DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PARA EL SISTEMA ELECTRICO DE MAQUINAS INYECTORAS DE PLASTICO (PET) Y DE EQUIPOS PERIFERICOS CONEXOS DE UNA PLANTA PROCESADORA DE PLASTICO.

OSCAR MANUEL BENITEZ FRUTOS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAAGUAZU
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD
Coronel Oviedo - Paraguay
Año 2019

DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PARA EL SISTEMA ELECTRICO DE MAQUINAS INYECTORAS DE PLASTICO (PET) Y DE EQUIPOS PERIFERICOS CONEXOS DE UNA PLANTA PROCESADORA DE PLASTICO.

Elaborado por

OSCAR BENITEZ

Tutor
Ing. ALEXI BENITEZ

Trabajo presentado a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Nacional de Caaguazú, como requisito para la obtención del título de Ingeniero en Electricidad

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAAGUAZU
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD
Coronel Oviedo - Paraguay
Año 2019

DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PARA EL SISTEMA ELECTRICO DE MAQUINAS INYECTORAS DE PLASTICO (PET) Y DE EQUIPOS PERIFERICOS CONEXOS DE UNA PLANTA PROCESADORA DE PLASTICO.

PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo de fin de grado para la obtención del Título de Ingeniero Electricista aprobado en representación de la Facultad Ciencias y Tecnología de la Universidad Nacional de Caaguazú, por el Tribunal Examinador constituido por los siguientes profesores.

Prof. Ing.

Prof. Ing.

Prof. Ing.

Nombre y Apellido

Dedicado a:

Dios, por ser mi amigo, fuente de sabiduría, por la salud y la fortaleza.

Mis padres, Don Oscar y Doña Olga, por el amor incondicional que me han brindado y por el apoyo constante que hizo posible que alcanzara este objetivo.

A mis hermanos Monce, Danilo, Alexi que siempre me han brindó su confianza y apoyo.

A mis compañeros y amigos de la Facultad de Ciencia y Tecnología, por todos los momentos vividos de lucha constante y también de alegría.

Agradecimientos:

Al Ing. Alexi Benítez por su colaboración como tutor, aporte de sus sabios conocimientos y el apoyo desinteresado para la elaboración de este proyecto.

Al Ing. Cesar Ferreira, por su dirección y excelente corrección del proyecto.

A todos los docentes de la Facultad de Ciencia y Tecnología, que me guiaron para obtener los conocimientos necesarios para culminar esta carrera universitaria.

DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PARA EL SISTEMA ELECTRICO DE MAQUINAS INYECTORAS DE PLASTICO (PET) Y DE EQUIPOS PERIFERICOS CONEXOS DE UNA PLANTA PROCESADORA DE PLASTICO.

OSCAR BENITEZ

RESUMEN

En el presente proyecto final de grado se diseñó un plan de mantenimiento preventivo para maquinas inyectoras de plástico y equipos periféricos conexos de la empresa Cimplast ubicada en la ciudad de Mariano Roque Alonzo - Paraguay. La empresa cuenta con 5 máquinas inyectoras de plástico con sus respectivos equipos periféricos, todas las máquinas inyectoras son de la marca HUSKY con características exactamente iguales, estos equipos presentan altos índices de paradas, baja disponibilidad y poca confiabilidad, esto se debe a que los recursos de mantenimiento no son correctamente orientados.

En vista de no contar con historiales de mantenimiento, fue conveniente utilizar la metodología del Mantenimiento centrado en Confiabilidad, donde se realiza un diagnóstico de la situación actual del equipo, se determina el contexto operacional de cada uno de los sistemas, de allí se elabora el plan de mantenimiento donde se generaron tareas entre las cuales figuran tareas a condición, reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica y búsqueda de fallas. Esto permitirá disminuir las paradas correctivas en un 30% en el primer año de aplicación del plan de mantenimiento propuesto, aumentar la confiabilidad y disponibilidad, además de optimizar los costos de mantenimiento y aumentar la productividad.

Con el estudio económico se demostró que el proyecto es económicamente aplicable con un TIR del 30% y un VAN de Gs. 257.324.037 tomando una tasa de descuento del 10% y un flujo de caja proyectada para 5 años.

Palabras clave: Industrias plásticas, Control de calidad, Polímeros Vinílicos, Confiabilidad de equipos.

DESIGN OF THE PREVENTIVE MAINTENANCE PLAN FOR THE ELECTRICAL SYSTEM OF PLASTIC INJECTION MACHINES (PET) AND CONNECTED PERIPHERAL EQUIPMENT, FROM A PLASTIC PROCCESING FACTORY

OSCAR BENITEZ

ABSTRACT

In this final degree project, a preventive maintenance plan was designed for plastic injection machines and related peripheral equipment of the Cimplast company located in the city of Mariano Roque Alonzo - Paraguay. The company has 5 plastic injection machines with their respective peripheral equipment, all the injection machines are HUSKY brand with exactly the same characteristics, this equipment have high stop rates, low availability and low reliability, this is because the resources Maintenance are not properly oriented.

In view of not having maintenance histories, it was convenient to use the methodology of Maintenance centered on Reliability, where a diagnosis of the current situation of the equipment was made, the operational context of each of the systems was determined, hence the maintenance plan where tasks were generated, including conditions, cyclical reconditioning, cyclic replacement and fault finding. This will allow reducing corrective stops by 30% in the first year of application of the proposed maintenance plan, increasing reliability and availability, as well as optimizing maintenance costs and increasing productivity.

The economic study showed that the project is economically applicable with an IRR of 30% and a NPV of Gs. 257,324,037 considering a 10% discount rate and a projected cash flow for 5 years.

Keywords: Plastic industries, Quality control, Vinyl Polymers, Equipment reliability.

CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN i
Dedicado a: ii
Agradecimientos: iii
CONTENIDO vi
LISTA DE FIGURAS xii
LISTA DE TABLAS xiv
LISTA DE ABREVIATURAS xvi
I. INTRODUCCIÓN 1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA 4
CAPÍTULO 1 4
1. PLASTICOS 4
1.1. Introducción. 4
1.2. Historia química molecular 5
1.3. Ventajas de los polímeros más comunes. 6
1.4. Polímeros más comunes 6
CAPITULO 2 11
2. PROCESAMIENTO DEL PLASTICO 11
2.1. Moldeo por inyección. 11
2.2. Máquina inyectora de plástico. 11
2.2.1. Funcionamiento de las maquinas inyectoras de plástico. 11
2.2.2. Equipos periféricos de una maquina Inyectora de plástico. 17
2.3. Moldeo por soplado 23
2.4. Extrusión 24
CAPITULO 3 26
3. PRINCIPIOS DE MANTENIMIENTO 26
3.1. ¿Qué es Mantenimiento? 26

3.2. ¿Para Qué Se Necesita Hacer Mantenimiento? 26
3.3. Mantenimiento clase mundial (World Class). 26
3.4. Gestión del Mantenimiento.....27
3.5. Mantenimiento preventivo. 27
3.5.1. Ventajas Y Desventajas.....28
3.5.2. Frecuencia Óptima De Mantenimiento Preventivo.....28
3.5.3. Consecuencias de frecuencias inadecuadas en el mantenimiento preventivo.....29
3.5.4. Características del comportamiento de las fallas.....31
3.6. Mantenimiento predictivo. 32
3.6.1. Técnicas predictivas 33
3.7. Mantenimiento reactivo o correctivo.....35
CAPITULO 4.....37
4. Mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC). 37
4.1. ¿Qué es el MCC?.....37
4.2. Las 7 preguntas básicas del MCC.....37
4.3. Aplicación del proceso del MCC 38
4.3.1. Planificación. 38
4.3.2. Grupos de revisión. 39
4.3.3. Equipos naturales de trabajo.....40
4.4. ¿Qué logra el MCC? 40
4.5. Funciones.....42
4.5.1. Diferentes tipos de funciones.....43
4.6. Como se deben alistar las funciones. 44
4.7. Fallas funcionales.....46

4.7.1. Fallas. 46
4.7.2. Fallas funcionales. 47
4.7.3. Niveles de desempeño y de falla. 47
4.7.4. ¿Quién debería establecer el nivel de falla? 48
4.7.5. Como se deben detallar las fallas funcionales: 49
4.8. Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF) 50
4.8.1. ¿Qué es un modo de falla? 50
4.8.2. ¿Por qué analizar los modos de fallas? 53
4.8.3. ¿Cuántos detalles? 54
4.8.4. Modos de falla y contexto operativo. 57
4.8.5. Efectos de la falla. 57
4.8.6. Fuentes de información sobre Modos de Falla. 61
4.8.7. Nivel de análisis y planilla de información. 63
4.9. Consecuencias de las Fallas. 65
4.9.1. Es técnicamente posible y vale la pena hacerlo 65
4.9.2. Funciones Ocultas y Evidentes. 67
4.10. El diagrama de Decisión de MCC. 69
4.10.1. Integrar Consecuencias y Tareas. 70
4.10.2. El proceso de Decisión de MCC 71
4.10.3. Remisión de información de las planillas informativas y de decisión. 72
4.10.4. Tarea Propuesta. 73
4.10.5. Intervalo Inicial 73
4.10.6. Quien Realiza la Tarea. 74
III. RESUMEN EJECUTIVO 75

CAPITULO 5.....75
5.1. Descripción del trabajo.....75
5.2. Métodos y Técnicas utilizadas. 75
5.3. Justificación.....76
5.4. Finalidad del proyecto 76
5.5. Metas 77
5.6. Objetivos 77
5.6.1. Objetivos generales 77
5.6.2. Objetivos específicos 77
5.7. Beneficiarios.....77
5.8. Producto.....78
5.9. Localización física y cobertura espacial 78
5.10. Especificaciones de actividades y tareas realizadas.....78
5.11. Recursos necesarios.....79
5.11.1. Recursos humanos 79
5.11.2. Recursos materiales.....79
5.12. Factibilidad técnica.....80
5.13. Factibilidad económica.....81
5.13.1. Beneficios.....81
5.13.2. Costos 83
5.13.3. Evaluación económica 84
IV. INGENIERÍA DE DISEÑO 86
CAPÍTULO 6.....86
6. Reconocimiento de los equipos. 86
6.1. Máquina inyectora de plástico. 86

6.1.1. Sistema eléctrico de la máquina inyectora HUSKY. 87
6.1.2. Periféricos.....88
CAPITULO 7.....93
7. SITUACIÓN ACTUAL DE LOS EQUIPOS. 93
7.1. Introducción. 93
7.2. Paradas de producción. 93
7.2.1. Paradas de producción debido a fallas eléctricas. 98
CAPITULO 8.....101
8. INDICADORES DE MANTENIMIENTO ACTUALES. 101
8.1. Disponibilidad. 101
8.2. Confiabilidad. 103
8.3. MTBF (Mid Time Between Failure, tiempo medio entre fallos).....104
8.4. MTTR (Mid Time To Repair, tiempo medio de reparación) 105
CAPITULO 9.....107
9. DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO. 107
9.1. Introducción. 107
9.2. Fase 1. Planeamiento. 108
9.2.1. Selección de los equipos. 108
9.2.2. El equipo natural de trabajo. 108
9.3. Fase 2: Análisis técnico. 111
9.3.1. Caracterización del equipo. 111
9.3.2. Aplicación de la AMEF. 111
9.3.3. Análisis de los modos y efectos de fallas. 114
9.3.4. Aplicación del diagrama de decisión. 115
9.4. Fase 3. Establecimientos de procedimientos de mantenimiento. 115

9.4.1. Etapa de establecimiento de los procedimientos de mantenimiento.115
9.4.2. Inspecciones.....117
9.4.3. Mantenimiento preventivo.....118
9.4.4. Mantenimiento predictivo.....118
9.4.5. Mantenimiento correctivo.....119
10. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 122
11. CONCLUSIONES 123
12. RECOMENDACIONES.....124
13. APÉNDICE 125
Apéndice A: Resumen ejecutivo.....125
Apéndice A.1: Calculo de aumento de disponibilidad. 125
Apéndice A.2: Aumento de la productividad. 126
Apéndice B: Ingeniería de diseño 128
Apéndice B.1: Esquema unifilar de maquina inyectora de plástico HUSKY....128
Apéndice B.2: Esquema unifilar de deshumidificador de molde. 130
Apéndice B.3: Esquema unifilar de deshumidificador de materia prima. 133
Apéndice B.4: Esquema unifilar de cinta transportadora. 136
Apéndice B.5: Maquina inyectora de plástico. 137
Apéndice B.6: Planilla de Análisis de modos y Efectos de falla. 140
Apéndice C: Evaluación económica. 141
Apéndice C.1: Flujo de caja proyectada.....141
Apéndice C.2: Determinación de la Tasa Interna de Retorno (TIR). 141
Apéndice C.3: Determinación del valor presente neto (VPN). 141
Apéndice C.4: Determinación del Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI). 142
14. BIBLIOGRAFIA.....143

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO 1

Figura 1.1: Botellas PET 8
Figura 1.2: PEAD 8
Figura 1.3: PP5 9
Figura 1.4: PVC.....9
Figura 1.5: PELD.....10
Figura 1.6: Polipropileno 10
Figura 1.7: Poliestireno 11
Figura 1.8: Poliuretano (PU) 11

CAPITULO 2

Figura 2.1: Vista frontal y posterior de la máquina de moldeo por inyección HyPET 14
Figura 2.2: Vista posterior de la unidad de inyección y de la unidad de potencia hidráulica 15
Figura 2.3: Esquema del Sistema De Control con PC.....17
Figura 2.4: Grupo de deshumidificación 20
Figura 2.5: Esquema del deshumidificador.....21
Figura 2.6: Proceso Básico de soplado 25
Figura 2.7: Máquina de extrusión con tornillo 26

CAPITULO 3

Figura 3.1: Determinación de frecuencia de mantenimiento.....30
Figura 3.2: Diagrama de flujo de mantenimiento preventivo.....32
Figura 3.3: Curva de probabilidad de falla.....33
Figura 3.4: Ciclo del mantenimiento predictivo 34

CAPITULO 4

Figura 4.1: Flujograma de implementación del MCC.....38
Figura 4.2: Equipo Natural de Trabajo.....40
Figura 4.3: Flujograma de Implantación del MCC 42
Figura 4.4.: Fallas funcionales.....46
Figura 4.5: Flujograma de implantación del MCC.....50
Figura 4.6: Flujograma de implantación del MCC.....65
Figura 4.7: Flujograma de implantación del MCC.....70

CAPITULO 6

Figura 7.1: Máquina Inyectora Husky 86

CAPITULO 9

Figura 9.1: Equipos naturales de trabajo.....109

VIII. APÉNDICE

APÉNDICE B.1.

Figura B.1: Esquema unifilar de la maquina inyectora HUSKY(1/2).....128
Figura B.2: Esquema unifilar de la maquina inyectora HUSKY (2/2.....129
Figura B.3: Esquema unifilar de deshumidificador de molde (1/3) 120
Figura B.4: Esquema unifilar de deshumidificador de molde (2/3). 131
Figura B.5: Esquema unifilar de deshumidificador de molde (3/3) 132
Figura B.6: Esquema unifilar de deshumidificador de materia prima (1/3). 133
Figura B.7: Esquema unifilar de deshumidificador de materia prima (2/3). 134
Figura B.8: Esquema unifilar de deshumidificador de materia prima (3/3). 135
Figura B.9: Esquema unifilar de cinta transportadora 136

Figura B.10: Maquina inyectora de plástico.....137
Figura B.11: Maquina inyectora de plástico.....139
Figura B.12: Tablero general de máquinas. 140

LISTA DE TABLAS

CAPITULO 4

Tabla 4.1: Descripción de funciones 45
Tabla 4.2: Descripción de fallas funcionales.....49
Tabla 4.3: Planilla de información MCC……..…72

CAPITULO 5

Tabla 5.1: Estimación de disminución de paradas por fallas eléctricas.....81
Tabla 5.2: Disponibilidad proyectada para cada año posterior a la aplicación 82
Tabla 5.3: Aumento estimado de la producción de preformas posterior a la implementación del plan de mantenimiento.....82
Tabla 5.4: Costos de implementación del proyecto. 83
Tabla 5.5: Flujo de caja proyectada.....83

CAPITULO 7

Tabla 7.1: Algunas intervenciones recurrentes según registro de órdenes de trabajo. 94
Tabla 7.2: Índice de paradas del 2018 en horas.....95
Tabla 7.3: Porcentaje de paradas de cada grupo de máquinas inyectora del año 2018……...96
Tabla 7.4: Porcentaje de parada debido a cada tipo de falla.....97
Tabla 7.5: Porcentaje de parada por fallas eléctricas de cada máquina 99
Tabla 7.3: Distribución de fallas eléctricas de cada grupo de máquinas 100

CAPITULO 9

Tabla 9.1: Cronograma de reuniones……110

Tabla 9.2: Planilla de información de AMEF del sistema hidráulico de la máquina inyectora……..113
Tabla 9.3: Distribución porcentual de los modos de falla por sistema (Planilla de AMEF)…….....114
Tabla 9.4: Hoja de decisión de AMEF del sistema hidráulico de la máquina inyectora……..117
Tabla 9.5: Distribución porcentual de las distintas técnicas de mantenimiento aplicadas a los modos de falla……....120

VIII. APÉNDICE

APÉNDICE A

Tabla A.1.1. Índices de paradas actuales……125
Tabla A.1.2. Reducción estimada de horas de paradas por falla eléctricas……125
Tabla A.1.3. Disponibilidad proyectada posterior a la implementación del plan de mantenimiento……126
Tabla A.2.1. Datos de producción de cada máquina inyectora…….....126
Tabla A.2.2. Detalles de costo de producción y ganancia…….126
Tabla A.2.3. Cantidad de preformas producidas al año actualmente...……127
Tabla A.2.4. Cantidad estimada de preformas producidas al año posterior a la implementación del plan de mantenimiento..……127
Tabla A.2.5. Aumento de la cantidad de preformas producidas posterior a la aplicación del plan de mantenimiento…...……127

APÉNDICE C

Tabla C.1.1. Flujo de caja proyectada……141
Tabla C.2.1. Resultado de TIR……....141
Tabla C.3.1. Resultado de VPN……..142
Tabla C.4.1. Tiempo de recuperación de la inversión……142

LISTA DE ABREVIATURAS

AMEF: Análisis de Modos y Efectos de Fallas

FLR: Filtro Lubricador Regulador

HsMC: Horas de Mantenimiento Correctivo

HsMP: Horas de Mantenimiento Proactivo

MBC: Mantenimiento Basado en Condición

MCC: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

MPT: Mantenimiento Productivo Total

OT: Ordenes de Trabajo

PAD: Polietileno de Alta Densidad

PET: Polietileno Tereftalato

PM: Mantenimiento Proactivo

PP: Polipropileno

PS: Poliestireno

PU: Poliuretano

PVC: Policloruro de Vinilo

TMEF: Tiempo Medio Entre Fallas

TMPR: Tiempo Medio Por Reparación

I. INTRODUCCIÓN

Los planes de mantenimientos se han convertido hoy en día en una herramienta fundamental en toda la industria. Estos permiten prever las fallas manteniendo los equipos e instalaciones productivas en completa operación a los niveles de eficiencia óptimos, detectando las fallas en su fase inicial y corrigiéndolas en el momento oportuno.

Actualmente la empresa dedicada a la fabricación de envases y tapas plásticas CIMPLAST de la Ciudad De Mariano Roque Alonzo-Paraguay, no posee un plan de mantenimiento preventivo efectivo para sus equipos, lo cual ante la ocurrencia de averías ocasiona paradas inesperadas de maquinarias claves en el proceso productivo como lo son las Maquinas Inyectoras De Plástico (PET) o de algún equipo periférico conexo, ocasionando así pérdidas económicas considerables.

Este proyecto de fin de grado tiene como objetivo diseñar el plan de mantenimiento para el sistema eléctrico de las Maquinas Inyectoras De Plástico y de equipos periféricos conexos. Con lo cual se pretende garantizar la confiabilidad y disponibilidad de estos equipos, para así reducir las horas de paradas por mantenimiento correctivo debido a fallas en su sistema eléctrico y en consecuencia disminuir las pérdidas económicas ocasionadas por la reparación de averías, prolongar su vida útil, mejorar la producción y la seguridad de estos equipos.

Debido a que, todos los grupos de máquinas inyectoras y equipos periféricos conexos son exactamente de las mismas características, solo fue necesario analizar uno de los grupos de máquinas, y el plan de mantenimiento resultante es perfectamente aplicable a los demás grupos de máquinas.

El plan de mantenimiento diseñado se basó en la metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, se optó por esta metodología de mantenimiento ya que

no se disponía de historiales ni registros confiables de planes de mantenimiento anteriores, siendo esta técnica la más recomendable.

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, fue desarrollado en principio por la aviación comercial de Estados Unidos, entre los años 60, en cooperación con entidades como la NASA y Boeging, posteriormente generando gran aceptación sobre sectores de generación de energía, petroquímicos, gasíferos, refinación, industria manufacturera, entre otros. El MCC se basa en determinar lo que debe hacerse para asegurar que un elemento físico continúe desempeñando las funciones deseadas en su contexto operacional presente, tratando de minimizar o mitigar las consecuencias negativas que puedan generarse sobre la producción, costos y seguridad.

El presente proyecto final de grado consta de 9 capítulos que serán descritos a continuación:

En el capítulo 1 “Plásticos”, se habla de los polímeros sintéticos comúnmente denominados plásticos; evoluciones, sus propiedades y características principales.

En el capítulo 2 “Procesamiento del plástico”, en este capítulo describe las diferentes formas de procesamiento del plástico; moldeo por inyección, moldeo por sopado y extrusión.

En el capítulo 3 “Principio de mantenimiento”, se describe que es el mantenimiento, porque es necesario realizarlo, las ventajas y desventajas de los diferentes tipos de mantenimiento.

En el capítulo 4 “Mantenimiento centrado en confiabilidad”, se explica y detalla paso a poso que es el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

El capítulo 5 que es la de Resumen Ejecutivo, contiene la descripción del proyecto, justificación, finalidad, objetivos, etc. También se explica los recursos humanos y económicos necesarios para la implementación del proyecto, la factibilidad técnica y la factibilidad económica analizada.

En el capítulo 6 inicia la parte de Ingeniería de Diseño, el capítulo se denomina “Reconocimiento de los equipos”, en este capítulo se describe y analiza los componentes y composición del sistema eléctrico de las maquinas inyectoras y de los equipos periféricos conexos.

Capítulo 7 “Situación actual de los equipos”, en este capítulo se hace un análisis de la situación actual de los equipos; cuales son los tipos de fallas más comunes, los índices de paradas de cada grupo de máquina, etc.

Capítulo 8 “Indicadores de mantenimiento actuales” En este capítulo se analiza indicadores de mantenimiento de todos los grupos de máquinas como la disponibilidad, confiabilidad, tiempo medio entre fallas y tiempo medio de reparación.

Capítulo 9 “Diseño del plan de mantenimiento”, en este capítulo se diseñó el plan de mantenimiento y se describe los pasos para la aplicación del mismo, Que van desde la selección del Equipo Natural de Trabajo, el análisis técnico que contiene la aplicación del AMEF y la hoja de información. Se explica además el nivel de análisis aplicado para la realización del proyecto. Se explaya además las distintas técnicas preventivas y predictivas aplicadas para atacar los modos de falla analizados.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

CAPÍTULO 1

1. PLASTICOS

1.1. Introducción.

Los plásticos son sustancias químicas sintéticas denominadas polímeros (Unión de monómeros), de estructura macromolecular que puede ser moldeada mediante calor o presión y cuya componente principal es el carbono. Estos polímeros son grandes agrupaciones de monómeros unidos mediante un enlace químico llamado polimerización.

Los plásticos proporcionan el balance necesario de propiedades que no pueden lograrse con otros materiales, por ejemplo: color, poco peso, tacto agradable y resistencia a la degradación ambiental y biológica.

De hecho, plástico se refiere a un estado del material, pero no al material en sí: los polímeros sintéticos habitualmente llamados plásticos, son en realidad materiales sintéticos que pueden alcanzar el estado plástico, esto es cuando el material se encuentra viscoso o fluido, y no tiene propiedades de resistencia a esfuerzos mecánicos.

Este estado se alcanza cuando el material en estado sólido se transforma en estado plástico generalmente por calentamiento, y es ideal para los diferentes procesos productivos ya que en este estado es cuando el material puede manipularse de las distintas formas que existen en la actualidad. Así que la palabra plástico es una forma de referirse a materiales sintéticos capaces de entrar en un estado plástico, pero plástico no es necesariamente el grupo de materiales a los que cotidianamente hace referencia esta palabra.

Las propiedades y características de la mayoría de los plásticos (aunque no Siempre se cumplen en determinados plásticos especiales) son estas:

a. Fáciles de trabajar y moldear,

b. Tienen un bajo costo de producción,

c. Poseen baja densidad,

d. Suelen ser impermeables,

e. Buenos aislantes eléctricos,

f. Aceptables aislantes acústicos,

g. Buenos aislantes térmicos, aunque la mayoría no resisten temperaturas muy elevadas,

h. Resistentes a la corrosión y a muchos factores químicos;

i. Algunos no son biodegradables ni fáciles de reciclar, y si se queman, son muy contaminantes.

1.2. Historia química molecular

Los polímeros naturales por ejemplo la lana, la seda, la celulosa, etc., se han empleado profundamente y han tenido mucha importancia a lo largo de la historia sin embargo hasta finales del siglo XIX no aparecieron los primeros polímeros sintéticos como por ejemplo el celuloide.

Los primeros polímeros que se sintetizaron se obtenían a través de transformaciones de polímeros naturales.

En 1839 Charles Goodyear realiza el vulcanizado del caucho.

Alrededor de 1860, en los Estados Unidos surgió el primer plástico de importancia comercial gracias a un concurso para encontrar un material que sustituya al marfil en la fabricación de las bolas de billar (en esa época se utilizaba tanto marfil, que se sacrificaban 12,000 elefantes anualmente para cubrir la demanda).

Otros polímeros importantes se sintetizaron a comienzos del siglo XX, por ejemplo, el poliestireno (PS) en 1911 o el policloruro de vinilo (PVC) en 1912.

Wallace Carothers, trabajando en la empresa DuPont desde 1928, desarrollo un gran número de nuevos polímeros, como por ejemplo el poliéster, poliamidas o nylons, neopreno, etc.

La segunda guerra mundial contribuyo al avance en la investigación de los polímeros. Por ejemplo, fue muy importante la sustitución del caucho natural por el caucho sintético.

1.3. Ventajas de los polímeros más comunes.

Peso: Son más livianos que los cerámicos y los metales en proporciones que oscilan de 1 a 8 veces, y su densidad oscila entre 0,8 g/cm3 y 2,3 g/cm3 mientras que las del hierro, por ejemplo, llega a 7,8 g/cm3.

Resistencia a la corrosión y a los agentes químicos: Dependiendo de la estructura que los conformen, los plásticos presentan una fuerte oposición al deterioro por acción de agentes químicos, a la humedad y a la descomposición, inclusive a los rayos ultra violetas.

Superficie: Generalmente lisas y uniformes, lo que los hace fáciles de limpiar.

Producción: Se pueden fabricar en serie, requiere pocas operaciones para fabricar inclusive piezas complejas y además, su procesamiento genera una cantidad mínima de residuos.

Revisemos algunos ejemplos (de uso cotidiano) en donde se aplica el uso de los materiales poliméricos:

1.4. Polímeros más comunes

- Polietileno (PE) de alta o baja densidad
- Polipropileno (PP)
- Poliestireno (PS)
- Poliuretano (PU)
- Policloruro de vinilo (PVC)
- Polietileno Tereftalato (PET)

Figura 1.1. Botellas PET

Figura 1.2. PEAD

Figura 1.3. PP5

Figura 1.4. PVC

Figura 1.5. PELD

Figura 1.6. Polipropileno

Figura 1.7. Poliestireno

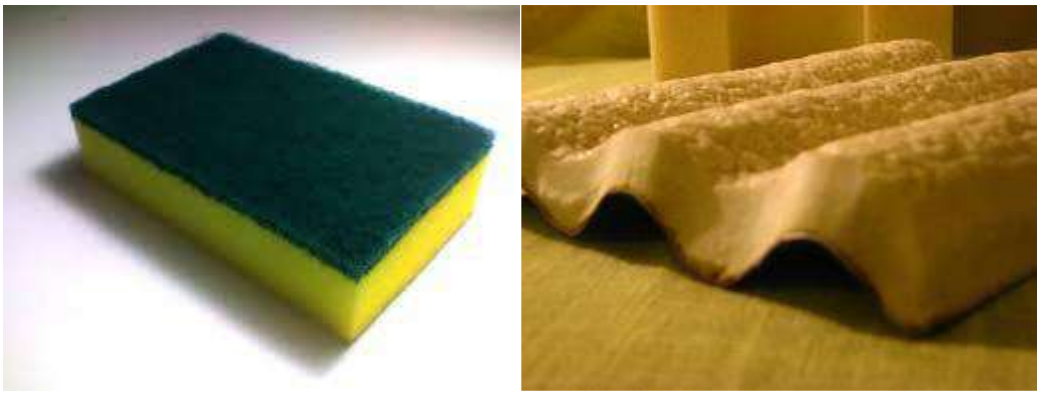


Figura 1.8. Poliuretano (PU)

CAPITULO 2

2. PROCESAMIENTO DEL PLASTICO

2.1. Moldeo por inyección.

En ingeniería, el moldeo por inyección es un proceso semicontinuo que consiste en inyectar un polímero, cerámico o un metal en estado fundido (o ahulado) en un molde cerrado a presión y frío, a través de un orificio pequeño llamado compuerta. En ese molde el material se solidifica, comenzando a cristalizar en polímeros semicristalinos. La pieza o parte final se obtiene al abrir el molde y sacar de la cavidad la pieza moldeada.

2.2. Máquina inyectora de plástico.

La máquina con la que se lleva a cabo el proceso de inyección de plástico se llama inyectora de plástico. Su función es la de proveer de materia prima al molde que se encargará de darle forma y enfriarla. Como su nombre indica, la materia prima que utiliza esta máquina es el plástico.

2.2.1. Funcionamiento de las maquinas inyectoras de plástico.

El funcionamiento de las máquinas de moldeo por inyección, consiste en una unidad de inyección de dos etapas, y en una unidad de cierre hidromecánica. La granza de material de proceso es introducida en la camisa del husillo de extrusión con calefactores en la unidad de inyección, en la que gira el husillo de plastificación accionado hidráulicamente, que la transforma en una masa fundida. Cuando se ha plastificado suficiente material, el husillo lo transfiere a la cámara de inyección, y continúa plastificando más granza. Las dos mitades del molde están sujetas al plato fijo y al plato móvil está unido al bastidor, y el plato móvil está sujeto a la unidad de cierre. Dicha unidad cierra las mitades del molde para crear una cavidad de moldeo en la que se puede inyectar el material fundido. Entonces

se aplica una fuerza de cierre adicional para prevenir la separación de las mitades del molde durante la fase de inyección.

El pistón de inyección inyecta una cantidad preestablecida de material plastificado a muy alta presión en la cavidad de moldeo. Esto permite llenar la cavidad de moldeo con el material fundido y compactarlo. La presión se mantiene hasta que la pieza moldeada puede enfriarse.

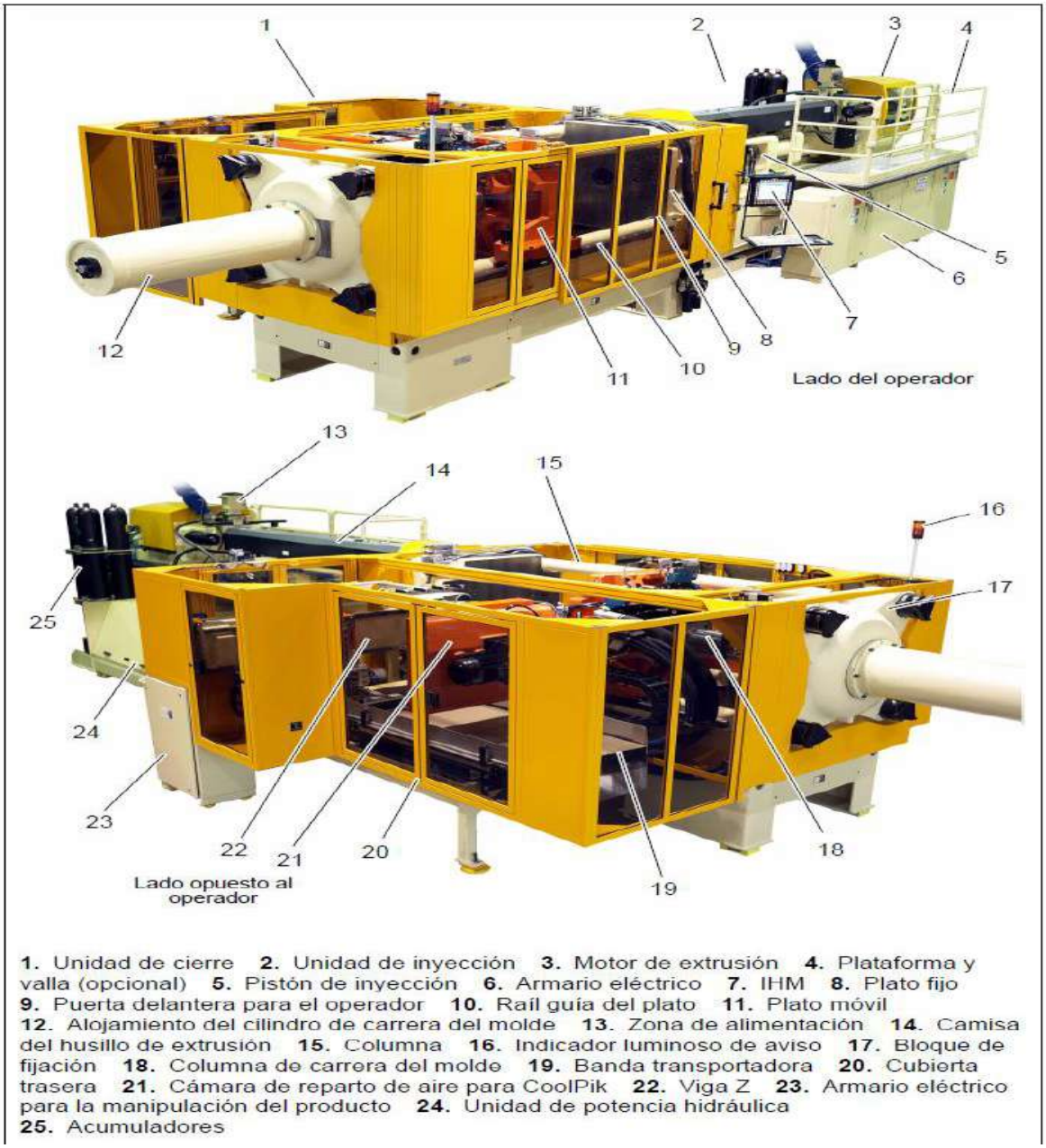
Entonces se retira la presión, y el husillo de plastificación transfiere más material fundido a la cámara de inyección para la siguiente inyección. Al mismo tiempo, se retira la fuerza de cierre de los dos platos, y mientras las dos mitades del molde comienzan a separarse, un expulsor empuja la pieza moldeada fuera del molde.

Esto es denominado funcionamiento simultáneo.

El proceso completo puede ser controlado por un operador desde la interfaz hombre máquina (IHM). Una vez que el proceso ha sido completamente ajustado, la máquina puede producir lotes de piezas sin vigilancia. Un dispositivo de aviso en la máquina alertará al operador cuando ocurra un paro de la máquina.

Todas las funciones de la máquina son controladas por un PC industrial situado en el armario eléctrico. El diseño de la máquina incorpora varios dispositivos de seguridad para garantizar la seguridad del operador.[1]

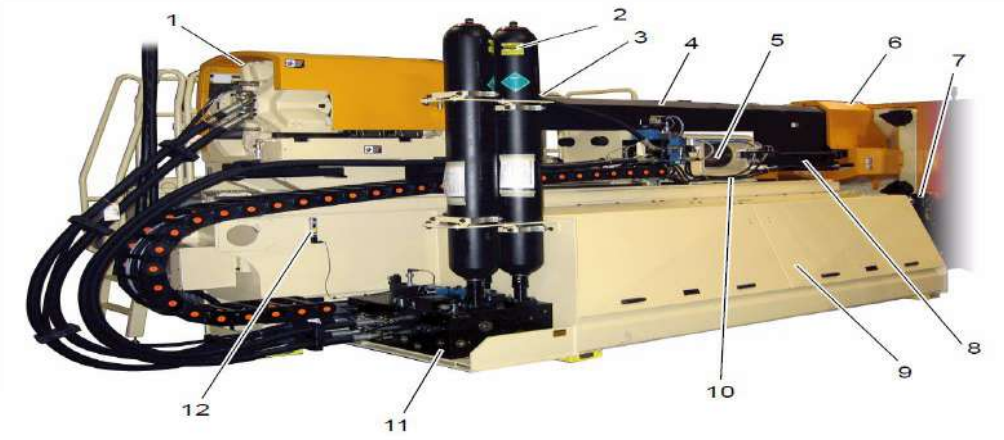
[1] HUSKY, MANUAL DE LA MAQUINA HyPET. CAP 3, PAG 1-2



1. Unidad de cierre **2.** Unidad de inyección **3.** Motor de extrusión **4.** Plataforma y valla (opcional) **5.** Pistón de inyección **6.** Armario eléctrico **7.** IHM **8.** Plato fijo **9.** Puerta delantera para el operador **10.** Raíl guía del plato **11.** Plato móvil **12.** Alojamiento del cilindro de carrera del molde **13.** Zona de alimentación **14.** Camisa del husillo de extrusión **15.** Columna **16.** Indicador luminoso de aviso **17.** Bloque de fijación **18.** Columna de carrera del molde **19.** Banda transportadora **20.** Cubierta trasera **21.** Cámara de reparto de aire para CoolPik **22.** Viga Z **23.** Armario eléctrico para la manipulación del producto **24.** Unidad de potencia hidráulica **25.** Acumuladores

Figura 2.1. Vista frontal y posterior de la máquina de moldeo por inyección HyPET[2]

[2] HUSKY, MANUAL DE LA MAQUINA HyPET. CAP 3, PAG 3



1. Motor de extrusión **2.** Acumuladores **3.** Zona de alimentación (oculta) **4.** Camisa del husillo de extrusión **5.** Pistón de inyección **6.** Protección de purga **7.** Filtro hidráulico **8.** Cilindro del carro **9.** Unidad de potencia hidráulica **10.** Raíl guía del carro **11.** Conjunto del distribuidor hidráulico de potencia **12.** Indicador del nivel del fluido hidráulico

Figura 2.2. Vista posterior de la unidad de inyección y de la unidad de potencia hidráulica[3]

2.2.1.1. Sistema de control y mando.

El sistema eléctrico de las maquinas inyectoras y de sus periféricos, es bastante complejo, ya que es controlado por un sistema de control con PC, que consiste en un PC industrial, que ejecuta un programa de automatización llamado TwinCAT, que controla los diversos dispositivos de la máquina mediante buses de campo en serie como SERCOS y PROFIBUS. El operario interactúa con la máquina mediante la Interfaz Hombre Maquina (IHM).

El motor hidráulico que acciona el usillo de plastificación es controlado por el servo de accionamiento conectado a bus de campo “SERCOS”. Todos los dispositivos de las máquinas, ya sea analógico o digital están conectados al bus de campo “PROFIBUS” usando sistemas de bus de bornes. Los termopares están

[3] HUSKY, MANUAL DE LA MAQUINA HyPET. CAP 3, PAG 4

conectados al bus de campo “PROFIBUS” mediante adaptadores TC, y los transductores de desplazamiento están conectados directamente al bus de campo “PROFIBUS”.

Los buses de campo permiten un intercambio rápido de datos entre el PC y los dispositivos descentralizados de entrada y salida. Hasta 8 controladores de servo accionamientos pueden ser conectados al bus de campo SERCOS, y 126 dispositivos

“PROFIBUS” pueden ser conectados al bus de campo “PROFIBUS”.

El PC industrial puede ser conectado también a una LAN, para acceder remotamente.

Mediante una conexión a una WAN el PC industrial también podrá ser accedido a través de Internet, de una intranet, o mediante satélite para diagnósticos remotos[4].

[4] HUSKY, MANUAL DE LA MAQUINA HyPET. CAP 10, PAG 1

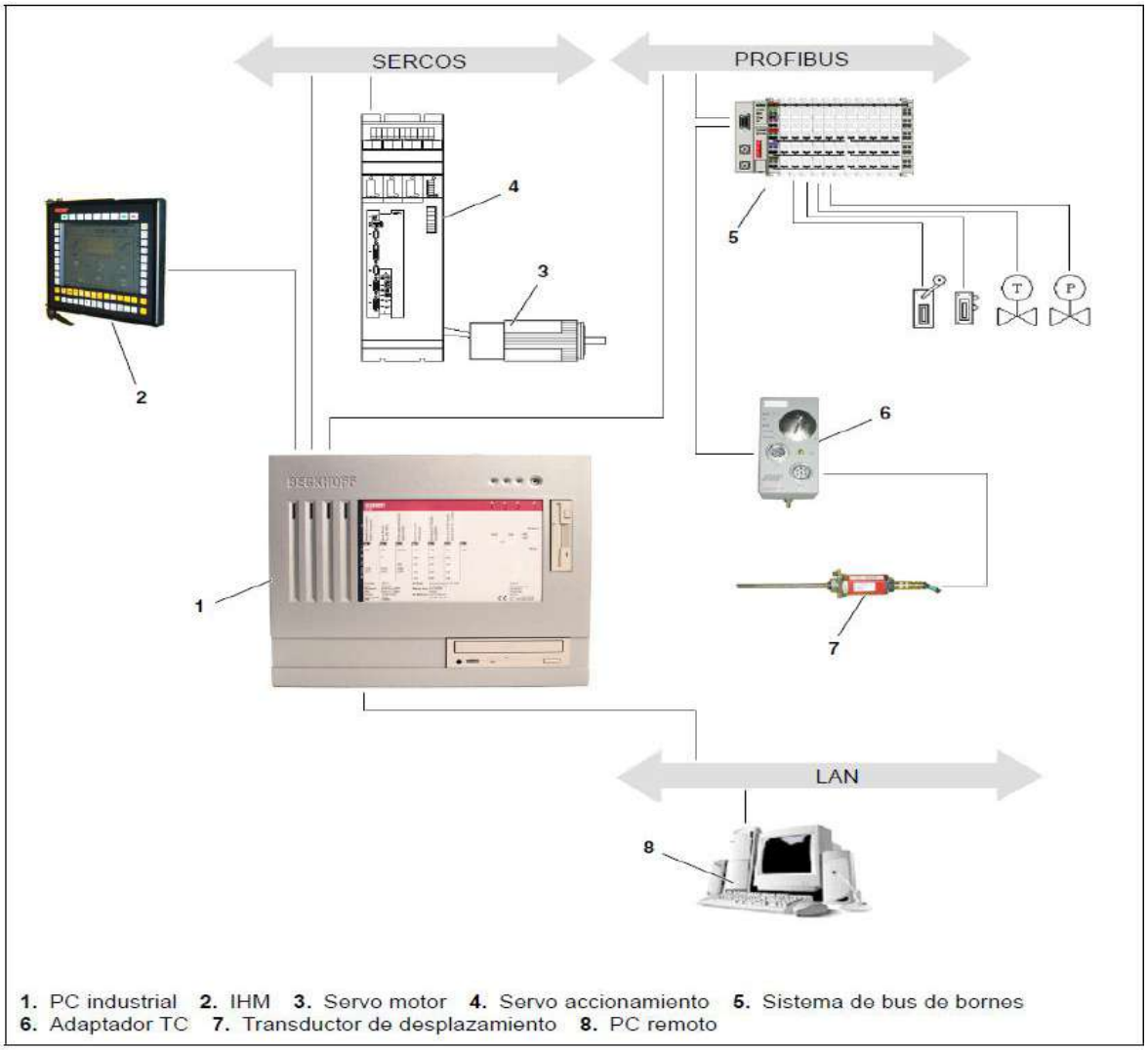


Figura 2.3. Esquema del Sistema De Control con PC[5]

[5] HUSKY, MANUAL DE LA MAQUINA HyPET. CAP 10, PAG 2

2.2.2. Equipos periféricos de una maquina Inyectora de plástico.

2.2.1.2. Deshumidificador (Secador de materia prima).

La función primaria del deshumidificador es eliminar la humedad contenida en el aire que llega de la tolva. Una deshumidificación eficaz de la materia prima mejora notablemente las características físicas, mecánicas y estéticas de la pieza a transformar, al mismo tiempo que, la instalación de deshumidificación centralizada permite tratar simultáneamente diferentes materiales.

El ciclo de deshumidificación se lleva a cabo en el interior del deshumidificador y se divide en 2 fases: Fase de proceso y Fase de regeneración.

- **Fase de proceso:**

En la fase de proceso el aire húmedo proveniente de la tolva se deshumidifica de la siguiente manera:

a. El aire pasa a través del filtro de proceso donde se eliminan las impuridades;

b. Entra en el intercambiador de proceso donde es enfriado;

c. Luego es aspirado por la sopladora de proceso (M1);

d. En la sopladora se aumenta la presión del aire para que pueda ser empujado a la caja de distribución inferior;

e. La caja de distribución inferior conduce el aire a la torre que se encuentra en fase de proceso;

f. En la torre el aire húmedo atraviesa los tamizes moleculares, que absorben la humedad contenida en él;

g. Al salir de la torre el aire resulta seco (Dew-Point = <-40°C [-40°F]);

h. En este momento el aire es conducido a la caja de distribución superior, pasa a través la cámara de calentamiento (donde alcanza la temperatura de proceso), sale del deshumidificador y es conducido nuevamente a la tolva.

- **Fase de regeneración:**

Los tamices moleculares tienen una gran capacidad de absorber la humedad del aire, sin embargo, la cantidad de agua que logran absorber es limitada. Es por esto necesario regenerarlos periódicamente, quitando la humedad.

- **Fase de calentamiento.**

a. Se absorbe aire del ambiente por medio de la sopladora de regeneración (M3);

b. El aire se empuja en la torre que se encuentra en fase de regeneración (1 o 2),

c. Aquí se calienta por medio de las resistencias de regeneración;

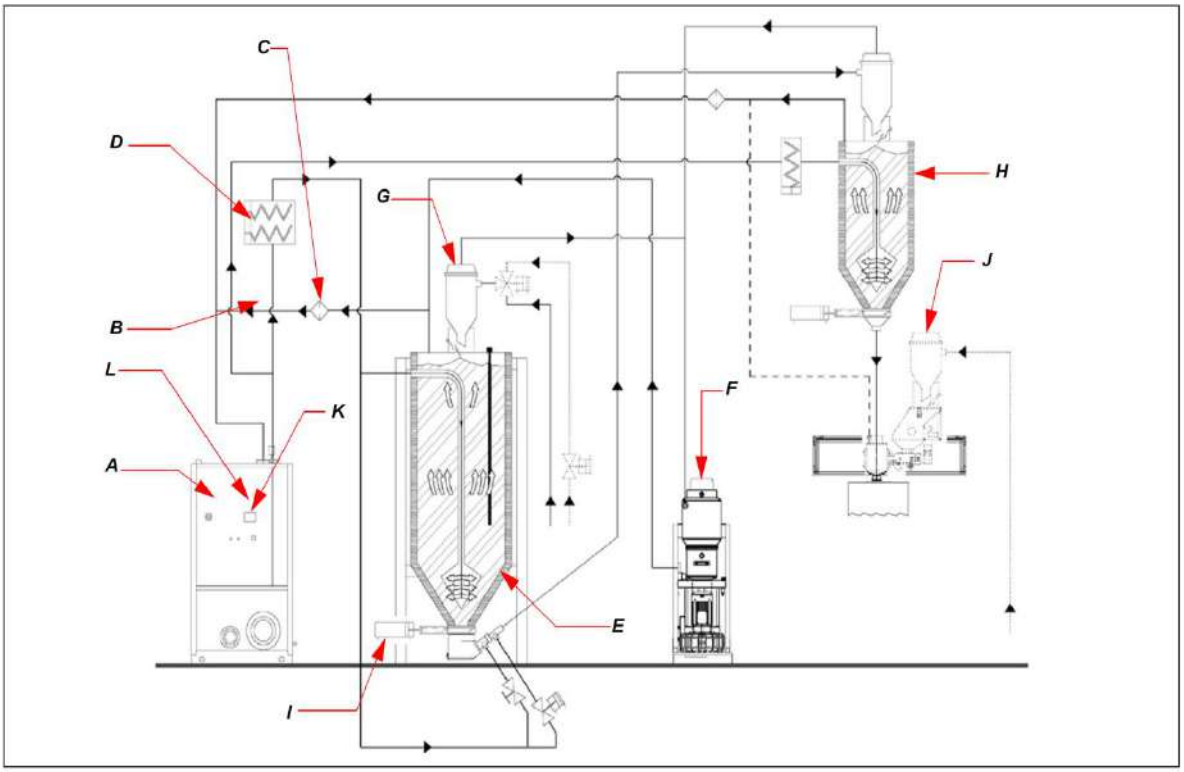
d. Sucesivamente alcanza los tamizes moleculares absorbiendo la humedad contenida;

e. En fin es descargado en el ambiente.

Cuando los tamizes alcanzan, o la temperatura introducida de 200°C [392°F] o el tiempo límite de 3 horas, empieza la fase de enfríamiento, con el intercambio de la caja de regeneración y la desactivación de las resistencias de regeneración.[6]

La empresa cuenta con 5 de estas máquinas (una por cada máquina inyectora) de la marca HUSKY.

[6] HUSKY, MANUAL DE DESHUMIDIFICADOR, PAG 23



A	Deshumidificaor	**F**	Unidad de aspiración	**K**	Panel operador
B		**G**	Alimentador tolva	**L**	Cuadro eléctrico de mando
C	Grupo filtro	**H**	Tolva auxiliaria (split)	**M**	Circuito eléctrico
D	Cámara de calentamiento	**I**	Compuerta neumática	**N**	Circuito eléctrico
E	Tolva de deshumidificación	**J**	Grupo dosadura (optional)	**O**	Circuito idrico

Figura 2.4. Grupo de deshumidificación.[7]

[7] HUSKY, MANUAL DE DESHUMIDIFICADOR, PAG 19

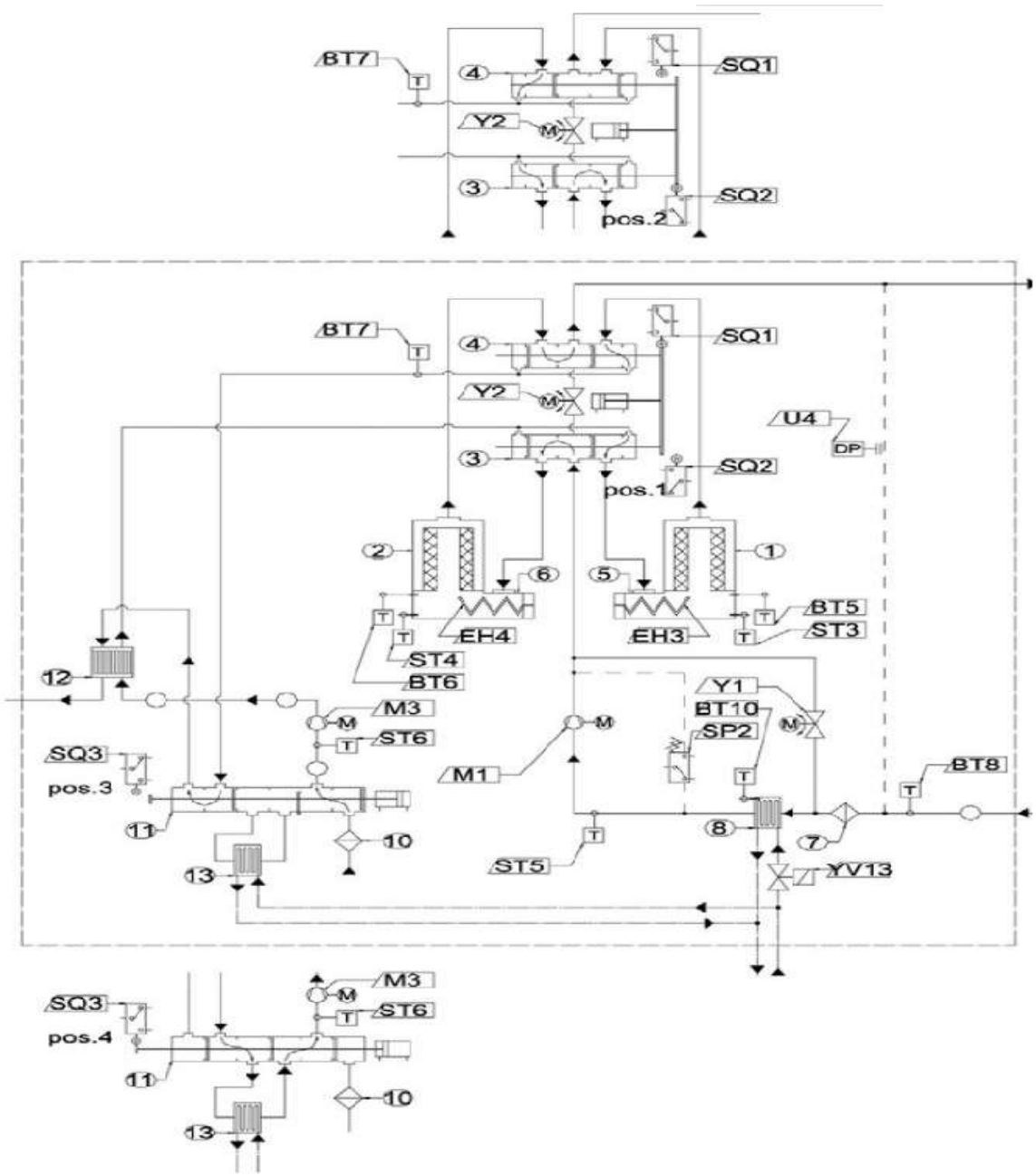


Figura 2.5. Esquema del deshumidificador.[8]

[8] HUSKY, MANUAL DE DESHUMIDIFICADOR, PAG 22

Dónde:

1. Torre deshumidificación der. **2.** Torre deshumidificación izq. **3.** Caja proceso inf. **4.** Caja proceso sup. **5.** Cámara calentamiento torre der. **6.** Cámara calentamiento torre izq. **7** Filtro proceso deshumidificador **8.** Intercambiador de calor de proceso. **10.** Filtro regeneración. **11.** Caja regeneración. **12.** Recuperador de calor de regeneración. **13.** Intercambiador de calor de regeneración. **BT5** Sonda temperatura torre derecha. **BT6** Sonda temperatura torre izquierda. **BT7** Sonda temp. Descarga regeneración. **BT8** Sonda temperatura aire retorno **BT10** Sonda temperatura intercambiador de calor de proceso. **EH3** Resistencias calentamiento torre derecha. **EH4** Resistencias calentamiento torre izquierda. **M1** Sopladora proceso n.1. **M3** Ropladora regeneración. **SP2** Presostato filtro proceso tapado. **SQ1** Micro caja proceso a la izquierda. SQ**2** Micro caja proceso a la derecha. **SQ3** Micro caja regeneración. **ST3** Termostato seguridad torre derecha. **ST4** Termostato seguridad torre izquierda. **ST5** Termostato seguridad sopladora proceso.**ST6** Termostato seguridad sopladora regeneración. **U4** Sensor dew-point. **Y1** Válvula de by-pass, o de parcialización aire proceso. **YV13** Electroválvula enfriamiento intercambiador proceso.

2.2.2.2. Deshumidificador de cabina o deshumidificador de molde.

El deshumidificador de molde descrito en este manual está automatizado. Está controlado electrónicamente por placa electrónica.

Esta máquina ha sido diseñada para desecar el aire que se utiliza en el molde.

El aire se recoge del medio ambiente, se filtra y se enfría (para condensar cualquier humedad en el aire) y luego calentar antes de ser transportado en la cabina del molde.

- **Descripción del ciclo operativo.**
  - **Fase de proceso.**

El ciclo de secado se realiza en un ciclo continuo. El aire se recoge del entorno o desde la cabina (según el tipo de conexión), y es filtrado por un filtro para garantizar una alta eficiencia de intercambio de calor de la proceso de secado.

El aire filtrado se transporta hacia un preenfriamiento operado por agua (preenfriador) batería, donde se condensa y pierde parte de su humedad. Los La condensación se recoge en un tanque y se descarga con una bomba de descarga.

El aire tratado es aspirado por el ventilador del proceso que trabaja para aumentar su presión y transportarlo al rotor de deshumidificación.

En esta fase, el aire húmedo fluye a través del rotor de deshumidificación (3/4 de largo), y absorbe la cantidad de humedad residual contenida. Aire que sale del

El deshumidificador de moho está seco (punto de rocío -10 ° C (14 ° F).

Ahora el aire se transporta hacia una batería de enfriamiento posterior que funciona con agua (post-enfriador) (opcional); para ser entregados sucesivamente en la cabina del molde, a través de la vía de canalización proyectada para garantizar un óptimo Intercambio con aire seco.[9]

- **Fase de regeneración.**

Una parte del proceso de aire se toma para la fase de regeneración y es transportado a la cámara de calentamiento para ser calentado por elementos de regeneración.

El aire caliente que sale de la cámara de calentamiento fluye a través del rotor de deshumidificación de 1/4 de largo, eliminando la humedad que había absorbido durante la fase del proceso.

[9] HUSKY, MANUAL DE OPERACIÓN DE DESHUMIDIFICADOR. PAG. 14

Finalmente, el aire se libera al medio ambiente, la humedad saturada.[10]

2.2.3.3. Tolva.

La tolva es el depósito de materia prima en donde se colocan los “pellets” de material plástico para la alimentación del extrusor.

Las tolvas de secado eliminan la humedad del material que está siendo procesado, sustituyen a equipos de secado independientes de la máquina. Los sistemas de extrusión con mayor grado de automatización cuentan con sistemas de transporte de material desde contenedores hasta la tolva, por medios neumáticos o mecánicos. Otros equipos auxiliares son los dosificadores de aditivos a la tolva y los imanes para la obstrucción del paso de materiales ferrosos, que puedan dañar el husillo y otras partes internas del extrusor.

Como en otros periféricos mencionados, una de las principales tendencias de estas máquinas son la baja emisión de ruido, la automatización del proceso y la integración de dispositivos que eviten futuros paros de las máquinas.

2.3. Moldeo por soplado

Mediante el proceso de soplado pueden fabricarse cuerpos huecos como bidones y botellas. El proceso consiste básicamente en insuflar aire en una manga en forma de tubo fundida que se encuentra en el interior del molde. Para ello son necesarias dos partes fundamentales: una extrusora continúa con la que produce la manga y la unidad de soplado. El funcionamiento del proceso de soplado se esquematiza en la Figura 1.10**,** para el caso del proceso de extrusión-soplado.

En el caso del proceso de extrusión-soplado, por ejemplo, la extrusora transforma el plástico en una masa fundida homogénea, como se ha descrito anteriormente. El cabezal adosado a ella desvía la masa hasta la dirección vertical, para después

[10] HUSKY, MANUAL DE OPERACIÓN DE DESHUMIDIFICADOR. PAG. 14

hacerla pasar por una boquilla que la convierte en una manga tubular, esta manga queda entonces colgando hacia abajo.

El molde de soplado consta de dos partes móviles con la forma del negativo de la pieza a moldear. Una vez que la manga tiene la longitud suficiente, el molde se cierra en torno a ella.

Seguidamente el molde se desplaza hacia la unidad de soplado donde el cabezal de soplado penetra dentro del molde y de la manga, de forma que el cabezal da forma a la región del cuello del cuerpo hueco y al mismo tiempo le insufla aire.

Esto origina una presión que obliga al material a estamparse contra las paredes del molde, adoptando la forma deseada. El molde debe permitir la evacuación del aire que queda entre la pieza y la cavidad. La pieza se enfría en el molde, de donde es extraída una vez que se haya enfriado y tenga la consistencia adecuada.

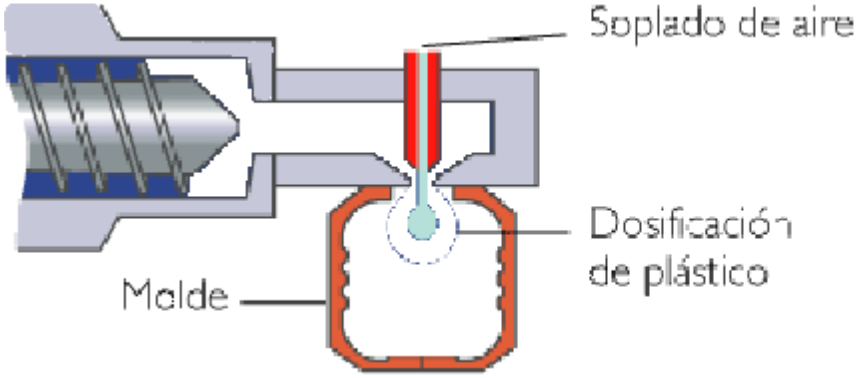


Figura 1.10. Proceso Básico de soplado

2.4. Extrusión

El proceso de extrusión consiste en obligar a un material fundido a pasar a través de una boquilla que tiene la forma adecuada, para obtener el diseño deseado. El equipo debe ser capaz de proporcionar sobre el material suficiente calor y presión de una forma continua, uniforme y reblandecer y acondicionar el material de forma que pueda ser extruido. Para ello, se requiere de una maquina compuesta de un

cilindro y un tornillo de plastificación que gira dentro del cilindro, como se muestra en la Figura 1.11.

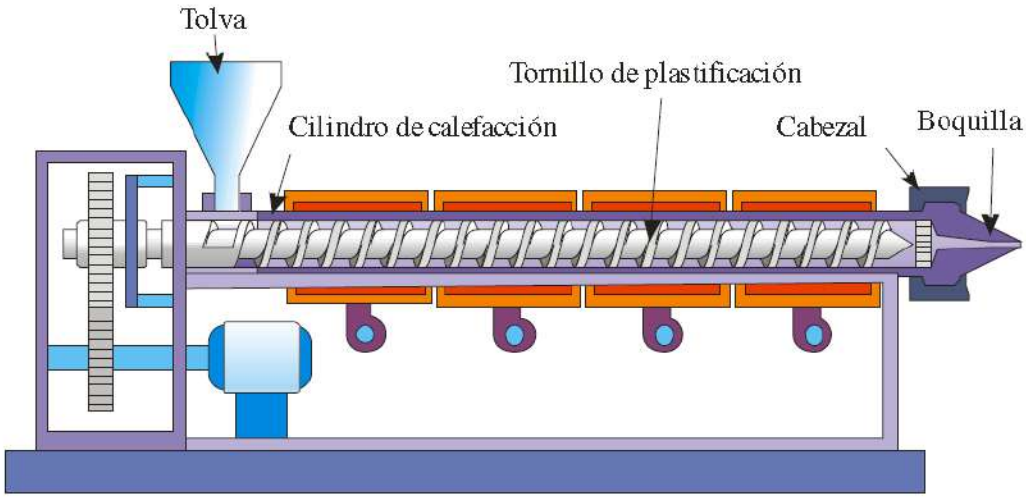


Figura 1.11**.** Máquina de extrusión con tornillo.

La materia prima granulada se carga en una tolva, desde la cual se alimenta al cilindro, donde el tornillo se encarga de introducirlo, transportarlo hacia delante y comprimirlo. El calentamiento hasta la fusión se realiza desde la cara exterior del cilindro, mediante resistencias calefactoras y desde el interior por conversión del esfuerzo en calor. De esta forma el material termoplástico funde (se plastifica) y al salir del cilindro a través de una boquilla recibe la forma de esta. El resultado es un perfil que se utiliza en otros procesos.

CAPITULO 3

3. PRINCIPIOS DE MANTENIMIENTO

3.1. ¿Qué es Mantenimiento?

Es una combinación de acciones técnicas destinadas a retener o restaurar un activo en un estado en el que pueda desempeñar su función dentro de unos parámetros permitidos de eficiencia, costo, seguridad y ambiental**.**

3.2. ¿Para Qué Se Necesita Hacer Mantenimiento?

- Para preservar los requerimientos funcionales.
- Para prevenir fallas prematuras.
- Para mitigar las consecuencias de falla.

3.3. Mantenimiento clase mundial (World Class).

El término World Class se impuso en la década de los ochenta cuando numerosas empresas decidieron desarrollar estrategias de mejora de la productividad, siguiendo el sistema de producción creado por la empresa Toyota. World Class se utiliza como sinónimo de excelencia, capacidad de cambio, mejora continua, resultados sobresalientes, productos y servicios de gran calidad. En numerosas empresas el término World Class engloba las estrategias utilizadas para optimizar la calidad de los productos, mejorar los tiempos de respuesta y eliminar todo tipo de pérdidas.

Una organización World Class es aquella que ha transformado todos los elementos de su sistema productivo: entrenamiento, gestión de calidad, organización para el diseño de productos, gestión de stocks, transporte, selección de equipos, mantenimiento, sistemas contables, tecnologías de información, automatización, etc. para lograr los objetivos propuestos.

3.4. Gestión del Mantenimiento.

Gestión de Mantenimiento es el conjunto de operaciones con el objetivo de garantizar la continuidad de la actividad operativa, evitando atrasos en el proceso por averías de máquinas y equipos.

La Gestión de Mantenimiento es importante porque permite rebajar costes optimizando el consumo de materiales y el empleo de mano de obra. Para ello es imprescindible estudiar el modelo de organización que mejor se adapta a las características de cada empresa; es necesario también analizar la influencia que tiene cada uno de los equipos en los resultados de la empresa, de manera que la mayor parte de los recursos se utilicen en aquellos equipos que tienen una influencia mayor; es necesario, igualmente, estudiar el consumo y el stock de materiales que se emplean en mantenimiento; y es necesario aumentar la disponibilidad de los equipos, no hasta el máximo posible, sino hasta el punto en que la indisponibilidad no interfiera en el Plan de Producción.

3.5. Mantenimiento preventivo.

Mantenimiento preventivo consiste en una serie de acciones que se ejecutan en un programa basado en el tiempo transcurrido o basado en el tiempo de servicio del equipo. Estas acciones se realizan para descubrir, evitar, o mitigar la degradación de un sistema (o sus componentes). La meta de un mantenimiento preventivo es minimizar la degradación del sistema y de sus componentes y así sostener la vida útil del equipo.

Realizando el mantenimiento preventivo en el equipo tal y como lo recomienda su fabricante, se garantiza el ciclo de vida del equipo en parámetros originales. Esto se traduce en economía.

Por sí sólo el mantenimiento preventivo no es la estrategia de mantenimiento óptima, pero tiene varias ventajas encima de un programa completamente reactivo.

3.5.1. Ventajas Y Desventajas.

3.5.1.1. Ventajas.

- Minimiza costos de mantenimiento.
- Permite flexibilidad en el ajuste de la periodicidad de mantenimiento.
- Aumenta el ciclo de vida de los componentes y del equipo.
- Genera ahorros de energía.
- Reduce las fallas del equipo y/o fallas en el proceso.
- 12% a 18% de ahorro en el costo Vs. En un programa de mantenimiento reactivo.

5.5.1.2. Desventajas.

- No elimina las fallas catastróficas
- Se requiere de una mano de obra más calificada
- Incluye desarrollo de actividades de mantenimiento innecesarias que tienen el potencial de daño a los componentes.

3.5.2. Frecuencia Óptima De Mantenimiento Preventivo.

Los programas de mantenimiento, inicialmente fueron realizados en base a recomendaciones de los fabricantes del equipo, donde de antemano, se aseguraban en muchas ocasiones, de no correr ningún riesgo de falla, protegiendo la garantía, a costa de incrementar la frecuencia de mantenimiento.

Con el tiempo se han mejorado en algunos casos con la experiencia del personal dichos programas, se han mejorado también los métodos de trabajo, el personal

tiene mayor experiencia, se han sustituido o modernizado los equipos, el desempeño del equipo es satisfactorio y los objetivos en los índices de mantenimiento son ya fácilmente alcanzables, por lo tanto adecuar las frecuencias de mantenimiento del equipo a las condiciones actuales es ya requerido.

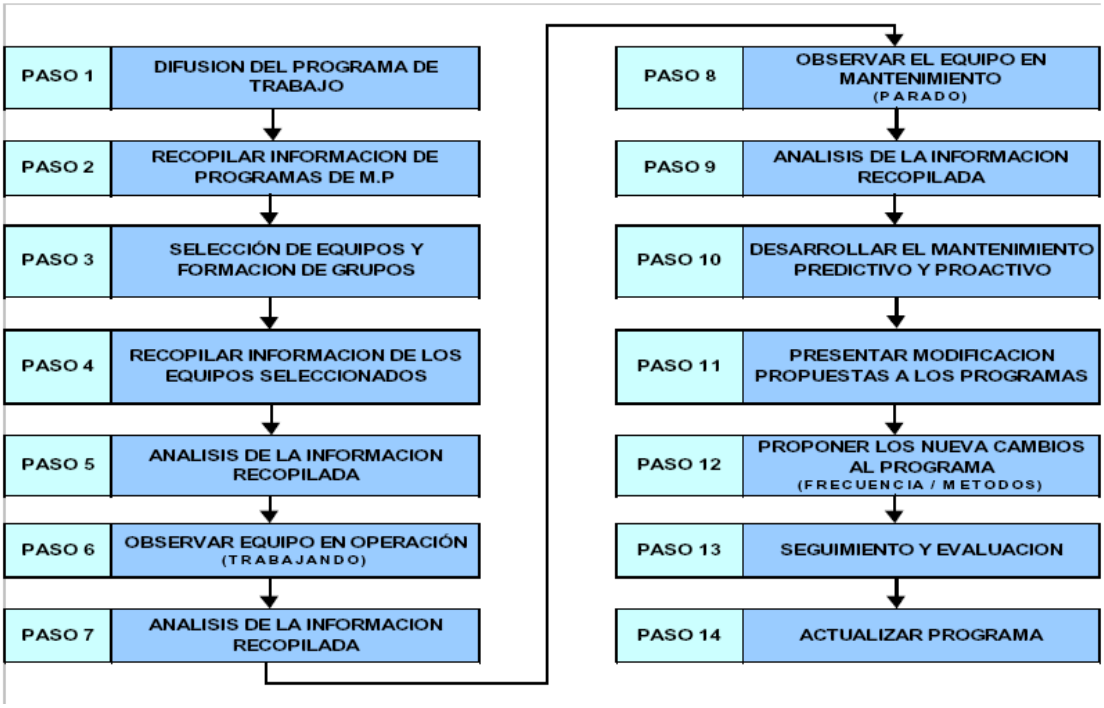


Figura 3.1. Determinación de frecuencia de mantenimiento**.**

3.5.3. Consecuencias de frecuencias inadecuadas en el mantenimiento preventivo.

- **Sobre-Mantenimiento.**

- Alto costo de Mantenimiento Preventivo.
- Bajo costo de Mantenimiento Correctivo.
- Perdidas productivas por baja disponibilidad debido al exceso de paros programados de mantenimiento al equipo.
- Alto costo por consumo e inventario de refacciones.

➢ **Bajo Mantenimiento.**

- Bajo costo de Mantenimiento Preventivo.
- Alto costo de Mantenimiento Correctivo.
- Perdidas productivas por baja disponibilidad a causa de fallas en el equipo
- Alto costo por consumo e inventario de refacciones

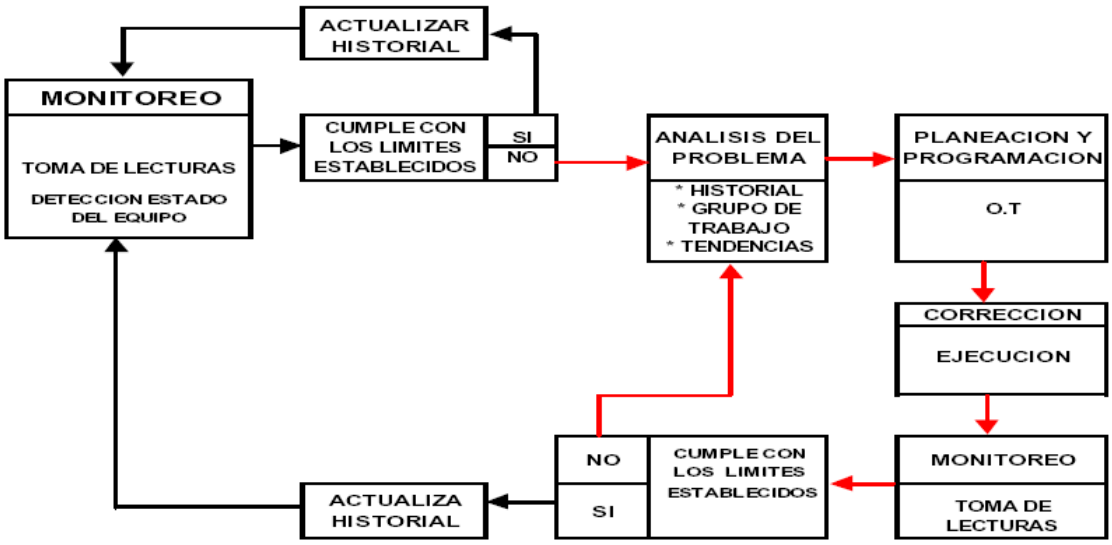


Figura 3.2. Diagrama de flujo de mantenimiento preventivo.

3.5.4. Características del comportamiento de las fallas.

NASA Reliability Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment

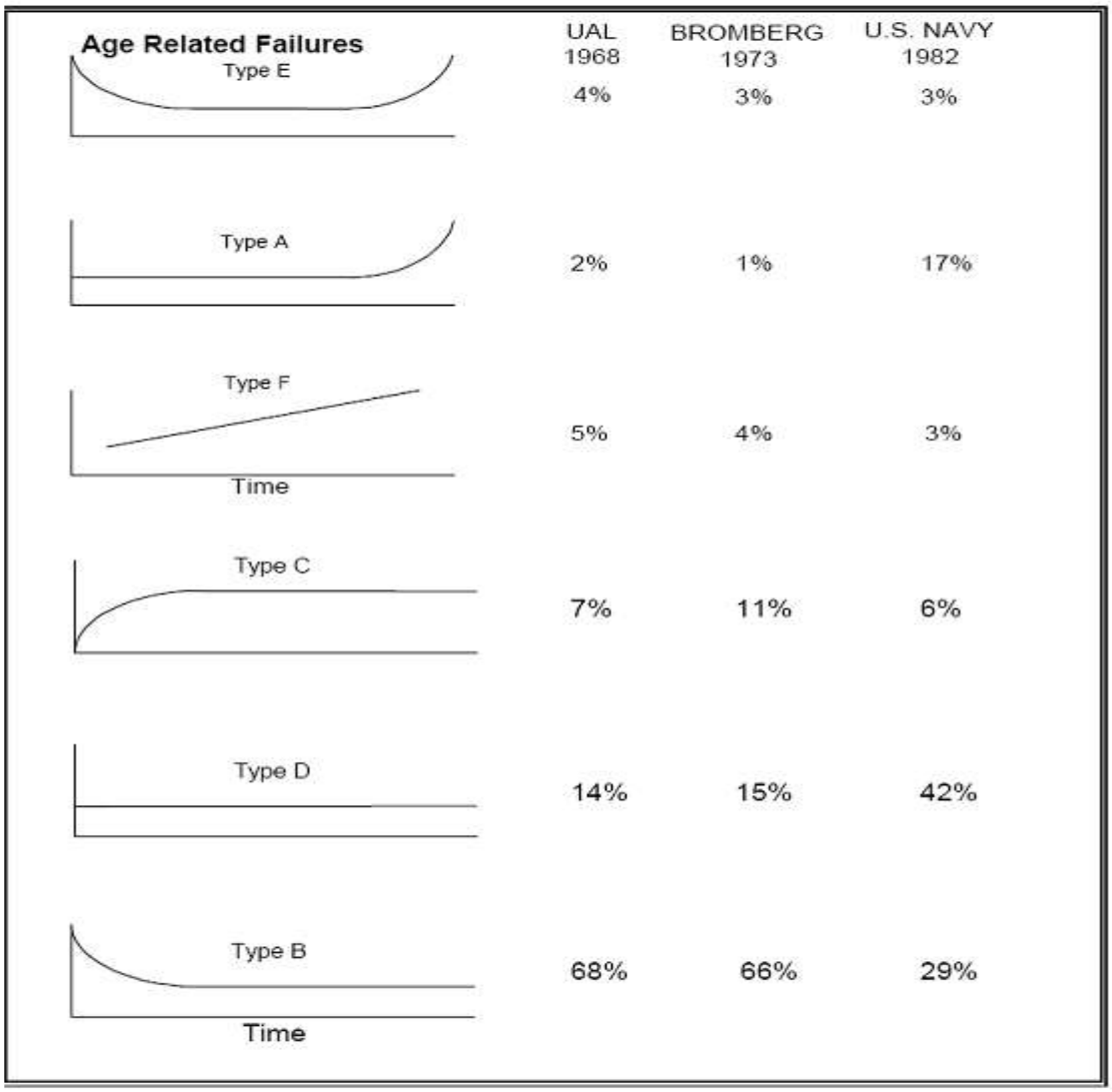


Figura 3.3. Curva de probabilidad de falla.

La curva Tipo E: Conocida coma la bañera, comienza con una alta probabilidad de falla (Mortandad infantil), decrece a un periodo de baja probabilidad de falla en forma constante y va incrementando gradualmente la probabilidad de que se presente una falla.

La curva Tipo A: El equipo trabaja por un periodo de tiempo en forma confiable (Baja probabilidad de falla) y con el tiempo va disminuyendo su desempeño con lo cual la probabilidad de falla aumenta en forma gradual.

La curva Tipo F: Indica una probabilidad de incremento de falla constante.

La curva Tipo C: Indica una baja probabilidad de falla inicial y luego un incremento gradual para permanecer constante la probabilidad de falla.

La curva Tipo D: Muestra una probabilidad constante de falla en cualquier tiempo.

La curva Tipo B: Comienza con una alta probabilidad de falla (Mortandad infantil) para decaer a una probabilidad baja y constante de falla.

3.6. Mantenimiento predictivo.

Es la aplicación de la tecnología en el proceso de detección temprana para verificar y detectar cambios de condiciones lo que permite intervenciones más oportunas y precisas.

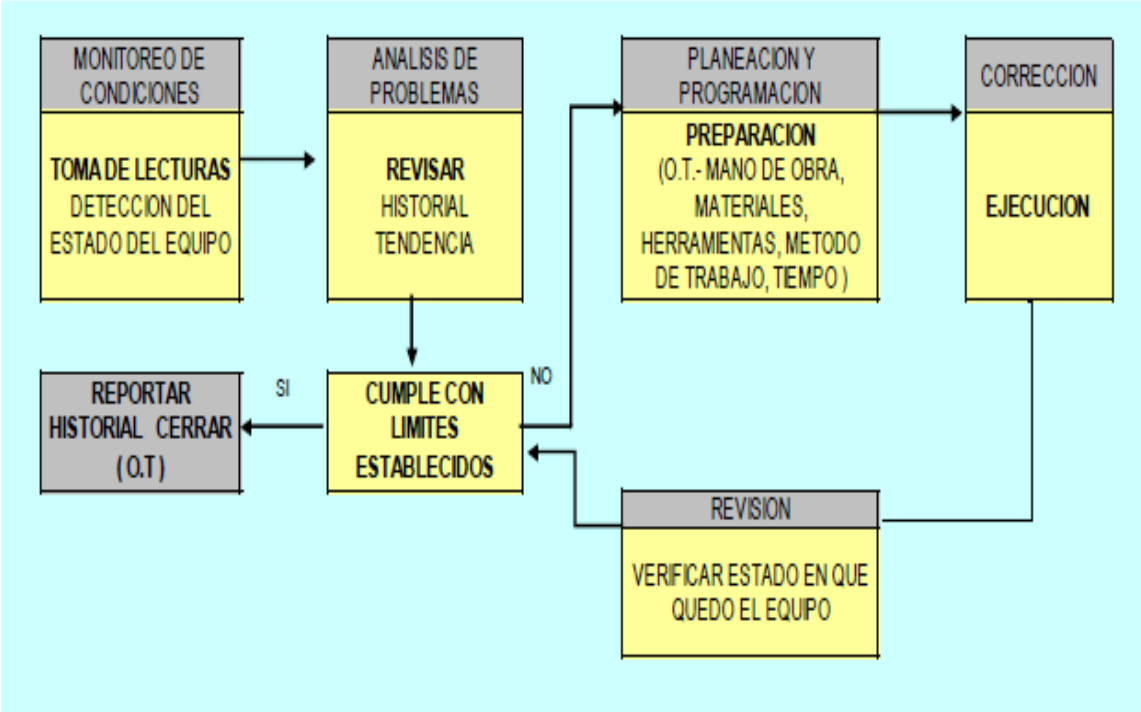


Figura 3.4. Ciclo del mantenimiento predictivo.

3.6.1. Técnicas predictivas

3.6.1.1. La Boroscopia

Las inspecciones boroscópicas son inspecciones visuales en lugares inaccesibles para el ojo humano con la ayuda de un equipo óptico, el baroscopio. Se desarrolló en el área industrial a raíz del éxito de las endoscopias en humanos y animales. El baroscopio, también llamado videoscopio o videoboroscopio, es un dispositivo largo y delgado en forma de varilla flexible. En el interior de este tubo hay un sistema telescópico con numerosas lentes, que aportan una gran definición a la imagen. Además, está equipado con una poderosa fuente de luz.

El baroscopio es sin duda otra de las herramientas imprescindibles para acometer trabajos de inspección en las partes internas de determinadas máquinas sin

realizar grandes desmontajes. Así, se utiliza ampliamente para la observación de las partes internas de motores térmicos (motores alternativos de combustión interna, turbinas de gas y turbinas de vapor), y para observar determinadas partes de calderas, como haces tubulares o domos.

Se usa no sólo en tareas de mantenimiento predictivo rutinario, sino también en auditorias técnicas, para determinar el estado interno del equipo ante una operación de compra, de evaluación de una empresa contratista o del estado de una instalación para acometer una ampliación o renovar equipos.

Entre las ventajas de este tipo de inspecciones están la facilidad para llevarla a cabo sin apenas tener que desmontar nada y la posibilidad de guardar las imágenes, para su consulta posterior.

3.6.1.1. Análisis de lubricación (Tribología).

El estudio de los lubricantes es muy complejo debido a esto, los especialistas analizan e interpretan los resultados de varias pruebas de lubricantes. Estos análisis incluyen la viscosidad, punto de llama, ácido total y números bajos y la cantidad de partículas en el lubricante. La cantidad de partículas en el lubricante probablemente es la medida más importante, pero sólo unas pruebas se han desarrollado para determinarlo. El método más sofisticado usa los sistemas de visión para coleccionar los datos, y computadoras para comparar las imágenes fotográficas digitalizadas con las imágenes "aceptables." Las desviaciones de la imagen normal son graficadas para el análisis de la tendencia e interpretación.

3.6.1.2. Análisis infrarrojo (Termografía).

Todo el equipo tiene un rango de temperatura normal de operación. Si este rango se excede, se debe corregir. Hay maneras más sofisticadas de monitorear la temperatura que las termocuplas de un automóvil: las cámaras infrarrojas pueden

tomar una "foto del calor del equipo", mostrando las bandas de temperatura coloreadas en forma diferente. Cualquier patrón de calor anormal, tendencias o la temperatura cuantitativa (las manchas calientes) debe analizarse e interpretarse. Problemas comunes descubiertos por esta técnica: fricción excesiva al girar el equipo, escapes en trampas de vapor, incineradores dañados u hornos y situaciones de la sobrecarga eléctricas.

3.6.1.3. Análisis de vibraciones.

La vibración excesiva es una de las maneras más comunes de predecir la falla de un equipo. Algunos expertos afirman que simplemente escuchando el zumbido o sintiendo el pulso del equipo cada día, se puede descubrir los problemas mecánicos inminentes. Un acercamiento más sofisticado es comparar las lecturas actuales con los valores óptimos de frecuencia, amplitud y fase para determinar qué problemas están ocurriendo.

El análisis de vibración se usa principalmente en el equipo rotativo, tales como motores y turbinas, para determinar el desalineamiento de un eje y el estado de rodamientos. También se utiliza en compresores, sopladores y bombas.

3.7. Mantenimiento reactivo o correctivo.

El mantenimiento reactivo es básicamente el “funcionamiento hasta que rompe” modo de mantenimiento. No se toma ningunas acciones o esfuerzos de mantener el equipo como el diseñador se prepuso originalmente, prevenir falta o asegurarse de que la vida diseñada del equipo esté alcanzada. Los estudios hechos como el invierno de 2000 indican tan recientemente que el mantenimiento reactivo sigue siendo el modo predominante del mantenimiento en los estados unidos y en muchas empresas del mundo. El estudio referido analiza el programa de mantenimiento medio como sigue: observar que más los de 55% de recursos del

mantenimiento y de actividades de una facilidad media siguen siendo reactivos en naturaleza.

- **Ventajas**

- Tiene costes iniciales más bajos.
- Requiere a poco personal.

- **Desventajas**

- Aumenta los costes debido al tiempo muerto imprevisto del equipo.
- Aumenta costes de trabajo, especialmente si el tiempo suplementario es necesario para las reparaciones o el reemplazo de algunos elementos.
- Provoca un uso ineficaz de los recursos del personal.

CAPITULO 4

4. Mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC).

4.1. ¿Qué es el MCC?

El MCC se inició en la industria aeronáutica en los 50´s y en las industrias por procesos a partir de 1982, y está basado en el trabajo en equipo y en el mejoramiento continuo.

EL MCC una filosofía de gestión de mantenimiento, en el cual un equipo multidisciplinario de trabajo, se encarga de optimizar la confiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, estableciendo las actividades más efectivas de mantenimiento en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema, tomando en cuenta los posibles efectos que originaran los modos de fallas de estos activos, a la seguridad, al ambiente y a las operaciones".

4.2. Las 7 preguntas básicas del MCC.

La metodología MCC, propone un procedimiento que permite identificar las necesidades reales de mantenimiento de los activos en su contexto operacional, a partir del análisis de las siguientes siete preguntas:

- ✓ ¿Cuáles son las funciones y respectivos estándares de desempeño de este bien en su contexto operativo presente?
- ✓ ¿En qué aspecto no responde al cumplimiento de sus funciones?
- ✓ ¿Que ocasiona cada falla funcional?
- ✓ ¿Qué sucede cuando se produce cada falla en particular?
- ✓ ¿De qué modo afecta cada falla?
- ✓ ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir la falla?
- ✓ ¿Qué debe hacerse si no se encuentra el plan de acción apropiado?

A lo largo de este capítulo iremos describiendo la aplicación y el proceso de implementación del MCC, a modo de facilitar su entendimiento y alcance.

4.3. Aplicación del proceso del MCC

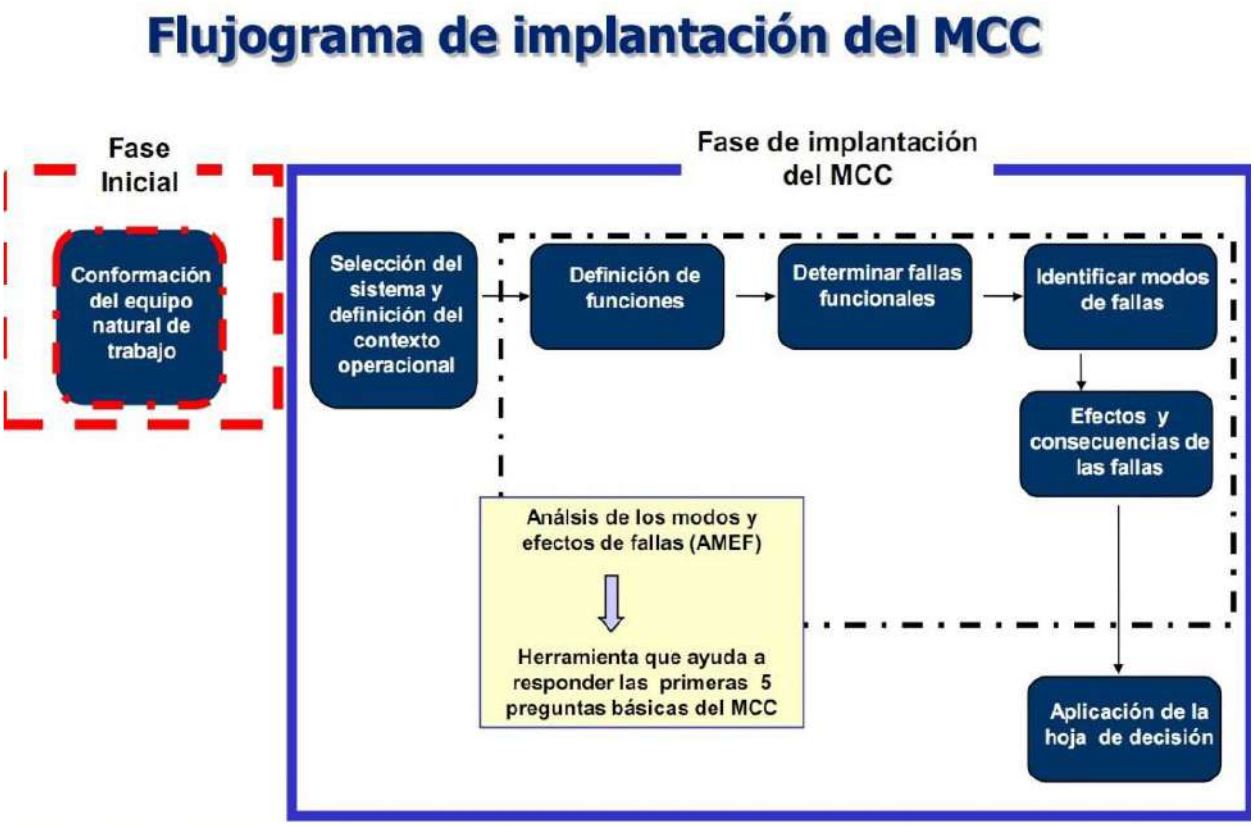


Figura 4.1. Flujograma de implementación del MCC

4.3.1. Planificación.

a. Decidir qué bienes son los que obtendrán un mayor beneficio del proceso de MCC, y como exactamente se verán beneficiados.

b. Evaluar los recursos necesarios para aplicar el proceso a los bienes beneficiados.

c. En los casos donde los posibles beneficios justifican la inversión, decidir detalladamente quien llevara a cabo el proceso y quien auditara cada análisis, donde, como, y hacer todos los arreglos para que reciban el entrenamiento necesario.

d. Asegurar que el contexto operativo del bien, se entiende con claridad.

4.3.2. Grupos de revisión.

El personal de mantenimiento, simplemente no puede responder por si solos, las 7 preguntas básicas, esto se debe a que algunas respuestas solo pueden ser provistas por el personal de operación o producción. Esto se aplica especialmente a preguntas con respecto a funciones, desempeños deseados, efectos y consecuencias de las fallas.

Por esta razón se debe realizar una revisión de los requisitos de mantenimiento, esto debe ser realizado por grupos pequeños, que incluya al menos una persona responsable de mantenimiento y una persona de la función operativa, cada miembro debe además haber sido capacitado en MCC.

4.3.3. Equipos naturales de trabajo.

Figura 4.2. Equipo Natural de Trabajo

4.4. ¿Qué logra el MCC?

Mayor seguridad e integridad medioambiental: se considera las implicaciones medioambientales y de seguridad de cada falla, antes de considerar sus efectos en las operaciones, se siguen determinados pasos para minimizar los riegos ambientales y la seguridad relativa de los equipos.

* Desempeño operativo optimizado: reconoce que todo tipo de mantenimiento es valedero y proporciona reglas para decidir cuál es el más aplicable en cada situación. De este modo asegura que se escojan los métodos más apropiados de mantenimiento para cada bien en particular, y que se lleven a cabo las acciones necesarias en los casos en los que el mantenimiento no pueda ser de ayuda.
* Mejor relación costo-efectividad: enfoca la atención continuamente en las actividades de mantenimiento que producen en mayor efecto en el desempeño de la planta, de este modo asegura que lo invertido en mantenimiento, se utilizó de la manera prioritaria. Si el MCC se aplica correctamente a los sistemas de mantenimiento existentes, disminuye la cantidad de trabajo de rutina destinado en cada periodo, generalmente entre el 40% y el 70%.
*Mayor vida útil en equipos de costos elevados: debido al énfasis centrado el uso de técnicas de manutención en condición.
* Un banco de datos comprensible: todo reporte de MCC termina con un registro completo y totalmente documentado de los requisitos de mantenimiento de todos los bienes significativos utilizados por la organización.
* Mejoras en la motivación individual: especialmente de las personas involucradas en las revisiones. Esto lleva un entendimiento mucho más claro del equipo en su contexto operativo, conjuntamente con una mayor propiedad de los problemas de mantenimiento y sus soluciones. También significa que estas soluciones tenderán a una mayor duración.
* Mejora en el trabajo en equipo: Provee un lenguaje perfectamente entendible para toda persona involucrada con mantenimiento. Esto da a los operadores y personal de mantenimiento un claro entendimiento de que se puede o no realizar para mejorar el desempeño.

4.5. Funciones.

El MCC define el término función, como el propósito o la misión de un activo en un contexto operacional específico (cada activo puede tener más de una función en el contexto operacional).

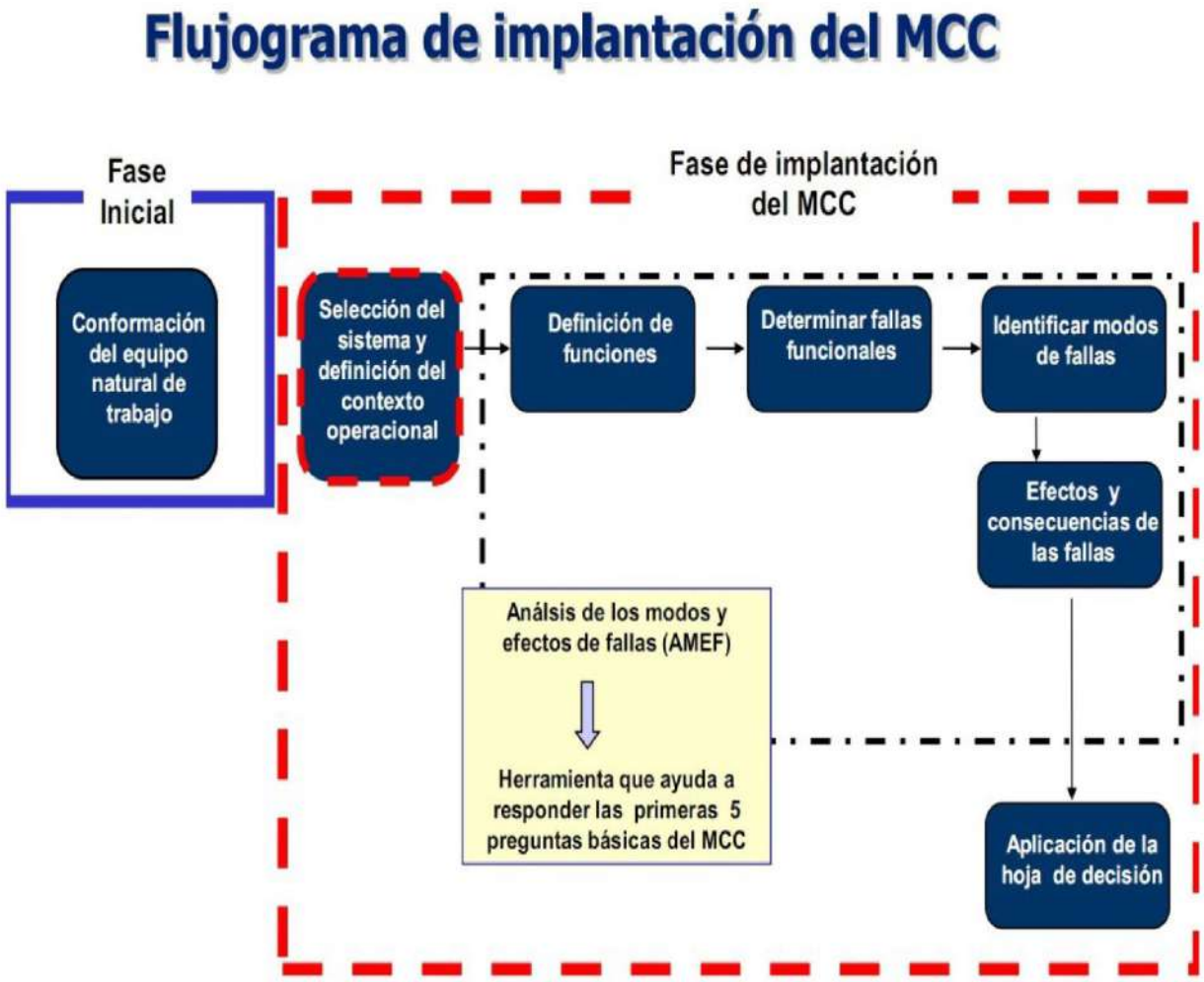


Figura 4.3. Flujograma de Implantación del MCC.

Está claramente establecido en los principios de ingeniería, que la descripción de una función debe seguir de un verbo y un objeto. Es también muy útil, comenzar

esa descripción con la palabra “para” (“para bombear agua”, “para transportar personas” etc.)

Sin embargo, los usuarios, no solo esperan que el bien cumpla una función.

También esperan que lo haga a un nivel de desempeño aceptable. De modo que la definición de una función, y por lo tanto, la definición de los objetivos de mantenimiento de un bien, no es completa, a menos que especifique con la mayor precisión posible, el nivel de desempeño deseado por el usuario.

*Por ejemplo, la función primaria de una bomba “X”: impulsar agua desde el tanque Y al tanque Z a no menos de 800 litros por minuto. Este ejemplo muestra que la descripción completa de una función, consiste en un verbo, un objeto y el nivel de desempeño deseado por el usuario.

“La enunciación de una función debe consistir en un verbo, un objeto, y un nivel de desempeño deseado”

4.5.1. Diferentes tipos de funciones.

Todo bien físico tiene una o más funciones. Si el objetivo de mantenimiento es asegurar que el bien puede continuar cumpliendo con esas funciones, entonces todas ellas deben ser identificadas en forma conjunta con los respectivos niveles de desempeños deseados.

A primera vista, este puede parecer un ejercicio bastante fácil de seguir, sin embargo, en la práctica, generalmente tiende a ser el aspecto más desafiante y que más tiempo consumen el proceso de formulación de estrategias de mantenimiento.

4.5.1.1. Funciones primarias.

Las organizaciones adquieren bienes físicos por una, a veces dos, y raramente más de 3 razones principales. Estas “razones” son definidas por enunciados apropiados. Al ser las razones principales por las cuales el bien fue adquirido, se

las conoce como funciones primarias. Son el único motivo por el que el bien existe por lo tanto se debe tener especial cuidado para definirlas con precisión.

Las funciones primarias son generalmente fáciles de reconocer. En realidad, el nombre de la mayoría de los bienes industriales, está basada en sus funciones primarias. Por ejemplo, la función primaria de una empacadora, es empacar, de una aplanadora, es aplanar algo, y así sucesivamente.

4.5.1.2. Funciones secundarias.

Se espera que la mayoría de los bienes sean útiles para una o más funciones adicionales, además de su función primaria. Estas son conocidas como funciones secundarias.

A pesar de ser generalmente menos obvias que las funciones primarias, la perdida de funciones secundarias puede también traer serias consecuencias a veces más serias que la perdida de una función primaria. Como resultado, las funciones secundarias necesitan tanto o más mantenimiento que las primarias, de modo que también deben ser claramente identificadas.

4.6. Como se deben alistar las funciones.

Una especificación funcional escrita apropiadamente, especifica si está cuantificada en su totalidad, define precisamente los objetivos de una empresa.

Esto asegura que todos los involucrados conocen a la perfección lo que se desea, lo que a su vez garantiza que las actividades de mantenimiento permaneces enfocadas en las necesidades reales del usuario. También esto permite absorber más fácilmente los cambios destacados por nuevas expectativas sin descarrillar la empresa en su totalidad.

Las funciones están alistadas en la planilla de trabajo MCC en la columna de la izquierda, las funciones primarias están enunciadas primero, y están ordenadas

numéricamente, como se muestra en el grafico (estas funciones se aplican al sistema de escape de una turbina de 5 MW)

Sistema
Subsistema
FUNCIÓN
Canalizar todos los gases de escape de la turbina de aire caliente sin restricción a un punto fijo de 10 metros sobre el techo de la antecámara de la turbina
Reducir los niveles de ruido de escape a nivel de ruido ISO de 30 50 metros
Asegurar que la temperatura de la superficie del conducto interno del hall de la turbina no exceda los 60ºC
Transmitir una señal de alarma al sistema de control de la turbina si la temperatura del gas de escape excede los 475ºC, y una señal de apagado si excede los 500ºC a un punto de 4 metros de la turbina
Permitir el movimiento libre del conducto en respuesta a los cambios de temperatura

Tabla 4.1. Descripción de funciones

4.7. Fallas funcionales.

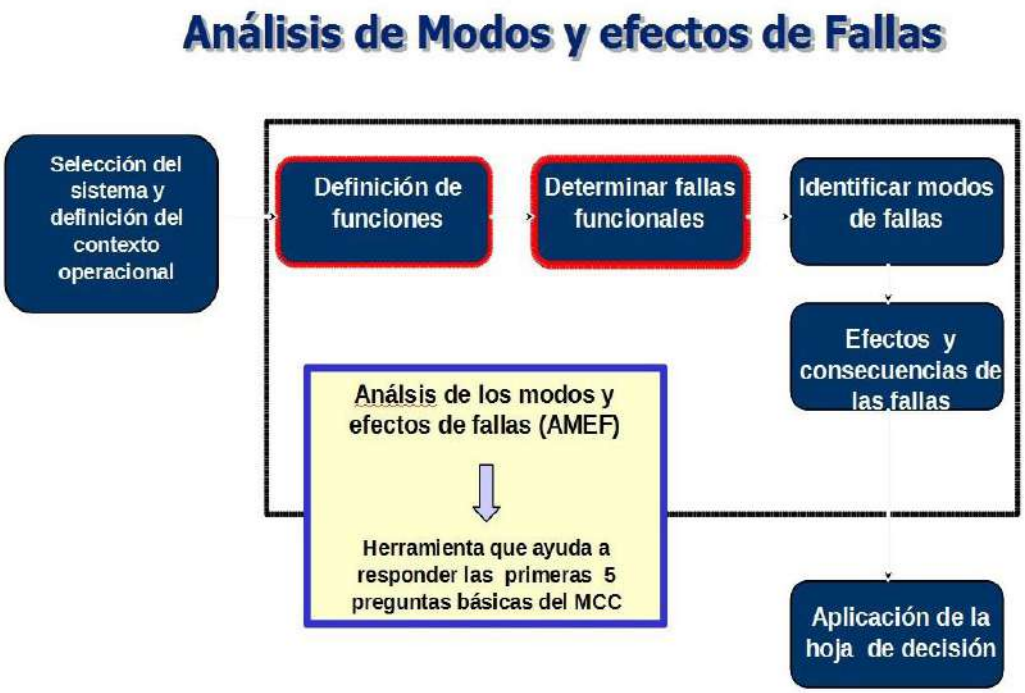


Figura 4.4. Fallas funcionales.

4.7.1. Fallas.

Las personas u organizaciones adquieren bienes porque pretenden que cumplan con una determinada función. No solo eso, sino que esperan que estas funciones se realicen a un determinado nivel de desempeño.

Por otro lado, si por alguna razón el bien es incapaz de cumplir con su función, el usuario considerara que este falló.

Esto lleva a una definición básica de falla.

Se define falla como la incapacidad de un bien de cumplir con las funciones que el usuario espere realice.

4.7.2. Fallas funcionales.

La definición anterior hace referencia al concepto de falla aplicando aun bien como un todo.

En la práctica esta definición es vaga, porque no hace una distinción claramente el estado de falla (falla funcional) y los eventos que causan ese estado (modos de falla). Es también simplista, porque no tiene en cuenta el hecho de que cada bien tiene más de una función, cada función tiene con frecuencia más de un nivel de desempeño deseado. Estas implicancias se exploran en los párrafos siguientes.

El proceso de MCC utiliza el término “Falla Funcional” para describir estado fallidos, más que falla en sí misma. Sin embargo, para completar la definición de falla, necesitamos analizar en mayor detalle la pregunta sobre niveles de desempeño.

4.7.3. Niveles de desempeño y de falla.

El límite entre desempeño satisfactorio y falla, está determinado por un nivel de desempeño deseado. Dado que estos niveles de desempeño se aplican a funciones individuales, “falla” se puede definir con precisión, si se define una falla funcional de la siguiente manera: “Una falla funcional se define como la incapacidad de todo bien de cumplir una función a un nivel de desempeño aceptable por el usuario”

La definición exacta de falla en cualquier bien, depende en gran medida de su contexto operativo. Esto significa que del mismo modo no debemos generalizar las funciones de los bienes idénticos, se debe ser cuidadoso a la hora de generalizar las fallas funcionales.

4.7.4. ¿Quién debería establecer el nivel de falla?

Un tema que necesita consideración especial cuando se definen las fallas funcionales es el “usuario”. En estos días, la mayoría de los programas de mantenimiento utilizados alrededor del mundo son recopilados por personal de mantenimiento trabajando por sí mismos. Estas personas usualmente tienen su propia definición de lo que se considera “falla”.

En la práctica, su visión de las fallas tiende a ser con frecuencia diferente a la de los usuarios.

Por ejemplo, la función de un sistema hidráulico es contener aceite. Que tan bien puede cumplir su función, puede estar sujeto a puntos de vista que varíen enormemente. Hay jefes de producción que sostienen que una perdida hidráulica solo representa una falla funciona, si tiene una perdida que provoca la interrupción total del equipo. Por otro lado, un jefe de mantenimiento sugerirá que se está en presencia de una falla funcional si la perdida causa un consumo excesivo de aceite hidráulico durante un tiempo prolongado, un jefe de seguridad puede considerar que una falla que sea una falla funcional solo si ocurre que dicha perdida deja un charco de aceite en el piso, en el cual el personal se puede resbalar y caer, o puede implicar riego de incendio.

En realidad, los tres sectores creen en la prevención. El problema real es que no están de acuerdo en lo que se considera “falla” y por lo tanto no tienen en claro que es lo que se trata de prevenir. Este ejemplo ilustra tres puntos clave:

El nivel de desempeño utilizado para definir falla funcional en otras palabras el punto donde decimos “hasta aquí llegamos” define el nivel necesario de mantenimiento proactivo para evitar esa falla (es decir, para sostener el nivel de desempeño requerido).

Se puede ahorrar mucho tiempo y energía si estos niveles de desempeño están claramente establecidos antes de que las fallas ocurran.

Los noveles de desempeños utilizados en la definición de falla, deben ser establecidos por los operadores y el personal de mantenimiento trabajando en forma conjunta con toda aquella persona que pueda aportar razones legitimas sobre como el bien debe funcionar.

4.7.5. Como se deben detallar las fallas funcionales:

Las fallas funcionales se alistan en la segunda columna de la planilla de información de MCC, como se indica en la siguiente figura.

	Sistema		
	Subsistema	Sistema de escape	
	FUNCION	FALLA FUNCIONAL	
1	Canalizar todos los gases de escape de la turbina de aire caliente sin restriccion a un punto fijo de 10 mts sobre el techo de la antecamara de la turbina	A	Incapaz de canalizar el gas
		B	Flujo de gas restringido
2	Reducir los niveles de ruido de escape a nivel de ruido ISO de 30 50 mts	C	Falla la concentracion de gas
3	Asegurar que la temperatura de la superficie del conducto interno del hall de la turbina no exceda los 60°C	D	Falla en transportar el gas a un punto de 10 m sobre el techo
4	Trasnmitir una señal de alarma al sistema de control de la turbina si la temperatura del gas de escape excede los 475°C, y una señal de apagado si excede los 500°C a un punto de 4 mts de la turbina	A	El nivel de ruido excede el nivel de ruido ISO de 30 a 50 m. La temperatura de la superficie del conducto excede los 60 °C. Incapaz de enviar señal de alarma si la temperatura de escape excede los 500°C
5	Permitir el movimiento libre del conducto en respuesta a los cambios de temperatura	A	No permite el movimiento libre del conducto

Tabla 4.2. Descripción de fallas funcionales

4.8. Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF)

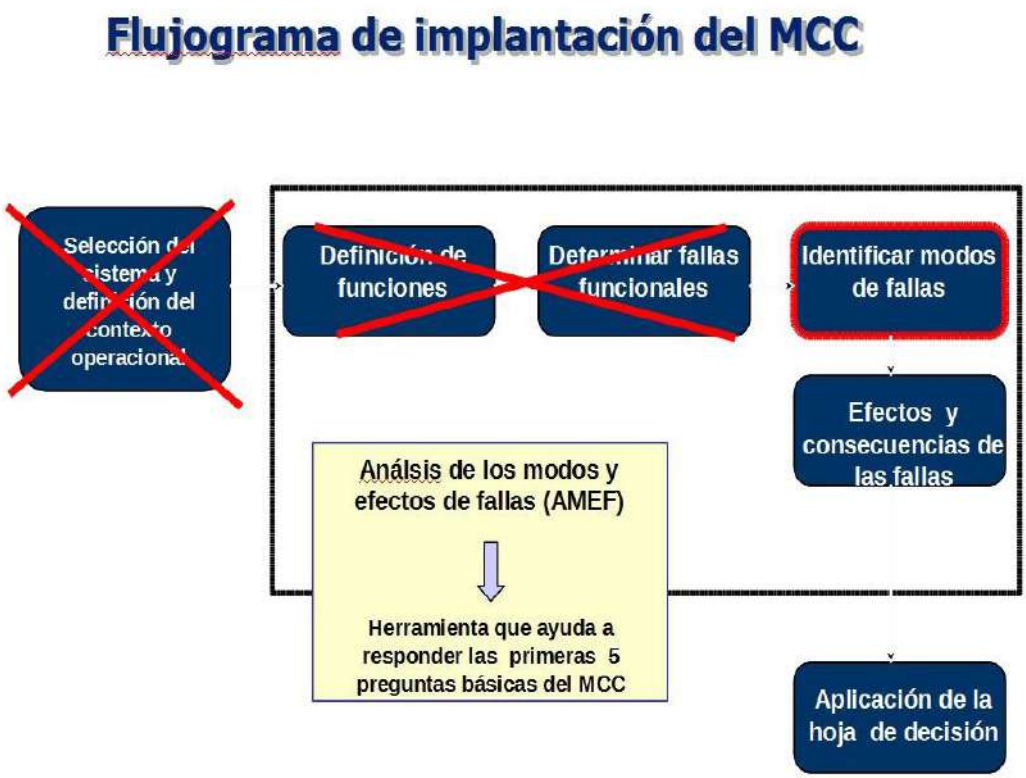


Figura 4.5. Flujograma de implantación del MCC

4.8.1. ¿Qué es un modo de falla?

Un modo de falla puede ser definido como cualquier evento que cause que un bien (sistema o proceso) puedan fallar. Sin embargo, hemos mencionado ya anteriormente que es muy vago y simplista aplicar el término “falla” a un bien como un todo. Es mucho más preciso distinguir entre “falla funcional” (estado fallido) y “modo de falla” un evento que podría causar un estado de falla. Esto lleva una definición de falla más precisa:

Un modo de falla es cualquier suceso que cause una falla funcional.

La mejor manera de mostrar la conexión y distinción entre estados de falla y los eventos que pueden causarlos, es alistar primero las fallas funcionales, luego registrar los modos de fallas que pueden causar cada falla funcional.

La descripción de la falla debe consistir como mínimo de un sustantivo y un verbo, también deberá contener detalles suficientes para que sea posible seleccionar

Una estrategia apropiada para el manejo de fallas**,** pero no una cantidad tal que se pierda una enormidad de tiempo en el proceso de análisis*.*

Se deben elegir con cuidado los verbos para describir los modos de fallas, porque estos tienen una gran influencia en el proceso de selección de una adecuada política de manejo de fallas. Por ejemplo, verbos como “fallar” “quebrar” o “funcionar mal” deben ser utilizados en minoría, ya que prácticamente no dan ninguna indicación de cuál podría ser el método apropiado para manejar esa falla. El uso de verbos más específicos hace posible seleccionar una opción de las muchas disponibles.

Por ejemplo, un término como “el acoplamiento falla”, no aporta absolutamente ninguna idea de que puede hacerse para prevenir o anticipar la falla. Sin embargo, si se especifica “los pernos del acoplamiento se aflojan”, o “los ejes del acoplamiento fallan por fatiga”, entonces se hace mucho más fácil identificar la tarea proactiva posible. En el caso de válvulas, por ejemplo, “la válvula se atasca cuando está cerrada, debido a oxido en el tornillo superior” es mucho más específico que “la válvula se atasca cuando está cerrada”. Del mismo modo es imprescindible distinguir entre “ejes atascados por desgaste normal” y “ejes atascados por falta de lubricación”

A continuación, una planilla informativa MCC, modos de falla de una bomba para un sistema de enfriamiento de agua.

Sistema de Enfriamiento de agua					
Subsistema					
	Función		Falla funcional		Modos de falla
	Transferir agua del tanque X al tanque Y a no menos de 800 litros por minuto		Incapaz de transferir agua		Rodamiento falla
			Transfiere menos de 800 litros por minuto		El propulsor se suelta
					Propulsor atascado por un objeto extraño
					Campana enganche falla por fatiga
					Se quema el motor
					Válvula de entrada tapada
					Propulsor desgastado
					Línea de succión parcialmente bloqueada

Tabla 4.6. Modos de falla de una bomba

4.8.2. ¿Por qué analizar los modos de fallas?

Una solo máquina puede fallar por docenas de razones. Un grupo de máquinas o sistema, como una línea de producción, pueden fallar por cientos de razones. Para una planta completa el número puede escalar a miles o inclusive cientos de miles. La mayoría de los gerentes, tiemblan al pensar en el tiempo y esfuerzo que puede significar descubrir las posibles causas de falla.

Muchos deciden que este tipo de análisis implica demasiado trabajo, y abandonan la idea en su totalidad. Al hacerlo, estos gerentes pasan por alto el hecho de que en una base diaria – el mantenimiento se maneja verdaderamente a nivel de los modos de falla.

Por ejemplo:

*Las ordenes de trabajo son elevados para cubrir modos de falla específicas.

*Los planes diarios de mantenimiento se tratan pura y exclusivamente de cubrir modos de falla específicas.

*En la mayoría de las plantas industriales, los operadores y el personal de mantenimiento tienen reuniones a diario y consisten prácticamente en su totalidad en discusiones sobre fallas, sus causas (quien es el culpable), que se está haciendo para repararlas, y en muchas ocasiones, que puede hacerse para evitar que se repitan. En resumen, la reunión tiene como tema principal discutir los modos de falla.

*También se registra cada modo de falla en los sistemas técnicos de historial de fallas (o al menos que es lo que se hizo para solucionarlo)

Lamentablemente, en la mayoría de los casos, se discute, registra y se pasa a la acción después de que la falla ocurra. “Esta es la esencia del mantenimiento reactivo”

El mantenimiento proactivo, por otro lado, implica encargarse antes de que las fallas ocurran o al menos tener decidido cómo se procederá en caso de que ocurran. Para que esto sea posible, necesitamos saber de antemano que eventos pueden ocurrir. Los eventos, en este contexto, serían los modos de fallas. De manera que, si queremos aplicar el mantenimiento proactivo a cualquier bien físico, debemos tratar de identificar todos los modos de falla que pueden llegar a afectar a dicho bien. Lo ideal sería identificarlos aun antes de que sucedan, o si esto no fuera posible, antes de que vuelvan a suceder.

Una vez que cada modo de falla fue identificado, se hace posible considerar que sucede cuando se presenta, para así evaluar sus consecuencias y decidir (de ser posible) que se debe hacer para anticiparlo, prevenirlo, detectarlo o corregirlo, o hasta para rediseñarlo.

De modo que el proceso de selección de tareas de mantenimiento y gran parte del manejo subsiguiente de estas es llevado a cabo a nivel de modos de fallas.

4.8.3. ¿Cuántos detalles?

Se ha mencionado anteriormente, que los modos de falla deberían ser descriptos en detalle para que sea posible seleccionar una estrategia de manejo de fallas apropiada, pero no en detalladamente que se desperdicien cantidades excesivas de tiempo en el análisis del proceso.

Los modos de falla deben ser definidos en suficientes detalles para que sea posible seleccionar una política de manejo de fallas apropiada.

En la práctica puede ser muy difícil encontrar el nivel de detalle necesario. Pero es importante hacerlo, ya que esto afecta profundamente la validez del AMEF y la cantidad de tiempo necesaria para llevarla a cabo.

La falta de detalles, o la mención de solo unos pocos modos de falla, llevan a análisis superficiales y a veces peligrosos. Por otro lado, demasiados detalles y modos de falla, provoca que todo el proceso de MCC demore mucho más de lo necesario. En casos extremos el proceso puede demorar hasta dos o tres veces más de lo necesario. (Fenómeno conocido como parálisis del análisis) Esto significa que es esencial tratar de encontrar el balance exacto.

El primer punto que emerge, es la conexión entre el nivel de detalle y el número de modos de falla enunciados, dos problemas principales que surgen están relacionados con “causa raíz” y “errores humanos”. Estas se discuten a continuación.

Causa raíz: El termino causa raíz se utiliza con frecuencia en conexión con el análisis de una falla, implica que, si uno escarba lo suficiente, es posible llegar a nivel final y absoluto de causalidad. Claramente, este proceso podría ser prácticamente infinito, mucho más allá del punto en el que la organización realizando el AMEF puede tener control alguno. Es por eso que remarcamos especialmente que el nivel al que cualquier modo de falla debe ser identificado, es el nivel en el que es posible identificar una política de manejo de fallas apropiadas. (Esto es cierto ya sea que se lleve a cabo un AMEF o un análisis de causa raíz antes de que la falla ocurra). El hecho de que el nivel apropiado varía de acuerdo a los modos de falla, implica que no tenemos que listar todos los modos de falla al mismo nivel en una planilla de información. Obviamente para poder detenernos en algún nivel apropiado, el personal llevando a cabo tal análisis necesita tener conocimiento de todas las posibles políticas de manejo de fallas.

4.8.3.1. Factores que influencian el nivel de detalles.

Errores humanos: Los modos de falla asociados a errores humanos pueden tener tendencia a ocurrir, entonces deben ser mencionados en el AMEF.

Probabilidad: Distintos modos de falla ocurren con diferentes frecuencias, algunos pueden ocurrir regularmente, en intervalos promedio medidos en meses, semanas o hasta días. Otros pueden ser extremadamente improbables, que significa que en los tiempos de intervalos se pueden medir en millones de años. Cuando se prepara un AMEF, se deben tomar decisiones continuamente sobre los modos de falla que son tan poco probables que se lo puede ignorar sin correr riesgos.

Esto significa que no tratamos de anunciar toda posibilidad de falla sin tener en cuenta sus probabilidades de ocurrir.

"Cuando enunciamos los modos de falla, no tratamos de mencionar todos ellos sin tener en cuenta su probabilidad"

Solo se deben alistar los modos de falla que se esperan sucedan en el contexto en cuestión. Una lista de modos de falla "razonablemente probables" debe incluir lo siguiente:

Fallas que ocurrieron anteriormente en los mismos bienes o similares:

Estas son las candidatas más obvias de ser incluidas en el AMEF a menos que el bien haya sido modificado para que la falla no vuelva a ocurrir.

Modos de falla que están actualmente sujetos a rutinas de mantenimiento proactivo: y por lo tanto ocurrirán si dicho mantenimiento no se estuviera realizando.

Cualquier otro modo de falla que si bien no ha ocurrido aun, se puede considerar real: Identificar y definir el manejo de fallas que todavía no han ocurrido es una característica esencial del mantenimiento proactivo y del manejo de riesgos, en particular es también uno de los aspectos más desafiantes del proceso de MCC, porque requiere un alto nivel de juicio.

Sin embargo, la decisión de no enunciar un modo de falla debe realizarse bajo la cuidadosa consideración de las consecuencias de la falla.

Si las consecuencias pudieran ser realmente severas, entonces si se deberá enunciar y someter un análisis profundo a toda falla, sin importar sus probabilidades de ocurrir.

4.8.4. Modos de falla y contexto operativo.

Hemos visto como las funciones, y fallas funcionales de cualquier ítem se ven influenciadas por su contexto operativo. Esto también es cierto para los modos de falla en lo que respecta a causalidades, probabilidades y consecuencias

Similarmente un vehículo que opera en el Ártico, estará expuesto a diferentes modos de falla que un vehículo operando en el desierto del Sahara, o una turbina impulsando una aeronave, tendrá modos de falla diferentes que una turbina impulsando una plataforma de petróleo.

Estas diferencias implican que se debe tener cuidado al confirmar que el contexto operativo es idéntico antes del aplicar un AMEF desarrollado para un bien en particular y bajo determinadas circunstancias. El contexto operativo afecta los niveles de análisis, tanto como las causas y consecuencias de la falla.

4.8.5. Efectos de la falla.

Los cuatro pasos en la revisión de MCC implica enunciar que sucede cuando se presenta cada modo de falla. Esto se conoce como efecto de la falla.

Los efectos de las fallas describen que sucede cuando se presenta un modo de falla

Tenga en cuenta que los efectos de las fallas no son lo mismo que consecuencia de las fallas. Un efecto de fallas responde a la pregunta “qué sucede”, mientras que la consecuencia responde a “cómo afecta”

Una descripción de los efectos de la falla debe incluir toda la información necesaria para respaldar la evaluación de las consecuencias de la falla.

Especialmente cuando se describen los efectos de la falla, se debe registrar lo Siguiente:

*Que evidencias hay (de ser así) de que la falla sucedió.

*En qué medida (si así fuera) representa una amenaza para la seguridad o el medioambiente.

*De qué manera (si así lo fuera) afecta a la producción u operaciones.

*Que daño físico (si lo hubiera) es causado por la falla.

*Que debe hacerse para repararla

Tener en cuenta que uno de los objetivos de este ejercicio es establecer donde es necesario el mantenimiento proactivo. Si lo haremos correctamente, no podemos asumir que ya se ha realizado ningún tipo de mantenimiento productivo, de manera que los efectos de la falla deben redactarse sosteniendo que nada se estaba haciendo para prevenirlas.

4.8.5.1. Evidencias de la falla.

Los efectos de las fallas deben ser descriptos de tal manera que permita al equipo haciendo el análisis de MCC decidir si la falla será evidente para los operadores bajo circunstancias normales.

Por ejemplo, la descripción debería establecer si las fallas provocan que se enciendan luces de advertencia, o suenen alarmas, o ambas, y si la advertencia es visualizada en un panel local o en una sala de control central.

Del mismo modo, la descripción debería establecer si la falla es acompañada o precedida por efectos físicos obvios como ser ruidos fuertes, humos, fuego, vapores, charcos de líquido en el suelo.

4.8.5.2. Riesgos medioambientales y de seguridad.

Las plantas industriales modernas han evolucionado al punto de que solo una pequeña proporción de modos de falla presentan una amenaza directa a la seguridad del medioambiente. Sin embargo, de existir la posibilidad de que alguien salga lastimado, o fallezca como resultado directo de la falla, o se viole una norma o regulación medioambiental, los efectos de la falla deberían describir cómo puede suceder esto. Por ejemplo:

*Alto riesgo de incendio o explosiones

*El escape de químicos perjudiciales (gases, líquidos, vapores)

*Electrocución

*Golpes de presión (especialmente en vasos de presión y sistemas hidráulicos)

*Exposición a materiales muy calientes o fundidos

*La desintegración de componentes rotativos de gran tamaño

*Exposición a extremos filosos, o maquinarias en movimiento

*Niveles de ruido creciente

*Colapso de estructuras

*El ingreso de suciedad en alimentos o productos farmacéuticos

Cuando enumeramos estos efectos, y hacemos enunciados cualitativos como ser: “esta falla tiene consecuencias en la seguridad”, o “esta falla afecta el medioambiente”. Simplemente se debe mencionar lo sucedido, y deje la evaluación de las consecuencias para el siguiente paso del proceso de MCC.

Nótese también que no solo estamos preocupados por las posibles amenazas a nuestro personal (operadores y de mantenimiento) sino también por la seguridad de nuestros clientes y de la comunidad como un todo.

4.8.5.3. Daños secundarios, y efectos de producción.

La descripción de los efectos de falla, deberá también ayudar con decisiones sobre las consecuencias operacionales y no operacionales. Para lograr esto, deberían indicar como se ve afectada la producción y por cuanto tiempo. Esto se calcula generalmente por la cantidad de tiempo de inactividad asociado a cada falla.

En ese contexto, tiempo de inactividad significa el monto total de tiempo que, este bien, estará fuera de servicio, debido a una falla, desde el primer momento que se presenta, hasta que el equipo esté operando nuevamente a su máxima capacidad.

El tiempo de inactividad, como se lo define anteriormente puede sufrir grandes variaciones, por diferentes presentaciones de la misma falla, y las consecuencias más serias son causadas generalmente por las mayores interrupciones. Teniendo en cuenta que lo que más interesa son las consecuencias, el tiempo de inactividad registrado en la planilla informativa debería está basado en la típica peor situación posible.

4.8.5.4. Acción correctiva.

Los efectos de las fallas deberían también establecer que debe hacerse para repararla. Esto puede ser incluido en los enunciados sobre tiempo de inactividad, por ejemplo:

*Interrupción para reemplazar soportes, alrededor de cuatro horas.

*Interrupción para despejar la obstrucción y resetear el interruptor de disparos, alrededor de 30 minutos.

*Interrupción para desmantelar la turbina y reemplazar el disco, alrededor de 2 semanas

4.8.6. Fuentes de información sobre Modos de Falla.

Cuando se considere donde conseguir la información necesaria para desarrollar un AMEF comprensivo, se debe recordar la necesidad de ser proactivos. Esto significa que se debe poner tanto énfasis en lo que pudo suceder, como en lo que sucedió.

Las fuentes más comunes de información, se discuten a continuación.

4.8.6.1. El fabricante o vendedor del equipo.

Al llevar a cabo un AMEF, la primera fuente de información necesaria que nos viene a la cabeza es el fabricante, especialmente el caso de equipos nuevos. En algunas industrias esto alcanzo el punto donde los fabricantes o vendedores deben proveer rutinariamente un AMEF, comprensivo, como parte del contrato de provisión del equipo. Aparte de todo, esto implica que los fabricantes saben absolutamente todo lo que se necesita saber sobre fallas en el equipo y cómo actuar cuando ocurren. Esto es un caso muy raro en la realidad.

En la práctica, pocos fabricantes conocen la operación día a día del equipo. Una vez que expira el periodo de garantía, casi ninguno recibe un feedback regular por parte de los usuarios sobre qué falla y por qué. Lo mejor que mucho de ellos pueden hacer, es tratar de sacar conclusiones sobre como sus equipos se desempeñan, basándose en una combinación de evidencia anecdótica y un análisis de la venta de repuestos.

Los fabricantes además tienen muy poco acceso a información sobre el contexto operativo del equipo, niveles de desempeño deseado, causa de las fallas, y los conocimientos de los operadores y personal de mantenimiento. En la mayoría de los casos, los fabricantes no saben nada de todo esto. Como resultado, los AMEF recopilados por ellos son generalmente genéricos, y sumamente especulativos, lo que limita enormemente su valor.

4.8.6.2. Lista genérica de modos de falla.

Listas genéricas son enumeraciones de modos de fallas o a veces hasta
AMEF completos preparados por terceros. Pueden cubrir temas enteros, pero abarcan con mayor frecuencia bienes individuales, o hasta componentes simples. Estas listas genéricas son solicitadas como un método más de acelerar o hacer más dinámicas, esta parte del desarrollo del programa de mantenimiento.

4.8.6.3. Otros usuarios del equipo.

Otros usuarios son la fuente de información obvia y muy valedera sobre que puede funcionar mal en bienes utilizados en común, siempre por supuesto que las presiones competitivas permitan el intercambio de datos. Esto se realiza con frecuencia a través de asociaciones industriales, a través de cuerpos regulatorios, o entre ramas de la misma organización. Sin embargo, se debe tener en cuenta los peligros de tomar datos genéricos como fuente de información.

4.8.6.4. Registros Técnicos Históricos.

Son una fuente de gran valor, sin embargo, deberían ser tratados con cuidado por las siguientes razones: Son frecuentemente incompletos.
Describen con mayor frecuencia que se hizo para repararla, en lugar de que lo causo.
Generalmente describen modos de falla que son en realidad el efecto de otro modo de falla.
Estos inconvenientes de los registros técnicos históricos implican que estos solo deben usarse como fuente complementaria al preparar un AMEF, y jamás como única fuente.

4.8.6.5. Las personas que operan y mantienen el equipo.

En la mayoría de los casos, estas personas son la mejor fuente de información para preparar un AMEF, estas tienden a saber en profundidad como trabaja el equipo, que es lo que no funciona, cuanto afecta cada falla y que debe hacerse para repararla, si no lo saben son ellos los que tienen el razonamiento para descubrirlo.

La mejor manera de captar e incrementar su conocimiento es comprometerlos a participar formalmente en la preparación del AMEF, como parte del proceso general del MCC. El modo más eficiente de hacerlo es bajo la conducción de un facilitador acordemente entrenado.

4.8.7. Nivel de análisis y planilla de información.

El nivel de detalle seleccionado debería permitir la identificación de una política de fallas apropiada.

En general, los niveles más altos (menos detalles) deberían ser seleccionados si el componente o subsistema presenta la probabilidad de ir hacia la falla, o es sometido a la búsqueda de fallas. Mientras que los niveles menores (más detalles) debe ser seleccionado si el modo de falla puede ser sujeto a algún tipo de mantenimiento proactivo.

El detalle para describir modos de falla en las planillas informativas, también está influenciado por el nivel al cual el AMEF es llevado a cabo. Esto a su vez depende del nivel al cual se desempeña el análisis de MCC.

Por esta razón analizamos los factores que influencian el nivel de análisis más general antes de considerar como afecta los detalles que deben incluirse en la descripción de los modos de falla.

4.8.7.1. Nivel de Análisis.

Si aplicáramos a un camión, ¿es todo el camión el bien? O subdividimos el camión y analizáramos el tren de arranque, separadamente el tren de arranque, separadamente el sistema de frenos, la dirección, el chasis y así analizar el motor separado de los engranajes, diferenciales, soportes, semiejes y ruedas. O debería ser el motor dividido en bloque de motor, sistema de manejo, sistema de enfriamiento, sistema de combustible, ¿y así sucesivamente antes de comenzar el análisis? ¿Y que si subdividimos el sistema de combustible en tanque, bombas, cañerías y filtros sucesivamente? ¿O deberíamos de ir más allá y subdividir el tren de arranque y analizar el motor separado de los engranajes, diferenciales, soportes, semiejes y ruedas? O debería ser el motor dividido en bloque de motor, sistema de manejo, sistema de enfriamiento, sistema de combustible, ¿y así sucesivamente antes de comenzar el análisis? ¿Y que si subdividimos el sistema de combustible en tanque, bombas, cañerías y filtros?

Se debe tener precaución en este asunto, porque un análisis llevado a cabo a un nivel muy alto, puede ser demasiado superficial. Mientras que uno realizado a un nivel muy bajo, puede volverse inmanejable e inentendible.

Generalizando, deben tomarse un sistema que, a su vez, dependiendo de su complejidad pueden tener uno o varios subsistemas, por ejemplo, un sistema podría ser el motor del camión, y su subsistema, el sistema de combustible, otro subsistema podría ser; el sistema de enfriamiento del motor, y así sucesivamente.

Con frecuencia, el AMEF, es llevado a cabo a un nivel muy bajo den la jerarquía del equipo, por una creencia de que existe una correlación entre el nivel al que identificamos los modos de falla, y el nivel al cual debe llevarse a cabo el AMEF. En otras palabras, se dice a menudo que, si queremos identificar los modos de falla en detalle, debemos llevar a cabo un AMEF separado para cada componente o subsistema.

Los efectos de la falla están detallados en la última columna de la planilla informativa al costado del modo de falla relevante.

4.9. Consecuencias de las Fallas.

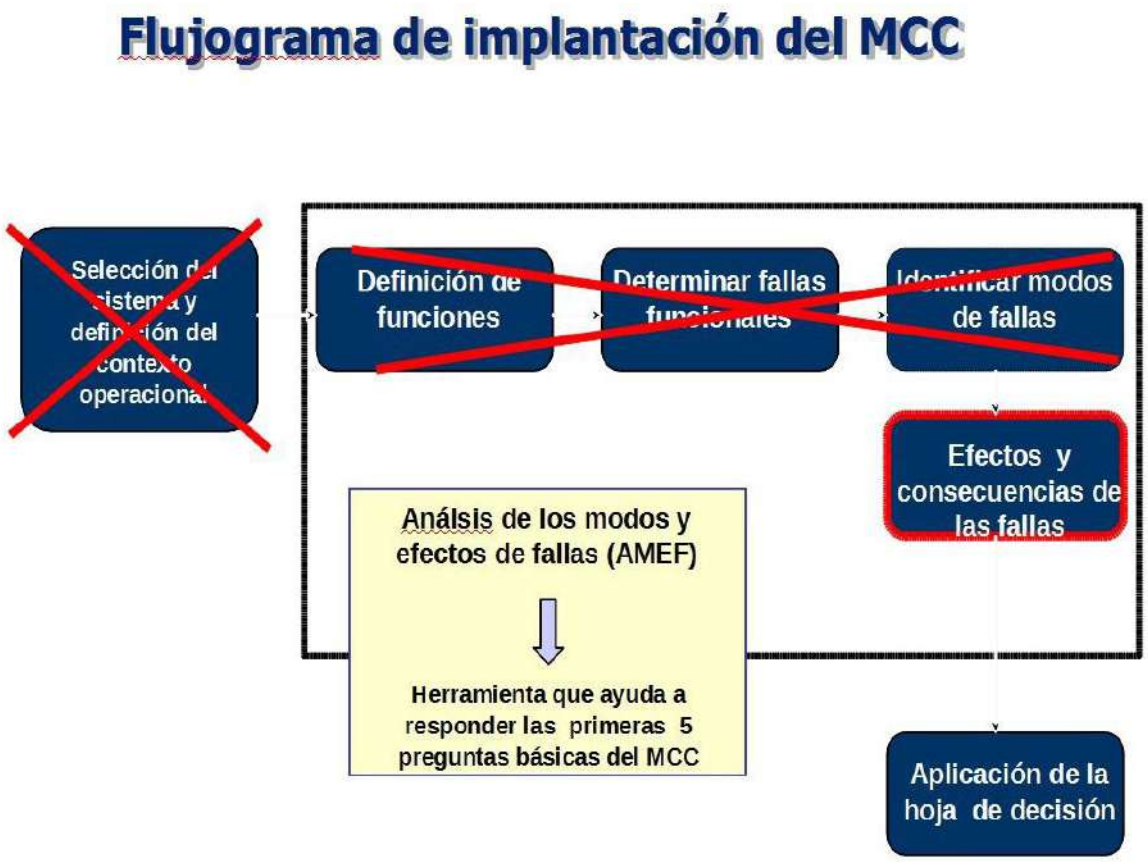


Figura 4.6. Flujograma de implantación del MCC

Este capítulo considera la 5ta pregunta

*¿De qué modo importa cada falla?

4.9.1. Es técnicamente posible y vale la pena hacerlo

Cada vez que se presenta una falla, la organización que utiliza el bien se ve afectada en algún grado. Algunas fallas afectan el rendimiento, la calidad del producto, o el servicio al cliente. Otras amenazan la seguridad del medio

ambiente. Algunas incrementan los costos operativos, por ejemplo, mediante el aumento del consumo de energía, hay inclusive fallas que aparentan no afectar en nada en sí misma, pero exponen a la organización al riego de fallas mucho más serias.

Si no se previene alguna de estas fallas. El tiempo y esfuerzo que se necesita para corregirlas también afecta a la organización, ya que reparar fallas consume recursos que podrían ser mejor utilizados.

La naturaleza y severidad de estos efectos son responsables por las consecuencias de las fallas.

En otras palabras, de ella dependerá el grado el grado en el que los propietarios o usuarios de un bien creerán que la falla es importante. Claramente, si logramos reducir los efectos de cualquier falla, en lo que respecta a frecuencia o severidad, de ahí surge que también reduciremos las consecuencias. Esto especialmente cierto si la falla pudiera dañar o terminar con la vida de una persona, o si pudiera tener un efecto serio en el medio ambiente, también esto es cierto en las fallas que intervienen con la producción u operaciones, o las que puedan causar un daño secundario significativo.

Por otro lado, si la falla presenta solo consecuencias menores, es posible que no se adopte ninguna acción proactiva, sino no que la fallas simplemente se corrija cada vez que se presenta.

Si una acción es técnicamente posible, surge la pregunta, si realmente reduce las consecuencias de la falla a un grado tal que justifique los costos directos e indirectos de llevarla a cabo (Los costos directos son los de mano de obra o materiales)

Este capítulo considera el criterio utilizado para evaluar las proactiva. Las consecuencias se dividen en dos etapas, dentro de cuatro categorías, la primera etapa separa las funciones ocultas de las funciones evidentes

4.9.2. Funciones Ocultas y Evidentes.

Algunas fallas provocan que se enciendan las luces de advertencia o se disparen alarmas, o ambas. Algunas hacen que las maquinas se apaguen, o se interrumpan parte del proceso, otras llevan a problemas en la calidad del producto, o a un incremento en el consumo de energía, o inclusive otras están acompañadas por efectos físicos, como ruidos fuertes, perdida de vapor, olores inusuales, o charcos de líquido en el piso.

Las fallas de este tipo se clasifican como evidentes, porque alguien la notara cuando ocurre por sí misma. Esto lleva a la siguiente definición de función evidente:

“Una función evidente es aquellas fallas es inevitablemente evidente por sí misma para los operarios bajo circunstancias normales”

“Una función oculta es aquella cuya falla no será evidente a los operarios bajo circunstancias normales si esta se presenta por sí misma”[29]

El siguiente paso en el proceso de evaluación MCC es separar las funciones ocultas de las evidentes.

4.9.2.1. Categoría de las funciones evidentes.

Las funciones evidentes se clasifican en tres categorías en orden ascendente de importancia:

*** Consecuencias medioambientales y de seguridad:** una falla tiene consecuencia de seguridad si puede dañar o terminar con la vida de alguien.

Tiene consecuencias medioambientales si pudiera llevar a una violación de cualquier norma medioambiental corporativa, regional o nacional.

El proceso de MCC estipula que debemos tratar de prevenirla. Esta discusión sugiere que:

“Para modos de fallas que tienen consecuencias de seguridad o medioambientales, solo es válido llevar a cabo una tarea proactiva si reduce la tolerabilidad de la falla a un nivel tolerable”

***Consecuencias operativas:** Una falla tiene consecuencias operativas, si afecta la producción o las operaciones. Las fallas afectan las operaciones de cuatro maneras:

Afectan el rendimiento total: Esto ocurre cuando una máquina se detiene totalmente, o cuando comienza a trabajar con lentitud. Esto resulta ya sea en costos de producción incrementados, si la planta tiene que trabajar horas extras para recuperar tiempo, o perdidas de ventas si la planta ya está cargada a su capacidad máxima.

Afectan la calidad del producto: Si la maquina no puede superar las tolerancias de manufactura, o si las fallas causan el deterioro del material, el resultado probable, es deshecho, o demanda una reelaboración costosa.

Afectan al servicio al cliente: Provocan pérdida de confianza del cliente, lo que hace que se retiren y busquen otras opciones.

Costos operativos mayores, sumados a los costos directos de reparación: Por ejemplo, la falla puede llevar a un mayor consumo de energía, o puede traer aparejado el cambio a un proceso alternativo más costoso.

Evitar las consecuencias operativas:

El efecto económico general de cualquier modo de falla que trae consecuencias operativas depende de dos factores:

Cuál es el costo de la falla cada vez que ocurre, en término de consecuencias operativas más costos de reparación.

La base para decidir si una tarea proactiva es conveniente es la parte económica.

“Para modos de falla con consecuencias operativas, es conveniente llevar a cabo una tarea proactiva si, después de un periodo de un determinado tiempo, es menos costosa que las consecuencias operativas más el costo de reparación de la falla que se pretende prevenir”.

***Consecuencias no operativas:** Las fallas evidentes en esta categoría no afecta ni la seguridad, ni la producción, las únicas consecuencias asociadas a estas fallas son los costos de reparación, de modo que las consecuencias son económicas.

Es conveniente prevenir una falla que no tiene consecuencias operativas, si, en un periodo de tiempo, el costo de la tarea preventiva es menor que el costo de corregir la falla. Si no lo es, entonces el mantenimiento programado no tiene razón de ser.

4.10. El diagrama de Decisión de MCC.

Este capítulo resume lo más importante de los criterios. También describe el diagrama de decisión MCC, que integra todos los procesos de decisión en un marco estratégico simple.

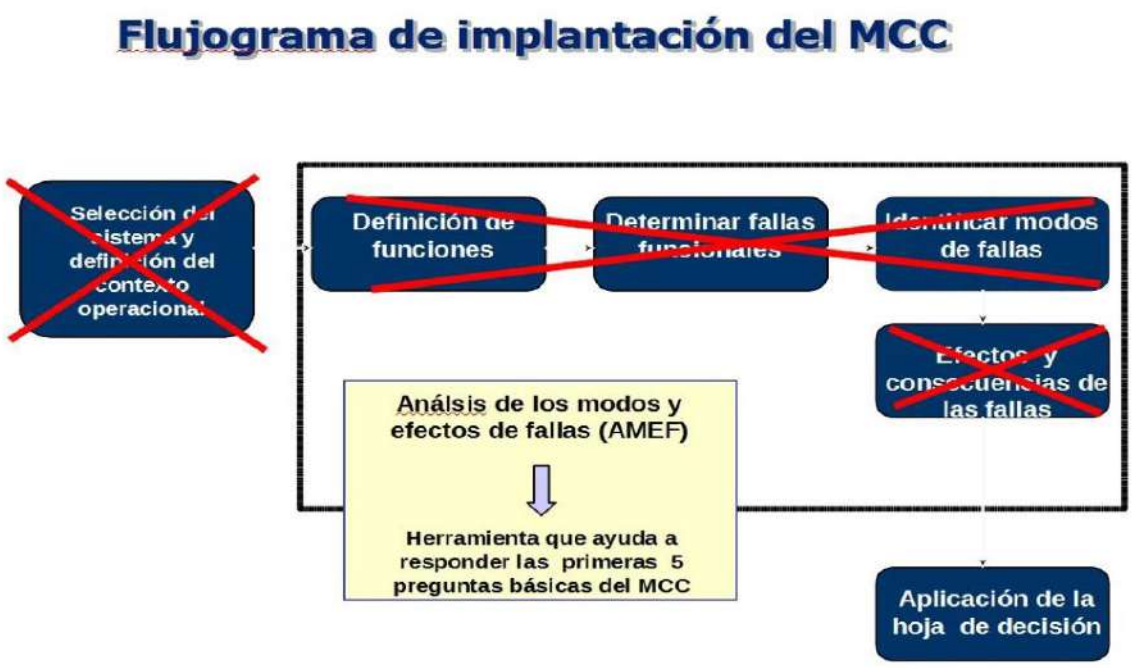


Figura 4.7. Flujograma de implantación del MCC

4.10.1. Integrar Consecuencias y Tareas.

Este capítulo resume lo más importante de los criterios. También describe el diagrama de decisión MCC, que integra todos los procesos de decisión en un marco estratégico simple.

Este marco se muestra en la figura 2.1, y se aplica a cada uno de los modos de falla enumeradas en la planilla de informativa de MCC.

Finalmente, este capítulo describe la planilla de decisión de MCC, que es la segunda de los dos documentos clave de trabajo utilizados en la planilla de MCC, siendo la primera, la planilla de información

4.10.2. El proceso de Decisión de MCC

La planilla de decisión de MCC es ilustrada en el grafico 2.9. El resto del capítulo demuestra cómo esta planilla es utilizada para registrar las respuestas a las preguntas en el diagrama de decisión, y en la luz de estas respuestas registrar:

Que rutina de mantenimiento se va realizar, con qué frecuencia y quien la llevara a cabo.

Que fallas son lo suficientemente serias como para garantizar el rediseño.

Casos donde se llevó a cabo una decisión deliberada para permitir que ocurran las fallas.

HOJA DE DECISIÓN																				
PLANILLA DE DESICION RCM				SISTEMA:									COORDINADOR:			FECHA:				
COMPONENTE:													EQUIPO: Gerente y Encargados de produccion / Tecnicos de mantenimiento			HOJA:				
SUB COMPONENTE:																				
Informacion de referencia				Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1	H2 S2 O2	H3 S3 O3	Acciones "a falla de"			gra v.	Tarea Propuesta			Intervalo Inicial	Puede ser realizado por	
	F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4	CIT						

Tabla 4.3. Planilla de información de MCC

4.10.3. Remisión de información de las planillas informativas y de decisión.

* Las columnas encabezadas F, FF y FM identifican los modos de falla

bajo consideración.

* Las columnas encabezadas H, S, E, O y N se utilizan para registrar las respuestas a las preguntas referidas a las consecuencias de cada modo de falla.

* Las siguientes tres columnas H1, H2, H3, registra si una tarea proactiva ha sido seleccionada, y de ser así, el tipo de tarea.

* Si fuera necesario responder a cualquiera de las preguntas de default, se debe utilizar las columnas encabezadas H4, H5, o S4 para registrar las respuestas.

Las últimas tres columnas registran la tarea que ha sido seleccionada, si la hubiera, la frecuencia con la que se realizara esto y quien ha sido seleccionad ara hacerlo. La columna ″tarea propuesta″ también se utiliza para registrar los casos donde se requiere el rediseño, o en que se ha decidido que el modo de falla no necesita mantenimiento programado.

4.10.4. Tarea Propuesta.

Si una tarea proactiva o una tarea de búsqueda de fallas han sido seleccionadas durante el proceso de toma de decisiones, se debería registrar una descripción de la tarea de la columna titulada ″tarea propuesta″. Lo ideal sería que la tarea sea descripta con tanta precisión en la planilla de decisión, como en el documento que recibirá la persona que realizara la tarea. Si esto no fuera posible, la tarea debería al menos ser descripta con el suficiente detalle para hacer el intento absolutamente claro a quien sea que describa la descripción detallada de la tarea.

4.10.5. Intervalo Inicial.

Los intervalos de tarea de búsqueda de fallas dependen de las consecuencias de las fallas múltiples, que dictan la disponibilidad necesaria, y el tiempo medio entre la manifestación de la falla oculta. También se tiene en cuenta que los intervalos de tarea pueden basarse en cualquier medida adecuada de la exposición al stress. Esto incluye tiempos calendarios, tiempo transcurrido, distancia recorrida, ciclo de

interrupción y reinicio, y cualquier otra variable que tenga relacion directa con el mecanismo de falla. Sin embargo, los tiempos calendarios tienden a ser utilizados donde fuera posible porque son lo más simple y menos costoso de administrar.

4.10.6. Quien Realiza la Tarea.

La última columna en la planilla de decisión, se utiliza para enumerar quien debería llevar a cabo cada tarea. Tenga en cuenta que el proceso de MCC considera este tema, un modo de falla por vez. En otra palabra, no se aproxima al sujeto con ninguna idea preconcebida sobre quien debería, o no debería, hacer el trabajo de mantenimiento. Simplemente pregunta quien tiene la capacidad y confianza para llevar a cabo esta tarea en forma correcta.

La respuesta podría ser cualquiera. Las tareas pueden ser destinadas a operadores de mantenimiento, inspectores de seguridad, de control de calidad, técnicos especiales, vendedores, inspectores de estructuras o técnicos de laboratorios.

III. RESUMEN EJECUTIVO

CAPITULO 5

5.1. Descripción del trabajo.

El proyecto de fin de grado consiste en la elaboración de un plan de mantenimiento para el sistema eléctrico de máquinas inyectoras de plástico y para sus equipos periféricos conexos, el plan de mantenimiento elaborado se basó en la metodología de mantenimiento basado en confiabilidad (MCC).

La empresa cuenta con 5 máquinas inyectoras con sus respectivos equipos periféricos conexos, estos grupos de máquinas presentan altos índices de paradas por mantenimiento correctivo por no tener un plan de mantenimiento adecuado, siendo las fallas eléctricas la causa principal de paradas por mantenimiento correctivo, estas paradas ocasionan pérdidas económicas considerables debido a los altos costos de mantenimiento y por el cese de la producción.

Las 5 máquinas inyectoras y sus equipos periféricos son de características idénticas, por ende, solo fue necesario aplicar el proceso de MCC a solo uno de los grupos de máquinas ya que análogamente los modos de fallas serán exactamente iguales en los demás grupos.

5.2. Métodos y Técnicas utilizadas.

Se efectuó recopilación de información mediante entrevistas al personal de Mantenimiento, sobre el estado y funcionamiento actual del equipo. Complementado con las revisiones de las tareas de mantenimiento aplicadas a la misma, a modo de verificar si corresponde o no el tipo de mantenimiento aplicado.

Se realizó, además, estudio y análisis de las distintas bibliografías existentes respecto a la metodología de metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) para su aplicación.

Gracias a las reuniones con el equipo natural de trabajo se pudo abarcar los modos de falla más recurrentes y con mayor impacto a la producción, así como los que conllevan altos costos de mantenimiento.

Cabe recalcar que las reuniones previas con personales de producción y mantenimiento sirvieron para tener una información previa del estado del equipo, así como los modos de falla más recurrentes. Esto permitió a los facilitadores tener una visión más amplia de las máquinas para que las reuniones con el Equipo Natural de Trabajo sean ordenados y efectivos.

5.3. Justificación

En la actualidad la empresa no posee un plan de mantenimiento efectivo para las maquinas inyectoras de plástico y para sus equipos periféricos conexos, esto hace aumentar los índices de paradas por mantenimiento correctivo, disminuyendo la confiabilidad y disponibilidad de estos grupos de máquinas (inyectoras y periféricos) y por ende también disminuye la productividad.

Con este trabajo se pretende dejar un precedente de diseño de un plan de mantenimiento basado en la metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), cual es una metodología de mantenimiento clase mundial.

En este proyecto se diseñará exclusivamente el plan de mantenimiento para el sistema eléctrico de las maquinas inyectoras de plástico y de los equipos periféricos conexos.

5.4. Finalidad del proyecto

Elaborar un plan de mantenimiento para el sistema eléctrico de las maquinas inyectoras de plástico y para sus equipos periféricos conexos, basado en la metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), estableciendo los elementos y pasos que deben estar presentes en el plan de mantenimiento

realizado, para que este sea realmente un proceso de MCC, demostrando su viabilidad técnica y económica.

5.5. Metas

Con este proyecto de fin de grado se pretenden aumentar la disponibilidad de todas las maquinas inyectoras de plásticos y de sus equipos periféricos conexos a un plazo de un año de su aplicación.

5.6. Objetivos

5.6.1. Objetivos generales

Diseñar el plan de mantenimiento para el sistema eléctrico de Inyectoras de Plástico (PET) y equipos periféricos conexos, de la empresa CIMPLAST, ubicada en la ciudad de Mariano Roque Alonso-Paraguay

5.6.2. Objetivos específicos

- Obtener toda la información disponible del sistema eléctrico de las inyectoras y de sus equipos periféricos conexos.
- Realizar un análisis primario del estado del sistema eléctrico de las inyectoras y de sus equipos periféricos conexos.
- Elaborar un listado de los grupos de máquinas con fallas eléctricas más recurrentes.
- Establecer criterios técnicos para el diseño del plan de mantenimiento eléctrico.
- Elaborar plan de mantenimiento.

5.7. Beneficiarios

La empresa CIMPLAST será el beneficiario directo con la realización de este proyecto de fin de grado ya que se tendrá la posibilidad de mantener sus equipos en completa operación y en los niveles de eficiencia óptimos. A su vez, beneficiará

indirectamente a las empresas a quien provee de envases plásticos, al garantizar y preservar la calidad de los productos proveídos.

5.8. Producto

El principal producto es la elaboración del plan de mantenimiento para el sistema eléctrico de las maquinas inyectoras de plástico y para sus equipos periféricos conexos, que dejará un precedente de un diseño de mantenimiento bien definido y estructurado que podrá ser utilizado como guía para diseñar planes de mantenimiento de otros sistemas y equipos dentro de la empresa.

5.9. Localización física y cobertura espacial

El pan de mantenimiento fue diseñado para las maquinas inyectoras de plástico de la planta fabril ubicada en el km 15 de la ruta Transchaco, ciudad de Mariano Roque Alonzo - Paraguay.

5.10. Especificaciones de actividades y tareas realizadas

El proyecto de fin de grado dio inicio con una revisión bibliográfica acerca de los plásticos y también todo lo relacionado al mantenimiento industrial haciendo principal énfasis a la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

Para la obtención de toda la información requerida para la elaboración de este proyecto de fin de grado, se acudió constantemente a la empresa, todas las informaciones fueron proveídas por la gerencia técnica.

Para la realización del análisis primario se utilizó las informaciones proveídas por la gerencia técnica y también se recurrió a entrevistas con los operarios de las maquinas o con los personales de mantenimiento.

En base a todas las informaciones recabadas se elaboró un registro de las horas de paradas totales de cada grupo de máquinas, como así también se detalló las

horas de paradas debido a cada tipo de falla de los grupos de máquinas, además se calculó la disponibilidad, confiabilidad, tiempo medio entre fallas y tiempo medio de reparación de cada grupo de máquinas.

Conjuntamente con la gerencia técnica y el personal de mantenimiento, se establecieron los criterios técnicos para la elección de la metodología de mantenimiento que se utilizó para la elaboración del plan de mantenimiento, cual fue la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC).

Se elaboró el plan de mantenimiento basado en la metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), realizando un procedimiento metodológico para la aplicación de esta metodología de mantenimiento, siguiéndose cado uno de los pasos y respondiendo las 7 preguntas básicas del MCC.

5.11. Recursos necesarios

5.11.1. Recursos humanos

Este proyecto final de grado fue elaborado por el alumno proyectista de la Facultad de Ciencias y Tecnologías – UNCA carrera de Ingeniería en Electricidad, con el apoyo del Asistente de proyecto final de grado, Ingeniero tutor y personales de la gerencia técnica de la empresa Cimplast.

5.11.2. Recursos materiales

Se utilizó los siguientes recursos materiales:

- Computadora y calculadora (Propio)
- Bloc de notas y agenda
-Manuales técnicos del equipo
-Medios de transporte

5.12. Factibilidad técnica

El presente proyecto es factible técnicamente, pues mediante el mismo se puede obtener:

- Reducción de las horas de paradas por mantenimiento correctivo de los equipos.
- Reducción de los costos de mantenimiento, y mejor aprovechamiento del recurso humano del área de mantenimiento.
- Aumento de la confiabilidad y disponibilidad de los equipos, y por lo tanto también se logrará el aumento de la productividad.
- Se ha presentado un procedimiento metodológico de la aplicación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, siguiendo se cada uno los pasos y respondiendo las 7 preguntas básicas del MCC.
- Por último, se establecieron las distintas tareas y las frecuencias de las mismas asentadas en la hoja de información, especificando el tipo de mantenimiento y quienes realizan las tareas.

5.13. Factibilidad económica

5.13.1. Beneficios

5.13.1.1. Reducción de las horas de parada.

Según se ve en el numeral 9.4.5 con la aplicación de este proyecto de fin de grado, se estima una reducción las horas de paradas por mantenimiento correctivo debido a fallas en el sistema eléctrico de todos los grupos de máquinas analizados en un 30% en el primer año de aplicación, más un 20% en el segundo año de aplicación, más un 10% en el tercer año de aplicación, más un 5% para el cuarto año, e igualmente más un 5% para el quinto año de aplicación, totalizando una reducción del 70%.

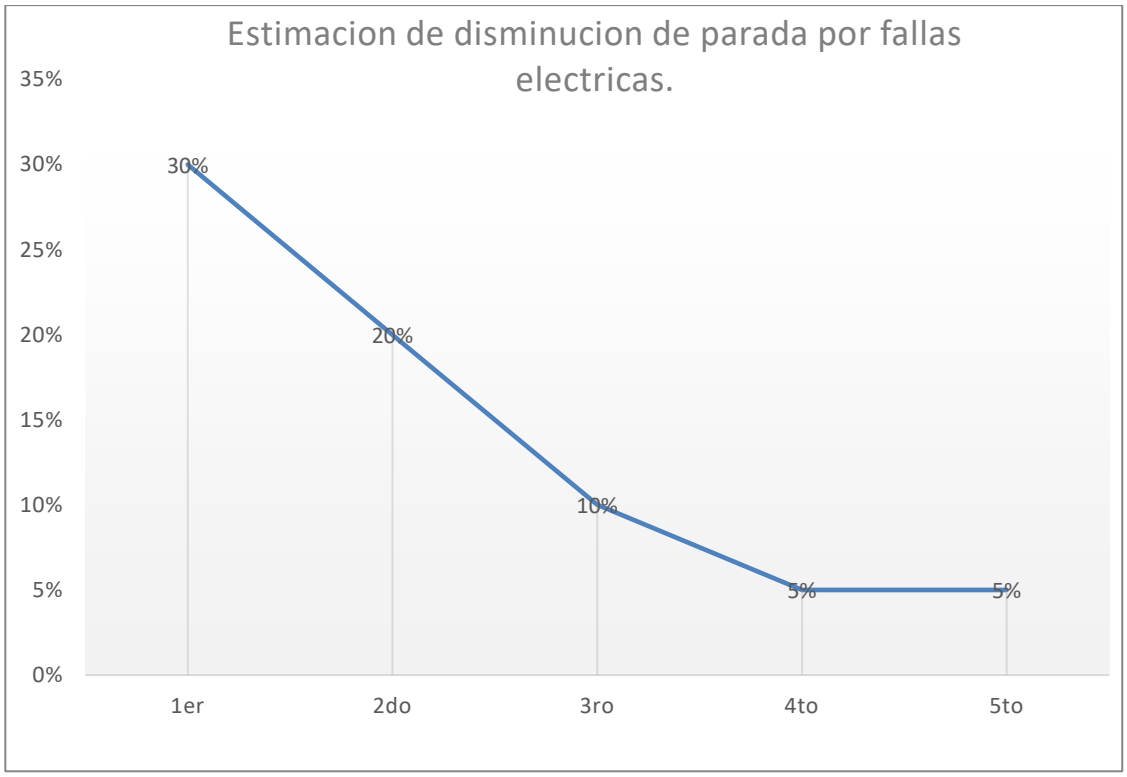


Tabla 5.1. Estimación de reducción de paradas por fallas eléctricas.

5.13.1.2. Aumento de la disponibilidad.

Al reducir las horas de paradas por fallas eléctricas, se aumentará la disponibilidad total de todos los grupos de máquinas, lo cual significa que se logrará aumentar la producción, lo que significa mayores beneficios económicos para la empresa. El detalle de los cálculos en donde se obtuvieron estos valores se encuentran en el Apéndice A.1.

Grupo.	Disponibilidad total proyectada 1er. año.	Disponibilidad total proyectada 2do. año.	Disponibilidad total proyectada 3er. año.	Disponibilidad total proyectada 4to. año.	Disponibilidad total proyectada 5to. año.
HUSKY 1	89,70%	90,90%	91,50%	91,90%	92,20%
HUSKY 2	90,60%	91,70%	92,30%	92,60%	92,90%
HUSKY 3	89,40%	90,60%	91,30%	91,60%	91,90%
HUSKY 4	88,10%	89,90%	90,80%	91,20%	91,70%
HUSKY 5	88,60%	90,20%	91,00%	91,40%	91,80%

Tabla 5.2. Disponibilidad proyectada para cada año posterior a la aplicación del plan de mantenimiento basado en MCC.

5.13.1.3. Aumento de la productividad.

Con la aplicación de este proyecto se podrá aumentar la productividad de todos los grupos de máquinas, lo cual se traduce en el aumento de las ganancias de la empresa. El detalle de los cálculos en donde se obtuvieron estos valores se encuentran en el Apéndice A.2.

Aumento estimado de la producción posterior a la aplicación del plan de mantenimiento basado en MCC.					
Grupo.	**Primer año.**	**Segundo año.**	**Tercer año.**	**Cuarto año.**	**Quinto año.**
HUSKY 1	15,41%	25,69%	30,83%	33,40%	35,97%
HUSKY 2	15,60%	26,01%	31,21%	33,81%	36,41%
HUSKY 3	15,02%	25,03%	30,03%	32,54%	35,04%
HUSKY 4	18,36%	30,60%	36,72%	39,78%	42,84%
HUSKY 5	17,22%	28,70%	34,44%	37,31%	40,18%

Tabla 5.3. Aumento estimado de la producción de preformas posterior a la implementación del plan de mantenimiento.

5.13.2. Costos

5.13.2.1. Costo de aplicación.

La inversión inicial consiste en los costos de repuestos, costo de personal y costo de contratación de empresas tercerizadas para análisis de vibraciones y termografía. Los costos presentados en la siguiente tabla se basan en las tareas de mantenimiento propuestas, intervalos de intervención, cuanto tiempo conlleva cada intervención y por quien será realizada tales intervenciones. Todos estos detalles se encuentran en la hoja de decisión de la planilla de Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) desarrollada en el numeral 9.3.2.2.

Costo de implementación del plan de mantenimiento.	1er año.	2do año.	3ro año.	4to año.	5to año.
Costo de repuestos.	52.903.406	4.232.272	4.232.272	4.232.272	4.232.272
Costo de personal.	9.075.000	9.075.000	9.075.000	9.075.000	9.075.000
Costo servicios tercerizados.	7.000.000	7.000.000	7.000.000	7.000.000	7.000.000
Total, por grupo.	68.978.406	20.307.272	20.307.272	20.307.272	20.307.272
Total (los 5 grupos). Gs.	344.892.030	101.536.362	101.536.362	101.536.362	101.536.362

Tabla 5.4. Costos de implementación del proyecto.

5.13.3. Evaluación económica

5.13.3.1. Determinación del flujo de caja proyectada

Teniendo los datos de los costos iniciales que son, el costo de repuestos, costo de personal y costos de servicios tercerizados, los cuales se toman como base para la elaboración del flujo de caja proyectado de las inversiones y los ahorros que se tendrán por el reemplazo y los beneficios económicos que se tendrá al aplicar el proyecto, utilizando un horizonte de tiempo de 5 años, esto nos permitirá la determinación del TIR, VPN y PRI, en el siguiente grafico se presenta el flujo de caja proyectada.

El cálculo detallado del flujo de caja se encuentra en el Apéndice C.1.

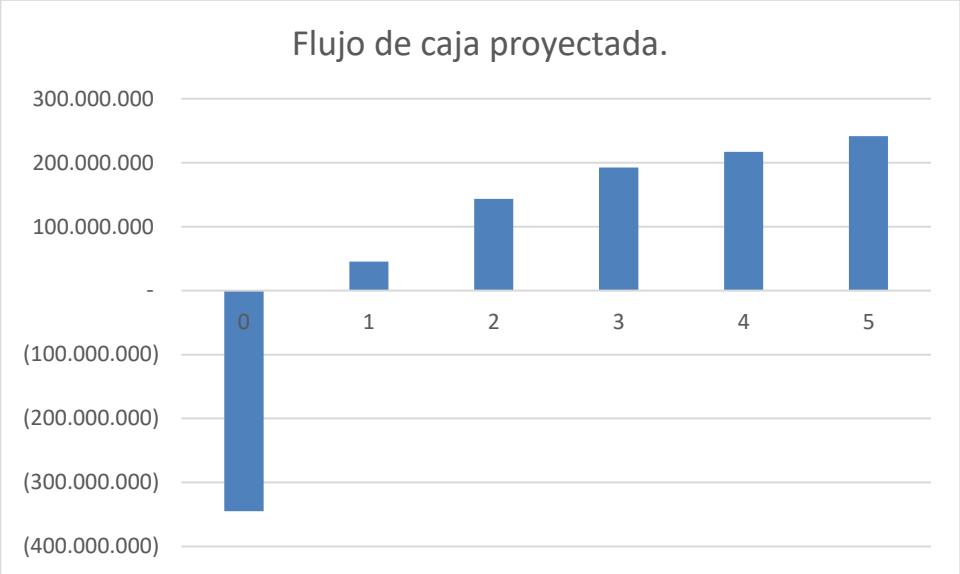


Tabla 5.5. Flujo de caja proyectada.

5.13.3.2. Determinación de la tasa interna de rendimiento (TIR)

En base a lo obtenido en el flujo de caja proyectada se calcula la tasa interna de rendimiento, se obtuvo un TIR igual al 30%.

Al ser la tasa de descuento igual al 10% y la TIR igual al 30%, significa que el proyecto es rentable.

El cálculo detallado del TIR se encuentra en el Apéndice C.2.

5.13.3.3. Determinación del valor presente neto (VPN)

Teniendo en cuenta también los valores del flujo de caja proyectada se calcula el valor presente neto, lo cual representa todos los gastos y ahorros que se transforman en dinero equivalente en el presente, con una tasa de descuento del 10% para un tiempo de 5 años se obtuvo, VPN de Gs. 257.324.037.

Teniendo en cuenta los siguientes criterios: VPN < 0; No rentable, VPN = 0; Indistinto, VPN > 0; Rentable, se concluye que el proyecto es rentable.

El cálculo detallado del VPN se encuentra en el Apéndice C.3.

5.13.3.4. Determinación del periodo do de recuperación de la inversión (PRI)

También desde el flujo de caja proyectada se calcula el periodo de recuperación de los invertido, el cual presenta el tiempo en que se recupera la inversión realizada en el año 0, el cual es necesario para que el flujo de caja acumulado del proyecto cubra el monto total de la inversión realizada, presentando el periodo a partir del cual se empieza a ganar dinero. El Payback se produce cuando el flujo de caja es igual a cero. Payback = Periodo en cual se logra VPN = 0.

Para este proyecto se obtuvo un PRI = 2 años, 9 meses, 22 días.

El cálculo detallado del PRI se encuentra en el Apéndice C.4.

IV. INGENIERÍA DE DISEÑO

CAPÍTULO 6

6. Reconocimiento de los equipos.

6.1. Máquina inyectora de plástico.

La empresa cuenta con cinco maquinas inyectoras de plástico de la marca HUSKY, las 5 máquinas son de características exactamente iguales, la función de estos equipos es la de fabricar preformas para envases y tapas plásticas, mediante el proceso de inyección. El moldeo por inyección es un proceso semicontinuo que consiste en inyectar un polímero, cerámico o un metal en estado fundido (o ahulado) en un molde cerrado a presión y frío, a través de un orificio pequeño llamado compuerta. En ese molde el material se solidifica, comenzando a cristalizar en polímeros semicristalinos. La pieza o parte final se obtiene al abrir el molde y sacar de la cavidad la pieza moldeada.

Figura 6.1. Máquina Inyectora Husky[11]

[11] HUSKY, MANUAL DE LA MQUINA, PORTADA.

El proceso de fabricación de preformas y tapas plásticas por inyección es más complicado de lo que cualquiera podría imaginarse, debido a que las maquinas inyectoras y sus periféricos deben trabajar en perfecta sincronía, ya que una mala coordinación entre ellos podría comprometer la morfología de producto terminado, conllevando a que los productos no satisfagan los rigurosos estándares de calidad exigidos por el cliente.

6.1.1. Sistema eléctrico de la máquina inyectora HUSKY.

El sistema eléctrico de las maquinas inyectoras de plástico se divide en dos partes principales que son, la unidad principal, y la unidad de molde, que en este caso son alimentados separadamente, ambas unidades de dividen en 6 circuitos, 5 en la unidad principal y una en la unidad de molde, cada uno de los circuitos serán detallados a continuación:

- **Unidad principal:** Esta unidad es alimentada directamente del tablero general de máquinas, y consta con una llave limitadora de 250 A y de los siguientes circuitos:
  - **Circuito del motor de la bomba hidráulica:** Este circuito consiste en un motor trifásico de 100 Hp con sistema de arranque estrella triangulo, tres contactores y un guarda motor.
  - **Circuito de calentadores (resistencias) del cilindro de inyección:** Este circuito consiste en, una llave termomagnética principal de 3x100 A, un contactor, 9 llaves termomagnéticas de 1x16 A, 1 de 1x6 A y 1 de 1x20 A.
  - **Circuito del motor transportador, motor de bomba de vacío y motor soplador de coolpik**: El circuito consta con una llave termomagnética principal de 3x30 A. La parte del transportador consiste en un motor trifásico de 0.25/0.3 KW, una llave termomagnética de 3x1.1 A y dos contactares, una para el giro horario y la otra para el giro anti horario. La parte de la

bomba de vacío, consiste en una llave termomagnética de 3x10 A, un contactor para arranque directo y un motor de 3/3.5 KW. La parte del soplador de coolpik, consiste en una llave termomagnética de 3x5.5 A, un contactor y un motor de 3.5 KW. Además, este circuito alimenta a los módulos de alimentación, placa de herramientas, coolpik y el módulo de pulsador de resistencias.

- **Circuito del transformador T1 y del rectificador G1:** Este circuito consta de una llave termomagnética de 1x10 A que alimenta a un pequeño transformador 230/115 V de 1.1Kva y a un rectificador 400VAC/24VDC. El transformador alimenta a los controles y al gabinete de cabina a través de una llave termomagnética de 1x10 A, el rectificador alimenta al circuito de control y mando que consta de 6 llaves termomagnéticas de 1x10A y una de 1x6A y además al UPS que alimenta al PLC a través de una llave termomagnética de 1x6A.

➢ **Unidad de molde:** Esta unidad esta también alimentada directamente del tablero de máquinas. El circuito consta de una llave termomagnética principal de 3x70 A, un contactor y de 8 llaves termomagnéticas de 1x32A, cabe destacar que esta unidad es controlada por el PLC de la unidad principal.

El esquema unifilar de la maquina se puede ver en el Apéndice B.1.

6.1.2. Periféricos.

6.1.2.1. Deshumidicador de Molde.

Esta máquina ha sido diseñada para desecar el aire que se utiliza en el molde.

El aire se recoge del medio ambiente, se filtra y se enfría (para condensar cualquier humedad en el aire) y luego calentar antes de ser transportado en la cabina del molde.

6.1.2.1.1. Sistema eléctrico.

El secador es alimentado directamente desde el tablero general de máquinas mediante una llave termomagnética QS1 de 3x63A, y se divide en 5 circuitos, cuales son:

- **Circuito del calentador de proceso EH1:** El circuito está compuesto por los fusibles FU1 de 3x40A, por el contactor KM1, por los relés de estado sólido SSR1 y SSR2 y el calentador trifásico EH1 de 22.5Kw.
- **Circuito del motor de ventilador de proceso M1:** El circuito está compuesto por la llave termomagnética QM1 de 3x25A, por el guarda motor QE, por el contactor de arranque KM2 y por el motor trifásico M1 de 3 KW con sistema de arranque directo.
- **Circuito del transformador TC1:** Este circuito está compuesto por el fusible bipolar FU5 de 2x4A y por un pequeño transformador (TC1) de tres bobinados con relaciones de transformación de 400/24VAC y 400/230VAC.
- **Circuito del motor de regeneración (Wheel Motor):** Este circuito está compuesto por un contactor auxiliar monofásico de arranque KA, por un fusible homopolar (FU2) de 315mA, por un contactor monofásico (KM2), por un capacitor (C1) de 0.68uF y por un pequeño motor monofásico (M2) de 18VA/80mA.
- **Circuito del motor de bomba de descarga de condensado (CONDENSATE DISCHARGE PUMP):** El circuito está compuesto por un contactor monofásico KA3, por un fusible homopolar (FU9) de 1ª y por un pequeño motor monofásico (M4) de 184VA/0.8A.

El esquema unifilar esta máquina se puede ver en el apéndice B.2.

6.1.2.2. Deshumidificador de materia prima.

La función primaria del deshumidificador es eliminar la humedad contenida en el aire que llega de la tolva. Una deshumidificación eficaz de la materia prima mejora notablemente las características físicas, mecánicas y estéticas de la pieza a transformar, al mismo tiempo que, la instalación de deshumidificación centralizada permite tratar simultáneamente diferentes materiales.

El ciclo de deshumidificación se lleva a cabo en el interior del deshumidificador y se divide en 2 fases: Fase de proceso y Fase de regeneración.

6.1.2.2.1. Sistema eléctrico.

El deshumidificador es alimentado directamente desde el tablero general de máquinas mediante una llave termomagnética de 3x160A y consta de 7 circuitos cuales son:

- **Calentador de proceso grupo 1:** Este circuito costa de un fusible trifásico (FU1) 3x50, un contactor **(**KM2), dos relés de estado sólido SSR1 y SSR2 y calentador trifásico (EH1) de 33Kw.
- **Calentador de proceso grupo 2:** Este circuito costa de un fusible trifásico (FU3) 3x50, un contactor **(**KM3), dos relés de estado sólido SSR3 y SSR4 y calentador trifásico (EH2) de 33Kw.
- **Circuito de calentadores de torre izquierda y derecha:** Este circuito costa de un fusible trifásico (FU3) de 3x35A, 2 contactares KM4 y KM5, y dos calentadores EH3 y EH4 de 11.5 KW cada una.
- **Circuito de soplador de proceso:** Este está compuesto por una llave termomagnética (QM1) de 3x50A, un guarda motor (QE), un contactor (KM7) por un motor trifásico (M1) de 30 hp.

- **Circuito de soplador de regeneración:** Este está compuesto por una llave termomagnética (QM3) de 3x25A, un guarda motor (QE), un contactor (KM3) por un motor trifásico (M1) de 15 hp.
- **Circuito del transformador TC1:** Este circuito consta de un fusible bipolar (FU5) de 2x2A, un pequeño transformador de tres bobinados de 400VA con relación de transformación de 400/230V y 400/24V y dos motores de 13W cada una (EV1 y EV2).
- **Circuito del transformador TC2:** Este circuito consta de un fusible bipolar (FU15) de 2x1A, un pequeño transformado de 100VA y con relación de transformación 400/24V y de un rectificador.

El esquema unifilar esta máquina se puede ver en el Apéndice B.3.

6.1.2.3. Mesa vibratoria.

La función principal de la mesa vibratoria emparejar y compactar las preformas dentro del empaque.

6.1.2.3.1. Sistema eléctrico.

Esta máquina es directamente alimentada desde el tablero general de máquinas mediante una llave termomagnética trifásica de 3x16A y además consta de un contactor (KM1), un guardamotor (QE) y dos motores de 1Hp cada una.

6.1.2.4. Cita trasportadora.

Su función principal es de trasladar las reformas que salen del molde de la cinta transportadora para trasladarlo a la maquina sopladora o para su empaque. Esta máquina se divide en dos partes una es la parte inclina que eleva las preformas desde el nivel del molde hasta el nivel de la cinta vertical, que finalmente trasporta las preformas.

6.1.2.4.1. Sistema eléctrico.

Esta máquina es directamente alimentada desde el tablero general de máquinas mediante una llave termomagnética trifásica de 3x50A y consta de dos circuitos cuales son:

- **Circuito de la cinta trasportadora vertical:** Este circuito consta de una llave termomagnética trifásica (QM2) de 3x25A, un guarda motor (QE), dos contactares KM1 Y KM2, uno para giro horario y el para el giro antihorario y un motor trifásico (M1) de 1Hp.
- **Circuito de la cinta trasportadora de elevación:** Este circuito consta de una llave termomagnética trifásica (QM4) de 3x25A, un guarda motor (QE), un contactor (KM4) y un motor de (M1) de 1Hp.

El esquema unifilar esta máquina se puede ver en el apéndice B.4.

6.1.2.5. Dosificador de colorante.

Es la encargada de inyectar colorante o tinta durante el proceso de fundición de la materia prima dentro de la máquina inyectora.

6.1.2.5.1. Circuito eléctrico.

Esta máquina es directamente alimentada desde el tablero general de máquinas mediante una llave trifásica (Q1) de 3x10A, un contactor trifásico K1, un guarda motor y un motor de 1/3Hp.

CAPITULO 7

7. SITUACIÓN ACTUAL DE LOS EQUIPOS.

7.1. Introducción.

La carga de producción de los equipos es de 24 horas diarias los 7 días a la semana. La exigencia hacia los mismos y hacia sus sistemas periféricos es bastante alta. La falla de uno de los equipos conlleva a grandes pérdidas económicas no solo para la empresa, sino también a los clientes, ya que dependen de los productos fabricados por estas máquinas para comercializar sus productos.

Según los datos proveídos por la Gerencia Técnica las maquinas inyectoras y sus periféricos, presentan altos índices de paradas por distintos tipos de fallas, lo cual se debe, a que la empresa no posee un plan de mantenimiento efectivo para estos equipos, las ocurrencias de las fallas se deben principalmente al mal estado del sistema eléctrico y mecánico, que son las fuentes predominantes de las fallas, seguidas por las fallas en el sistema neumático. Cabe resaltar que esta empresa clasifica a las en cuatro categorías, que son: Mecánicas, Eléctricas, Hidráulicas y Neumáticas.

Los tipos de fallas más recurrentes (Según registro de OT’s mostrado más adelante) son; fallas en las bombas de vacío, pérdida de aceite en los cilindros hidráulicos, fallas en los sensores, sobre carga de los motores, cortocircuito entre conductores eléctricos deteriorados o mal dimensionados, etc.

7.2. Paradas de producción.

Las paradas por mantenimiento se agrupan en 4 categorías que son; las paradas por fallas mecánicas, las paradas por fallas en el sistema hidráulico, las paradas por fallas en el sistema neumático y las paradas por fallas en el sistema eléctrico.

Los registros de órdenes de trabajo (OT) y la tabla de índice de paradas de todo el periodo 2018 ayuda a analizar los problemas más comunes que se presentan en estas máquinas. Esto da un alto índice de intervenciones en las máquinas que en un 98% son para mantenimiento correctivo. Esto indica que el mantenimiento realizado a las maquinas es prácticamente correctivo.

La siguiente tabla muestra algunas órdenes de trabajo de las fallas más recurrentes de las máquinas inyectoras.

Problema/ Tarea	Detalle del servicio
Bomba de vacio no levanta presion	Reparacion de bomba de vacio
Deshumidificador con problema	Regulacion y revision de partes electricas y Mecanicas
Problema de fotocelda para cada rato	Revision de valvulas de succion
Bloqueo de cierre	Verificacion de cilindro y ajuste de sensores
Problema de pistón de cierre	Reajuste general de cilindro de enclave
Pérdida de aceite en el bloque hidráulico	Reajuste general de mangueras hidráulicas
Reviisión de bombas en vacío, no succiona bien la preforma	Revisión de bomba de vacío
Ruido en motor Hidraulico de inyeccion	Verificacion de sistema mecanico
Reposicion de manguera de refrigeracion de placa del robot	Revision y cambio de manguera de refrigeracion
Falla de fuerza de cierre	Revision de mecanismo de cierre, ajuste de parametros
Revision de perdida de agua del deshumidificador y secador	Verificacion general, revision bomba desague, reajuste de todas las abrazaderas, seguimiento de trabajo
Se bloquea con cada baja tension	Revision bateria de UPC
Problema de sensor - bloque de cierre de Molde	Desarmado general del cilindro
Problema de bomba de vacio	Se rompio un obturador del intercambiador
Fallas del bloqueador	Falla hidraulica
Rotura de manguera de vacio etapa 3	Cambio de manguera
Cambio de manguera de bomba de vacio etapa 3	Cambio de manguera neumatica
Perdida de aceite en el cilindro de bloqueo de cierre	Revision general y cambio de oring
Motor de bomba de envio, hace un ruido	Revision general falta gas
La cañeria de la Piovan pierde agua	Rebicion y ajuste
Revision del sensor de molde no funciona	Revision general de los sensores, ajuste de detectores de preforma
Perdida de aceite en el bloque de cierre	Cambio de o-ring se encontraba todo resecado
Sensor de molde no libre	Se quemo el sensor
Falla de transparencia de preforma a la placa movil	Revision del sistema de Vacuo

Tabla 7.1. Algunas intervenciones recurrentes según registro de órdenes de trabajo.

Como se podrá observar en la tabla de índices de paradas del 2018 (Tabla 6.2.), los 5 grupos de máquinas inyectoras y periféricos acumularon un total de **5627.12** horas de parada por mantenimiento correctivo, debido a fallas en las mismas maquinas inyectoras, o debido a la falla de algún equipo periférico. Siendo el grupo de las inyectoras **HUSKY 4** y **HUSKY 5** los equipos con más horas de paradas del año 2018, con **1279.59** horas (22.7%) y **1279.59** horas (21.4%) respectivamente, seguidos por los grupos de la **HUSKY 3** con **1072.7** horas (19.4%), la **HUSKY 1** con **1071.68** horas (19%) y por último la **HUSKY 2** con **98.38** horas (17.4%). Debido a los altos índices de parada presentada por estas máquinas, la confiabilidad es bastante cuestionable generando pérdidas de producción, fallas en tiempos de entregas de los envases al cliente, así como la producción de envases defectuosos. Lo cual conlleva a pérdidas económicas importantes.

GRUPO.	Falla Eléctrica.	Falla Mecánica.	Falla Hidráulica.	Falla Neumática.	TOTAL (Horas).
GRUPO HUSKY 1.	550.63	420.40	80.30	20.35	**1071.68**
GRUPO HUSKY 2.	510.14	390.08	65.17	15.41	**980.80**
GRUPO HUSKY 3.	547.08	410.17	111.10	24.60	**1092.95**
GRUPO HUSKY 4.	783.05	400.02	69.32	27.20	**1279.59**
GRUPO HUSKY 5.	690.08	452.48	44.54	15.00	**1202.10**
TIEMPO TOTAL DE PARADA DE CADA TIPO DE FALLA	3080.98	2073.15	370.43	102.56	
TIEMPO TOTAL DE PARADAS 2018	**5627.12 horas**				

Tabla 7.2. Índice de paradas del 2018 en horas.

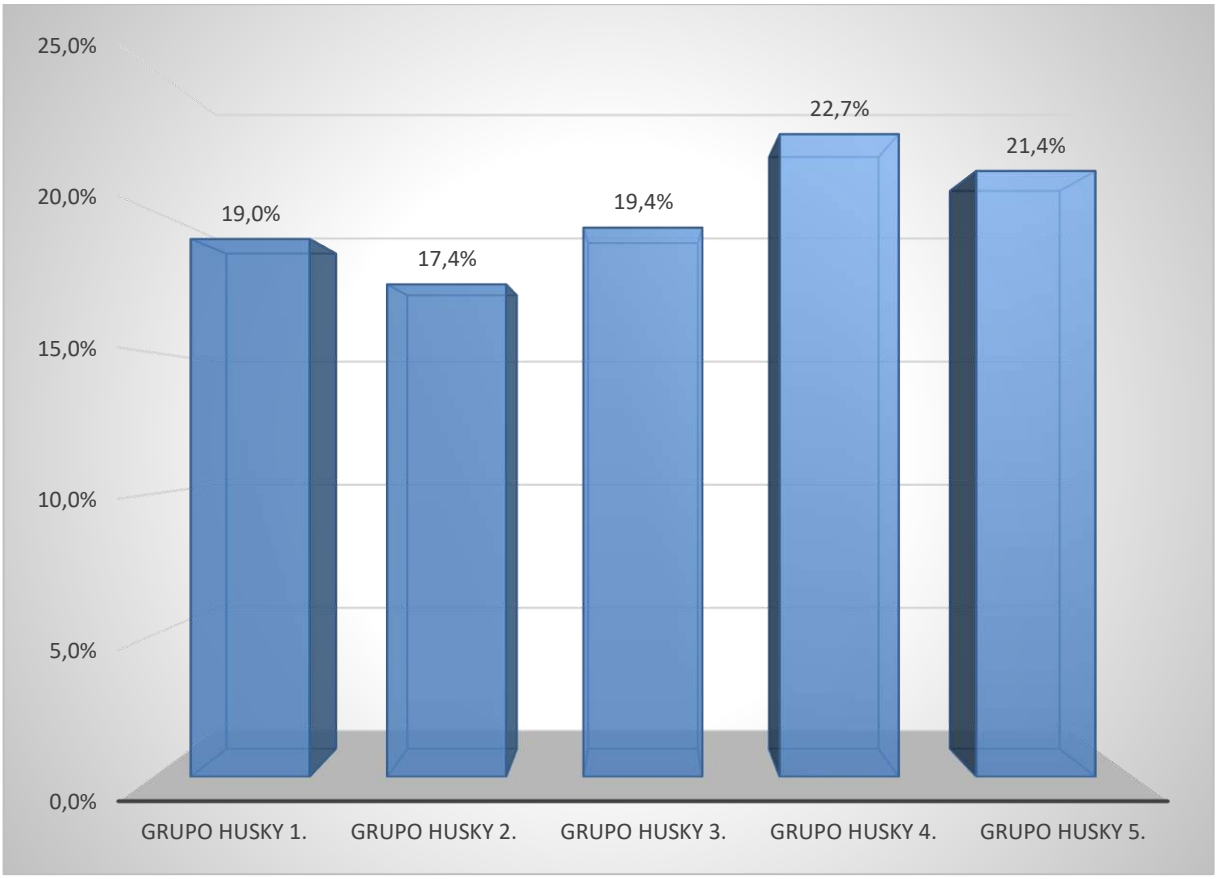
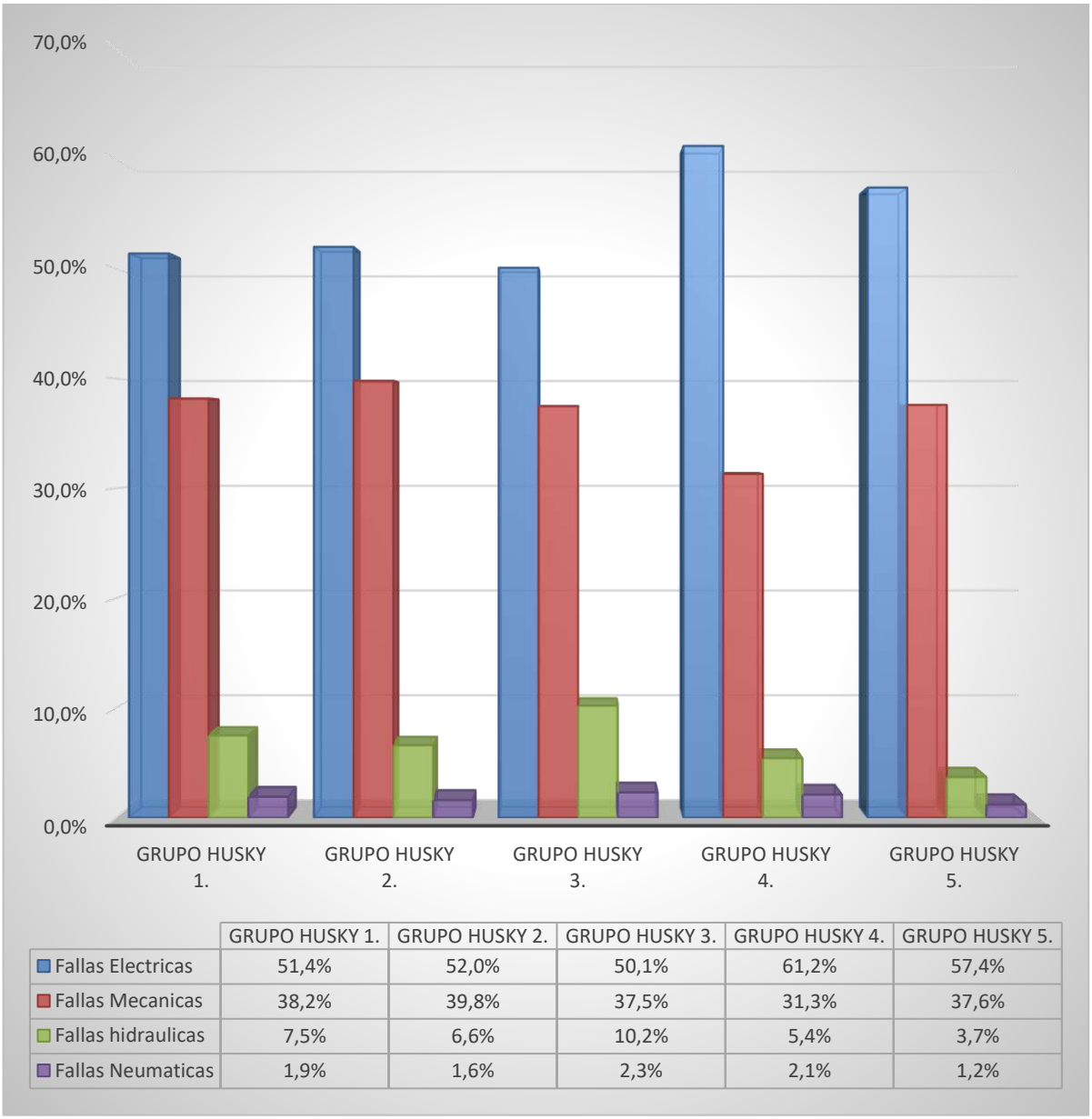


Tabla 7.3. Porcentaje de paradas de cada grupo de máquinas inyectora del año 2018.



	GRUPO HUSKY 1.	GRUPO HUSKY 2.	GRUPO HUSKY 3.	GRUPO HUSKY 4.	GRUPO HUSKY 5.
Fallas Electricas	51,4%	52,0%	50,1%	61,2%	57,4%
Fallas Mecanicas	38,2%	39,8%	37,5%	31,3%	37,6%
Fallas hidraulicas	7,5%	6,6%	10,2%	5,4%	3,7%
Fallas Neumaticas	1,9%	1,6%	2,3%	2,1%	1,2%

Tabla 7.4. Porcentaje de parada debido a cada tipo de falla.

7.2.1. Paradas de producción debido a fallas eléctricas.

Las fallas en el sistema eléctrico es una de las causas principales de paradas de producción de la empresa, ya que, una falla eléctrica conlleva a un paro casi inminente de las máquinas, cosa que no ocurre con las demás fallas. Como, por ejemplo, la maquina puede seguir funcionando durante algún tiempo, si una manguera hidráulica presenta fugas de aceite, o que una pieza mecánica presenta signos de desgaste o principios de falla, la maquina seguirá funcionando hasta que la falla se agudice o se materialice. Cosa que no ocurre con una falla eléctrica, si un sensor o algún motor eléctrico de la maquina inyectora o de algún periférico falla, conllevará que las protecciones eléctricas de la maquina actúen, dejando a la maquina fuera de servicio. Por ende, al reducir las paradas por fallas eléctricas, esto también conllevara a la reducción de los tiempos de paradas de producción a rangos tolerables.

En las siguientes graficas se podrá observar que las fallas eléctricas son unas de las causas principales de paradas en las maquinas inyectoras de plástico, cabe redundar que la falla de algún equipo periférico conexo conlleva que las maquinas inyectoras paren, ya que estas funcionan como una línea de producción.

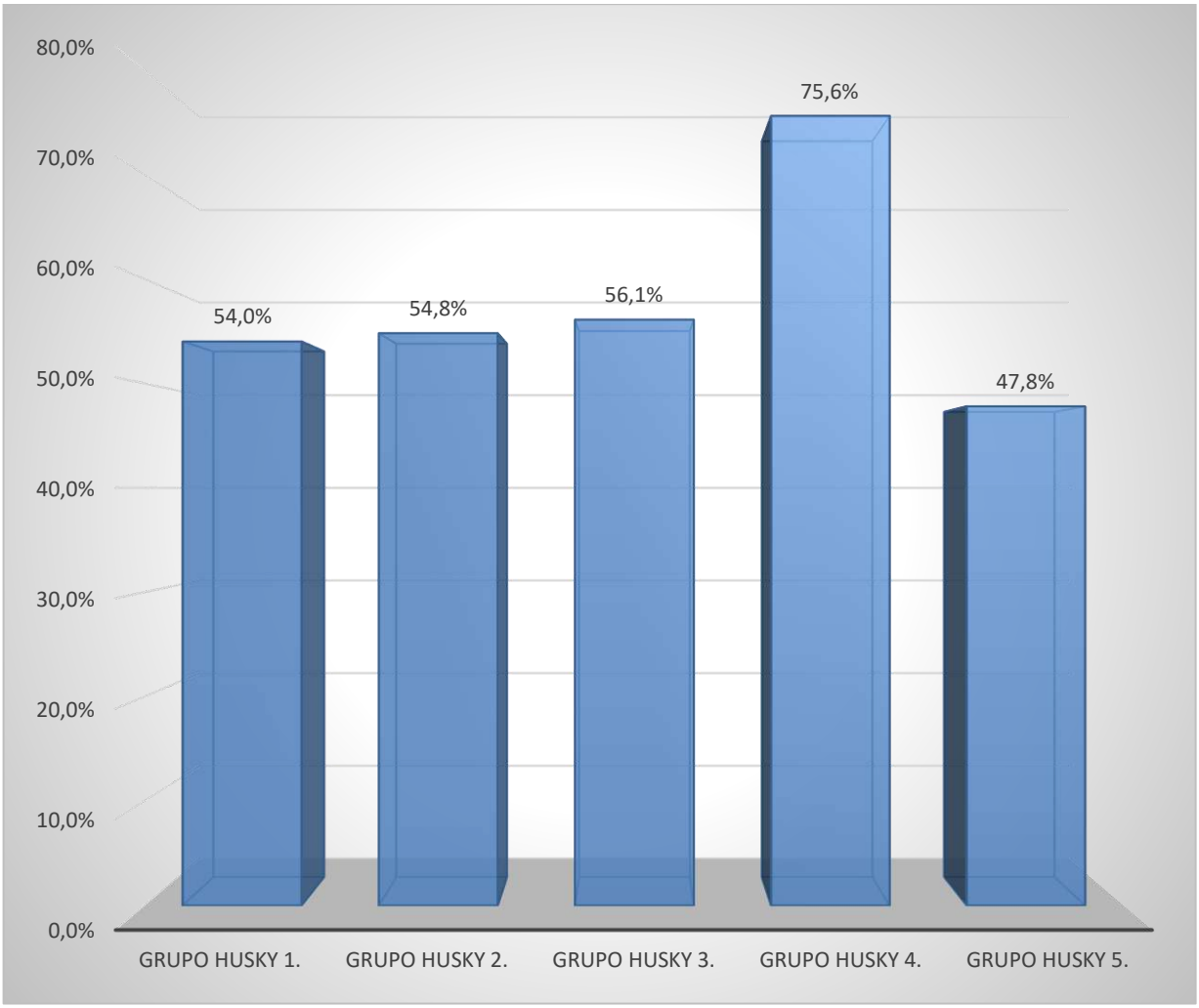
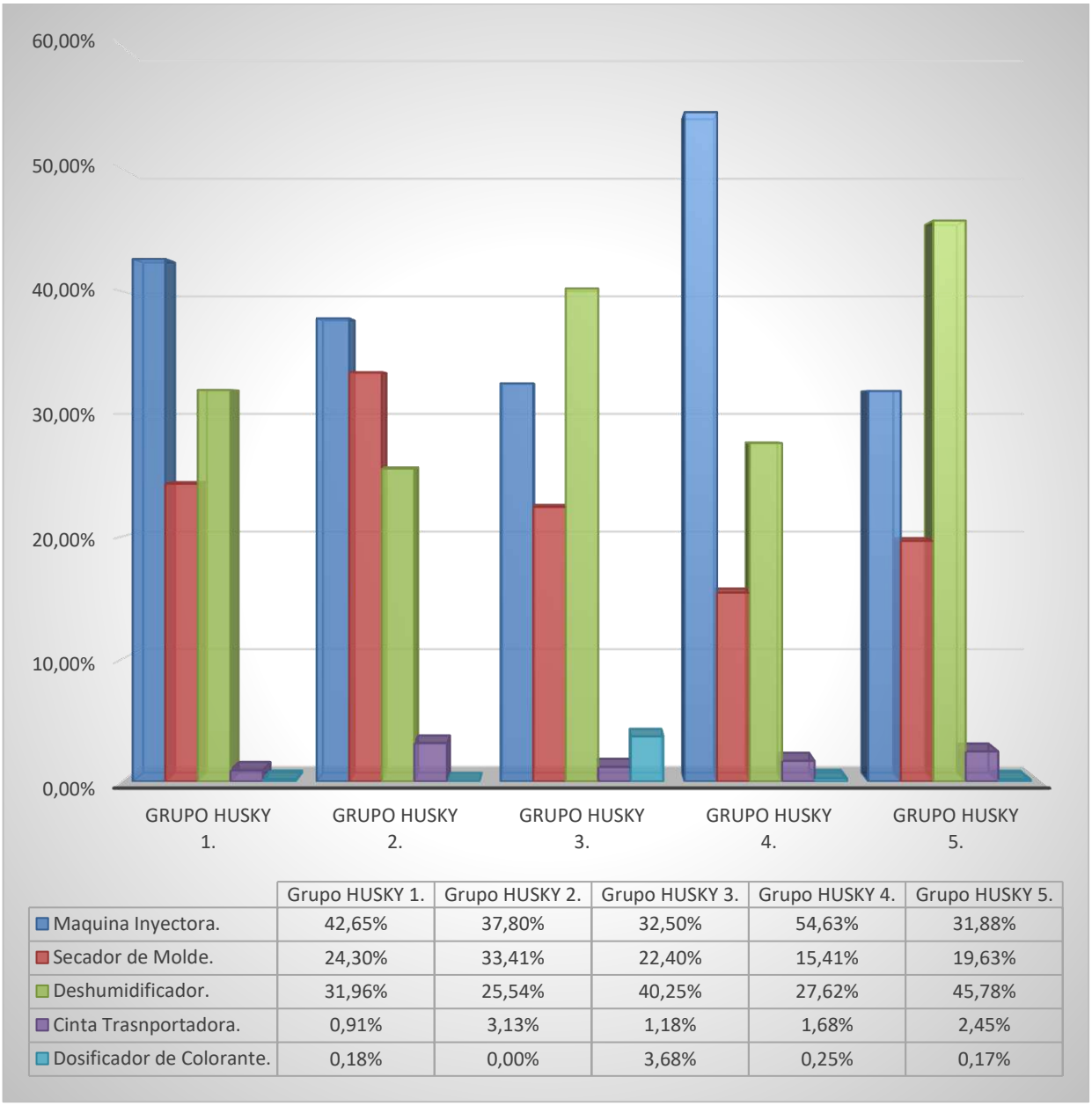


Tabla 7.5. Porcentaje de parada por fallas eléctricas de cada máquina.



	Grupo HUSKY 1.	Grupo HUSKY 2.	Grupo HUSKY 3.	Grupo HUSKY 4.	Grupo HUSKY 5.
Maquina Inyectora.	42,65%	37,80%	32,50%	54,63%	31,88%
Secador de Molde.	24,30%	33,41%	22,40%	15,41%	19,63%
Deshumidificador.	31,96%	25,54%	40,25%	27,62%	45,78%
Cinta Trasnportadora.	0,91%	3,13%	1,18%	1,68%	2,45%
Dosificador de Colorante.	0,18%	0,00%	3,68%	0,25%	0,17%

Tabla 7.6. Distribución de fallas eléctricas de cada grupo de máquinas.

CAPITULO 8

8. INDICADORES DE MANTENIMIENTO ACTUALES.

8.1. Disponibilidad.

Es sin duda el indicador más importante en mantenimiento, y por supuesto, el que más posibilidades de 'manipulación' tiene. Si se calcula correctamente, es muy sencillo: es el cociente de dividir el nº de horas que un equipo ha estado disponible para producir y el nº de horas totales de un periodo:

$$Disponibilidad = \frac{Horas\ totales - Horas\ de\ parada\ por\ mantenimiento}{Horas\ totales}$$

En plantas que estén dispuestas por líneas de producción en las que la parada de una máquina supone la paralización de toda la línea, es interesante calcular la disponibilidad de cada una de las líneas, y después calcular la media aritmética.

En plantas en las que los equipos no estén dispuestos por líneas, es interesante definir una serie de equipos significativos, pues es seguro que calcular la disponibilidad de absolutamente todos los equipos será largo, laborioso y no nos aportará ninguna información valiosa. Del total de equipos de la planta, debemos seleccionar aquellos que tengan alguna entidad o importancia dentro del sistema productivo.

Una vez obtenida la disponibilidad de cada uno de los equipos significativos, debe calcularse la media aritmética, para obtener la disponibilidad total de la planta.

$$Disponibilidad\ total = \frac{\sum Disponibilidad\ de\ equipos\ significativos}{Numero\ de\ equipos\ significativos}$$

Considerando que cada grupo de máquina inyectoras (Maquinas inyectoras y equipos periféricos) funciona exactamente como una línea de producción y teniendo en cuenta que el periodo de trabajo de los 5 grupos de inyectoras es de, 24hs diarias durante los 365 días del año, se obtiene que el periodo de trabajo de las maquinas es de 8760 horas anuales. Y según los datos de la tabla de índices

de paradas, las horas no trabajadas totales fueron más de 5627.12 horas. Aplicando la fórmula de disponibilidad se tiene:

- **Disponibilidad del grupo de máquinas "HUSKY 1"**

$$Disp = \frac{8760 - 1071.68}{8760} \times 100 = 87.76\%\ de\ disponibilidad.$$

- **Disponibilidad del grupo de máquinas "HUSKY 2"**

$$Disp = \frac{8760 - 980.8}{8760} \times 100 = 88.8\%\ de\ disponibilidad.$$

- **Disponibilidad del grupo de máquinas "HUSKY 3"**

$$Disp = \frac{8760 - 1092.95}{8760} \times 100 = 87.52\%\ de\ disponibilidad.$$

- **Disponibilidad del grupo de máquinas "HUSKY 4"**

$$Disp = \frac{8760 - 1279.59}{8760} \times 100 = 85.39\%\ de\ disponibilidad.$$

- **Disponibilidad del grupo de máquinas "HUSKY 5"**

$$Disp = \frac{8760 - 1202.1}{8760} \times 100 = 86.27\%\ de\ disponibilidad.$$

- **Disponibilidad media.**

Es la media aritmética de la disponibilidad de todos los equipos que son analizados, y se obtiene mediante el cociente de la sumatoria total de todos los equipos analizados entre la cantidad total de equipos analizados.

$$Disponibilidad\ media = \frac{\sum Disponibilidad\ de\ todos\ los\ equipos}{Cantidad\ de\ equipos}$$

$$Disponibilidad\ media = \frac{0.8776 + 0.888 + 0.8752 + 0.8539 + 0.8627}{5} \times 100$$

$$= 87.148\%$$

8.2. Confiabilidad.

La confiabilidad es la probabilidad del equipo o instalación, de estar funcionando sin fallas durante un tiempo determinado en las condiciones de operación dadas.

$$Confiabilidad = \frac{Horas\ totales - Horas\ por\ mantenimiento\ correctivo}{Horas\ totales}$$

Las intervenciones de mantenimiento a la maquina fueron en un 98% por mantenimientos correctivos no programados, es decir, de las 5627.12 horas de intervenciones que tuvo las maquinas solo 115.54 horas fueron por intervenciones programadas, y 5515.58 horas fueron por intervenciones de mantenimiento no programadas. Aplicando la fórmula de confiabilidad se tiene:

- **Confiabilidad del grupo de máquinas "HUSKY 1"**

$$Conf = \frac{8760 - 0.98 \times 1071.68}{8760} \times 100 = 88\%\ de\ confiabilidad.$$

- **Confiabilidad del grupo de máquinas "HUSKY 2"**

$$Conf = \frac{8760 - 0.98 \times 980.8}{8760} \times 100 = 89\%\ de\ confiabilidad.$$

- **Confiabilidad del grupo de máquinas "HUSKY 3"**

$$Conf = \frac{8760 - 0.98 \times 1098.95}{8760} \times 100 = 87.7\%\ de\ confiabilidad.$$

- **Confiabilidad del grupo de máquinas "HUSKY 4"**

$$Conf = \frac{8760 - 0.98 \times 1279.59}{8760} \times 100 = 85.68\%\ de\ confiabilidad.$$

- **Confiabilidad del grupo de máquinas "HUSKY 5"**

$$Conf = \frac{8760 - 0.98 \times 1202.1}{8760} \times 100 = 86.55\%\ de\ confiabilidad.$$

- **Confiabilidad media.**

Es la media aritmética de la disponibilidad de todos los equipos que son analizados, y se obtiene mediante el cociente de la sumatoria total de todos los equipos analizados entre la cantidad total de equipos analizados.

$$Confiabilidad\ media = \frac{\sum Confiabildad\ de\ todos\ los\ equipos}{Cantidad\ de\ equipos}$$

$$Confiabilidad\ media = \frac{0.88+0.89+0.877+0.8568+0.8655}{5} \times 100 = 87{,}39\%.$$

8.3. MTBF (Mid Time Between Failure, tiempo medio entre fallos)

Nos permite conocer la frecuencia con que suceden las averías, y se obtiene mediante el cociente del número de horas totales del periodo de tiempo analizado y el número de averías acorridas durante ese periodo.

$$MTBF = \frac{Numero\ de\ horas\ totales\ del\ periodo\ analizado}{Numero\ de\ averias}$$

Según los registros de ordenes de trabajo en el 2018 se registro un total de 870 averias, disribuidas de la siguente forma: La **HUSKY 1** registro 165 averias, La **HUSKY 2** registro 144 averias, la **HUSKY 3** registro 173 averias, la **HUSKY 4** registro 197 averias y la **HUSKY 5** registro 191 averias.

Aplicando la formula de “MTBF” se tiene:

- **Tiempo medio entre fallos del grupo de máquinas “HUSKY 1”.**

$$MTBF = \frac{8760}{165} = 53.09\ h.$$

- **Tiempo medio entre fallos del grupo de máquinas “HUSKY 2”.**

$$MTBF = \frac{8760}{144} = 60.83\ h.$$

- **Tiempo medio entre fallos del grupo de máquinas “HUSKY 3”.**

$$MTBF = \frac{8760}{173} = 50.63\ h.$$

- **Tiempo medio entre fallos del grupo de máquinas "HUSKY 4".**

$$MTBF = \frac{8760}{197} = 44.43\ h.$$

- **Tiempo medio entre fallos del grupo de máquinas "HUSKY 5".**

$$MTBF = \frac{8760}{191} = 45.86\ h.$$

- **Tiempo medio entre fallos general de todos los grupos de máquinas.**

$$\boldsymbol{MTBF = \frac{5 \times 8760}{870} = 50.34\ h.}$$

8.4. MTTR (Mid Time To Repair, tiempo medio de reparación)

Nos permite conocer la importancia de las averías que se producen en un equipo considerando el tiempo medio hasta su solución, y se obtiene mediante el cociente del número de horas por avería y el número total de averías.

$$MTTR = \frac{Numero\ de\ hora\ de\ paro\ por\ averia}{Numero\ de\ averias}$$

- **Tiempo medio de reparación del grupo de máquinas "HUSKY 1".**

$$MTTR = \frac{1071.48}{168} = 6.37\ h.$$

- **Tiempo medio de reparación del grupo de máquinas "HUSKY 2".**

$$MTTR = \frac{980.8}{144} = 6.81\ h.$$

- **Tiempo medio de reparación del grupo de máquinas "HUSKY 3".**

$$MTTR = \frac{1092.95}{173} = 6.32\ h.$$

- **Tiempo medio de reparación del grupo de máquinas "HUSKY 4".**

$$MTTR = \frac{1279.59}{197} = 6.49\ h.$$

- **Tiempo medio de reparación del grupo de máquinas "HUSKY 5".**

$$MTTR = \frac{1202.1}{191} = 6.29\ h.$$

- **Tiempo medio de reparación general de todos los grupos de máquinas.**

$$MTTR = \frac{5627.12}{870} = 6.46\ h.$$

CAPITULO 9

9. DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO.

9.1. Introducción.

La finalidad de este capítulo es el diseño de un plan de mantenimiento efectivo para el sistema eléctrico de máquinas inyectoras de plástico y para sus equipos periféricos. El diseño de un plan de mantenimiento es bastante complejo, ya que, un mal diseño significaría el uso inadecuado e innecesario de los recursos de la empresa. Es por ello que el diseño del plan de mantenimiento preventivo para el sistema eléctrico de las maquinas inyectoras de plástico y equipos periféricos conexos, se basara en los principios de la metodología del **MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (MCC),** lo cual ya fue descrito en capítulos anteriores. En este capítulo se describe todos los pasos para la elaboración de un programa de mantenimiento basado en MCC.

Se analizan las posibles fallas del equipo, así como sus respectivas soluciones.

Todo esto es registrado en una tabla de información, posterior al análisis de los datos recolectados, se toman las decisiones que son registradas en una tabla de decisiones.

En este trabajo se presta principal atención en la realización de las tablas de AMEF (análisis de los efectos y sus modos de falla). La elaboración de un plan de mantenimiento a partir de esta tabla utilizando en árbol lógico de decisiones. Dicho árbol de decisión fue respondido por el grupo de trabajo.

La capacitación de los integrantes del grupo de trabajo fue realizada por el facilitador. Para el estudio de la teoría del MCC fueron utilizadas materiales didácticos facilitados por la ASME, así como el del libro de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad John Moubray.

9.2. Fase 1. Planeamiento.

9.2.1. Selección de los equipos.

El plan de mantenimiento preventivo para el sistema eléctrico, se diseñara exclusivamente para maquinas inyectoras de plásticos y para sus equipos periféricos conexos, que en este caso son 5, todas de la marca HUSKY de características exactamente iguales, y por ende no es necesario analizar todos los grupos de máquinas (inyectoras y periféricos) ya que todos los modos de fallas serán iguales, por ello en este proyecto de fin de grado se analizara solamente la **maquina inyectora HUSKY 4 y sus periféricos**, cual es el grupo de máquinas con mayor índice de paradas por fallas eléctricas, y plan de mantenimiento diseñado para este grupo de máquinas, será también aplicable a los demás grupos.

Cada máquina inyectora y equipos periféricos funcionan como una línea de producción, con lo que, la falla de la maquina inyectora o de algún periférico, conlleva generalmente a la parada de toda la producción.

El motivo por el cual se seleccionaron estos equipos, es porque, estos son los encargados de fundir la materia prima (plástico PET) y fabricar las preformas de embaces para bebidas alimenticias, estas preformas son moldeados mediante el proceso de soplado en las maquinas sopladoras, dándole las formas y características de acuerdo a cada producto o según las especificaciones dadas por el cliente. Por lo tanto, es evidente la importancia de las maquinas inyectoras de plástico en esta industria.

9.2.2. El equipo natural de trabajo.

Para la selección de los integrantes del equipo de aplicación de la metodología de MCC fueron basados en el perfil, experiencia y conocimiento técnico. Más abajo esta descrito cada uno de los integrantes de acuerdo a su perfil.

a. Especialista en mantenimiento predictivo que actualmente realiza análisis de vibraciones y Termografía en la planta.

b. Técnicos de mantenimiento con amplia experiencia en máquinas inyectoras.

c. Encargados de turnos del sector de soplado con por lo menos 10años de experiencia.

El número de integrantes del equipo de trabajo es de 7 en total, incluido dos facilitadores.

Figura 9.1. Equipos naturales de trabajo.

9.2.2.1. Estructura de reuniones.

Una vez escogido el equipo que será objeto de un análisis según la metodología del MCC. El equipo se rigió por un cronograma de reuniones previamente

acordado con todas las partes involucradas de acuerdo a la disponibilidad de cada uno.

La estructuración de estas reuniones exigió la elaboración de formularios que eran necesarios para hacer efectiva los trabajos. Entre estos documentos, fueron utilizados para el estudio del caso los siguientes: Lista de asistencia, planilla de AMEF, diagrama de decisión, planilla de decisión y el sistema operacional del equipo.

CRONOGRMA DE ACTIVIDADES DEL GNT	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO
REUNIONES DE ORGANIZACIÓN Y PLANEACION						
SELECCIÓN DEL EQUIPO Y DEFINICION DEL CONTEXTO OPERACIONAL						
DEFINICION DE LOS ESTANDARES DE FUNCIONAMIENTO						
FALLAS FUNCIONALES						
IDENTIFICAR MODOS DE FALLA						
ANALIZAR LOS EFECTOS Y CONSECUENCIAS DE LAS FALLAS						
ANALISIS DE LA INFORMACION Y ESTRUCTURACION LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO						

Tabla 9.1. Cronograma de reuniones.

9.3. Fase 2: Análisis técnico.

9.3.1. Caracterización del equipo.

La descripción del equipo, funcionamiento de cada una de sus partes y la definición de los patrones de desempeño con base a las recomendaciones descritas en el Libro de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad John Moubray, en conjunto con todos los integrantes del equipo de trabajo, teniendo una visión amplia del sistema proporcionada por cada uno de los integrantes de acuerdo al nivel de conocimiento individual de cada uno.

La máquina inyectora y los periféricos ya fueron descritos en los apartados 2.2. y 6.1. Del capítulo 2 y 6 respectivamente.

9.3.2. Aplicación de la AMEF.

9.3.2.1. Nivel de análisis.

Las causas de toda falla funcional, pueden definirse a cualquier nivel de detalle, y estos diferentes niveles son apropiados para las distintas situaciones.

En un extremo, es suficiente resumir las causas de las fallas funcionales en un enunciado, como ser “la máquina falla”.

Por otro, debemos considerar que es lo que falla a nivel molecular y/o explorar los rincones más remotos de la psique de los operadores y mantenedores para definir las llamadas causas de falla raíz.

El nivel de detalle utilizado para el estudio es de nivel 2. En el Capítulo 4 se analiza cada uno de los niveles de detalle.

9.3.2.2. Definición y análisis de los modos y efectos de las fallas.

Para el estudio por el método de Análisis y efectos de Falla (AMEF), fueron elaboradas las planillas de Información y Decisión. Con base en las explicaciones

de los facilitadores de en qué consiste las planillas, se inició el proceso de análisis partiendo por la determinación de las funciones y patrones de desempeño; seguida de las fallas funcionales resultantes por la pérdida de cada función, los modos de falla y los efectos y consecuencias de cada falla.

Todas las informaciones fueron reunidas y registradas en la PLANILLA, conforme al ilustrado en la tabla (planilla de AMEF).

La planilla de AMEF se encuentra en el apéndice B.6.

Es importante acotar que el levantamiento y la clasificación de las consecuencias de falla durante la AMEF, conforme a lo realizado en este estudio, constituyen aspectos esenciales para la continuidad del proceso de MCC, exigidos para la aplicación del diagrama de decisión del plan de mantenimiento.

TIPO DE FUNCION	FUNCION:	Estándar de funcionamiento	FALLA FUNCIONAL		MODOS DE FALLA (causa de la falla)		EFECTO DE LA FALLA (que sucede cuando falla)
Principal	14	Proporcionar fuerza motriz a la bomba Hidraulica		Incapaz de proporcionar fuerza motriz a la bomba Hidraulica	29	Falla en los bornes del motor M1	No es evidente, el motor no arranca, Dejando inoperativa la bomba hidraulica, lo cual ocaciona que la maquina inyectora emita una alarma de falta de presion de aceite y se detenga completamente.
Principal	14	Proporcionar fuerza motriz a la bomba Hidraulica		Incapaz de proporcionar fuerza motriz a la bomba Hidraulica	30	Bobinados del motor M1 roto o quemado	No es evidente,proboca sobre calentamiento, cortocircuito, lo cual hace actuar a las protecciones o que no arranque. Esto ocaciona que el motor sea incapaz de proporcionar fuerza motriz. Dejando inoperativa la bomba hidraulica, lo cual ocaciona que la maquina inyectora emita una alarma de falta de presion de aceite y se detenga completamente
Principal	14	Proporcionar fuerza motriz a la bomba Hidraulica		Incapaz de proporcionar fuerza motriz a la bomba Hidraulica	31	Rodamientos en mal estado	No es evidente, el motor se sobrecalienta, lo cual hace disparar al rele de sobre carga, proboca vibracione y ruidos anormales. Esto ocaciona que el motor sea incapaz de proporcionar fuerza motriz, Dejando inoperativa la bomba hidraulica, lo cual ocaciona que la maquina inyectora emita una alarma de falta de presion de aceite y se detenga completamente.
Principal	14	Proporcionar fuerza motriz a la bomba Hidraulica		Incapaz de proporcionar fuerza motriz a la bomba Hidraulica	32	Ventilador averiado	Si es evidente. El motor puede presentar ruidos o vibraciones, lo cual imposivilita que pueda trabajar con carga o que haga actuar la protecciones por sobre calentamiento. Esto ocaciona que el motor sea incapaz de proporcionar fuerza motriz, Dejando inoperativa la bomba hidraulica, lo cual ocaciona que la maquina inyectora emita una alarma de falta de presion de aceite y se detenga completamente.
Principal	14	Proporcionar fuerza motriz a la bomba Hidraulica		Incapaz de proporcionar fuerza motriz a la bomba Hidraulica	33	Eje del rotor desbalanceado	No es evidente. El motor puede presentar ruidos o vibraciones, lo cual imposivilita que pueda trabajar con carga o que haga actuar la protecciones por sobre calentamiento. Esto ocaciona que el motor sea incapaz de proporcionar fuerza motriz, Dejando inoperativa la bomba hidraulica, lo cual ocaciona que la maquina inyectora emita una alarma de falta de presion de aceite y se detenga completamente.

Tabla 9.2. Planilla de información de AMEF del sistema hidráulico de la máquina inyectora.

9.3.3. Análisis de los modos y efectos de fallas.

En lo que respecta al AMEF fuente es el elemento de mayor interés y sustento para la metodología del Mantenimiento Centrado en confiabilidad, realizado a todos los sistemas eléctricos de las maquinas inyectoras y de los equipos periféricos conexos, donde se determinaron todas las funciones (156) de todos los componentes, así como las fallas funcionales 151, modos de fallas (337) y los efectos que traen los modos de falla.

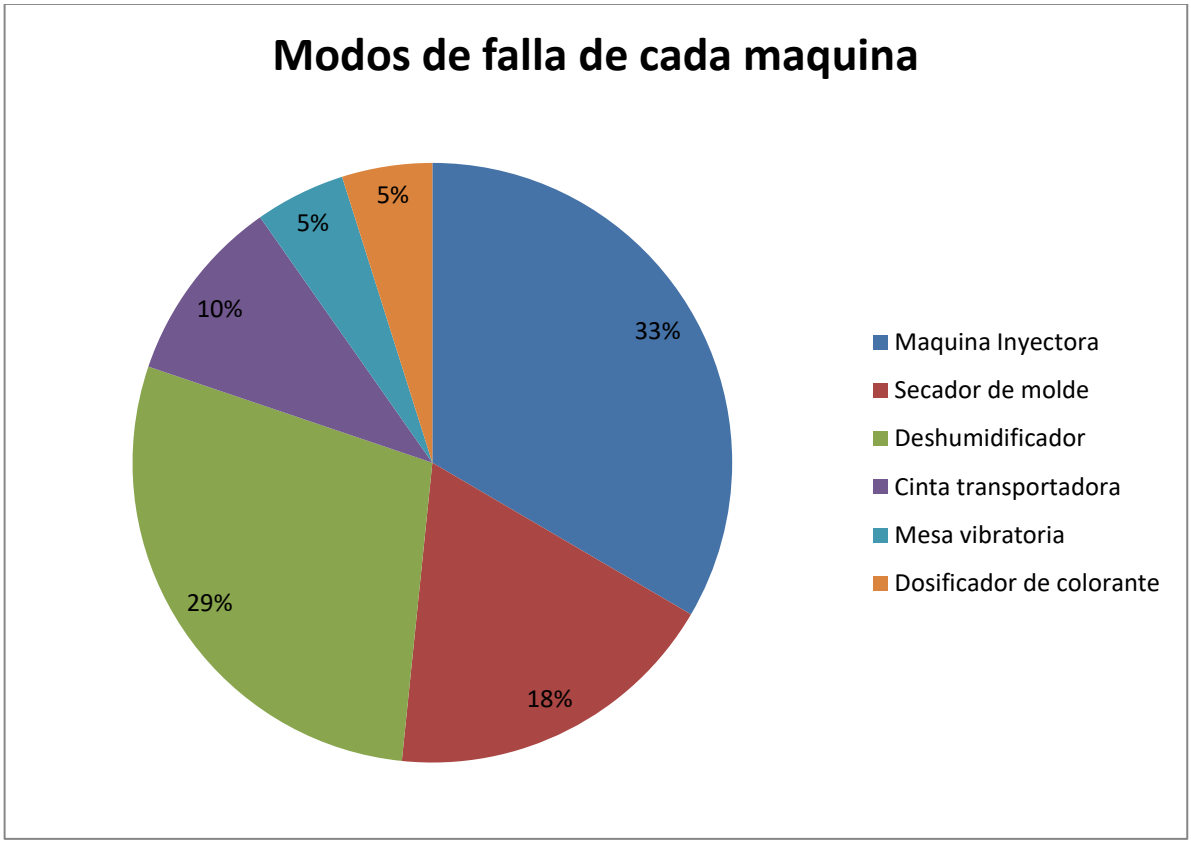


Tabla 9.3. Distribución porcentual de los modos de falla por sistema (Planilla de AMEF)

9.3.4. Aplicación del diagrama de decisión.

Por cada sistema se han definido las funciones y sus estándares de funcionamiento deseados. Las funciones y sus estándares fueron establecidas considerando las opiniones del personal de mantenimiento y los manuales de los equipos.

Seguidamente se han definido la perdida (parcial y total) de las funciones definidas anteriormente. Por cada falla funcional se empiezan a investigar cuales pueden ser la causa que puedan ocasionar la perdida de la función definida. Con el personal de mantenimiento fueron investigados aquellos modos de fallas que ocurrieron en el pasado y algunos otros modos de fallas probables. Aquellos modos de falla que son poco probables de ocurrir fueron descartados de la lista y se asumirá un trabajo reactivo. Sin embargos aquellos poco probables, pero con consecuencias severas sí se tuvieron en cuenta.

9.4. Fase 3. Establecimientos de procedimientos de mantenimiento.

9.4.1. Etapa de establecimiento de los procedimientos de mantenimiento.

Con base a las informaciones levantadas en la planilla AMEF, el diagrama de decisión y las planillas de registro, se elabora las tareas con sus respectivas frecuencias. Dicha planilla contiene el código general de identificación del sistema, código de la tarea, relacionado a la función, la falla funcional y el modo de falla.

En la planilla de **AMEF** está la descripción de la tarea a realizar y la frecuencia de la tarea. El plan inicial de mantenimiento para la maquina inyectora y sus periféricos contempla las actividades de mantenimiento consideradas como fundamentales para mejorar la confiabilidad del equipo. Las frecuencias de mantenimiento son semanales, mensuales, trimestrales y anuales. En la tabla 8.2

se puede observar la hoja de decisión donde fueron hacendadas todo lo dicho en lo anterior.

Es importante mencionar que el plan de mantenimiento elaborado tiene una valides de un año, posterior a esto se tendrá que hacer una revisión de los datos estadísticos de la máquina, esto a modo de ver que fallas no han sido subsanadas con la tarea aplicada y también registrar nuevos modos de fallas (que no fueron consideradas) para la aplicación de una tarea.

HOJA DE DECISIÓN

PLANILLA DE DESICION RCM	SISTEMA: MOTOR DE BOMBA HIDRAULICA DE HUSKY 4	COORDINADOR:	FECHA:
COMPONENTE:		EQUIPO: Gerente y Encargados de produccion / Tecnicos de mantenimiento	HOJA:
SUB COMPONENTE:			

Informacion de referencia				Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1	H2 S2 O2	H3 S3 O3	Acciones "a falta de"			gra v.	Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	Puede ser realizado por
	F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4	CIT			
29	14	14	29	N	N	N	S	N	S	N					1 Realizar una inspeccion visual en la bornera del motor, 2 reapriete de bornes, 3 realizar pruebas termograficas, para detectar indicios de fallas.	1. Trimestral 2. Semestral 3. Anual	1.Personal de mantenimiento 2.Personal de mantenimiento 3. Tercerizado
30	14	14	30	N	S	N	S	N	S	N					1 Realizar analisis de vibraciones, 2 realizar prueba de megado al motor, en el caso de detectar que el bobinado esta roto o quemado, esta debe ser rebobinada.	1. Anual 2. Anual	1 y 2 Tercerizado
31	14	14	31	N	N	N	S	S	S	N					Realizar analisis de vibraciones al motor, en el caso de detectar posibles fallas en el rodamiento, esta devera ser reemplazado.	1. Anual	Tercerizado
32	14	14	32	N	N	N	N	S	S	N					Realizar una inspeccion visual al ventilador del motor, si se detecta alguna averia del ventilador, esta devera ser reemplada.	Cuando sea necesario.	Personal de mantenimiento
33	14	14	33	S	N	N	N	S	S	N					Realizar analisis de vibraciones al motor, si se constata el desbalanceo del rotor, se debe evaluar si es posible solucionar el desbalanceo, si no, debera ser reemplazado.	Cuando sea necesario.	Tercerizado

Tabla 9.4. Hoja de decisión de AMEF del sistema hidráulico de la máquina inyectora.

9.4.2. Inspecciones.

Las inspecciones serán realizados por los operarios de las maquinas o por el personal de mantenimiento para detectar posibles fallas de manera temprana, en la planilla de **AMEF** se detalla los componente y partes a ser inspeccionadas, básicamente en búsqueda de sulfatación de bornes, conductores sueltos,

componentes con señales de derretimiento, motores con vibraciones fuera de lo normal o con un mal funcionamiento visible, con las inspecciones no solo se puede detectar fallas eléctricas, si no también otras fallas, ya sea del sistema mecánico, hidráulico o neumático. Las inspecciones se realizarán de manera semanal o trimestral dependiendo del sistema y de los componentes a inspeccionar, en este punto también se puede considerar limpiezas periódicas de los componentes que están expuestos a sustancias contaminantes y que puedan provocar algún tipo de falla o accidentes.

9.4.3. Mantenimiento preventivo.

Mantenimiento preventivo incluye todo lo referente a cambios de piezas por tiempo de todos los compontes que puedan presentar principios de fallas debido a la antigüedad de los mismos o por desgastes causado por las condiciones de uso, en la planilla de **AMEF** se indican los componentes a ser cambiados por tiempo en intervalos trimestrales, semestrales o anuales, en la mayoría de los casos estas intervenciones pueden ser realizados por el personal de mantenimiento de la empresa y en algunos casos dependiendo de la complejidad deberá ser realizado por técnicos externos a la empresa.

9.4.4. Mantenimiento predictivo.

Es también conocido como mantenimiento predictivo, donde se utiliza técnicas de vibraciones, termografías y megado.

9.4.4.1. Análisis de vibraciones.

El análisis de vibraciones se aplica a los motores eléctricos para detectar deterioro en los rodamientos, desbalanceo del eje y vibraciones causadas por fallas eléctricas tales como: bobinados rotos o quemados, desbalanceo magnéticos, rupturas de barras del rotor, etc. Este análisis se recomienda realizar inicialmente

en intervalos semestrales y anuales, además se recomienda tener un registro de todos los componentes a ser sometido a este análisis, para realizar comparaciones e ir monitoreando su desgaste, lo cual permitirá realizar intervenciones preventivas más eficaces. Debido a que la empresa no cuenta con personal capacitado para realizar el análisis de vibraciones, esta deberá ser realizada por técnicos externos a la empresa (tercerizado).

9.4.4.2. Análisis de termografía infrarroja.

Análisis de termografía infrarroja, esto se aplica a los tableros eléctricos, motores y transformadores, a modo de detectar puntos calientes en contactares, llaves termo magnéticas, guarda motores, placas electrónicas, etc.

Gracias al análisis de tomografía se solucionan problemas de sobrecargas en los aparatos eléctricos. La frecuencia de estos análisis termografías de trimestral. Este periodo fue recomendado por la empresa AB confiabilidad, empresa que realiza servicios análisis de vibraciones, termografías etc.

9.4.5. Mantenimiento correctivo.

El mantenimiento reactivo o correctivo será aplicado a aquellos componentes que a pesar de ser utilizadas técnicas de mantenimiento preventivas o predictivas han presentado fallas o porque no se tuvo en cuenta, estas fallas deberán ser analizadas para determinar cuál fue la causa e incluirlo en la planilla de Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF).

Con la ejecución de plan de mantenimiento diseñado en este proyecto de fin de grado, se estima una reducción las tareas de mantenimiento correctivo del sistema eléctrico de todos los grupos de máquinas analizados en un 30% en el primer año de aplicación, 20% en el segundo año, 10% en el tercer año, más el 5% para el cuarto año, e igualmente más un 5% para el quinto año, totalizando una reducción del 70%.

Estas estimaciones fueron proporcionadas por la gerencia técnica y están basadas en la planilla de AMEF realizada en este proyecto de fin de grado, y en resultados obtenidos de planes de mantenimiento similares basado en MCC aplicado a otros sistemas de la planta.

En concreto las reducciones presentadas en el párrafo anterior, son lo mínimamente esperado con la aplicación correcta del plan de mantenimiento basado en MCC, si no, se logra las reducciones estimadas de tareas de mantenimiento correctivo de los sistemas eléctricos de los equipos analizados, se deberá revisar y analizar los factores que impidieron que se alcance las reducciones estimadas para cada año.

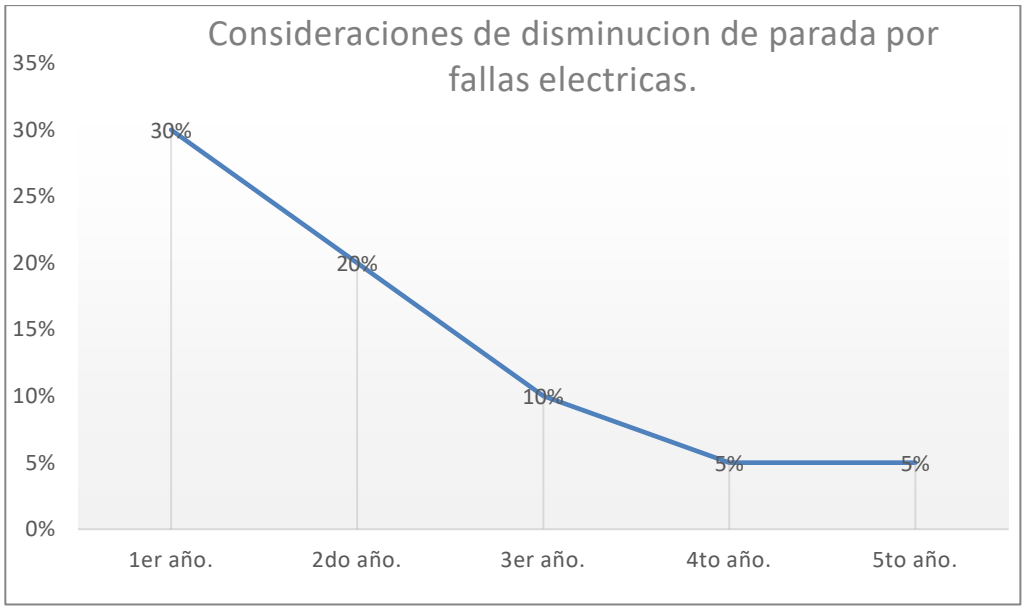


Tabla 9.5. Estimación de reducción de tareas de mantenimiento correctivo por fallas eléctricas posterior a la implantación del plan de mantenimiento basado en MCC.

Resumiendo, en la siguiente figura se detallan el porcentaje de las técnicas de mantenimiento aplicadas a todos los modos de falla analizados.

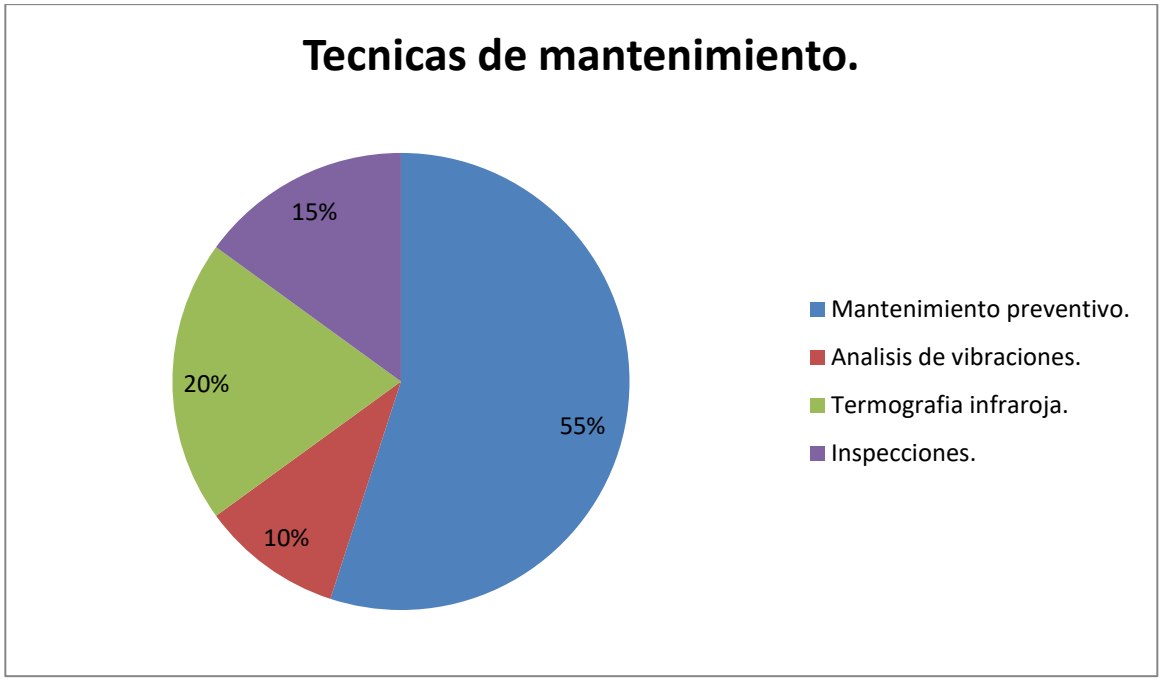


Tabla 9.6. Distribución porcentual de las distintas técnicas de mantenimiento aplicadas a los modos de falla.

10. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con la implementación del plan de mantenimiento diseñado en este proyecto de fin de grado se garantiza el aumento de la confiabilidad y disponibilidad de las maquinas inyectoras de plástico y de sus equipos periféricos conexos, reduciendo las horas de paradas por fallas eléctricas y por ende se aumentará la producción de preformas (PET) lo que se traduce a mayores beneficios económicos para la empresa.

Para el diseño del plan de mantenimiento se optó por la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), la cual ha demostrado ser una de las metodologías existentes más eficaces para el diseño de un plan de mantenimiento.

Durante el diseño del plan de mantenimiento se analizaron todas las posibles condiciones de falla, asignando la tarea más adecuada de manera a mejorar los estándares de funcionamiento, con una confiabilidad más aceptable considerando los estándares de funcionamiento esperados de los equipos.

Con la ejecución de plan de mantenimiento diseñado en este proyecto de fin de grado, se estima una reducción de las horas de paradas por mantenimiento correctivo del sistema eléctrico de todos los grupos de máquinas analizados en un 30% en el primer año de aplicación, 20% en el segundo año, 10% en el tercer año, más el 5% para el cuarto año, e igualmente más un 5% para el quinto año de aplicación, totalizando una reducción del 70%.

11. CONCLUSIONES

Con la elaboración de este proyecto de fin grado se concluye que con el diseño del plan de mantenimiento para el sistema eléctrico de máquinas inyectoras de plástico y de equipos periféricos conexos, se reducirán las horas de paradas por fallas eléctricas, se optimizara los recursos destinados a tareas de mantenimiento, se aumentara la confiabilidad y disponibilidad de todos equipos, como así también la empresa contara con un plan de mantenimiento basado en MCC perfectamente estructurado que servirá como guía para el diseño de planes de mantenimiento para otros sistemas y equipos de la empresa.

Mediante la evaluación económica se demuestra la viabilidad económica del proyecto, por lo tanto, se concluye que el proyecto es rentable.

12. RECOMENDACIONES

Con la elaboración de este proyecto final de grado se tiene una base de diseño de un plan de mantenimiento, el cual en este caso está enfocado al sistema eléctrico de máquinas inyectoras de pastico y equipos periféricos conexos, basado en la metodología de Mantenimiento centrado en confiabilidad, cuya estructura podrá ser aplicado a otros sistemas de las máquinas, como así también a otros grupos de máquinas de la empresa.

En base a lo expuesto en el párrafo anterior se dan las siguientes recomendaciones:

- Diseñar el plan de mantenimiento para otros sistemas de las maquinas inyectoras de plástico y equipos periféricos conexos, tales como diseño del plan de mantenimiento para el sistema mecánico, cual es también una de las causas fundamentales de paradas en estas máquinas.
- Considerar diseñar un plan de mantenimiento que abarque todos grupos de máquinas de la empresa, tales como el diseño del plan de mantenimiento para maquinas sopladoras y extrusoras de plástico (PET).
- Realizar la revisión del plan de mantenimiento al cabo de un año de implementación.

13. APÉNDICE

Apéndice A: Resumen ejecutivo

Apéndice A.1: Calculo de aumento de disponibilidad.

Para este cálculo se tuvo en cuenta, el índice de paradas actual y las estimaciones de reducción de fallas eléctricas, proporcionadas por la gerencia técnica de le empresa.

Grupo.	Horas de Paradas totales (Actual).	Disponibilidad total (Actual).	Horas de paradas por fallas Eléctricas (Actual).	Disponibilidad del sistema eléctrico (Actual).
HUSKY 1	1071,68	87,8%	550,63	93,7%
HUSKY 2	980,8	88,8%	510,14	94,2%
HUSKY 3	1092,95	87,5%	547,08	93,8%
HUSKY 4	1279,59	85,4%	783,05	91,1%
HUSKY 5	1202,1	86,3%	690,08	92,1%

Tabla A.1.1. Índices de paradas actuales.

Reducción estimada de horas de paradas por fallas eléctricas.					
Grupo.	**Primer año (-30%)**	**Segundo año (-50%)**	**Tercer año (-60%)**	**Cuarto año (-65%)**	**Quinto año (-70%)**
HUSKY 1	385,441	275,315	220,252	192,7205	165,189
HUSKY 2	357,098	255,07	204,056	178,549	153,042
HUSKY 3	382,956	273,54	218,832	191,478	164,124
HUSKY 4	548,135	391,525	313,22	274,0675	234,915
HUSKY 5	483,056	345,04	276,032	241,528	207,024

Tabla A.1.2. Reducción estimada de horas de paradas por falla eléctricas.

Utilizando la fórmula de disponibilidad ($\text{Disp.}=\frac{\text{horas de trabajo-horas de paradas}}{\text{horas de trabajo}}\text{x}100$) y los datos de las tablas anteriores se obtiene la siguiente tabla:

Grupo.	Disponibilidad total proyectada 1er. año.	Disponibilidad total proyectada 2do. año.	Disponibilidad total proyectada 3er. año.	Disponibilidad total proyectada 4to. año.	Disponibilidad total proyectada 5to. año.
HUSKY 1	89,7%	90,9%	91,5%	91,9%	92,2%
HUSKY 2	90,6%	91,7%	92,3%	92,6%	92,9%
HUSKY 3	89,4%	90,6%	91,3%	91,6%	91,9%
HUSKY 4	88,1%	89,9%	90,8%	91,2%	91,7%
HUSKY 5	88,6%	90,2%	91,0%	91,4%	91,8%

Tabla A.1.3. Disponibilidad proyectada posterior a la implementación del plan de mantenimiento.

Apéndice A.2: Aumento de la productividad.

Para el cálculo de aumento de la productividad se tuvieron en cuenta los siguientes datos:

Detalles de producción de la máquina.	
Ciclo de la maquina:	20 segundos
Cantidad por ciclo:	32 preformas
Total, por hora:	5760 pref./hora

Tabla A.2.1. Datos de producción de cada máquina inyectora.

La tabla anterior nos indica que cada máquina inyectora produce 32 preformas cada 20 segundos.

En la siguiente tabla se especifica los costos de producción y ganancia de cada preforma fabricada por los grupos de máquinas analizados.

Costo de producción Gs:	110,4 Gs/pref
Costo de venta Gs:	138 Gs/pref
Ganancia Gs:	27,6 Gs/pref
Margen Neto:	20%

Tabla A.2.2. Detalles de costo de producción y ganancia.

Grupo.	Cantidad de preformas producidas al año.
HUSKY 1	6.172.877
HUSKY 2	5.649.408
HUSKY 3	6.295.392
HUSKY 4	7.370.438
HUSKY 5	6.924.096
TOTAL	32.412.211

Tabla A.2.3. Cantidad de preformas producidas al año actualmente.

Aumento de la cantidad de preformas producidas posterior a la aplicación del plan de mantenimiento.					
Grupo.	**Primer año.**	**Segundo año.**	**Tercer año.**	**Cuarto año.**	**Quinto año.**
HUSKY 1	7.124.365	7.758.691	8.075.854	8.234.436	8.393.017
HUSKY 2	6.530.930	7.118.611	7.412.452	7.559.372	7.706.292
HUSKY 3	7.240.746	7.870.982	8.186.100	8.343.660	8.501.219
HUSKY 4	8.723.549	9.625.622	10.076.659	10.302.178	10.527.696
HUSKY 5	8.116.554	8.911.526	9.309.012	9.507.756	9.706.499
TOTAL	37.736.145	41.285.434	43.060.078	43.947.400	44.834.723

Tabla A.2.4. Cantidad estimada de preformas producidas al año posterior a la implementación del plan de mantenimiento.

Teniendo en cuenta los datos anteriores se obtiene la siguiente tabla:

Aumento estimado de la producción posterior a la aplicación del plan de mantenimiento basado en MCC.					
Grupo.	**Primer año.**	**Segundo año.**	**Tercer año.**	**Cuarto año.**	**Quinto año.**
HUSKY 1	15,41%	25,69%	30,83%	33,40%	35,97%
HUSKY 2	15,60%	26,01%	31,21%	33,81%	36,41%
HUSKY 3	15,02%	25,03%	30,03%	32,54%	35,04%
HUSKY 4	18,36%	30,60%	36,72%	39,78%	42,84%
HUSKY 5	17,22%	28,70%	34,44%	37,31%	40,18%

Tabla A.2.5. Aumento de la cantidad de preformas producidas posterior a la aplicación del plan de mantenimiento.

Apéndice B: Ingeniería de diseño

Apéndice B.1: Esquema unifilar de maquina inyectora de plástico HUSKY.

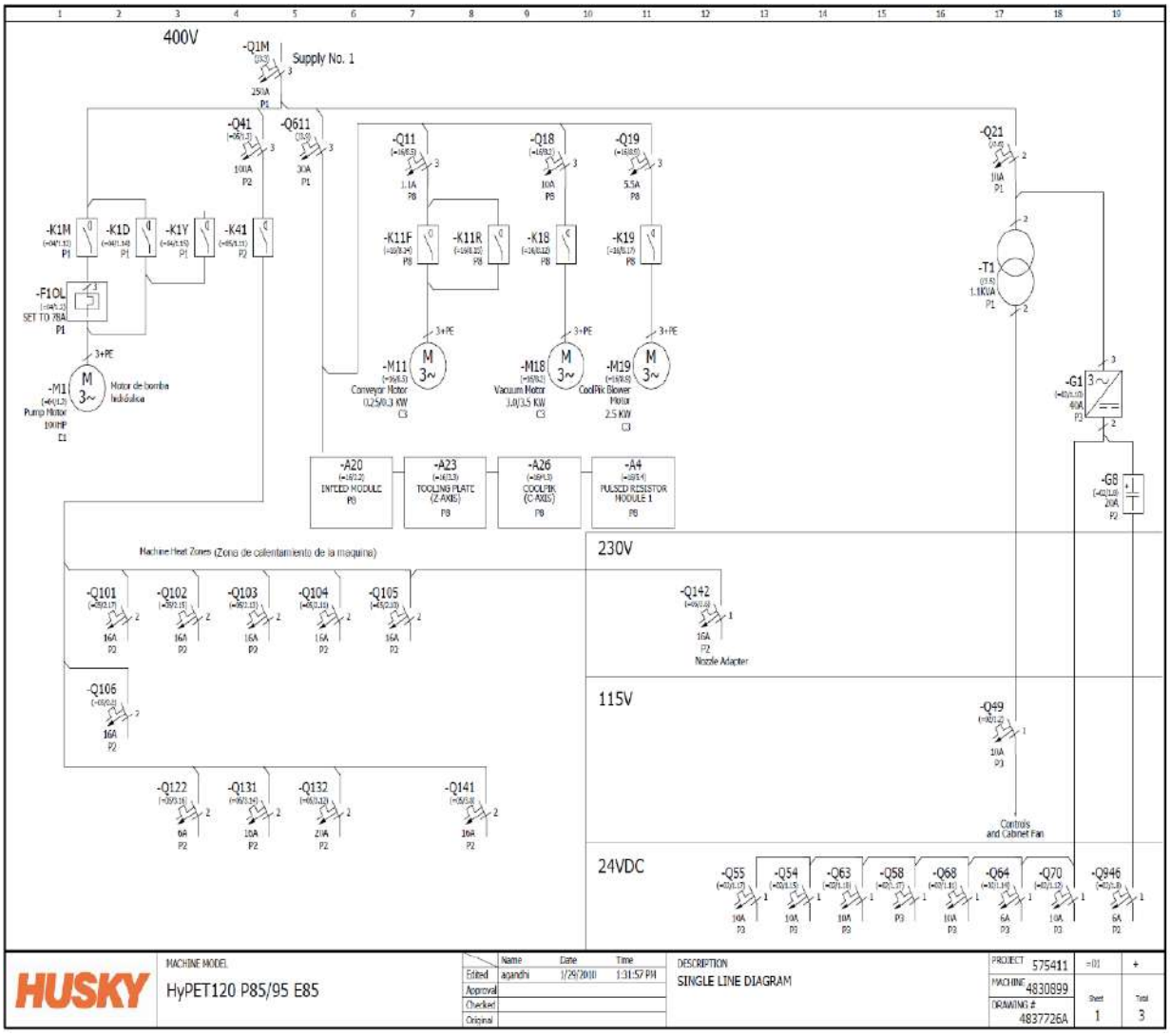


Figura B.1. Esquema unifilar de la maquina inyectora HUSKY(1/2).

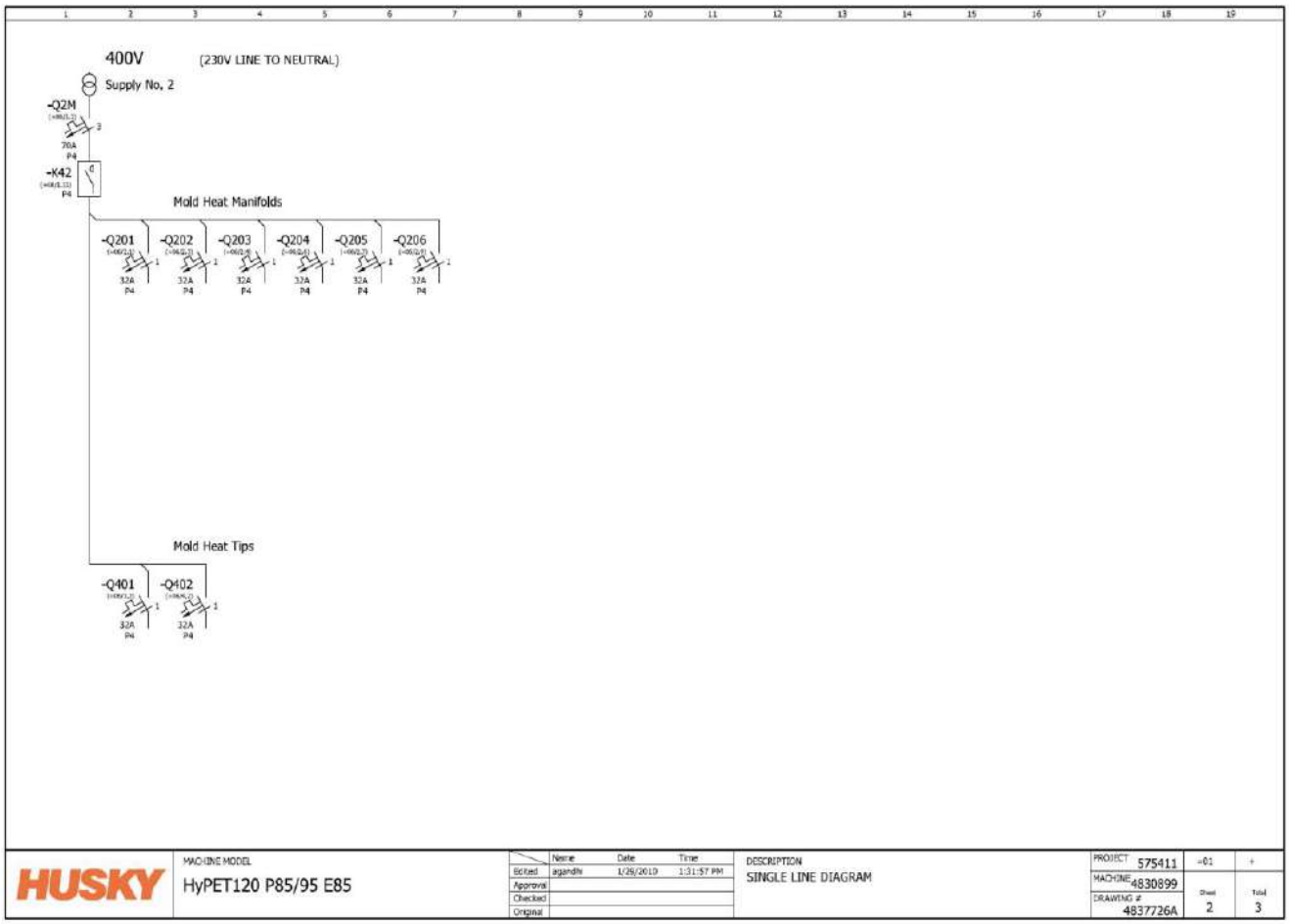


Figura B.2. Esquema unifilar de la maquina inyectora HUSKY (2/2).

Apéndice B.2: Esquema unifilar de deshumidificador de molde.

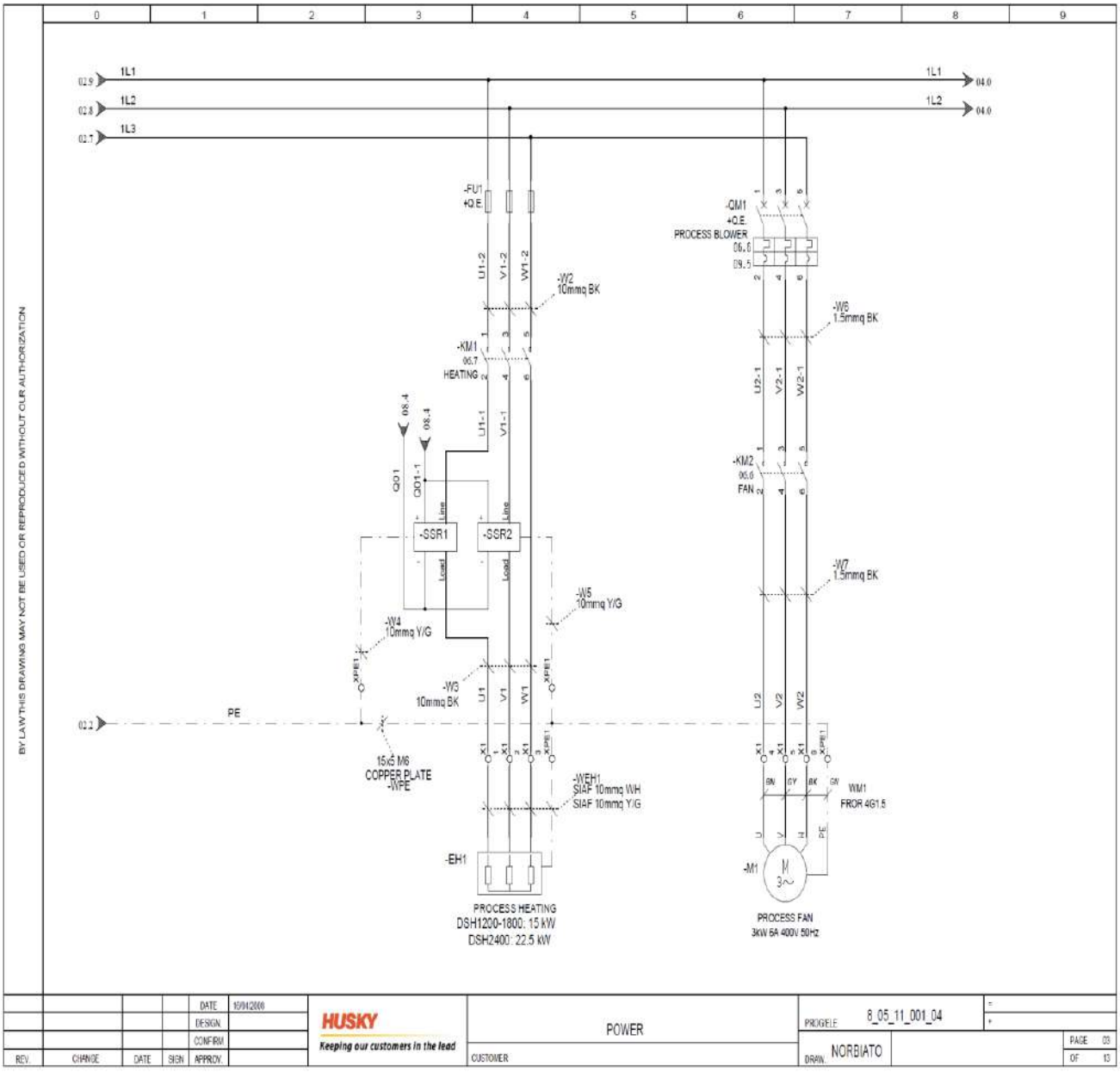


Figura B.3. Esquema unifilar de deshumidificador de molde (1/3).

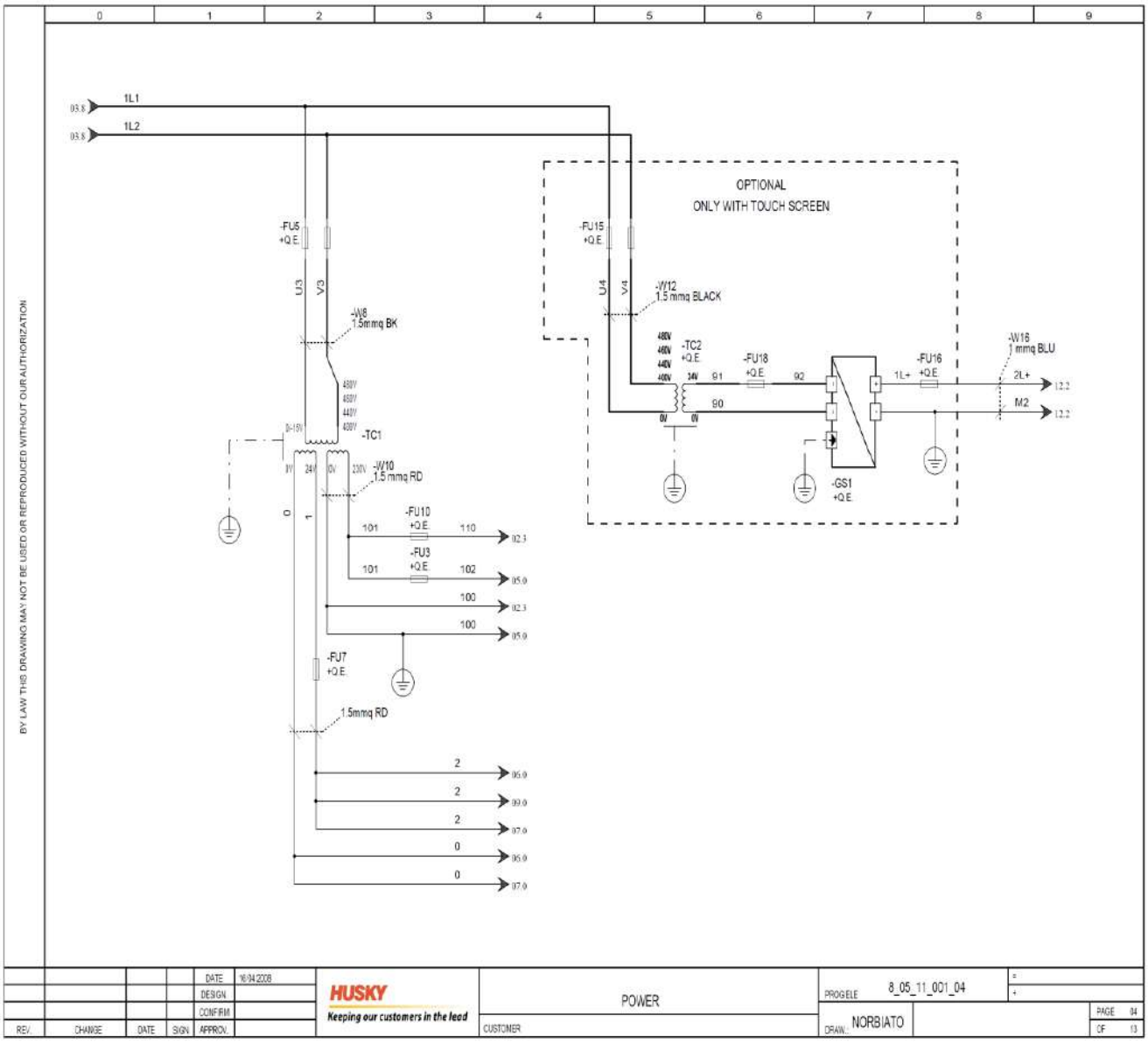


Figura B.4. Esquema unifilar de deshumidificador de molde (2/3).

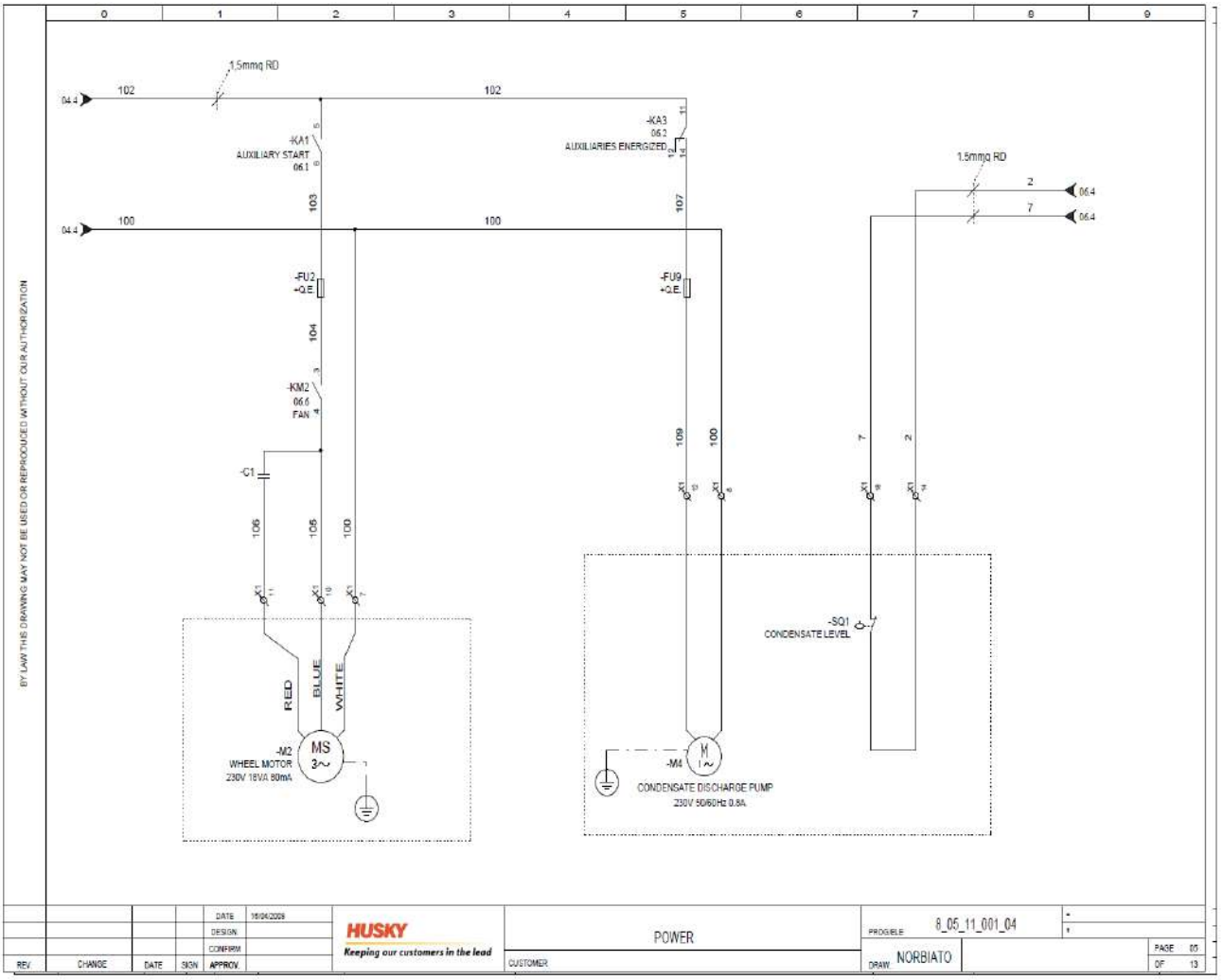


Figura B.5. Esquema unifilar de deshumidificador de molde (3/3).

Apéndice B.3: Esquema unifilar de deshumidificador de materia prima.

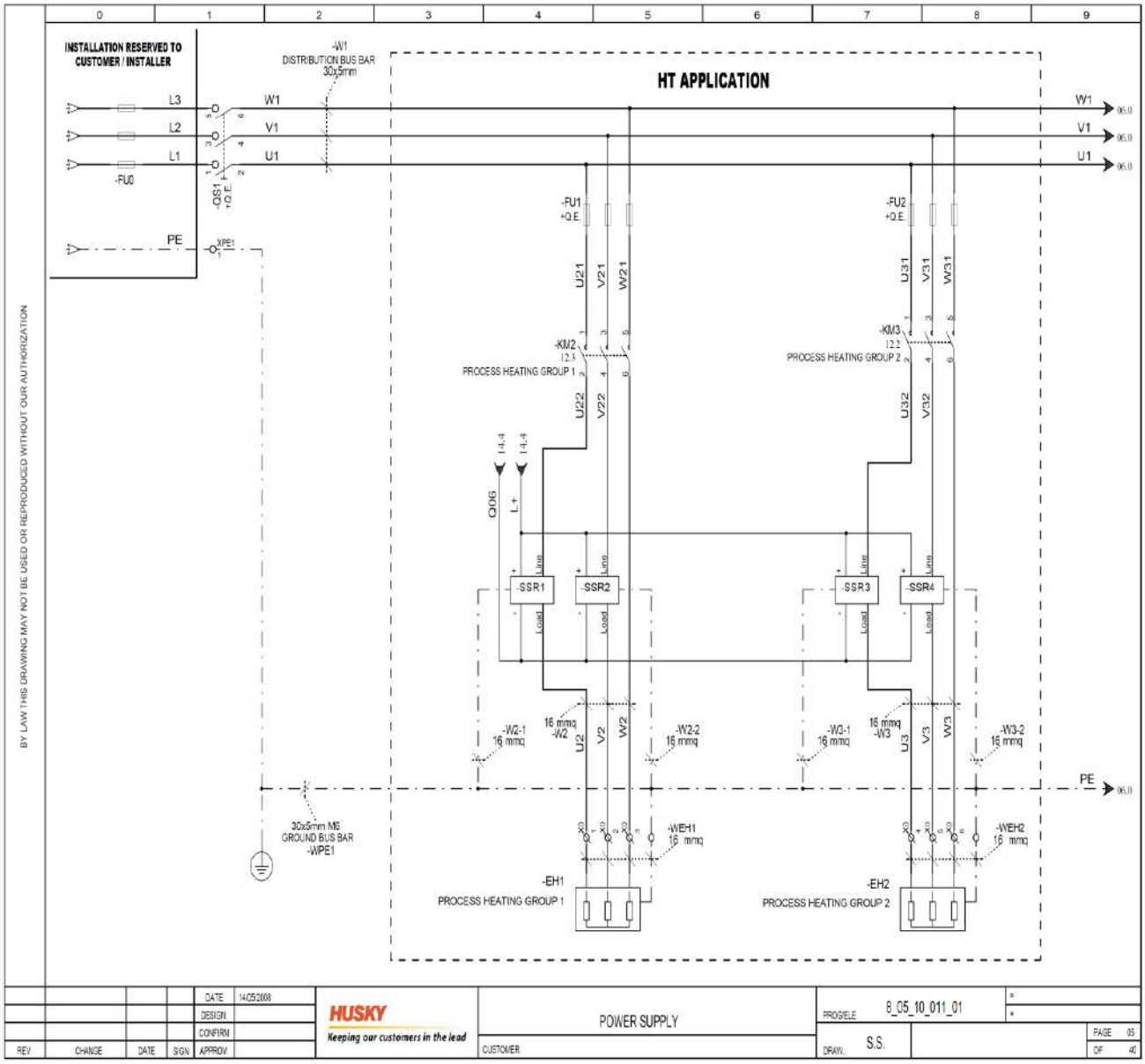


Figura B.6. Esquema unifilar de deshumidificador de materia prima (1/3).

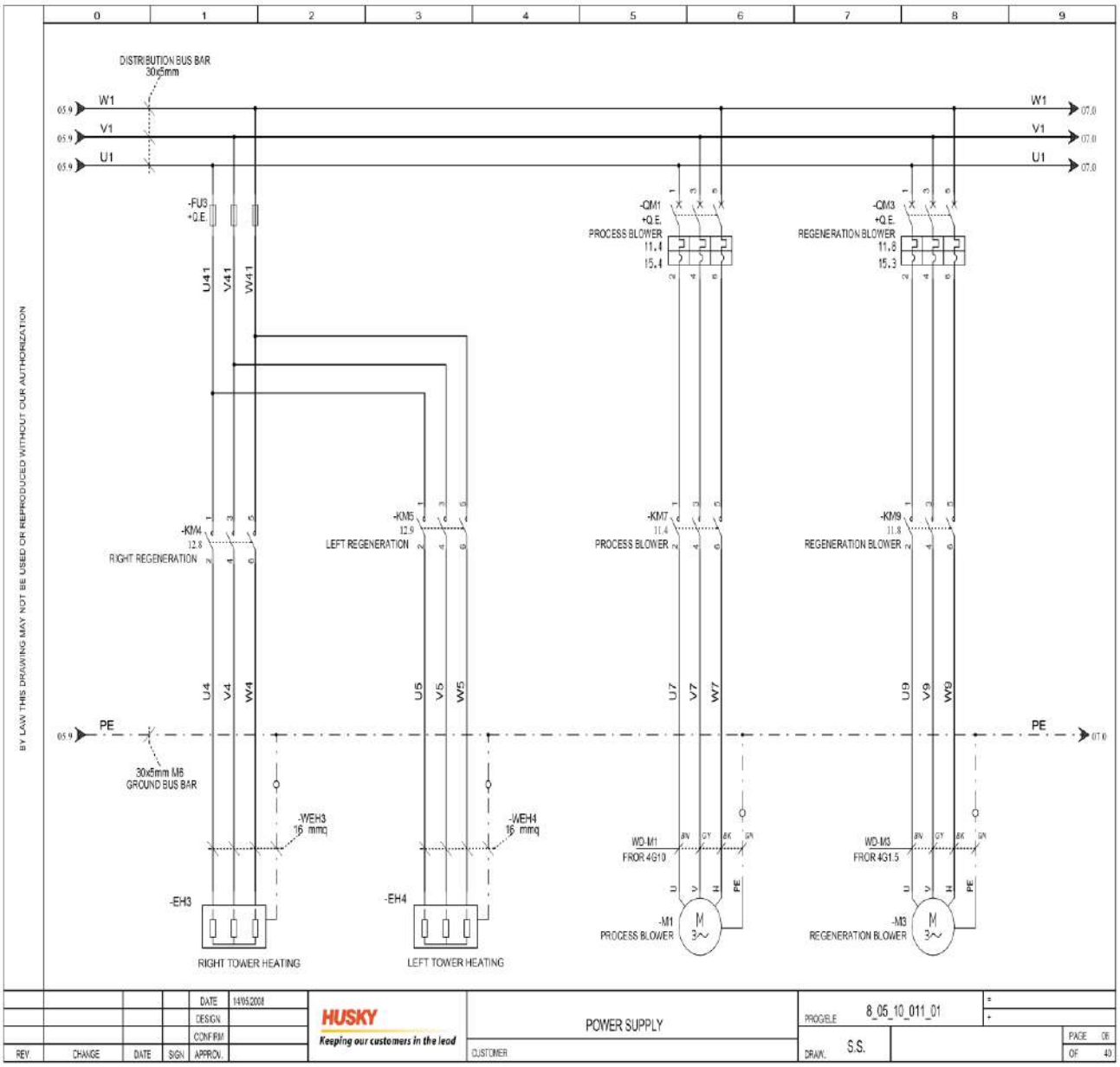


Figura B.7. Esquema unifilar de deshumidificador de materia prima (2/3).

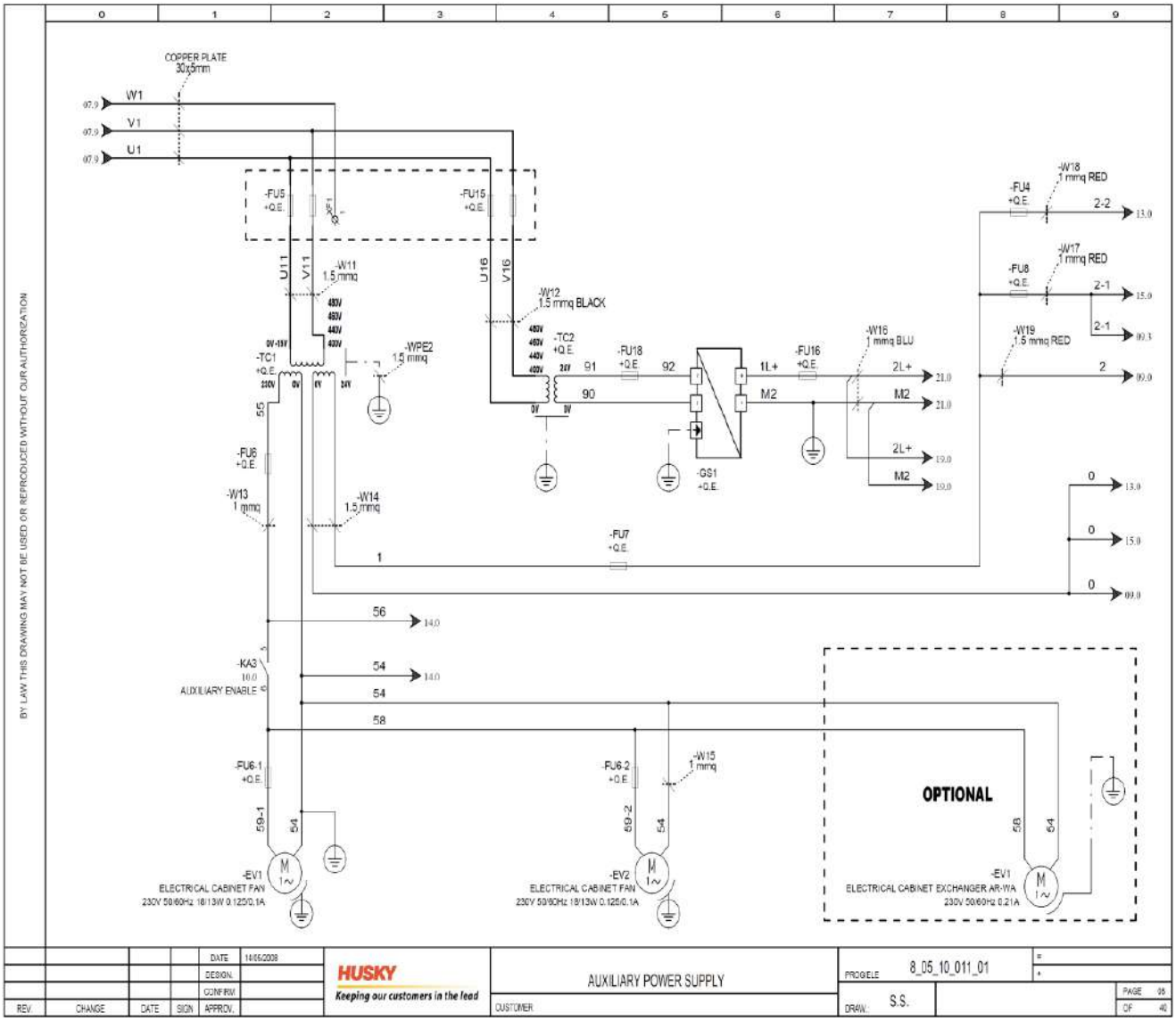


Figura B.8. Esquema unifilar de deshumidificador de materia prima (3/3).

Apéndice B.4: Esquema unifilar de cinta transportadora.

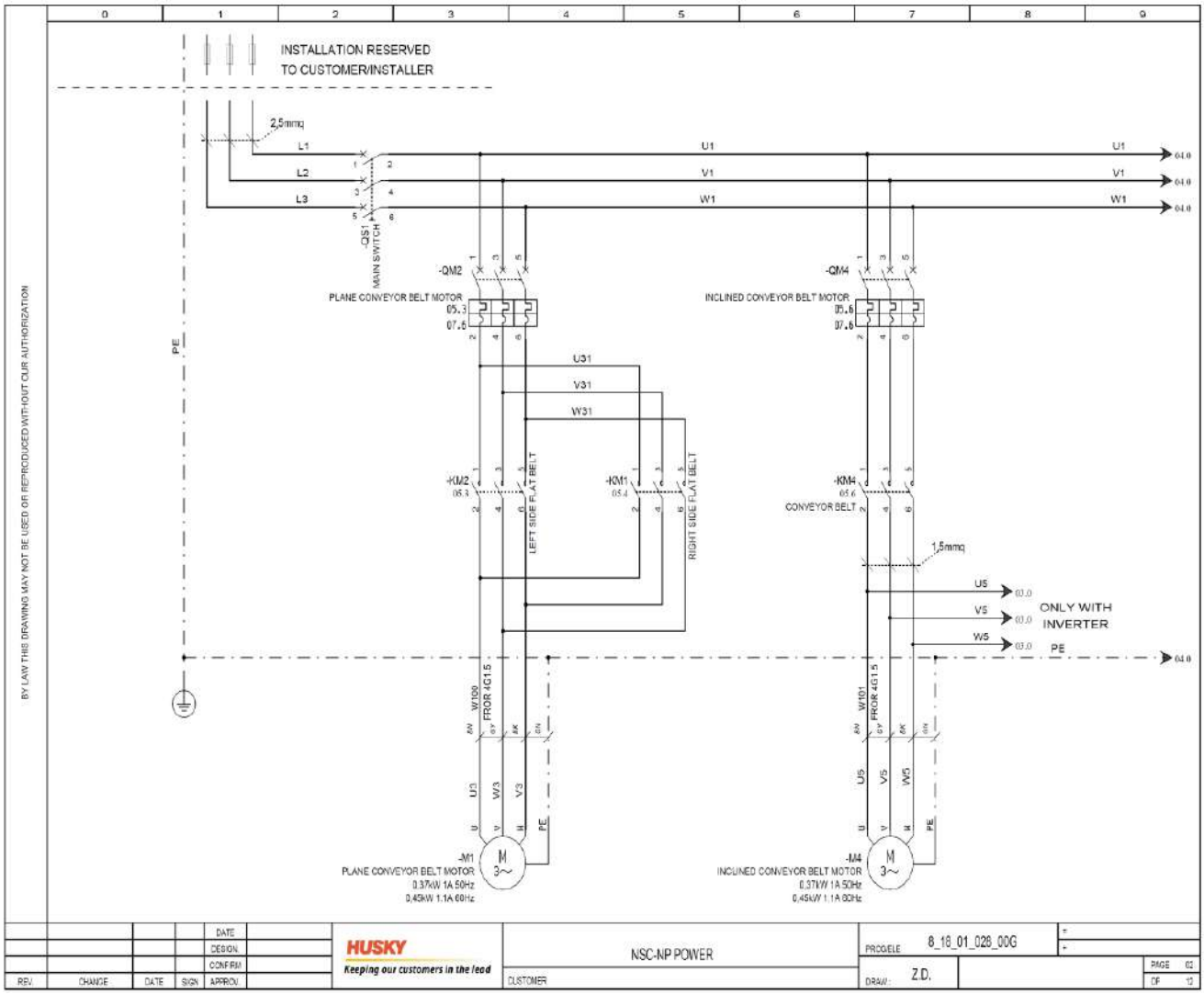


Figura B.9. Esquema unifilar de cinta transportadora.

Apéndice B.5: Maquina inyectora de plástico.

Figura B.10. Maquina inyectora de plástico.

Figura B.11. Maquina inyectora de plástico.

Figura B.12. Tablero general de máquinas.

Apéndice B.6: Planilla de Análisis de modos y Efectos de falla.

Esta planilla es una hoja de cálculo Excel, el cual estará adjuntado con este archivo.

Apéndice C: Evaluación económica.

Apéndice C.1: Flujo de caja proyectada.

A continuación, se presenta el flujo de caja de los beneficios previstos, ingresos y egresos del proyecto.

Flujo de caja						
Horizonte del proyecto.	**Año 0.**	**Año 1.**	**Año 2.**	**Año 3.**	**Año 4.**	**Año 5.**
1. Detalle de ingresos.	–	–	–	–	–	–
1.1. Aumento de la producción.	-	146.940.563	244.900.938	293.881.126	318.371.220	342.861.314
2. Detalle de egresos.	–	–	–	–	–	–
2.1. Costo de repuestos.	264.517.030	21.161.362	21.161.362	21.161.362	21.161.362	21.161.362
2.2. Costo de personal.	45.375.000	45.375.000	45.375.000	45.375.000	45.375.000	45.375.000
2.3. Costo de servicios tercerizados.	35.000.000	35.000.000	35.000.000	35.000.000	35.000.000	35.000.000
Total, egresos.	344.892.030	101.536.362	101.536.362	101.536.362	101.536.362	101.536.362
Fujo neto.	-344.892.030	45.404.201	143.364.576	192.344.763	216.834.857	241.324.951
Flujo acumulado.	-344.892.030	-299.487.829	-156.123.254	36.221.510	253.056.367	494.381.318

Tabla C.1.1. Flujo de caja proyectada.

Apéndice C.2: Determinación de la Tasa Interna de Retorno (TIR).

En base al flujo de caja expuesta en la tabla anterior se calcula la tasa interna de rendimiento, obteniendo el siguiente resultado:

TIR=	30%

Tabla C.2.1. Resultado de TIR.

Al ser la tasa de descuento = 10% y TIR = 30%, el proyecto es rentable.

Apéndice C.3: Determinación del valor presente neto (VPN).

Teniendo en cuenta los valores obtenidos en el flujo de caja proyectada y con una tasa de descuento igual al 10% para un plazo de 5 años, se calcula el valor presente neto.

Aplicando la fórmula del VPN con una proyección de 5 años se obtuvo un resultado de:

VPN=	Gs. 257.324.037

Tabla C.3.1. Resultado de VPN.

Como el VPN > 0 se concluye que el proyecto es rentable.

Apéndice C.4: Determinación del Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI).

Teniendo en cuenta los valores del flujo de caja se puede aplicar la fórmula siguiente para la obtención del periodo de recuperación de la inversión que se vuelve muy importante, ya que de esto dependerá cuan rentable es, y qué tan riesgoso será llevarlo a cabo. Cuanto más corto sea el periodo de recuperación, menos riesgoso será el proyecto.

$$\mathrm{PRI} = (\mathrm{A}) + \frac{|\mathrm{B}|}{\mathrm{C}}$$

Dónde:

A: Periodo último con flujo acumulado negativo.

B: Valor absoluto del último flujo acumulado negativo.

C: Valor del flujo de caja en el siguiente periodo.

$$PRI = 2 + \frac{|156.123.254|}{192.344.763} = 2{,}81\ años$$

PRI=	2 años 9 meses 22 días.

Tabla C.4.1. Tiempo de recuperación de la inversión

14. BIBLIOGRAFIA

[1] **ORDOÑES RUBIO**. Luis Alberto. Principios de mantenimiento. Cartagena de indias 2000

[2] **MORTON JONES**. Procesamiento de plásticos: inyección, moldeo, hule y pvc . MÉXICO DF 2000

[3] **Madrigal, Manuel; Rosales, Sergio; Mises, Roberto**. MANTENIMIENTO INDUSTRIAL. UPIICSA. Reimpresión Julio 2007.

[4] **Dounce Villanueva, Enrique.** UN ENFOQUE DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL. Editorial CECSA. Primera edición 2006

[5] GPAllied, LLC. *Are You Doing Too Much PM? 16 Ways to Save Time and Money On Preventive Maintenance.* Sexta. 2011..

[6] BARONA PULZARA, YILMER ALEXANDER. *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DELPROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LAS MÁQUINAS SOPLADORA E INYECTORA-SOPLADORA DE LA EMPRESA OTORGO LTDA.* SANTIAGO DE CALI.

[7] MOUBRAY, JOHN. *Mantenimiento centrado en la confiabilidad.* Segunda. s.l. Industrial Press Inc. 2002. 2da. edicion 365 pag.

[8] HUSKY, Manual de MAQUINA INYECTORA 2004.

[9] HUSKY, Manual de operación de DESHUMIDIFICADOR DE MOLDE 2004.

[10] HUSKY, Manual de operación de DESHUMIDIFICADOR DE MATERIA PRIMA 2004.