad se conoce que elementos de distinta naturaleza, presentan diferentes comportamientos de desgaste en el tiempo [15].

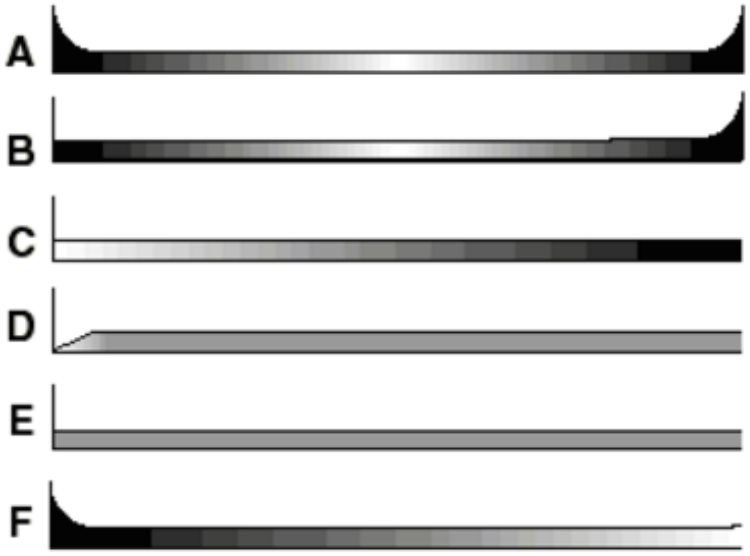


Figura 10 Curvas de probabilidad de fallos en distintos tipos de componentes [15].

Según diversos estudios encabezados por la industria aeronáutica, se ha caracterizado a los equipos electrónicos bajo un comportamiento de las curvas B y D, los equipos muy expuestos a la corrosión por la curva C, la curva A con equipos mecánicos de larga vida de uso y la gran mayoría sigue el patrón de la curva F [15].

4.1.5.4 MTBF (mean time between failures).

También llamado tiempo medio entre fallas (TMEF). Este parámetro representa el periodo promedio entre dos fallas de un elemento en un contexto de funcionamiento dado.

De tratarse de un solo ítem, puede expresarse de la siguiente manera.

$$MTBF = \frac{To - Tnp}{Cf} = \frac{\sum tiempos\ de\ funcionamiento\ del\ equipo\ en\ el\ periodo}{cantidad\ de\ fallas\ del\ elemento\ en\ el\ periodo}. \quad (12)$$

Siendo To el tiempo establecido para la operación de un elemento, Tnp el tiempo por paradas no programadas y Cf la cantidad de fallas detectadas durante el tiempo de operación.

Cada ciclo de vida tiene su propia manera de calcular el MTBF [Anexo 1]; sin embargo el ciclo de vida más común de los componentes es el de “vida útil”; dónde la tasa de falla es constante [16].

Bajo estas condiciones el parámetro se calcula de la siguiente manera:

$$MTBF = 1/\lambda\ . \quad (13)$$

Donde "λ" es la tasa de falla del componente medida en unidades $[\frac{1}{unidad\ de\ tiempo}]$.

4.1.5.5 MTTR (Mean time to repair)

También llamado tiempo medio de reparación (TMDR); representa el tiempo promedio requerido para reparar un dispositivo o componente en estado de falla. Este parámetro es calculado como la relación entre el tiempo total de intervenciones para reparación Tr y el número total de reparaciones Cr.

Otra interpretación válida es que representa el tiempo total de mantenimiento correctivo por intervención en un elemento durante un periodo determinado de tiempo.

Esta variable es usada para evaluar la mantenibilidad de todos los ítems reparables, ya que indica el tiempo requerido para volver a estado de funcionamiento cualquier elemento [16].

$$MTTR = \frac{\sum Tr}{Cr} \ . \tag{14}$$

4.1.5.6 Disponibilidad

Es la aptitud de un elemento o sistema para estar en estado de cumplimiento de la función requerida en condiciones definidas.

Refleja la posibilidad de utilización de un elemento o una instalación visto desde el punto de vista técnico, es decir, excluyendo las detenciones no originadas por falla del sistema. La disponibilidad puede definirse como: El porcentaje de tiempo de buen funcionamiento del sistema productivo. Se define matemáticamente como la razón o cociente que se establece entre el tiempo en que el sistema está realmente disponible para el funcionamiento y el tiempo total, que incluye al tiempo anterior más el tiempo de reparación.

De acuerdo a lo anterior, el valor de disponibilidad es constante en el tiempo y viene dado por la relación porcentual entre el tiempo de funcionamiento y el tiempo total. Lo que se puede expresar de la forma

$$A = \frac{UT}{(UT+DT)} \ . \tag{15}$$

UT (up-time) representa el tiempo en que el sistema está realmente disponible para el funcionamiento, teniendo en cuenta que puede ponerse en servicio (independientemente del hecho de hacerlo funcionar o no). DT (down -time) representa el tiempo fuera de servicio imputable a causas técnicas.

La disponibilidad, considerando los parámetros definidos anteriormente puede ser calculada mediante la siguiente expresión [17]:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \ . \tag{16}$$

Cabe destacar que en este indicador de disponibilidad está presente sólo el efecto de la falla del elemento. En general, el tiempo fuera de servicio de una instalación industrial durante cierto período es el resultado de la suma del tiempo debido a las intervenciones de mantenimiento preventivo y del tiempo debido a las operaciones de mantenimiento correctivo.

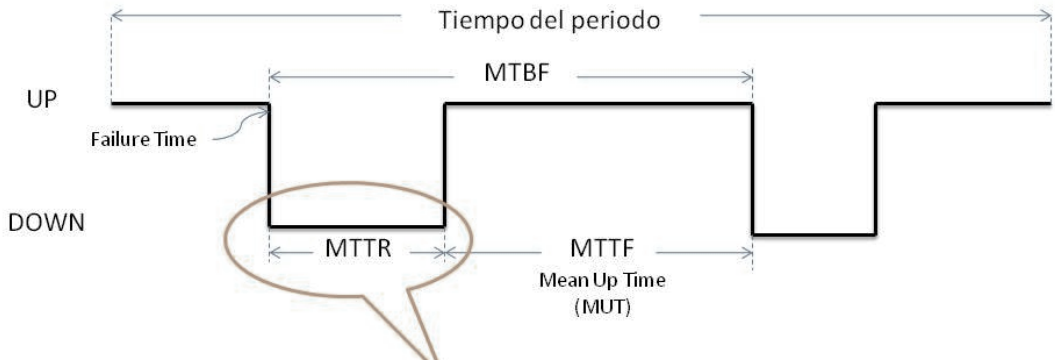


Figura 11 Representación temporal del MTTR y el MTBF [16].

4.1.5.7 Mantenibilidad

Es la probabilidad de que un equipo pueda ser reparado y vuelva a su estado operacional en un tiempo t dado, bajo condiciones operacionales establecidas

La mantenibilidad es una característica importante en aquellos equipos que se reparan cuando fallan. En este parámetro, la variable aleatoria es el tiempo en que el elemento vuelve a la condición de funcionamiento.

Algunos de los factores que afectan la mantenibilidad son la accesibilidad, localización, peso, forma, capacidad técnica de los reparadores, etc.

Factores Internos

- Acceso a las partes.
- Complejidad técnica (Diseño).
- Manuales claros y completos.
- Partes o piezas estandarizadas.
- Herramientas necesarias estandarizadas.
- Calidad de los materiales de fabricación.
- Manejo de componentes (peso, fragilidad, etc).

Factores Externos

- Disponibilidad de los repuestos.
- Complejidad técnica (Diseño).
- Capacitación de especialistas (Habilidad).
- Herramientas para diagnóstico y reparación.
- Limpieza y estado de la máquina.
- Historial de averías y procedimientos.
- Capacidad en la programación de tareas.
- Servicio Pos venta.

Figura 12 Factores que alteran la mantenibilidad de los equipos [18].

Conocer la mantenibilidad de un elemento es de gran importancia para decidir qué políticas de gestión se pueden aplicar a su desempeño.

4.1.5.8 Confiabilidad y disponibilidad de sistemas

Ya se hizo alcance a la manera de calcular tanto la confiabilidad como la disponibilidad de un elemento individualmente, sin embargo, estos elementos funcionan en el marco de un conjunto de funcionamiento, dónde son sólo una parte del esquema. Dependiendo de la configuración lógica del sistema, se realiza el cálculo de las variables probabilísticas.

La configuración más sencilla de un proceso se representa por un sistema en serie, no obstante, existen otras configuraciones posibles. Este esquema se caracteriza a que existe una dependencia total de cada equipo, por lo que al fallar uno de ellos implica la falla completa del sistema.

El esquema de la figura 13 representa un proceso en serie.

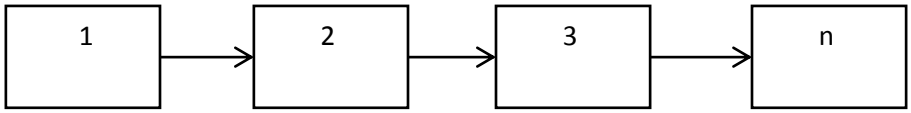


Figura 13 Esquema de configuración en serie.

La confiabilidad, disponibilidad, los MTBF y tasas de fallas del sistema se calculan de la siguiente manera [17]:

$$A\ sistema = A1 * A2 * A3 = \prod_{i=1}^{n} Ai(t). \tag{17}$$

$$R\ sistema\ (t) = R1(t) * R2(t) * R3(t) = \prod_{i=1}^{n} Ri(t). \tag{18}$$

$$\lambda sist\ (t) = \sum_{i=1}^{n} \lambda i(t). \tag{19}$$

$$MTBF\ sistema = \frac{1}{\lambda sist}. \tag{20}$$

Otra configuración lógica frecuentemente usada es la *Redundancia total* (paralelo). La figura 14 representa esta configuración lógica.

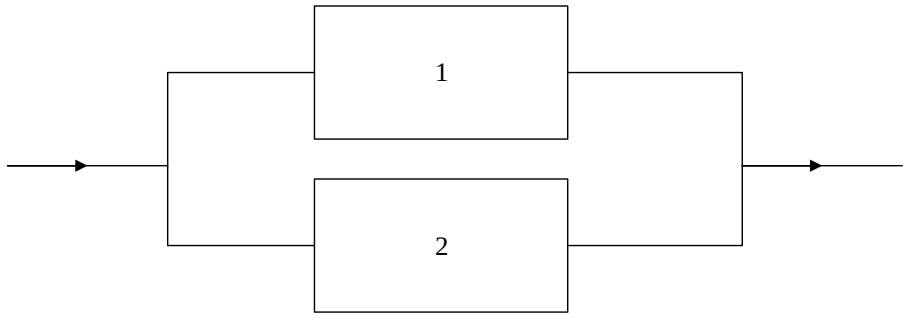


Figura 14 Esquema de configuración en paralelo.

El proceso puede ser dividido en varias rutas independientes; donde todos los equipos que componen el sistema son capaces de manera independiente de cumplir con el 100% de la carga solicitada. Cada equipo funciona de manera simultánea para cumplir con la capacidad productiva exigida, sin embargo, en caso de que algún equipo de la redundancia total falle, cada uno es capaz de aumentar su capacidad de trabajo, al punto de poder asumir los requerimientos del sistema por completo.

Este esquema al presentar combinaciones de opciones de funcionamiento de los equipos, obliga a situarse a cuáles de ellas garantizan la correcta operación del sistema. Al ser cada equipo capaz de absorber la carga por sí sólo, la única combinación que inhabilita el sistema es que la totalidad de los equipos del sistema presenten falla simultánea.

De manera general se calcula de la siguiente manera:

$$A\ sistema\ (t) = 1 - \prod_{i=1}^{n}(1 - Ai). \tag{21}$$

$$R\ sistema(t) = 1 - F\ sist\ (t) = 1 - \prod_{i=1}^{n} Fi(t). \tag{22}$$

Existen 2 tipos más importantes de configuración: La redundancia parcial y la configuración en stand-by [Anexo 2].

El análisis global del sistema permite identificar cuál o cuáles son los equipos que más afectan la probabilidad de fallos del conjunto o la probabilidad de que el sistema no esté en disposición de su uso. Este análisis puede apoyar la identificación de los equipos críticos dentro del sistema, permitiendo enfocar los trabajos de mejora, rediseño o cambios de estrategia de gestión en los elementos que más influyen en el conjunto.

El qué tan disponible es un sistema; afecta directamente al costo de ineficiencia total de la operación. Este costo de calcula de la siguiente manera:

$$Costo\ ineficiencia = Fa * H * Ci * (1 - A\ sistema), \qquad (23)$$

donde Fa es el factor de amortiguación, H es el período de evaluación a considerar (unidad de tiempo) y Ci es el costo de ineficiencia por unidad de tiempo.

4.1.6 Costos Globales.

Todos los sistemas generan un costo de ineficiencia por falta de producción o por falta de servicio; debido a la indisponibilidad del sistema o de ciertos equipos.

Los equipos, líneas de producción, plantas productivas; etc. tienen una curva que representa la interacción de los costos directos de inversión en mantenimiento con los costos desarrollados por falta de operación o producción de esta misma.

La interacción entre ambas curvas nos entrega la curva de Costos Globales o totales del mantenimiento.

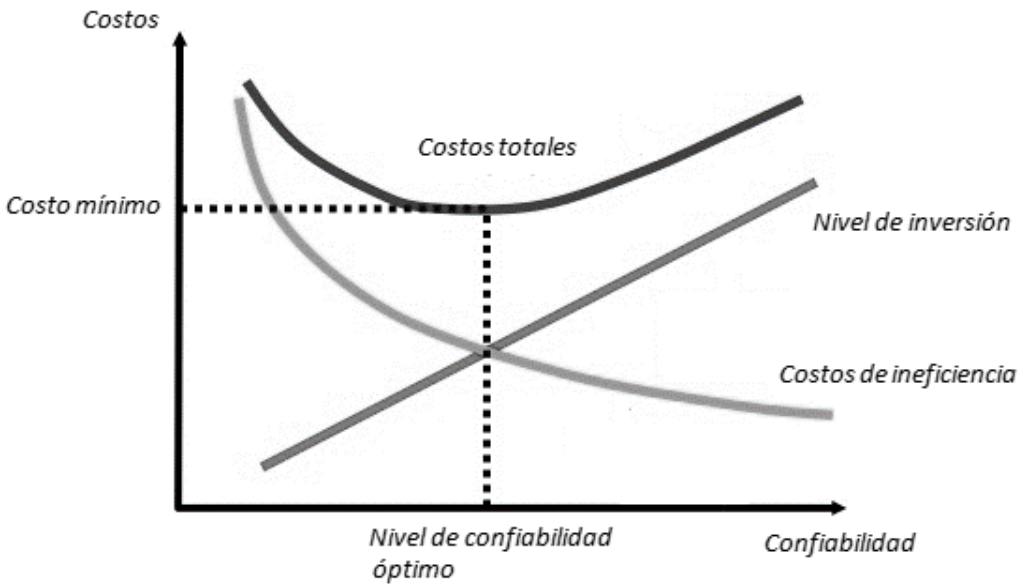


Figura 15 Curva de costo global.

En esta curva se aprecia que la curva de costo global (costo total), posee un valor mínimo. Este valor mínimo se obtiene usando una configuración de servicio que entregue un valor eficiente de confiabilidad que reduzca los costos de ineficiencia sin necesitar un alto nivel de inversión. Ese valor mínimo es el valor al que todas las empresas deben apuntar a obtener dentro de sus procesos productivos.

El adaptar los sistemas a nuevas configuraciones lógicas corresponde a aumentar el nivel de inversión con el fin de reducir los costos de ineficiencia. Redundancias parciales, configuraciones en stand by, etc. buscan disminuir los costos globales.

4.2 Estrategias de mantenimiento.

Existen diversas maneras de aplicar criterios de mantenimiento a un elemento. Algunas buscan prevenir la falla realizando intervenciones con detención que permiten prolongar el tiempo de buen funcionamiento, otras buscan monitorear condiciones que permitan predecir una falla y otras buscan minimizar los tiempos de reparación. A estas distintas maneras de buscar evitar o minimizar los efectos de una falla se les denomina estrategias de mantenimiento.

La evolución de estas estrategias ha sido progresiva a través de los años, sin embargo, dependiendo de las condiciones de la instalación, costos asociados a pérdida de producción, costos asociados al mantenimiento, grado de tecnología de los elementos, configuración lógica, etc.; se selecciona la estrategia más eficiente en términos de costos globales. Una estrategia de mantenimiento compleja no implica que sea más eficiente.

A continuación se detalla las principales estrategias de mantenimiento empleadas en la actualidad, sus principales características, ventajas y desventajas [19].

4.2.1 Mantenimiento correctivo.

Esta estrategia de mantenimiento consiste en la reparación de averías u fallos funcionales a medida que se van produciendo; es decir solo se corrige lo que ya no funciona. Es una acción reactiva no programada. Genera órdenes de trabajo por rotura; en dónde el elemento ya ha perdido toda su funcionalidad.

En esta estrategia de mantención el encargado de detectar la avería es mayoritariamente personal de producción (operadores); los cuales reportan la avería a personal especializado en realizar su reparación.

El priorizar que los equipos se sometan al mantenimiento correctivo; genera la necesidad de contar con excesivo personal de mantenimiento y dificulta la

planificación de los trabajos. Un problema recurrente es que para volver de manera rápida el equipo a su condición de buen funcionamiento, se privilegia el tiempo de reparación por sobre la calidad de ésta.

Otra arista importante, es que el mantenimiento correctivo dificulta bastante la confección de presupuestos del área de mantención; debido a la aleatoriedad de los fallas. Esto genera escaso control de costos, nivel del servicio y capacidad organizacional.

La cualidad positiva de esta estrategia es que necesita poca planificación. Lo cual simplifica la gestión del mantenimiento.

Se destaca que muchos componentes electrónicos tienen este patrón de falla. Inesperadamente dejan de funcionar y en muchos de estos casos sin posibilidad de reparación. Para muchos de estos equipos es recomendable esta estrategia de mantenimiento; teniendo un nivel de stock de repuesto si es que fuesen componentes críticos (vitales para el funcionamiento de la máquina, lenta adquisición, etc.)

4.2.2 Mantenimiento restaurativo/correctivo planificado.

O también conocido como Mantenimiento correctivo planificado. Esta estrategia se basa en reconocer los elementos que presentan cierta sintomatología a provocar una falla y corregirlos.

Es una acción reactiva programada. Una buena analogía para esta estrategia es que es igual a un mantenimiento correctivo, pero de manera planificada; es decir, se puede prever tiempos de detención del elemento, costos asociados a: mano de obra, repuestos, asegurar disponibilidad de personal, tener el conocimiento de los documentos técnicos del equipo para realizar el trabajo de manera correcta, etc.

Para reaccionar restaurativamente ante una posible falla; es necesario contar con alguna estrategia de mantenimiento, que nos permita acercar al personal especializado con el monitoreo de ciertos parámetros de funcionamiento en los equipos.

Estos serán los encargados de verificar su estado; y por ende definir la necesidad de intervenir.

Cualquier estrategia de monitoreo previo al estado de funcionamiento de un equipo, nos puede permitir el uso de esta estrategia.

Sus principales ventajas son que minimiza los costos de ineficiencia; permitiendo programar las detenciones en fechas u horarios que no afecten la producción de la planta, dando además planificación en su ejecución; lo cual reduce posibles problemas de puesta en marcha.

Su principal desventaja; es que necesita que exista un modelo de gestión del mantenimiento más avanzado; contando con inspecciones programadas y técnicos más especializados en ciertas áreas.

4.2.3 Mantenimiento mejorativo.

Se busca optimizar el proceso productivo, eliminar los fallos crónicos o bien aumentar la confiabilidad o mantenibilidad de los activos; modificándolos de alguna manera.

Estos rediseños suelen ser el resultado a Análisis de fallas realizados por personal especializado en las áreas de análisis.

Los rediseños más frecuentes que surgen de las reuniones de análisis de fallas son: cambio masivo de componentes, cambio de sistemas, modificación al plan maestro de mantenimiento, mejora en los procesos de operación o inclusive mejorar el grado de capacitación de las personas.

4.2.4 Mantenimiento preventivo.

4.2.4.1 Mantenimiento preventivo a edad constante.

Esta política de mantenimiento se basa en realizar una determinada actividad a una frecuencia de tiempo K; previniendo así la falla del componente, sin embargo, considera la posibilidad de que éste presente menos duración de la estimada.

La figura 16 representa el esquema temporal bajo una política de estrategia de mantenimiento preventivo a edad constante. La ejecución de cada mantenimiento preventivo a una frecuencia K, no sólo depende de la intervención preventiva anterior, sino también, de la última intervención correctiva realizada.

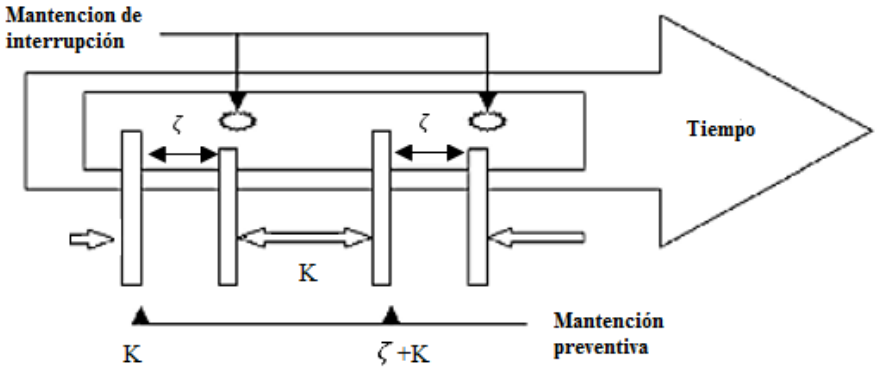


Figura 16 Esquema temporal de mantenimiento preventivo a edad constante.

En la figura 16 se aprecia que la frecuencia para la ejecución del mantenimiento preventivo es de K, no obstante, el elemento presenta falla antes del tiempo 2K (Mantención de interrupción). Para facilitar el análisis, se le denomina a este tiempo ζ. En el tiempo ζ se hizo una mantención correctiva. Una vez terminada la intervención se debe planificar el próximo cambio preventivo al tiempo ζ+K; por lo que los tiempos en los que se realiza una mantención preventiva se deben re planificar.

En resumen, siempre el período de sustitución K transcurrirá desde la última intervención; sea ésta preventiva o correctiva.

4.2.4.2 Mantenimiento preventivo a fecha constante.

Esta política de mantenimiento se basa en realizar una determinada actividad a una determinada frecuencia, la cual, además tiene la cualidad de ser inalterable.

De esto se deduce que lo que sucede entre cada una de las intervenciones preventivas, no es considerado relevante, ya que no suspende ni aplaza la ejecución de la próxima intervención preventiva.

La figura 17 esquematiza el mantenimiento preventivo a fecha constante.

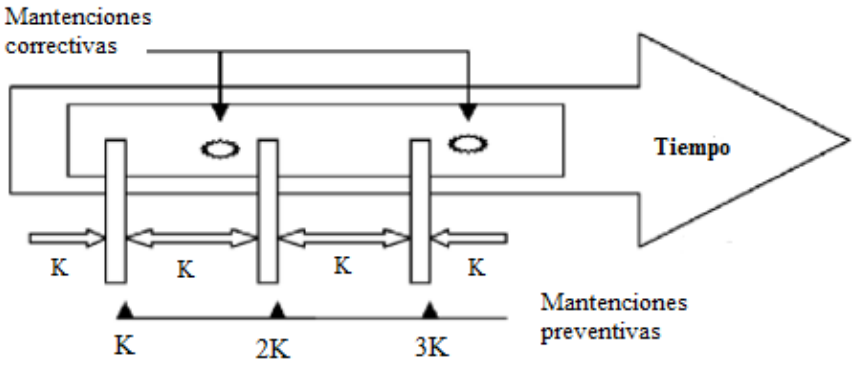


Figura 17 Mantenimiento preventivo a fecha constante.

Cada mantención preventiva se realiza a un tiempo múltiplo de K, sin importar los sucesos que ocurran entre cada intervalo. Esto quiere decir, que en una línea de tiempo se realizarán las actividades preventivas programadas en los tiempos K, 2K, 3K, 4K, etc.; no importando que hayan fallas del componente a tiempos distintos de aquellos.

Este modelo se destaca por su simplicidad en la ejecución; en dónde más que nada importa establecer óptimamente el valor de la frecuencia K para realizar las sustituciones.

La frecuencia óptima K se obtiene buscando el mínimo costo total de mantenimiento.

La función de costos totales de mantenimiento por unidad de tiempo se define por la siguiente ecuación:

$$C(K) = \frac{[C_P + C_E * H(K)]}{K} \quad . \tag{24}$$

En donde $H(K)$ representa el número de fallas que se espera atender en el intervalo K de mantenimiento preventivo, C_E los costos de intervenciones correctivas y C_P el costo del mantenimiento preventivo.

4.2.4.3 Mantenimiento preventivo basado en la condición.

Esta estrategia de mantenimiento busca detectar las fallas antes de que se produzca una rotura u otra detención en la producción.

Se basa en la realización de inspecciones, mediciones y/o control de nivel del status de los equipos.

Su enfoque es detectar la mayor cantidad de fallas potenciales, no obstante, sólo es capaz de monitorear variables que emiten señales claras de deterioro (fugas, caídas de presión, roturas, etc.).

A diferencia de los tipos de mantenimiento preventivo anteriormente descritos; esta metodología permite planificar la ejecución de ciertas actividades de mantenimiento en función del monitoreo de condiciones en tiempo real a cada máquina o componente. Puede basarse en síntomas como en estimaciones estadísticas de ciertas variables.

Esta política busca realizar actividades preventivas de reparaciones, cambios, desarmes, etc. a un tiempo cercano a la falla funcional del elemento.

Es una política preventiva bastante usada debido a que; permite evitar el sobre mantenimiento y excesivo reemplazo de componentes; siendo más eficiente en cuanto a costos de reparación.

4.2.5 Mantenimiento predictivo.

La estrategia de mantenimiento predictivo se basa; al igual que el mantenimiento preventivo según condición, en monitorear ciertos estados de operación de los equipos en tiempo real de manera prematura para evitar su desperfecto o falla funcional.

Se diferencian por sobre todo en el tipo de señal que pueden monitorear. En el mantenimiento preventivo según condición se realizan inspecciones de fallas más detectables y por ende visibles de un equipo, en cambio el mantenimiento predictivo busca monitorear señales de parámetros ocultos en cuanto a posibles fallas de los equipos. Al ser señales menos detectables, la ejecución de esta estrategia no es sencilla. Se requiere adquirir la tecnología adecuada (instrumentos de un nivel medio/alto de inversión) y capacitar a los mantenedores en su uso e interpretación de información.

Se presume que ciertos objetos técnicos dan señales antes de fallar (falla potencial). Según John Moubray [20] una falla potencial es una condición identificable que indica que una falla funcional está por ocurrir o en su proceso.

A partir de la detección de la falla potencial; es posible estimar el tiempo de vida hasta la falla operacional; y por ende planificar con tiempo suficiente su reemplazo o reparación.

A diferencia de la estrategia de mantenimiento preventivo según condición; el uso de cada una de las tecnologías predictivas tiene un costo mayor; lo cual la hace menos eficiente desde el punto de vista de costos, sin embargo, entrega valores claros y confiables de las condiciones de los equipos, por lo cual, se recomienda el uso de estas tecnologías a equipos críticos de los procesos, en dónde el costo de la falla del equipo es más alto que la inversión en el monitoreo.

4.2.5.1 El intervalo P-F.

El intervalo P-F es el intervalo de tiempo que transcurre entre la aparición de una falla potencial y su degeneración en falla funcional. Estos intervalos son también conocidos como periodos de advertencia; ya que representan el tiempo total en que una falla comienza a dar evidencia de su potencial hasta que finalmente se produce.

Este intervalo se representa mediante la figura 21.

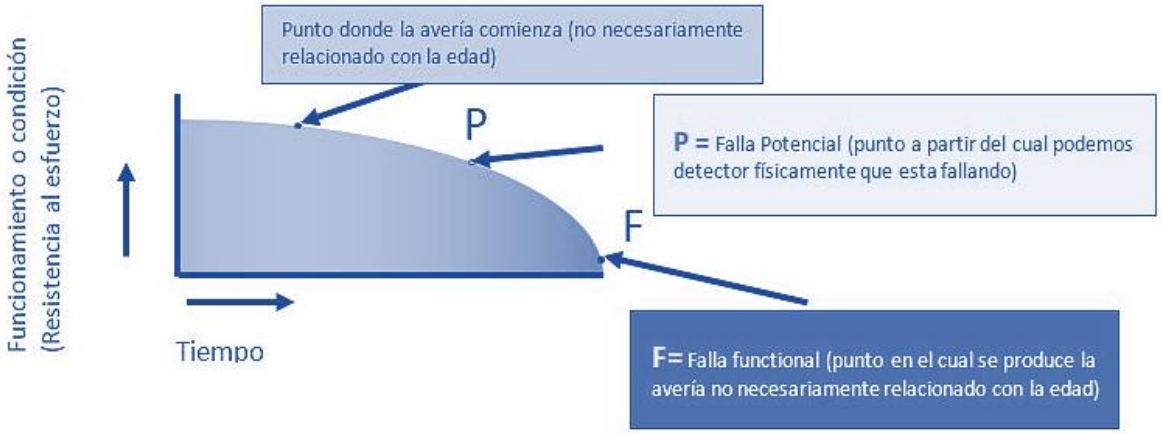


Figura 18 Esquema de Diagrama PF.

En la figura 18 se aprecia la diferencia de tiempo entre los puntos P (falla potencial) y F (falla funcional). Este intervalo de tiempo entrega el tiempo total que se dispone para evitar la falla funcional. El tiempo real dispuesto para tomar acciones depende del tiempo en que se detecta la falla potencial, por ende, el determinar la frecuencia para cada una de las revisiones y/o monitoreos es de vital importancia para evitar las fallas funcionales.

Para garantizar el reconocimiento oportuno de las fallas potenciales, la frecuencia de inspección debe ser menor al intervalo P-F respectivo. El intervalo P-F neto es el intervalo real que se cuenta para evitar una falla funcional. La magnitud del intervalo P-F neto depende directamente de la frecuencia de inspección determinada.

La figura 19 y 20 demuestran de manera gráfica el impacto de asumir dos frecuencias diferentes de inspección en cuanto al tiempo disponible para evitar la falla (intervalo P-F neto).

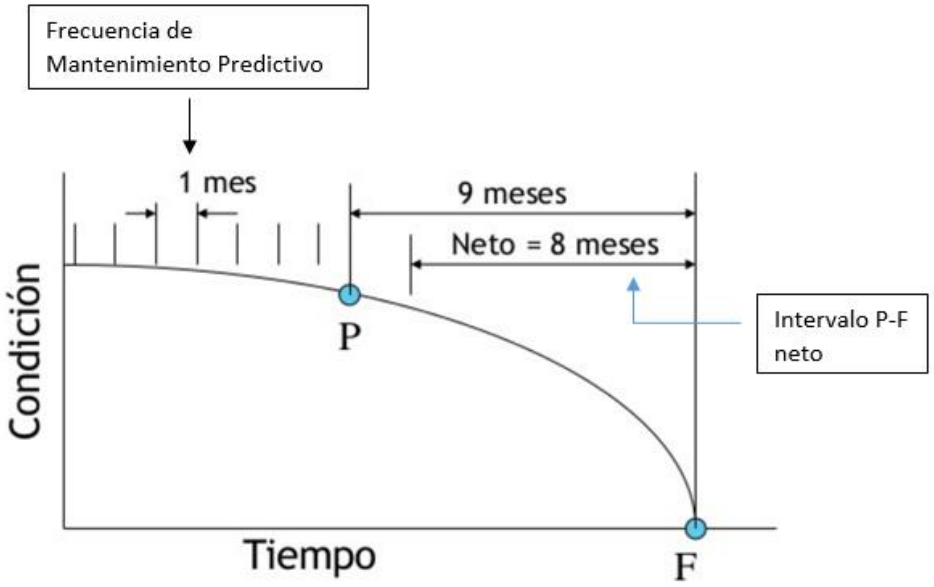


Figura 19 Intervalo PF neto con una frecuencia baja de inspección (1 mes).

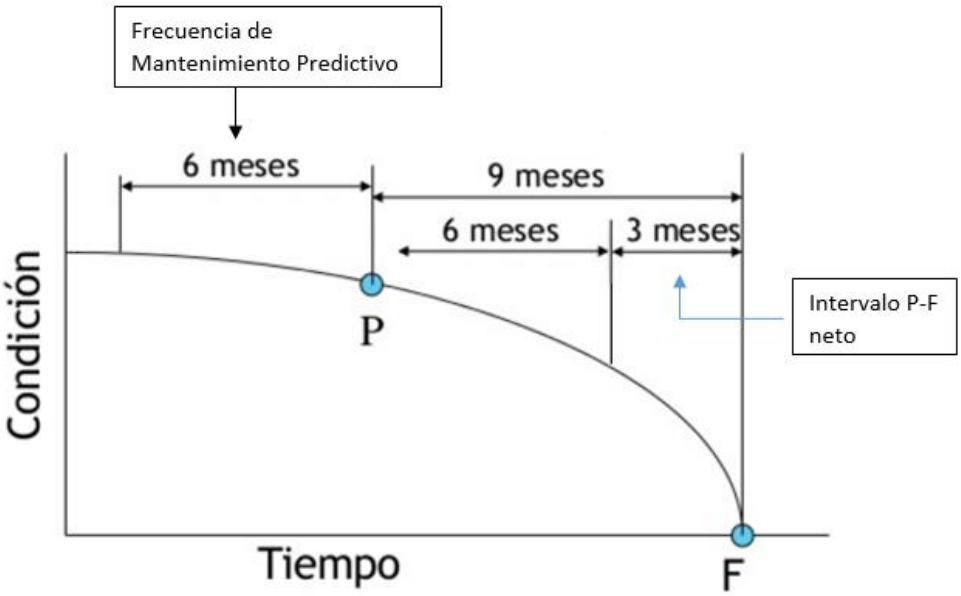


Figura 20 Intervalo PF neto con una frecuencia alta de inspección (6 meses).

En la figura 19 se aprecia que al realizar un monitoreo predictivo con frecuencia de un mes; se logra obtener un intervalo P-F neto de ocho meses. Por el contrario, la figura 20 representa un monitoreo cada 6 meses, entregando así un intervalo P-F neto sólo de tres meses. Ambas figuras representan el caso menos favorable para cada una de las frecuencias determinadas, ya que se asume que la ejecución del mantenimiento predictivo anterior al punto P fue realizada en un tiempo que tiende a P, por lo cual no logra evidenciar el problema en ese monitoreo.

En ambos casos se logra detectar la falla potencial; sólo que en el primer caso se cuenta con un mayor tiempo de reacción, asumiendo un mayor costo directo por la cantidad de intervenciones.

Dependiendo del contexto operativo del activo puede preferirse una alta o baja frecuencia.

Cada tecnología asociada a algún monitoreo predictivo tiene un determinado intervalo P-F teórico. La figura 21 detalla los Intervalos P-F para cada una de las principales técnicas de mantenimiento preventivo.

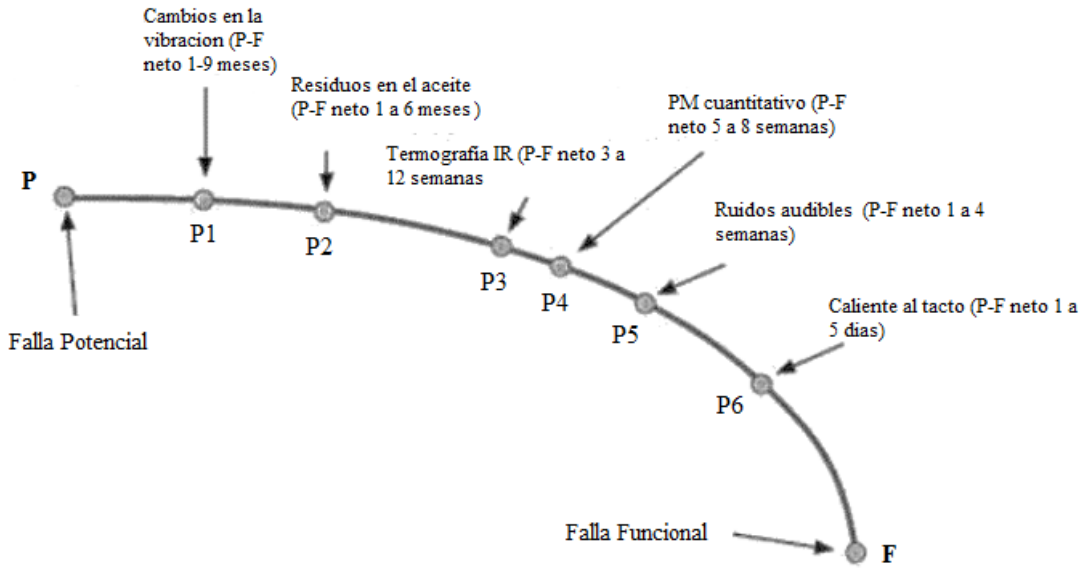


Figura 21 Intervalos PF característicos de distintas técnicas predictivas o según condición.

La figura 22 vincula algunas técnicas de monitoreo con estrategias de mantenimiento dentro de un intervalo P-F genérico.

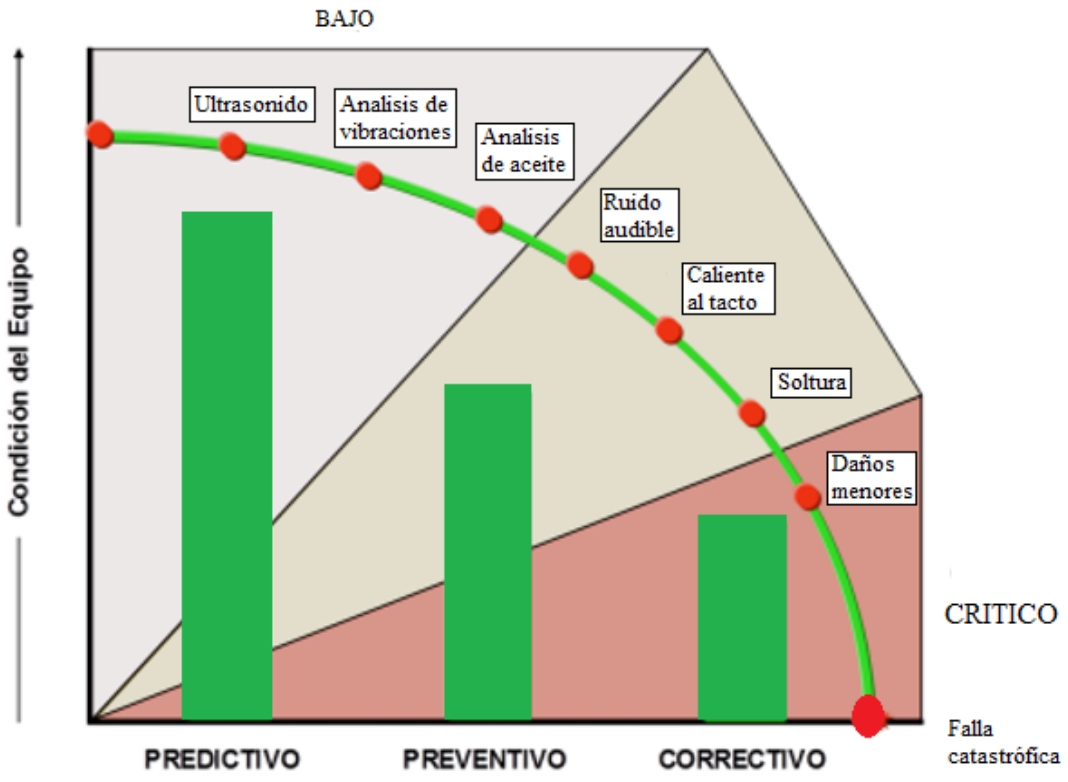


Figura 22 Intervalos PF característicos de distintas técnicas predictivas o según condición.

4.2.5.2 Principales técnicas predictivas.

4.2.5.2.1 Análisis de vibraciones.

El análisis de vibraciones, permite diagnosticar el estado de las máquinas y sus componentes mientras funcionan normalmente dentro de una planta de producción, es una de las tecnologías más utilizadas en el mantenimiento predictivo de las máquinas rotativas.

El análisis de vibraciones sirve para determinar el estado de cada uno de los componentes de los equipos con el fin de programar las actividades de mantenimiento respectivas, sin afectar al desarrollo normal de la planta de producción.

Todas las máquinas generan vibraciones como parte normal de la actividad, sin embargo, cuando falla alguno de sus componentes, las características de estas vibraciones cambian, permitiendo bajo un estudio detallado; identificar el lugar y el tipo de falla que se está presentando, su rápida reparación y mantenimiento.

El análisis de vibraciones está basado en la interpretación de las señales de vibración.

Requiere equipos de mediana inversión y personal muy capacitado la interpretación de los datos obtenidos.

Algunas de las fallas que se pueden detectar en máquinas rotativas por medio de esta tecnología son las siguientes:

- Desbalanceo
- Desalineamiento
- Defecto de rodamientos
- Ejes torcidos
- Desajuste mecánico
- Defecto de transmisiones por correa

- Defectos de engranajes
- Problemas eléctricos

A continuación se presenta una imagen que representa la superposición de frecuencias de vibración de cada componente resultando un perfil de onda sin filtrar.

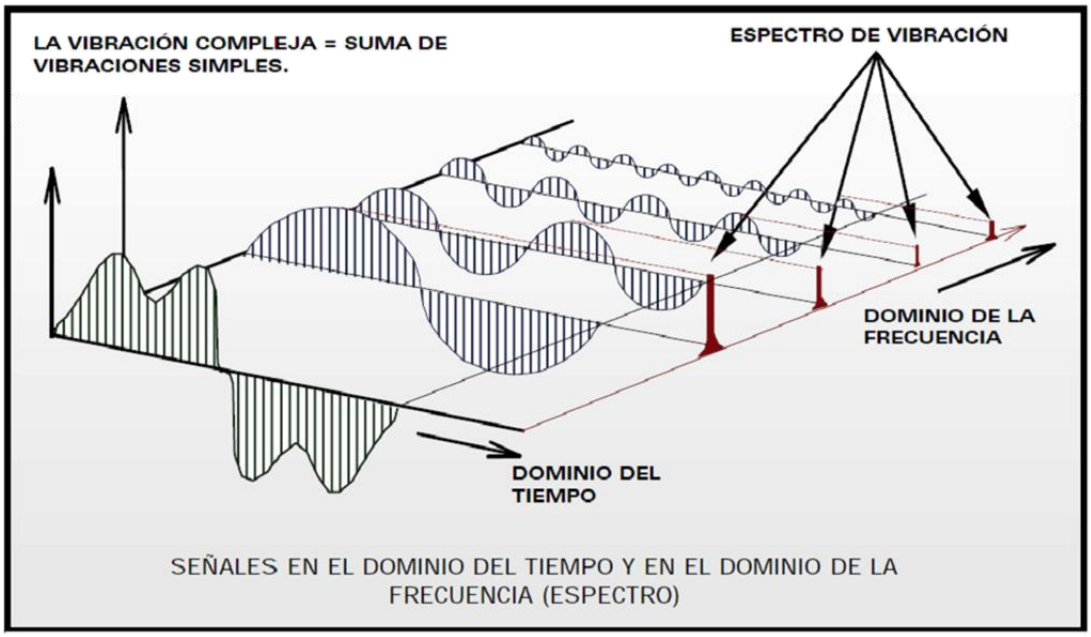


Figura 23 Espectros de vibración y perfil completo de vibración.

4.2.5.2.2 Termografía infrarroja.

La Termografía Infrarroja es una técnica que permite, a distancia y sin ningún contacto, medir y visualizar temperaturas de superficie con precisión.

La física permite convertir las mediciones de la radiación infrarroja en medición de temperatura, esto se logra midiendo la radiación emitida en la porción infrarroja del espectro electromagnético desde la superficie del objeto, convirtiendo estas mediciones en señales eléctricas.

Los ojos humanos no son sensibles a la radiación infrarroja emitida por un objeto, pero las cámaras termográficas son capaces de medir la energía con sensores infrarrojos, capacitados para "ver" en estas longitudes de onda. Esto nos permite medir la energía radiante emitida por objetos y, por consiguiente, determinar la temperatura de la superficie a distancia, en tiempo real y sin contacto.

Los estudios de termografía infrarroja son muy económicos y la información que arrojan es de muy alto valor por lo que su utilización en la industria es altamente recomendable.

Algunas de sus principales aplicaciones son las siguientes:

- Determinación de fugas o ingreso de calor en sistemas termodinámicos como calderas, chillers, etc.
- Determinar fugas de corriente o sobrecargas en interruptores, transformadores, etc.
- Determinar puntos de sulfatación o en falta de apriete de un tablero eléctrico
- Detección de sobrecalentamiento en puntos específicos de chumaceras, rodamientos y equipos en movimiento constante
- Permite evidenciar puntos de fuga de agua
- Detectar obstrucciones internas en líneas de tubería (piping).

A continuación se presentan algunas de las imágenes obtenibles con esta tecnología.

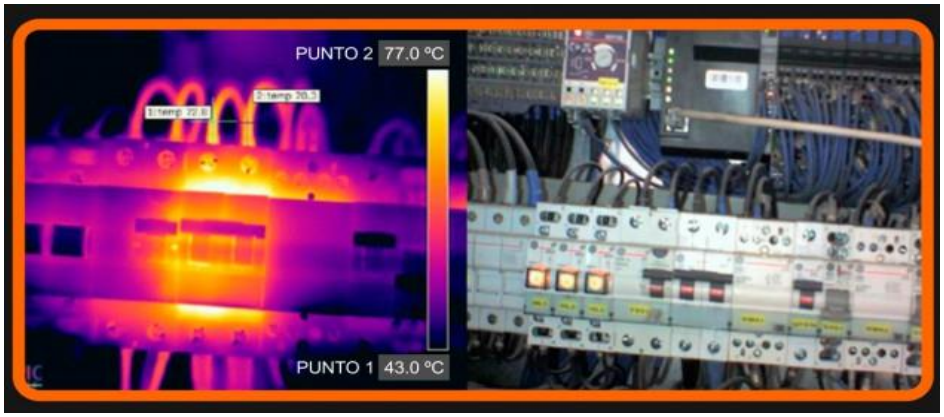


Figura 24 Termografía en interruptores de un tablero principal.

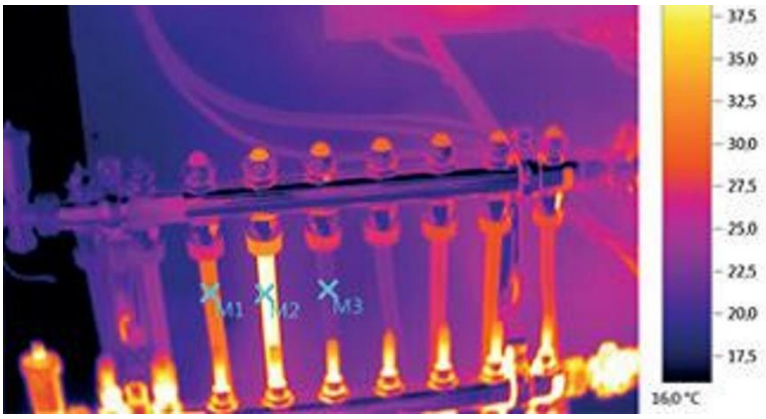


Figura 25 Termografía en un manifold de refrigeración.

4.2.5.2.3 Análisis de aceite.

El análisis de aceite es una técnica predictiva que consta en toma de muestras de aceites lubricantes para posteriores análisis en laboratorio. El resultado de estos análisis entrega la cantidad de metales disueltos en el fluido (ppm), el grado de viscosidad, contenido de agua y grado de oxidación.

Dependiendo del resultado del análisis se puede conocer el desgaste mecánico de las partes mecánicas internas (engranajes, ejes, retenes, etc.), el grado de contaminación externa y la pérdida de lubricación del aceite. La figura 26 muestra el resultado de un análisis realizado a un determinado aceite.

Mobil ASSISTANCE Scan RESULTADO DE ANALISIS

Cliente	CLARIANT COLORQUIMICA (CHILE) LTDA	Fecha Informe	07-08-2015
Dirección		Fecha Recibo	06-08-2015
Ciudad	MAIPU	Número Solicitud	2213728-K
Atención Sr.		Contacto Mobil	Carlos Zapata R.
Faena	CAMINO A MELIPILLA		

Resultado del Análisis

VISCOSIDAD A 40 °C CST	295				
CONTENIDO DE AGUA %VOL	NSD				
SILICIO PPM	1,9				
HIERRO, PPM	4,2				
COBRE PPM	0,1				
PLOMO PPM	0,1				
ALUMINIO PPM	0,1				
CROMO PPM	0,1				
ESTAÑO PPM	0,1				
PLATA PPM	0.1				
FÓSFORO PPM	344				
SODIO PPM	0,4				
BORO PPM	7,9				
NIQUEL PPM	0,1				
MOLIBDENO PPM	0,1				
VANADIO PPM	0,1				
POTASIO PPM	1,8				
TITANIO PPM	0,1				

Figura 26 Resultado de un análisis de aceite.

4.2.6 Mantenimiento imperativo o legal.

Ciertas instalaciones deben cumplir con requisitos y certificaciones de calidad gubernamental con carácter obligatorio para poder seguir operando. Estas normativas generalmente apuntan a controlar el estado de operación de máquinas u procesos en los que sus modos de falla tienen consecuencias catastróficas para la seguridad de las personas o el medio ambiente. Existen políticas de inspecciones periódicas, mediciones, calibraciones, pruebas, etc. La cantidad y severidad de estas regulaciones muchas veces va de la mano con el tipo de industria.

Dentro de estas normas, por sobre todo destacan las impuestas por el Seremi de Salud. Algunas de las principales normativas son las siguientes:

- Fiscalización de emisión de gases.
- Mantenimiento y revisión de calderas.
- Manejo y almacenamiento de productos peligrosos.
- Emisión de gases y material particulado en los grupos electrógenos.
- Auditorías en sistema de extinción de incendio.
- Concentración de contaminantes en residuos líquidos industriales (RILES).

Diversas normativas o decretos supremos obligan a las industrias a realizar determinadas mantenciones con una frecuencia establecida a elementos detallados dentro de los documentos. En estos casos no hay posibilidad de modificar la estrategia a aplicar.

Un ejemplo de esto, es el decreto supremo N°10 [21], el cual regula el uso y revisión de calderas, autoclaves y equipos que utilizan vapor de agua.

4.3 Técnicas de Gestión de Mantenimiento.

4.3.1 Mantenimiento centrado en confiabilidad/Reliability centered maintenance (RCM).

El mantenimiento centrado en la confiabilidad, desde ahora RCM, es una metodología de análisis sistemático objetivo, que se usa para determinar las actividades de mantenimiento de mayor importancia dentro de un sistema productivo o equipo específico.

Nace en la década de los sesentas, sin embargo, como cualquier técnica, fue modificándose al pasar de los años. La temprana aplicación de esta metodología en la industria aeronáutica permitió (a través del método MSG3); una rápida depuración y perfeccionamiento de la técnica. Cabe mencionar que el método MSG3 es el mismo que el RCM; sólo que dentro de la industria de la aviación se le denominó con esa sigla.

La claridad metodológica propuesta por el RCM, llevó a que la sociedad americana de ingenieros automotrices; publicara en el año 1999 la norma SAE JA1011 [22]; la cual describe y estandariza los criterios de evaluación para los procesos de mantenimiento centrados en la garantía de funcionamiento.

En la actualidad, el RCM es un proceso ampliamente usado para determinar qué debe hacerse para asegurar que todo bien físico continúe funcionando como los usuarios lo deseen en el presente del contexto operativo.

Para facilitar la identificación de las necesidades de una organización; la metodología RCM plantea responder siete preguntas básicas de mantenimiento.

Las preguntas a responder son las siguientes:

1. ¿Cuáles son las funciones y los estándares de rendimiento asociados de los activos en su contexto operacional presente?

2. ¿Cuáles son los estados de falla (fallas funcionales) asociados con estas funciones?

3. ¿Cuáles son las posibles causas de estas fallas? (modos de falla)

4. ¿Cuáles son los efectos de cada una de estas fallas? (de sus modos de falla)

5. ¿Cuál es la consecuencia de cada falla?

6. ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir la falla?

7. ¿Qué hacer si no se puede encontrar una tarea predictiva o preventiva adecuada?

Para responder a estas interrogantes se debe tener claridad del contexto operativo [23]; identificando las circunstancias en las que operan los equipos o componentes. Debe existir claridad del uso que se le dará al activo, la disponibilidad de repuestos, la disponibilidad de mano obra, etc.

De manera adicional, es de destacar que en muchas compañías existen protocolos ya definidos de manera corporativa en cuanto a las mínimas actividades preventivas a ejecutar.

Una vez identificado el contexto; se utiliza como herramienta complementaria la metodología de análisis FMEA. Esta técnica permite responder las siete interrogantes de la metodología RCM de una manera simple, clara y objetiva.

4.3.1.1 Análisis de modo y efecto de falla (FMEA o AMEF).

Herramienta de análisis enfocada en poder identificar los modos de falla, causas de fallas, sus efectos y consecuencias al ocurrir durante el proceso de operación. Esta herramienta puede ser usada en sistemas, equipos o componentes.; por lo que puede ser usada también para jerarquizar activos.

El siguiente esquema representa el flujograma de implementación de la técnica FMEA [24].

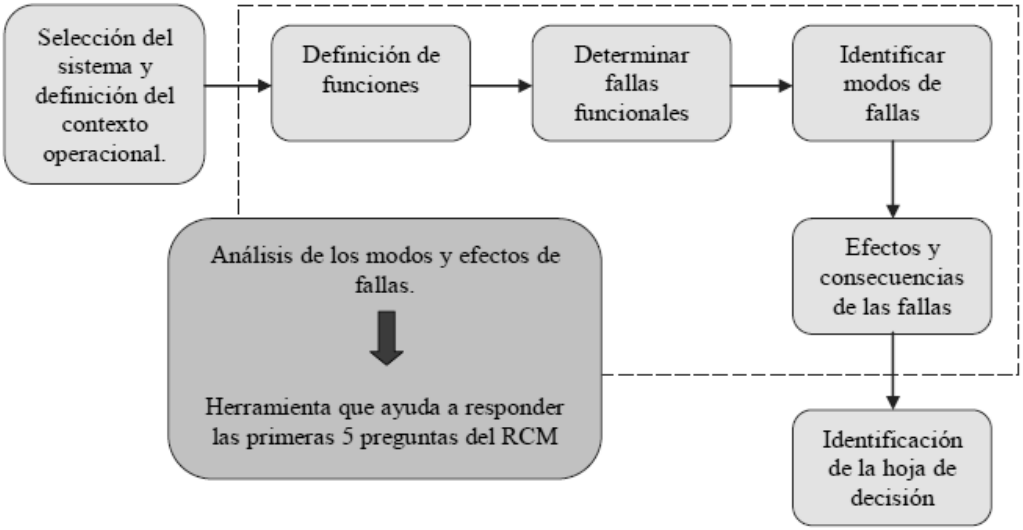


Figura 27 Flujograma de implementación de la técnica FMEA

Según John Moubray [20] la metodología FMEA se divide en las siguientes etapas principales. Estos se resumen a continuación.

1. Definición de funciones.

Esta etapa consta en definir la o las funciones que realizan los activos dentro de su contexto normal de funcionamiento. Apunta en definir claramente la funcionalidad específica que aporta el activo al sistema. Puede que un activo cumpla más de una función en el sistema.

2. Descripción de fallas funcionales.

Una falla se define como la incapacidad de un activo para cumplir con su funcionamiento esperado [20]; por ende, basta con que un activo pierda eficiencia como para ser considera en estado de falla. Cualquier alteración de la función previamente definida debe ser detallada en esta etapa.

3. Identificar los modos de falla.

Aquí comienza el análisis de modo y efecto de falla (análisis FMEA) propiamente tal, luego de definir e identificar las funciones y las fallas funcionales; el siguiente paso es identificar todos los eventos o factores que puedan provocar el estado de falla. Estos eventos son los llamados modos de falla.

Los modos de falla pueden incluir averías causadas por deterioro debido a condiciones ambientales, desgaste por uso vida útil, así como también, fallas causadas por errores humanos (por operadores y mantenedores) y de diseño, es decir, se debe identificar todo aquello que pueda causar que el equipo falle.

4. Describir los efectos de los modos de fallas identificados.

Cada modo de falla tiene su respectiva consecuencia en la gestión del mantenimiento. Dentro de los efectos más recurrentes se destacan los que impliquen un tiempo de inactividad en el proceso productivo, aquellos que afecten la calidad del producto, aquellos que inhabiliten el sistema por seguridad, etc.

La experiencia y conocimiento de los equipos; facilita en gran medida describir los posibles efectos de los modos de falla identificados.

5. Determinar las consecuencias de un modo de falla.

El determinar y tener claridad de las consecuencias de los diferentes modos de falla es de vital importancia para poder seleccionar las acciones de mantenimiento a aplicar.

Dentro de la metodología RCM [20] se recalca que es más importante mitigar las posibles consecuencias que pueda producir un modo de falla que las propias características técnicas de la falla. El real objetivo aplicado de la metodología no es evitar las fallas; sino que es reducir las consecuencias de éstas.

Las consecuencias pueden clasificarse en los siguientes tipos:

a) Consecuencias hacia la seguridad de las personas y/o el medio ambiente.
b) Consecuencias operacionales (detención de producción, costo ineficiencia).
c) Consecuencias no operacionales (costos de reparación).

6. Determinación de las actividades de mantenimiento.

Una vez obtenida la evaluación de las consecuencias de los modos de falla; se debe realizar un análisis acerca de qué estrategia de mantenimiento logra prevenir o predecir de mejor manera el modo de falla.

Las diferentes estrategias de mantenimiento existentes a aplicar, fueron descritas previamente en el apartado 4.2 Estrategias de mantenimiento.

4.3.2 Planificación de un proceso RCM.

Para planificar la aplicación de esta metodología; es necesario determinar ciertos alcances y requerimientos de manera previa. Las principales etapas previas a la planificación de un proceso RCM son las siguientes:

1. Definir cuáles serán los equipos, que serán sometidos a este análisis.
2. Establecer el o los objetivos que tiene aplicar la metodología.
3. Definir qué habilidades son requeridas para ejecutar el proceso de análisis.
4. Definir las personas que integrarán el equipo de trabajo.
5. Planificar el avance según disponibilidad de horas hombre y de espacio físico.
6. Capacitar en la metodología RCM al equipo de trabajo.

4.3.3 Resultados de un proceso RCM.

Los resultados obtenidos mediante la aplicación de esta metodología de análisis deben ser resumidos en planes o programas de mantenimiento en los que se detalles las actividades a implementar en cada uno de sus componentes.

Estos planes deben ser diseñados y ejecutados por el área de mantenimiento.

Dependiendo de los resultados de cada análisis; se determinará la estrategia de mantenimiento más efectiva a aplicar a ese componente.

Si el análisis se efectúa correctamente y se lleva una correcta puesta en marcha; el resultado será una planta productiva con mayor disponibilidad más confiable, además se obtendrá:

- Mayor seguridad hacia las personas en la operación.
- Disminución de detenciones no programadas.
- Mayor nivel de organización y gestión del departamento de mantenimiento.
- Mayor vida útil de los equipos.
- Disminución progresiva de costos de reparación.
- Menor cantidad de piezas o lotes defectuosos (aumento en la calidad).
- Generación de base de datos de mantenimiento (datos históricos).

La metodología FMEA puede ser complementada con un análisis de la criticidad de cada modo de falla y sus efectos. Esto convierte al FMEA en FMECA [25] (failure mode, effects and crittically analysis).

Una herramienta bastante usada para incorporar criterios de criticidad en el análisis de modos de fallas y sus efectos es la técnica de jerarquización RPN [26] (risk priority number). El uso de esta herramienta nos permite obtener un valor de riesgo de cada modo de falla, sus efectos y consecuencias; según la evaluación de tres parámetros: su nivel de ocurrencia, su severidad y su grado de detectibilidad.

Una vez que cada modo de falla sea evaluado; se obtendrán los valores finales RPN.

Finalmente se ordenan en un ranking de mayor a menor y se procede a identificar los modos de fallas críticos; siendo los de mayor magnitud los más críticos dentro del equipo o sistema.

La tabla 1 ilustra un análisis FMECA incorporando la técnica de jerarquización RPN:

Tabla 1 Ejemplo de análisis FMECA en una turbina hidráulica [27].

FMEA																	
FMEA DE: ■ Equipo ☐ Proceso			ANALISIS DEL MODO Y EFECTO DE LA FALLA								Gerencia: mantenimiento		Ingenieros: Moya Roque; Salazar Milagro				
			AMEF No. 001 FECHA DE JUNTA DE REVISION:21/06/2011								Departamento: turbinas						
Proveedor afectado.		Descripción	Nombre del Equipo: turbina hidraulica		Número: anz-th-001						Departamentos involucrados:		Fecha: 21/06 2011				
					Modelo: pelton								Hoja 1 de 1				
Descripción del Equipo	Función del Equipo	Modo de Falla	Efecto de la Falla	Causa de la Falla	Situación Actual					Acciones Recomendadas	Responsable	Situación Actual					
					Acciones Actuales	O	S	D	NPR			Acciones Adoptadas	OCUR	SEVE	DETE	NPR
Turbina Hidrauluca	convertir energia mecénica en eléctrica	desprendimiento de material de los alabes	paso de agua al interior del rodete	fatiga de los alabes	reparacion de los alabes	3	4	8	**96**	revision perioda de los alabes	mecanico	se implantó lo recomendado	2	2	6	**24**
		desgaste de los anillos	vibracion en la turbina	desalineamiento de los anillos	reparacion de los anillos	2	7	6	**84**	alinneacion y balanceo de los anillos	mecanico	se implantó lo recomendado	2	5	4	**40**
		sensor de vibracion dañado	valores erroneos de la velocidad de vibracion	mala calibracion	calibracion de los sesores	3	4	8	**96**	inspeccion mesual de los sensores	mecanico	se implantó lo recomendado	2	4	5	**40**
		desgaste de la chumacera	desgaste en el Babbit	falta de limpieza	reparacion de chumacera	4	5	7	**140**	limpieza y pulido trimestralmente	mecanico	se implantó lo recomendado	3	4	6	**72**

4.3.3.1 Análisis de causa raíz (ACR).

El análisis causa raíz, conocido por la sigla ACR, es un método analítico que busca eliminar las fuentes de error o falla dentro de un sistema o equipo. Una causa raíz se define como la razón más básica que provoca una falla [28]. El ACR tiene la finalidad de investigar el por qué existe una falla o problema en particular, a través de un análisis deductivo que usa una secuencia lógica de pasos que permite a los investigadores poder considerar los efectos de cada variable que incide en la problemática de manera independiente.

El objetivo del uso de esta herramienta de análisis es evitar que las fallas se hagan repetitivas, crónicas o en los casos más extremos asegurar que no vuelvan a suceder.

La mayor aplicación de esta herramienta analítica es cuando suceden fallas de alto impacto en el proceso o cuando éstas provocaron un incidente o accidente. En ambos casos; las consecuencias de las fallas son tan elevadas, que deben tomarse todas las medidas para que éstas no vuelvan a suceder.

Las fallas se deben con mayor frecuencia a errores humanos de operación, falta de mantenimiento, fallas en el diseño, errores de montaje e inexistencia de procedimientos de operación.

El ACR posee variadas aplicaciones, dentro de las que destacan [29]:

- Equipos y sistemas en que el costo del mantenimiento correctivo no planificado es elevado.
- Cuando las fallas en los equipos o sistemas implican pérdidas de producción considerables.
- Equipos o sistemas que presentan fallas repetitivas que pueden ser consideradas crónicas.

- En equipos en donde exista un alto grado de gestión del mantenimiento; y por ende se opte por un mantenimiento proactivo; evitando la repetición de fallos de la misma naturaleza.
- Análisis de errores humanos ya sea en ejecución o supervisión de los trabajos.

Cabe mencionar que para ejecutar este método es necesario organizar reuniones de trabajo con personal con amplio conocimiento de la operación, mantención, diseño y detalles técnicos del proceso o el equipo en cuestión.

El ACR consta de 5 etapas [30]. Éstas son las siguientes:

Etapa 1: Recolección de información.

Una vez es reconocido el problema; se debe comenzar a recopilar la mayor cantidad de información. Es importante conocer las condiciones de operación antes, durante y después del evento o acontecimiento. Dentro de los factores importantes a considerar en la investigación están: factores ambientales del suceso, participación del personal, antecedentes de fallas anteriores, costos de reparaciones y costos por pérdida de producción.

Etapa 2: Definición del problema y su evaluación.

El problema debe ser correctamente definido, ya que, el análisis será enfocado a eliminar o mitigar todas aquellas causas de ese problema. Es aquí donde la recopilación de información y/o antecedentes es de gran utilidad; ya que permite dar un marco completo al problema, tanto de narración del suceso como también de consecuencias de éste.

Posteriormente se deben definir los objetivos del análisis. Según George T. Doran [31]; la definición de los objetivos debe realizarse usando el criterio S.M.A.R.T. Este criterio exige que la definición de un problema sea específica (Specific), medible (Measurable), alcanzables (Achievable), realistas (Realistyc) y acotados

en el tiempo (Timely). Esto permite al análisis dar soluciones concretas y de fácil comprobación en su cumplimiento.

Una vez definidos los objetivos; se debe identificar las razones de por qué sucedió el problema; siempre en busca de identificar las causas raíces del problema.

Para ayudar en la detección de las causas raíces, es recomendable hacer uso de alguna de las siguientes herramientas:

- Análisis de árbol de fallas [32].
- Diagrama Ishikawa [33,34].
- Diagrama causa efecto [35].
- Técnica de los 5 por qué [36].

Etapa 3: Toma de acciones.

Una vez identificadas las causas raíces del problema; el grupo multidisciplinario debe buscar plantear soluciones para cada una de ellas. Realizar una lluvia de ideas es un buen comienzo. Una vez existan variadas alternativas de solución, el grupo debe determinar cuáles serán implementadas. El listado final debe ser generado tomando las acciones correctivas que resolverán la causa raíz del problema de manera definitiva.

Etapa 4: Desarrollo de documento resumen.

Es necesario generar un informe o documento breve que resuma todo el análisis realizado. En él se debe incluir [37]:

- Integrantes del grupo de trabajo.
- Líder o coach del análisis.
- Definición del problema (resumen de incidentes, contexto operacional, etc.).
- Consecuencias del problema.
- Objetivo del análisis.

- Causas raíces identificadas y el método aplicado para su identificación.
- Acciones correctivas definidas con responsables y fechas límites de ejecución.
- Referencias.
- Archivos adjuntos (opcional).

Dependiendo del contexto a utilizar; su representación puede ser en gigantografías (gallery walks, workshops) o en un informe de fácil distribución, ya sea escrita o digital.

Fase 5: Seguimiento.

La fase de seguimiento es la fase final del proceso en donde se verifica que las acciones correctivas determinadas en el análisis hayan resuelto según lo esperado el problema.

Tabla 2 Etapas de la metodología ACR.

Etapa 1	Recopilación de información	Costos Antecedentes previos Contexto operacional Personal involucrado
Etapa 2	Definición del problema y su evaluación	Definir el problema y sus repercusiones Idendificar posibles causas Identificar las causas raíces
Etapa 3	Definición de acciones	Lluvia de ideas Seleccionar soluciones a implementar Asignar responsable y fecha a cada solución.
Etapa 4	Informar	Desarrollo de informes de resumen Gigantografías para gallery walk
Etapa 5	Seguimiento	Monitorear la eficacia de las acciones correctivas asignadas

El [Anexo 3] de este trabajo incluye un ejemplo de esta técnica (elaboración propia).

4.4 Técnicas de jerarquización de activos según criticidad.

En este apartado se procede a detallar las principales técnicas de jerarquización de los activos de producción según su criticidad. Todas estas técnicas convergen en identificar cuáles son los procesos, sistemas, máquinas, equipos y/o componentes que al fallar o presentar anomalías; impactan negativamente en la productividad (asignándoles un orden de prioridad).

La identificación de los elementos críticos junto a la estimación de su impacto en el proceso, busca optimizar el uso de recursos de los departamentos de mantenimientos. De esta manera se direccionan los esfuerzos en mantener u optimizar con mayor prioridad los elementos que son relevantes para los procesos o para el aspecto de seguridad operacional.

Las técnicas/herramientas de jerarquización permiten obtener el grado de criticidad de un activo para un contexto determinado [38], [39]. Éstas se clasifican en diversos tipos, según su naturaleza; como por ejemplo: cuantitativo/cualitativo, numérico/gráfico, de programación matemática, multicriterio/unicriterio, etc. Cada una considera diversas variables para su uso como: confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad, cantidad de máquinas, configuración de equipos, condiciones del entorno, riesgo del proceso, repercusiones de la falla, etc.

Con esto se observa que la cantidad de herramientas/técnicas existentes para la jerarquización de activos es considerable, donde cada una presenta ventajas y desventajas acorde a las condiciones de operación para cada caso.

La finalidad de estas herramientas radica en estandarizar y simplificar el proceso de identificación de los equipos críticos, con el objetivo de generar un adecuado plan de acción en el área de mantenimiento, a través de proyectos (redundancias, diseño, reemplazo de equipos, etc.) o bien a nivel de gestión (políticas de mantenimiento, capacitación, gestión de repuestos, etc.).

La jerarquización de los activos ya ha sido analizada incluso a nivel normativo por diferentes entidades. Algunas normas destacables son las siguientes:

a) Norma ISO 14224 [40].

Esta norma clasifica modos de falla según el nivel de interrupción que éstos presentan en el cumplimiento de la función productiva del elemento bajo análisis, se clasifican también según mecanismo de falla (mecánico, instrumental, eléctrico, estructural, etc.). También establece directrices para analizar modos de falla según tipo de detección de la falla, clasificándose por ejemplo en detección por inspección, correctiva, por calendario, detección a pedido, entre otras.

Dicta directrices claras en cuanto a cómo desglosar un equipo de mayor a menor jerarquía. Estas van desde: clases de equipos, sistemas, subsistemas, ítems mantenibles y componentes de detalle; estableciendo ciertos parámetros para su jerarquización. Recalca la importancia de definir cómo se tratará a los equipos; puesto a que esto definirá la posterior interpretación de resultados y las metodologías de su análisis.

Las definiciones de esta norma se basan en gran medida al RCM.

b) Normas UNE de mantenimiento:

También existen las normas españolas UNE referidas a áreas de mantenimiento. Éstas dividen el mantenimiento en una serie de normas que abarcan cada arista de manera independiente; describiendo métodos y procedimientos. Dentro de éstas destacan las que apuntan a: mejorar la mantenibilidad de los equipos, evaluar y ponderar los riesgos de los procesos y manejar una base histórica de fallos para realizar análisis de confiabilidad.

A continuación se presenta un breve resumen de las principales normas UNE referidas al mantenimiento:

- Normas referidas a la Mantenibilidad [41,42]: Este conjunto de normas se caracterizan por estandarizar los parámetros que están relacionados de forma directa con la mantenibilidad de los elementos técnicos. Algunos de estos son: accesibilidad del lugar de instalación, herramientas disponibles para el montaje y desmontaje de equipos y/o estructuras, condiciones del ambiente, capacitación del personal técnico, existencia de documentación técnica, etc.

  Se indica la mantenibilidad operacional como una variable de gran importancia a la hora de evaluar criticidad, ya que afecta directamente el MTTR; factor preponderante a la hora de restablecer las funciones de un equipo posterior a una falla.

- Normas referidas al Riesgo [43]: Este conjunto de normas definen métodos y criterios para poder identificar y cuantificar los mayores riesgos potenciales dentro de un proceso, entregando luego, ciertos lineamientos para su jerarquización. Entrega un conjunto de técnicas frecuentemente usadas como: análisis de decisión multicriterio, análisis de causa raíz, el método Delphi, etc.

- Normas referidas a la Confiabilidad en el mantenimiento [44,45]: Estas normas vinculan la probabilidad de fallos de un equipo o sistema a la criticidad que tiene en el proceso productivo. Se establece también una relación entre la probabilidad de ocurrencia y la consecuencia de sus efectos; ya sea hacia el proceso productivo, hacia la seguridad de las personas o hacia el daño al medio ambiente. Proponen realizar escalafones de acuerdo a su nivel de criticidad para posteriormente hacer uso de técnicas que permitan identificar los elementos más significativos. Algunas características de estos elementos son su detectibilidad, su impacto como fuente de accidentes, su impacto sobre el proceso productivo y sus costos asociados.

c) Normas de criticidad NORSOK [46]:

Son un conjunto de normas noruegas relacionadas a la jerarquización de sistemas. Éstas establecen ciertas guías y bases para desarrollar y optimizar los planes de mantenimiento preventivo, incorporando los posibles riesgos para la seguridad de las personas, hacia el medio ambiente, producción y otros costos directos. Para este conjunto de normas lo más relevante es jerarquizar los activos en un ranking en función de la severidad de las consecuencias de cada una de las fallas. El uso de la herramienta de análisis FMECA se contempla dentro de este conjunto de normas.

Según Adolfo Crespo [39] los pasos más importantes para jerarquizar activos según criticidad son los siguientes:

1. Selección del área de trabajo: Este aspecto es fundamental para el correcto desarrollo y mejor aprovechamiento del análisis. La definición del alcance del análisis es fundamental para la consecución de los objetivos que se propongan en el mismo. El alcance puede variar desde un área concreta de una planta, una línea de fabricación, a una planta completa. La selección del alcance compete en exclusiva al departamento de mantenimiento, puesto que éste es el encargado optimizar la gestión.

2. Selección del equipo de trabajo: Una vez definido el alcance, es necesario conformar un grupo de trabajo multidisciplinario que lo lleve adelante. Es muy importante incluir a todos los departamentos que se relacionan con el área, así la evaluación la criticidad adopta los máximos de puntos de vista posible.

3. Definición de los criterios de criticidad: Atendiendo a los objetivos generales de la organización y a los específicos del departamento de mantenimiento, se debe definir los factores más relevantes que pueden convertir a un fallo potencial en un riesgo para la empresa.

4. Selección de la metodología de evaluación: Una vez definidos los criterios, se debe definir una metodología que permita la evaluación de la criticidad de una forma dinámica y que además recoja el peso de cada uno de los criterios en su justa medida.

5. Realización del análisis de criticidad y evaluación de resultados: Una vez definido todo el proceso, debe llevarse a cabo el análisis final por parte del grupo de trabajo. Este paso es fundamental, ya que valida los resultados obtenidos. El grupo busca incongruencias y posibles errores en la evaluación o en la metodología.

A continuación, se presentan algunas de las principales técnicas/herramientas existentes para jerarquizar activos.

4.4.1 Análisis de dispersión Jack Knife [47].

El análisis de dispersión Jack knife, es un método multicriterio que representa los distintos modos de falla, equipos de un proceso, elementos de un equipos, etc., en un diagrama que relaciona la frecuencia de fallas (tasa de falla "λ"); con algún otro indicador de su consecuencia. Entre estos indicadores se encuentra el tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio de reparación (MTTR), por nombrar algunos.

Esta representación permite identificar de manera visual los elementos que causan el mayor tiempo de inactividad en los procesos, por lo cual es un método bastante usado para jerarquizarlos según su criticidad.

El mecanismo de su construcción; corresponde en primer lugar en definir la cantidad de variables en estudio; éstas pueden ser dos o más. Una vez definido el número de dimensiones del diagrama, se debe definir las variables a estudiar. Para análisis de criticidad de elementos en cuanto al mantenimiento; el diagrama Jack knife más frecuentemente usado contempla sólo la representación de dos variables, teniendo la frecuencia de falla en el eje de la abscisa y el tiempo medio de reparación en el eje de la ordenada. Posteriormente a esto, se debe obtener los promedios de los datos a representar en el esquema en ambas variables. Estos promedios se grafican en el diagrama generando dos rectas paralelas a los ejes coordenados, generando así cuatro cuadrantes. Adicionalmente, se puede trazar curvas de iso-indisponibilidad, identificando los elementos que generan una mayor indisponibilidad a la planteada/esperada. Estas curvas son determinadas multiplicando los siguientes factores: la frecuencia de las intervenciones ("λ") y el promedio de tiempo fuera de servicio en un periodo determinado de tiempo, que en el caso de una falla, corresponde al tiempo medio de reparación, sin embargo existe la posibilidad de linealizar estas curvas aplicando escalas logarítmicas. Esto transforma las curvas en rectas de iso-indisponibilidad, facilitando así la construcción e interpretación del diagrama.

Cada curva o recta se asocia a un porcentaje de indisponibilidad asociada a la falla del elemento. Se espera que los datos se acerquen mayormente a curvas/rectas con una baja indisponibilidad.

Para una fácil comprensión de las gráficas, se definen a continuación las variables que se incluyen en el modelo:

1. *MTTR*: Tiempo medio en cual se vuelve a restablecer la función productiva de un determinado componente. En estricto rigor, corresponde a la media de la mantenibilidad de un componente (definida anteriormente).

2. Frecuencia de Fallas (f_j): Media de fallas, asociadas al modo de falla *j* durante un intervalo de tiempo dado, se mide en [fallas/tiempo].

3. Número de Intervenciones (N_j): Cantidad de veces que se hace necesario intervenir un equipo frente al modo de falla *j*.

4. Número de modos de falla, elementos, componentes o códigos de falla (Q): Corresponde al número de distintos modos de falla u elementos a evaluar en el análisis.

5. *MTBF*: Tiempo medio entre fallas. Corresponde al recíproco de la frecuencia de falla, ($1/f_j$) y se mide en [tiempo/falla].

6. Indisponibilidad (D_i): Frecuencia ponderada de falla multiplicada por el *MTTR*. Es la fracción de tiempo bajo la cual el elemento se encuentra fuera de servicio. Se mide en porcentaje (%).

7. Número total de fallas en el sistema (N): Sumatoria de todas las fallas asociadas a cada modo de falla en el sistema.

En las figuras 28 y 29 se aprecia diagramas Jack knife ya construidos. La primera de ellas en escala normal y la segunda aplicando logaritmos para la linealizar las curvas.

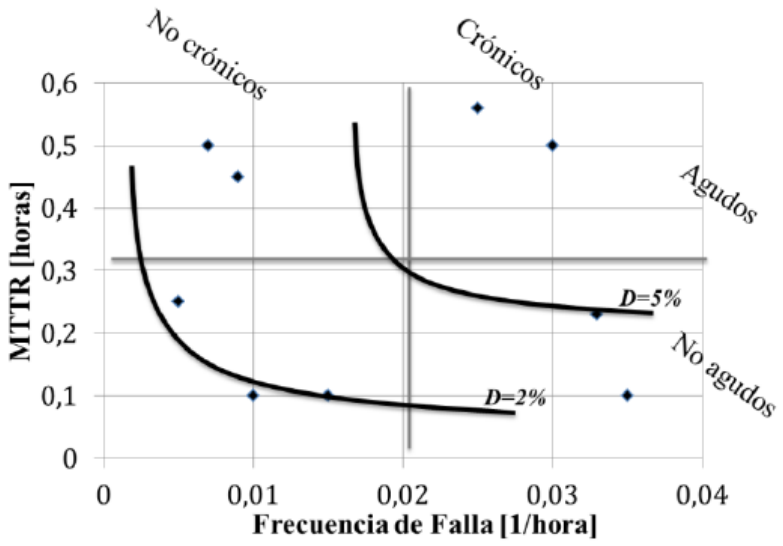


Figura 28 Ejemplo de elaboración de un diagrama Jack Knife.

Las curvas de iso-indisponibilidad se vuelven rectas a través de la siguiente expresión:

$$\log(MTTRi) = -\log(fi) + \log(Di). \tag{25}$$

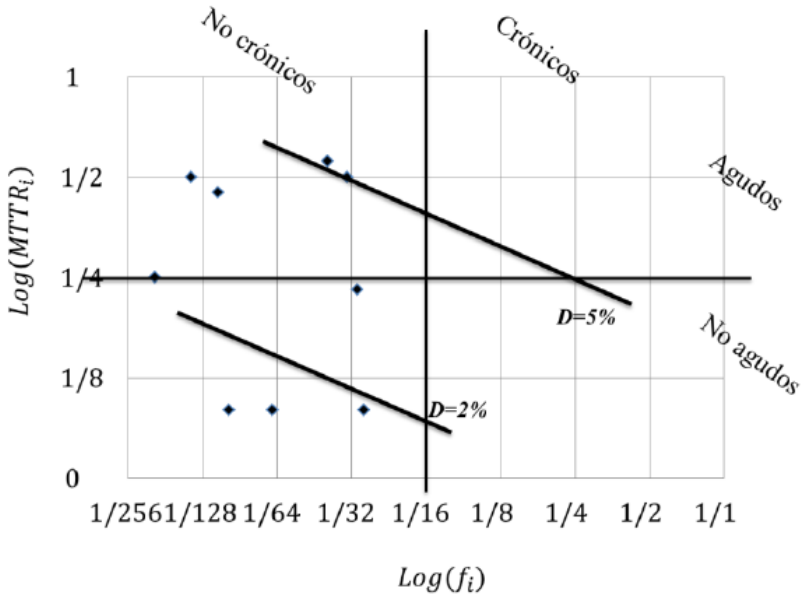


Figura 29 Diagrama Jack Knife con curvas de iso-indisponibilidad en escala logarítmica.

Los elementos ubicados en el primer cuadrante son aquellos que poseen una frecuencia mayor al promedio (crónicos) y un tiempo fuera de servicio mayor al promedio (agudos), por lo que los elementos situados en este cuadrante son los candidatos a ser considerados críticos.

El segundo cuadrante; se relaciona con aquellos elementos de baja frecuencia de ocurrencia (No crónicos), pero que implican un elevado tiempo de detención (Agudos). Su criticidad dependerá de la relevancia que tenga el tiempo de detención en el proceso.

El tercer cuadrante representa los elementos que tienen un bajo impacto al fallar (No agudos) y poca frecuencia (No crónicos). Este cuadrante suele ser obviado muchas veces por los analistas de mantenimiento.

El cuarto cuadrante representa las fallas crónicas (alta frecuencia), pero de bajo impacto de detención.

Finalmente para hacer completa la interpretación de los datos, se toma la cercanía que tiene cada uno de los puntos a las rectas de iso-indisponibilidad.

Las ventajas de este método es que nos permite evaluar las fallas desde el punto de vista de la confiabilidad debido al análisis de su frecuencia de falla o desde el punto de vista de la mantenibilidad, producto que pueden analizarse los tiempos de reparación. Además se puede discriminar los equipos que causan el mayor tiempo de inactividad, gracias a la incorporación de las rectas de indisponibilidad.

Las desventajas que presenta esta herramienta son que incorpora sólo variables basadas en el tiempo, dejando de lado los efectos económicos; los cuales son muy influyentes en la toma de decisiones y que sólo permite hacer comparaciones a un mismo nivel, es decir, en componentes o modos de falla que generan un impacto proporcional o equivalente en el sistema. No contempla la configuración lógica en la que cada elemento funciona en el proceso, por lo que un equipo en serie o en redundancia parcial es medido de igual manera en el diagrama.

4.4.2 Cost Scatter Diagram (CSD) [48], [49].

El diagrama de dispersión de costos (CSD); corresponde a un caso especial del diagrama Jack-Knife. Contempla las mismas variables que la metodología descrita en la técnica Jack-Knife, sin embargo, adiciona una tercera variable: los efectos económicos asociados a la falla del determinado elemento. Al integrar la interacción de tres variables, el resultado gráfico de este método arroja un gráfico de dispersión tridimensional.

Los efectos económicos considerados en el análisis deben ser los costos globales de la falla. En estos costos se incluyen los costos de la intervención y los costos de ineficiencia o costos asociados al tiempo fuera de operación por unidad de tiempo.

La expresión matemática para el cálculo de este costo es la siguiente:

$$CG = \sum_{i=1}^{n} CGi * fi * MTTRi = \sum_{i=1}^{n} CGi * Di \,, \qquad (26)$$

en donde fi es la frecuencia de falla del elemento i, $MTTRi$ es el tiempo fuera de servicio del elemento i, CGi es el costo global del elemento o modo de falla i y Di es la indisponibilidad del elemento i.

La figura 30 muestra el resultado de un análisis realizado mediante la técnica CSD.

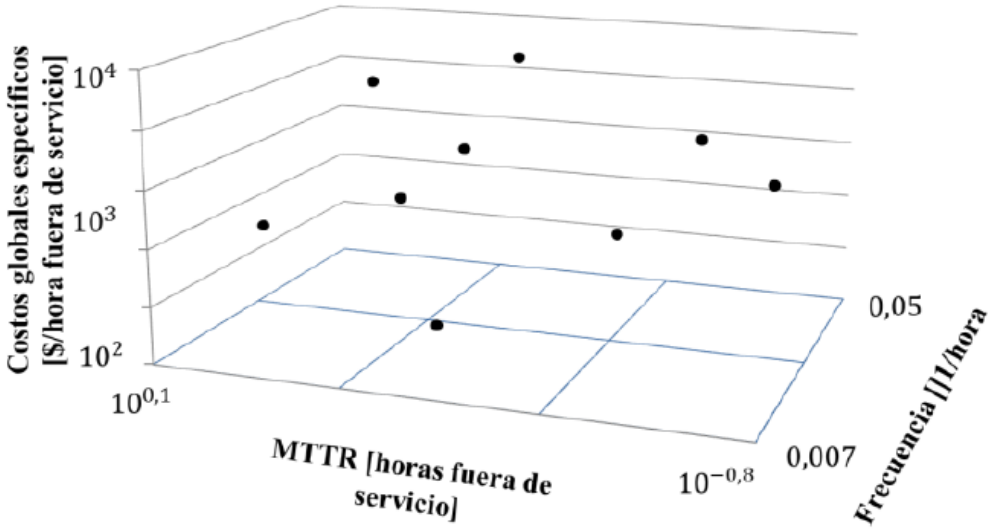


Figura 30 Ejemplo de diagrama CSD.

En la figura 30 se aprecia que cada punto representa un modo de falla, equipo o subsistema de un proceso en particular.

El método, si bien; es más completo que la metodología Jack-Knife; debido a que incorpora los impactos económicos de las fallas, agrega dificultad en su interpretación y construcción.

Al incorporar una nueva variable al análisis; las rectas de iso-indisponibilidad se transforman en planos de iso- indisponibilidad.

4.4.3 Análisis de Pareto [50].

El análisis de Pareto es una técnica estadística sencilla que permite discriminar los actores o parámetros más influyentes en alguna variable de estudio, mediante un método de análisis gráfico; por ende permite identificar los elementos críticos de un sistema.

Esta técnica se basa en el principio de que los problemas son ocasionados por un pequeño grupo de causas de un total posible (pocos significativos). Es conocido como la regla del ochenta veinte; ya que postula que el 80% de los efectos son provocados por el 20% de los factores. Vilfredo Pareto demostró que esta regla empírica se puede aplicar a muchos aspectos de la vida; siendo algunos de estos; el análisis de fallas de un sistema y el control de calidad de los productos.

Para su ejecución es necesario elaborar un diagrama que combina dos curvas estadísticas: el histograma (representación de la frecuencia absoluta) y la ojiva (representación de la frecuencia relativa acumulada). Este diagrama puede ser referenciado como diagrama Pareto, diagrama A-B-C o diagrama ochenta veinte. Las variables de estudio pueden ser: cantidad de fallas, tiempo de reparación, costo de las fallas, etc., sin embargo, sólo permite el análisis de una variable a la vez.

La metodología para su elaboración considera la realización de las siguientes etapas:

1. Definir el problema y su alcance.
2. Definir la variable más representativa del problema.
3. Listar el histórico de las causas relacionadas con el problema y su respectiva frecuencia absoluta.
4. Ordenar la lista de causas de mayor a menor (según su frecuencia absoluta).
5. Obtener las frecuencias relativas de cada causa (porcentaje que representa cada evento respecto al total) y obtener la columna de frecuencia acumulada.

6. Confeccionar un diagrama de barras (Histograma), con el porcentaje de incidencia en el problema de cada causa ordenado de mayor a menor. En el mismo diagrama debe graficarse los valores obtenidos en la columna de frecuencia acumulada (Ojiva).
7. Seleccionar los eventos o causas cuya suma acumulada sea igual o mayor al 80% de las causas respecto al total. Estos eventos corresponderán al veinte por ciento postulados por Pareto.

El siguiente ejemplo muestra el uso de esta herramienta tomando como posibles variables de estudio la frecuencia de fallas en los equipos y su tiempo de detención.

Tabla 3 Ejemplo de base estadística no ordenada para generación de diagrama Pareto.

N°	Equipo/ subsistema	Cantidad de fallas	Tiempo de detención [hrs]
1	Calefactores	7	5
2	Bombas centrífugas	35	42
3	Ventiladores de extracción	9	8
4	Alimentadores	2	8
5	Bomba de vacío	2	12
6	Válvulas de seguridad	0	0
7	Válvulas neumáticas	28	4
8	Sensores de Temperatura	4	6
9	Transmisor de presión	2	16
10	Tablero eléctrico	1	3
11	Motores eléctricos	19	86
12	Contactores	5	4
13	Accionamientos	1	1
14	Reductores	1	14
15	Acoplamientos	3	18

Para el desarrollo del ejemplo, la variable en estudio es la cantidad de fallas. Realizando los procedimientos descritos en el punto cuatro y cinco se obtiene la siguiente tabla.

Tabla 4 Ejemplo de bases estadísticas ordenada según frecuencia relativa de mayor a menor para generación de diagrama Pareto.

N°	Equipo/ subsistema	Cantidad de fallas (frecuencia absoluta)	Frecuencia relativa (%)	Frecuencia Relativa Acumulada (%)
2	Bombas centrífugas	35	28,7	28,7
7	Válvulas neumáticas	30	24,6	53,3
11	Motores eléctricos	19	15,6	68,9
3	Ventiladores de extracción	9	7,4	76,2
1	Calefactores	7	5,7	82,0
12	Contactores	5	4,1	86,1
8	Sensores de Temperatura	4	3,3	89,3
15	Acoplamientos	3	2,5	91,8
4	Alimentadores	3	2,5	94,3
5	Bomba de vacío	2	1,6	95,9
9	Transmisor de presión	2	1,6	97,5
10	Tablero eléctrico	1	0,8	98,4
13	Accionamientos	1	0,8	99,2
14	Reductores	1	0,8	100,0
6	Válvulas de seguridad	0	0,0	100,0

Una vez elaborada la tabla con todas las frecuencias requeridas, se puede obtener el diagrama Pareto e identificar cuáles son las causas críticas; las cuales en este caso son todas aquellas que en conjunto provocan al menos el 80% de las fallas.

La figura 31 muestra el diagrama Pareto obtenido del análisis de los datos de la tabla número 3.

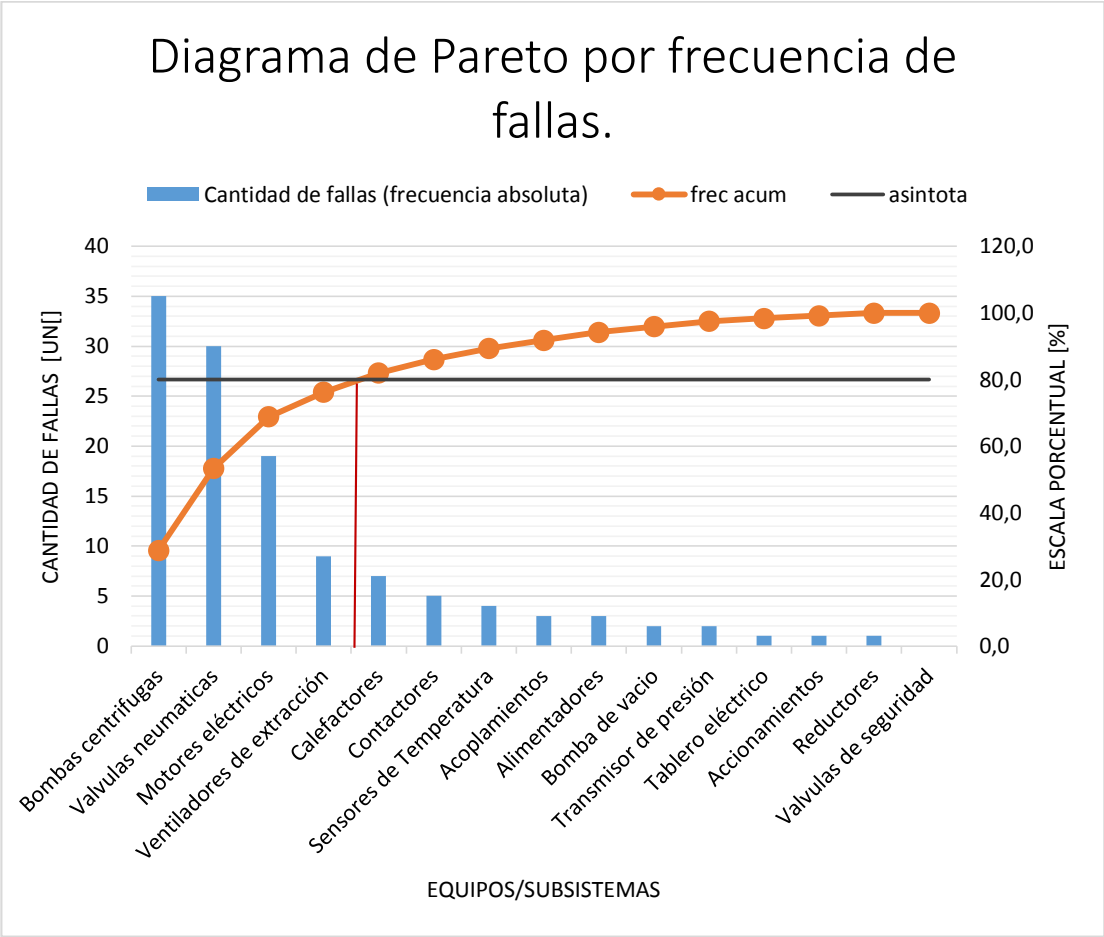


Figura 31 Ejemplo de diagrama de Pareto para la base estadística referida en la tabla 3.

El diagrama muestra que el 80% de las fallas son provocadas por cuatro equipos. En este caso, ellos son: bombas centrifugas, válvulas neumáticas, motores eléctricos y los ventiladores de extracción.

Si se hubiese realizado el diagrama analizando el tiempo de detención en vez de la cantidad de fallas, los equipos que hubiesen incidido de mayor manera en los tiempos de detención serían: motores eléctricos, bombas centrífugas, acoplamientos, el transmisor de presión y los reductores. Ver [Anexo 4].

De este análisis se concluye que: el uso de esta técnica permite al usuario un rápido y fácil análisis de los datos, sin embargo, al requerir evaluar varias variables simultáneamente; el análisis se torna complejo ya que para cada variable se debe realizar un diagrama y se obtendrán distintos resultados. Otra desventaja que presenta el método; es que no incorpora un mecanismo que permita saber qué variable es más determinante en la jerarquización, por ende dificulta determinar cuál de todos los factores impacta más negativamente en el proceso.

Al igual que en todos los métodos cuantitativos, la veracidad de los resultados entregados por el diagrama dependerá directamente de la confiabilidad de los datos compilados.

4.4.4 Modelos de riesgo (risk assessment techniques) [39].

Los modelos de riesgo son técnicas de priorización cualitativos y/o mixtos. Esto depende de la información histórica existente relacionada a las fallas de los equipos.

Estas técnicas son una herramienta de uso frecuente para determinar equipos y/o componentes críticos de un sistema.

En mantenimiento, el riesgo puede ser definido como el impacto potencial que genera un activo, proveniente de alguna falla futura. Se vincula directamente a la probabilidad de ocurrencia de un suceso.

Algunos de los principales métodos existentes son: el método de criticidad total por riesgo y el risk priority number o RPN, los cuales se detallan a continuación.

4.4.4.1 Criticidad total por Riesgo

Para aplicar cualquier técnica de evaluación de riesgo; es necesario cuantificar el riesgo de cada elemento en análisis; asignándoles así una prioridad. La manera general de cuantificar este riesgo combina la probabilidad de que un evento ocurra con el impacto que puede causar. De esta manera el riesgo puede quedar expresado de la siguiente manera:

$$R = PxI \ , \tag{27}$$

donde R es el valor de riesgo, P la probabilidad de ocurrencia e I es el posible impacto del evento.

P representa la probabilidad de falla del elemento en un determinado tiempo. Este valor se obtiene con la frecuencia de falla. Las frecuencias se obtienen mediante análisis estadístico de datos históricos y en su defecto se puede utilizar opinión de expertos en el área, relacionando así, el conocimiento empírico con una variable cuantitativa.

El impacto posible de la falla I se evalúa de la siguiente manera [51]:

$$I = (I_{oper} * F_{resp}) + C_{mto} + I_{seg} + I_{amb} \ , \tag{28}$$

en donde I_{oper} representa el impacto operacional, F_{resp} la disponibilidad de repuesto (flexibilidad de respuesta), C_{mto} los costos de mantenimiento, I_{seg} el impacto sobre la seguridad de las personas y I_{amb} el impacto sobre el medio ambiente.

Cada variable o factor debe ser evaluado por personal con conocimiento del contexto operacional del equipo o sistema. Posterior a esto se realiza una ponderación de cada una de ellas para finalmente obtener su puntuación final. La siguiente tabla ejemplifica una tabla posible de ponderaciones de los eventos a analizar:

Tabla 5 Ejemplo de valores ponderados por parámetros.

FRECUENCIA DE FALLAS	
Ponderación	Descripción intervalo
1	Menor igual a 0,5 fallas/año.
2	Mayor a 0,5 y menor igual a 1 fallas/año.
3	Mayor a 1 y menor igual a 2 fallas/año.
4	Mayor a 2 fallas/año.

IMPACTO OPERACIONAL	
Ponderación	Descripción intervalo
1	Falla no genera impacto operacional.
3	Falla detiene de manera temporal la línea
5	Falla detiene completamente el equipo/sistema.

FLEXIBILIDAD EN ADQUISICION DE REPUESTOS	
Ponderación	Descripción intervalo
1	Repuesto disponible de manera instantánea.
2	Repuesto de rápida adquisición.
3	Repuesto no disponible en mercado nacional.

COSTOS DE MANTENIMIENTO	
Ponderación	Descripción intervalo
1	Costo menor a 200000 CLP
2	Costo entre 200000 y 500000 CLP
3	Costo entre 500000 CLP y 1000000 CLP
4	Costo mayor a 1000000 CLP

IMPACTO EN SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	
Ponderación	Descripción intervalo
1	No afecta la seguridad de las personas ni del medio ambiente.
3	Provoca daños menores a las personas y/o medio ambiente.
5	Provoca daños mayores al medio ambiente.
6	Provoca daños mayores a las personas.

Dependiendo de los valores de ponderación asignados a cada variable se obtiene el máximo valor de riesgo, que en este caso es de 100. Luego se establecen intervalos de criticidad de manera de clasificar los valores de riesgo. Finalmente se construye la matriz de riesgo; la cual, toma las ponderaciones de frecuencia en el eje de las ordenadas y los valores de impacto en el eje de las abscisas. La figura 32 ejemplifica su construcción.

Frecuencia	4	Criticidad Media	Criticidad Media	Critico	Critico	Critico
	3	No Critico	Criticidad Media	Criticidad Media	Critico	Critico
	2	No Critico	No Critico	Criticidad Media	Criticidad Media	Critico
	1	No Critico	No Critico	No Critico	Criticidad Media	Criticidad Media
		20	40	60	80	100
		Impacto				

Figura 32 Ejemplo de la elaboración de una matriz de criticidad por riesgo.

La matriz de riesgo facilita el análisis e interpretación del valor numérico obtenido; permitiendo relacionar el resultado con el nivel de criticidad que proporciona el riesgo evaluado a un sistema. Nos permite clasificar los activos en tres categorías: no críticos, de criticidad media y críticos.

Este método puede ser utilizado para determinar los equipos o componentes críticos de un determinado sistema; priorizando así los esfuerzos en los activos más influyentes del proceso en cuanto al mantenimiento. Por ende permite generar planes de mantenimiento eficientes, ya que considera múltiples factores; como el impacto a la seguridad y el medio ambiente, los costos de mantenimiento y el impacto a la operación productiva, sin embargo, el método no permite discernir cuál o cuáles son los factores más influyente a la hora de evaluar la criticidad, por lo que la ecuación que resume el total ponderado de riesgo depende de la interpretación de cada autor.

4.4.4.2 Risk Priority Number (RPN) [26].

Es un método bastante similar al de criticidad total por riesgo. En éste también se tiene como objetivo obtener algún índice de riesgo del activo.

A diferencia del método anteriormente descrito, el RPN tiene relación directa con otra técnica de análisis. La técnica FMEA o AMFE (análisis de modos de fallas y de sus efectos) emplea al RPN para obtener un valor numérico del riesgo potencial de cada modo de falla, por ende, su aplicación tiende a ser de priorización de componentes dentro de un equipo o comjunto.

La técnica FMEA tiene aplicación principalmente en análisis de confiabilidad en equipos industriales. Se dará mayor referencia a esta técnica en apartados posteriores de este trabajo de título.

El cálculo del RPN se realiza con la siguiente expresión matemática [52]:

$$RPN = S * O * D. \tag{29}$$

S es la severidad de la falla. Esta variable representa el impacto previsto de la falla. Dichos impactos o consecuencias pueden a la vez clasificarse en distintos tipos; como por ejemplo: ambientales, económicos, etc. Su valor numérico deriva de estimaciones

subjetivas de un grupo de expertos. Para esto se deben elaborar previamente tablas que permitan al grupo de expertos dar un valor ponderado a cada una de los impactos.

O es el grado de ocurrencia de la falla. Se relaciona con la probabilidad de que un fallo se produzca en el equipo. Requiere datos para poder aproximar la probabilidad de ocurrencia por unidad de tiempo. Al igual que en la variable anterior, se recomienda elaborar una tabla en donde, las probabilidades de fallos se estratifiquen en intervalos de distinta ponderación según su nivel de ocurrencia. De no existir una data histórica, la probabilidad puede ser estimada mediante opinión de expertos.

La siguiente tabla muestra un ranking estratificado según la norma SAE J1739 [53].

Tabla 6 Estratificación de probabilidad de falla según SAE J1739.

Probability of Failure	Possible Failure Rates	Ranking
Very High: Failure is almost inevitable	>= 1 in 2	10
	1 in 3	9
High: Repeated failures	1 in 8	8
	1 in 20	7
Moderate: Occasional failures	1 in 80	6
	1 in 400	5
	1 in 2,000	4
Low: Relatively few failures	1 in 15,000	3
	1 in 150,000	2
Remote: Failure is unlikely.	<= 1 in 1,500,000	1

D es el grado de detectabilidad de la falla. Esta variable representa la posibilidad de poder detectar alguna falla de manera previa a que se produzca. Para la valorizar el grado de detección de la falla puede utilizarse una escala basada en el intervalo de detección de cada una de las técnicas, denominado como intervalo P-F.

Una vez ponderada cada una de las variables; el valor total (RPN); debe ser ordenado de mayor a menor, permitiendo identificar de manera rápida los componentes de mayor riesgo en el equipo.

La tabla adjunta resume los resultados obtenidos a partir de esta técnica; analizando una turbina de viento o aerogenerador.

Tabla 7 Ejemplo de análisis RPN para un aerogenerador [54].

Order	Assembly	RPN
1	Rotor and Blades Assembly	1609
2	Generator	1204
3	Electrical Controls	925
4	Hydraulics	921
5	Gearbox	909
6	Grid and Electrical system	872
7	Yaw System	813
8	Pitch Control System	692
9	Tower, Foundation and Nacelle	508
10	Mechanical Brake	336
11	Main Shaft	246

En esta tabla se aprecia que los componentes de mayor riesgo en la aerogenerador son: el acople del rotor con las aspas, el generador y los controles eléctricos.

Esta técnica ha sido validada por diversos autores [53, 55], debido a que entrega resultados similares a los obtenidos con análisis de confiabilidad más complejos.

La norma SAE J1739 [53] recomienda algunos tipos de tablas para ponderar todas las variables requeridas para aplicar la técnica RPN. En éstas, pueden realizarse las modificaciones que sean necesarias para satisfacer las necesidades del contexto y/o del cliente.

4.4.5 Métodos gráficos [56].

Es un método cualitativo usado para jerarquizar los equipos de producción en orden de relevancia para el proceso productivo los cuales pueden refinarse al hacer uso de tecnologías más avanzadas, es de los más sencillos tanto en la fase de preparación de análisis como la puesta en marcha debido a que es rápido e intuitivo. Se utiliza este método cualitativo en plantas nuevas o en las cuales se tiene una baja o nula información acerca de la fiabilidad de los equipos dentro de estas.

A continuación, se presenta un flujograma para la evaluación de la criticidad, donde la clasificación de los activos se realiza siguiendo el diagrama de flujo.

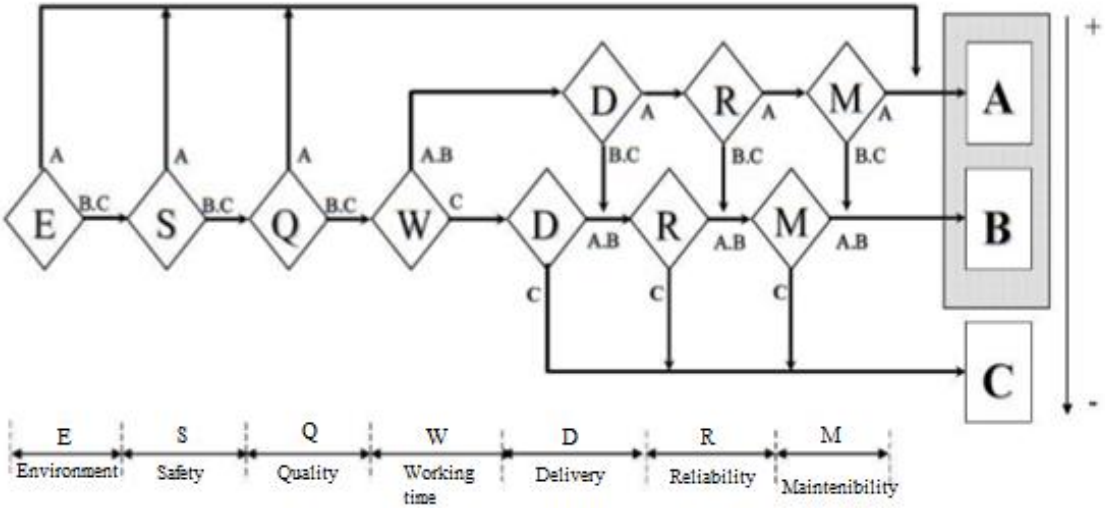


Figura 33 Flujograma para evaluación de la criticidad en el método gráfico.

En los cuadros de la parte derecha de la figura 33 se muestran las tres categorías en función de la importancia de sus procesos, estas son A, B y C, definiéndose de la siguiente manera:

- Categoría A: son aquellos equipos que en caso de falla representan un máximo riesgo, es decir, equipo crítico. Con ella quedarán identificados aquellos activos

cuyo buen funcionamiento es fundamental, ya sea por criterios ambientales, de seguridad, o criterios relacionados con la producción.

- Categoría B: son los quipos que representan una criticidad media. Estos activos se encuentran entremedio de los que tienen una gran importancia en el funcionamiento.
- Categoría C: son los equipos que no generan consecuencias graves para el funcionamiento de la planta, esta puede continuar sin estos equipos, es decir equipos de bajo impacto en el funcionamiento.

Los rombos E, S, Q, W, D, E y M representan los criterios que al ser analizados definen la lógica del proceso a seguir al momento de calificar en las categorías a los equipos. Estos criterios son:

- Impacto ambiental (Environment, E): En este criterio se evalúan los posibles riesgos ambientales que pudieran aparecer en caso que existiese alguna falla en el equipo, como lo son los posibles vertimientos, contaminación de aguas, suelos, aire o exposiciones a sustancias nocivas para la salud e incumplimiento a la normativa medioambiental vigente. Se debe ser enfático en evaluar la peligrosidad del fallo y conocimiento de la normativa ambiental vigente a la actividad de la empresa.

Este criterio califica en categoría A a los equipos que al fallar generan cualquier tipo de riesgo a la salud pública o ambiental. La calificación en categoría B es para los activos que generan vertidos que pueden ser controlados mediante un proceso interno de la empresa sin recurrir a las autoridades. Si no se diese ninguna de las dos condiciones mencionadas, queda automáticamente en la categoría C, es decir, no genera consecuencias graves para el funcionamiento de la empresa.

- Seguridad (Safety, S): Con este criterio se miden las consecuencias para la seguridad de las personas que puedan implicar las fallas de los equipos. Se debe considerar el peligro que pueda generar las fallas como también la existencia

de mecanismos de seguridad (dispositivos de seguridad, áreas de aislamiento o procedimientos de actuación que eviten o mitiguen las consecuencias de las fallas, como lo son los planes de evacuación u otros).

El criterio S califica en categoría A, cuando la falla del equipo causa un accidente laboral que imposibilita al trabajador a continuar con sus labores. Si el accidente provoca daños menores quedar calificado con categoría B y en último caso, si no existen consecuencias para el personal, se categoriza C.

- Calidad (Quality, Q): Este criterio evalúa los aspectos directamente relacionados con la producción, es decir, evalúa el impacto de las fallas ya sea en pérdidas de producción por no operación o en perjuicio de la calidad del producto final.

A partir del criterio Q se clasificarán los equipos en categoría A, cuando sus fallas producen una perdida en la fiabilidad de la calidad de los productos generando daños en la imagen de la compañía. Si los fallos no comprometen la imagen de la empresa se clasificarán en B o C.

- Tiempo de trabajo (Working time, W): Este criterio evalúa el tiempo de uso de la máquina dentro del proceso de producción. En empresas con alto uso de activos, en la que existen uno o varios turnos de trabajo, se considera de importancia la ausencia de los equipos en el funcionamiento del proceso.

El criterio W referencia los tiempos de trabajo de los equipos y la importancia de sus ausencias en el funcionamiento. Clasifica como A, altamente crítico a los equipos que trabajan a 3 turnos dentro de la empresa, en categoría B los que funcionan durante 2 turnos y en C al resto de los equipos. También se debe considerar el tiempo de reparaciones que pudieran generar los posibles fallos. Es por ello que en este punto se recomienda también el considerar los tiempos de mantenimiento correctivo. Al considerar el mantenimiento correctivo, todos los equipos que generan un gran número

de horas de trabajo se clasifican en A, menos del tiempo generado en un turno a B y los con un mínimo de tiempo en C.

- Tiempo de entrega (Delivery, D): este criterio evalúa la importancia del equipo para poder cumplir con los planes de producción, existen equipos que son fundamentales para la producción de toda una planta, como también aquellos que no tienen mayor influencia en la producción total.

Al considerar el criterio D, los equipos que paralizan totalmente la fábrica se clasifican como altamente críticos, A, aquellos que solo detienen una línea completa de producción se consideran medianamente críticos B. Finalmente son etiquetados como categoría C todos los equipos que no interrumpen de manera significativa la producción de la empresa.

- Fialibilidad o confiabilidad (Reliability, R): el criterio R se puede evaluar desde dos aristas, la primera, desde el análisis de una planta nueva o que no ha sido probada y una segunda para plantas ya en funcionamiento. Para la primera arista existen diversas opciones de evaluación de la fiabilidad, entre las más utilizadas según Alejandro Guerrero [56], se encuentran la clasificación de la API (American Petroleum Insitute) y la OREDA (Offshore Reliability Data), proporcionado por el consorcio petrolífero del Mar del Norte y que ofrece datos reales de fiabilidad de equipos empleados en esta industria. En el caso de que este sector no fuera lo suficientemente cercano, se recomienda hacer un benchmarking. Para la segunda arista se establecen tres intervalos de tiempo con el fin de catalogar la frecuencia de falla de los equipos: alta tasa de falla, media y baja.

El criterio R, para plantas ya en funcionamiento, se categoriza en crítico A, a aquellos que elementos que presentan la máxima tasa de falla, en C a los de baja tasa de falla y B los que están cercanos a la media.

- Mantenibilidad (Maintenibility, M): Es el último criterio en el flujograma del método gráfico para determinar la criticidad de los equipos, con este criterio se evalúan las dificultades que presenta el activo para poder realizar el mantenimiento. Al igual que el criterio de fiabilidad se deben considerar dos aristas: el tiempo medio esperado de reparación o la necesidad de emplear elementos externos en la mantención tales como andamios, equipos auxiliares, disponibilidad de los repuestos entre otros.

Si en la mantenibilidad M de un equipo se conjugan ambas aristas, es decir, un alto tiempo de reparación y el requerimiento de variados agentes externos que pueden hacer tardar aún más el mantenimiento, se clasifica como un equipo A, en el caso que el equipo deba utilizar agentes externos en B y si sólo demora un tiempo medio o bajo se clasifica como equipo bajamente crítico C.

Una vez analizados todos los criterios de evaluación se obtiene la clasificación de los equipos siguiendo el diagrama de flujo.

Al ser un modelo cualitativo gráfico, es rápido y sencillo en su aplicación. Al utilizar en su flujograma rombos para los criterios que llevan mediante flechas a la clasificación de los equipos (cuadros A, B y C) en su nivel de criticidad, permite un soporte visual realizando una asimilación metodológica, sin embargo, carece de rigurosidad al no existir datos que limiten los criterios, por lo que se necesita que quienes participan en el estudio mantengan un criterio coherente y sostenido a lo largo del análisis. Si bien no existen límites numéricos es recomendable que los participantes establezcan franjas y límites cuantificables.

Este método, al ser cualitativo; no requiere de información numérica para calificar las diferentes variables de impacto de las fallas. Es de útil aplicación en instalaciones nuevas o modificadas de manera significativa. En ambos casos, existe un desconocimiento o inexistencia de información estadística.

4.4.6 Método SMART (simple multiattribute rating techniques) [57].

El método SMART como el significado de su sigla lo indica, es una metodología simple para asignar pesos relativos a los criterios de jerarquización, es una técnica mixta, numérica y multicriterio. Fue diseñado por Edwards y Barron [58].

Permite obtener un ranking de ponderaciones entre las distintas alternativas en análisis según el peso de cada criterio. Los pesos de cada criterio se definen en función del juicio de quien tome la decisión

Para su elaboración se deben considerar los siguientes aspectos:

1. Definir alternativas a jerarquizar.
2. Definir los tributos o criterios con los que se harán las comparaciones.
3. Rankear la alternativa para cada atributo.
4. Aplicar las ponderaciones de balance.

El siguiente ejemplo muestra cómo aplicar el método SMART. El ejemplo plantea elegir la mejor máquina prensadora en función de tres criterios de comparación: presión, costo y tamaño. Las máquinas prensadoras en análisis serán las alternativas A, B y C. Con esto ya se cumple con los dos primeros pasos de la técnica.

Posterior a esto, se debe dar valor entre 0 a 100 a cada una de las alternativas por parámetro. En el caso del análisis del criterio presión, se le asigna un valor de 100 al equipo que logra llegar a la presión más alta de prensado y 0 al equipo con menos presión. Esto ya que un mayor valor de presión en el equipo presenta beneficios en torno al equipo (mayor capacidad).Al equipo que queda en medio de ambos valores, se debe linealizar una recta entre 0 y 100 y obtener su valor respectivo.

El qué tanto se acerque a 0 o a 100 depende de los valores de presión que pueda entregar el equipo intermedio.

En el caso contrario, de que un criterio al tomar mayores valores implique un perjuicio en la toma de decisión, se le asignará 0 al equipo de mayor valor y 100 al de menor. Este caso se da con el parámetro costos.

En cuanto al parámetro tamaño, este se considera que a un menor tamaño genera beneficios, ya que requiere menor espacio dentro de la planta, por lo que el equipo que menor espacio ocupe tomará el valor de 100.

La tabla 8 resume el resultado de esta técnica con las alternativas ya valorizadas por cada parámetro.

Tabla 8 Ranking SMART para máquinas prensadoras.

Alternativa/Criterio	**Presión**	**Costo**	**Tamaño**
A	100	0	0
B	0	100	60
C	70	20	100

Una vez rankeadas las alternativas según cada criterio se procede al paso 4 aplicar las ponderaciones de balance. Las ponderaciones son asignadas a juicio de quién toma la decisión. La tabla 9 muestra los valores de ponderación determinados.

Tabla 9 Valores de ponderación por criterio

	Ponderaciones [%]
Presión	40
Costo	50
Tamaño	10

Estos valores de ponderación corresponden al contexto de una empresa que no quiera invertir un alto monto en una prensa, pero que al mismo tiempo intente adquirir la de mayor capacidad, no teniendo restricciones de espacio para ubicarla.

La ponderación obtenida para cada atributo o criterio se multiplica por la evaluación de cada alternativa según cada criterio. Las evaluaciones finales obtenidas para el ejemplo de las máquinas de prensar se obtienen mediante la suma de los valores de cada criterio por alternativa. Esto se aprecia en la Tabla 10.

Tabla 10 Evaluaciones finales de las alternativas para método SMART.

Alternativa/Criterio	Presión (35 %)	Costo (55%)	Tamaño (10 %)	Valor ponderado final
A	35	0	0,00	35
B	0	55	6,00	61
C	24,5	11	10,00	45,5

A partir del valor ponderado final, tal como indica la tabla 10, la mejor alternativa para la elección de maquina es B con un puntaje ponderado de 61.

Dentro de las metodologías, el SMART se destaca por presentar una baja dificultad en su ejecución, sin embargo, se pueden obtener resultados erróneos, ya que el resultado final depende en gran medida del juicio de quien tome la decisión de ponderación de parámetros. No contempla un método para validar que estas ponderaciones sean coherentes con el contexto de operación.

4.4.7 Analytic herarchy process (AHP) [59], [60].

Analytic herarchy process; también conocido como AHP o proceso analítico de jerarquización; es un método o técnica de priorización numérica que permite el uso de información cuantitativa como cualitativa (método mixto). Se destaca por ser un método multicriterio. Fue desarrollado en el año 1980 por Thomas Saaty [59]; académico en "The Warthon School of Business", Philadelphia ,USA.

Esta metodología es usada para priorizar distintas alternativas en la toma de decisiones; considerando la influencia de los parámetros o criterios más influyentes; previamente ponderados en cuanto a su impacto y/o importancia en la decisión final.

La base teórica del AHP se fundamenta en los siguientes tres principios:

1. Descomposición.
2. Juicios comparativos de pares.
3. Composición de jerarquías y determinación de prioridades.

Los problemas de decisión multicriterio aumentan su dificultad a medida que se incrementa el número de criterios a ser considerados en la evaluación. Una de las fortalezas del AHP, consiste en que todos los criterios se evalúan de a pares, con lo que se facilita al decisor la puntuación de los mismos, además, las calificaciones se obtienen a través de una evaluación semicuantitativa; la cual ayuda aún más a la hora de tomar la o las opciones más convenientes.

Otra ventaja que presenta el AHP respecto a otras técnicas; es que permite cuantificar juicios subjetivos dentro de un marco metodológico estructurado. Permite dar un valor numérico a variables de las cuales no existe historial estadístico, pero por el contrario, existe mucho conocimiento por un grupo de expertos.

Las aplicaciones posibles que tiene el AHP en este trabajo de investigación son de: identificar los equipos más críticos de un proceso productivo, identificar los

componentes más críticos de un equipo, definir cuáles son los modos de fallas que requieren más recursos en su mitigación, etc.

Este método puede ser esquematizado de la siguiente manera:

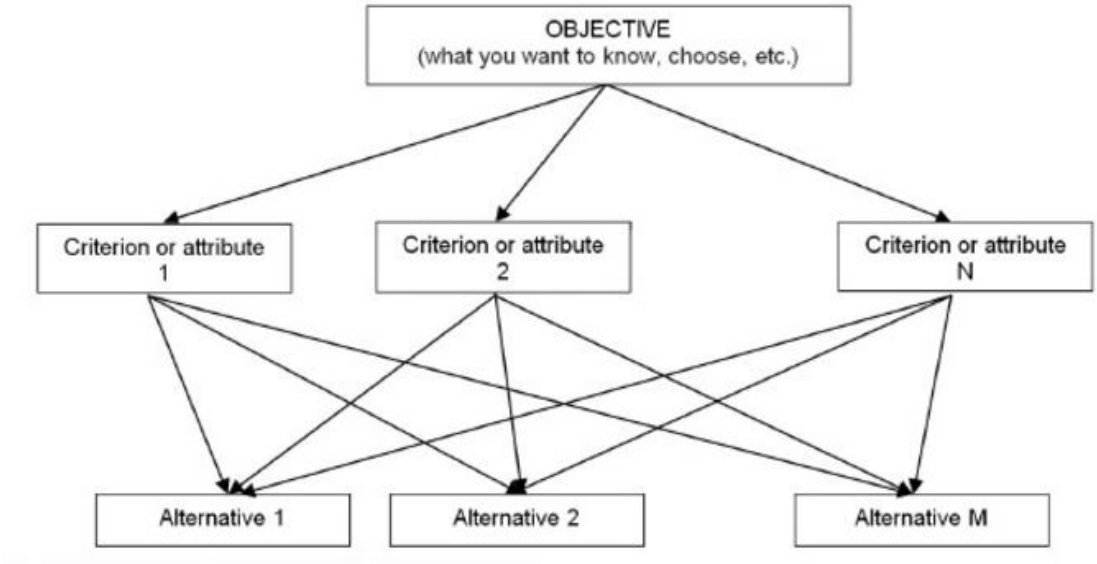


Figura 34 Esquema de relación entre criterios y las alternativas en análisis según AHP.

A continuación, se explica el método paso a paso para poder jerarquizar las diferentes alternativas.

1. Definir el objetivo

El primer paso es definir el objetivo del análisis. Un ejemplo de esta definición puede ser: "Definir las máquinas o equipos que más afectan la producción de una planta productiva acorde a su criticidad".

2. Definir los criterios o parámetros en análisis.

Por criterios o parámetros en análisis se hace referencia a las variables por las cuales se realiza la evaluación y se jerarquización cada alternativa, es decir las perspectivas.

Pueden existir criterios que a su vez puedan ser descompuestos en sub criterios, los cuales funcionan de la misma manera, la diferencia radica en el número de comparaciones inter-criterio que deben ser realizados.

3. Identificar las alternativas a ser evaluadas.

Antes de comenzar el análisis se debe seleccionar todas las alternativas que en cuestión serán evaluadas. Generalmente las alternativas suelen ser los activos de un proceso.

4. Definir la escala para cada criterio.

Se debe generar escalas estandarizadas para cada uno de los criterios o sub criterios ya definidos. Estas escalas deben otorgar un valor de ponderación a los posibles valores numéricos de la variable o en su defecto, de ser una variable cualitativa, debe otorgar un valor ponderado a los diferentes estratos posibles. A modo de ejemplo, para un posible parámetro como la frecuencia de falla; la escala a utilizar podría ser de la siguiente manera:

Tabla 11 Ejemplo de ponderaciones para el criterio de frecuencia de falla.

Criterio: Frecuencia de falla.		
Valor de ponderación	Nivel	Definición
10	Muy alto	Una ocurrencia cada semana
9		Una ocurrencia cada mes
8	Alto	Una ocurrencia cada 3 meses
7		Una ocurrencia cada 6 meses
6	Moderado	Una ocurrencia cada nueve meses
5		Una ocurrencia cada año
4	Bajo	Una ocurrencia entre 2 y 3 años
3		Una ocurrencia entre 4 y 6 años
2	Remoto	Una ocurrencia entre 7 y 9 años
1		Una ocurrencia cada 10 o más años

5. Evaluar cada una de las alternativas en cada uno de los criterios escogidos.

En este paso, se debe ponderar las evaluaciones para cada alternativa según los criterios establecidos anteriormente. Para exponer los resultados se debe usar una tabla que entregue las ponderaciones de todas las variables según cada uno de los criterios. De manera complementaria se debe calcular el valor relativo de cada ponderación dentro de su respectiva variable.

6. Cuantificar el peso de cada uno de los criterios en el objetivo final.

Consiste en realizar comparaciones de a pares entre cada uno de los criterios. Para facilitar su representación se debe generar una matriz en las que se resuman todas las comparaciones.

El objetivo de generar estas comparaciones es poder obtener la importancia relativa de un parámetro respecto a otro. Cada comparación debe tener un valor numérico. Para esto se debe generar una tabla que estandarice el juicio comparativo entre criterios.

A continuación se muestra un ejemplo de tabla comparativa entre criterios:

Tabla 12 Ejemplo de tabla comparativa entre criterios.

Juicio	Descripción	Valor numérico
Equivalente	Los 2 parámetros contribuyen de manera igualitaria al criterio de nivel superior	1 2
Moderado	La experiencia favorece levemente a un parámetro por sobre el otro	3 4
Fuerte	Uno de los parámetros está ampliamente favorecido en cuanto a su importancia	5 6
Extremo	Uno de los parámetros es notoriamente superior al otro.	7 8

Esta clasificación según Saaty [59], plantea que el ser humano no puede distinguir una diferencia en una escala superior a 7 intervalos con una holgura de +/- 2, con lo que distinguir entre más de 9 posibilidades en la escala de evaluación no aportaría nada a la clasificación de los criterios.

La matriz se desarrolla según criterio personal. Para mitigar la subjetividad en las comparaciones entre criterios; ésta puede ser generada unificando criterios con un grupo multidisciplinario que tenga igual nivel de conocimiento del proceso y de las alternativas en cuestión.

Una vez evaluados los criterios, el método propone una técnica mediante la cual se evalúa la consistencia de los juicios del decisor.

Con esto se consigue conocer si la evaluación de los criterios ha sido coherente y se dota al método de un mayor rigor matemático.

La matriz de relaciones se construye de la siguiente manera:

$$\begin{array}{c} \\ \mathbf{P_1} \\ \mathbf{P_2} \\ \mathbf{P_n} \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} \mathbf{P_1} & \mathbf{P_2} & & \mathbf{P_n} \end{array} \\ \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & 1 & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{pmatrix} \end{array}$$

Figura 35 Matriz de comparación de parámetros en el AHP.

En donde P_1, P_2, ... P_n son los diferentes criterios de evaluación y a_{ij} son los valores numéricos que indica el decisor en cuanto a los juicios comparativos entre pares.

Por coherencia comparativa se debe cumplir la ecuación (30).

$$aji = \frac{1}{aij} . \tag{30}$$

Cuanto mayor sea el número a_{ij} ; mayor será la superioridad de un elemento frente al otro.

7. Determinar la ponderación de cada criterio y la consistencia del modelo

El método busca diferenciar la ponderación de cada criterio de forma independiente, por lo que cada uno de ellos no tendrá el mismo valor. En un caso común, al tener cuatro criterios de selección; cada uno aportaría una ponderación de un 25% en la decisión final; lo que idealiza a los cuatro criterios como si fuesen igual de importantes, algo que es improbable que ocurra en la realidad.

Para determinar el peso relativo final de cada criterio se calcula el vector propio de la matriz de relaciones normalizada. Esto permite jerarquizar cada elemento acorde a las ponderaciones que modelan de manera más real el fenómeno.

Saaty demostró que el eigenvector normalizado calculado a partir de la matriz, es la mejor aproximación de evaluación de los criterios analizados.

Para una matriz de n criterios; el vector propio (w) del criterio "i" se calcula de la siguiente manera:

$$w_i = \frac{\sqrt[n]{\prod_{j=1}^{n} x_{ij}}}{\sum_{k=1}^{n} (\sqrt[n]{\prod_{j=1}^{n} x_{kj}})} . \tag{31}$$

Esta expresión se basa en la media geométrica; la cual es bastante precisa para el cálculo de ponderaciones de los criterios, sin embargo, también puede ser calculada a través de medias aritméticas.

Otra manera de calcular los pesos relativos a cada uno de los criterios es obtener la matriz normalizada de la matriz de comparación y posteriormente obtener el valor

promedio de cada fila de la nueva matriz. Cada uno de estos valores corresponde al peso del parámetro correspondiente a esa fila.

8. Determinar el índice de inconsistencia y el radio de inconsistencia.

Una vez calculada la ponderación de cada uno de los criterios dentro del modelo, se debe comprobar si la matriz de jerarquización entre parámetros es consistente en sus comparaciones. Es de esperar que exista cierto grado de inconsistencia, ya que al final de cuentas son juicios hechos por seres humanos. Para esto se debe calcular el índice de inconsistencia.

Existe un modelo matemático para medir el grado de consistencia, donde se dice que una matriz de comparación A de n x n caracteres es consistente si $a_{ij} * a_{jk}$= a_{ik}; para i, j, k =1,2,…n.

Esta propiedad requiere que todas las filas y columnas de A sean linealmente dependientes para que exista consistencia.

Luego, si la matriz A es perfectamente consistente produce una matriz normalizada N de n x n elementos w_{ij}; de tal modo que todas las columnas son idénticas.

Por lo tanto se puede decir que A es consistente si y solo si se cumple que:

$$A * W = \lambda_{max} * W_i \ , \tag{32}$$

Donde W es el vector columna de pesos relativos w_i $(i = 1,2, \dots n)$ vectores propios de la matriz A normalizada.

El valor de λ_{max} se obtiene despejando la ecuación recientemente expuesta. La ecuación ampliada queda de la siguiente manera:

$$\begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & 1 & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \vdots \\ \omega_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x1 \\ x2 \\ \vdots \\ xn \end{pmatrix} = \lambda_{max} * \begin{pmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \vdots \\ \omega_n \end{pmatrix}, \quad (33)$$

de donde al despejar se obtiene:

$$\lambda_{max} = \frac{\begin{pmatrix} x1 \\ x2 \\ \vdots \\ xn \end{pmatrix}}{\begin{pmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \vdots \\ \omega_n \end{pmatrix}} = \begin{pmatrix} x1/\omega_1 \\ x2/\omega_2 \\ \vdots \\ xn/\omega_n \end{pmatrix}, \quad (34)$$

en donde su único valor es obtenido, mediante el valor promedio de cada fila del vector columna resultante

$$\lambda_{max} = \frac{(\sum_{i=1}^{n} \frac{xi}{\omega i})}{n}. \quad (35)$$

Este valor puede ser obtenido de manera adicional obteniendo el máximo valor propio (eigenvalor) de la matriz de comparaciones A.

Una vez calculado el valor de λ_{max} , se puede calcular el índice de inconsistencia.

El índice de inconsistencia se calcula según la siguiente expresión

$$I_c = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n-1)}, \quad (36)$$

donde λ_{max} representa una constante de consistencia y n es el tamaño de la matriz de comparación.

Una vez ya calculado el índice de inconsistencia, se debe calcular su radio de consistencia (Rc). Este parámetro se calcula de la siguiente manera:

$$R_c = \frac{I_c}{IA}, \quad (37)$$

Donde IA es el índice de consistencia de una matriz de comparaciones pareadas generada de forma aleatoria. Se puede demostrar que IA depende del número de elementos que se comparan, y asume los siguientes valores:

Tabla 13 Valores de índice aleatorios de consistencia generados por comparaciones aleatorias [59].

N° de elementos que se comparan (tamaño de la matriz)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice aleatorio de consistencia (IA)	0	0	0,58	0,89	1,11	1,24	1,32	1,4	1,45	1,49

Para otros autores el índice aleatorio de consistencia puede ser aproximado según la siguiente expresión:

$$IA = 1{,}98 * \frac{(n-2)}{n}. \tag{38}$$

Los juicios son considerados aceptables por el método, si el radio de consistencia es menor o igual a 0,1. De no ser así, implica que la matriz de comparaciones contiene juicios inconsistentes; lo que amerita una reevaluación de la matriz.

9. Determinar la jerarquía/criticidad final de las alternativas.

Para finalizar el método de jerarquización, sólo resta calcular el valor relativo asignado a cada una de las alternativas. Esto se realiza mediante la suma del producto de los valores ponderados de cada criterio por su respectivo peso.

Los equipos críticos son los que tienen un mayor valor ponderado total.

4.4.8 Método cuantitativo (Disponibilidad/Confiabilidad/Mantenibilidad) [17].

Este método de jerarquización tiene un enfoque numérico- probabilístico; el cual busca cuantificar las variables que definen la criticidad del subsistema, equipo o componente.

Considera el impacto directo de cada elemento sobre el sistema en términos de indisponibilidad esperada (confiabilidad y mantenibilidad) y sus costos asociados (directos e indirectos).

Para realizar un correcto análisis; es necesario obtener datos de: costos directos de mantenimiento o reparación (repuestos, HH., insumos, etc.), impactos económicos por indisponibilidad de producción (costos de ineficiencia), tiempos medios de buen funcionamiento (MTBF) y tiempos medios de reparación (MTTR).

El cálculo del MTBF depende de en qué etapa del ciclo de vida se encuentre el activo, por ende, se debe disponer de una base de datos que entregue un resumen histórico del comportamiento de las fallas en cuanto al número de ocurrencias y al tiempo entre cada una de ellas (desde el inicio de una avería hasta la ocurrencia de la avería posterior).

Una vez determinada la etapa del ciclo de vida del activo, se debe aplicar el modelo de probabilidad de fallos respectivo que determinará el método de cálculo o aproximación del MTBF.

La obtención del MTTR es sólo a través de datos históricos.

Una vez obtenidos los tiempos medios; se puede calcular la disponibilidad del elemento.

Adicionalmente, debe existir claridad en la configuración lógica funcional del sistema. Esto permite evaluar correctamente el impacto de cada indisponibilidad de equipo o subsistema “i” dentro de la indisponibilidad sistémica total.

El o los equipos que tengan la mayor indisponibilidad serán considerados como los equipos críticos del sistema, direccionando correctamente los esfuerzos y recursos técnico-económicos a los elementos de mayor impacto dentro del negocio.

En caso de plantas productivas que tengan líneas de producción independientes entre sí; trabajando de manera paralela, se deberá realizar adicionalmente el análisis de los costos globales entre líneas; permitiendo así una comparación económica entre líneas independientes.

Las variables de análisis cuantitativo necesarias para la ejecución de esta técnica se resumen en la figura 36.

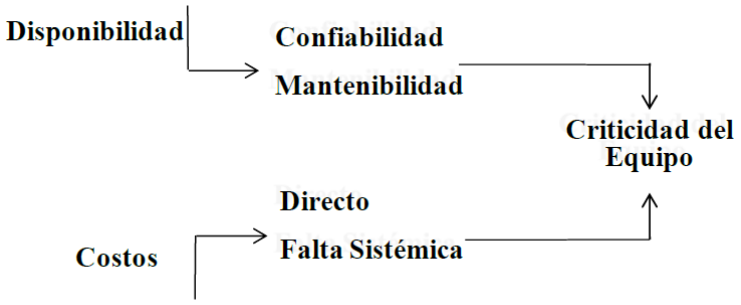


Figura 36 Variables necesarias para la realización de un análisis cuantitativo.

Al ser un método basado en su totalidad en variables estadísticas; su aplicabilidad dependerá de la existencia de una base de datos históricos confiables en cuanto a las variables de gestión del mantenimiento.

Una vez comprendidas todas las técnicas de jerarquización; en cuanto a sus exigencias, ventajas y desventajas; éstas deben de ser contrastadas con el contexto operacional de la planta en análisis. Dependiendo del tipo de técnica de jerarquización; es necesario disponer de información estadística confiable referente a las actividades de mantenimiento ya sea de tiempo y/o de costos.

La necesidad de datos históricos depende de la técnica de jerarquización a implementar. Cabe mencionar que la principal limitante en estos análisis: es la existencia de esta información.

La información requerida debiese ser obtenida de algún sistema informático de administración y gestión del mantenimiento; de lo contrario su veracidad no será comprobable.

La confiabilidad de los datos tiene completa relación a la existencia y cumplimiento de un procedimiento que entregue una normativa clara de cómo proceder ante una eventual falla de los equipos y registrar la mayor cantidad de información de ésta.

Los campos mínimos que debiesen ser registrados al ocurrir alguna avería son:

- Fecha ocurrencia.
- Hora ocurrencia.
- Duración de la intervención.
- Tipo de intervención (estrategia).
- Código de equipo o ubicación técnica.
- Especificar si la falla contempla detención de producción.

De manera adicional es recomendable que también se registre información acerca de:

- Modo de falla
- Síntoma
- Costo de la intervención.
- Componente defectuoso.

Los equipos determinados como críticos, de manera posterior, se someterán a algún método analítico de gestión que permita establecer mejores estrategias de mantenimiento. Esto busca aumentar la disponibilidad individual de cada elemento y

por ende del sistema; logrando así disminuir sus costos globales, sin embargo, en bastantes ocasiones; ninguna estrategia convencional logra aumentar la disponibilidad del equipo.

En estos casos; la solución tiende a ir de la mano con aumentar la confiabilidad del equipo. Esto puede lograrse mediante mejoras/cambios de sus componentes o bien el cambiando el activo por uno que garantice mayor confiabilidad.

5 Contexto operacional de la compañía en análisis.

5.1 Antecedentes de la compañía.

5.1.1 Descripción de la compañía [61].

Clariant es una empresa multinacional líder en especialidades químicas, con sede matriz en Muttenz, Suiza.

Los productos elaborados por Clariant se convierten en las materias primas químicas específicas que son requeridas por otras empresas para desarrollar sus productos.

El año 2015 la compañía empleaba a 17213 personas en 53 países. La siguiente figura representa la distribución porcentual de la cantidad de personas por continente.

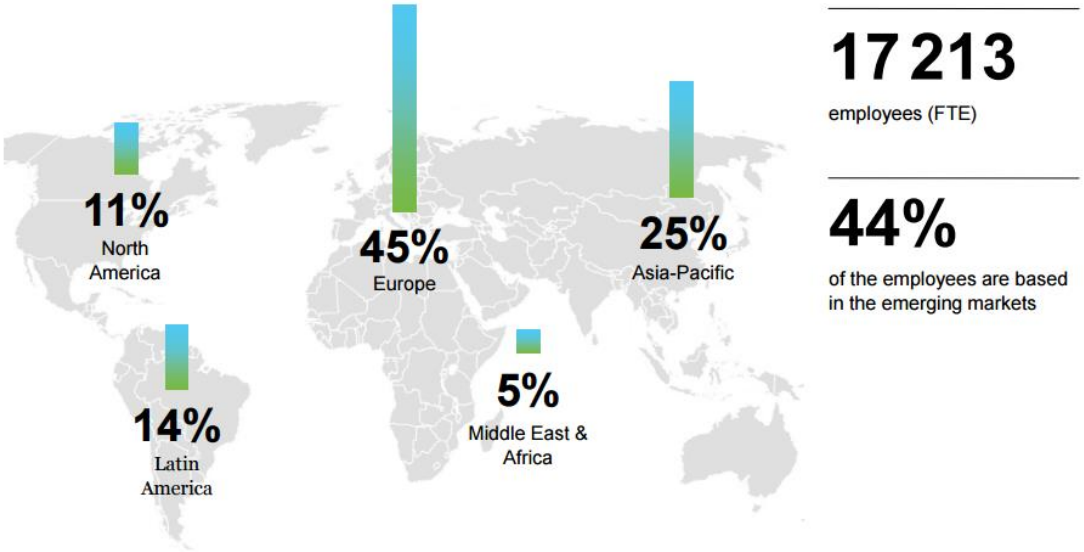


Figura 37 Distribución porcentual de empleados de Clariant S.A en el mundo.

La empresa se caracteriza por contar en el mundo con 4 áreas de negocios: Care chemicals, Catalysys, Natural resources y Plastics & coatings. Cada una de éstas tiene su propia administración y por ende genera diferente ganancias por ventas, EBITDA (Earnings before interest, taxes, depreciation and amortization), etc.

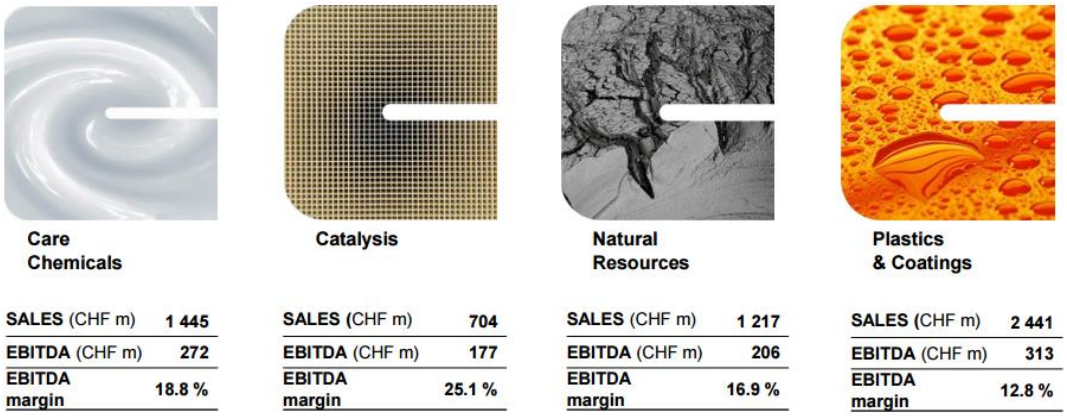


Figura 38 Ventas , EBITDA y margen porcentual por área de negocio.

La figura recientemente adjunta; detalla las ventas de cada área de negocios y su respectivo margen de ganancia antes de pagos de intereses, impuestos, depreciaciones y amortizaciones (EBITDA). El EBITDA es un indicador económico ampliamente usado, ya que aproxima la capacidad de una empresa para generar beneficios considerando únicamente su actividad productiva, eliminando de esta manera, la subjetividad de las dotaciones, el efecto del endeudamiento o la variabilidad del legislador de turno en materia impositiva.

Si bien cada área de negocio es independiente, a nivel global todas siguen la misma estrategia de negocios y exigencias. La estrategia corporativa de Clariant se basa en cuatro pilares: gestión rentable de los negocios, investigación & desarrollo e innovación, crecimiento en los mercados emergentes y reposicionamiento del portafolio.

Clariant se destaca por ser una multinacional con sede en los 5 continentes con un total de 110 compañías.

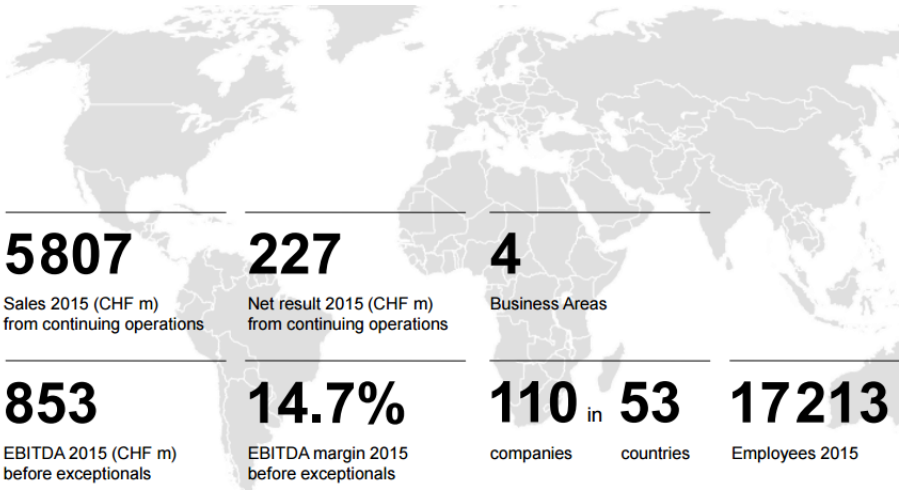


Figura 39 Distribución de compañias Clariant S.A en el mundo.

En Chile, Clariant se dedica a la producción de pellets de diferentes tipos de plásticos, emulsiones especiales para la empresa cosmética, productos solicitados para la gran minería y pigmentos concentrados. La meta de la empresa a nivel global es convertirse en el líder mundial de productos químicos especiales.

5.1.2 Historia de la compañía [62].

Clariant fue creada en 1995 como una división de la compañía química Sandoz, la cual fue fundada en Basilea en 1886, por ende; la compañía cuenta con una experiencia en química y conocimiento técnico acumulado a través de aproximadamente 150 años.

Clariant se expandió con la incorporación del negocio de químicos especiales de Hoechst (Alemania) en 1997, las adquisiciones de BTP plc (Reino Unido) en 2000 y la división Masterbatches de Ciba en 2006. El año 2008, incorporó al proveedor líder de colorantes en EE. UU. Rite Systems y Ricon Colors. La adquisición más reciente, es la compañía de químicos especiales altamente innovadora Süd-Chemie (Alemania), la cual se efectuó el 21 de abril del 2011.

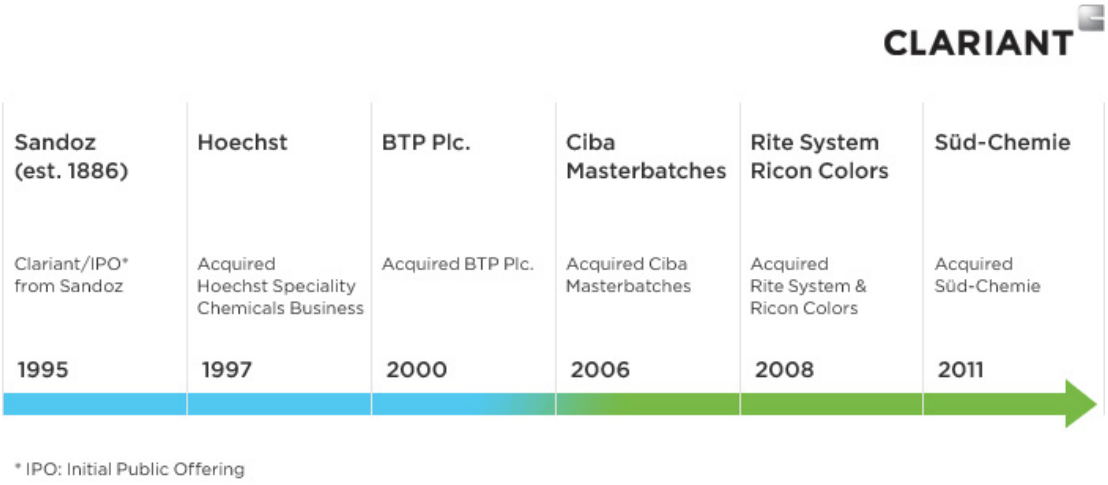


Figura 40 Historia de la compañía [62].

En Chile, Clariant aparece el año 1997; una vez que globalmente se hizo la adquisición la química Hoechst.

5.1.3 Misión y visión de la compañía [63].

La misión de Clariant es crear liderazgo en todas sus áreas de negocio mediante procesos de excelencia, logrando un equilibrio entre la obtención de un crecimiento rentable, una correcta orientación a la gente y un alto compromiso medioambiental.

Figura 41 Aumento de eficiencia energética y disminución de contaminantes en la compañía [64].

Por otro lado, la visión de la compañía es: ser la empresa líder mundial de las especialidades químicas y crear valor superior al promedio para todo nuestro público de interés.

5.1.4 Unidades de negocios

Internamente la empresa se organiza por unidades de negocio (BU); las cuales sirven a una de las cuatro áreas de negocios que existen dentro de la compañía.

Las unidades de negocios existentes de manera global son las Siguientes:

- Additives.
- Catalizadores.
- Funcional Minerals.
- Industrial & consumer specialties.
- Masterbatches.
- Oil and mining services.
- Pigmentos.

En chile; sólo existen las unidades de negocios que aparecen en la siguiente figura:

Figura 42 Unidades de negocios existentes en Chile.

5.1.5 Localización de la compañía.

Clariant Chile; se encuentra en la comuna de Maipú, Camino Melipilla N°15170, Región metropolitana. En esta locación se encuentran las plantas productivas y las áreas comerciales.

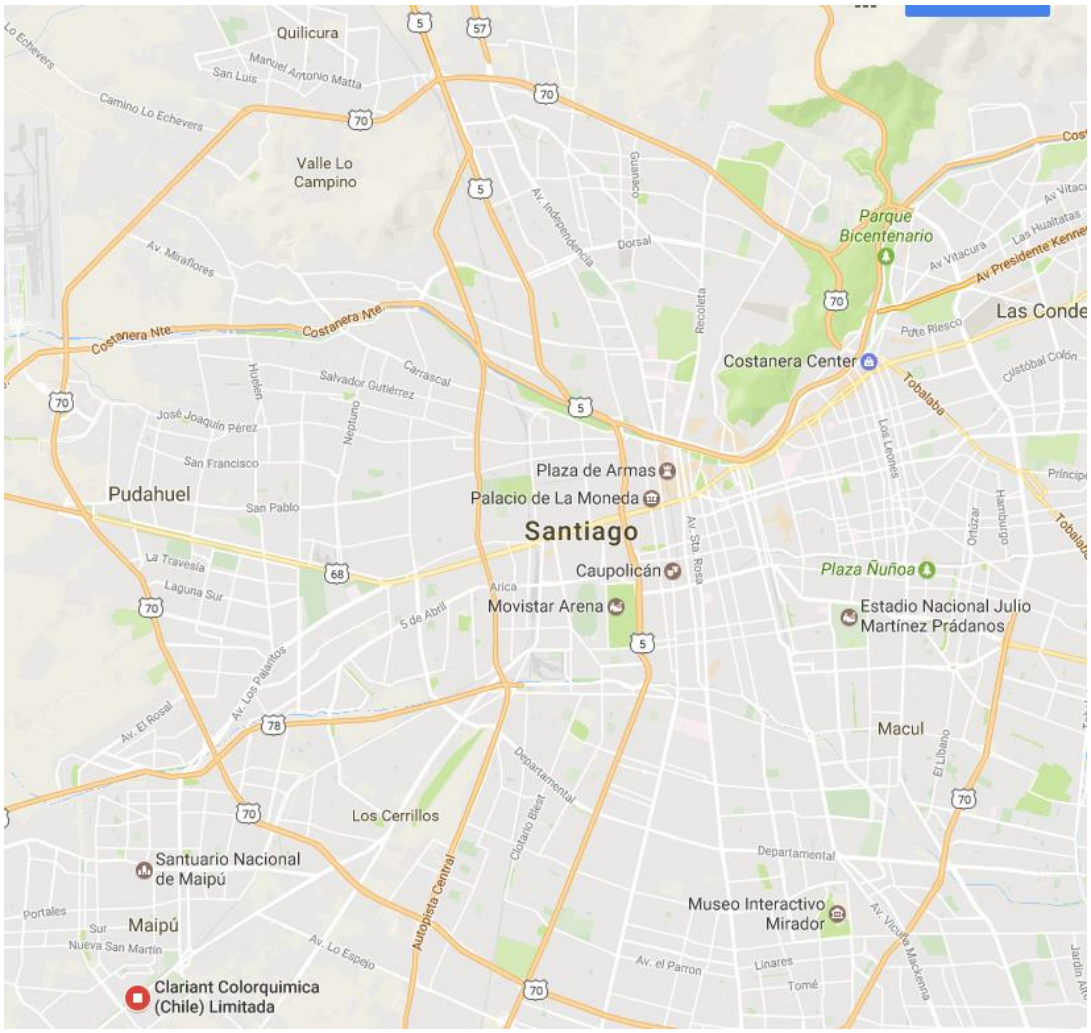


Figura 43 Ubicación de la industria en Chile.

5.2 Unidad de negocios Masterbatches (MB)

5.2.1 Descripción de la unidad de negocios.

Clariant Masterbatches es un líder mundial en cuanto a concentrados para color, aditivos y soluciones de rendimiento innovadoras para plásticos. Hay aproximadamente 3,100 empleados en más de 50 plantas de fabricación en cinco continentes.

La unidad de negocios Masterbatches entrega:

- Una cartera diversa de productos estándar y a gusto del cliente para colores y aditivos.
- Más de 10.000 coincidencias de colores efectuadas cada año.
- La mayoría de los pedidos se formulan al gusto del cliente.
- Innovación técnica continúa.
- Profundo conocimiento de mercado y experiencia.
- Liderazgo en el cumplimiento de regulaciones y normas.
- Soluciones hacia productos más sustentables.
- Más de 50 plantas de fabricación en todo el mundo.
- Servicio y apoyo local.
- Profundos conocimientos en química dentro de la red de Clariant, lo que genera innovación.

El producto obtenido en esta área de negocio son pellets de diferentes tipos de polímero, a los cuales se les adiciona pigmentos y aditivos para lograr cumplir con los requerimientos de los clientes.

5.2.2 Definición del Masterbatch.

El Masterbatch es una mezcla concentrada de polímeros, pigmentos y aditivos de manera encapsulada, durante un proceso térmico en una resina; que luego es enfriada y cortada en forma granular. Es la materia prima con la que otras empresas fabrican productos de distintos tipos de polímero mediante procesos de inyección con moldeado o soplado.

Dependiendo de los requerimientos del cliente; se fabrica masterbatch de distintas propiedades físicas (tipo de polímero), de distinto color (pigmento) y en ciertos casos con algunas propiedades especiales (aditivos).

La adición de los aditivos indicados puede otorgarle al masterbatch propiedades como: ser bactericidas, proteger contra la radiación UV, bloquear la absorción de humedad, antiestático, etc., por lo cual permite que los clientes puedan obtener una materia prima que cumpla con todos sus requerimientos de aplicación.

La obtención de un Masterbatch con buenos estándares de calidad (grado de dispersión, porcentaje de humedad, colorimetría, etc.), ayuda a las empresas elaboradoras de productos plásticos a evitar tener problemas de aglutinación, falta de dispersión, etc.

Figura 44 Productos Masterbatches terminados.

Los masterbatches producidos por Clariant Chile son principalmente los siguientes:

- PE (Polietileno)

- PP (Polipropileno)
- PS (Poliestireno)
- PET (Tereftalato de polietileno)
- Eva (Etilvinilacetato)
- Policarbonato
- Pvc.

Pueden ser producidos en diferentes colores y con distintas propiedades adicionales. Las propiedades mecánicas/eléctricas/térmicas del producto final dependen directamente del polímero empleado. [Anexo 5]

Las figuras 45 y 46 muestran algunos de los productos que fabrican distintas empresas tomando como materia prima el masterbatch producido por Clariant Chile.

Figura 45 Productos fabricados en base al masterbatch producido.

Figura 46 Productos fabricados en base al masterbatch producido.

Algunos de los mercados en los que es usado el masterbatch fabricado en Clariant Chile son: industria alimenticia, agrícola, farmacéutica, cosmetológica, eléctrica, etc.

5.2.3 Organigrama BU Masterbatch (MB).

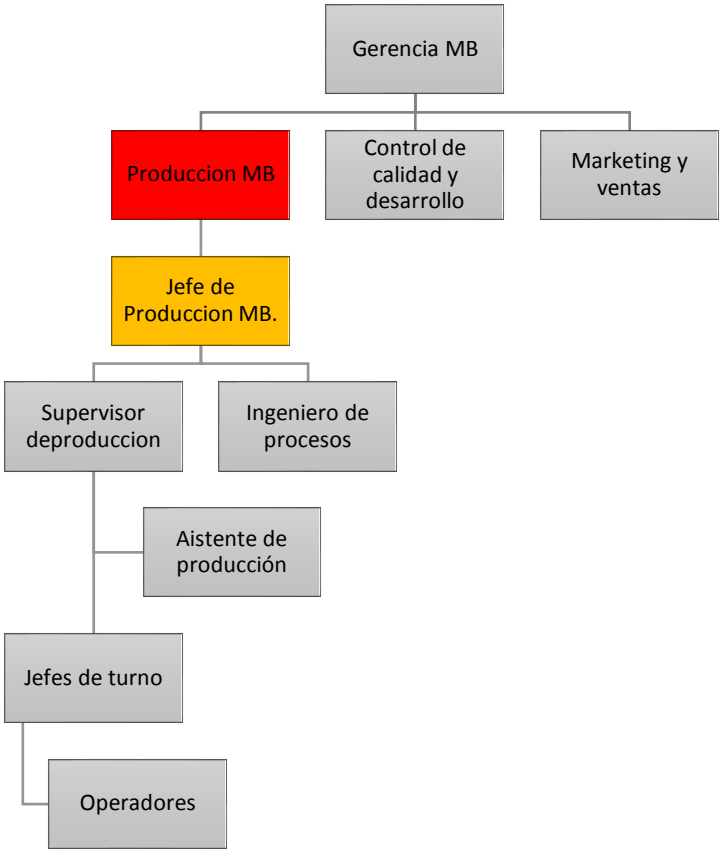


Figura 47 Organigrama BU Masterbatch.

La unidad de negocias Masterbatch tiene total autonomía operativa como contable en relación a las otras unidades de negocios de la planta, sin embargo, en caso de elaboración de nuevos proyectos, reparaciones, mantenciones preventivas, problemas en servicios eléctricos, de suministración de agua, etc., solicitan servicios de las áreas de Mantención, Energías e Ingeniería.

5.2.4 Actividades y organigrama de mantenimiento.

Dentro de la estructura de la compañía; existen áreas de servicios que velan por el buen funcionamiento de la planta en su totalidad. Dentro de éstas destacan las áreas de: Ingeniería, Mantenimiento y Prevención.

El departamento de Mantenimiento es responsable de asegurar el buen funcionamiento de los equipos de la planta; como también de proporcionar los servicios para que toda la planta pueda operar. Algunos de estos servicios se relacionan al funcionamiento de: torres de enfriamiento, agua de osmosis, calderas, riles, etc.

El departamento aplica mayoritariamente acciones de mantención correctivas (reparaciones con el equipo en estado de falla). De manera adicional; tiene un sistema en implementación (SAMACO); que vela por realizar mantenimiento preventivo a los equipos que pueden afectar la seguridad de las personas y/o el medio ambiente en caso de una eventual falla funcional.

En el contexto operativo actual no existen estrategias de mantenimiento para los equipos que afectan la capacidad de producción o la calidad de los productos terminados de las plantas productivas.

El organigrama de las áreas de servicio, incluido el departamento de mantenimiento es el siguiente:

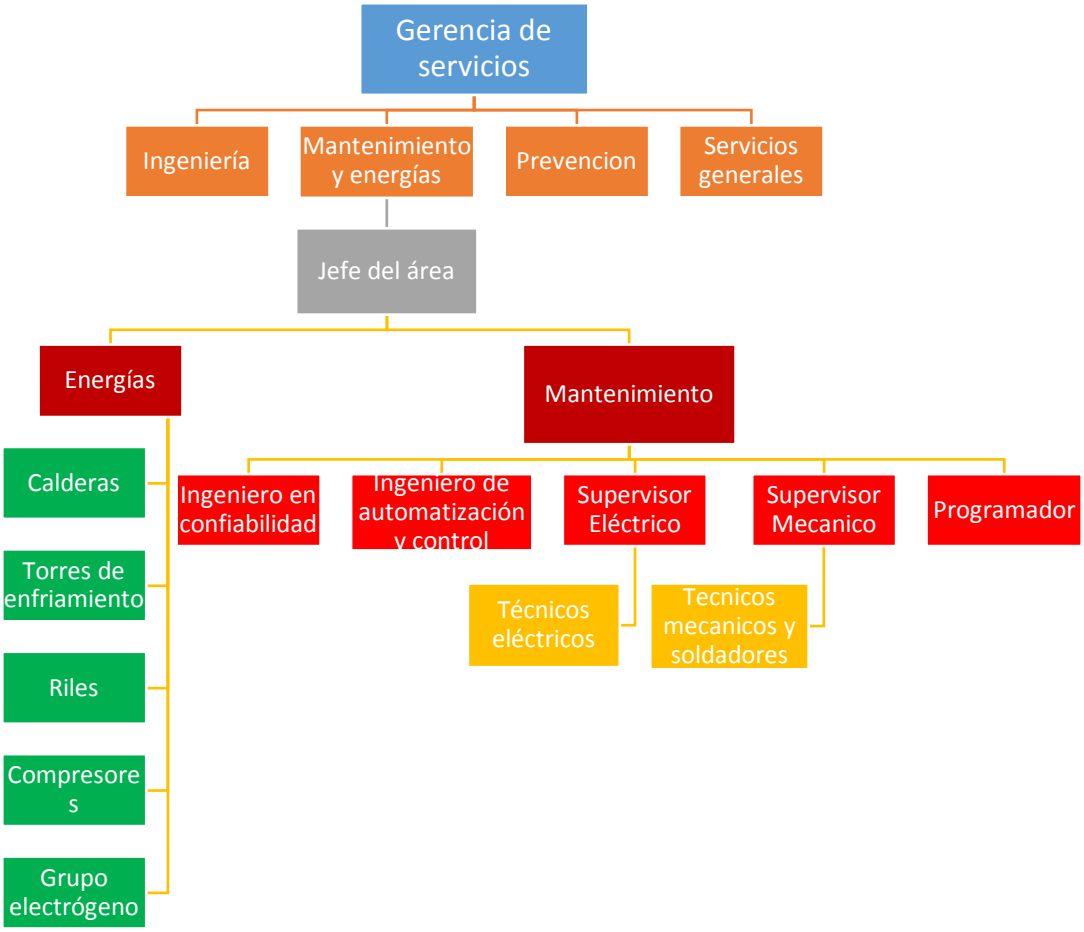


Figura 48 Organigrama áreas de servicios.

5.3 Proceso productivo.

Por confidencialidad exigida de la empresa; durante el desarrollo de este trabajo título sólo se harán referencias generales a los procesos y a los equipos usados en la cadena de fabricación.

5.3.1 Estudio del proceso de fabricación.

Existen 2 maneras de producir Masterbatch. Una forma es tomando como materia prima la mezcla homogenizada de pigmentos y polímeros en polvo. La otra manera es combinando en una proporción calculada distinta cantidad de Masterbatch ya producido en grano de distintos colores para lograr el producto requerido.

Masterbatch Chile; produce mayoritariamente usando como materia prima la mezcla homogenizada de polímero y pigmentos en polvo; ya que se logra mejor calidad de Masterbatch y mayor productividad, sin embargo también lo produce en base a grano.

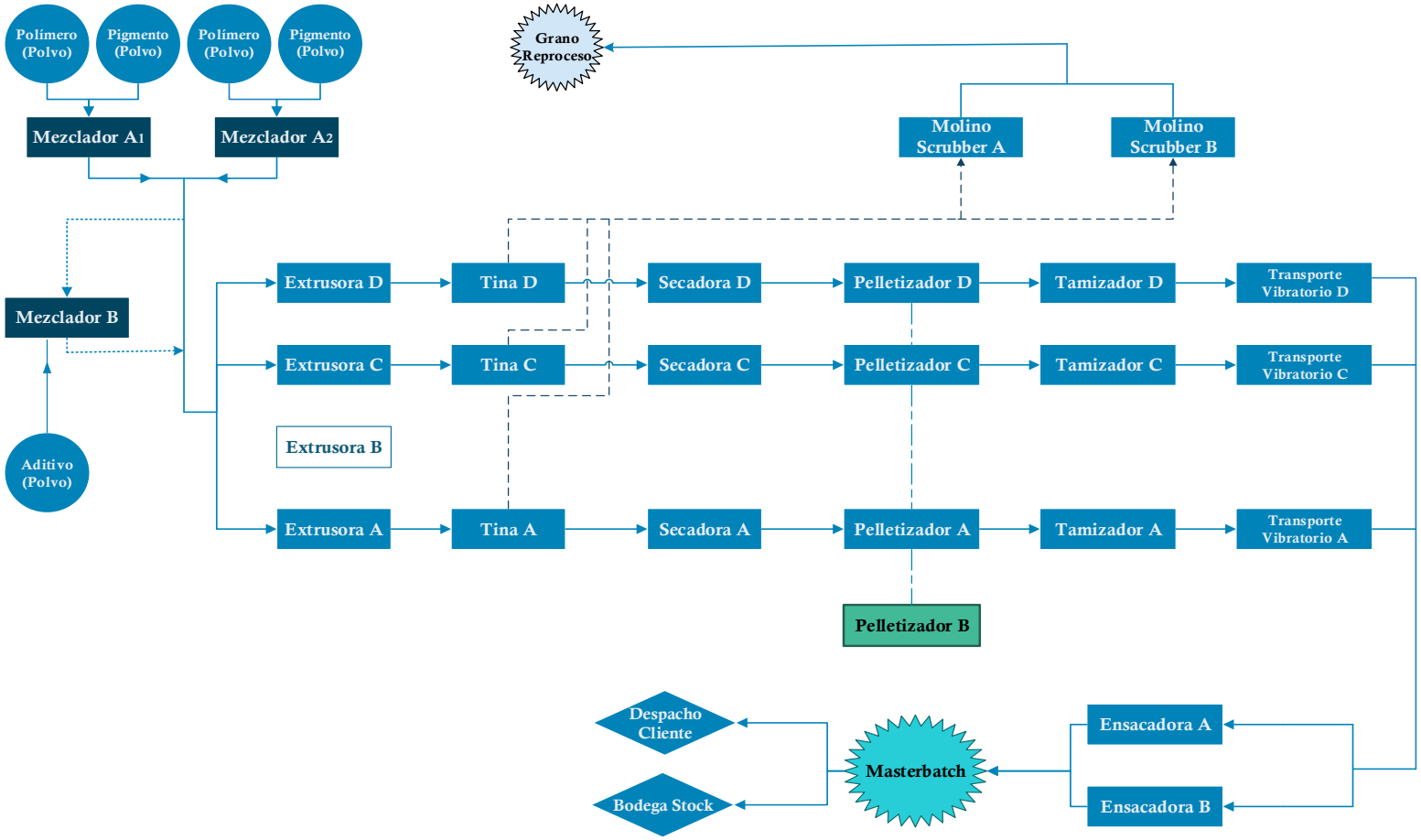


Figura 49 Diagrama de producción en base a materias primas en polvo.

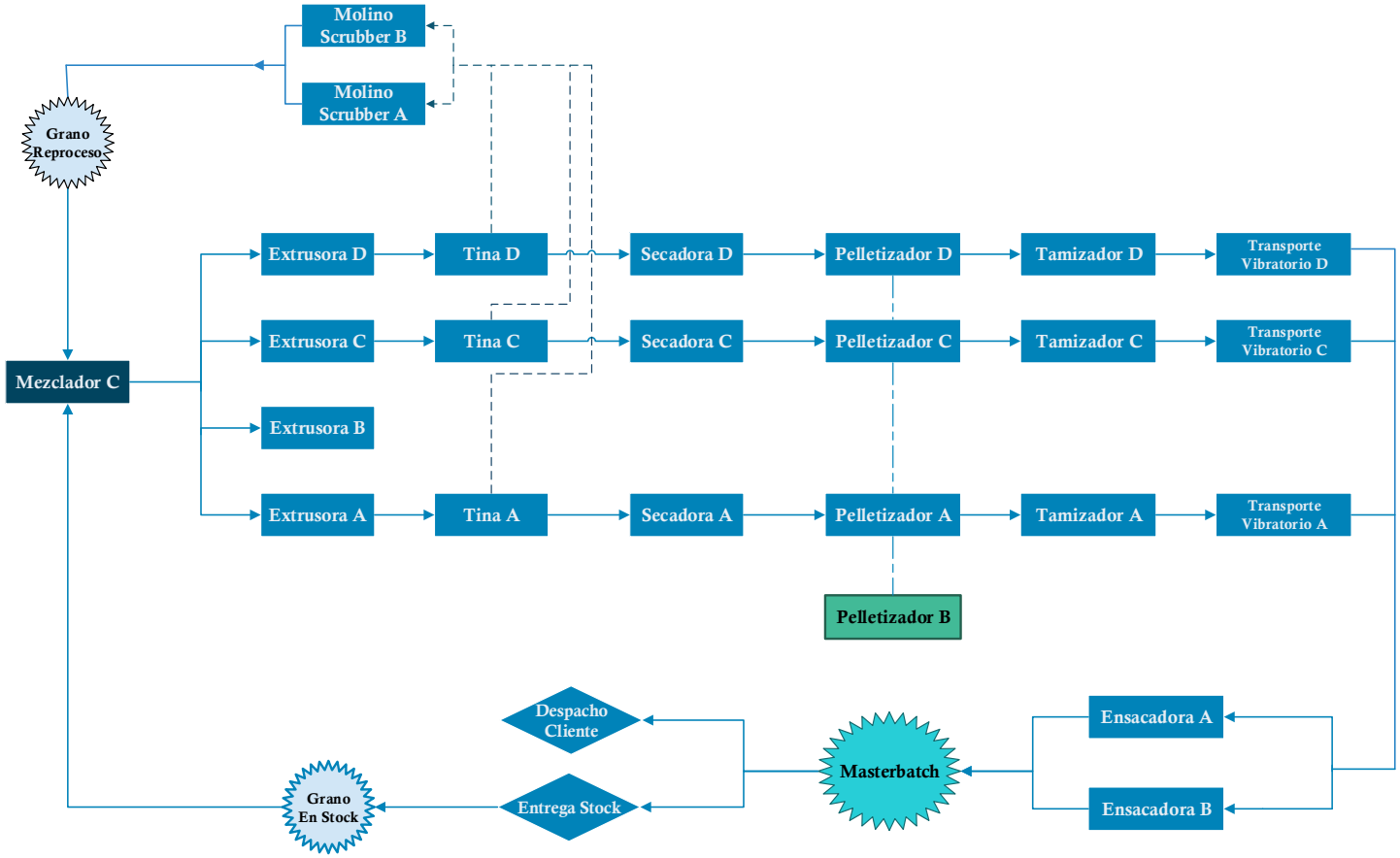


Figura 50 Diagrama de producción en base a materias primas en grano.

5.3.1.1 Proceso de producción de Masterbatch mediante las materias primas en polvo.

La primera etapa del proceso es la homogenización del polímero en polvo con los respectivos pigmentos. Ésta se realiza en equipos mezcladores especiales (Henshels); dedicados a la agitación de ambas materias primas de manera hermética con bastante torque de agitación.

El área de desarrollo ha realizado pruebas durante años; lo que les ha permitido conocer la dosificación correcta de pigmentos para llegar a cada color existente del panteón universal.

Una vez los mezcladores logran la homogenización del polímero con los pigmentos; el producto es trasvasijado a conos de transporte. De ser necesario (por requerimiento de los clientes); la mezcla homogenizada debe ser trasvasijada a otro Mezclador; el cual añade ciertos aditivos que proporcionan características especiales al Masterbatch.

La segunda etapa del proceso corresponde a la extrusión del plástico. Este proceso se realiza en las Extrusoras.

Las extrusoras son máquinas rotatorias que permiten moldear plástico por flujo continuo de material. El material se desplaza mediante el empuje ejercido por el o los tornillos de extrusión. Gracias a la adición de temperatura al proceso; el material sale homogenizado y fundido por el cabezal de extrusión; el cual, además sale del equipo con la forma final que tomará el termoplástico. Existen extrusoras que pueden trabajar tanto con polvo como con grano; así como existen algunas que sólo pueden trabajar con grano

Una vez el plástico sale fundido y con la forma predefinida del cabezal de extrusión; éste se desplaza a través de las tinas de enfriamiento, en donde, el material fundido se sumerge en agua logrando disminuir su temperatura y así solidificarse. Esto corresponde a la tercera etapa.

El plástico luego de pasar por la tina contiene altos porcentaje de humedad; por lo que debe ser secado. Es aquí donde comienza la cuarta etapa, en la cual, el plástico se desplaza por equipos secadores; los cuales, hacen que el material se desplace por una cámara con alto flujo de aire.

La quinta etapa del proceso es cortar el plástico en pequeños trozos. Esto se realiza en los Pelletizadores. En estas máquinas el material; ya solidificado y seco, es cortado en tamaños de una granulometría similar. Desde esta etapa el producto ya puede ser considerado como Masterbatch.

La sexta etapa consta en clasificar el Masterbatch producido según el tamaño de grano. Esto se realiza en los Tamizadores.

Finalmente, el material cae a equipos de transporte vibratorio; los cuales llenan tachos contenedores que finalmente serán ensacados en dosificadores gravimétricos.

5.3.1.2 Proceso de producción de Masterbatch mediante grano como materia prima.

El proceso es básicamente el mismo descrito anteriormente con la salvedad de que la materia prima a utilizar será grano homogenizado. Dependiendo el requerimiento del cliente (color requerido); se incorporarán en porcentajes másicos ya establecidos distintas cantidades de grano ya fabricado de los colores primarios. Una vez se encuentre el depósito con todas las cantidades de grano necesario; éste debe ser homogenizado en un mezclador especial. Este mezclador tiene la particularidad de homogenizar la tolva desde la capa superior hasta la inferior a bajas revoluciones; dando así el torque necesario para mezclar los granos de diferentes colores.

Luego de obtener la mezcla ya homogenizada; ésta puede pasar a la etapa dos de extrusión. De aquí en adelante el proceso es el equivalente a producir con polvo.

5.3.2 Máquinas empleadas y su descripción.

5.3.2.1 Mezcladores.

Los mezcladores son equipos de agitación; los cuales homogenizan la mezcla de polvo de polímeros, pigmentos y aditivos o en su defecto una mezcla de granos; esto dependiendo del tipo de mezclador.

En la planta existen cuatro Mezcladores; los cuales por confidencialidad serán referenciados como A_1, A_2, B y C. Estos tienen las siguientes características.

5.3.2.1.1 Mezcladores A_1 y A_2.

Los mezcladores A_1 y A_2; funcionan de igual manera; pero tienen distinta magnitud y por ende capacidad de mezclado. Son estanques de agitación; los cuales gracias al rápido movimiento de sus aspas; permiten homogenizar los polímeros y pigmentos en polvo.

El movimiento de las aspas es logrado por la acción de un motor eléctrico que transmite su potencia por poleas y correas.

Cada uno de estos mezcladores; tienen tapas superiores accionadas por cilindros neumáticos que permiten la apertura o cierre de la tapa de carga, hermetizando así el proceso de mezclado.

Dependiendo del polímero a homogenizar, se puede regular las revoluciones del motor.

El mezclador A_1 tiene mayor capacidad de mezclado que A_2. Las imágenes 51 y 52 referencian a estos 2 mezcladores:

Figura 51 Mezclador A1.

Figura 52 Mezclador A2.

5.3.2.1.2 Mezclador B.

Es un mezclador de similares características a los de tipo A, sin embargo, el sistema de transmisión de potencia es diferente.

La agitación es producida por un motor eléctrico acoplado a un reductor de engranaje planetario. Esto le permite girar a bajas revoluciones, pero con un mayor torque de mezclado.

Los aditivos especiales se agregan a la mezcla ya homogenizada; estos hacen que la resina final tienda a aglomerarse; lo cual dificulta en términos de torque su mezclado. Es por esta razón que este mezclador es usado con fines de homogenizar la mezcla polímero/pigmento con ciertos aditivos especiales. La siguiente figura representa el estado actual del equipo.

Figura 53 Mezclador B.

5.3.2.1.3 Mezclador C.

El mezclador tipo C; es totalmente diferente a los ya mencionados. Éste permite mezclar grano.

Es preferible mezclar grano desde la capa superficial del material sólido a granel hacia la profundidad. Es por esta razón que el equipo está diseñado para que un cono de almacenaje haga ingreso a un cubículo con las cantidades de grano a homogenizar. Una vez el cono está adentro; un aspa de agitación comienza a mezclar los granos de manera progresiva desde arriba hacia abajo gracias un sistema neumático de elevación.

El resultado es una buena homogenización del material sólido a granel.

Figura 54 Mezclador C.

5.3.2.2 Extrusoras.

Las extrusoras son máquinas rotativas, en las cuales, se ingresa la mezcla de polímeros con pigmentos y aditivos dentro de las cámaras de extrusión, donde el material logra ser fundido y se le da la forma final en la salida gracias al cabezal de extrusión.

Dependiendo del número de tornillos que tenga la extrusora (uno o dos); éstas podrán trabajar con polvo y grano o solo con grano.

La máquina hace girar uno o dos tornillos concéntricos (tornillos de Arquímedes), los cuales le dan el empuje necesario al material para avanzar dentro de las zonas, cámaras o bloques de extrusión. Cada una de estas zonas posee un sistema de calefacción/refrigeración que permite mantener las zonas en temperaturas controladas para homogenizar, moler y fundir el plástico.

El material es alimentado a la extrusora por una tolva; la cual se ubica en las primeras zonas de extrusión.

Dentro de los bloques de extrusión; los tornillos o husillos están en constante movimiento. Una vez el material es empujado a través de todas las zonas de extrusión; éste llega al cabezal, el cual obtura la salida del material fundido; aumentando la presión de salida en el bloque final de extrusión, dando la forma final al material (moldeado).

Debido a que el material debe desplazarse a una baja velocidad para que exista la transferencia de calor necesaria; el motor eléctrico se acopla a una caja reductora mecánica la cual a la vez se acopla con el o los husillos de extrusión. Esto permite que el material tenga un flujo adecuado dentro de las cámaras de extrusión.

La figura 55 describe los principales componentes de una extrusora de un tornillo.

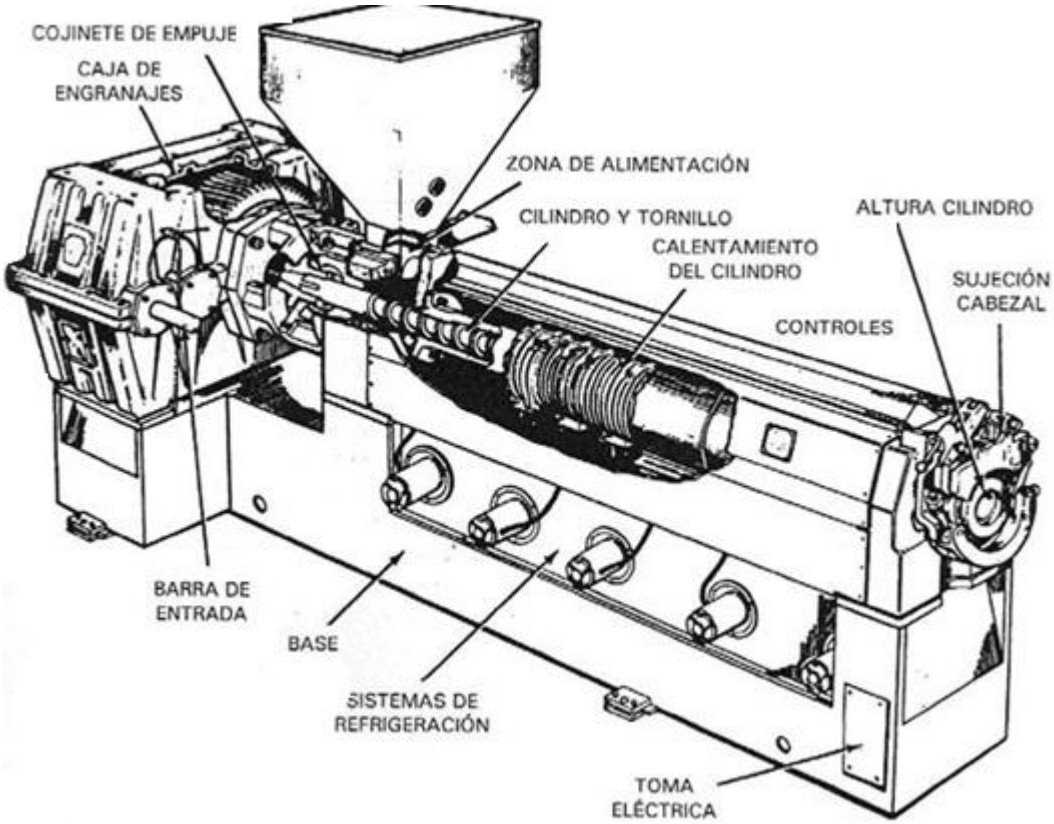


Figura 55 Extrusora genérica mono tornillo y sus principales componentes.

En la planta existen cuatro extrusoras con las siguientes características:

Tabla 14 Capacidades productivas de cada extrusora de la planta.

Extrusora	Capacidad productiva promedio [kg/hr]	Tamaño de Materias primas	Capacidad para trabajar con polímeros según Índice de fluidez [gr/10 min]
A	200	Polvo y grano	Alta
B	120	Grano	baja
C	150	Polvo y grano	Alta
D	100	Polvo y grano	Media

De la tabla 14; se aprecia de manera clara que la extrusora A es la más crítica en cuanto a capacidad productiva, que la extrusora B es la menos versátil para trabajar con el

tamaño de materias primas y que tanto la extrusora A como la C son las que pueden trabajar con los polímeros que exijan mayores requerimientos mecánicos.

5.3.2.2.1 Extrusora A.

Es la extrusora de mayor capacidad productiva de la planta. Permite trabajar con polvo y grano. Puede fundir resinas de alto índice de fluidez. Es de doble tornillo. Posee 9 zonas de refrigeración/calefacción. La calefacción es realizada mediante calefactores del tipo ocluido y la refrigeración mediante la apertura de electroválvulas que permiten el flujo controlado de agua de enfriamiento.

El movimiento es otorgado por un motor eléctrico acoplado a una caja reductora mecánica que a la vez se acopla a los tornillos.

Los acoples no son convencionales. El acople del motor eléctrico a la caja reductora posee un sistema de seguridad el cual al detectar un torque superior al que resisten los componentes; desacopla la transmisión.

En el caso del acople de la caja reductora a los tornillos, el acople es más sencillo y sólo consta de uniones tipo copla estriada de acero especiales tratados térmicamente.

La caja reductora es lubricada constantemente por una bomba de aceite, la cual; a través de un manifold de distribución y boquillas de inyección lubrica el engranaje por completo. Existe instrumentación asociada para que el flujo de la bomba se mantenga entre un rango de presiones y temperaturas óptimas.

Posee sistemas de refrigeración de aceite de la caja reductora y del motor eléctrico por agua. (Intercambiador de calor).

Tiene el sistema de control más moderno de la planta contando con un panel de control digital para modificar ciertos parámetros de proceso. A continuación se adjunta imagen del equipo.

Figura 56 Extrusora A

5.3.2.2.2 Extrusora B.

Es una extrusora de capacidad media y de poca versatilidad. Solo puede trabajar con grano. No resiste fundir polímeros de un alto índice de fluidez. Es de un solo tornillo. Posee 7 zonas de refrigeración/calefacción. La calefacción es realizada mediante calefactores tipo collarín y la refrigeración de las zonas es efectuada por extractores de aire situados en cada una de las zonas.

El movimiento es otorgado por un motor eléctrico acoplado a una caja reductora mecánica que a la vez se acopla al tornillo.
El acople entre el motor de la extrusora y la caja reductora es directo.
La caja reductora no tiene sistema de bombeo; sino que se lubrica por el movimiento del mismo engranaje.
El acople entre la caja reductora y el tornillo también es de tipo copla estriada de acero de gran calidad.

El motor eléctrico es refrigerado mediante un sistema de ventilación forzada.
Esta extrusora funciona en standby de cualquiera de las otras tres extrusoras.
La siguiente figura muestra la extrusora recientemente descrita.

Figura 57 Extrusora B.

5.3.2.2.3 Extrusora C.

Es la segunda extrusora de mayor capacidad de la planta. Es de doble tornillo. Posee 10 zonas de refrigeración/calefacción. Soporta trabajar con cualquier tipo de resina. Tiene mezcla de calefactores tanto ocluidos como del tipo collarín. El enfriamiento de cada zona; al igual que en la extrusora A: es efectuado por electroválvulas que dan paso al agua de enfriamiento proveniente de un sistema de intercambio de calor refrigerado por agua de torre de enfriamiento. Es la única extrusora en la que su motor eléctrico es de corriente continua.

El movimiento es otorgado por el motor eléctrico acoplado a la caja reductora mecánica que a la vez se acopla a los tornillos. Al igual que la extrusora A; el acople entre el motor y el reductor no es directo.

La caja reductora tiene básicamente el mismo sistema de lubricación que el de la extrusora A; sólo cambia el diseño físico del circuito, pero tiene los mismos componentes.

Otra diferencia que tiene con las demás extrusoras es que el motor es refrigerado mediante un gran flujo de aire proporcionado por un soplador externo.

Tiene un sistema de control antiguo, pero capaz de proporcionar las mismas funciones que la extrusora A. El equipo posee mayor edad de uso.
La figura 58 muestra una imagen de esta extrusora

Figura 58 Extrusora C.

5.3.2.2.4 Extrusora D.

La extrusora D tiene capacidades de producción media. Cuenta con 10 zonas de refrigeración/calefacción y es de doble tornillo. La transferencia de calor a las zonas de fusión del material es mediante calefactores ocluidos tipo L. La refrigeración de las

zonas es mediante electroválvulas que regulan el flujo de agua de enfriamiento a las zonas.

El sistema de transmisión de potencia es similar al de la extrusora A. Cuenta con un motor eléctrico trifásico el cual se acopla al reductor mecánico mediante un sistema de acople con desenclavamiento por torque. Los tornillos se acoplan a la caja reductora mediante coplas estriadas de acero de gran calidad.
La refrigeración del motor es generada por un sistema de ventilación forzada al igual que en la extrusora B.
El sistema de lubricación de la caja reductora es similar al de la extrusora B (no requiere una bomba que circule el lubricante por los engranajes de transmisión).

El sistema de control es similar al de la extrusora C (sistema de control antiguo, pero que proporciona las mismas funciones que un sistema moderno).

La siguiente figura muestra la extrusora recientemente descrita

Figura 59 Extrusora D.

5.3.2.3 Tinas de enfriamiento.

Las tinas de enfriamiento tienen la función de enfriar y solidificar la resina recién fundida que sale del cabezal de extrusión. Consta de una especie de recipiente de almacenamiento de agua móvil; en dónde el plástico recién fundido se sumerge y se desplaza de manera continua.

Para esto, cada tina tiene rodillos que permiten que el material se desplace de manera continua. Además, tienen un sistema de recirculación del agua hacia las torres de enfriamiento para mantener la temperatura del agua estable a una temperatura baja.

Todas las tinas de la planta son de iguales características. En este trabajo de título se referencia estos equipos como tina A, C y D.

Tienen una bomba centrífuga multietapa para succionar el agua caliente de las tinas y enviarla hacia las torres de enfriamiento. El relleno de volumen de agua a las tinas se realiza gracias a una válvula de accionamiento con flotador que trae agua desde las torres de enfriamiento. La figura 60 muestra la forma de los equipos descritos.

Figura 60 Tinas de la planta Masterbatch.

5.3.2.4 Secadores.

Los secadores; son los equipos que se encargan de eliminar el porcentaje de humedad contenido en el plástico posterior a la salida de las tinas. Esto se logra a gracias a un alto flujo de aire aplicado gracias a un rodete de gran diámetro; el cual es impulsado por un sistema de transmisión por correas. Adicionalmente cuenta en su interior con una gran cantidad de bandejas de condensación que facilitan la separación del agua que arrastra el flujo de aire.

Existen tres secadores y todos tienen iguales características. Por confidencialidad de información se denominan secador A, C y D.

En la siguiente imagen se aprecia el diseño de los equipos dispuestos en planta.

Figura 61Secador de planta Masterbatch.

Existen otras maneras de secar el producto, como por ejemplo; usando de manera directa aire comprimido generado en la sala de compresores de la empresa, sin embargo, en ciertos productos es necesario aplicar un mayor flujo de aire para alcanzar los parámetros de calidad exigidos.

El aire comprimido es inyectado a través de unas bandejas que se pueden anexar al final de las tinas de enfriamiento (secador auxiliar).

Figura 62 Secador auxiliar de producción Masterbatch.

El componente encerrado en el círculo; muestra el principio de funcionamiento de los secadores auxiliares.

5.3.2.5 Pelletizadores.

Los pelletizadores; son los equipos encargados de cortar el material y obtener el masterbatch en su forma final. Adicionalmente poseen rodillos; los cuales toman el material (plástico en forma de tallarines) y aplican la fuerza necesaria para tomar el producto y darle movimiento desde la salida del cabezal de la extrusora hacia las siguientes etapas del proceso.

Posee un cuchillo estático y uno dinámico. Las regulaciones de distancia entre ambas cuchillas derivan en el tamaño del grano obtenido de masterbatch.

Existen cuatro pelletizadores dentro de la planta. Dos de ellos son de un modelo y los otros dos corresponden a otro. Por confidencialidad de información, en este trabajo de título se referencia estos equipos como pelletizador A, B, C y D.

Los pelletizadores A y C son de iguales características (fabricante y modelo). Ambos tienen un motor eléctrico; el cual transmite potencia por correas y poleas. La polea está acoplada a una rueda dentada que acciona un engranaje. El motor transmite potencia por correas verticales. El engranaje hace girar los rodillos y el cuchillo dinámico. El cuchillo dinámico de este tipo de pelletizadores posee una mayor superficie de contacto y un mayor diámetro; por lo cual permite satisfacer la demanda requerida por las extrusoras de mayor capacidad.

Las figuras 63 y 64 muestran lo descrito:

Figura 63 Cuchillo móvil y fijo pelletizador A y C.

Figura 64 Pelletizador tipo A y C.

Los pelletizadores B y D tienen iguales características entre ellos. Tienen un sistema de transmisión similar a los pelletizadores A y C, pero se diferencian en la magnitud del equipo y en el sistema de transmisión. El motor de los Pelletizadores B y D es de menor potencia y transmite el movimiento por correas horizontales. El cuchillo móvil de este tipo de pelletizadores es de menor tamaño; siendo menos indicado para picar plástico a una mayor capacidad productiva [Kg/hr].

La figura 65 muestra el tipo de transmisión de este modelo de pelletizador.

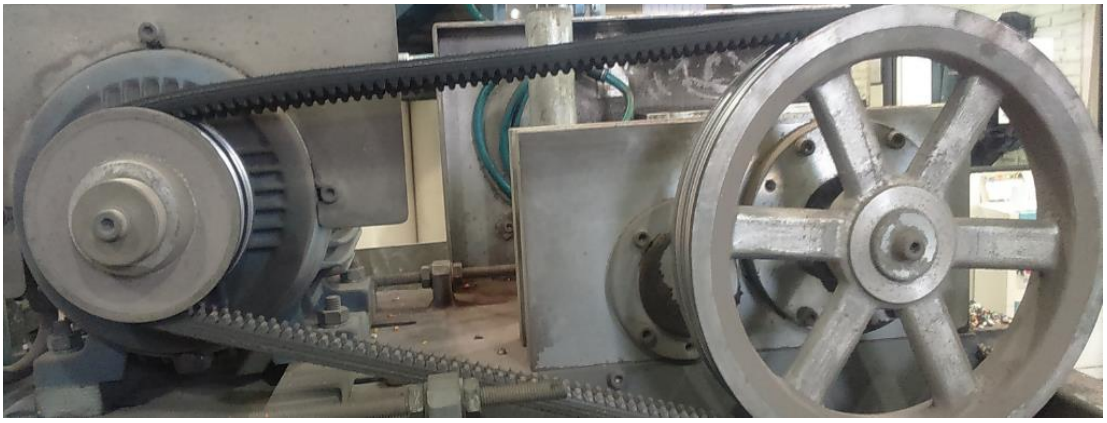


Figura 65 Tipo de transmisión en pelletizadores B y D

5.3.2.6 Tamizadores.

Los tamizadores son los equipos que clasifican el masterbatch según tamaño. Sus principales componentes son una criba de tamizado (con forma de bandeja), por dónde circula el Masterbatch y dos moto-vibradores acoplados a su estructura de soporte. Los moto-vibradores logran dar movimiento al masterbatch a través de toda la bandeja de tamizado gracias al efecto de la vibración generada por la regulación de sus contrapesos.

En la planta de producción existen tres tamizadores de iguales características. Por confidencialidad de información, estos equipos son referenciados como Tamizador A, C y D.

Figura 66 Tamizador de la planta Masterbatch.

5.3.2.7 Transporte vibratorio.

Los equipos de transporte vibratorio; son torretas verticales con una bandeja helicoidal; por la cual el masterbatch se desplaza verticalmente hacia arriba, gracias al efecto de la vibración de dos motovibradores instalados en la zona inferior de su estructura.

Existen tres equipos de igual características. Su función es trasvasijar el masterbatch ya tamizado a los conos de transporte. En este trabajo de título se referencia estos equipos como transporte vibratorio A, C y D.

La siguiente figura muestra el diseño de estos equipos.

Figura 67 Transporte vibratorio de producción Masterbatch.

5.3.2.8 Conos de transporte

Los conos de transporte son usados para transportar materiales sólidos a granel.

Dependiendo de la fase del proceso; los conos pueden ser usados para trasvasijar materias primas en polvo o en grano hacia las tolvas de las extrusoras o también ser usados para dosificar el masterbatch según peso.

Cada cono tiene en su zona inferior una válvula de mariposa que permite regular la velocidad con la que el flujo desciende en su descarga; además su estructura permite que puedan ser fácilmente transportados por grúas horquillas.

En la planta existen más de 12 conos de transporte de igual diseño a la siguiente figura.

Figura 68 Cono de transporte de sólidos a granel.

5.3.2.9 Máquinas Envasadoras.

En la planta existen dos máquinas envasadoras de iguales características.

La manera de envasar el masterbatch es mediante sacos. El cierre de cada saco es de manera manual, sin embargo su dosificación es de manera semiautomática por un lazo de control de peso.

Una vez el masterbatch cumple con los requerimientos de calidad; se procede a ser transportado hacia las máquinas envasadoras. Éstas requieren que el material descienda por gravedad mediante flujo controlado. Esto se logra mediante el cierre/apertura de una válvula de control discreta activada por una señal eléctrica entregada por una balanza electrónica en donde cae el material y va rellenando los respectivos sacos.

Figura 69 Ensacadora de producción.

5.3.2.10 Molinos Scrubber.

Los molinos scrubber; tienen la finalidad de picar grandes masas de plástico ya solidificado para poder reprocesarlo en las líneas de extrusión. Estas masas son generadas en las tinas de enfriamiento cuando hay disminución de flujo de descarga en las tolvas de alimentación de las extrusoras y también cuando se acaba el material de alimentación en el proceso.

Existen dos molinos idénticos entre sí. En este trabajo de título se referencia estos equipos como Molino A y Molino B.

El diseño de los molinos se adjunta en la siguiente figura.

Figura 70 Molino Scrubber.

5.3.2.11 Sistema de extracción de gases.

El sistema de extracción de gases contempla un extractor de gran capacidad; el cual libera hacia atmósfera todos los gases generados por la fusión del polímero.

En la planta se trabaja son pigmentos orgánicos; por lo que los gases generados no generan riesgo para la salud de las personas ni al medio ambiente, sin embargo es posible que en altas concentraciones se genere una atmósfera explosiva.

Por plástico adherido en los cabezales de extrusión; se han generados amagos de incendio en otras plantas de similares condiciones.

Su función principal es disminuir la concentración de gases y por ende evitar una atmósfera explosiva dentro de la planta. Adicionalmente tiene sistemas de extinción de incendio; los cuales mediante la rotura de un capilar térmico activa dos extintores que apagan cualquier amago de incendio dentro de las líneas de aspiración.

Cuenta con un motor eléctrico acoplado a un impulsor de gran diámetro; el cual genera el vacío requerido para la succión de los gases.

Tiene filtros de polvo para evitar liberar material particulado a la atmósfera.

La línea de succión de gases se ramifica a cada una de las líneas de extrusión.

El sistema de extracción de gases en su conjunto se puede apreciar en la figura 71.

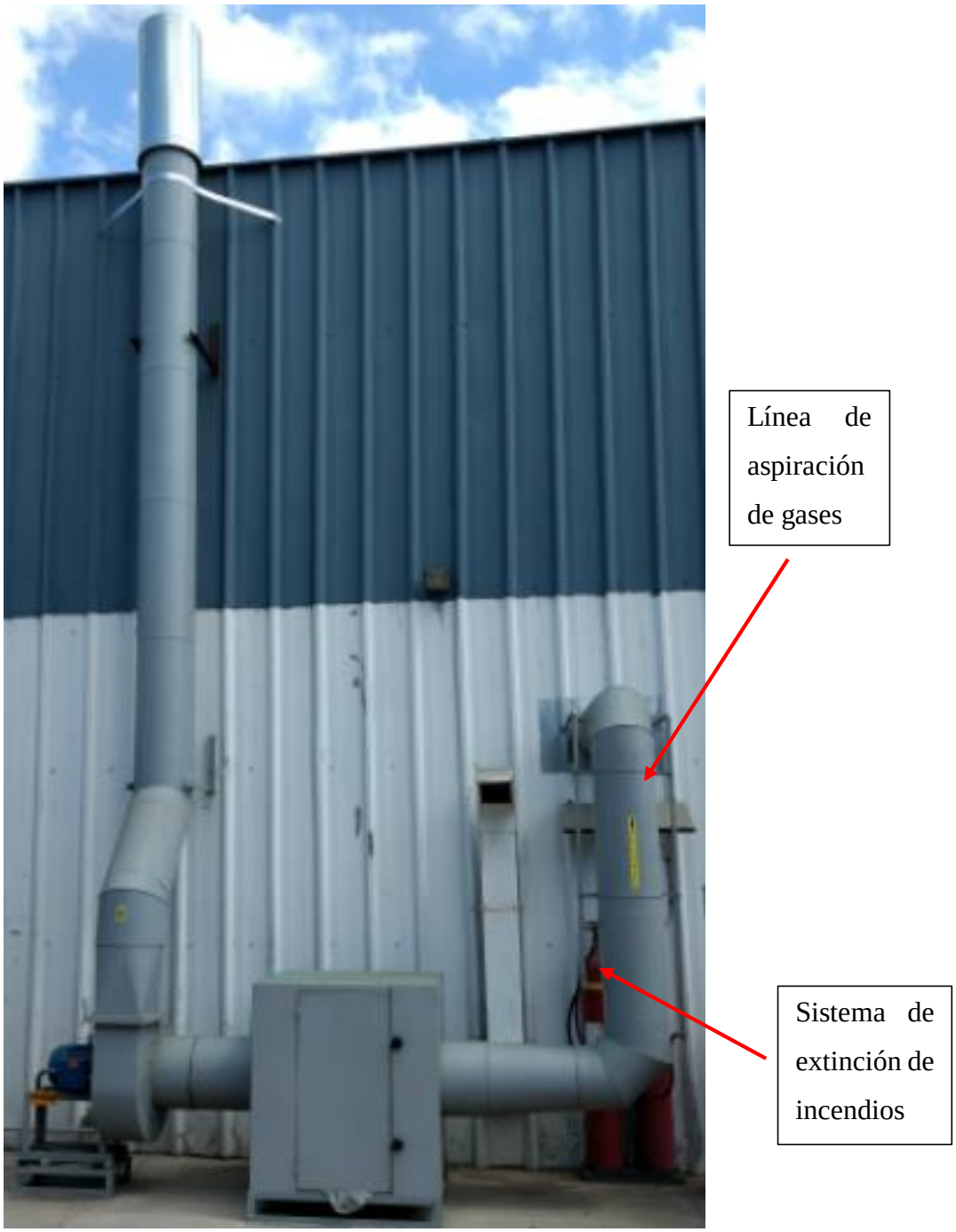


Figura 71 Sistema extractor de gases en su conjunto.

La siguiente imagen muestra la llegada de la línea de succión a una de las líneas de extrusión:

Figura 72 Ductos de aspiración por línea de extrusión.

5.3.2.12 Sistemas de aspiración de polvo.

Existen dos sistemas de aspiración de polvo en la planta. Su diseño es de similares características al sistema extractor de gases, pero con la salvedad de que no tiene incorporado un sistema de mitigación de incendios.

A continuación se detallan cada uno de estos sistemas:

5.3.2.12.1 Sistema de aspiración de polvo A.

Este sistema está instalado en el área de mezclado de polvo. Su buen funcionamiento es de vital importancia; ya que, esta zona de la producción es clasificada como Ex, debido a su alto nivel de material particulado, que en ciertos casos son inflamables (polímero y pigmentos). Es considerado un sistema de alta importancia para la seguridad de las personas.

Figura 73 Sistema de extracción de polvo en área de mezclado de polvo.

5.3.2.12.2 Sistema de aspiración de polvo B.

El sistema de aspiración de polvo B; tiene como función extraer cualquier filtración de resinas en suspensión en las tolvas de descarga de cada línea de extrusión. Debido a que el proceso de descarga de polvo en las extrusoras levanta menor cantidad de material particulado; su importancia es menos relevante para la seguridad de las personas en comparación al sistema de aspiración de polvo A.

La figura 74 muestra un óptimo sellado entre la tolva de descarga y la línea de succión.

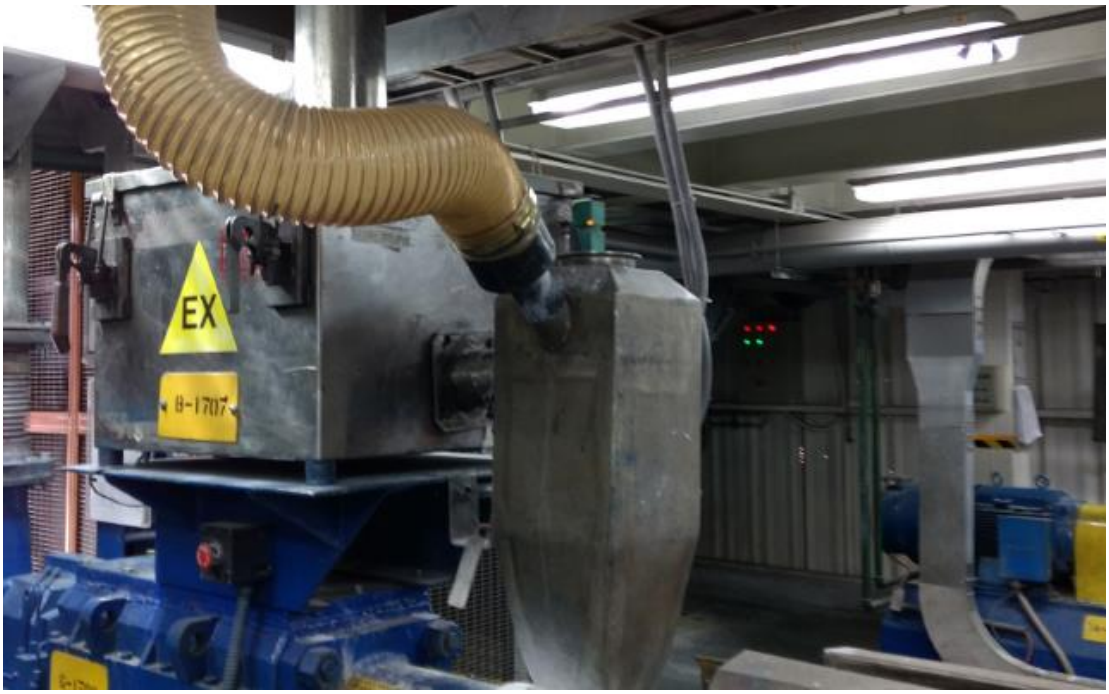


Figura 74 Unión de ductos de aspiración de polvo a una tolva de descarga de una extrusora.

5.3.2.13 Elevador de carga A.

Dentro de la producción Masterbatch; existe un elevador de carga usado para transportar los conos de transporte desde el primer nivel al segundo, en donde se alimentan las líneas de extrusión. Por factores de diseño; este equipo es sólo para el transporte de carga; por lo que no transporta personas.

Tiene un sistema de levante hidráulico; es cual es guiado y soportado de manera auxiliar por un sistema de cadenas. Tiene bastantes componentes electrónicos de seguridad que evitan su sobrecarga, mal cierre de sus compuertas, etc.

Si bien; su buen funcionamiento es de vital importancia para cargar las materias primas en cada una de las líneas de extrusión; existe medida de mitigación en caso una eventual falla del sistema.

La plataforma superior de carga tiene barandas frontales; las cuales pueden ser levantadas; permitiendo a los operadores subir los conos de transporte mediante el uso de grúas horquillas. Esto se debe realizar tomando todas las acciones de seguridad que permitan realizar la maniobra con condiciones seguras de operación.

Las siguientes figuras muestran el equipo recientemente definido.

Figura 75 Vista frontal de elevador de carga desde plataforma del segundo nivel.

Figura 76 Vista del elevador de carga desde plataforma del segundo nivel.

A modo de síntesis, la tabla 15 resume todos los equipos del área producción Masterbatch (MB) y sus respectivas funciones dentro del proceso.

Tabla 15 Equipos de producción Masterbatch y sus funciones dentro del proceso

Equipo	**Línea de producción**	**Función**
Mezclador A1	Preparación Materia prima	Homogenización de polvo (resina más pigmento)
Mezclador A2	Preparación Materia prima	Homogenización de polvo (resina más pigmento)
Mezclador B	Preparación Materia prima	Homogenización de polvo (resina más aditivos)
Mezclador C	Preparación Materia prima	Homogenización de granos
Extrusora A	Línea de extrusión A	Fundir el plástico y dar forma
Extrusora B	Línea de extrusión B	Fundir el plástico y dar forma
Extrusora C	Línea de extrusión C	Fundir el plástico y dar forma
Extrusora D	Línea de extrusión D	Fundir el plástico y dar forma
Tina A	Línea de extrusión A	Enfriar y solidificar el plástico
Tina C	Línea de extrusión C	Enfriar y solidificar el plástico
Tina D	Línea de extrusión D	Enfriar y solidificar el plástico
Secador A	Línea de extrusión A	Eliminar humedad del plástico
Secador C	Línea de extrusión C	Eliminar humedad del plástico
Secador D	Línea de extrusión D	Eliminar humedad del plástico
Pelletizador A	Línea de extrusión A	Cortar plástico en forma de pellets (soporta grandes capacidades)
Pelletizador B	Línea de extrusión B	Cortar plástico en forma de pellets (soporta capacidades mediana de producción)
Pelletizador C	Línea de extrusión C	Cortar plástico en forma de pellets (soporta grandes capacidades)
Pelletizador D	Línea de extrusión D	Cortar plástico en forma de pellets (soporta capacidades mediana de producción)
Tamizador A	Línea de extrusión A	Tamizar el masterbatch según tamaño de grano
Tamizador C	Línea de extrusión C	Tamizar el masterbatch según tamaño de grano

Equipo	Línea de producción	Función
Tamizador D	Línea de extrusión D	Tamizar el masterbatch según tamaño de grano
Transporte vibratorio A	Línea de extrusión A	Transportar el masterbatch producido hacia los conos de transporte
Transporte vibratorio C	Línea de extrusión C	Transportar el masterbatch producido hacia los conos de transporte
Transporte vibratorio D	Línea de extrusión D	Transportar el masterbatch producido hacia los conos de transporte
Cono	Transporte general de materias primas o producto	Permitir el transporte de materias primas de o producto terminado entre distintas áreas de la planta
Ensacadora A	Envasado de producto terminado	Envasar el gramaje requerido por saco de producto terminado
Ensacadora B	Envasado de producto terminado	Envasar el gramaje requerido por saco de producto terminado
Molino A	Reproceso	Permite picar grandes masas de solido que no fluyeron a través de las líneas de extrusión
Molino B	Reproceso	Permite picar grandes masas de solido que no fluyeron a través de las líneas de extrusión
Sistema Extractor Gases A	Líneas de extrusión A,B, C y D	Extraer los gases/vapores desde las líneas de extrusión
Sistema Extractor Polvo A	Zona de mezcladores A y B	Extraer el polvo del área de mezclado de polvo (resina y pigmentos).
Sistema Extractor Polvo B	Líneas de extrusión A,B, C y D	Extraer polvo de la descarga de producto a cada una de las líneas de extrusión (tolva)
Elevador de carga A	Producción General	Permite subir los conos de transporte hacia las tolvas superiores de la alimentación de las extrusoras

6 Evaluación de las técnicas de jerarquización.

Tabla 16 Ventajas y desventajas del método gráfico.

MÉTODO GRÁFICO		
Tipo	Cualitativo. Gráfico: Diagrama de flujo.	
Algunas variables	Variables cualitativas: Impacto ambiental. Seguridad. Calidad.	Tiempo de trabajo. Tiempo de entrega. Fiabilidad. Mantenibilidad.
Complejidad de cálculo	Baja: No requiere información numérica. Se sugiere uso de datos para establecer tiempos límites.	
Nivel de detalle en los resultados	Logra jerarquizar los equipos de producción en orden de relevancia para el proceso productivo. Rápido y simple, utiliza criterios determinados y un flujograma que facilita su uso.	
Observaciones		
Ventajas	Es simple, intuitivo. Su diagrama de flujo permite un soporte visual realizando una asimilación metodológica. No necesita mayor información sobre la fiabilidad de los equipos, por lo que es recomendable para plantas nuevas o renovadas en sus procesos en su totalidad.	
Desventajas	No es riguroso debido a que los límites los establece el operador. Depende de que los facilitadores de la información y quienes participan en el estudio mantengan un criterios coherente y sostenido a lo largo del análisis Se limita su aplicación a plantas nuevas.	

Tabla 17 Ventajas y desventajas del método de criticidad total por riesgo.

CRITICIDAD TOTAL POR RIESGO	
Tipo	Gráfico. Numérico. Mixto: cuantitativo y cualitativo.
Algunas variables	**Variable cualitativa:** Impacto de falla **Variable cuantitativa:** Probabilidad de ocurrencia (Frecuencia de falla "λ")
Complejidad de Cálculo/ Ejecución	**Baja:** El riesgo solo se calcula multiplicando ambas variables. Se requiere análisis cualitativo del impacto. Requiere información de la tasa de falla, pero en su defecto puede usarse opinión de expertos.
Nivel de detalle en los resultados	La relación entre ambas variables se aprecia de manera clara en una matriz de riesgo. Identifica con colores las áreas de menor o mayor criticidad.
Observaciones	
Ventajas	Bajas exigencias de aplicación, ya que exige datos históricos. Fácil construcción de matriz de criticidad. Rápida identificación de elementos críticos.
Desventajas	Análisis subjetivo. Calidad del análisis depende del nivel de conocimiento del grupo experto. Incorpora solo dos variables globales.

Tabla 18 Ventajas y desventajas del método RISK PRIORITY NUMBER (RPN).

RISK PRIORITY NUMBER (RPN)	
Tipo	Numérico Mixto: cuantitativo y cualitativo.
Algunas variables	Severidad de falla (impacto) Detectabilidad de la falla. Ocurrencia de falla (frecuencia)
Complejidad de Cálculo/ Ejecución	Baja: El número de priorización por riesgo es solo una multiplicación de todas las variables. Requiere tabla de puntuación de cada parámetro.
Nivel de detalle en los resultados	Los resultados se resumen en una tabla de ranking de mayor a menor en cuanto al valor final de RPN. Fácil reconocimiento de elementos de mayor prioridad en base al riesgo.
Observaciones	
Ventajas	Ranking permite rápido ordenamiento según riesgo. Bajas exigencias de aplicación. (Igual al modelo de criticidad total por riesgo). Incorpora la variable de Detectabilidad al análisis. Sirve como apoyo en otras técnicas de jerarquización como por ejemplo en FMECA.
Desventajas	No permite el uso de otros criterios. Parámetro de detectabilidad se traduce en que el método tiene más aplicabilidad a jerarquizar componentes de equipos. Análisis subjetivo. No tiene interpretación gráfica.

Tabla 19 Ventajas y desventajas del método de análisis de Pareto.

ANÁLISIS PARETO	
Tipo	Unicriterio. Gráfico. Cuantitativo.
Algunas variables	**Variables cuantitativas:** Costos de reparación. Tiempo fuera de servicio. Cantidad de fallas. Tiempo de detención del proceso.
Complejidad de cálculo	**Baja:** No requiere mayor análisis que la ponderación de las variables respecto al total. Se pueden utilizar softwares simples como Excel. Se debe obtener información de cada variable a ser evaluada.
Nivel de detalle en los resultados	Al ser una herramienta gráfica, los análisis de sensibilidad presentan menor dificultad que en otro tipo de técnicas, entrega información actual.
Observaciones	
Ventajas	Fácil comprensión e interpretación de resultados
Desventajas	Trabaja con un sólo criterio a la vez. Diagramas elaborados con diferentes variables pueden arrojar resultados distintos. No trabaja con variables cualitativas.

Tabla 20 Ventajas y desventajas del método de JACK KNIFE.

JACK KNIFE	
Tipo	Multicriterio. Gráfico. Cuantitativo.
Algunas variables	Variables cuantitativas: Tasa de falla. Tiempo medio de reparación (MTTR). Tiempo medio entre fallas (MTBF). Indisponibilidad.
Complejidad de Cálculo/ Ejecución	**Baja:** No existe necesidad de hacer uso de softwares especializados (basta Excel). La existencia de información cuantitativa es necesaria. Facilidad de obtención de curvas de iso-indisponibilidad.
Nivel de detalle en los resultados	Resultados gráficos de fácil interpretación. Facilidad de comparación entre equipos.
Observaciones	
Ventajas	Rápida identificación de los elementos críticos. Fácil construcción de diagrama de dispersión.
Desventajas	No incorpora variables cualitativas. No incorpora análisis o impacto en costos. Necesidad de base de datos estadísticos confiables.

Tabla 21 Ventajas y desventajas del método CSD.

COST SCATTER DIAGRAM (CSD)	
Tipo	Cuantitativo. Gráfico. Multicriterio.
Algunas variables	**Variables cuantitativas:** Costos. Frecuencias relativas y observaciones de falla. MTTR, MTBF, tasas de fallas. Indisponibilidad.
Complejidad de cálculo	**Media:** Dificultad de graficar curvas de nivel de dispersión en 3D con software tradicionales. Se recomienda utilizar software que pueda graficar en 3D y obtener curvas de nivel y planos de indisponibilidad.
Nivel de detalle en los resultados	Le entregan resultados gráficos, susceptibles de ser sensibilizados para simular escenarios. Entrega misma información que el diagrama Jack Knife, pero incorpora los impactos de costo.
Observaciones	
Ventajas	Fácil comprensión e interpretación de resultados. Al ser una extensión del diagrama de Jack Knife permite determinar fallas agudas y/o crónicas.
Desventajas	No incorpora variables cualitativas. Mayor dificultad en la elaboración del diagrama. No incorpora impacto en el proceso. Poca claridad en identificación de elementos críticos, depende del evaluador en asignar o reconocer la variable de mayor peso.

Tabla 22 Ventajas y desventajas del método AHP.

ANALYTIC HERARCHY PROCESS (AHP)	
Tipo	Multicriterio Mixta: cuantitativa/cualitativa
Algunas variables	**Variables cuantitativas:** Costos, Frecuencias (intervenciones, accidentes, fallas, otros) MTTR, MTBF, tasa de fallas Indisponibilidad **Variables cualitativas:** Severidad y probabilidad de detección de la falla. Impactos (ambientales, producción, seguridad y salud).
Complejidad de cálculo	**Media/Alta:** Ponderación de variables cuantitativas y cualitativas con respecto a la sumatoria total, según la importancia en el proceso o equipo. Cálculo de índice de consistencia que valida el método y su desarrollo. No requiere software especializado.
Nivel de detalle en los resultados	No entrega información gráfica. Entrega ponderación numérica considerando el impacto de todos los parámetros evaluados. Se puede realizar análisis de sensibilidad.
Observaciones	
Ventajas	Permite ponderar los pesos de cada parámetro según su importancia; mediante comparación entre pares. Entrega un ranking numérico de jerarquización de las alternativas. Se puede analizar la consistencia del modelo para no cometer errores.
Desventajas	Complejidad aumenta al incorporar mayor cantidad de criterios, ya que la matriz de comparaciones debe ser consistente. Método afecto al nivel de conocimiento del proceso o los equipos y/o la información cuantitativa existente.

Tabla 23 Ventajas y desventajas del método SMART.

SIMPLE MULTIATTRIBUTE RATING TECHNIQUES (SMART)	
Tipo	Multicriterio. Mixto; cuantitativo y cualitativo.
Algunas variables	**Variables cuantitativas:** Frecuencias de intervenciones, accidentes, fallas, otros. MTTR, MTBF, UT, DT, tasa de falla. Costos e Indisponibilidad. **Variables cualitativas:** Frecuencia, severidad y probabilidad de detección de falla. Impactos ambientales, producción, seguridad y salud ocupacional.
Complejidad de cálculo	**Baja:** Técnica con pocas etapas de ejecución. Asignación de puntaje de preferencia a cada criterio. Ponderación por el total. Sin dificultad matemática.
Nivel de detalle en los resultados	Los resultados tienen un carácter más subjetivo y de incertidumbre que los que entrega AHP, debido a que basa sus comparaciones en percepciones del tomador de decisiones.
Observaciones	
Ventajas	Permite analizar variables cuantitativas y cualitativas. Más rápido y simple que su par AHP. Útil cuando existen un gran número de criterios, que a diferencia de AHP complejiza su análisis.
Desventajas	No tiene algún método de validación. Requiere mayor supervisión que el AHP frente a errores no forzado de cálculos.

Tabla 24 Ventajas y desventajas del método Cuantitativo.

MÉTODO CUANTITATIVO	
Tipo	Multicriterio. Numérico. Cuantitativo.
Algunas variables	**Variables cuantitativas:** Costos. Tiempo medio de reparación (MTTR). Tiempo medio entre fallas (MTBF). Frecuencia de falla (λ).
Complejidad de Cálculo/ Ejecución	**Alto:** Alto grado de conocimiento de proceso. Alto requerimiento de información estadística. Requiere conocimiento en áreas de probabilidad y estadística.
Nivel de detalle en los resultados	Resultados se traducen en la indisponibilidad traducida al sistema por cada equipo. Resultados pueden ser apoyados por diagrama lógico funcional del proceso y otras técnicas como event space method.
Observaciones	
Ventajas	Representan el comportamiento de los equipos según datos históricos. Rápida identificación de equipos críticos. No afecto a subjetividad en el análisis. Incorpora análisis de costo. Representa la lógica funcional del proceso.
Desventajas	Requiere amplia base de datos. Susceptible a la confiabilidad de la fuente de datos estadísticas. Técnica requiere de conocimiento en área de probabilidad y estadística. No analiza variables cualitativas.

Tabla 25 Ventajas y desventajas del método FMECA.

FAILURE MODES EFFECTS AND CRITICALITY ANALYSIS (FMECA)	
Tipo	Multicriterio. Numérico / Cualitativa.
Algunas variables	**Variables cualitativas:** Listado de modos de falla. Efectos de la falla, consecuencias de la falla. Probabilidad de ocurrencia del modo de falla. Probabilidad de detección de falla. Severidad de la falla.
Complejidad de Cálculo/ Ejecución	**Media/alta:** Investigación de información por parte del personal de planta. Alto grado de conocimiento del proceso. Medidas de mitigación de modo de falla. Asignación de frecuencias e impactos en escala cualitativa para cada modo de falla.
Nivel de detalle en los resultados	Logra determinar el modo de falla crítico, y además de esto, medidas para atenuar o eliminarlo totalmente. Herramienta con mucha sinergia al aplicarse con RCA. Alto grado de detalle en el análisis. Considera medidas futuras a aplicar. Puede complementarse con otro método para evaluar criticidad (RPN)
Observaciones	
Ventajas	Muy útil para estrategia de mantenimiento en equipos. Combinable con cálculo de RPN. Permite analizar en detalle un fenómeno o falla. Modelo muy estructurado, con claridad en su ejecución.
Desventajas	Sólo aplicable a modo de falla. Exige alto tiempo de ejecución. Alto requerimiento técnico (de conocimiento).

7 Determinación de los equipos críticos del proceso.

Para comenzar con el proceso de identificación de los equipos críticos dentro de la producción de Masterbatches, es necesario en primera instancia definir la técnica de jerarquización a utilizar. Para esto es necesario evaluar la existencia de información estadística relativa a la mantención/fallas de los equipos.

Existen registros informales (cuadernos de registro) de fallas desde el año 2006, sin embargo, sólo entregan la cantidad de fallas por equipo y un valor general de los costos asociados a cada una de éstas.

Recientemente el departamento de mantención está implementando sistemas modernos de gestión; en donde cada falla es reportada mediante un aviso de avería, al cual se le asigna una orden de trabajo, en dónde: se planifica el trabajo, se vincula a un equipo inscrito en el sistema y se le vinculan todos los costos asociados al trabajo (horas por persona, y adquisición de repuestos).

No existe información de: tiempos de reparación, costos por pérdida de producción, costos por adquisición de repuestos, costos por horas hombre y si es que la falla implicó una detención de la producción.

Clariant exige de manera corporativa que en la determinación de equipos y/o componentes críticos de un sistema se consideren como factores: el riesgo para la seguridad de las personas o el medio ambiente y el posible impacto que tenga para la cadena productiva [Anexo 6]. Todas estas variables son cualitativas y deben ser evaluadas en base a proyecciones de impacto de cada falla de equipo.

Si bien cada equipo tiene una serie de posibles fallas funcionales; en este apartado se considera como falla al equipo en su totalidad, esto sería que el activo deje de otorgar su función primaria al proceso.

Es por estas razones, que la técnica de jerarquización seleccionada para determinar los equipos críticos en este trabajo de título es el Analytic herarchy process (AHP).

Esta técnica multicriterio; permite evaluar cada uno de los equipos en la cantidad de criterios que el evaluador considere necesario. Al ser un método mixto; permite generar el análisis usando tanto variables cuantitativas como cualitativas.

En el contexto de evaluación; existen variables cuantitativas (frecuencia de fallas, costos de fallas) y cualitativas (impacto a la seguridad de las personas, impacto a la producción, impacto al medio ambiente), por lo que el método permite integrar en el análisis la información numérica existente y las exigencias corporativas.

Si bien tiene una complejidad mayor a la hora del cálculo que el resto de los métodos investigados en este trabajo de título, permite una evaluación integral de los equipos. Considera el peso real de los parámetros de comparación entre las alternativas.

Además incorpora un procedimiento para evaluar si las evaluaciones/comparaciones realizadas fueron consistentes entre sí.

A continuación se procede a ejecutar las etapas que el AHP exige para su elaboración.

7.1 Determinación de los equipos críticos de la planta en base al método Analytic Herarchy Process (AHP).

1. Definir el objetivo.

El objetivo de este análisis es determinar los equipos de la producción Masterbatch de mayor criticidad para su proceso productivo.

2. Identificar las alternativas a ser evaluadas.

Las alternativas a ser evaluadas son los siguientes equipos ya descritos:

Tabla 26 Equipos a ser evaluados por técnica AHP.

N°	EQUIPO	N°	EQUIPO
1	Mezclador A1	18	Pelletizador D
2	Mezclador A2	19	Tamizador A
3	Mezclador B	20	Tamizador C
4	Mezclador C	21	Tamizador D
5	Extrusora A	22	Transporte vibratorio A
6	Extrusora B	23	Transporte vibratorio C
7	Extrusora C	24	Transporte vibratorio D
8	Extrusora D	25	Cono
9	Tina A	26	Ensacadora A
10	Tina C	27	Ensacadora B
11	Tina D	28	Molino A
12	Secador A	29	Molino B
13	Secador C	30	Sistema Extractor Gases A
14	Secador D	31	Sistema Extractor Polvo A
15	Pelletizador A	32	Sistema Extractor Polvo B
16	Pelletizador B	33	Elevador de carga A
17	Pelletizador C		

3. <u>Definir los criterios o variables en análisis.</u>

Los criterios definidos para el análisis son los siguientes:

- FF: Frecuencia de fallas.
- CF: Costo de fallas.
- SP: Impacto en la seguridad de las personas
- MA: Impacto al medio ambiente
- IP: Impacto a la producción

La incorporación de los criterios SP y MA; busca cumplir con la exigencia corporativa de evaluación que Clariant exige.

La adición del criterio IP es para considerar de manera cualitativa los impactos que en estricto rigor debiesen ser definidos por parámetros cuantitativos de confiabilidad, como el MTTR y sus costos de ineficiencia.

4. Definir la escala para cada criterio.

Las escalas de los criterios cuantitativos se basan en la recopilación de datos estadísticos de la cantidad de fallas ocurridas durante 7 años (desde mediados del año 2009 hasta mediados del año 2016). Este periodo fue definido según la disponibilidad de información en la base de datos del área de Mantenimiento.

a) Frecuencia de fallas

La definición de escala para este parámetro se realizó en base al análisis estadístico de la cantidad de fallas producidas por equipo, durante el periodo 2009-2016. [Anexo 7]. Según el análisis realizado, se definió la siguiente tabla de evaluación:

Tabla 27 Ponderación de la cantidad de fallas en AHP.

Frecuencia de fallas		
Descripción	valor numérico	Valor cualitativo
Cantidad de fallas entre [0 y 5] veces	1	nulo
Cantidad de fallas entre]5 y 10] veces	3	bajo
Cantidad de fallas entre]10 y 20] veces	5	medio
Cantidad de fallas entre]20 y 30] veces	7	alto
Cantidad de fallas entre [30 y 40] veces	9	muy alto

b) Costo de las fallas

La definición de escala para este parámetro se realizó en base al análisis estadístico de la cantidad de fallas producidas por equipo, durante el periodo 2009-2016 [Anexo 7]. Según el análisis realizado, se definió la siguiente tabla de evaluación:

Tabla 28 Ponderación de los costos de fallas en AHP.

Costos de la falla		
Descripción	valor numérico	Valor cualitativo
Valor entre [0;300.000] CLP	1	nulo
Valor entre]300.000; 1.000.000] CLP	3	bajo
Valor entre]1.000.000; 3.000.000] CLP	5	medio
Valor entre]3.000.000; 9.000.000] CLP	7	alto
Valor entre]9.000.000; 13.000.000] CLP	9	muy alto

c) Impacto en la seguridad de las personas.

Según grupo multidisciplinario se elaboró la siguiente tabla de evaluación:

Tabla 29 Ponderación de los posibles impactos a la seguridad de las personas de las fallas.

Impacto seguridad a las personas		
Descripción	valor numérico	Valor cualitativo
No afecta la seguridad de las personas	1	nulo
Posibles lesiones leves a los operadores	3	bajo
Riesgo de lesiones de mediana gravedad	5	medio
Riesgo de graves lesiones	7	alto
Muerte del operador	9	muy alto

d) Impacto al medio ambiente.

Según grupo multidisciplinario se elaboró la siguiente tabla de evaluación:

Tabla 30 Ponderación del impacto del medio ambiente de las fallas.

Impacto al medio ambiente		
Descripción	valor numérico	Valor cualitativo
No afecta al medio ambiente	1	nulo
Impacto leve/reversible/mitigable	3	medio
Impacto severo, de difícil mitigación	7	alto
Daño irreversible al ambiente	9	muy alto

e) Impacto a la producción MB.

Según grupo multidisciplinario se elaboró la siguiente tabla de evaluación:

Tabla 31 Ponderación del impacto a la producción de las fallas.

Impacto a la producción MB.		
Descripción	valor numérico	Valor cualitativo
No afecta la continuidad de los procesos. Equipo sin mayor requerimiento.	1	bajo
Detiene parcialmente proceso productivo. Es de rápida reparación o existe alternativa para continuar el proceso; de igual o mayor capacidad.	3	leve
Detiene parcialmente proceso productivo. Existe alternativa para continuar el proceso; pero de menor capacidad.	5	medio
Detiene el proceso productivo; pero existe facilidad de adquisición de repuestos	7	alto
Detiene el proceso productivo; pero existe facilidad de adquisición de repuestos	9	muy alto

5. <u>Evaluar cada alternativa en cada criterio escogido.</u>

Los equipos: Extrusora D y Pelletizador B no poseen data histórica de número de fallas ni de sus costos en el período 2009-2016. Esto se debe a que son equipos que fueron recién adquiridos a mediados del 2015 y presentan una corta vida de uso, no obstante, no es correcto realizar el análisis con una data de cero fallas y de costo cero. Para solucionar este problema se trabajará bajo el supuesto de que ambos equipos tendrán un comportamiento similar al de sus equipos similares; por lo que ambos equipos

tendrán valores medios en ambos parámetros. De esto; se deduce que la frecuencia de falla y los costos en cada uno de los equipos serán estimados de la siguiente manera:

$$FF\ Equipo\ X = \frac{\sum_{i=1}^{n} FF\ (EQUIPO)i}{n}, \tag{39}$$

$$CF\ Equipo\ X = \frac{\sum_{i=1}^{n} CF\ (EQUIPO)i}{n}, \tag{40}$$

siendo n la cantidad de equipos existentes en planta de similar naturaleza, FF la frecuencia estimada de falla en el periodo y CF el costo de falla total estimado en el período.

Los resultados estadísticos obtenidos se resumen en las siguientes gráficas de costo de fallas y número de fallas (figura 77 y figura 78).

Para mayor detalle ver [Anexo 8].

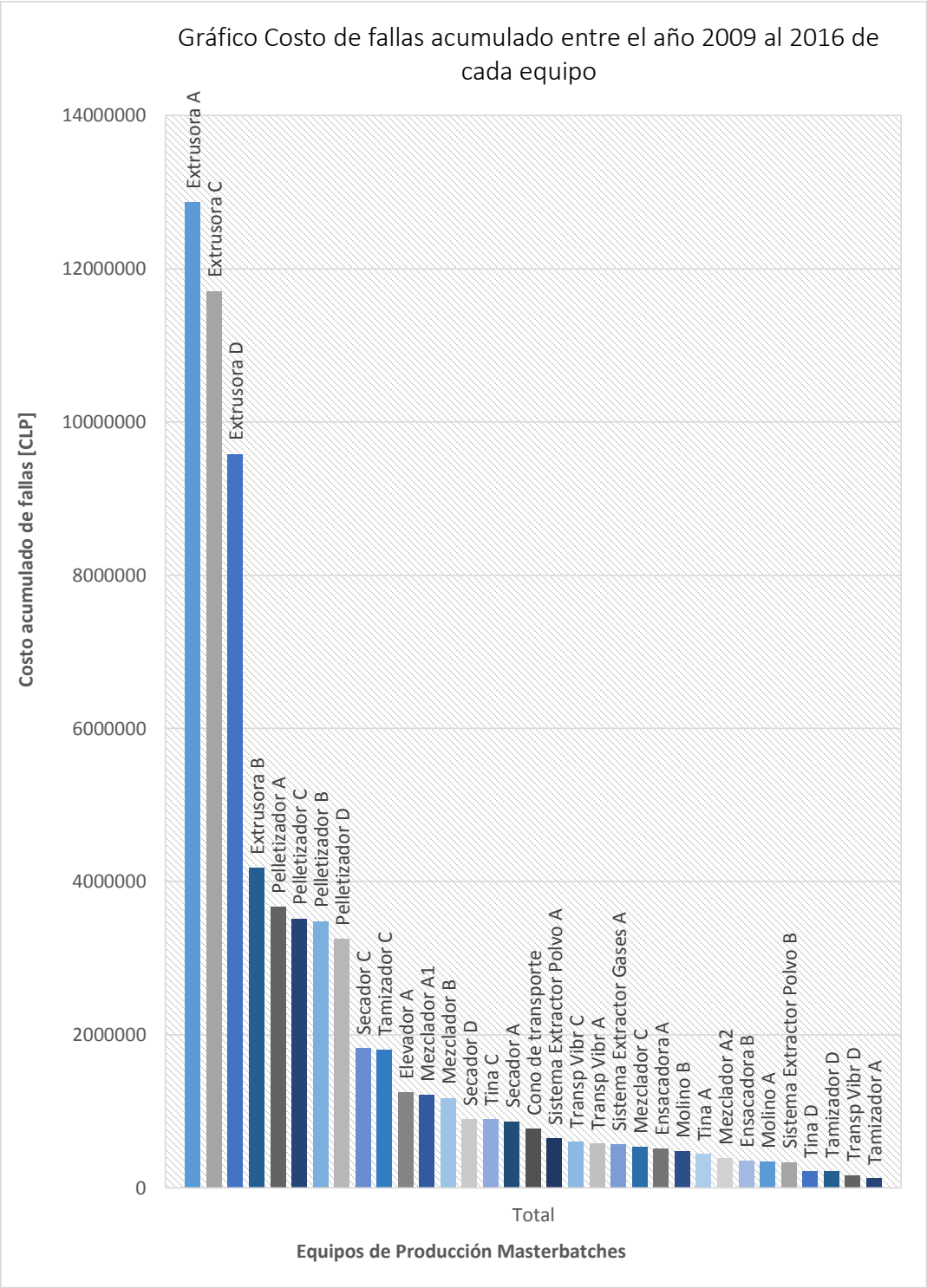


Figura 77 Gráfico de costos acumulados de fallas por equipos.

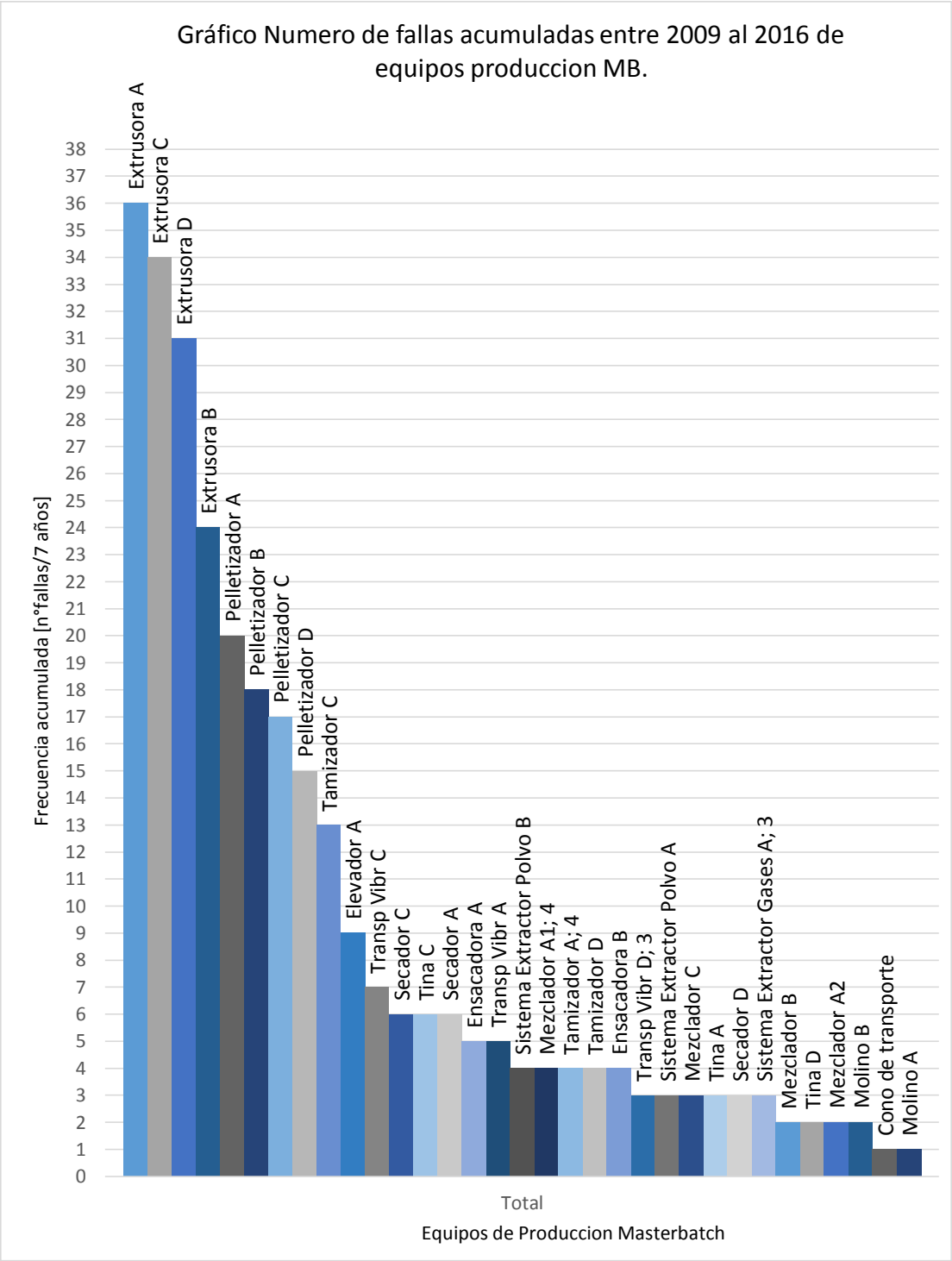


Figura 78 Gráfico de cantidad de fallas acumuladas por equipo.

Según la base de datos de fallas y la evaluación de los posibles impactos de éstas por un comité de expertos, el cual estuvo compuesto por técnicos con amplio conocimiento de la planta en el área mecánica, eléctrica, instrumentación y control e ingenieros del área de automatización, mecánica y prevención de riesgos; se obtuvo la siguiente evaluación:

Tabla 32 Evaluación de los equipos en cada parámetro definido.

		Criterios de comparación					Valores relativos por parámetro				
N°	EQUIPO	FF	CF	SP	MA	IP	FF	CF	SP	MA	IP
1	Mezclador A1	1	5	7	3	5	0,011	0,036	0,055	0,064	0,040
2	Mezclador A2	1	3	7	1	3	0,011	0,022	0,055	0,021	0,024
3	Mezclador B	1	5	3	1	5	0,011	0,036	0,024	0,021	0,040
4	Mezclador C	1	3	3	1	5	0,011	0,022	0,024	0,021	0,040
5	Extrusora A	9	9	7	1	9	0,097	0,065	0,055	0,021	0,072
6	Extrusora B	7	7	5	1	3	0,075	0,050	0,039	0,021	0,024
7	Extrusora C	9	9	7	1	7	0,097	0,065	0,055	0,021	0,056
8	Extrusora D	9	9	7	1	5	0,097	0,065	0,055	0,021	0,040
9	Tina A	1	3	1	3	3	0,011	0,022	0,008	0,064	0,024
10	Tina C	3	3	1	3	3	0,032	0,022	0,008	0,064	0,024
11	Tina D	1	1	1	3	3	0,011	0,007	0,008	0,064	0,024
12	Secador A	3	3	3	1	5	0,032	0,022	0,024	0,021	0,040
13	Secador C	3	5	3	1	5	0,032	0,036	0,024	0,021	0,040
14	Secador D	1	3	3	1	5	0,011	0,022	0,024	0,021	0,040
15	Pelletizador A	5	7	7	1	5	0,054	0,050	0,055	0,021	0,040
16	Pelletizador B	5	7	5	1	3	0,054	0,050	0,039	0,021	0,024
17	Pelletizador C	5	7	7	1	5	0,054	0,050	0,055	0,021	0,040
18	Pelletizador D	5	7	5	1	3	0,054	0,050	0,039	0,021	0,024
19	Tamizador A	1	1	3	1	7	0,011	0,007	0,024	0,021	0,056
20	Tamizador C	5	5	3	1	7	0,054	0,036	0,024	0,021	0,056
21	Tamizador D	1	1	3	1	7	0,011	0,007	0,024	0,021	0,056
22	Transporte vibr. A	1	3	3	1	1	0,011	0,022	0,024	0,021	0,008
23	Transporte vibr. C	3	3	3	1	1	0,032	0,022	0,024	0,021	0,008
24	Transporte vibr. D	1	1	3	1	1	0,011	0,007	0,024	0,021	0,008
25	Cono	1	3	1	1	1	0,011	0,022	0,008	0,021	0,008
26	Ensacadora A	1	3	3	1	3	0,011	0,022	0,024	0,021	0,024

		Criterios de comparación					Valores relativos por parámetro				
N°	EQUIPO	FF	CF	SP	MA	IP	FF	CF	SP	MA	IP
27	Ensacadora B	1	3	3	1	3	0,011	0,022	0,024	0,021	0,024
28	Molino A	1	3	1	1	1	0,011	0,022	0,008	0,021	0,008
29	Molino B	1	3	1	1	1	0,011	0,022	0,008	0,021	0,008
30	Sistema Extr. Gases A	1	3	7	3	1	0,011	0,022	0,055	0,064	0,008
31	Sistema Extr. Polvo A	1	3	5	5	5	0,011	0,022	0,039	0,106	0,040
32	Sistema Extr. Polvo B	1	3	1	1	1	0,011	0,022	0,008	0,021	0,008
33	Elevador de carga A	3	5	7	1	3	0,032	0,036	0,039	0,021	0,024

Total	93	139	127	47	125

6. Cuantificar el peso de cada uno de los criterios en el objetivo final.

Para realizar las comparaciones de a pares entre cada uno de los criterios se utilizó la siguiente escala comparativa:

Tabla 33 Valores ponderados de comparación entre criterios.

Juicio	**Descripción**	**Valor numérico**
Equivalente	Los 2 parámetros contribuyen de igual manera a la toma de decisión.	1 2
Leve	Uno de los parámetros es levemente de mayor importancia que el otro en cuanto a la toma de decisión.	3 4
Moderado	Uno de los parámetros muestra una superioridad considerable en la toma de decisión en comparación con el otro.	5 6
Fuerte	Uno de los parámetros presenta una notoria superioridad en cuanto a su influencia en la toma de decisión.	7 8

Juicio	Descripción	Valor numérico
Extremo	Uno de los parámetros presenta una importancia tan alta comparativamente al otro que minimiza su importancia	9 10

Una vez definida la escala de comparación; se debe desarrollar la matriz de comparaciones. Para mitigar la subjetividad en las comparaciones entre criterios; ésta fue generada unificando criterio con un grupo multidisciplinario de alto conocimiento de los procesos y de las exigencias corporativas.

El resultado de las comparaciones entre criterios se muestra en la siguiente matriz:

$$\begin{array}{c|c} & \begin{array}{ccccc} FF & CF & SP & MA & IP \end{array} \\ \begin{array}{c} FF \\ CF \\ SP \\ MA \\ IP \end{array} & \begin{bmatrix} 1 & 1/5 & 1/7 & 1/4 & 1/8 \\ 5 & 1 & 1/4 & 1/4 & 1/5 \\ 7 & 4 & 1 & 3 & 1 \\ 4 & 4 & 1/3 & 1 & 1/4 \\ 8 & 5 & 1 & 4 & 1 \end{bmatrix} \end{array}$$

Figura 79 Matriz resultante de comparación entre criterios.

7. <u>Determinar la ponderación de cada criterio y la consistencia del modelo.</u>

Para determinar la ponderación de cada criterio, se normaliza la matriz de comparaciones.

El resultado de la matriz normalizada es el siguiente:

$$\begin{bmatrix} 0{,}040 & 0{,}014 & 0{,}052 & 0{,}029 & 0{,}049 \\ 0{,}200 & 0{,}070 & 0{,}092 & 0{,}029 & 0{,}078 \\ 0{,}280 & 0{,}282 & 0{,}367 & 0{,}353 & 0{,}388 \\ 0{,}160 & 0{,}282 & 0{,}122 & 0{,}118 & 0{,}097 \\ 0{,}320 & 0{,}352 & 0{,}367 & 0{,}471 & 0{,}388 \end{bmatrix}$$

Calculando el promedio de valor por fila se obtendrán los vectores propios, que corresponde al valor de ponderación de cada uno de los criterios (w_i).

$$\begin{pmatrix} FF \\ CF \\ SP \\ MA \\ IP \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \\ w_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (\sum_{j=1}^{5} a_{1j})/5 \\ (\sum_{j=1}^{5} a_{2j})/5 \\ (\sum_{j=1}^{5} a_{3j})/5 \\ (\sum_{j=1}^{5} a_{4j})/5 \\ (\sum_{j=1}^{5} a_{5j})/5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0{,}03689 \\ 0{,}09384 \\ 0{,}33396 \\ 0{,}15574 \\ 0{,}37957 \end{pmatrix} \approx \begin{pmatrix} 3{,}69 \\ 9{,}38 \\ 33{,}40 \\ 15{,}57 \\ 37{,}96 \end{pmatrix}, \qquad (41)$$

siendo “j”; el número de cada columna e “i” el número de fila de la matriz normalizada.

De los resultados obtenidos se aprecia que los caracteres de mayor peso son: el impacto a la producción (37,96%) y el impacto a la seguridad de las personas (33,40%).

8. <u>Determinar el índice de inconsistencia y el radio de inconsistencia.</u>

Ya determinados los pesos de cada uno de los criterios; el método debe ser validado.

Lo primero que se debe calcular es el valor de λ_{max}. Éste es calculado mediante la ecuación (32).

Reemplazando en la ecuación (32); se obtiene la siguiente expresión:

$$\begin{pmatrix} 1 & (\frac{1}{5}) & (\frac{1}{7}) & (\frac{1}{4}) & (\frac{1}{8}) \\ 5 & 1 & (\frac{1}{4}) & (\frac{1}{4}) & (\frac{1}{5}) \\ 7 & 4 & 1 & 3 & 1 \\ 4 & 4 & (\frac{1}{3}) & 1 & (\frac{1}{4}) \\ 8 & 5 & 1 & 4 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 0{,}03689 \\ 0{,}09384 \\ 0{,}33396 \\ 0{,}15574 \\ 0{,}37957 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0{,}1897 \\ 0{,}4766 \\ 1{,}8143 \\ 0{,}8849 \\ 2{,}1008 \end{pmatrix} = \lambda max * wi$$

$$\begin{pmatrix} 0{,}1897 \\ 0{,}4766 \\ 1{,}8143 \\ 0{,}8849 \\ 2{,}1008 \end{pmatrix} = \lambda max * \begin{pmatrix} 0{,}03689 \\ 0{,}09384 \\ 0{,}33396 \\ 0{,}15574 \\ 0{,}37957 \end{pmatrix}$$

$$\lambda \max = \begin{pmatrix} 5{,}143802334 \\ 5{,}079014391 \\ 5{,}432806549 \\ 5{,}681753084 \\ 5{,}53465075 \end{pmatrix}$$

Finalmente se obtiene λ max calculando el promedio de los valores obtenidos

$$\overline{\lambda max} = 5{,}37440542.$$

Ya obtenido este valor, se calcula el índice de inconsistencia mediante la ecuación (36). El resultado obtenido es el siguiente:

$$I_c = \frac{(5{,}37440542 \quad - 5)}{(4)} = 0{,}093601$$

Finalmente se debe calcular el radio de consistencia mediante la ecuación (37).

El valor que se usará de IA (índice de consistencia de una matriz de comparaciones generada de manera aleatoria) será de 1,11 según la tabla 13.

Reemplazando los valores en (37), se obtiene:

$$R_c = \frac{0{,}09360136}{1{,}11} = 0{,}08432$$

El resultado de radio de inconsistencia es menor a 0,1; por lo que los juicios son considerados aceptables.

9. Determinar la jerarquía/criticidad final de las alternativas.

Finalmente se calcula el valor relativo a cada una de las alternativas. Su cálculo no es más que la suma del producto de sus valores ponderados de cada criterio por su respectivo peso calculado.

A continuación se adjuntan los equipos ordenados de mayor a menor criticidad calculada según el método AHP.

Tabla 34 Ponderaciones finales de criticidad obtenidas por AHP ordenadas de mayor a menor.

N°	EQUIPO	PONDERACION FINAL
5	Extrusora A	5,87
7	Extrusora C	5,26
31	Sistema Extractor Polvo A	4,73
1	Mezclador A1	4,73
8	Extrusora D	4,65
15	Pelletizador A	4,36
17	Pelletizador C	4,36
20	Tamizador C	3,78
30	Sistema Extractor Gases A	3,38
6	Extrusora B	3,31
2	Mezclador A2	3,33
19	Tamizador A	3,35
21	Tamizador D	3,35
18	Pelletizador D	3,23
16	Pelletizador B	3,23
13	Secador C	3,10
33	Elevador de carga A	3,01
12	Secador A	2,96

N°	EQUIPO	PONDERACION FINAL
3	Mezclador B	3,02
4	Mezclador C	2,88
14	Secador D	2,88
10	Tina C	2,49
9	Tina A	2,41
11	Tina D	2,28
26	Ensacadora A	2,27
27	Ensacadora B	2,27
23	Transporte vibratorio C	1,75
22	Transporte vibratorio A	1,67
24	Transporte vibratorio D	1,53
25	Cono de transporte	1,14
28	Molino A	1,14
29	Molino B	1,14
32	Sistema Extractor Polvo B	1,14

8 Análisis de resultados obtenidos mediante el AHP.

El análisis de los resultados obtenidos mediante la aplicación de la técnica de jerarquización de activos AHP; se resume de la siguiente manera:

a) Peso de cada uno de los parámetros elegidos:

Los pesos de los parámetros obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 35 Resumen de pesos obtenidos por parámetros del AHP.

Parámetro	Abreviación	Peso [%]
Frecuencia de Fallas	FF	3,69
Costos de Fallas	CF	9,38
Impacto en la Seguridad de las personas	SP	33,40
Impacto al medio Ambiente	MA	15,57
Impacto a la Producción	IP	37,96

Se aprecia que el parámetro de mayor incidencia en la determinación de los equipos críticos, resultó ser el de impacto a la producción (37,96%). Esto tiene plena coherencia con el contexto operativo de la planta. Este parámetro cualitativo fue definido para representar la ausencia de datos estadísticos del tiempo medio de reparación (MTTR) y por ende la indisponibilidad que genera la falla al sistema. A la vez contempla los costos por pérdida de producción; los cuales pueden ser la cantidad de kilos perdidos de fabricación como también la pérdida de clientes; ya que múltiples pedidos de fabricación se realizan con poco tiempo de anticipación y con un plazo de entrega fijo.

El segundo parámetro de mayor incidencia es el de impacto en la seguridad de las personas (33,40 %). Como ya ha sido mencionado en este trabajo de título, Clariant mantiene políticas corporativas estrictas en cuanto a sus prioridades. Una de ellas es velar por la seguridad de cada uno de sus trabajadores. Esta cultura está muy arraigada en todo el personal de la compañía, por lo que el alto valor de peso del parámetro tiene coherencia con el contexto operativo.

En tercer lugar se ubica el impacto al medio ambiente (15,57%). Si bien este parámetro tiene la misma importancia corporativa para Clariant, su baja ponderación se debe a que la planta productiva Masterbatches no genera mayores riesgos para el medio ambiente. No debiesen existir emisiones de gases ni tampoco derrames de efluentes contaminados en condiciones normales. El único riesgo ambiental que presenta la planta es el de emanar material particulado a distintas concentraciones al medio ambiente. Algunos equipos de la planta tienen la función de evitar este fenómeno, por lo que se justifica el resultado obtenido del parámetro.

Se evidencia que el cuarto mayor peso obtenido es el del costo de las fallas (9,38%). Este parámetro en análisis fue utilizado como una variable cuantitativa. El parámetro de costos incluye los repuestos necesarios para revertir la condición de falla de los equipos y los costos por hora hombre para la elaboración del trabajo. Su resultado tiene una ponderación menor; ya que los costos de reparación de todos los equipos resultó ser de una magnitud baja en relación a la evaluación de los impactos por su ocurrencia. Esto fue determinado por el grupo de expertos descrito en el apartado anterior. El máximo costo de un equipo fue el de la Extrusora A con un valor de 12.867.125 [CLP] y el mínimo fue el del Tamizador A con un costo de 124.450 [CLP]. Al existir una brecha considerable entre el máximo y mínimo valor; el parámetro tomó una magnitud de peso considerable.

Finalmente se aprecia que el parámetro con menor importancia a la hora de la toma de decisión fue el de frecuencia de fallas (3,69%). Esto se debe a que un equipo puede presentar una alta tasa de fallas en el tiempo, pero si éstas no tienen un mayor impacto en el negocio, no se hace necesario considerar el parámetro como un factor crítico del análisis. Dentro del marco estadístico obtenido; pocas fallas presentaron un alto costo; es por esto que la magnitud de este criterio fue baja.

Para ejemplificar lo mencionado, el siguiente gráfico (figura 80), muestra cada una de las fallas de la extrusora A (equipo de mayor frecuencia de fallas) y el costo de

reparación de cada una de ellas ordenado de menor a mayor según su fecha de ocurrencia.

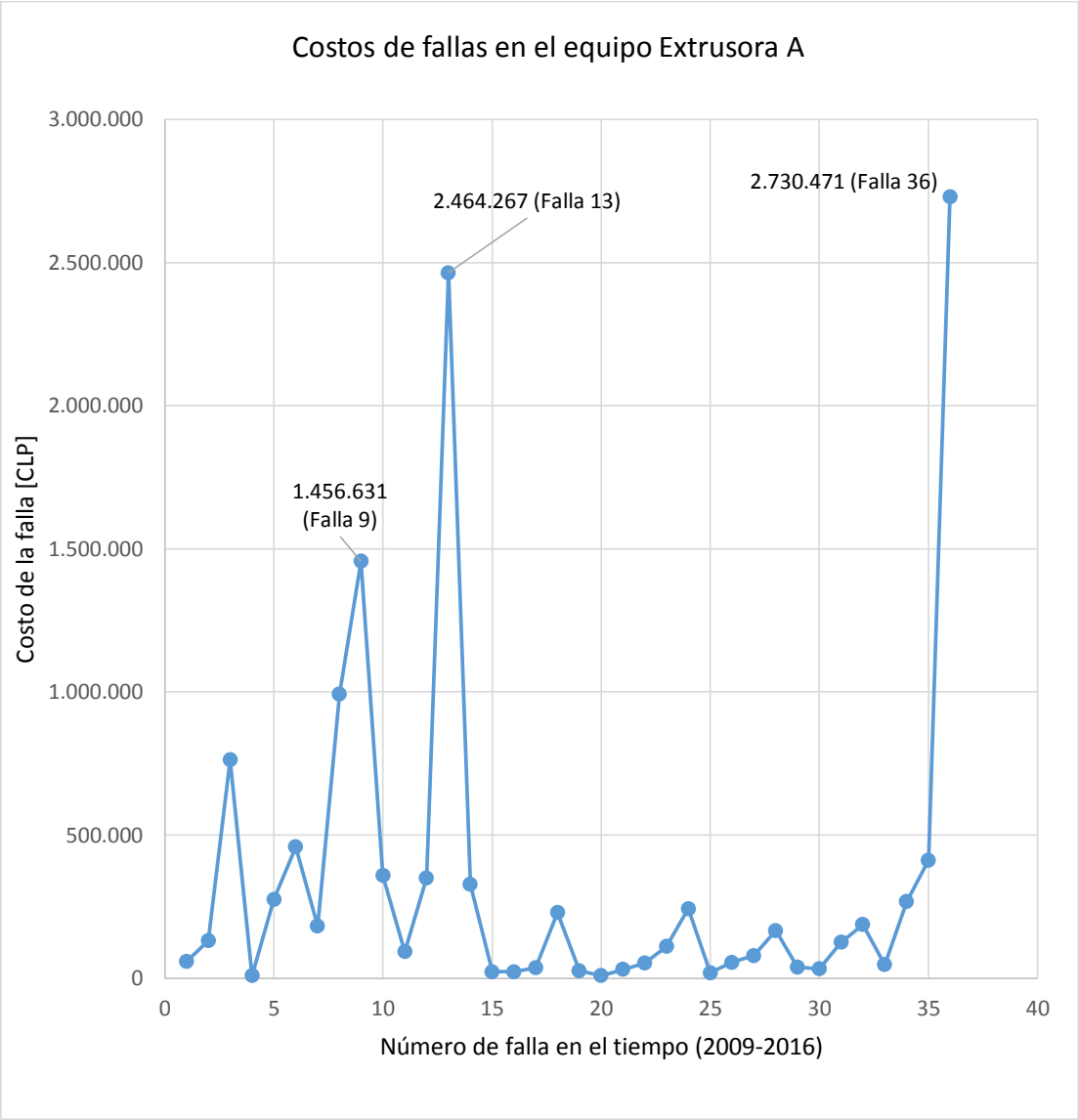


Figura 80 Costos por falla en la Extrusora A

Se puede apreciar de manera clara; que sólo 3 fallas (9,13 y 36); tienen un costo considerable de reparación. Es por esto que el parámetro frecuencia de fallas (FF); asume una magnitud de peso pequeña.

b) Determinación de los equipos críticos.

El uso de la técnica AHP entregó una tabla con valores ordenados de mayor a menor; según su valor ponderado final de criticidad, sin embargo, no acota cuál es el límite para decidir hasta qué magnitud de ponderación se considerará equipo crítico.

Debido a esta problemática; el rango total de ponderaciones será dividido en tres intervalos de igual amplitud; emulando la estratificación con la que jerarquizan las técnicas de evaluación por riesgo.

Esto entrega los siguientes resultados:

Tabla 36 Ponderación final de criticidad de equipos según AHP asumiendo criterios de modelos de riesgo.

EQUIPO	PONDERACION FINAL
Extrusora A	5,87
Extrusora C	5,26
Sistema Extractor Polvo A	4,73
Mezclador A1	4,73
Extrusora D	4,65
Pelletizador A	4,36
Pelletizador C	4,36
Tamizador C	3,78
Sistema Extractor Gases A	3,38
Extrusora B	3,31
Mezclador A2	3,33
Tamizador A	3,35
Tamizador D	3,35
Pelletizador D	3,23
Pelletizador B	3,23
Secador C	3,10
Elevador de carga A	3,01
Secador A	2,96
Mezclador B	3,02
Mezclador C	2,88

EQUIPO	PONDERACION FINAL
Secador D	2,88
Tina C	2,49
Tina A	2,41
Tina D	2,28
Ensacadora A	2,27
Ensacadora B	2,27
Transporte vibratorio C	1,75
Transporte vibratorio A	1,67
Transporte vibratorio D	1,53
Cono de transporte	1,14
Molino A	1,14
Molino B	1,14
Sistema Extractor Polvo B	1,14

Según el análisis realizado se obtiene que los equipos críticos son: Extrusora A, Extrusora C, Sistema extractor de Polvo A, Mezclador A1, Extrusora D, Pelletizador A y el Pelletizador C.

Además de estos, se destaca el Tamizador C por ser el equipo más cercano al intervalo de valores ponderados como equipos críticos y por tener un valor ponderado bastante alto en comparación a sus pares de estrato.

Para tener una visión amplia del análisis; se se compara los resultados mediante el uso de la herramienta analítica Jack Knife y la evaluación de un criterio por si sólo.

La figura 81, muestra los resultados obtenidos mediante la herramienta Jack Knife, mientras que la figura 82 entrega el resultado del análisis AHP, considerando sólo la variable impacto a la producción.

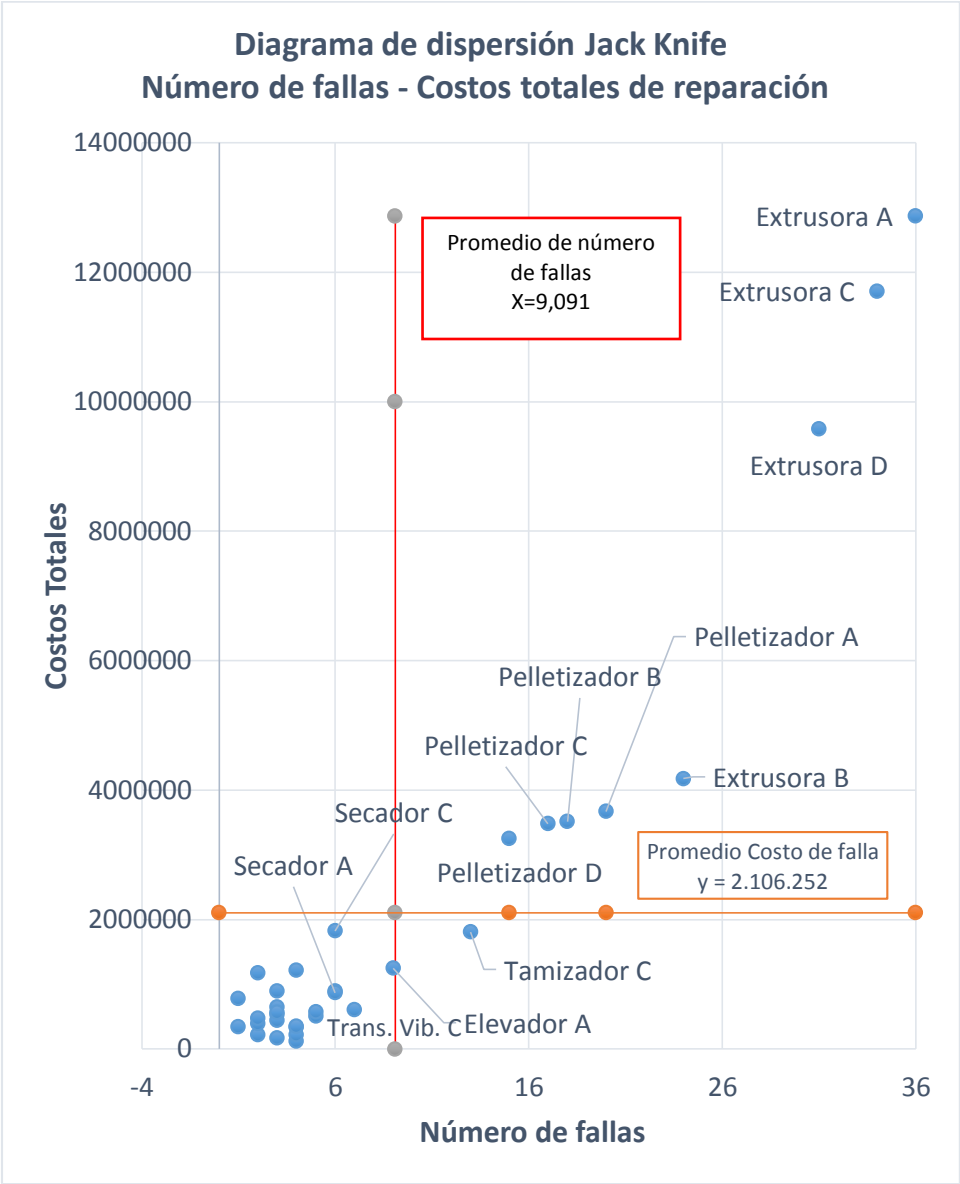


Figura 81 Diagrama de dispersión Jack Knife de la frecuencia de falla acumulada vs sus costos acumulados por equipos.

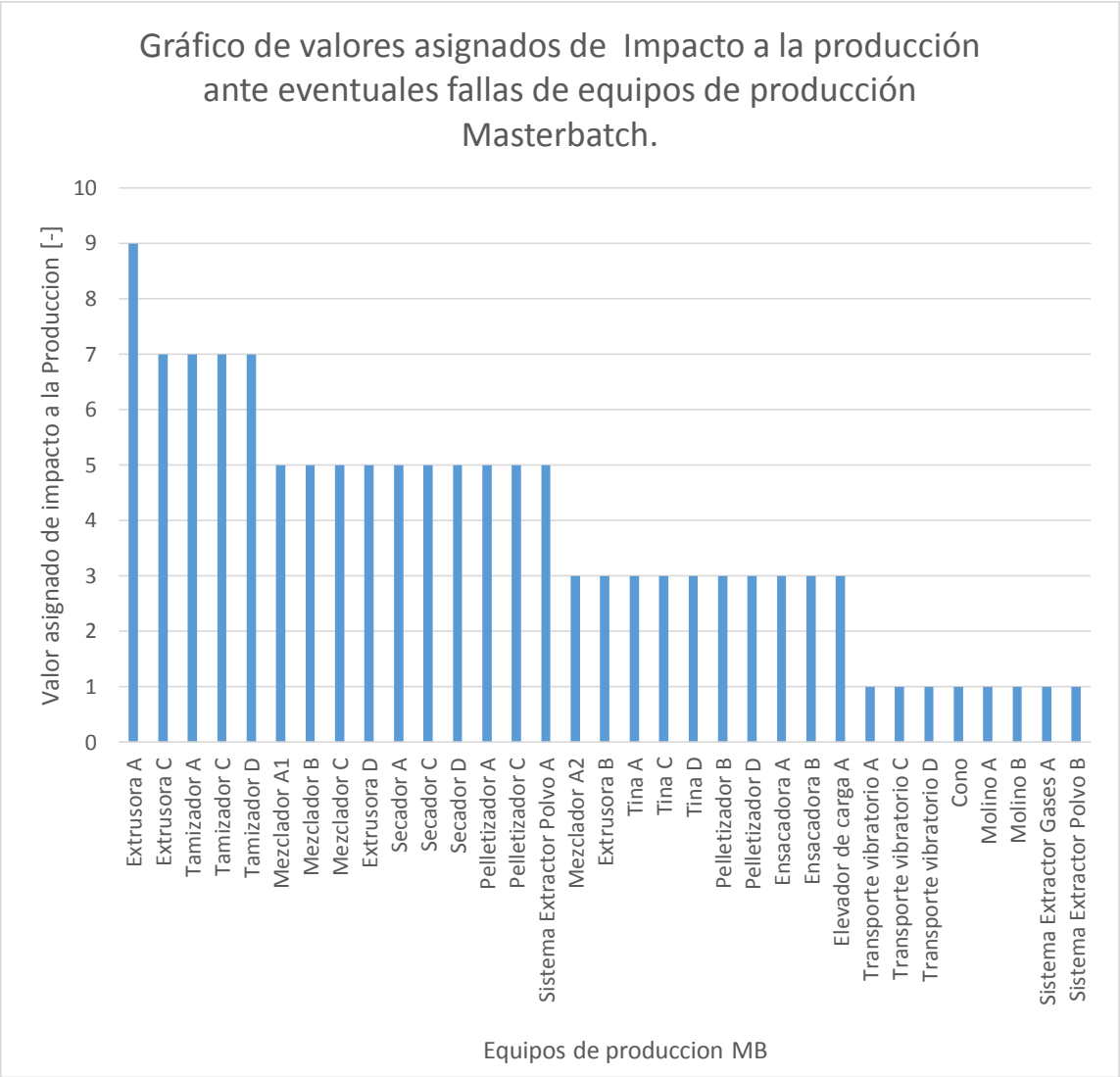


Figura 82 Valores asignados de impacto a la producción de equipos de producción Masterbatch.

Según el diagrama de dispersión Jack Knife del número de fallas (frecuencia) y sus costos totales por equipo, se identifica la criticidad de los equipos según el cuadrante que tome cada máquina

Tabla 37 identificación de equipos críticos mediante el diagrama de dispersión de Jack Knife del número de fallas y sus costos totales por equipo.

Cuadrante	Equipo	Número de fallas	Suma de costos totales
Cuadrante I	Extrusora A	36	12867125
	Extrusora C	34	11706087
	Extrusora D	31	9583619
	Extrusora B	24	4177631
	Pelletizador A	20	3671093
	Pelletizador B	18	3516040
	Pelletizador C	17	3480516
	Pelletizador D	15	3254412
Cuadrante IV	Tamizador C	13	1809266
	Elevador A	9	1246609
Cuadrante III	Transp Vibr C	7	609401
	Secador C	6	1823388
	Tina C	6	897906
	Secador A	6	868338
	Ensacadora A	5	511920
	Transp Vibr A	5	577355
	Sistema Extractor Polvo B	4	335402
	Mezclador A1	4	1218884
	Tamizador A	4	124450
	Tamizador D	4	221931
	Ensacadora B	4	355306
	Transp Vibr D	3	170297
	Sistema Extractor Polvo A	3	646660
	Mezclador C	3	533506
	Tina A	3	443290
	Secador D	3	898130
	Sistema Extractor Gases A	3	567728
	Mezclador B	2	1176440
	Tina D	2	223313
	Mezclador A2	2	392580

Cuadrante	Equipo	Número de fallas	Suma de costos totales
	Molino B	2	477181
	Cono de transporte	1	780268
	Molino A	1	340256

Los equipos considerados como críticos serían aquellos ubicados en el primer cuadrante, es decir, todas las Extrusoras y todos los Pelletizadores; lo cual contrasta con el resultado obtenido por el AHP. Esto se debe a que el diagrama Jack Knife no contempla parámetros cualitativos de evaluación de otros impactos que puedan tener las fallas de cada uno de los equipos.

Analizando sólo el parámetro de impacto a la producción se evidencia que los equipos de mayor impacto son sólo las extrusoras A, C y los tamizadores A, C y D.

El análisis entonces se hace consistente; ya que no todas las extrusoras y pelletizadores tienen igual repercusión en la producción ante una eventual falla. Cada una de las extrusoras tiene una distinta capacidad de producción y diferente versatilidad para elaborar productos en base a sus materias primas. En el caso de los Pelletizadores; existe un equipo en configuración stand-by; el cual ante cualquier falla de uno de sus homólogos, entrará en funcionamiento; evitando así la detención de una línea.

Este análisis demuestra que la metodología AHP; funciona de manera integral en la toma de decisiones; teniendo una buena aplicación para el contexto de información existente en la planta.

En base al alto impacto en la producción previamente analizado de los Tamizadores; se toma la decisión de incluirlo como un equipo crítico de la planta (Los 3 tamizadores tienen igual capacidad de funcionamiento y su constructividad es similar).

9 Desarrollo de planes de mantenimiento a los equipos críticos.

Ya determinados los equipos críticos para la producción Masterbatch; sólo queda finalizar el proceso generando un conjunto de estrategias de mantenimiento por cada equipo. El conjunto de estrategias de mantenimiento que se aplicarán a cada uno de los equipos se les denominará plan de mantenimiento o plan maestro de mantención.

La elaboración de cada uno de los planes se realizó aplicando la metodología RCM; en específico usando la herramienta FMEA.

El uso de esta herramienta exige conocer todos los componentes del equipo; sus funciones y conocer las fallas funcionales/potenciales. Una vez definida las funciones del equipo se debe identificar cada uno de los modos de fallas, sus efectos y consecuencias.

Una vez se haya evaluado cada modo de falla y sus consecuencias; se debe realizar el análisis de qué actividad o estrategia logrará prevenir de manera eficiente la falla potencial detectada.

Cada plan maestro divide al equipo en componentes o subsistemas; a los que se les detalla los siguientes ítems

- Actividad de mantenimiento a realizar.
- Frecuencia.
- Duración estimada.
- Tipo de estrategia.
- Necesidad de repuestos.
- Implicancia de detención para su ejecución.
- Técnico ejecutor.
- Complicación adicional.

Para la elaboración de cada uno de los planes, se incluyeron los criterios de disponibilidad de recursos humanos y recursos técnicos existentes dentro del área de Mantenimiento y energías.

El personal existente dentro del área tiene poco tiempo muerto. Al estar todas las áreas de la compañía bajo estrategias de mantenimiento correctivo no planificado; la cantidad de avisos de averías es muy alta por día; lo cual dificulta la planificación de un grupo de trabajo.

Es por esta razón que los planes fueron diseñados para ser ejecutados por dos técnicos (un mecánico y un eléctrico); los cuales dediquen el cien por ciento de su tiempo en la ejecución del conjunto de actividades, su correcto reporte y registro histórico. El modelo contempla apoyo ocasional de técnicos de automatización y control (área con mayor disponibilidad de personal).

De ser necesario se debe contratar personal adicional; ya que con los recursos humanos existentes se hace inviable su ejecución.

En cuanto a la disponibilidad técnica; el taller cuenta con distinta instrumentación; bancos de pruebas y máquinas. Se hizo un levantamiento de todas las herramientas e instrumentos existentes para generar actividades acordes con la disponibilidad de equipamiento del taller. En ciertos casos; se generaron actividades que deben ser realizadas por empresas externas, ya que no se cuenta con la instrumentación necesaria y ésta tiene un elevado nivel de inversión; por lo que no se justifica su adquisición antes de realizar una correcta puesta en marcha del trabajo.

Adicionalmente se incluyó criterios de mantenibilidad de los componentes y/o subsistemas para evitar la generación de costos por sobre mantención de los equipos y/o posibles complicaciones innecesarias.

Algunos de los factores de mantenibilidad considerados en el análisis fueron: accesibilidad del componente, complejidad técnica, fragilidad de los componentes, peso, disponibilidad de repuestos, etc.

A continuación se presentan breves extractos de los planes de mantenimiento desarrollados. Para ver el detalle de cada uno de los planes elaborados ver [Anexo 9].

Los planes se encuentran dispuestos de la siguiente manera (de mayor a menor según los valores obtenidos de criticidad mediante el AHP):

1. Extrusora A.
2. Extrusora C.
3. Sistema extractor de polvo A.
4. Mezclador A_1.
5. Extrusora D.
6. Pelletizador A/Pelletizador C (son equipos de igual diseño, fabricante, etc.).
7. Tamizador.

EXTRUSORA A

Componente / sub sistema	Actividad	Frecuencia	Duracion estimada (min,hrs, dias)	Estrategia	Necesidad stock	Detención	Ejecutor	Complicación adicional
MOTOR ELECTRICO	Revisión estado de rodamiento (estetoscopio)	3 meses	15 min	Preventivo según condición	pilas estetoscopio	no	mec	[-]
	Engrase de rodamientos	3 meses	20 min	Preventivo fecha constante	grasa ep2	no	mec	grasera disponible
	Medición de corriente de consumo del motor eléctrico	3 meses	10 min	Predictivo	pila tester	no	eli	[-]
	Revisión caja de conexión, estado prensa cables y reapriete si necesario.	6 meses	15 min	Preventivo fecha constante	no	si	eli	[-]
	Inspección visual estado de carcasa, óxido y pintura	6 meses	10 min	Preventivo según condición	paños	no	[-]	[-]
	Medición aislación motor coperion	6 meses	30 min	Predictivo	bateria megger	si	eli	[-]
	Medición de temperatura del motor en funcion de la T del cooler y rpm (establecer protocolo medición)	3 meses	15 min	Predictivo	pilas priometro	no	mec	[-]
	Mantenimiento completo (eléctrico y mecánico)	2 años	5 dias	Preventivo a edad constante	casquetes de arnitel	si	externo	desmontar motor, adquirir casquetes con anterioridad
	Sistema de refrigeración: Inspeccion de filtraciones, estado de mangueras.	6 meses	10 min	Preventivo según condición	no	no	mec	[-]
	Sistema de refrigeración , *lavado quimico*	1 año	5 hr	Preventivo fecha constante	acidol , bba diafragma	si	mec	[-]

Figura 83 Extracto del plan de mantenimiento de la extrusora A.

EXTRUSORA C

Componente	Actividad	Frecuencia	Duracion estimada (min,hrs, dias)	Estrategia	Necesidad stock	Detención	Ejecutor	Complicación adicional
CAJA REDUCTORA	Inspección en busca de filtraciones.	3 meses	10 min	Preventivo según condición	no	no	mec	[-]
	Registro de temperatura y presión de trabajo.	3 meses	10 min	Preventivo según condición	no	no	mec	[-]
	Revisión/calibración manómetro y termómetro	1 año	4 hr	Preventivo según condición	no	si	instr	A realizar por instrumentación
	Inspección manifold de lubricación y limpieza de boquillas	2 años	2 hr	Preventivo fecha constante	no	si	mec	Implica cambio de empaquetadura y prueba de filtraciones
	Monitoreo nivel de aceite, limpieza del visor	3 meses	5 min	Preventivo según condición	no	no	mec	[-]
	Inspección visual del estado carcasa, pintura (correciones según condición).	3 meses	5 min	Preventivo según condición	no	no	[-]	Mantener stock pintura azul
	Análisis de aceite (partículas, temp, visc.)	6 meses	20 min	Preventivo según condición	frasco de muestras	no	examen	Empadronar los equipos
	Cambio de aceite	2 años	4 hr	Preventivo fecha constante	aceite spartan 220	si	[-]	Solicitar compra del aceite con anterioridad
	Cambio filtro de aceite.	6 meses	30 min	Preventivo fecha constante	filtro de aceite a pedido	si	mec	Debe fabricarse a pedido (minimo 6 unidades)

Figura 84 Extracto de plan de mantenimiento de Extrusora C.

SISTEMA EXTRACTOR DE POLVO A

Sub sistema	Componente	Actividad	Frecuencia	Duracion estimada (min , hrs o dias)	Estrategia	Stock neces.	Detención	Ejecutor	Complicacion/precaución adic.
Sistema de Absorción polvo en Mezcladores	Cámara retención de polvo	Revisión y limpieza del rodete	1 año	1 hr	Preventivo fecha constante	-	si	mec	-
		Realizar limpieza de la cámara	6 meses	1 hr	Preventivo fecha constante	-	si	mec	-
	Filtros de Polvo	Sopleteo de filtros de polvo para des-saturarlos de material particulado	6 meses	1 hr	Preventivo fecha constante	[-]	si	[-]	uso de mascarilla con filtros de polvo
		Cambio de filtros de polvo	1 año	20 min	Preventivo a edad constante	filtros de polvo Airguard 594x594x44 (x2)	si	mec	Gestionar, mantener stock de filtros
	Estructura soporte de motor y ductos de aspiración	Reapriete de estructura soporte de motor; aplicación de pintura y anticorrosivo	1 año	1 dia	Preventivo fecha constante	-	si	[-]	Coordinar la dentencion del área. Parada de planta
		Revisión y reaprite de soportes de aspiración	1 año	4 hr	Preventivo fecha constante	-	no	[-]	Trabajo en altura
	Extracción de polvo	Inspección externa del estado de los ductos, revisión de fugas	6 meses	30 min	Preventivo según condición	no	no	[-]	Trabajo en altura con medidor de fugas
		Medición de flujo de aspiración (Anemometro)	6 meses	30 min	Predictivo	[-]	no	[-]	-

Figura 85 Extracto de plan de mantenimiento de Sistema extractor de polvo A.

MEZCLADOR A1

Componente	Actividad	Frecuencia	Duracion estimada (min, hrs o dias)	Estrategia	Stock neces.	Detención	Equipo	Complicacion/precaución adic.
Cilindros neumáticos (Apertura de la tapa y descarga de material)	Inspección visual cilindros neumaticos (busqueda de daño exterior)	3 meses	10 min	Preventivo según condición	no	no	instr	no
	Cambiar Conectores neumaticos	1 año	30 min	Preventivo fecha constante	Conector recto de 8x1/4	si	[-]	no
	Verificar comportamiento en el recorrido de carrera del vástago.	6 meses	5 min	Preventivo fecha constante	no	si	mec	no
	Inspeccionar pilotaje (de ambos cilindros)	6 meses	5 min	Preventivo según condición	no	si	mec	no
	Ajustar la velocidad de desplazamiento en cilindro de la tapa y cilindro de descarga (de ser necesario)	1 año	20 min	preventivo según condición	no	si	mec	buscar referencia de valor anterior en archivos [-]
	Inspeccionar sellos del embolo de los cilindros	1 año	3 h	Preventivo según condición	sellos (paking de repuesto)	si	mec	Contar con los packings de repuesto
	Reapriete del émbolo con el vástago de los cilindros	1 año	1,5 h	Preventivo fecha constante	no	si	mec	[-]
	Inspeccionar empaquetadura de goma en cilindro descarga (estado fisico)	6 meses	10 min	Preventivo según condición	no	si	mec	Linea despichada. Peligro de accidente.
Mangueras neumáticas	Verificar estado físico (quedamuras, aplastamiento,etc)	3 meses	10 min	Preventivo según condición	no	no	[-]	no
	Inspeccion de fugas	3 meses	10 min	Preventivo según condición	no	no	mec	no

Figura 86 Extracto de plan de mantenimiento Mezclador A1

EXTRUSORA D

Componente	Actividad	Frecuencia	Duracion estimada (min, hrs o dias)	Estrategia	Necesidad stock	Detención	Ejecutor	Complicación adicional
Sistema de acoplamiento reductor y tornillo	Inspeccion visual del estriado y de su nivel torsión	6 meses	1 hr	preventivo según condición	2 piezas de acoplamiento estriado	si	mec	coordinarn compra con anterioridad
	Inspeccionar estado de las tapas de protección acople de tornillos, reapriete. Limpieza del visor e interna.	6 meses	30 min	Preventivo según condición	no	si	[-]	[-]
Sistema de refrigeración caja reductora	Inspección presencia de filtraciones en el sistema (Pipping, Fitting y accesorios)	3 meses	25 min	preventivo según condición	[-]	no	mec	[-]
	Inspección seteo Válvula termostática y presostato de baja	1 año	4 hr	Preventivo fecha constante	banco de prueba	si	instr.	Coordinar con producción e instrumentación.
	Inspección de funcionamiento Válvulas de corte y/o cámbio de ser necesario X4	6 meses	2 hr	Preventivo según condición	Tener repuesto para cambio	si	mec.	[-]
	Lavado químico	1 año	5 hr	preventivo a edad constante	acidol, bba doble diafragma	si	mec	[-]
Parada de Emergencia	Inspección visual y prueba de des energización de todos los sub- sistemas	3 meses	25 min	Preventivo fecha constante	no	si	[-]	[-]
Camisa	Inspección visual en busca de fisuras en los bloques	1 año	1dia	preventivo según condición	tinta penetrante, luz uv	si	mec	tener lo necesario con anterioridad
	Medición desgaste interior de la camisa	1 año	4 hr	Predictivo	necesidad de instrumento medición	si	mec/externo	medidor diámetro agujeros con varillas de extension

Figura 87 Extracto de plan de mantenimiento de la Extrusora D.

PELLETIZADOR A/C

Componente	Actividad	Frecuencia	Duracion estimada (min, hrs o dias)	Estrategia	Necesidad stock	Detención	Ejecutor	Complicación adicional
Cuchillos	Revisión filo cuchillo fijo (posible cambio)	3 meses	30 min	Preventivo según condición	si	si	mec	Desenergizar equipo
	Regulación distancia de cuchillo fijo y móvil	3 meses	30 min	Preventivo fecha constante	no	si	mec	Desenergizar equipo
	inspección rodillos	3 meses	20 min	Preventivo según condición	no	si	mec	Desenergizar equipo
	Revisión cuchillo movil maza (revisión de los cantos cortantes)	3 meses	1 hr	Preventivo según condición	si	si	mec	Desenergizar equipo
Sistema transmisión	Limpieza de poleas, comprobacion alineacion	1 año	1 hr	Predictivo/preventivo fecha constante	no	si	mec	Desenergizar equipo
	cambio de correa	1 año	2 hr	Preventivo fecha constante	correa	si	mec	[-]
	Revisión dientes de engranajes,	6 meses	40 min	Preventivo según condición	no	si	mec	Desenergizar equipo
	cambio de rodamientos internos del pelletizador	2 años	3 dias	Preventivo a edad constante	todos los rodam.	si	mec	Desenergizar equipo, verificar stock de rodamientos

Figura 88 Extracto de plan de Pelletizador A-C.

TAMIZADOR C

Componente/ Sub sistema	Actividad	Frecuencia	Duracion estimada (min, hrs o dias)	Estrategia	Necesidad stock	Detención	Ejecutor	Complicación adicional
Motovibradores (2 unidades)	Medición de aislación motovibrador	6 meses	40 min	Predictivo	no	si	eli	Desconectar equipo
	Revisión caja de conexión, estado prensa cables, estado del cableado y reapriete terminales.	6 meses	40 min	Preventivo fecha constante	no	si	eli	Desenergizar equipo
	Reapriete y revisión puesta a tierra	6 meses	10 min	Preventivo fecha constante	no	si	eli	Desenergizar equipo
	Inspección regulación de contrapesos	3 meses	40 min	Preventivo fecha constante	no	si	mec	[-]
	Revisión uniones de conectores y protecciones electricas	3 meses	20 min	Preventivo según condición	conectores y protecciones	no	eli	[-]
	Revisión tapas	3 meses	40 min	Preventivo según condición	no	si	mec	Desmontarlas y revisar en banco de trabajo
	Cambio de rodamientos	1 año	4 hr	preventivo a edad constante	rodamientos	si	mec	Desmontar motovibradores con soporte de lingas. Misma operaciónpara montaje
	Revisión del estado del embobinado	1 año	1 hr	Preventivo según condición	no	si	eli	[-]
	Limpieza eje, lubricacion	1 año	1 hr	preventivo a edad constante	no	si	mec	[-]
	Retiro óxido y aplicación capa pintura	1 año	1 dia	preventivo a edad constante	pintura	si	[-]	[-]
	Mantencion completa	2 años	2 años	preventivo a edad constante	no	si	externo	Desmontar motovibradores con soporte de lingas. Misma operaciónpara montaje
	Reapriete y revisión sujeciones de la bandeja	3 meses	30 min	Preventivo fecha constante	no	no	[-]	[-]
	Reapriete de fijacion motovibradores a la estructura	3 meses	1hr	Preventivo fecha constante	no	si	[-]	[-]

Figura 89 Extracto de plan de mantenimiento del Tamizador C.

10 Propuesta de mejoras en el sistema de registro y de planificación del mantenimiento.

Ante la evidente carencia de detalles en los registros de fallas en el área de mantenimiento; se hizo hincapié en implementar algún sistema que permita la recopilación de los siguientes datos estadísticos.

- Costos por hora hombre
- Costos de repuestos
- Tiempo de reparación
- Impacto de la falla en cuanto a si generó detección de la producción.
- Detalle del componente defectuoso
- Planificación en detalle de las órdenes de trabajo que permita contrastar la diferencia entre los tiempos planificados y los tiempos reales de trabajo.

No fue necesario diseñar un sistema propio, ya que ante la clara necesidad de recopilar toda esta base estadística en busca de realizar futuros análisis de confiabilidad; la compañía tomó la decisión de adquirir el módulo PM de SAP.

SAP es una empresa multinacional alemana dedicada al diseño de productos informáticos de gestión empresarial. Tiene múltiples módulos dentro de los cuales se destaca el módulo PM, en donde los usuarios pueden generar los avisos de averías en red con toda la información requerida para su fácil identificación y entendimiento. De manera posterior permite generar las respectivas órdenes de trabajo; en las cuales se planifica y registra todas las actividades y costos de reparación. El software permite recopilar información estadística de manera rápida; contemplando todos los parámetros para el cálculo de confiabilidad/disponibilidad de los equipos.

11 Conclusiones.

Al elaborar el estado del arte de los conceptos de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad; se pudo lograr un entendimiento íntegro de todas las variables necesarias para realizar futuros análisis, en que el proceso productivo sea modelado de manera totalmente cuantitativo, evitando así cualquier análisis subjetivo.

Fue necesario estudiar la evolución de las técnicas de gestión del mantenimiento para así comprender las ventajas y desventajas que presenta un sistema en dónde se responda sólo de manera reactiva ante las fallas en contraste con aplicación de modelos que buscan la eficiencia del proceso en términos de planificación, costos u otros impactos.

Al realizar el estudio de las diferentes técnicas de jerarquización de activos según criticidad, se logró conocer una multiplicidad de métodos existentes, en los cuales; se permite analizar cualquier contexto operativo en base a la existencia de información cuantitativa y al rigor exigido del análisis.

La empresa Clariant, mantiene claras políticas de protección de los trabajadores y del medio ambiente. En cuanto al estudio del impacto de fallas de cada equipo dentro del proceso productivo de la planta, no existía mayor conocimiento ni análisis, por lo cual, se comprende que la respuesta ante eventualidades no sea planificada.

Al estudiar los equipos y el proceso en detalle; se pudo evidenciar claras diferencias operativas y funcionales de un equipo respecto a otro; logrando así la obtención de una visión general del funcionamiento de cada equipo dentro del flujo de producción.

Debido a la carente información estadística (sólo cantidad de fallas y sus costos de reparación); fue necesario seleccionar una técnica de jerarquización mixta (cuantitativa/cualitativa); en donde pudiesen ser integradas al análisis; las variables de impacto medio ambiental y de seguridad; las cuales son exigidas de manera corporativa. Adicionar como parámetro el impacto a la producción de cada una de las

fallas sirvió para mitigar la carencia de información del tiempo medio de reparación y del desconocimiento de que la falla detenga o no el proceso de producción.

La integración de todos estos parámetros pudo ser modelada de manera efectiva usando el método Analytic herarchy process (AHP), en donde adicionalmente, las decisiones subjetivas fueron validadas con un método matemático que calificó su consistencia.

Mediante los resultados obtenidos usando el método AHP, y en contraste con otros métodos como el diagrama Jack Knife; se determinó que los equipos críticos de la planta Masterbatch son: extrusora A, extrusora C, Sistema extractor de polvo A, Mezclador A1, Extrusora D, Pelletizador A, Pelletizador C y el Tamizador C.

Las políticas de mantenimiento a aplicar a cada componente de los equipos críticos fueron fácilmente asignables incorporando el uso de la metodología de análisis FMEA (failure modes and effects), en la cual se evalúa los efectos y consecuencias de cada modo de falla.

La incorporación de las variables de disponibilidad de recursos humanos y técnicos en el análisis; permitieron adecuar las actividades de mantenimiento al contexto real de operación; generando así acciones específicas y realistas en cuanto al contexto existente.

Tomando todos los aspectos influyentes del proceso y del contexto de operación; se logró confeccionar planes de mantenimiento para cada uno de los equipos críticos de la planta; en los cuales se detalla la frecuencia de ejecución, la actividad a realizar, los tiempos previstos, etc.

Evidenciando todas las carencias de registro y planificación de los trabajos en el transcurso de este trabajo de título; se hizo una propuesta de mejora adicional a la problemática principal; que consistió en implementar algún sistema de gestión que permita la correcta recopilación de datos estadísticos de mantenimiento. La empresa tomó la decisión de adquirir un software especializado en el área; evitando la pérdida

de información con vista de que en un largo plazo; se puedan realizar nuevos análisis técnicos económicos de fallas crónicas ya sea por frecuencia, por impacto o por costos directos de reparación.

12 Referencias.

[1] Gento, Á. M., & Redondo, A. (2005, September). Fuzzymant: Evaluación del mantenimiento utilizando técnicas difusas. In IX Congreso de Ingeniería de Organización (p. 84).

[2] <http://www.sii.cl/preguntas_frecuentes/renta/001_002_0738.htm>

[3] <http://www.sii.cl/pagina/valores/bienes/tabla_vida_enero.htm>

[4] Navarro, J. D. (2010). Técnicas de mantenimiento industrial. Calpe Institute of Technology.

[5] Gómez, H., & Wilches, J. (2003). Mecanismos y modos de falla en cables metálicos estructurales. Ingeniería y Desarrollo, (14).

[6] Acuña, J. A. (2003). Ingeniería de confiabilidad. Editorial Tecnologica de CR.

[7] Yañez, M., Semeco, K., & Medina, N. (2005). Enfoque Práctico para la Estimación de Confiabilidad y Disponibilidad de Equipos, con base en Datos Genéricos y Opinión de Expertos. Universidad Simón Bolívar-Venezuela.

[8] Zapata, c. j., Garcés, l. p., & Carmona, o. g. (2004). modelamiento de Componentes de sistemas Compuestos Generación–Transmisión para estudios de Confiabilidad. Scientia et technica, 2(25).

[9] Espinel Blanco, E. (2014). Distribuciones no tradicionales para medir Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad (CMD), que se ajustan a varias fases de la Curva de Davies (Master's thesis, Universidad EAFIT).

[10] Acuña, J. A. (2003). Ingeniería de confiabilidad. Editorial Tecnologica de CR.

[11] Torrens-ibern, J. Mothes-J. "Estadística aplicada a la ingeniería Ediciones Ariel." Esplugues de Llobregat (1970).

[12] Solé, A. C. (2005). Fiabilidad y seguridad: su aplicación en procesos industriales. Marcombo.

[13] Amstadter, B. L. (1976). Matemáticas de la fiabilidad: fundamentos, prácticas, procedimientos. Reverté.

[14] Hernández, F., & Usuga, O. C. (2011). Análisis bayesiano para la distribución lognormal generalizada aplicada a modelos de falla. Revista Colombiana de Estadística, 34(1), 95-100.

[15] <http://www.plant-maintenance.com/RCM-intro.shtml>

[16] "Defining Failure: What Is MTTR, MTTF, and MTBF?". Foskett, Pack Rat. Retrieved 2016-01-18.

[17] Arata, A. (2009). Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales. Aplicación de la Plataforma R-MES. RIL editores.

[18] Grajales, D. H. M., Sánchez, Y. O., & Pinzón, M. (2006). La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento. Scientia et technica, 1(30).

[19] Pistarelli, A. J. (2010). Manual de mantenimiento predictivo. Ingeniería, gestión y operación.

[20] Moubray, John. Reliability-Centred Maintenance. 2° edición. Oxford: Butterworth-Heinemann 1997. ISBN: 0 7506 3358 I.

[21] http://www.supersalud.gob.cl/observatorio/671/articles-8910_recurso_1.pdf

[22] The engineering society for advancing mobility land sea air and space. Surface vehicle/aerospace standar. SAE-JA1011. U.S.A. 1999.

[23] The engineering society for advancing mobility land sea air and space. Surface vehicle/aerospace recommended practice. SAE-JA1012. U.S.A. 2002.

[24] Parra, Carlos. Material para curso de: “Mantenimiento Centrado en Confiabilidad”. Certificado por INGEMAN.

[25] Aguilar-Otero, J. R., Torres-Arcique, R., & Magaña-Jiménez, D. (2010). Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad. Tecnología, Ciencia, Educación, 25(1).

[26] Zammori, F., & Gabbrielli, R. (2012). ANP/RPN: A multi criteria evaluation of the risk priority number. Quality and Reliability Engineering International, 28(1), 85-104.

[27] <https://milagrosalazar.files.wordpress.com/2011/06/**amef**-turbina.xls>

[28] Crespo Márquez, Adolfo. The Maintenance Management Framework: models and methods for complex systems maintenance. 1° edición. Springer-Verlag London Limited 2007. ISBN: 978-1-84628-820-3.

[29] Bravo, Gloria. Integración y análisis de metodologías para la resolución de problemas: análisis causa raíz y teoría de resolución de problemas de inventiva. Departamento de Industrias, Universidad Técnica Federico Santa María 2011.

[30] U.S Department of Energy (DOE). “Root Cause Analysis Guidance Document”, Washington, D.C. USA, Febrero 1992.

[31] Doran, G. T. (1981). "There's a s.m.a.r.t. way to write management's goals and objectives". management review. ama forum. 70 (11): 35–36

[32] C. Parra, O. César. "Técnica Básica de Confiabilidad: Análisis Causa Raíz - ACR", Informe técnico 1999-X3-33. CIED - PDVSA (Centro Internacional de Desarrollo de Petróleos de Venezuela), Maturín, Venezuela, 1999.

[33] R. K. Mobley. Root Cause Failure Analysis. Butterworth-Heinemann, 1999.

[34] de Ishikawa, D. Ishikawa Diagram. Operación del Servicio)(Mejora Continua del Servicio).

[35] Ishikawa, K. (1943). Diagrama Causa-Efecto.

[36] Murugaiah, U., Jebaraj Benjamin, S., Srikamaladevi Marathamuthu, M., & Muthaiyah, S. (2010). Scrap loss reduction using the 5-whys analysis. International Journal of Quality & Reliability Management, 27(5), 527-540.

[37] Rooney, J. J., & Heuvel, L. N. V. (2004). Root cause analysis for beginners. Quality progress, 37(7), 45-56.

[38] Gutiérrez, E., Aguero, M., Calixto, I., & Zulia–Venezuela, M. E. (2007). Análisis de criticidad integral de activos. Obtenido de: www. reliarisk. co: http://r2menlinea. Com/w3/PT/PT013_Analisis_de_Criticidad_Integral_de_Activos. pdf.

[39] Parra, C., & Crespo, A. (2012). Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicada a la Gestión de Activos. INGECON.

[40] ISO 14224 Industria de Petróleo y Gas – Recolección e Intercambio de Datos deConfiabilidad y Mantenimiento de Equipos.

[41] «Mantenimiento. Indicadores Clave de Rendimiento del Mantenimiento,» Norma Española UNE 15341, 2008.

[42] «Mantenimiento. Indicadores de Mantenibilidad de Dispositivos Industriales. Definición y Evaluación,» Norma Española UNE 151001, 2011.

[43] Gestión de Riesgo. Técnicas de Apreciación de Riesgo,» Norma Española UNE-EN 31010, 2011.

[44] Gestión de la Confiabilidad. Parte 3-11: Guía de Aplicación. Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad,» Norma Española UNE 200001-3-11, 2003.

[45] «Técnicas de Análisis de la Fiabilidad de Sistemas, Procedimiento de Análisis de los Modos de Fallos y de sus Efectos (AMFE),» Norma Española UNE 20812, 1995.

[46] «Criticality Analysis for Maintenance Purposes,» NORSOK Standard Z-008, 2001.

[47] Knights (2004); P. Knights. Downtime Priorities, Jack-knife Diagrams, and the Business Cycle, Maintenance Journal,Vol 17, No.2, pp.14-21, Melbourne, Australia, May 2004.

[48] Godo, d., & pascual, r. priorización desde una perspectiva de negocios: el diagrama de influencia para la eficiencia de sistema.

[49] Rodríguez, R. metodología para auditar la asignación de recursos a las actividades críticas de mantenimiento.

[50] SALES, Matías. Diagrama de Pareto. Recuperado el, 2006, vol. 15.

[51] Parra, Carlos. Documento técnico. Aplicación de la metodología de análisis de criticidad a los sub-sistemas de los centros de distribución: Carenero, Guatire, Catia la Mar y Cantinas. Abril, 2001.

[52] Failure Analysis and Prevention, vol. 7, no. 5, pp. 321-328, 2007.

[53] SAE J1739_201901, potential failure mode and effects analysis in design (design fmea) and potential failure mode and effects analysis in manufacturing and assembly processes (process fmea reference manual), 2009.

[54] Modes and Effects Analysis (FMEA) for wind turbines," International journal of electrical power and energy systems, pp. 817-824, 2010.

[55] Langford, J. W. (1995). Logistics: Principles and Applications. McGraw Hill. p. 488.

[56] Guerrero Bolaños, Alejandro. Técnicas de jerarquización de activos industriales aplicadas a la industria minera. Tesis (Master Maintenance Management). Universidad de Sevilla

[57] Mustajoki J; Hamalainen R; Salo A, “A decisión support by interval SMART/SWING-INCORPORATING MPRECISIÓN IS THE SMART AND SWING METHODS”.

[58] Edwards, W., & Barron, F. H. (1994). SMARTS and SMARTER: Improved simple methods for multiattribute utility measurement. Organizational behavior and human decision processes, 60(3), 306-325.

[59] Saaty, Thomas L. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation (Decision Making Series, Published by Mcgraw-Hill (Tx), 1980.

[60] Technical university of Denmark: Multi-criteria decision analysis for use in transport decision-making (Barfod, Michael Bruhn; Leleur, Steen).

[61] <https://www.clariant.com/es/Company>

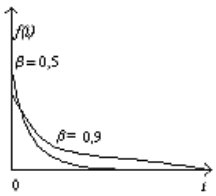
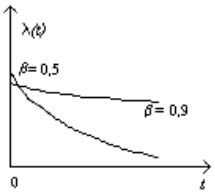
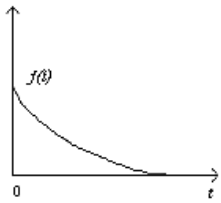
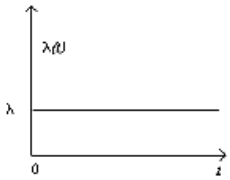
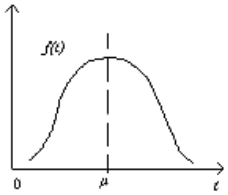
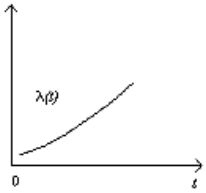
[62] <http://www.clariant.com/es/Company/History>

[63] <https://sites.google.com/site/controldecalidadclariant/home/mision-de-clariant>

[64] <http://www.clariant.com/es/Careers/The-Company/Our-Culture/Our-Culture

13 Anexos.

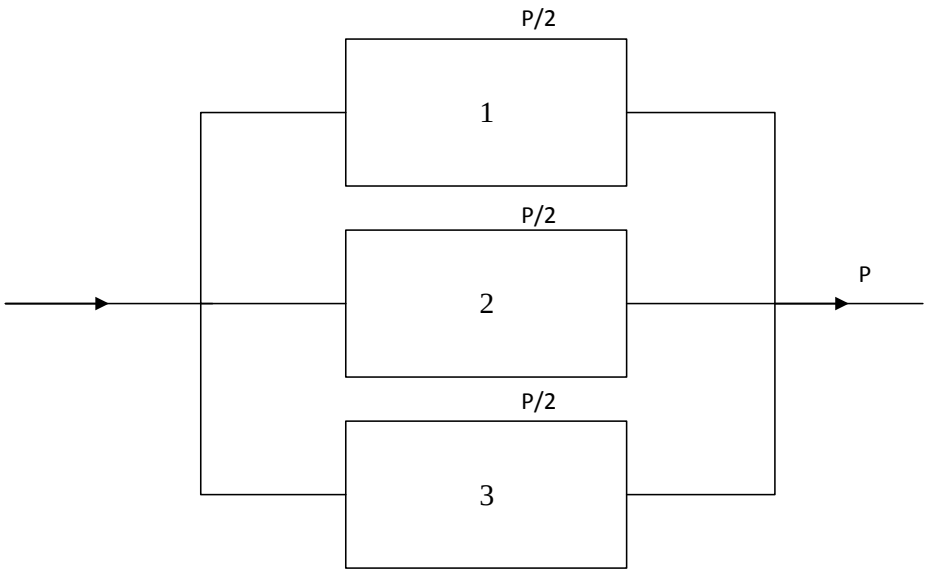
13.1 Anexo 1: Calculo del MTBF, según la etapa de vida del activo.

Distribución- Ciclo de vida	MTBF	Forma gráfica	Tasa de falla
Weibull - Rodaje $\lambda(t)=\left(\frac{\beta}{\alpha}\right)\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1}$ $f(t)=\left(\frac{\beta}{\alpha}\right)\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta}}$ $R(t)=e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta}}$	$\gamma+\alpha\Gamma\left(\frac{\beta+1}{\beta}\right)$		
Exponencial Negativa - Vida útil $f(t)=\lambda e^{-\lambda t}$ $R(t)=e^{-\lambda t}$	$\frac{1}{\lambda}$		
Normal - Desgaste $\lambda(t)=\frac{e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2}}{\int_t^{\infty} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} dt}$ $f(t)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\sigma} e^{-\left(\frac{t-\mu}{\sqrt{2}\,\sigma}\right)^2}$ $R(t)=1-\int_0^t f(t)\,dt$	μ		

13.2 Anexo 2: Configuraciones lógicas Stand-by y redundancia parcial.

- Configuración de sistema en redundancia parcial.

Esta configuración se presenta en un sistema cuando; una fase del proceso se realiza con equipos en paralelo; en dónde la carga total requerida es capaz de ser cumplida con el aporte de una fracción del total de los equipos. Cada uno de los equipos no es capaz de soportar el sistema por sí mismo.



Si $R_1(t) = R_2(t) = R_3(t)$; se cumple que el cálculo de confiabilidad viene dado por la siguiente ecuación:

$$R\ sistema = P\ (r \leq j \leq n) = \sum_{j=r}^{n} \binom{n}{j} * R^j * (1 - R)^{n-j},$$

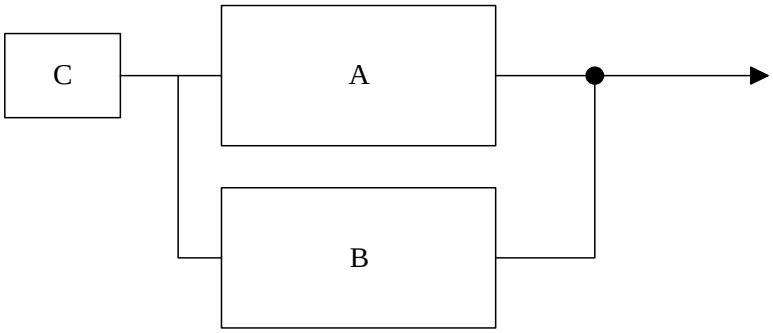
siendo n el número de equipos de la redundancia y r el mínimo número de equipos que deben estar en funcionamiento para soportar el funcionamiento del sistema.

- Configuración de sistema en stand-by.

Esta configuración se basa en un sistema paralelo de 2 equipos con igual capacidad; cada uno capaz de cumplir con la demanda requerida. Es otro tipo de redundancia. Se diferencia de un sistema paralelo de redundancia total 2/2; en que no contempla el funcionamiento de ambos equipos de manera simultánea. Un equipo siempre está de reserva en caso de que el principal falle.

En el caso de que el equipo principal falle existe un conmutador que se encarga de cambiar la conexión de un componente a otro. Este conmutador puede ser un operador.

Se asume que este conmutador tiene una confiabilidad del 100%.



En caso de que $\lambda_A = \lambda_B$; se cumple:

$$R\ sist\ (t) = \ e^{-\lambda t} * (1 + \lambda t).$$

13.3 Anexo 3: Ejemplo de análisis causa raíz usando diagrama Ishikawa.

Equipo CLNX: Pedro Ilabaca, Alejandro López, Raúl Giménez, Fabián Vilches, Eduardo González, Muris Reyes, Christian Quintana. **Champion/Coach**: Sergio Morales	**Registro de solución de problema**	CLNX – **EXCELLENCE IS ALL OF US**
Título: Rotura bujes plásticos (5 unidades), en sistema de acople Motor/Caja reductora, en etapa posterior a instalación del motor de Extrusora Coperion.: **Objetivo**: Evitar futuras fallas en el montaje de motores y sus acoples en las extrusoras de producción Masterbatches.		Fecha: 23-12-2015 Proyecto #:

1. Definir – Descripción del problema

(¿Cuál es y de qué tamaño?) Datos, Registros

El motor de la extrusora Coperion tiene un sistema de acople mecánico con limitador de torque.

Jamás se había retirado el motor de la extrusora para un mantenimiento ya sea preventivo ni correctivo.

Acople mecánico con limitador de torque presenta mayor complejidad mecánica que un acople convencional.

Debido a una falla electrónica del VDF de la extrusora Coperion; se tomó la decisión de aprovechar el tiempo de detención del equipo en realizar el chequeo preventivo del motor (3 días).

Para la mantención (motor); se contactó a una empresa externa; sin embargo el desmontaje, montaje y alineación quedan en responsabilidad de Mantención Clariant.

Una vez el equipo se pone en marcha, se produce falla en los bujes de fijación del acople (app 2 horas de funcionamiento). De estos; 5 se rompen y el resto (3) presenta notoria deformación. Se detectó por ruido en el acople.

Se cambian todos los bujes (8) por nuevas piezas mecanizadas según muestra.

2. Analizar – Causas raíz. (Adjunto: Diagrama fishbone)

CR_1: Equipo alineador láser dejó de funcionar correctamente.

CR_2: Entrega de equipo (Extrusora Coperion); mal alineado.

CR_3: Presión en puesta en marcha de la extrusora por Producción.

4.Control – Verificar el éxito

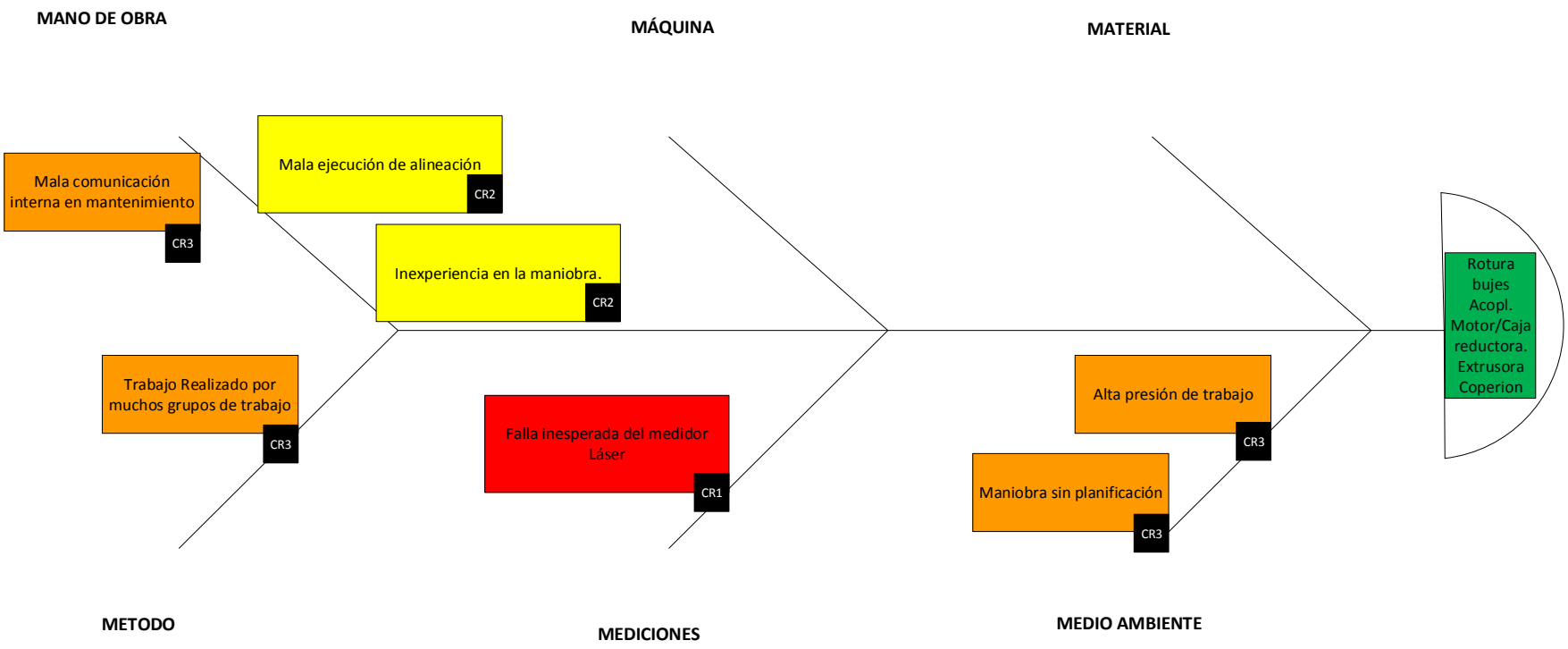
(¿Logramos una solución aceptable?) Datos, Registros

Después:

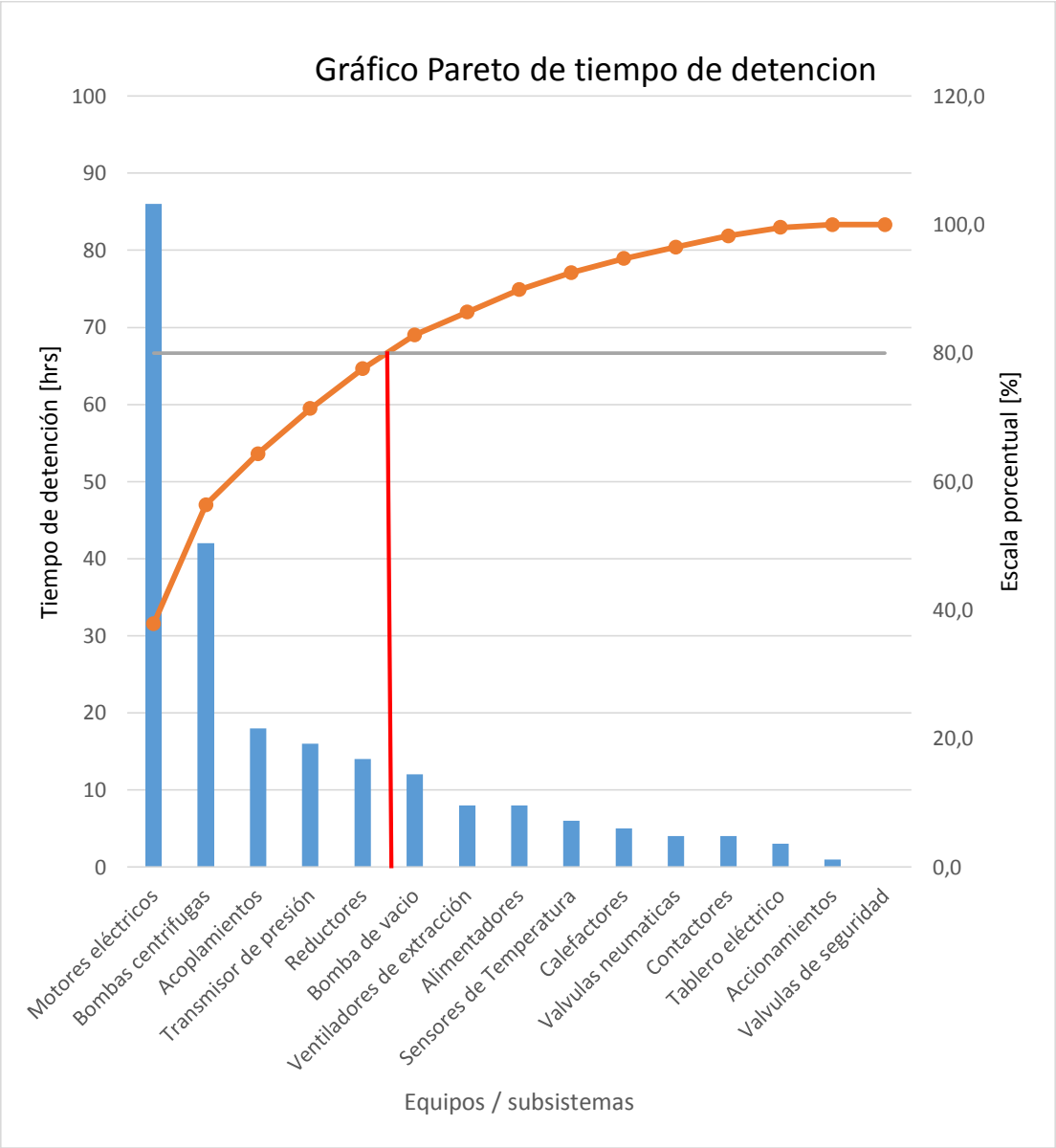
3. Mejorar – Soluciones & plan de acción.

- Certificar periódicamente el instrumento de medición (alineador láser).
- Intervenciones complejas en equipos críticos deben ser supervisadas por personal de apoyo.
- Mejorar comunicación interna (Departamento de mantenimiento), en intervenciones donde coexistan distintos grupos de trabajo.
- Contemplar holgura en los tiempos de intervención comprometidos con la producción.

ANÁLISIS CAUSA RAÍZ (Diagrama Ishikawa).



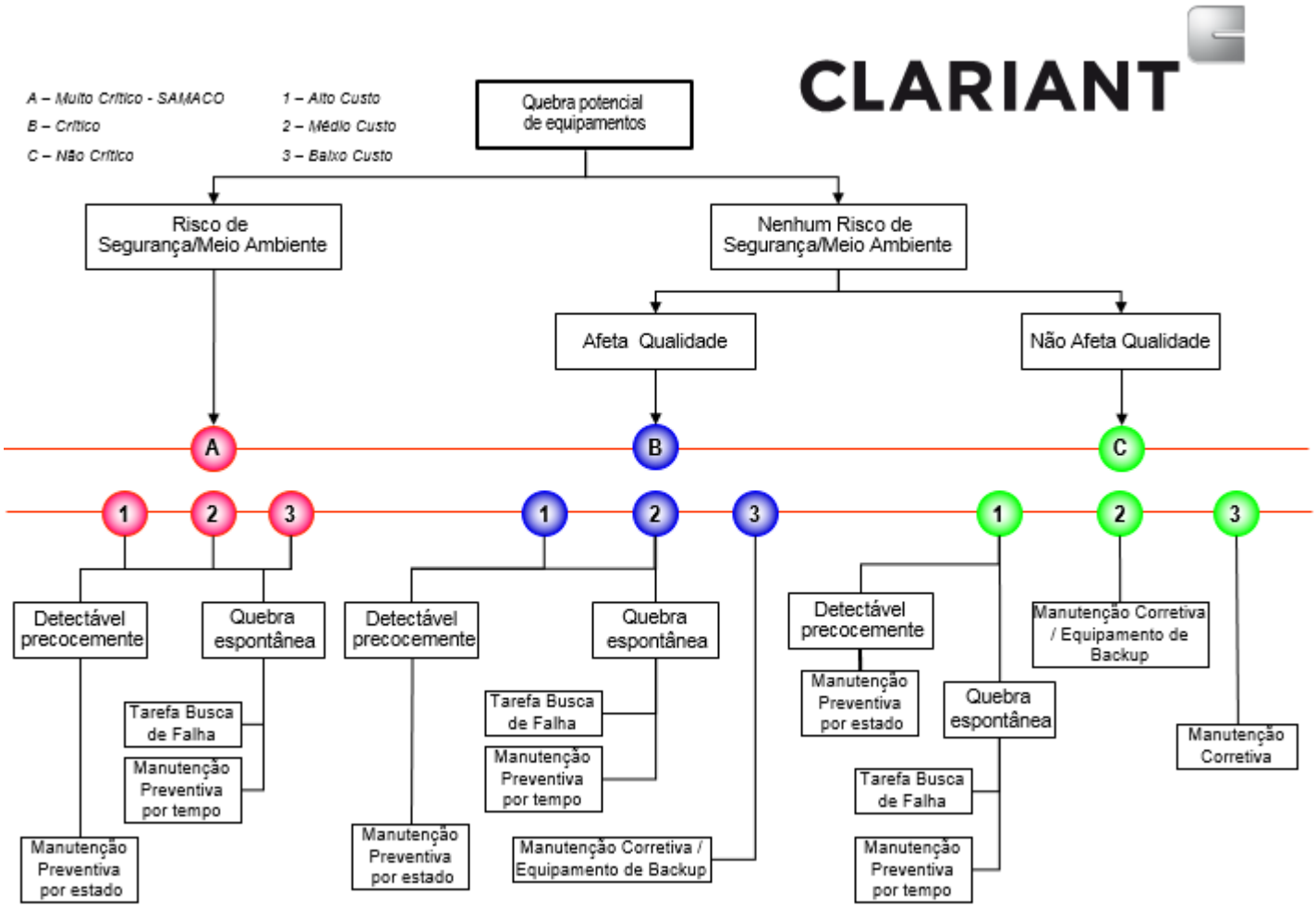
13.4 Anexo 4: Elaboración de diagrama Pareto a equipo de la tabla 3, graficando la variable tiempo de detención.



13.5 Anexo 5: Propiedades mecánicas de los polímeros.

	Resina base				
Propiedad	**Poliéster**	**Fenólico**	**Epoxi**	**Melamina**	**Poliuretano**
Calidad de moldeo	Excelente	Buena	Excelente	Buena	Buena
Moldeo por compresión					
Temperatura, °C	76,7–160	137,8–176,7	148,9–165,6	137,8–171,1	148,9–204,4
Presión, MPa	1,74–13,78	13,78–27,58	2,06–34,47	13,78–55,15	0,689–34,47
Contracción de molde, mm/mm	0,0–0,05	0,002–0,025	0,025–0,05	0,025–0,100	0,228–0,762
Densidad relativa	1,35–2,3	1,75–1,95	1,8–2,0	1,8–2,0	1,11–1,25
Resistencia tracción, MPa	173–206	35–69	97–206	35–69	31–55
Elongación, %	0,5–5,0	0,02	4	–	10–650
Módulo de elasticidad, Pa	0,55–1,38	2,28	2,09	1,65	–
Resistencia compresión, MPa	103–206	117–179	206–262	138–241	138
Resistencia flexión, MPa	69–276	69–414	138–179	103–159	48–62
Impacto, Izod, J/mm	0,1–0,5	0,5–2,5	0,4–0,75	0,2–0,3	Sin rotura
Dureza, Rockwell	M70–M120	M95–M100	M100–M108	–	M28–R60
Dilatación térmica, por °C	5–13($\times 10^{-4}$)	4×10^{-4}	2,8–7,6 ($\times 10^{-4}$)	$3{,}8\times 10^{-4}$	25–51($\times 10^{-4}$)
Resistividad de volumen (a 50% RH, 23°C), ohm–cm	$1–10^{14}$	7×10^{12}	$3{,}8\times 10^{15}$	2×10^{11}	$2\times 10^{11}–10^{14}$
Resistencia dieléctrica, V/mm	13.780–19.685	5.512–14.567	14.173	6.693–11.811	12.992–35.433
Constante dieléctrica					
A 60 Hz	3,8–6,0	7,1	5,5	9,7–11,1	5,4–7,6
A 1 kHz	4,0–6,0	6,9	–	–	5,6–7,6
Factor disipación					
A 60 Hz	0,01–0,04	0,05	0,087	0,14–0,23	0,015–0,048
A 1 kHz	0,01–0,05	0,02	–	–	0,043–0,060
Absorción de agua, %	0,01–1,0	0,1–1,2	0,05–0,095	0,9–21	0,7–0,9
Luz solar (cambio)	Ligero	Oscurece	Ligero	Ligero	Nada a ligero
Resistencia química	Suficiente*	Suficiente*	Excelente	Muy buena+	Suficiente
Calidades maquinaria	Buenas	–	Buenas	Buenas	Buenas

13.6 Anexo 6: Requerimientos corporativos de Clariant para determinar los equipos/elementos críticos de un sistema.



13.7 Anexo 7: Base de datos de fallas recopilados entre el año 2009 y 2016.

Equipo	Fecha Inicio	Texto breve	Costos
Extrusora A	12-06-2009	MB, CAMBIO FLEXIBLE EXTRUSORA A-1500	58.796
Extrusora A	15-06-2009	MB, REP. CALEFACTOR EXTRUSORA COPERION	131.014
Secador C	17-06-2009	MB, REPEPAR SECADOR T-1532	773.208
Sistema Extractor Polvo B	14-08-2009	MB, REPARAR SISTEMA ASPIRACION V-1596	75.460
Ensacadora B	12-09-2009	MB, REPARAR ENSACADORA A-1902	78.300
Mezclador A1	13-09-2009	MB, REPARAR MEZCLADOR R-1551	245.826
Pelletizador D	01-10-2009	MB, MOLINO PELETIZADOR A-1531	1.675.502
Extrusora A	08-10-2009	MB, REPARACIONES COPERION A-1500	762.450
Secador C	16-10-2009	MTB, REPARAR SECADOR DE SPOGETTIS T-1523	389.344
Pelletizador A	10-11-2009	MB, REPARAR RODILLO PELETIZADOR A-1503	313.098
Transp Vibr C	23-11-2009	MB, TRANSPORTADOR HELICOIDAL A-1526	54.118
Extrusora A	22-12-2009	MB, REVISAR EXTRUSORA COPERION A-1500	9.297
Pelletizador D	18-01-2010	MB, REPARACIÓN DE PELLETIZADOR A-1531	398.141
Tina C	10-02-2010	MB, REPARACIÓN DEL BAÑO DE REFRIG. A-152	106.451
Mezclador B	20-02-2010	MB, REPARACIÓN MEZCLADOR MINGLEE	34.120
Mezclador A2	11-03-2010	MB, REPARAR HENSCHEL R-1546	182.346
Pelletizador D	05-04-2010	MB, REPARAR PELLETIZADOR A-1531	202.603
Extrusora B	12-04-2010	MB, REPARAR EXTRUSORA A-1519	507.183
Ensacadora A	12-04-2010	MB, REPARAR ENSACADORA A-1901	94.190
Extrusora B	21-05-2010	MB, DESMONTAJE CAMISA EXTRUSORA A-1519	684.366
Extrusora B	04-06-2010	MB, PULIR PLACA CONTROL EXTRUSORA A-1519	84.206
Extrusora B	04-06-2010	MB, REPARAR CALEFACTOR DE EXTRUSORA 1	120.241
Secador C	23-06-2010	MB, MANTENCIÓN SECADOR T-1523	15.310
Sistema Extractor Polvo A	25-06-2010	MB, REPARAR SISTEMA ASPIRACION V-1595	96.420
Tina C	01-07-2010	MB, REPARAR LINEA EXTRUSORA A-1519	45.930
Tamizador A	20-08-2010	MB, REPARAR CRIBA SELECCIONADORA F-1504	15.310
Tamizador C	09-09-2010	MB, REUBICAR CABLE DE CRIBA F-1525	53.586
Pelletizador A	09-09-2010	MB, REPARAR PELLETIZADOR A-1503	57.530
Extrusora A	24-10-2010	MB, REPARAR BOMBA DE EXTRUSORA A-1500	275.426
Extrusora A	13-04-2011	MB, REPARAR EXTRUSORA A-1500	459.113
Pelletizador D	20-05-2011	MB, REPARACION PALETIZADOR BGM A-1531	296.447
Tamizador C	20-05-2011	MB, REPARAR F-1525	32.020
Pelletizador A	01-06-2011	MB, REPARAR GUIA ESPAGUETIS A-1503	37.632
Tina C	01-06-2011	MB, REPARAR A-1528	365.741
Transp Vibr C	16-06-2011	MB, REPARACIÓN TRANSPORTADOR HELICOIDAL	69.180
Secador C	16-06-2011	MB, REPARACION BOTONERA SECADOR T-1523	42.450
Pelletizador A	16-06-2011	MB, REPARAR CUCHILLOS A-1503	295.053
Pelletizador A	12-07-2011	MB, REPARACION RODILLO A-1503	67.738
Pelletizador A	01-08-2011	MB, REPARAR PELETIZADOR A-1503	229.159

Equipo	Fecha Inicio	Texto breve	Costos
Pelletizador A	01-08-2011	MB, CAMBIAR RODILLO A-1503	42.460
Extrusora C	02-08-2011	MB, DESMONTAJE Y REPARACION A-1539	426.852
Extrusora C	02-08-2011	MB, REPARACION BBA VACIO A-1539	67.664
Extrusora C	02-08-2011	MB, REPARAR PUERTAS DE TABLERO A-1539	42.000
Extrusora C	01-10-2011	MB, REPARACION EXTRUSORA MARIS A-1539	1.108.368
Pelletizador D	04-10-2011	MB, REPARAR PELETIZADOR BGM A-1531	143.003
Pelletizador A	05-10-2011	MB, REPARACION PELETIZADOR A-1503	180.635
Transp Vibr D	24-10-2011	MB, REPARAR TRANSPORTADOR HELICOIDAL A-1	45.159
Transp Vibr D	24-10-2011	MB, REPARACION HELICOIDAL A-1526	42.365
Tina A	01-11-2011	MB, DESTAPAR LINEA TINA A-1501	75.704
Tina D	01-11-2011	MB, DESTAPAR LINEAS TINA A-1521	38.113
Tina C	01-11-2011	MB, DESTAPAR LINEAS TINA A-1528	38.113
Extrusora C	15-11-2011	MB, REPARAR TABLERO EXTRUSORA A-1539	132.912
Extrusora B	02-12-2011	MB, REP. DE CABLEADO EXTRUSORA A-1519	67.738
Transp Vibr A	06-12-2011	MB, REPARACION HELICOIDAL EXTRUSORA A-15	105.851
Tamizador C	12-12-2011	MB, REV. Y REPARAR CRIBA SELECTORA F-152	240.846
Ensacadora B	15-12-2011	MB, REPARAR ENSACADORA A-1902	90.521
Extrusora A	12-04-2012	MB, REVISAR EXTRUSORA COPERION A-1500	181.601
Extrusora C	12-04-2012	MB, REVISAR EXTRUSORA MARIS A-1539	2.166.215
Pelletizador D	01-05-2012	MB, REPARAR PELLETIZADOR BGM A-1531	24.832
Extrusora C	01-05-2012	MB, REPARAR MOTOR EXTRUSORA MARIS M-1536	2.061.601
Extrusora B	07-05-2012	MB, REVISAR EXTRUSORA LEISTRITZ A-1519	125.973
Extrusora B	07-05-2012	MB, REPARAR EXTRUSORA LEISTRIZT A-1519	420.660
Pelletizador C	14-05-2012	MB, REPARAR PELETIZADOR BGM A-1538	1.185.888
Extrusora C	08-06-2012	MB, CAMBIAR CALEFACTOR EXTRUSORA	310.690
Ensacadora A	03-07-2012	MB, REPARAR ENSACADORA A-1901	98.750
Sistema Extractor Polvo A	08-07-2012	MB, REPARAR SISTEMA ASPIRACION V-1595	212.000
Mezclador A1	23-07-2012	MB, REPARAR MEZCLADOR R-1551	186.792
Secador A	01-08-2012	MB, REPARAR RUEDA EQUIPO SECADOR T-1502	161.747
Extrusora C	01-08-2012	MB, REVISAR FUNCIONAMIENTO MARIS A-1539	2.287.927
Pelletizador C	12-08-2012	MB, REPARAR EQUIPO PELETIZADOR A-1538	215.210
Pelletizador A	12-08-2012	MB, REPARACION PELETIZADOR A-1503	1.234.904
Elevador A	12-08-2012	MB, REPARAR SOPORTE ELEVADOR H-1518	544.580
Extrusora A	01-09-2012	MB, REVISAR EXTRUSORA COPERION A-1500	993.601
Extrusora A	01-09-2012	MB, REPARAR EXTRUSORA COPERION A-1500	1.456.631
Pelletizador C	01-10-2012	MB, REPARAR BOTONERA EMERGENCIA BGM	24.832
Molino B	10-10-2012	MB, REPARAR MOLINO T-1528	72.495
Pelletizador C	01-11-2012	MB, CAMBIAR RODILLO PELETIZADOR BGM A-15	399.764
Transp Vibr D	01-11-2012	MB, REPARAR HELICOIDAL DE MARIS A-1533	82.773
Pelletizador A	01-11-2012	MB, REPARAR PELETIZADOR COPERION A-1503	362.478
Pelletizador D	26-11-2012	MB, REPARAR RODILLO PELETIZAD BGM A-1531	33.109

Equipo	Fecha Inicio	Texto breve	Costos
transp Vibr A	26-11-2012	MB, REPARAR HELICOIDAD COPERION A-152	285.930
Elevador A	30-11-2012	MB, REPARAR ELEVADOR DE CARGA H-1518	115.882
Secador A	30-11-2012	MB, REPARAR ENCHUFE DE SECADOR T-1502	58.720
Pelletizador D	01-12-2012	MB, REPARAR RODILLO PELETIZAD BGM A-1531	90.000
Extrusora A	15-12-2012	MB, REPARAR EXTRUSORA COPERION A-1500	358.675
Extrusora C	14-01-2013	MB, REPARE URGENTE EXTRUSOR MARIS A-1539	741.210
Pelletizador D	24-01-2013	MB, REPARE RODILLO PELETIZ BAUSAN A-1531	61.672
Pelletizador A	04-02-2013	MB, CAMBIO POTENCIOMETRO PELETIZA A-1503	46.254
Pelletizador A	13-02-2013	MB, CAMBIO RODILLO PELETIZADOR A-1503	46.254
Transp Vibr C	14-02-2013	MB, REVISAR TRANSPORTADORA HELICOIDAL	195.005
Pelletizador C	14-02-2013	MB, REPARAR RODILLO PELETIZAD BGM A-1538	35.960
Elevador A	14-02-2013	MB, REPARAR PUERTA DE ELEVADOR H-1518	24.500
Extrusora C	25-02-2013	MB, REVISAR CONTROLADOR EXTRUSORA A-1539	48.295
Pelletizador D	04-03-2013	MB, REPARAR RODILLO PELETIZADORA A-1531	231.553
Pelletizador C	04-03-2013	MB, CAMBIO CUCHILLOS PELETIZADO A-1538	302.778
Extrusora B	04-03-2013	MB, REPARAR EXTRUSORA LEISTRITZ A-1519	748.904
Extrusora C	05-03-2013	MB, REPARAR FALLA ELECTRICA MARIS A-1539	221.963
Mezclador C	06-03-2013	OMS, REVISION EQUIPO CONSOLID R-1553	53.963
Mezclador C	08-03-2013	MB, REVISAR TEMPORIZADOR DE CONSOLID	289.293
Tamizador D	15-03-2013	MB, REPARAR MOTOR HELICOIDAL MARIS M-153	130.619
Secador C	18-03-2013	MB, REVISAR SECADOR LINEA MARIS T-1523	77.090
Extrusora A	18-03-2013	MB, RECTIFICAR ORIFICIO CABEZAL COPERION	92.508
Extrusora A	18-03-2013	MB, REPARE TORNILLO DOSIFICADOR COPERION	350.240
Pelletizador C	22-03-2013	MB, REPARAR PELETIZADOR MARIS A-1538	246.688
Extrusora B	27-03-2013	MB, REPARAR EXTRUSORA LEISTRITZ	131.053
Pelletizador A	28-03-2013	MB, CAMBIO RODILLO PELLETIZADOR SHEER	38.545
Pelletizador D	28-03-2013	MB, REPARAR PELETIZADORA BGM A-1531	31.800
Secador A	01-04-2013	MB, REPARE ENCHUFE SECADOR COPERI T-1502	167.333
Pelletizador A	01-04-2013	MB, REPARAR PELETIZADORA COPERION A-1503	30.785
Ensacadora B	06-04-2013	MB, REPARAR ENSACADORA A-1902	98.245
Tina C	11-04-2013	MB, MANTENCION TINA DE ENFRIAMIEN A-1528	315.430
Extrusora C	22-04-2013	MB, CONTROLAR FILTRACION MARIS A-1539	138.927
Sistema Extractor Polvo B	23-04-2013	MB, REPARAR SISTEMA ASPIRACION V-1596	82.790
Pelletizador C	25-04-2013	MB, REPARAR MANGUERA DE AIRE MARIS	7.709
Extrusora A	10-05-2013	MB, CHEQUEAR EXTRUSORA COPERION	2.464.267
Tamizador D	14-05-2013	MB, REPARAR SEGUROS TAMIZADORES F-1532	38.417
Tina A	17-05-2013	MB, REPARAR TINA DE EXTRUSION A-1501	99.885
Pelletizador C	17-05-2013	MB, CAMBIO DE FILTRO PELETIZADOR A-1538	78.130
Extrusora A	04-06-2013	MB, REPARAR O REEMPLAZAR PIEZA DE VDF	327.634
Pelletizador C	17-06-2013	MB, REVISAR PELETIZADOR DESCARGA ELECTRI	61.468
Tamizador A	17-06-2013	MB, CAMBIAR CANALIZACION DE TAMIZADOR	24.780

Equipo	Fecha Inicio	Texto breve	Costos
Tamizador D	17-06-2013	MB, CAMBIAR UBICACION CANALIZACION ELECT	13.437
Extrusora C	21-06-2013	MB, CAMBIAR SOLENOIDES EXTRUSORA MARIS	187.206
Extrusora C	21-06-2013	MB, REPARAR BOTONERA SISTE REFRIGERACION	12.700
Extrusora C	21-06-2013	MB, REPARE TOLVA DE CARGA EXTRUSOR MARIS	157.747
Extrusora C	21-06-2013	MB, INSTALAR VIDRIO EN MANOMETRO MARIS	23.490
Extrusora A	23-06-2013	MB, REPARAR ENCLAVAMIENTO DE EXTRUSORA	23.050
Pelletizador A	29-06-2013	MB, CAMBIAR RUEDAS CORTADORA SHEER	219.859
Extrusora B	13-07-2013	MB, REVISAR/REPARAR CABEZAL DE LEISTRITZ	98.489
Secador C	17-07-2013	MB, REPARAR SECADOR DE EXTRUSORA MARIS	525.986
Secador A	17-07-2013	MB, REPARAR RUEDAS DE EQUIPO SECADOR	47.960
Transp Vibr C	17-07-2013	MB, REPARAR BOTONERA TRANSPORT HELICOIDE	14.420
Elevador A	17-07-2013	MB, REPARAR MANILLA DE ELEVADOR DE CARGA	12.582
Mezclador C	17-07-2013	MB, REVISAR EQUIPO CONSOLID	190.250
Transp Vibr A	30-07-2013	MB, REPARAR HELICOIDAL DE TRANS COPERION	23.050
Transp Vibr A	30-07-2013	MB, REPARAR PERNOS HELICOIDAL COPERION	37.840
Tamizador C	06-08-2013	MB, REVISAR SUJECION D TAMIZADOR BAUSANO	84.518
Extrusora A	06-08-2013	MB, CAMBIAR FLEXIBLES EXTRUSORA COPERION	23.050
Pelletizador C	28-08-2013	MB, REPARAR SENSOR DE SEGURIDAD DE BGM	16.098
Extrusora A	29-08-2013	MB, REPARAR PIEZA DOSIFICADOR COPERION	36.136
Pelletizador A	02-09-2013	MB, REPARAR RODILLO PELETIZADOR SCHEER	61.468
Transp Vibr A	04-09-2013	MB, REPARAR HELICOIDAL COPERION A-1526	124.684
Extrusora B	05-09-2013	MB, REPARAR MANILLA EXTRUSORA LEISTRITZ	23.050
Elevador A	08-09-2013	MB, REVISAR GUIA DE ELEVADOR DE CARGA	177.894
Extrusora C	08-09-2013	MB, REVISAR EMPAQUETADURA DE MARIS	38.417
Ensacadora A	21-09-2013	MB, REPARAR ENSACADORA A-1901	103.530
Pelletizador D	23-09-2013	MB, REPARAR SOPORTE PELETIZADOR A-1531	23.050
Elevador A	23-09-2013	MB, REPARAR ELEVADOR DE CARGA H-1518	162.479
Tamizador C	01-10-2013	MB, REPARAR TAMIZADOR DE MARIS	128.544
Tina A	03-10-2013	MB, REACONDICIONAR SIST ENFRIAM COPERION	267.701
Extrusora C	03-10-2013	MB, REPARAR TERMOCUPLA EXTRUSORA MARIS	48.295
Extrusora C	03-10-2013	MB, FABRICAR TAPA DESGASIFICADOR MARIS	68.740
Secador D	21-10-2013	MB, REVISAR SECADOR EXTRUSORA MARIS	23.050
Molino A	26-10-2013	MB, REPARAR MOLINO T-1527	340.256
Tamizador A	05-11-2013	MB, REPARAR PRISIONEROS DE TAMIZADORES	69.151
Extrusora B	19-11-2013	MB, CAMBIAR PERNOS CABEZAL LEISTRITZ	7.683
Extrusora B	19-11-2013	MB, CONTROLAR FILTRACION EN LEISTRITZ	11.560
Transp Vibr C	23-11-2013	MB, AMPLIAR PIEZA EN HELICOIDAL A-1526	28.653
Tamizador C	23-11-2013	MB, MODIFICAR TAMIZADOR F-1525	35.772
Elevador A	23-11-2013	MB, MODIFICAR ELEVADOR DE CARGA H-1518	138.240
Pelletizador C	23-11-2013	MB, REPARAR PELETIZADOR MARIS A-1538	165.695
Pelletizador C	23-11-2013	MB, REPARAR SENSOR D SEGURIDAD CORTADORA	16.830

Equipo	Fecha Inicio	Texto breve	Costos
Tamizador C	23-11-2013	MB, MODIFICAR TAMIZADOR EXTRUSOR BAUSANO	33.750
Extrusora C	24-11-2013	MB, REPARAR FUGA ACEITE REDUCTOR MARIS	84.518
Extrusora C	24-11-2013	MB, RECTIFICAR CABEZALES DE MARIS	18.960
Extrusora C	06-12-2013	MB, REPARAR CABLE EXTRUSORA MARIS	104.971
Extrusora B	10-02-2014	MB, REPARAR MOTOR EXTRUSORA LEISTRITZ	123.153
Extrusora B	01-03-2014	MB, REPARAR MANILLA DE ENCENDIDO A-1519	45.627
Extrusora C	23-03-2014	MB, CONTROLAR FILTRACION EN MARIS A-1539	15.209
Transp Vibr C	02-04-2014	MB, REVISAR HELICOIDAL EXTRUSORA MARIS	159.695
Pelletizador A	02-04-2014	MB, REPARAR VISOR DE PRESION CORTADORA	22.440
Pelletizador D	02-04-2014	MB, REPARAR TAG PELLETIZADOR MARIS	11.940
Pelletizador D	02-04-2014	MB, REVISAR PELETIZADOR BGM MARIS	17.340
Extrusora A	02-05-2014	MB, REPARAR SISTEMA DOSIFICADOR COPERION	229.707
Extrusora A	02-05-2014	MB, REVISAR CONEXION CALEFACTOR COPERION	26.420
Extrusora A	02-05-2014	MB, LIBERAR PASO MANGUER COPERION A-1500	8.960
Extrusora A	02-05-2014	MB, CONTROLAR FILTRACION EN COPERION	30.450
Pelletizador A	03-06-2014	MB, REPARAR PELLETIZADOR SCHEER	350.054
Pelletizador C	03-06-2014	MB, REPARAR RODILLO DE CORTADORA BGM	44.520
Secador A	03-06-2014	MB, REPARAR SECADOR COPERION T-1502	420.930
Tamizador A	05-06-2014	MB, REPARAR TAMIZADOR DE COPERION	15.209
Extrusora A	05-06-2014	MB, REPARAR TAPA DE MOTOR BRABENDER	52.980
Extrusora B	25-06-2014	MB, REPARAR CALEFACTOR LEISTRIZT A-1519	198.118
Extrusora B	25-06-2014	MB, REPARAR CALEFACTORES LEISTRIZT	113.441
Extrusora B	25-06-2014	MB, REPARAR DOSIFICADOR LEISTRIZT	31.348
Extrusora B	25-06-2014	MB, REPARAR CONEXION ELECTRICA LEISTRITZ	42.192
Extrusora B	25-06-2014	MB, REPARAR TORNILLO LEISTRZT A-1519	316.420
Extrusora B	25-06-2014	MB, CAMBIAR CALEFACT ZONA N° 4 LEISTRITZ	125.856
Mezclador A2	14-07-2014	MB, REPARAR HENSCHEL R-1546	210.234
Tamizador C	07-08-2014	MB, REPARAR TAMIZADOR EXTRUSORA MARIS	828.891
Extrusora C	07-08-2014	MB, CAMBIAR CABLE DE CABEZAL EXTR. MARIS	65.639
Extrusora C	07-08-2014	MB, CAMBIAR FLEXIBLE MARIS A-1539	15.450
Cono de transporte	07-08-2014	MB, REPARAR RUEDA CONOS TRANSPORTE	780.268
Extrusora C	10-09-2014	MB, REVISE FILTRACION ACEITE CAJA A-1539	15.209
Extrusora A	14-09-2014	MB, CHEQUEAR PRENSA ESTOPA DE COPERION	111.266
Extrusora A	14-09-2014	MB, REVISAR TRANSDUCTOR PRESION COPERION	242.880
Extrusora A	14-09-2014	MB, CHEQUEAR ENCENDIDO DE COPERION	18.960
Pelletizador C	08-10-2014	MB, REPARAR PELETIZADORA BGM A-1538	83.650
Mezclador A1	06-11-2014	MB, REPARAR MEZCLADOR R-1551	175.425
Extrusora B	19-12-2014	MB, REPARAR BOTONERAS EXTRUSOR LEISTRITZ	30.418
Tamizador C	20-12-2014	MB, REPARAR TAMIZADOR MARIS	98.859
Pelletizador D	20-12-2014	MB, CORTAR TUBO PELETIZADOR BGM A-1531	13.420
Pelletizador C	20-12-2014	MB, REPARAR EQUIPO PELLETIZADOR BGM	585.320

Equipo	Fecha Inicio	Texto breve	Costos
Sistema Extractor Gases A	25-12-2014	MB, REPARAR ASPIRACIÓN SISTEMA V-1594	357.836
Ensacadora A	04-02-2015	MB, REPARAR ENSACADORA A-1901	107.530
Extrusora A	07-02-2015	MB, REVISAR TORQUE DE EXTRUSORA COPERION	55.394
Extrusora A	23-03-2015	MB, REVISION BOMBA DE ACEITE COPERION	79.134
Sistema Extractor Gases A	25-03-2015	MB, REPARAR SISTEMA EXTINCION SISTEMA V-1594	65.330
Extrusora C	14-04-2015	MB, MANTENCION EQUIPO DOSIFICADOR MARIS	256.042
Extrusora C	14-04-2015	MB, INSTALAR REJILLA SEGUR SEÑALET MARIS	8.920
Extrusora B	07-05-2015	MB, REPARAR PERNOS ROTOS EXTRU LEISTRITZ	59.296
Extrusora A	08-05-2015	MB, DESARMAR CABEZAL EXTRUSORA COPERION	166.072
Elevador A	12-05-2015	MB, REVISAR CIERRE DE PUERTA DE ELEVADOR	65.807
Secador A	12-05-2015	MB, INSTALAR MANGUERA DESPICHE SECADOR	11.648
Pelletizador A	12-05-2015	MB, CAMBIAR POSICION SEGURO PELLETIZADOR	18.920
Extrusora B	12-05-2015	MB, INSTALAR REJILL SEGURIDAD SEÑALETICA	60.656
Ensacadora B	27-05-2015	MB, REPARAR ENSACADORA A-1902	88.240
Extrusora A	07-06-2015	MB, REPARAR BOTON DE EMERGENCIA COPERION	38.860
Extrusora A	07-06-2015	MB, REVISAR BOMBA DE ACEITE DE COPERION	32.590
Extrusora A	07-06-2015	MB, REPARAR CALEFACTORE CABEZAL COPERION	125.045
Extrusora C	12-06-2015	MB, CAMBIAR CALEFACTORES MARIS	384.528
Extrusora C	12-06-2015	MB, CAMBIAR VALVULA CHECK DE MARIS	25.520
Extrusora C	12-06-2015	MB, REPARAR/CAMBIAR SELLO MECANICO BOMBA	242.000
Tamizador C	16-06-2015	MB, MODIFICAR TAMIZADOR F-1525	202.856
Extrusora A	21-07-2015	MB, CHEQUEAR CALIBRAR EQUIPO COLORTRONIC	187.324
Extrusora A	21-07-2015	MB, REPARAR FILTRACION VALVULAS COPERION	47.134
Tamizador C	01-08-2015	MB, TAPAR PARTES MOVILES TAMIZADOR	31.654
Elevador A	01-08-2015	MB, REPARAR BOTONERA EMERGENCIA ELEVADOR	4.645
Pelletizador A	17-08-2015	MB, REPARAR PERILLA PELLETIZADOR SCHERR	15.827
Secador D	17-08-2015	MB, REPARAR SECADOR BGM FILTRAC HILO ROD	24.760
Transp Vibr C	17-08-2015	MB, REPARAR TAPAS MOTOR HELICOIDAL MARIS	88.330
Tamizador C	17-08-2015	MB, REPARAR BOTONERA TAMIZADOR COPERION	21.240
Pelletizador C	17-08-2015	MB, INSTALAR 2 SOPORTES PARA PALA EN BGM	45.500
Tamizador D	17-08-2015	MB, REPARAR URGENT MALLA TAMIZADOR MARIS	39.458
Tamizador C	18-08-2015	MB, SOLDAR PALETAS EN TAMIZADOR F-1525	16.730
Mezclador A1	22-09-2015	MB, REPARAR MEZCLADOR R-1551	610.841
Sistema Extractor Polvo B	16-10-2015	MB, REPARAR SISTEMA ASPIRACION V-1596	91.720
Extrusora C	25-10-2015	MB, REPARAR PROTECCION MARIS	31.654
Tina C	01-11-2015	MB, REPARAR SENSOR DE TEMPERATURA MARIS	26.241
Tina D	07-11-2015	MB, REPARAR BOMBA TINA SST	185.200
Sistema Extractor Polvo A	12-11-2015	MB, REPARAR SISTEMA ASPIRACION V-1595	338.240
Extrusora A	10-12-2015	MB, REPARAR FALLA EXTRUSORA COPERION	267.742
Extrusora A	15-12-2015	MB, REPARAR MOTOR EXTRUSORA COPERION	2.730.471
Secador D	19-01-2016	MB, REPARAR SECADOR EXTR SST	850.320

Equipo	Fecha Inicio	Texto breve	Costos
Sistema Extractor Gases A	18-02-2016	MB, REPARAR ASPIRACIÓN SISTEMA V-1594	144.562
Molino B	14-03-2016	MB, REPARAR MOLINO T-1528	404.686
Extrusora A	27-04-2016	MB, REPARAR CALEFACTORES COPERION	412.247
Mezclador B	03-05-2016	MB, REPARAR MEZCLADOR MINGLEE	1.142.320
Extrusora C	18-05-2016	MB, REPARAR TORNILLO MARIS	146.248
Sistema Extractor Polvo B	19-05-2016	MB, REPARAR SISTEMA ASPIRACION V-1596	85.432
Ensacadora A	07-06-2016	MB, REPARAR ENSACADORA A-1901	107.920

13.8 Anexo 8: Tablas resumidas de frecuencia de falla y costo de fallas.

Equipo	**Número de fallas**	tasa de fallas [1/año]	Porcentaje de fallas dentro del total	Porcentaje acumulado
Extrusora A	**36**	5,14	12,0	12,0
Extrusora C	**34**	4,86	11,3	23,3
Extrusora D	**31**	4,43	10,3	33,7
Extrusora B	**24**	3,43	8,0	41,7
Pelletizador A	**20**	2,86	6,7	48,3
Pelletizador B	**18**	2,57	6,0	54,3
Pelletizador C	**17**	2,43	5,7	60,0
Pelletizador D	**15**	2,14	5,0	65,0
Tamizador C	**13**	1,86	4,3	69,3
Elevador A	**9**	1,29	3,0	72,3
Transp Vibr C	**7**	1,00	2,3	74,7
Secador C	**6**	0,86	2,0	76,7
Tina C	**6**	0,86	2,0	78,7
Secador A	**6**	0,86	2,0	80,7
Ensacadora A	**5**	0,71	1,7	82,3
Transp Vibr A	**5**	0,71	1,7	84,0
Sistema Extractor Polvo B	**4**	0,57	1,3	85,3
Mezclador A1	**4**	0,57	1,3	86,7
Tamizador A	**4**	0,57	1,3	88,0
Tamizador D	**4**	0,57	1,3	89,3
Ensacadora B	**4**	0,57	1,3	90,7
Transp Vibr D	**3**	0,43	1,0	91,7
Sistema Extractor Polvo A	**3**	0,43	1,0	92,7
Mezclador C	**3**	0,43	1,0	93,7
Tina A	**3**	0,43	1,0	94,7
Secador D	**3**	0,43	1,0	95,7
Sistema Extractor Gases A	**3**	0,43	1,0	96,7
Mezclador B	**2**	0,29	0,7	97,3
Tina D	**2**	0,29	0,7	98,0
Mezclador A2	**2**	0,29	0,7	98,7
Molino B	**2**	0,29	0,7	99,3
Cono de transporte	**1**	0,14	0,3	99,7
Molino A	**1**	0,14	0,3	100,0

Equipo	Suma de costos	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada
Extrusora A	**12867125**	18,512	18,512
Extrusora C	**11706087**	16,842	35,354
Extrusora D	**9583619**	13,788	49,142
Extrusora B	**4177631**	6,010	55,152
Pelletizador A	**3671093**	5,282	60,434
Pelletizador C	**3516040**	5,059	65,493
Pelletizador B	**3480516**	5,007	70,500
Pelletizador D	**3254412**	4,682	75,182
Secador C	**1823388**	2,623	77,806
Tamizador C	**1809266**	2,603	80,409
Elevador A	**1246609**	1,794	82,202
Mezclador A1	**1218884**	1,754	83,956
Mezclador B	**1176440**	1,693	85,648
Secador D	**898130**	1,292	86,941
Tina C	**897906**	1,292	88,232
Secador A	**868338**	1,249	89,482
Cono de transporte	**780268**	1,123	90,604
Sistema Extractor Polvo A	**646660**	0,930	91,535
Transp Vibr C	**609401**	0,877	92,411
Transp Vibr A	**577355**	0,831	93,242
Sistema Extractor Gases A	**567728**	0,817	94,059
Mezclador C	**533506**	0,768	94,826
Ensacadora A	**511920**	0,737	95,563
Molino B	**477181**	0,687	96,250
Tina A	**443290**	0,638	96,887
Mezclador A2	**392580**	0,565	97,452
Ensacadora B	**355306**	0,511	97,963
Molino A	**340256**	0,490	98,453
Sistema Extractor Polvo B	**335402**	0,483	98,935
Tina D	**223313**	0,321	99,257
Tamizador D	**221931**	0,319	99,576
Transp Vibr D	**170297**	0,245	99,821
Tamizador A	**124450**	0,179	100,000

13.9 Anexo 9: Planes de mantenimiento elaborados.

Extrusora A						
Componente / sub sistema	**Actividad**	**Frecuencia**	**Duracion estimada**	**Estrategia**	**Detención**	**Ejecutor**
MOTOR ELECTRICO COPERION	Revisión estado de rodamiento (estetoscopio)	3 meses	15 min	Preventivo según condición	no	mec
	Engrase de rodamientos	3 meses	20 min	Preventivo fecha constante	no	mec
	Medición de corriente de consumo del motor eléctrico	3 meses	10 min	Predictivo	no	eli
	Revisión caja de conexión, estado prensa cables y reapriete si necesario.	6 meses	15 min	Preventivo fecha constante	si	eli
	Inspección visual estado de carcasa, óxido y pintura	6 meses	10 min	Preventivo según condición	no	[-]
	Medición aislación motor coperion	6 meses	30 min	Predictivo	si	eli
	Medición de temperatura del motor en funcion de la T del cooler y rpm (establecer protocolo medición)	3 meses	15 min	Predictivo	no	mec
	Mantenimiento completo (eléctrico y mecánico)	2 años	5 dias	Preventivo a edad constante	si	externo
	Sistema de refrigeración: Inspeccion de filtraciones, estado de mangueras.	6 meses	10 min	Preventivo según condición	no	mec
	Sistema de refrigeración , *lavado quimico*	1 año	5 hr	Preventivo fecha constante	si	mec
ACOPLAMIENTO EMBRAGUE REDUCTOR	Inspección visual estado rejilla de protección sistema motriz.	3 meses	10 min	Preventivo según condición	no	mec
	Chequeo de alineación	6 meses	1,5 hr	Predictivo	si	mec
	Inspección visual casquetes de amortiguación	3 meses	10 min	Preventivo según condición	si	mec
	Chequeo fijacion sensor inductivo (switch posicion), cubierta protectora del acople	6 meses	10 min	Preventivo fecha constante	no	instr.
	Chequeo funcionamiento sensor inductivo (switch posicion), cubierta protectora del acople	6 meses	5 min	Preventivo según condición	no	instr.
	Mantenimiento al limitador de torque.	1 año	8 hr	Preventivo fecha constante	si	mec
	Calibración con Torquimetro del apriete.	6 meses	1 hr	Preventivo fecha constante	si	mec
CAJA REDUCTORA	Registro nivel de aceite, presencia de filtraciones.	3 meses	10 min	Preventivo según condición	no	mec
	Inspección estado carcasa, pinturas (bomba).	3 meses	10 min	Preventivo según condición	no	[-]
	Pintar la carcasa	2 años	3 hr	Preventivo fecha constante	no	[-]
	Cambio de rodamientos cada 20000 hrs	20000 hrs	7 dias	Preventivo según condición	si	externo
	Cambio de empaquetadura	2 años	3 hr	Preventivo a edad constante	si	mec
	Cambio de aceite	2 años	4 hr	Preventivo fecha constante	si	[-]
	Análisis de aceite (partículas, temp, humedad, visc.)	6 meses	5 dias	Preventivo según condición	si	externo
Sistema de acoplamiento reductor y tornillo	Inspeccion visual del estriado.	6 meses	2 hr	Preventivo según condición	no	mec
SISTEMA DE LUBRICACION	Medición aislación motor bomba de aceite, reapriete y estado prensa cables.	6 meses	3 hr	Predictivo	si	eli
	Medición de corriente de consumo bomba de aceite	3 meses	10 min	Predictivo	no	eli
	Revisión de temperatura y presión de aceite	3 meses	10 min	Preventivo según condición	no	[-]
	Revisión estado de rodamiento (estetoscopio)	3 meses	15 min	Preventivo según condición	no	mec

Extrusora A						
Componente / sub sistema	**Actividad**	**Frecuencia**	**Duracion estimada**	**Estrategia**	**Detención**	**Ejecutor**
	Cambio filtro de aceite	1 año	20 min	Preventivo fecha constante	si	mec
	Revisión de circuito de enfriamiento (busca de fugas)	3 meses	30 min	Preventivo según condición	no	mec
	Cambio del retén de la bomba de aceite	1 año	3 hr	Preventivo fecha constante	si	mec
	Revisión de funcionamiento y del punto de regulación del presostato	1 año	3 hr	Preventivo fecha constante	si	instr.
	Revisión de circuito de aceite lubricante (fugas, roturas, necesidad de reaprietes, etc)	3 meses	40 min	Preventivo según condición	no	mec
Parada de Emergencia	Inspección visual y prueba de des energización de todos los sub- sistemas	3 meses	25 min	Preventivo fecha constante	si	[-]
Cooler	Revisión circuito enfriamiento (Inspección de fugas)	3 meses	15 min	Preventivo según condición	no	mec
	Inspeción del estado de rodamiento con estetoscopio.	3 meses	15 min	Preventivo según condición	no	mec
	Medición de corriente de consumo bomba	3 meses	10 min	Predictivo	no	eli
	Medición aislación del motor, reapriete y estado prensa cables.	6 meses	40 min	Predictivo	si	eli
	Inpeccion interna de la bomba y limpieza de las multietapas e inspeccion sello mecanico	1 año	4 hr	Preventivo fecha constante	si	mec
	Cambio de agua de osmosis del circuito	6 meses	3 hr	Preventivo fecha constante	si	[-]
	Inpección rotor, estator, devanados y estado del barnizado	1 año	2 hr	Preventivo a edad constante	si	mec
	Lavado quimico del sistema completo de refrigeración	1 año	5 hr	Preventivo fecha constante	si	mec
Camisa	Inspección visual en busca de fisuras en los bloques	1 año	1dia	Preventivo según condición	si	mec
	Medición desgaste interior de la camisa	1 año	4 hr	Predictivo	si	mec/externo
Cuerpo extrusora	Limpieza y revisión de pernos del cabezal	6 meses	3 hr	Preventivo fecha constante	si	mec
	Cambio de pernos (cabezal y cuerpo)	2 años	3,5 hr	Preventivo fecha constante	si	mec
	Lubricación de la visagra del cabezal	3 meses	1 hr	Preventivo fecha constante	no	mec
	Limpieza electroválvulas	6 meses	2,5 hr	Preventivo fecha constante	si	mec/eli
	Inspección de fugas de electroválvulas con pruebas de presión.	6 meses	3 hr	Preventivo según condición	si	mec/eli
	Lavado quimico	1 año	5 hr	Preventivo fecha constante	si	mec
	Chequeo de medición de las termocuplas tipo J (7 unidades)	1 año	1 dia	Preventivo según condición	si	instr.
	Inspección visual estado cables de termocuplas	3 meses	15 min	Preventivo según condición	no	instr.
	Inspección estado de los engates y portaengates de las termocuplas	6 meses	20 min	Preventivo según condición	no	instr.
	Limpieza interna tablero de conexiones de calefactores y termocuplas	6 meses	45 min	Preventivo fecha constante	si	eli
	Apriete de conexiones eléctricas asociados a sistema de regrigeración/calefaccion encamisado	6 meses	2 hr	Preventivo fecha constante	si	eli
	Inspeccion visual fijación calefactores tipo tubulares del cabezal y el cuerpo de la extrusora	3 meses	30 min	Preventivo según condición	no	eli
	Inspeccion visual del estado del cableado de calefactores tipo tubulares del cuerpo y del cabezal	3 meses	30 min	Preventivo según condición	no	eli
	Inspección visual y prueba de cero al transductor de presión	1 año	2 hr	Preventivo según condición	no	instr.
	Medición de corriente de consumo Calefactores	3 meses	1 hr	Predictivo	no	eli
TABLERO DE FUERZA Y CONTROL	Limpieza externa al tablero	6 meses	2,5 hr	Preventivo fecha constante	no	eli
	Limpieza interna al tablero (sopleteo y paso con brocha)	6 meses	2 hr	Preventivo fecha constante	si	eli
	Mantencion completa VDF	18 meses	3 dias	Preventivo a edad constante	si	externo

Extrusora A						
Componente / sub sistema	**Actividad**	**Frecuencia**	**Duracion estimada**	**Estrategia**	**Detención**	**Ejecutor**
	Cambio filtro de celosias	6 meses	45 min	Preventivo fecha constante	si	eli
	Reapriete de terminales, inspección del estado físico del cableado y de las conexiones	6 meses	2 hr	Preventivo fecha constante	si	eli
	Revisión del lazo de control de la calefaccion/refrigeración de las zonas	6 meses	2 dias	Preventivo fecha constante	si	instr.
	Realizacion de la termografía	1 año	20 min	Predictivo	no	externo
	Prueba de funcionamiento de las botoneras	6 meses	30 min	Preventivo fecha constante	si	eli
	Revisión luces pilotos.	6 meses	15 min	Preventivo fecha constante	no	eli
Dosificador Volumétrico	Chequeo estado de rodamientos (inspección auditiva y visual)	3 meses	15 min	Preventivo según condición	no	mec
	Inspección soporte del motor; reapriete de ser necesario	3 meses	30 min	Preventivo fecha constante	si	mec
	Inspección visual tornillo y acople; reajuste de ser necesario.	3 meses	15 min	Preventivo según condición	si	mec
	Medición de corriente de consumo motor	3 meses	10 min	Predictivo	no	eli
	Revisión del reductor (cambio de aceite e inspección de engranaje)	2 años	3,5 hr	Preventivo a edad constante	si	mec
	Chequeo fijación switch posición de la tolva de descarga, inspección de su cableado	6 meses	10 min	Preventivo según condición	no	instr.
	Chequeo funcionamiento switch posición de la tolva de descarga, inspección de su cableado	6 meses	5 min	Preventivo según condición	no	instr.
	Chequeo fijacion sensor inductivo tapa superior (switch de posicion)	6 meses	10 min	Preventivo según condición	no	instr.
	Chequeo funcionamiento sensor inductivo tapa superior (switch de posicion)	6 meses	5 min	Preventivo según condición	no	instr.
	Medición aislación motor dosificador	6 meses	40 min	Predictivo	si	eli

Extrusora C						
Componente	**Actividad**	**Frecuencia**	**Duracion estimada**	**Estrategia**	**Detención**	**Ejecutor**
MOTOR ELECTRICO	Inspección de rodamiento (estetoscopio)	3 meses	10 min	Preventivo según condición	no	mec
	Medición de temperatura del motor en función de la T amb y rpm trabajo (establecer protocolo medición)	3 meses	15 min	Predictivo	no	mec
	Engrasar rodamientos	6 meses	25 min	Preventivo fecha constante	no	mec
	Inspección caja de conexión, estado prensa cables, sopleteo y reapriete	6 meses	15 min	Preventivo fecha constante	si	eli
	Inspección visual estado de carcasa, óxido y pintura (trabajos correctivos según condición).	3 meses	10 min	Preventivo según condición	no	[-]
	Medición de corriente de consumo	3 meses	15 min	Predictivo	no	eli
	Limpieza interna de polvo	1 año	20 min	Preventivo fecha constante	si	
	Inspección visual del estado de los carbones	1 año	10 min	Preventivo según condición	si	eli
	Mantenimiento completo (eléctrico y mecánico)	3 años	5 dias	Preventivo a edad constante	si	externo
UNIDAD ENFRIADORA MOTOR POR AIRE	Limpieza filtro de aire	3 meses	20 min	Preventivo fecha constante	no	operadores
	Inspección visual de empaquetaduras de entrada y salida de aire del motor (posible cambio)	1 año	1 hr	Preventivo según condición	si	[-]
	Cambio filtro de aire	1 año	15 min	Preventivo fecha constante	si	[-]
	Revisión de sensor de flujo.	6 meses	10 min	Preventivo fecha constante	si	instr
	Medición de corriente de consumo unidad enfriadora	3 meses	10 min	Predictivo	no	eli
	Inspección ruido de rodamientos (estetoscopio)	3 meses	10 min	Preventivo según condición	no	mec
	Inspección y limpieza de rodete del soplador.	6 meses	1 hr	Preventivo fecha constante	si	[-]
	Medición aislación motor unidad enfriadora , reapriete y estado prensa cables.	6 meses	20 min	Predictivo	si	eli
CAJA REDUCTORA	Inspección en busca de filtraciones.	3 meses	10 min	Preventivo según condición	no	mec
	Registro de temperatura y presión de trabajo.	3 meses	10 min	Preventivo según condición	no	mec
	Revisión/calibración manómetro y termómetro	1 año	4 hr	Preventivo según condición	si	instr
	Inspección manifold de lubricación y limpieza de boquillas	2 años	2 hr	Preventivo fecha constante	si	mec
	Monitoreo nivel de aceite, limpieza del visor	3 meses	5 min	Preventivo según condición	no	mec
	Inspección visual del estado carcasa, pintura (correciones según condición).	3 meses	5 min	Preventivo según condición	no	[-]
	Análisis de aceite (partículas, temp, visc.)	6 meses	20 min	Preventivo según condición	no	examen
	Cambio de aceite	2 años	4 hr	Preventivo fecha constante	si	[-]
	Cambio filtro de aceite.	6 meses	30 min	Preventivo fecha constante	si	mec
ENFRIAMIENTO CAJA REDUCTORA	Inspección filtraciones intercambiador de calor	3 meses	10 min	Preventivo según condición	no	mec
	Inspeccion visual estado de los flexibles del intercambiador de calor	3 meses	10 min	Preventivo según condición	no	mec
	Inspección filtraciones de la bomba de aceite	3 meses	10 min	Preventivo según condición	no	mec
	Mantención completa intercambiador de calor	2 años	3 hr	Preventivo fecha constante	si	mec
	Inspección auditiva (estetoscopio) rodamientos bomba aceite	3 meses	15 min	Preventivo según condición	no	mec
	Medición de corriente de consumo bomba de aceite	3 meses	10 min	Predictivo	no	eli
	Medición aislación motor bomba de aceite, reapriete y estado prensa cables.	6 meses	20 min	Predictivo	si	eli
	Medición desgaste y limpieza del engranaje de la bomba	1 año	3,5 hr	Preventivo según condición	si	mec
	Medición de desgaste junta eje de la bomba con eje del motor	1 año	20 min	Preventivo según condición	si	mec

Extrusora C						
Componente	**Actividad**	**Frecuencia**	**Duracion estimada**	**Estrategia**	**Detención**	**Ejecutor**
	Revisión de cubierta de la bomba	6 meses	20 min	Preventivo según condición	no	mec
TABLERO DE FUERZA Y CONTROL	Limpieza externa al tablero	6 meses	2,5 hr	Preventivo fecha constante	no	eli
	Limpieza interna al tablero (sopleteo y paso con brocha)	6 meses	2 hr	Preventivo fecha constante	si	eli
	Mantencion completa VDF	2 años	3 dias	Preventivo a edad constante	si	externo
	Cambio filtro de celosias	6 meses	30 min	Preventivo fecha constante	si	eli
	Reapriete de terminales, inspección del estado físico del cableado y de las conexiones	6 meses	2 hr	Preventivo fecha constante	si	eli
	Revisión del lazo de control de la calefaccion/refrigeración de las zonas	6 meses	2 dias	Preventivo fecha constante	si	instr
	Realizacion de la termografía	1 año	20 min	Predictivo	no	externo
	Prueba de funcionamiento de las botoneras	6 meses	30 min	Preventivo fecha constante	si	eli
	Limpieza interna a sistema de refrigeración del tablero y sus celosías	6 meses	30 min	Preventivo fecha constante	si	eli
	Revisión luces pilotos.	6 meses	15 min	Preventivo fecha constante	no	eli
Parada de Emergencia	Inspección visual y prueba de des energización de todos los sub- sistemas	3 meses	25 min	Preventivo fecha constante	si	[-]
Cooler	Revisión circuito enfriamiento (intercambiador y mangueras), filtraciones, estado físico piping, mangueras).	3 meses	20 min	Preventivo según condición	no	mec
	Inspección estado rodamientos bomba cooler (estetoscopio)	3 meses	15 min	Preventivo según condición	no	mec
	Medición de corriente de consumo bomba cooler	3 meses	10 min	Predictivo	no	eli
	Medición aislación motor de la unidad cooler	6 meses	30 min	Predictivo	si	eli
	Verificar funcionamiento válvula de alivio de presión	2 años	3 hr	Preventivo fecha constante	si	mec
	Mantenimiento bomba del cooler, inspeccion del impulsor y sello mecanico	2 años	1 dia	Preventivo fecha constante	si	externo
	Registro de la temperatura del agua del cooler y la presión de las torres de enfriamiento	3 meses	10 min	Preventivo según condición	no	[-]
	Revisión válvulas de corte.	6 meses	30 min	Preventivo según condición	no	[-]
	Lavado quimico del sistema completo de refrigeración	1 año	6 hr	Preventivo fecha constante	si	mec
Cuerpo extrusora	Limpieza y revisión de pernos del cabezal	1 año	2 hr	Preventivo fecha constante	si	mec
	Cambio de pernos (cabezal y cuerpo)	2 años	3,5 hr	Preventivo fecha constante	si	mec
	Lubricación de la visagra del cabezal	3 meses	30 min	Preventivo fecha constante	si	mec
	Limpieza electroválvulas	6 meses	1 hr	Preventivo fecha constante	si	mec/eli
	Inspección de fugas de electroválvulas con pruebas de presión.	6 meses	3 hr	Preventivo según condición	si	mec/eli
	Lavado quimico	1 año	6 hr	Preventivo fecha constante	si	mec
	Chequeo de medición de las termocuplas tipo J (7 unidades)	1 año	1 dia	Preventivo según condición	si	instr
	Inspección visual estado cables de termocuplas	3 meses	15 min	Preventivo según condición	no	instr
	Inspección estado de los engates y portaengates de las termocuplas	6 meses	20 min	Preventivo según condición	no	instr
	Limpieza interna tablero de conexiones de calefactores y termocuplas	6 meses	45 min	Preventivo fecha constante	si	eli
	Apriete de conexiones eléctricas asociados a sistema de regrigeración/calefaccion encamisado	6 meses	2 hr	Preventivo fecha constante	si	eli
	Inspeccion visual del estado del cableado de calefactores tipo tubulares del cabezal.	3 meses	30 min	Preventivo según condición	no	eli
	Inspeccion visual del estado del cableado de calefactores tipo collarines y ocluídos	3 meses	30 min	Preventivo según condición	no	eli
	Reapriete de fijación mecánica calefactores de collar y ocluidos	3 meses	30 min	Preventivo fecha constante	no	eli
	Inspección visual y prueba de cero al transductor de presión	1 año	2 hr	Preventivo según condición	no	instr

Extrusora C						
Componente	**Actividad**	**Frecuencia**	**Duracion estimada**	**Estrategia**	**Detención**	**Ejecutor**
	Medición de corriente de consumo Calefactores	3 meses	1 hr	Predictivo	no	eli
Camisa	Medición desgaste interior de la camisa	1 año	1 dia	Predictivo	si	mec
	Inspección visual en busca de fisuras en los bloques	1 año	1dia	Preventivo según condición	si	mec
Dosificador Gravimétrico	Chequeo estado de rodamientos (inspección auditiva y visual)	3 meses	20 min	Preventivo según condición	no	mec
	Mantenimiento sistema de transmisión mezcladores del dosificador (limpieza, lubricación y reapriete).	6 meses	2 hr	Preventivo fecha constante	si	mec
	Inspección visual tornillo y acople, reajuste de ser necesario.	6 meses	30 min	Preventivo según condición	si	operadores
	Medición de corriente de consumo motoreductor	3 meses	20 min	Predictivo	no	eli
	Chequeo fijacion sensor inductivo protector (sistema de transmisión)	6 meses	10 min	Preventivo según condición	no	instr
	Chequeo funcionamiento sensor inductivo (sistema de transmisión)	6 meses	5 min	Preventivo según condición	si	instr
	Chequeo fijación switch posición de la tolva de descarga, inspección de su cableado	6 meses	10 min	Preventivo según condición	no	instr
	Chequeo funcionamiento switch posición de la tolva de descarga, inspección de su cableado	6 meses	5 min	Preventivo según condición	no	instr
	Chequeo fijacion sensor inductivo (tapa superior)	6 meses	10 min	Preventivo según condición	no	instr
	Chequeo funcionamiento sensor inductivo (tapa superior)	6 meses	5 min	Preventivo según condición	no	instr
	Inspección tolva de goma interna	6 meses	30 min	Preventivo fecha constante	si	[-]
	Medición aislación motor dosificador, reapriete y estado prensa cables.	6 meses	20 min	Predictivo	si	eli

Sistema extractor de polvo A							
Sub sistema	**Componente**	**Actividad**	**Frecuencia**	**Duracion estimada**	**Estrategia**	**Detención**	**Ejecutor**
Sistema de Absorción polvo en Mezcladores	Motor eléctrico	Limpieza externa Motor de sistema de vacío	6 meses	30 min	Preventivo fecha constante	si	eli
		Aplicación de pintura a caracasa del motor	1 año	1 dia	Preventivo fecha constante	si	[-]
		Medición de corriente de consumo	6 meses	5 min	Predictivo	no	eli
		Medición de aislación	6 meses	30 min	Predictivo	si	eli
		Inspección de ruido de rodamientos	6 meses	15 min	Preventivo según condición	no	mec
		Revisión caja de conexión, borneras y cableado. Reapriete de conexiones	6 meses	20 min	Preventivo fecha constante	si	eli
		Mantenimiento completo motor	según condición	5 dias	Preventivo a edad constante	si/no	eli
	Cámara retención de polvo	Revisión y limpieza del rodete	1 año	1 hr	Preventivo fecha constante	si	mec
		Realizar limpieza de la cámara	6 meses	1 hr	Preventivo fecha constante	si	mec
	Filtros de Polvo	Sopleteo de filtros de polvo para des-saturarlos de material particulado	6 meses	1 hr	Preventivo fecha constante	si	[-]
		Cambio de filtros de polvo	1 año	20 min	Preventivo a edad constante	si	mec
	Estructura soporte de motor y ductos de aspiración	Reapriete de estructura soporte de motor; aplicación de pintura y anticorrosivo	1 año	1 dia	Preventivo fecha constante	si	[-]
		Revisión y reaprite de soportes de aspiración	1 año	4 hr	Preventivo fecha constante	no	[-]
	Extracción de polvo	Inspección externa del estado de los ductos, revisión de fugas	6 meses	30 min	Preventivo según condición	no	[-]
		Medición de flujo de aspiración (Anemometro)	6 meses	30 min	Predictivo	no	[-]
Sistema de Absorción polvo de Zona depesaje	Motor eléctrico	Limpieza externa Motor de sistema de vacío	6 meses	30 min	Preventivo fecha constante	si	eli
		Aplicación de pintura a caracasa del motor	1 año	1 dia	Preventivo fecha constante	si	[-]
		Medición de corriente de consumo	6 meses	5 min	Predictivo	no	eli
		Medición de aislación	6 meses	30 min	Predictivo	si	eli
		Inspección de ruido de rodamientos	6 meses	15 min	Preventivo según condición	no	mec
		Revisión caja de conexión, borneras y cableado. Reapriete de conexiones	6 meses	20 min	Preventivo fecha constante	si	eli
		Chequeo de estado físico protecciones eléctricas del cableado	6 meses	5 min	Preventivo según condición	no	eli
		Mantenimiento completo motor	según condición	5 dias	Preventivo a edad constante	si/no	eli
	Cámara retención de polvo	Revisión y limpieza del rodete	1 año	1 hr	Preventivo fecha constante	si	mec
		Realizar limpieza de la cámara	6 meses	1 hr	Preventivo fecha constante	si	mec
	Filtros de Polvo	Sopleteo de filtros de polvo para des-saturarlos de material particulado	6 meses	1 hr	Preventivo fecha constante	si	[-]
		Cambio de filtros de polvo	1 año	20 min	Preventivo a edad constante	si	mec
	Estructura soporte de motor y ductos de aspiración	Reapriete de estructura soporte de motor; aplicación de pintura y anticorrosivo	1 año	1 dia	Preventivo fecha constante	si	[-]
		Revisión y reaprite de soportes de aspiración	1 año	4 hr	Preventivo fecha constante	no	[-]
	Extracción de polvo	Inspección externa del estado de los ductos, revisión de fugas	6 meses	30 min	Preventivo según condición	no	[-]
		Medición de flujo de aspiración (Anemometro)	6 meses	30 min	Predictivo	no	[-]

Mezclador A1						
Componente	**Actividad**	**Frecuencia**	**Duracion estimada**	**Estrategia**	**Detención**	**Ejecutor**
Motor elétrico	Lubricar Rodamiento motor	6 meses	10 min	Preventivo fecha constante	no	mec
	Mantenimiento completo motor	3 años	5 dias	Preventivo edad constante	no	Externo
	Medir ruido de rodamiento con estetoscopio	3 meses	10 min	Preventivo según condición	no	mec
	Medir vibración del motor	3 meses	10 min	Predictivo	no	mec
	Verificar estado fisico aspas de ventilación, limpieza e inspección de agua apozada por mala operación.	6 meses	15 min	Preventivo fecha constante	si	mec
	Verificar estado físico carcasa y pintura (búsqueda de material debilitado por corrosión)	3 meses	10 min	preventivo según condición	no	[-]
	Medir consumo electrico	3 meses	10 min	Predictivo	no	eli
	Medir aislación motor principal	6 meses	20 min	Predictivo	si	instr
	Revisión caja de conexión y borneras (estado físico)	6 meses	20 min	Preventivo fecha constante	si	eli
	Reapretar borneras motor principal	6 meses	30 min	Preventivo fecha constante	si	eli
	Revisar caja de conexión y bornera (estado fisico motor forzado)	6 meses	10 min	Preventivo fecha constante	si	eli
	Medir consumo motor de ventilación	3 meses	10 min	Predictivo	no	eli
	Medir aislación motor de ventilación	6 meses	20 min	Predictivo	si	eli
	Revisar prensa cable (ver estado físico y reaprete si es necesario)	3 meses	10 min	preventivo según condición	no	eli
	Revisar estado de la canalizacion (estado físico)	3 meses	10 min	preventivo según condición	no	eli
Sistema de mezclado (Estanque de mezclado, aspas, etc).	Verificar estado físico del eje (inspección visual desde plataforma)	6 meses	10 min	Preventivo según condición	si	mec
	Verificar juego de aspas (estado fisico y desgaste)	6 meses	15 min	Preventivo fecha constante	si	mec
	Verificar filtración hacia masa del estanque (recomendación: verificar al ser lavado)	3 meses	10 min	Preventivo según condición	si	mec
	Medición de ruido con estetoscopio	3 meses	10 min	Preventivo según condición	no	mec
	Inspeccionar golilla del eje (inspeccionar nivel de corrosión o pitting)	3 meses	5 min	Preventivo según condición	si	mec
	Verificar estado físico de los retenes en sistema de mezcla (masa de agitación)	1 año	20 min	Preventivo según condición	si	mec
	Revisión chaveta del eje de agitación	6 meses	15 min	Preventivo según condición	si	mec
	Lubricacion de rodamientos de Masa	6 meses	20 min	Preventivo fecha constante	no	mec
	Verificar estado físico del buje	6 meses	10 min	Preventivo según condición	si	mec
Tapa estanque	Inspeción visual tapa estanque (estado fisico)	3 meses	5 min	Preventivo según condición	no	[-]
	Prueba de funcionamiento (verificación de cierre hermético)	3 meses	10 min	Preventivo según condición	no	[-]
	Reapretar la pernería de la tapa al acople con cilindro neumático.	6 meses	15 min	Preventivo fecha constante	si	mec
	Inspeccionar sello tapa de estanque(ver desgaste o daño)	6 meses	15 min	Preventivo según condición	si	mec
	Revisar funcionamiento, posicionamiento y fijación del sensor inductivo	6 meses	20 min	Preventivo según condición	no	instr
	Revisar prensacables del sensor inductivo	6 meses	5 min	Preventivo según condición	no	instr
	Revisar canalización del sensor inductivo	6 meses	5 min	Preventivo según condición	no	instr
Cilindros neumáticos (Apertura de la tapa y descarga de material)	Inspección visual cilindros neumaticos (busqueda de daño exterior)	3 meses	10 min	Preventivo según condición	no	instr
	Cambiar Conectores neumaticos	1 año	30 min	Preventivo fecha constante	si	[-]
	Verificar comportamiento en el recorrido de carrera del vástago.	6 meses	5 min	Preventivo fecha constante	si	mec
	Inspeccionar pilotaje (de ambos cilindros)	6 meses	5 min	Preventivo según condición	si	mec
	Ajustar la velocidad de desplazamiento en cilindro de la tapa y cilindro de descarga (de ser necesario)	1 año	20 min	preventivo según condición	si	mec

Mezclador A1						
Componente	**Actividad**	**Frecuencia**	**Duracion estimada**	**Estrategia**	**Detención**	**Ejecutor**
	Inspeccionar sellos del embolo de los cilindros	1 año	3 h	Preventivo según condición	si	mec
	Reapriete del émbolo con el vástago de los cilindros	1 año	1,5 h	Preventivo fecha constante	si	mec
	Inspeccionar empaquetadura de goma en cilindro descarga (estado fisico)	6 meses	10 min	Preventivo según condición	si	mec
Mangueras neumáticas	Verificar estado físico (quedamuras, aplastamiento,etc)	3 meses	10 min	Preventivo según condición	no	[-]
	Inspeccion de fugas	3 meses	10 min	Preventivo según condición	no	mec
Componentes sistema neumático (valvulas, mangueras, FRL, etc).	Inspeccionar físicamente válvulas selectoras (estado físico)	3 meses	5 min	Preventivo según condición	no	instr
	Prueba de pilotaje (posible desarme en caso de falencias)	3 meses	10 min	Preventivo según condición	si	instr
	Cambiar silenciadores de las válvulas selectoras	3 meses	15 min	Preventivo fecha constante	si	[-]
	Cambiar Conectores neumaticos	1 año	30 min	Preventivo fecha constante	si	[-]
	Limpiar valvulas completa exteriormente	6 meses	20 min	Preventivo fecha constante	no	[-]
	Reapretar fijacion de las valvulas a las estructuras	6 meses	10 min	Preventivo fecha constante	si	[-]
	Inspeccionar FRL (prueba de funcionamiento de regulacion de presion, despiche de agua, control nivel de aceite)	3 meses	10 min	Preventivo fecha constante	si	mec
	Inspeccionar valvula de corte rápido de aire	3 meses	10 min	Preventivo según condición	no	[-]
	Revisar caja de conexiones electrovalvulas, cableado interior,etc.	6 meses	20 min	Preventivo según condición	si	eli
	Revisar cableado electrovalvulas	3 meses	20 min	Preventivo según condición	no	eli
	Revisar prensacables	3 meses	15 min	Preventivo según condición	no	eli
	Revisar canalización del cableado	3 meses	15 min	Preventivo según condición	no	eli
Tablero Eléctrico	Limpieza tablero exterior	6 meses	1 h	Preventivo fecha constante	si	eli
	Limpieza interior del tablero y del VDF	6 meses	3 hr	Preventivo fecha constante	si	eli
	Revisión de la hermeticidad del tablero (sellos)	6 meses	15 min	Preventivo fecha constante	si	eli/instr
	Reapretar terminales de componente del tablero, revisión del etado físico cableado y terminales	6 meses	1h	Preventivo fecha constante	si	eli
	Revisar de funcionamiento control del motor (botoneras, luces piloto, contactoras, amperímetros, etc)	3 meses	20 min	Preventivo fecha constante	no	eli
	Revisión de la parada de emergencia	3 meses	25 min	preventivo fecha constante	si	eli
	Revisar control del sistema neumatico (switch de posicion, relés.etc.)	3 meses	10 min	Preventivo según condición	no	eli
	Mantención completa VDF por terceros	2 años	2 dias	Preventivo edad constante	si	Externo
	Cambio de filtros en celosias	6 meses	20 min	Preventivo fecha constante	si	eli
Estructura Mezclador	Inspección de la pintura protectora, revisión de óxido exterior e interior	3 meses	20 min	Preventivo según condición	no	[-]
Plataforma de operación (para el personal)	Verificar estado de las barreras de seguridad	3 meses	10 min	Preventivo según condición	no	[-]
	Comprobar/colocar señaléticas de seguridad en escaleras y barandas.	1 año	1 hr	Preventivo según condición	no	[-]
	Revisar frenos de las ruedas	6 meses	5 min	Preventivo según condición	no	[-]
	Limpieza y lubricación de ruedas	6 meses	1 h	Preventivo fecha constante	no	[-]
	Revisar seguro de la plataforma	3 meses	5 min	Preventivo según condición	no	[-]
	Inspeccionar y remover óxido de la plataforma (evaluar refuerzos de la estructura)	6 meses	45 min	Preventivo fecha constante	si	[-]
Sistema de transmisión	Reaprete de poleas	6 meses	20 min	Preventivo fecha constante	si	mec
	Inspección del estado físico de las correas	6 meses	1 hr	Preventivo según condición	si	mec

Mezclador A1						
Componente	**Actividad**	**Frecuencia**	**Duracion estimada**	**Estrategia**	**Detención**	**Ejecutor**
	Verificar el nivel de tensión de las correas	6 meses	30 min	Preventivo según condición	si	mec
	Verificacion de alineación de las poleas	6 meses	1 hr	predictivo	si	mec
Sistema absorción de polvo	Medición de vacío con (anemómetro)	6 meses	10 min	Predictivo	no	mec
	Inspección de la tuberias externa	3 meses	10 min	Preventivo según condición	no	[-]
	Lubricación de las bisagras de brazos soporta ducto de aspiración	3 meses	15 min	Preventivo fecha constante	si	[-]
	Reapriete completo de estructura	6 meses	25 min	Preventivo fecha constante	si	[-]
Switch de posición en descarga (2 unidades)	Prueba de funcionamiento, revisión de sujeción, inspección del estado físico del sensor y del cableado	1 año	1 hr	Preventivo según condición	si	instr

Extrusora D						
Componente	**Actividad**	**Frecuencia**	**Duracion estimada**	**Estrategia**	**Detención**	**Ejecutor**
MOTOR ELECTRICO	Inspección nivel de ruido de rodamientos (estetoscopio).	3 meses	15 min	Preventivo según condición	no	mec
	Lubricación de rodamientos (Engrase completo).	3 meses	20 min	Preventivo fecha constante	no	mec
	Medición de corriente de consumo del motor eléctrico.	3 meses	10 min	Predictivo	no	eli
	Inspección visual estado de carcasa, óxido y pintura	6 meses	10 min	Preventivo según condición	no	[-]
	Revisión caja de conexión, estado prensa cables y reapriete de ser necesario.	6 meses	16 min	Preventivo fecha constante	si	eli
	Medición de aislación motor SST40.	6 meses	30 min	Predictivo	si	eli
	Medición de temperatura del motor SST40 (Pirómetro)	3 meses	15 min	Predictivo	no	mec
	Inspección protección cableado del motor	6 meses	15 min	Preventivo según condición	si	eli
	Mantenimiento completo (eléctrico y mecánico).	2 años	5 dias	Preventivo a edad constante	si	externo
	Limpieza e inspección de aspas de ventilador	1 año	15 min	Preventivo fecha constante	si	mec
	Revision de ruido en motor ventilador (rodamientos)	3 meses	10 min	Preventivo según condición	si	mec
	Mantenimiento completo sistema ventilacion forzada	2 años	1 hr	Preventivo a edad constante	si	mec
	Medicion aislacion motor ventilador, revisión caja de conexión, reapriete y revisión prensa cables.	6 meses	30 min	Predictivo	si	eli
ACOPLAMIENTO EMBRAGUE REDUCTOR	Inspección visual del estado de la carcasa de protección y anclaje	3 meses	25 min	Preventivo según condición	no	mec
	Chequeo de alineación	1 año	1 año	Predictivo	si	mec
	Chequeo fijacion sensor inductivo (switch posicion), cubierta protectora del acople	6 meses	10 min	Preventivo fecha constante	no	instr
	Chequeo funcionamiento sensor inductivo (switch posicion), cubierta protectora del acople	6 meses	5 min	Preventivo fecha constante	no	instr
	Reapriete de acople con torquímetro	1 año	2 hr	Preventivo fecha constante	si	mec
	Revisión de funcionamiento, fijación y cableado del switch de posición del plato de acoplamiento	6 meses	20 min	Preventivo fecha constante	si	eli
CAJA REDUCTORA	Inspeccionar nivel de aceite y existencia de presencias de filtraciones.	3 meses	10 min	Preventivo según condición	no	mec
	Inspección estado de bloque caja reductora	1 año	20 min	Preventivo según condición	si	[-]
	Pintar bloque caja reductora.	2 años	3 hr	Preventivo fecha constante	no	[-]
	Cambio de empaquetadura	2 años	5 hr	Preventivo fecha constante	si	mec

Extrusora D						
Componente	**Actividad**	**Frecuencia**	**Duracion estimada**	**Estrategia**	**Detención**	**Ejecutor**
	Cambio de aceite	2 años	4 hr	Preventivo fecha constante	si	mec
	Análisis de aceite (partículas, temp, visc.)	6 meses	5 dias	Preventivo según condición	si	externo
Sistema de acoplamiento reductor y tornillo	Inspeccion visual del estriado y de su nivel torsión	6 meses	1 hr	preventivo según condición	si	mec
	Inspeccionar estado de las tapas de protección acople de tornillos, reapriete. Limpieza del visor e interna.	6 meses	30 min	Preventivo según condición	si	[-]
Sistema de refrigeración caja reductora	Inspección presencia de filtraciones en el sistema (Pipping, Fitting y accesorios)	3 meses	25 min	preventivo según condición	no	mec
	Inspección seteo Válvula termostática y presostato de baja	1 año	4 hr	Preventivo fecha constante	si	instr.
	Inspección de funcionamiento Válvulas de corte y/o cámbio de ser necesario X4	6 meses	2 hr	Preventivo según condición	si	mec.
	Lavado químico	1 año	5 hr	preventivo a edad constante	si	mec
Parada de Emergencia	Inspección visual y prueba de des energización de todos los sub- sistemas	3 meses	25 min	Preventivo fecha constante	si	[-]
Camisa	Inspección visual en busca de fisuras en los bloques	1 año	1dia	preventivo según condición	si	mec
	Medición desgaste interior de la camisa	1 año	4 hr	Predictivo	si	mec/externo
Cuerpo extrusora	Inspección y limpieza de los pernos del cabezal	6 meses	3 hr	Preventivo fecha constante	si	mec
	Cambio de pernos (cabezal y cuerpo completo)	2 años	5 hr	Preventivo fecha constante	si	mec
	Limpieza y lubricación de la visagra del cabezal	3 meses	1 hr	Preventivo fecha constante	si	mec
	Limpieza electroválvulas (X8)	6 meses	2,5 hr	Preventivo fecha constante	si	mec/eli
	Inspección de funcionamiento electroválvulas, verificación cierre hermético al fluido	1 año	4 hr	Preventivo fecha constante	si	instr.
	Inspección pipping, fitting y conectores rápidos hidraulicos.	6 meses	30 min	Preventivo según condición	no	mec
	Prueba de funcionamiento válvula de retención tipo bisagra y cambio de ser necesario	6 meses	2 hr	Preventivo fecha constante	si	mec/eli
	Prueba de funcionamiento válvula de bola con volante y cambio de ser necesario	6 meses	1,5 hr	Preventivo fecha constante	si	mec/eli
	Chequeo de medición de las termocuplas tipo J (8 unidades)	1 año	1 dia	Preventivo según condición	si	instr.
	Inspección visual estado cables de termocuplas	3 meses	15 min	Preventivo según condición	no	instr.
	Inspección estado de los engates y portaengates de las termocuplas	6 meses	20 min	Preventivo según condición	si	instr.
	Limpieza interna tablero de conexiones de calefactores y termocuplas (Borneras)	6 meses	45 min	Preventivo fecha constante	si	eli

Extrusora D						
Componente	**Actividad**	**Frecuencia**	**Duracion estimada**	**Estrategia**	**Detención**	**Ejecutor**
	Apriete de conexiones eléctricas asociados a sistema de regrigeración/calefaccion encamisado	6 meses	2 hr	Preventivo fecha constante	si	eli
	Inspeccion visual fijación calefactores tipo tubulares del cabezal y tipo L del cuerpo de la extrusora	3 meses	30 min	Preventivo según condición	no	eli
	Inspeccion visual del estado del cableado de calefactores tipo L del cuerpo y tipo tubular del cabezal	3 meses	30 min	Preventivo según condición	no	eli
	Inspección apriete cableado fase, neutro y puesta a tierra de los calefactores del cuerpo (8x2)	6 meses	1 hr	Preventivo fecha constante	si	eli
	Inspección visual y prueba de cero al transductor de presión. Revisión estado del cableado y conexión	1 año	2 hr	Preventivo según condición	no	instr.
	Medición de corriente de consumo Calefactores (todos)	3 meses	1 hr	Predictivo	no	eli
	Lavado químico (sistema de refrigeración)	1 año	5 hr	Preventivo fecha constante	si	mec
	Revisión vacuómetro; registro de presión de succión, revisión estado físico	3 meses	10 min	Preventivo según condición	no	mec
	Revisión mangueras de succión y acoples camlock	3 meses	15 min	Preventivo fecha constante	no	mec
TABLERO DE FUERZA Y CONTROL	Limpieza externa al tablero	6 meses	2,5 hr	Preventivo fecha constante	no	eli
	Limpieza interna al tablero (sopleteo y paso con brocha)	6 meses	2 hr	Preventivo fecha constante	si	eli
	Mantencion completa VDF	2 años	3 dias	Preventivo a edad constante	si	externo
	Cambio filtro de celosias	6 meses	45 min	Preventivo fecha constante	si	eli
	Reapriete de terminales, inspección del estado físico del cableado y de las conexiones	6 meses	2 hr	Preventivo fecha constante	si	eli
	Revisión del lazo de control de la calefaccion/refrigeración de las zonas	6 meses	2 dias	Preventivo fecha constante	si	instr
	Realizacion de la termografía	1 año	20 min	Predictivo	no	externo
	Prueba de funcionamiento de las botoneras	6 meses	30 min	Preventivo fecha constante	si	eli
	Inspección de estado físico celosías y prueba de funcionamiento de los ventiladores	6 meses	25 min	Preventivo según condición	no	eli
	Revisión luces pilotos.	6 meses	15 min	Preventivo según condición	no	eli
	inspección visual del estado de las bobinas de los transformadores (x2)	6 meses	20 min	Preventivo según condición	si	eli
	Medición de aislacion tranformadores (x2)	6 meses	40 min	Predictivo	si	eli
	Prueba de funcioanamiento amperímetro, comparación con medición en terreno	6 meses	10 min	Preventivo fecha constante	no	eli
	Registro horímetro	6 meses	5 min	Preventivo fecha constante	no	[-]

Extrusora D						
Componente	**Actividad**	**Frecuencia**	**Duracion estimada**	**Estrategia**	**Detención**	**Ejecutor**
	Revisión estado físico de manilla de tablero con bloqueo	6 meses	10 min	Preventivo fecha constante	si	eli
Dosificador Gravimétrico	Chequeo estado de rodamientos (inspección auditiva y visual)	3 meses	20 min	Preventivo según condición	no	mec
	Mantenimiento sistema de transmisión mezcladores del dosificador (limpieza, lubricación y reapriete).	6 meses	2 hr	Preventivo fecha constante	si	mec
	Inspección visual tornillo y acople; reajuste de ser necesario.	6 meses	30 min	Preventivo según condición	si	mec
	Medición de corriente de consumo motoreductor	3 meses	20 min	Predictivo	no	eli
	Chequeo fijación switch posición (tapa superior)	6 meses	10 min	Preventivo según condición	no	instr
	Chequeo funcionamiento switch posición (tapa superior)	6 meses	5 min	Preventivo según condición	si	instr
	Chequeo fijacion sensor inductivo protector (sistema de transmisión)	6 meses	10 min	Preventivo según condición	no	instr
	Chequeo funcionamiento sensor inductivo (sistema de transmisión)	6 meses	5 min	Preventivo según condición	si	instr
	Chequeo fijación switch posición de la tolva de descarga, inspección de su cableado	6 meses	10 min	Preventivo según condición	no	instr
	Chequeo funcionamiento switch posición de la tolva de descarga, inspección de su cableado	6 meses	5 min	Preventivo según condición	no	instr
	Inspección goma interna de la tolva	6 meses	30 min	Preventivo según condición	si	[-]
	Revisión de la caja de conexión, reapriete y estado prensa cables.	6 meses	20 min	Preventivo fecha constante	si	eli
	Medición aislación motor dosificador	6 meses	40 min	Predictivo	si	eli

Pelletizador A/C						
Componente	**Actividad**	**Frecuencia**	**Duración estimada**	**Estrategia**	**Detención**	**Ejecutor**
Cuchillos	Revisión filo cuchillo fijo (posible cambio)	3 meses	30 min	Preventivo según condición	si	mec
	Regulación distancia de cuchillo fijo y móvil	3 meses	30 min	Preventivo fecha constante	si	mec
	inspección rodillos	3 meses	20 min	Preventivo según condición	si	mec
	Revisión cuchillo movil maza (revisión de los cantos cortantes)	3 meses	1 hr	Preventivo según condición	si	mec
Motor eléctrico	Cambio de rodamientos al motor, inspeccion eje, rotor y estator	1 año	5 hr	Preventivo a edad constante	no	mec
	Limpieza exterior, revisar estado de la carcasa.	3 meses	1hr	Preventivo fecha constante	si	eli
	Retiro material corroído, Pintar.	1 año	2 dias	Preventivo a edad constante	si	[-]
	Mantenimiento motor completo	3 años	3 dias	Preventivo a edad constante	si	externo
	Inspeccion caja de conexión, estado prensa cables y reapriete de conexiones	6 meses	1 hr	Preventivo fecha constante	si	eli
	chequeo del estado del ventilador; limpieza	6 meses	1 hr	Preventivo fecha constante	si	eli
	Medición de corriente de consumo	3 meses	1 hr	Predictivo	no	eli
	Medición de aislación	6 meses	3 hr	Predictivo	si	eli
Sistema transmisión	Limpieza de poleas, comprobacion alineacion	1 año	1 hr	Predictivo/preventivo fecha constante	si	mec
	cambio de correa	1 año	2 hr	Preventivo fecha constante	si	mec
	Revisión dientes de engranajes,	6 meses	40 min	Preventivo según condición	si	mec
	cambio de rodamientos internos del pelletizador	2 años	3 dias	Preventivo a edad constante	si	mec
Ruedas Pelletizador	Inspección estado físico de las ruedas	6 meses	15 min	Preventivo según condición	[-]	mec
	limpieza y lubricación	6 meses	40 min	Preventivo fecha constante	[-]	mec
	Chequeo de los frenos	6 meses	10 min	Preventivo según condición	[-]	mec
Suministro de aire comprimido	Chequeo completo sistema neumático (FRL, válvulas, conectores)	6 meses	2 hr	Preventivo fecha constante	si	mec
Tablero fuerza y control	Inspección visual cables , chequeo funcionamiento luces piloto, revisión prensa cables, reapriete de terminales	6 meses	2 hr	Preventivo fecha constante	si	eli
	Prueba de funcionamiento parada de emergencia, inspeccion del estado físico del pulsador	3 meses	20 min	Preventivo fecha constante	si	eli
	Revisión seguro de bloqueo	3 meses	15 min	Preventivo fecha constante	si	eli
	Revisión con tacometro de revoluciones variando rpm en el variador	6 meses	45 min	predictivo	si	eli/mec
	cambio filtro celosia	6 meses	30 min	Preventivo fecha constante	si	[-]
	Limpieza interior	6 meses	2 hr	preventivo	si	eli
Cilindros Neumáticos	Inspección de funcionamiento y fugas	3 meses	2 hr	preventivo	si	mec

Pelletizador A/C						
Componente	**Actividad**	**Frecuencia**	**Duración estimada**	**Estrategia**	**Detención**	**Ejecutor**
Estructura	Revisión, afloje y reapriete de pernos de la estructura y carcasa	3 meses	3 hr	preventivo	si	mec
Sensores de seguridad (3 switch de posicion, 1 mecanico y 2 inductivos).	Revisión de estado de funcionamiento	6 meses	15 min	Preventivo según condición	si	instr
	Revisión del posicionamiento de los sensores	6 meses	15 min	Preventivo según condición	si	instr
	Revisión de la fijacion de los sensores	6 meses	20 min	Preventivo según condición	si	instr
	Revisión del estado fisico	6 meses	15 min	Preventivo según condición	si	instr
Enchufes trifásicos	Revisión del estado físico enchufes hembras	6 meses	20 min	Preventivo según condición	si	eli
	Revisión del estado físico enchufe macho	6 meses	30 min	Preventivo según condición	si	eli
	Revisión proteccion del cableado enchufe macho	6 meses	30 min	Preventivo según condición	si	eli

Tamizador C						
Componente/ Sub sistema	**Actividad**	**Frecuencia**	**Duracion estimada**	**Estrategia**	**Detención**	**Ejecutor**
Motovibradores (2 unidades)	Medición de aislación motovibrador	6 meses	40 min	Predictivo	si	eli
	Revisión caja de conexión, estado prensa cables, estado del cableado y reapriete terminales.	6 meses	40 min	Preventivo fecha constante	si	eli
	Reapriete y revisión puesta a tierra	6 meses	10 min	Preventivo fecha constante	si	eli
	Inspección regulación de contrapesos	3 meses	40 min	Preventivo fecha constante	si	mec
	Revisión uniones de conectores y protecciones electricas	3 meses	20 min	Preventivo según condición	no	eli
	Revisión tapas	3 meses	40 min	Preventivo según condición	si	mec
	Cambio de rodamientos	1 año	4 hr	preventivo a edad constante	si	mec
	Revisión del estado del embobinado	1 año	1 hr	Preventivo según condición	si	eli
	Limpieza eje, lubricacion	1 año	1 hr	preventivo a edad constante	si	mec
	Retiro óxido y aplicación capa pintura	1 año	1 dia	preventivo a edad constante	si	[-]
	Mantencion completa	2 años	2 años	preventivo a edad constante	si	externo
	Reapriete y revisión sujeciones de la bandeja	3 meses	30 min	Preventivo fecha constante	no	[-]
	Reapriete de fijacion motovibradores a la estructura	3 meses	1hr	Preventivo fecha constante	si	[-]
Botonera	Revisión del estado de la caja, botoneras, estado prensa cables, estado del cableado y reapriete terminales.	6 meses	40 min	Preventivo fecha constante	si	eli
Tamiz	Revisión estado físico de los tamices	3 meses	10 min	Preventivo fecha constante	no	[-]
Estructura	Limpieza completa y lubricacion	6 meses	2 hr	Preventivo fecha constante	si	[-]