



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**PROPUESTA PARA LA APLICACIÓN DEL CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS, PARA LA
REDUCCIÓN DE FALLAS EN ELEMENTOS MECÁNICOS Y OPTIMIZACIÓN DE TIEMPOS DE
PARO EN UNA LÍNEA DE EXTRUSIÓN DE TUBERÍA CORRUGADA DE DOBLE PARED DE PVC**

Erick Estuardo Ordóñez Pineda

Asesorado por el Ing. Alejandro Estrada Martínez

Guatemala, junio de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROPUESTA PARA LA APLICACIÓN DEL CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS, PARA LA REDUCCIÓN DE FALLAS EN ELEMENTOS MECÁNICOS Y OPTIMIZACIÓN DE TIEMPOS DE PARO EN UNA LÍNEA DE EXTRUSIÓN DE TUBERÍA CORRUGADA DE DOBLE PARED DE PVC

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ERICK ESTUARDO ORDÓÑEZ PINEDA

ASESORADO POR EL ING. ALEJANDRO ESTRADA MARTÍNEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, JUNIO DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

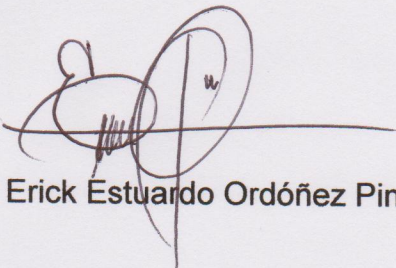
DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Carlos Alex Olivares Ortiz
EXAMINADORA	Inga. Karla Lizbeth Martínez Vargas
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PROPUESTA PARA LA APLICACIÓN DEL CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS, PARA LA REDUCCIÓN DE FALLAS EN ELEMENTOS MECÁNICOS Y OPTIMIZACIÓN DE TIEMPOS DE PARO EN UNA LÍNEA DE EXTRUSIÓN DE TUBERÍA CORRUGADA DE DOBLE PARED DE PVC

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 24 de julio de 2009.

A handwritten signature in dark ink, consisting of several loops and a horizontal line extending to the right.

Erick Estuardo Ordóñez Pineda

Guatemala 14 de noviembre de 2011

Ingeniero
Cesar Ernesto Urquizu Rodas
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Respetable Ingeniero Urquizu:

Por este medio le informo que he revisado el trabajo de graduación titulado **PROPUESTA PARA LA APLICACIÓN DEL CONTROL ESTADISTICO DE PROCESOS, PARA LA REDUCCIÓN DE FALLAS EN ELEMENTOS MECÁNICOS Y OPTIMIZACIÓN DE TIEMPOS DE PARO EN UNA LINEA DE EXTRUSIÓN DE TUBERIA CORRUGADA DE DOBLE PARED DE PVC**, elaborado por el estudiante Erick Estuardo Ordóñez Pineda.

Dicho trabajo llena los requisitos para dar aprobación, e indicarle que el autor y mi persona somos responsables por el contenido y las conclusiones del mismo.



Ingeniero Alejandro Estrada Martinez

No. de Colegiado: 5305

Asesor

**INGENIERO
ALEJANDRO ESTRADA
COLEGIADO 5305**



REF.REV.EMI.066.012

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **PROPUESTA PARA LA APLICACIÓN DEL CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS, PARA LA REDUCCIÓN DE FALLAS EN ELEMENTOS MECÁNICOS Y OPTIMIZACIÓN DE TIEMPOS DE PARO EN UNA LÍNEA DE EXTRUSIÓN DE TUBERÍA CORRUGADA DE DOBLE PARED DE PVC**, presentado por el estudiante universitario **Erick Estuardo Ordóñez Pineda**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Víctor Hugo García Roque
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, marzo de 2012.

/mgp

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). **Posgrado** Maestrías en Sistemas Mención Construcción y Mención Ingeniería Vial. **Carreras:** Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Licenciatura en Matemáticas. Licenciatura en Física. **Centros:** de Estudios Superiores de Energía y Minería (CESEM).

Ciudad Universitaria Zona 12. Guatemala, Centroamérica.



REF.DIR.EMI.109.012

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **PROPUESTA PARA LA APLICACIÓN DEL CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS, PARA LA REDUCCIÓN DE FALLAS EN ELEMENTOS MECÁNICOS Y OPTIMIZACIÓN DE TIEMPOS DE PARO EN UNA LÍNEA DE EXTRUSIÓN DE TUBERÍA CORRUGADA DE DOBLE PARED DE PVC**, presentado por el estudiante universitario **Erick Estuardo Ordóñez Pineda**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. Juan José Peraltá Dardón
DIRECTOR a.i.
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, junio de 2012.

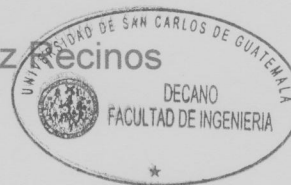
/mgp



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA PARA LA APLICACIÓN DEL CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS, PARA LA REDUCCIÓN DE FALLAS EN ELEMENTOS MECÁNICOS Y OPTIMIZACIÓN DE TIEMPOS DE PARO EN UNA LÍNEA DE EXTRUSIÓN DE TUBERÍA CORRUGADA DE DOBLE PARED DE PVC**, presentado por el estudiante universitario: **Erick Estuardo Ordóñez Pineda**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, junio de 2012

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por la oportunidad que me dio a través de mis padres de recibir una educación profesional y por todas las bendiciones recibidas a lo largo de mi vida.
- Mi madre** Irma Pineda, por ser la persona que me ha apoyado durante toda mi vida en la realización de mis metas. Gracias, porque todo lo que soy lo he aprendido de ti. ¡Te quiero!
- Mi padre** Heberth Ordóñez, por ser mi ejemplo a seguir como un hombre trabajador y esforzado en cada una de las metas que se propone. Gracias por todos tus consejos. ¡Te quiero!
- Mis hermanas** Karen y Alejandra, por siempre estar ahí y por todo el apoyo que me han brindado. Son un gran ejemplo para mí.
- Mi novia** Betsaida Olivares, por su apoyo incondicional y por ser esa persona tan especial con la que decidí compartir mi vida. ¡Te amo!

Mis sobrinas

Sofía, Jimena y Valeria Piloña, para que vean en este triunfo alcanzado una motivación para su propio crecimiento personal y profesional. ¡Las quiero mucho!

Mis amigos

Flor Chávez, Sergio López, Julio Rodas, Adolfo Vásquez, Raymundo Morales, Gabriel Arriola y Juan Pablo Pérez, muchas gracias por cada uno de los momentos vividos, llenos de risas y alegrías en las bancas del T3 y también de momentos difíciles, pero que con su apoyo se pudieron superar. ¡Se les quiere y aprecia mucho!

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser la casa de estudios que me formó como profesional.

Amanco

Por permitirme realizar el trabajo de graduación, muchas gracias por su ayuda.

**Departamento de
Manufactura**

Ing. Julián Pellecer, por la ayuda, dedicación y apoyo durante la investigación.

**Departamento de
Taller de Molde**

Muchas gracias Ing. Byron Aroche, por la ayuda, tiempo y buena actitud durante los meses que realicé la investigación.

Ing. Alejandro Estrada

Por su asesoría en la elaboración de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS	XV
GLOSARIO	XVII
RESUMEN.....	XXI
OBJETIVOS.....	XXIII
INTRODUCCIÓN	XXV
1. ANTECEDENTES GENERALES.....	1
1.1. Información general de la empresa	1
1.1.1. Breve reseña histórica	1
1.1.2. Visión	2
1.1.3. Misión.....	2
1.1.4. Valores institucionales	3
1.1.5. Atributos.....	4
1.1.6. Responsabilidad social y recurso humano.....	4
1.1.7. Sistema integrado de gestión.....	5
1.1.7.1. Sistema de gestión de la calidad ISO 9001	5
1.1.7.2. Sistema de gestión del medio ambiente ISO 14001	5
1.1.7.3. Sistema de gestión de prevención de riesgos laborales OSHAS 18001	6
1.1.8. Departamento de manufactura	6
1.1.8.1. Estructura organizacional del departamento.....	7

	1.1.8.2.	Planta de extrusión de tubería	8
	1.1.8.3.	Descripción del proceso productivo	9
1.2.		Herramientas básicas del control estadístico de proceso.....	10
	1.2.1.	Recopilación de datos	11
	1.2.2.	Lista de verificación	11
	1.2.3.	Histograma	12
	1.2.4.	Diagrama de causa y efecto	13
	1.2.5.	Gráfica de Pareto.....	13
	1.2.6.	Gráficas de control.....	14
	1.2.7.	Diagrama de dispersión	15
	1.2.8.	Análisis de modo de fallas y efectos.....	16
	1.2.9.	Factores relacionados a la resolución de problemas de mantenimiento	17
	1.2.9.1.	Procedimientos y normas	17
	1.2.9.2.	Recurso humano	18
	1.2.9.3.	Materiales y repuestos.....	18
	1.2.9.4.	Herramientas y el equipo.....	19
1.3.		Mantenimiento.....	19
	1.3.1.	Aspectos generales sobre mantenimiento	20
	1.3.2.	Tipos de mantenimiento	21
	1.3.2.1.	Mantenimiento correctivo.....	21
	1.3.2.2.	Mantenimiento preventivo.....	22
	1.3.2.3.	Mantenimiento predictivo.....	23
	1.3.2.4.	Mantenimiento proactivo.....	25
	1.3.3.	Costos de mantenimiento	26
	1.3.3.1.	Mano de obra.....	26
	1.3.3.2.	Materiales y repuestos.....	27
	1.3.3.3.	Costos indirectos	27

1.3.3.4.	Otros costos.....	27
1.3.4.	Requisitos para la implementación de un plan de mantenimiento	28
1.3.5.	Fuentes de información para un plan de mantenimiento	29
1.3.5.1.	Instrucciones genéricas y experiencia	29
1.3.5.2.	Recomendaciones del fabricante	30
1.3.5.3.	Análisis estadístico de fallas	31
1.3.6.	Determinación de frecuencias de mantenimiento	31
1.3.6.1.	Confiabilidad del equipo.....	32
1.3.6.2.	Submantenimiento	33
1.3.6.3.	Sobremantenimiento	33
2.	SITUACIÓN ACTUAL.....	35
2.1.	Planteamiento del problema	35
2.2.	Área de mantenimiento.....	35
2.2.1.	Taller mecánico.....	36
2.2.2.	Taller eléctrico.....	37
2.2.3.	Mantenimiento autónomo.....	38
2.2.4.	Uso del control estadístico de procesos en las actividades del área	39
2.3.	Descripción de una línea de extrusión de tubería corrugada.....	39
2.3.1.	Sistema de transporte de material	39
2.3.2.	Extrusora.....	41
2.3.3.	Cabezal y molde	42
2.3.4.	Corrugadora.....	44
2.3.5.	Sierra	45
2.3.6.	Sistema de volteo.....	46

2.4.	Programación del mantenimiento	47
2.4.1.	Fuentes de información	48
2.4.2.	Formato de registros.....	48
2.4.2.1.	Plan anual de mantenimiento	48
2.4.2.2.	Orden de trabajo.....	49
2.4.2.3.	Hojas de verificación de funcionamiento	49
2.4.2.4.	Reportes de mantenimiento.....	49
3.	PROPUESTA PARA LA APLICACIÓN DEL CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS	53
3.1.	Recopilación de datos	53
3.1.1.	Inventario de equipo	54
3.1.2.	Historial de fallas mecánicas	56
3.1.3.	Historial de tiempos de paro por mantenimiento.....	56
3.2.	Análisis de datos	56
3.2.1.	Histograma de frecuencia.....	56
3.2.2.	Análisis de Pareto.....	57
3.2.3.	Identificación de puntos críticos y oportunidades de mejora.....	57
3.3.	Análisis de causa y efecto de puntos críticos	58
3.3.1.	Diagrama de Ishikawa	58
3.4.	Propuestas de mejora	58
3.5.	Beneficios por la aplicación del control estadístico de proceso.....	59
4.	IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA.....	61
4.1.	Responsabilidades del personal.....	61
4.1.1.	Jefe de mantenimiento	61

4.1.2.	Mecánicos.....	62
4.1.3.	Personal de planta	63
4.2.	Identificación de necesidades de capacitación para el personal.....	64
4.3.	Definición de procedimientos.....	68
4.3.1.	Recopilación de datos.....	68
4.3.2.	Análisis de datos.....	71
4.3.3.	Análisis de causas para puntos críticos	74
4.3.4.	Propuestas de mejora	75
4.4.	Programa de implementación del proyecto.....	79
4.5.	Desarrollo del proyecto	79
4.5.1.	Recopilación de datos.....	80
4.5.1.1.	Inventario de elementos mecánicos por equipo	80
4.5.1.1.1.	Sistema de transporte.....	80
4.5.1.1.2.	Extrusora	81
4.5.1.1.3.	Cabezal y molde	82
4.5.1.1.4.	Corrugadora	83
4.5.1.1.5.	Sierra	84
4.5.1.1.6.	Sistema de volteo	86
4.5.1.2.	Historial de fallas mecánicas.....	87
4.5.1.3.	Historial de tiempos de paro por mantenimiento	90
4.5.2.	Análisis de datos.....	93
4.5.2.1.	Fallas mecánicas	93
4.5.2.1.1.	Histogramas de frecuencias	93
4.5.2.1.2.	Análisis de Pareto.....	97

	4.5.2.1.3.	Determinación de puntos críticos y oportunidades de mejora	103
	4.5.2.2.	Tiempos de paro por mantenimiento	106
	4.5.2.2.1.	Histogramas	106
	4.5.2.2.2.	Análisis de Pareto	111
	4.5.2.2.3.	Determinación de puntos críticos y oportunidades de mejora	117
	4.5.3.	Análisis de causas y efecto para puntos críticos	120
	4.5.3.1.	Diagrama de Ishikawa para puntos críticos en fallas mecánicas	122
	4.5.3.2.	Diagrama de Ishikawa para puntos críticos en tiempos de paro por mantenimiento	126
	4.5.4.	Asignación de presupuesto para el desarrollo de mejoras	126
5.		SEGUIMIENTO Y MEJORA CONTINUA	127
5.1.		Proyectos de mejora derivados del análisis	127
	5.1.1.	Procedimientos y normas	127
	5.1.2.	Recurso humano	131
	5.1.3.	Materiales y repuestos.....	134
	5.1.3.1.	Herramientas y equipo.....	136
	5.1.4.	Análisis de beneficio costo de implementación de mejoras.....	138
5.2.		Seguimiento a indicadores de mantenimiento	138
	5.2.1.	Indicadores de mantenimiento en la empresa	138

5.2.1.1.	Porcentaje de tiempo de paros por mantenimiento	138
5.2.1.2.	Frecuencia de fallas mecánicas	140
5.2.1.3.	Porcentaje de <i>scrap</i> por fallas mecánicas	141
5.2.2.	Análisis de indicadores	142
5.2.2.1.	Gráficos de control	142
5.2.3.	Auditorías de seguimiento.....	143
5.2.4.	Ampliación del proyecto a otras líneas de producción	143
CONCLUSIONES		145
RECOMENDACIONES		147
BIBLIOGRAFÍA.....		149

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Estructura organizacional del departamento de manufactura	8
2.	Línea de extrusión de tubería convencional de PVC	10
3.	Diagrama básico de un sistema de transporte de material	40
4.	Diagrama básico de una extrusora	42
5.	Diagrama de un cabezal y dado típico para la fabricación de tubería de PVC.....	43
6.	Diagrama de una corrugadora para la fabricación de tubería de PVC de doble pared	45
7.	Diagrama de una cortadora planetaria para tubería corrugada de PVC.....	46
8.	Imagen de un sistema de transporte y volteo para tubería de PVC	47
9.	Formato de registro plan anual de mantenimiento	50
10.	Formato de registro orden de trabajo	51
11.	Formato de registro reporte de mantenimiento	52
12.	Método de evaluación de necesidades de capacitación	64
13.	Formato de registro ficha técnica de equipos.....	70
14.	Ejemplo histograma de frecuencias	72
15.	Ejemplo gráfica de Pareto	73
16.	Gráfico para el análisis de causa y efecto	75
17.	Formato de registro propuestas de mejora	77
18.	Formato de registro plan de acción.....	78
19.	Cronograma de actividades para el desarrollo del proyecto	79
20.	Ficha técnica del sistema de transporte	81

21.	Ficha técnica de extrusora	82
22.	Ficha técnica del cabezal y molde	83
23.	Ficha técnica de corrugadora	83
24.	Ficha técnica de sierra	85
25.	Ficha técnica del sistema de volteo	86
26.	Histograma de frecuencia de fallas por equipo	94
27.	Histograma de frecuencia de fallas por sistemas de transporte de material	94
28.	Histograma de frecuencia de fallas por sistemas de extrusor	95
29.	Histograma de frecuencia de fallas por sistemas de cabezal y molde	95
30.	Histograma de frecuencia de fallas por sistemas de corrugador	96
31.	Histograma de frecuencia de fallas por sistemas de sierra	96
32.	Histograma de frecuencia de fallas por sistemas de volteo	97
33.	Gráfico de Pareto de fallas por equipo	98
34.	Gráfico de Pareto de fallas por sistemas del corrugadora	99
35.	Gráfico de Pareto de fallas por sistemas del extrusor	101
36.	Gráfico de Pareto de fallas por sistemas del cabezal y molde	102
37.	Gráfico de Pareto de elementos con mayor frecuencia de fallas	105
38.	Histograma de tiempos de paro por equipo	107
39.	Histograma de tiempos de paro por sistema de transporte de material	108
40.	Histograma de tiempos de paro por sistemas de extrusora	108
41.	Histograma de tiempos de paro por sistemas del cabezal y molde ...	109
42.	Histograma de tiempos de paro por sistemas de corrugador	109
43.	Histograma de tiempos de paro por sistemas de la sierra	110
44.	Histograma de tiempos de paro por sistemas de volteo	110
45.	Gráfico de Pareto de tiempos de paro por equipo	112
46.	Gráfico de Pareto de tiempos de paro por sistemas de extrusor	113

47.	Gráfico de Pareto de tiempos de paro por sistemas del corrugador...	115
48.	Gráfico de Pareto de tiempos de paro por sistemas del cabezal y molde.....	116
49.	Gráfico de Pareto de elementos con mayor tiempo de paro por mantenimiento de fallas	119
50.	Comparativo de fallas versus tiempos de paro de elementos	121
51.	Diagrama de Ishikawa para fallas en resistencias	122
52.	Diagrama de Ishikawa para fallas en termo coplas	123
53.	Diagrama de Ishikawa para fallas en bomba de vacío	123
54.	Diagrama de Ishikawa para fallas en intercambiador de calor	124
55.	Diagrama de Ishikawa para fallas en ventilador	124
56.	Diagrama de Ishikawa para fallas en filtro.....	125
57.	Diagrama de Ishikawa para fallas en pirómetro	125
58.	Propuestas de mejora para procedimientos y normas No. 1.....	129
59.	Propuestas de mejora para procedimientos y normas No. 2.....	130
60.	Propuestas de mejora para recursos humanos No. 1	132
61.	Propuestas de mejora para recursos humanos No. 2	133
62.	Propuestas de mejora para materiales y repuestos	135
63.	Propuestas de mejora para maquinaria y equipo	137
64.	Ejemplo de gráfico de control.....	142

TABLAS

I.	Matriz de necesidades de capacitación	67
II.	Ejemplo tabla de frecuencias.....	71
III.	Ejemplo tabla de Pareto.....	72
IV.	Frecuencia de fallas por equipo	87
V.	Frecuencia de fallas por sistemas de los equipos	88
VI.	Frecuencia de fallas por elemento de los equipos	88

VII.	Tiempos de paro por fallas del equipo.....	90
VIII.	Tiempos de paro por fallas en los sistemas de los equipos	91
IX.	Tiempos de paro por fallas en los elementos de los equipos	92
X.	Tabla de Pareto de fallas por equipo.....	97
XI.	Tabla de Pareto de fallas por sistemas del corrugador	99
XII.	Tabla de Pareto de fallas por sistemas del extrusor.....	100
XIII.	Tabla de Pareto de fallas por sistemas del cabezal y molde.....	102
XIV.	Sistemas con mayor frecuencia de fallas	103
XV.	Tabla de Pareto de elementos con mayor frecuencia de fallas	103
XVI.	Tabla de elementos para la elaboración de oportunidades de mejora	106
XVII.	Tabla de Pareto de tiempos de paro por equipo	111
XVIII.	Tabla de Pareto de tiempos de paro por sistemas del extrusor	113
XIX.	Tabla de Pareto de tiempos de paro por sistemas del corrugador	114
XX.	Tabla de Pareto de tiempos de paro por sistemas del cabezal y molde	116
XXI.	Sistemas con mayor tiempo de paro por mantenimiento de fallas	117
XXII.	Tabla de Pareto de elementos con mayor tiempo de paro por mantenimiento de fallas.....	118
XXIII.	Tabla de elementos para la elaboración de oportunidades de mejora	120
XXIV.	Comparativo de fallas versus tiempos de paro de elementos ...	121
XXV.	Causas de fallas y tiempos de paro por procedimientos y normas	127
XXVI.	Causas de fallas y tiempos de paro por recursos humanos	131

XXVII.	Causas de fallas y tiempos de paro por materiales y repuestos	134
XXVIII.	Causas de fallas y tiempos de paro por maquinaria y equipos ..	136
XXIX.	Determinación del indicador de tiempo de paro por mantenimiento	139
XXX.	Determinación del indicador de fallas mecánicas	140
XXXI.	Determinación del indicador de <i>scrap</i> por fallas mecánicas	141

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Psi	Libra por pulgada cuadrada
PVC	Policloruro de vinilo

GLOSARIO

Bomba de vacío	Equipo que genera condiciones de presión negativa que ayudan en la formación de la tubería.
CEP	Acrónimo de Control Estadístico de Procesos.
Filtro	Dispositivo a través del cual se hace pasar un fluido para limpiar las impurezas o separar ciertas sustancias.
Flap	Borde móvil de posición variable para la recepción, transporte y descarga del tubo.
Histograma	Representación gráfica de una variable en forma de barra, la cual indica su frecuencia.
Indicador	Herramienta que sirve para medir el desempeño de un proceso.
INTECO	Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica.
Intercambiador de calor	Dispositivo diseñado para transferir calor entre dos medios, es parte esencial de los sistemas de refrigeración.

Ishikawa (diagrama)	Herramienta del control estadístico de procesos que sirve para la evaluación causa – efecto de un problema.
ISO	Por sus siglas en inglés, Organización Internacional de Normalización.
ISO 14001	Norma internacional para la implementación de un Sistema de Gestión Ambiental.
ISO 9001	Norma internacional para la implementación de un Sistema de Gestión de la Calidad.
Meta	Fin u objetivo, normalmente, es el valor que desea alcanzar un indicador.
OHSAS 18001	Norma internacional para la implementación de un Sistema de Gestión de la Salud y Seguridad en el Trabajo.
Pirómetro	Dispositivo capaz de medir temperaturas muy elevadas.
Scrap	Material de desecho resultante de una mala operación o de de fallas de los equipos.
Switch	Interruptor de un aparato eléctrico.
Termocopla	Sensor de temperatura.

Venteo

Ventilar. En extrusión se refiere a la liberación de gases de proceso.

RESUMEN

La labor de mantenimiento es muy importante en cualquier industria, ya que su realización asegura el buen funcionamiento de los equipos reduciendo su cantidad de fallas imprevistas, y por ende, el tiempo que los equipos dejan de producir aumentando su eficiencia.

Para reducir las fallas y tiempos de paro por mantenimiento en cualquier línea de producción, con la ayuda del control estadístico de procesos, es necesario realizar una serie de pasos para obtener los resultados deseados.

El primer paso consiste en la obtención de los elementos de entrada para el análisis. En este caso, los elementos de entrada consisten en realizar un inventario de equipos mediante la utilización de una ficha técnica, la cual, debe incluir información básica de los equipos y cada uno de los sistemas y elementos que lo componen. Otro elemento de entrada para este análisis consiste en el registro de todas las fallas reportadas para la línea de producción, este registro debe llevar a través de los registros de mantenimiento, como las órdenes de trabajo y reportes de mantenimiento, los cuales deben incluir el tiempo que se demoró el departamento de mantenimiento en resolver el problema.

Con la información recopilada se procede a realizar el análisis, con la ayuda de las herramientas de control estadístico de procesos. El primer análisis que se debe realizar es el de frecuencias a través de una tabla y un histograma. El segundo análisis es el de Pareto, el cual, ayuda a separar los equipos que tienen mayor incidencia de fallas y tiempos de paro por mantenimiento. Este

análisis se realizó de lo general a lo específico, iniciando por los equipos que componen la línea de producción hasta llegar al detalle de los elementos de cada equipo.

Con el análisis de los elementos que representan el mayor volumen de fallas y tiempos de paro por mantenimiento, se procede a realizar un análisis de causa para cada uno de estos elementos utilizando la herramienta de análisis de causa y efectos (Ishikawa).

De este análisis de causa se desarrollan las propuestas de mejora para cada aspecto evaluado.

Para realizar el seguimiento a las propuestas de mejora, deben desarrollarse indicadores de mantenimiento que permitan evaluar su desempeño.

Este análisis se elaboró con la finalidad de volver más rentable el proceso de producción y así asegurar la rentabilidad de la empresa.

OBJETIVOS

General

Proponer una aplicación del control estadístico de procesos, para la reducción de fallas en elementos mecánicos y optimización de tiempos paro en una línea de extrusión de tubería corrugada de doble pared de PVC (cloruro de polivinilo).

Específicos

1. Describir de forma general la empresa donde se desarrollará el trabajo de graduación.
2. Dar a conocer (de forma general) el marco teórico, referente al tema propuesto para el desarrollo de este trabajo de graduación.
3. Exponer (de forma general) la situación actual sobre la gestión del mantenimiento de la empresa.
4. Proponer una metodología estándar, para la aplicación del control estadístico de procesos en la resolución de problemas de mantenimiento.
5. Definir responsabilidades del personal y un programa de implementación del proyecto.

6. Recolectar toda la información necesaria, para el análisis de datos a través de las herramientas de control estadístico de procesos.
7. Determinar los factores clave a atacar, para la reducción de fallas y optimización de tiempos de paro por mantenimiento preventivo y sus causas.
8. Proponer soluciones factibles e innovadoras, para la eliminación de malas prácticas en la gestión del mantenimiento.
9. Implementar el seguimiento de indicadores de mantenimiento mediante gráficos de control, que permitan visualizar el desempeño y cumplimiento de los mismos.
10. Realizar un análisis de beneficio costo de las mejoras propuestas para evaluar la eficacia y rentabilidad de las mismas.

INTRODUCCIÓN

Amanco Tubosistemas Guatemala, Sociedad Anónima, es una empresa dedicada a la producción y comercialización de tubería PVC, la cual, cuenta con altos estándares de calidad demostrados a través de los años mediante la implementación de la triple certificación ISO 9001, ISO 14001 y OSHAS 18001, que demuestran su amplio interés en la satisfacción del cliente, la conservación y correcta utilización de todos sus recursos, incluyendo los recursos naturales y el bienestar de cada uno de sus colaboradores. Amanco cuenta con un Departamento de Manufactura en donde se concentran todos los procesos productivos de la empresa que incluyen una planta de productos rotomoldeados, una planta de enrollado de tubería y el área más grande, la planta de extrusión de tubería. El departamento de manufactura se divide en varias áreas, entre ellas la de mantenimiento, la cual, es la encargada de la programación y ejecución de todas las actividades de mantenimiento de la planta divididas básicamente en actividades mecánicas y eléctricas.

Actualmente, se busca reducir las fallas en elementos mecánicos de los equipos y optimizar los tiempos de paro. Esto se quiere lograr a través de la aplicación de las herramientas para solución de problemas, del control estadístico de procesos, las cuales incluyen un análisis de frecuencia de fallas y tiempos de paro a través de histogramas y gráficos de Pareto, que permitan identificar puntos críticos deficientes con el objetivo de identificar y eliminar sus causas raíces y generar oportunidades de mejora que reduzcan las fallas y optimicen los tiempos de paro. La planta, actualmente cuenta con varias líneas de extrusión de tubería; sin embargo, este estudio pretende realizarse únicamente en la línea de extrusión de tubería corrugada de doble pared de

PVC, con el objetivo de evaluar los resultados para su posterior implementación al resto de las líneas de extrusión y equipos.

También, se propone la implementación de una serie de indicadores de mantenimiento que permitan darle seguimiento a las principales variables que se quieren optimizar mediante la implementación de los diferentes proyectos de mejora, derivados de los hallazgos encontrados en el análisis; este seguimiento se realizará a través del uso de gráficos de control que permitan ver si los mismos se encuentran dentro de los parámetros y metas establecidas. Asimismo, se propone un análisis de beneficio costo, para evaluar la eficacia y rentabilidad de los proyectos propuestos en función del presupuesto asignado. Adicionalmente, se proponen auditorías de seguimiento a indicadores y mejoras propuestas e implementadas.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. Información general de la empresa

Se presenta una breve reseña histórica de la empresa donde se realizó el trabajo de investigación, además de incluir su visión, misión y sus valores institucionales.

También se describe la estructura organizacional del Departamento de Manufactura y el proceso de extrusión al cual se dedica.

1.1.1. Breve reseña histórica

Amanco Tubosistemas Guatemala, S.A. es un grupo industrial líder en Latinoamérica en la producción y comercialización de sistemas, para la conducción de fluidos, principalmente, tuberías y accesorios de PVC.

Inició sus operaciones en junio de 1971, en una planta ubicada en la Calzada Atanasio Tzul, hasta la presente fecha, (bajo el nombre de Tubovinil, Sociedad Anónima).

En el 2001, la corporación de origen suizo denominada Grupo Nueva, decide cambiar el nombre de Tubovinil, Sociedad Anónima, por lo que actualmente es Amanco Tubosistemas Guatemala, Sociedad Anónima.

Actualmente, es una empresa que pertenece al grupo Mexichem, la cual es una corporación mexicana conformada por varias empresas químicas y petroquímicas que operan en todo el continente americano.

1.1.2. Visión

La visión del grupo Mexichem fue adoptada por Amanco siendo la siguiente:

“Ser la empresa química y petroquímica líder en el mercado latinoamericano que genera valor para sus clientes, proveedores, empleados y accionistas; una empresa innovadora y tecnología de vanguardia, capaz de mantener un crecimiento sostenido en ventas, eficiencia y rentabilidad.”

1.1.3. Misión

La misión del grupo Mexichem fue adoptada por Amanco, siendo la siguiente:

“Somos una empresa dedicada a la fabricación y comercialización de productos químicos y petroquímicos que agregan valor a nuestras materias primas básicas, sal y fluorita, a través de cadenas productivas eficientes que generan resultados de negocio superiores y que actúan dentro de un marco de responsabilidad empresarial. Con ello, apoyamos el ámbito social y ambiental, así como el cumplimiento de las normas y responsabilidades que lo regulan.

Nos enfocamos en los sectores de mayor potencial de crecimiento y rentabilidad en el mercado latinoamericano, comprometidos con los valores y principios que contribuyan al crecimiento, la eficiencia y rentabilidad de

Mexichem, a través de la satisfacción de las necesidades de nuestros clientes y proveedores. Mejoramos e innovamos continuamente la calidad de nuestros procesos, productivos y servicios, con el fin de cumplir o superar las expectativas de los accionistas, los empleados y la comunidad.”

1.1.4. Valores institucionales

Para la empresa existen tres valores institucionales muy importantes sobre los cuales elaboran cada una de sus estrategias.

- Clientes: todos sus colaboradores buscan constantemente anticipar y satisfacer las necesidades cambiantes de sus clientes a través de sus productos y servicios trabajando con estándares de clase mundial.
- Colaboradores: el respeto mutuo es la base de las relaciones entre todos los colaboradores de la empresa. Se respeta la individualidad y la integridad de cada uno, promoviendo el trabajo en equipo como la mejor forma de relacionarse. Se desarrolla un ambiente de trabajo que fomente la máxima sinergia entre los colaboradores y la empresa para el logro de las metas. Brindando oportunidades para el desarrollo profesional, así como programas de capacitación y de motivación para la mejora de destrezas y para atraer y mantener a los mejores. Se proporciona condiciones laborales sanas y seguras. La pasión y el entusiasmo son atributos esenciales de su gente. Los colaboradores son protagonistas en los esfuerzos de la empresa en pro del desarrollo sostenible.
- Comunidades: la empresa interactúa de manera responsable y ética con sus comunidades vecinas y trabaja por mejorar la calidad de vida de las generaciones actuales y futuras. La sociedad ofrece oportunidades. Por

ello, dedica una parte de sus esfuerzos y talentos al mejoramiento de la sociedad. La empresa promueve la responsabilidad social y ambiental en todas sus operaciones y entre todos aquellos con quienes realiza negocios.

1.1.5. Atributos

Los principales atributos que caracterizan a la empresa son:

- **Integridad:** es orientar las acciones de acuerdo a un sentido ético, ejerciendo en todo momento la responsabilidad de una manera integral.
- **Soluciones:** es tener respuestas claras y eficientes, a tiempo y mejor que nadie, ante los desafíos que se presentan.
- **Confianza:** es cumplir con las promesas, tanto con los clientes como con los compañeros.
- **Innovación:** es ser generador de cambio promoviendo la mejora continua en los ámbitos en que se desarrolla.

1.1.6. Responsabilidad social y recurso humano

Responsabilidad social empresarial es la administración de los impactos que tienen las operaciones de la empresa sobre los colaboradores y sus familias, comunidades cercanas, clientes y proveedores.

Para la empresa es importante trabajar en dos áreas de responsabilidad social, las cuales son:

- Atender necesidades de los colaboradores y sus familias
- Apoyar iniciativas en la comunidad aledaña a la planta de producción

1.1.7. Sistema integrado de gestión

Con el objetivo de garantizar al cliente la calidad de sus productos, contar con certificaciones internacionales que lo avalen es muy importante, y ésta no es la excepción para la empresa, ya que desde 2004 cuenta con un triple sistema de gestión certificado ISO 9001, ISO 14001 y OHSAS 18001, los cuales garantizan que los procesos, mediante los cuales se fabrican los productos, sean de la más alta calidad, además, que son procesos amigables con el medio ambiente y que en las operaciones se cuida la salud y la seguridad de los colaboradores.

1.1.7.1. Sistema de gestión de la calidad ISO 9001

La empresa cuenta con un sistema de gestión de la calidad ISO 9001: 2008, certificado por el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica, INTECO, el cual asegura que todos sus procesos productivos y administrativos cumplen con un estándar, con enfoque de satisfacción al cliente y están comprometidos con la mejora continua.

1.1.7.2. Sistema de gestión del medio ambiente ISO 14001

La empresa está comprometida en la prevención de la contaminación que puedan generar sus operaciones, identificando sus principales aspectos e impactos ambientales y eliminando o controlando los impactos ambientales

negativos, al mismo tiempo que cumple con las leyes existentes en el país y con otros tratados internacionales.

Es por esto, que cuenta con un sistema de gestión ambiental ISO 14001:2004, certificado por el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica, INTECO, por lo que realiza varias actividades en pro de la preservación del medio ambiente como son:

- Asegurar la gestión de los productos químicos hasta su disposición
- Prevenir y reducir la contaminación ambiental
- Optimizar el consumo de los recursos naturales

1.1.7.3. Sistema de gestión de prevención de riesgos laborales OSHAS 18001

La empresa cuenta con un sistema de prevención de riesgos laborales OHSAS 18001:2007, certificado por el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica, INTECO, el cual asegura que la empresa evalúa los principales peligros y riesgos a los cuales se enfrentan sus colaboradores en todos sus procesos y tiene el compromiso de eliminarlos o minimizarlos, en es parte de la responsabilidad social de la empresa.

1.1.8. Departamento de manufactura

El departamento de manufactura, es el área donde se desarrollan todas las actividades productivas de la empresa.

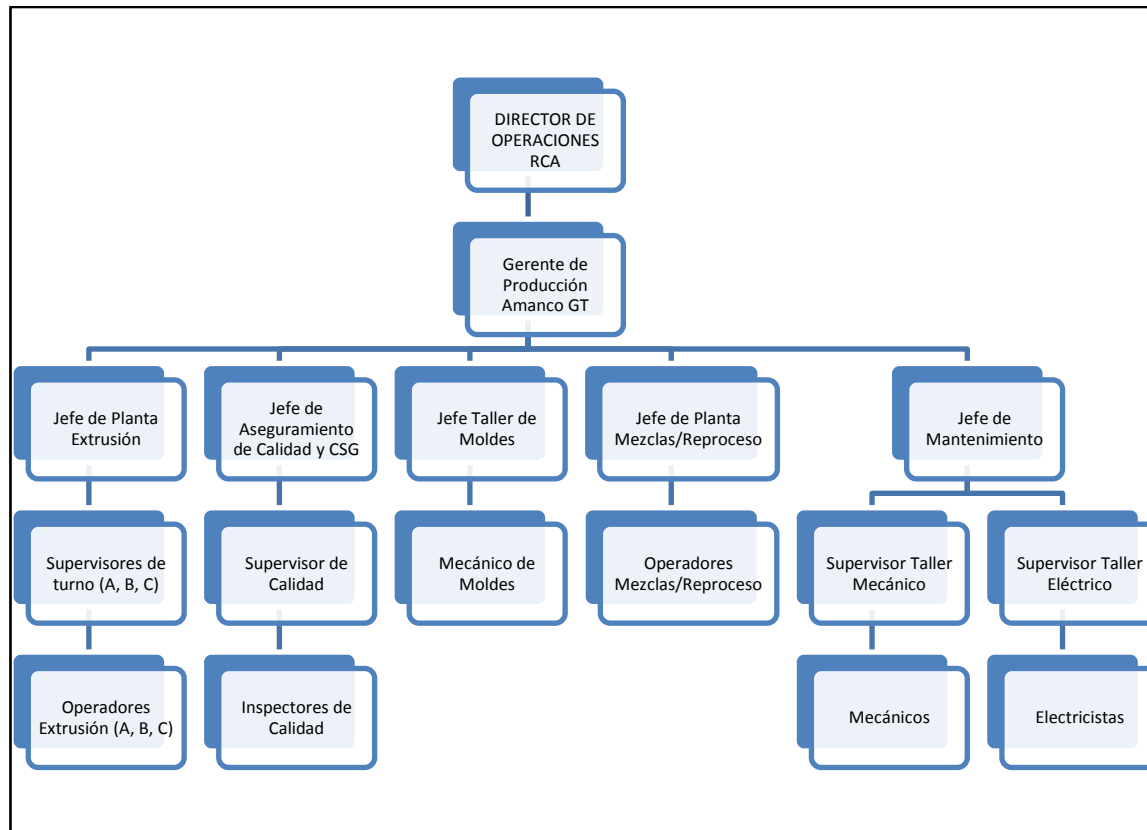
1.1.8.1. Estructura organizacional del departamento

El gerente de producción reporta directamente al director de operaciones para la región centroamericana. el gerente de producción es el encargado de administrar todas las actividades del departamento de manufactura, teniendo bajo su cargo a jefes y/o supervisores encargados de cada una de las áreas que lo integran.

El departamento de manufactura cuenta con las siguientes áreas:

- Planta de extrusión
- Planta de mezclado y reproceso
- Taller de moldes
- Aseguramiento de calidad
- Mantenimiento mecánico
- Mantenimiento eléctrico

Figura 1. Estructura organizacional del Departamento de Manufactura



Fuente: elaboración propia.

1.1.8.2. Planta de extrusión de tubería

La empresa cuenta con una planta de extrusión con capacidad de producir tubería desde media pulgada, hasta diez y ocho pulgadas de diámetro de tipo convencional, de pared lisa y tubería corrugada, de doble pared desde ocho pulgadas, hasta treinta y seis pulgadas de diámetro. Como un proceso paralelo a la planta de extrusión existe una planta de mezclado en la cual se formulan y

mezclan las diferentes fórmulas de PVC, según la aplicación de la tubería que se desea fabricar.

1.1.8.3. Descripción del proceso productivo

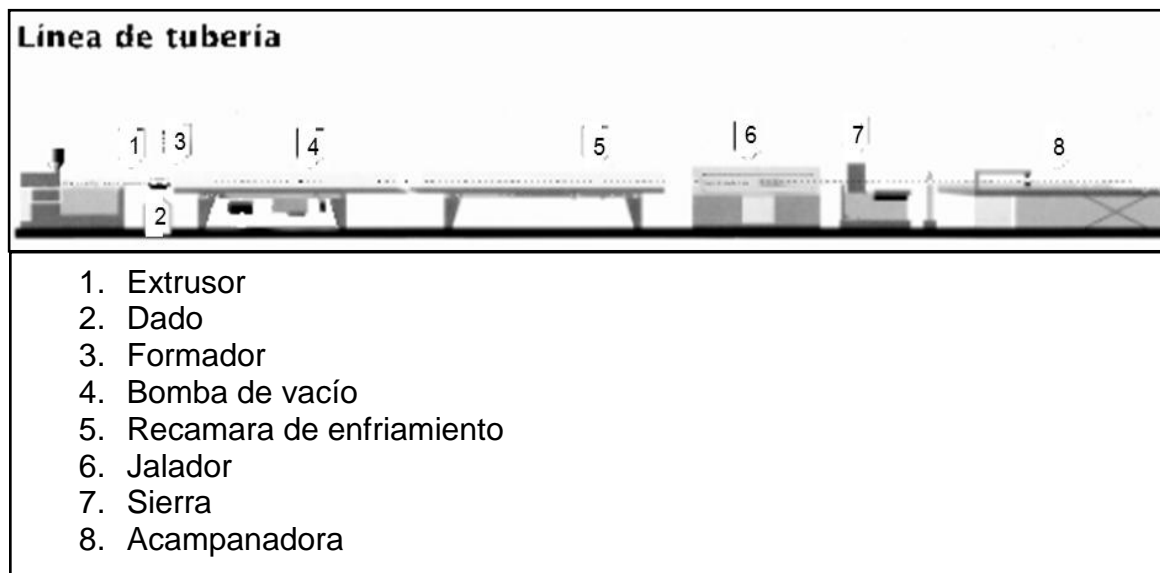
La extrusión es un proceso para la conversión de un material plástico mediante esfuerzos de compresión y cizallamiento, cuyo objetivo primario es mezclar y fundir el material dándole forma. Las dos ventajas principales de este proceso, por encima de otros procesos manufacturados, es la habilidad para crear secciones transversales muy complejas y el trabajo con materiales que son quebradizos, además, que el producto final cuenta con un acabado superficial excelente.

El compuesto de plástico es cargado dentro de la tolva y éste pasará a la sección de alimentación del tornillo a través de una sección abierta del barril. El material es empujado hacia adelante por el tornillo en un cierto estado de masa fundida y homogeneizada. La conversión del plástico sólido en este estado, y en particular, los cambios morfológicos implicados, son usualmente llamados gelación o plastificación. El material es moldeado y forzado a salir a través de un dado el cual determina la forma del producto final.

Adicionalmente, para la extrusión de tubería convencional o de pared lisa, además de la extrusora, se utilizan otros equipos auxiliares, como el cabezal o molde, recámara de enfriamiento, jalador, sierra de corte, y acampanadora; en el caso de tubería corrugada de doble pared estos equipos varían, ya que la recámara de enfriamiento y el jalador son sustituidos por una máquina corrugadora que cumple con la función de estas dos a la vez.

A continuación se muestra en la figura 2, una ilustración donde se puede observar la estructura básica de una línea de extrusión de tubería convencional de PVC en la cual se enumeran cada una de sus partes:

Figura 2. **Línea de extrusión de tubería convencional de PVC**



Fuente: OMYA. Manual de extrusión. p. 53.

1.2. **Herramientas básicas del control estadístico de proceso**

Las herramientas básicas del control estadístico de procesos, son fundamentales para realizar análisis de datos con el objetivo de mejorar procesos y procedimientos de cualquier tipo. Estas herramientas son fáciles de usar y son complementarias entre sí.

1.2.1. Recopilación de datos

La solución de problemas y la utilización de las herramientas para el control estadístico de procesos, requieren que se cuente con datos correctos y que éstos sean recopilados con métodos adecuados.

Las siguientes guías son útiles para optimizar el proceso de recopilación de datos y evitar las demoras en el análisis y la mejora de procesos:

- Planear todo el proceso de recopilación de datos al principio
- Aclarar el propósito de la recopilación de datos
- Especificar claramente los datos que se necesitan
- Emplear las técnicas correctas de muestreo
- Diseñar por adelantado las listas de verificación necesarias

1.2.2. Lista de verificación

Una lista de verificación es un conjunto de instrucciones sencillas empleadas en la recopilación de datos, de manera que estos puedan compilarse, usarse con facilidad y analizarse automáticamente.

En mantenimiento, las listas de verificación pueden usarse para:

- Recopilar datos para desarrollar histogramas

- Preparar, realizar y finalizar tareas de mantenimiento
- Levantamiento de necesidades de repuestos
- Diagnóstico de defectos o tipos de falla de las máquinas
- Control de tiempos para actividades de mantenimiento

1.2.3. Histograma

Es una herramienta gráfica utilizada para visualizar y analizar la frecuencia con que una variable tome diferentes valores dentro de un conjunto de datos.

Aplicados al mantenimiento, los histogramas se pueden utilizar para identificar la distribución de actividades importantes como:

- La carga de mantenimiento
- El tiempo hasta la falla del equipo
- El tiempo de reparación
- Los trabajos pendientes
- La frecuencia en el tipo de fallas

1.2.4. Diagrama de causa y efecto

El Diagrama causa – efecto, también llamado Diagrama de Ishikawa o Espina de Pescado, es una representación gráfica que pretende mostrar la relación causal e hipotética de los diversos factores que pueden contribuir a un efecto o fenómeno determinado.

Los factores se dividen en cuatro categorías principales: mano de obra, máquinas, métodos, materiales.

El diagrama de causa y efecto puede utilizarse en la administración del mantenimiento, para identificar las principales causas de:

- Excesivos tiempos de paro por mantenimiento
- Fallas recurrentes en elementos mecánicos
- Trabajos pendientes
- Baja productividad del personal
- Errores en los registros de datos

1.2.5. Gráfica de Pareto

Una gráfica de Pareto es simplemente, una distribución de frecuencias de datos (histograma) acomodados por orden de mayor a menor frecuencia. Su propósito es separar los pocos vitales de los muchos triviales, con lo cual se logran establecer prioridades.

La gráfica de Pareto categoriza los factores en tres clases:

- Clase A, generalmente contiene alrededor del 20% de los factores (causas) que están ocasionando el 75% al 80% de los problemas.
- Clase B contiene alrededor del 20% de los factores que ocasionan del 15% al 20% de los problemas.
- El resto de los factores (que son muchos) están en la clase C.

En aplicaciones de mantenimiento, las gráficas de Pareto se utilizan para:

- Factores que menoscaban la productividad
- Trabajadores que ocasionen los mayores trabajos pendientes
- Repuestos que ocasionan la mayoría de las demoras
- Los repuestos más costosos
- Las fallas que ocasionan el mayor tiempo muerto

1.2.6. Gráficas de control

Son importantes en el control estadístico de procesos y se utilizan extensamente en el control de calidad. Pueden aplicarse para mejorar las actividades de mantenimiento de diferentes formas, y difieren de la mayoría de otras técnicas debido a que las gráficas de control son dinámicas, pues permiten

la observación de un proceso a lo largo del tiempo; mientras que otras técnicas son para un tipo de análisis estático.

Las graficas de control pueden utilizarse para monitorear los siguientes trabajos de mantenimiento:

- Trabajos pendientes mensuales
- Tiempos de paro por mantenimiento
- Disponibilidad del equipo
- Tasa de calidad del equipo
- Número de fallas mensuales

1.2.7. Diagrama de dispersión

El diagrama de dispersión es una representación gráfica de la correlación entre dos variables que ayuda en el análisis de patrones y tendencias. Se utiliza, generalmente, para estudiar la relación entre causas y efectos; por lo que se puede considerar un complemento del diagrama de causa y efecto.

En aplicaciones para mantenimiento, los diagramas de dispersión suelen utilizarse en los siguientes análisis:

- Correlación entre el mantenimiento preventivo y el nivel de calidad
- Correlación entre el nivel de capacitación y los trabajos pendientes

- Correlación entre el mantenimiento preventivo y el tiempo muerto
- Tendencia del tiempo de paro
- Tendencia del costo de mantenimiento
- Tendencia de la productividad de los trabajadores
- Tendencia de los trabajos pendientes
- Tendencia de los tipos de falla

1.2.8. Análisis de modo de fallas y efectos

El análisis de modos y efectos de fallas potenciales, es un proceso sistemático para la identificación de las fallas potenciales del diseño de un producto o de un proceso antes de que éstas ocurran, con el propósito de eliminarlas o de minimizar el riesgo asociado a las mismas, aplicado al mantenimiento esta es una herramienta que identifica las fallas potenciales en los equipos para evaluar sus efectos en el desempeño del mismo, desde el punto de vista de la severidad, la probabilidad de ocurrencia y la facilidad de detección antes de la falla.

Esta técnica tiene un gran potencial de utilización y aplicación en el mantenimiento, especialmente para evaluar el efecto de los modos de falla en las fallas funcionales cuando se diseña un programa de mantenimiento centrado en la confiabilidad.

1.2.9. Factores relacionados a la resolución de problemas de mantenimiento

El trabajo de mantenimiento difiere del trabajo de producción, ya que en su mayor parte, es un trabajo no repetitivo y tiene mayor variabilidad. En el caso de trabajos no repetitivos y ocasionales no se pueden recopilar suficientes datos para utilizar eficazmente las herramientas del CEP. En estos casos, es esencial controlar el proceso de mantenimiento mediante el control de sus entradas.

Las principales entradas al proceso de mantenimiento son:

- Procedimientos y normas de mantenimiento
- Personal
- Materiales y refacciones
- Equipo y herramientas

1.2.9.1. Procedimientos y normas

Los procedimientos y las normas se prescriben para controlar el trabajo y asegurar su uniformidad y calidad. Las normas deben ser precisas, medibles y deben reflejar los requerimientos del cliente o usuario del equipo. Los procedimientos deberán ser claros, lógicos y estar bien documentados a fin de poder implementarse. Los siguientes son los principales factores que afectan la eficacia de los procedimientos y las normas:

- Calidad y claridad del procedimiento.

- Documentación de los procedimientos y las normas.
- Adecuación de las normas y procedimientos a los recursos que tienen los colaboradores.
- Mecanismos de mejora de los mismos.

1.2.9.2. Recurso humano

El papel del personal calificado es esencial para un mantenimiento de alta calidad. Los siguientes son los factores más importantes que deben vigilarse a fin de mejorar la calidad del trabajo de mantenimiento:

- Tamaño de la fuerza de trabajo
- Nivel de destrezas y capacitación
- Formación y experiencia
- Motivación, actitud, ambiente de trabajo

1.2.9.3. Materiales y repuestos

La disponibilidad de materiales de alta calidad y las cantidades adecuadas para satisfacer las necesidades de uso son factores muy importantes que contribuyen a la calidad del trabajo de mantenimiento. Los factores que se deben considerar en el análisis de causa y efecto para investigar el impacto de los materiales y repuestos en los trabajos de mantenimiento deben ser los siguientes:

- La disponibilidad y la calidad de los materiales
- Normas y especificaciones correctas
- Políticas para el control de inventarios
- Presupuestos
- Políticas y procedimientos de compras

1.2.9.4. Herramientas y el equipo

La disponibilidad del equipo y herramientas para realizar mantenimiento de producción puede ser un factor limitante. Los factores que afectan la disponibilidad del equipo y herramientas correctos pueden ser:

- Presupuesto
- La prontitud operativa
- La capacitación del personal
- La compatibilidad y el número disponible

1.3. Mantenimiento

En esta parte se desarrollan los aspectos más importantes que se deben de tomar en cuenta en un buen plan de mantenimiento, incluyendo aspectos generales, los diferentes tipos de mantenimiento existentes, los diferentes

aspectos que forman parte de su costo y las principales fuentes de información para desarrollar un plan de mantenimiento exitoso.

1.3.1. Aspectos generales sobre mantenimiento

Mantenimiento es un conjunto de acciones oportunas, continuas y permanentes dirigidas a prever y asegurar el funcionamiento normal, la eficiencia y la buena apariencia de sistemas, edificios, equipos y accesorios; cuya finalidad debe ser el garantizar la continuidad de la operación dentro de los límites de calidad necesarios para mantener la satisfacción total del cliente.

La realización del mantenimiento tiene varios objetivos en una empresa entre los que se pueden mencionar:

- Evitar, reducir, y en su caso, reparar, las fallas sobre los equipos e instalaciones.
- Disminuir la gravedad de las fallas que no puedan ser evitadas.
- Evitar paro de máquinas.
- Evitar accidentes, incidentes y aumentar la seguridad para las personas.
- Conservar los bienes productivos en condiciones seguras y preestablecidas de operación.
- Alcanzar o prolongar la vida útil de los equipos e instalaciones.

1.3.2. Tipos de mantenimiento

Existen diferentes tipos de mantenimiento, entre ellos, el correctivo, preventivo, predictivo y proactivo; cada uno de estos tiene ventajas y desventajas bien definidas las cuales serán analizadas a continuación.

1.3.2.1. Mantenimiento correctivo

Es un mantenimiento no planificado, que se dedica a la corrección de averías o fallas cuando éstas se presentan.

Dentro de este mantenimiento se pueden contemplar dos tipos de enfoque:

- Mantenimiento paliativo o de campo (de arreglo): se encarga de la reposición del funcionamiento del equipo, aunque no quede eliminada la fuente que provoco la falla.
- Mantenimiento curativo (de reparación): se encarga de la reparación propiamente pero eliminando las causas que han producido la falla.

El mantenimiento correctivo presenta ventajas, las cuales son:

- Si el personal está preparado la intervención en el fallo es rápida y la reposición en la mayoría de los casos será con el mínimo tiempo.
- No se necesita una infraestructura excesiva, un grupo de operarios competentes y con experiencia será suficiente.

- Es rentable en equipos que no intervienen de manera instantánea en la producción, donde la implantación de otro sistema resultaría poco económico.

Asimismo, presenta desventajas, entre las cuales es posible mencionar:

- Produce paradas y daños imprevisibles en la producción que afectan a la planificación de manera incontrolada.
- Suele producir una baja calidad en las reparaciones debido a la rapidez de la intervención.

1.3.2.2. Mantenimiento preventivo

Es la programación de inspecciones, tanto de funcionamiento como de seguridad, ajustes, reparaciones, análisis, limpieza, lubricación, calibración, que deben llevarse a cabo en forma periódica con base en un plan establecido y no a una demanda del operario o usuario.

La característica principal de este tipo de mantenimiento es la de inspeccionar los equipos y detectar las fallas en su fase inicial, y corregirlas en el momento oportuno.

Con un buen mantenimiento preventivo, se obtiene experiencias en la determinación de causas de las fallas repetitivas o del tiempo de operación seguro de un equipo, así como a definir puntos débiles de instalaciones, máquinas, etc.

- Ventajas
 - Confiabilidad, los equipos operan en mejores condiciones de seguridad, ya que se conoce su estado, y sus condiciones de funcionamiento.
 - Disminución del tiempo muerto, tiempo de parada de equipos/máquinas.
 - Mayor duración de los equipos e instalaciones.
 - Disminución de existencias en almacén y, por lo tanto sus costos, puesto que se ajustan los repuestos de mayor y menor consumo.
 - Menor costo de las reparaciones.

- Desventajas
 - Representa una inversión inicial en infraestructura y también en mano de obra. El desarrollo de planes de mantenimiento se debe realizar por técnicos especializados.
 - Si no se hace un correcto análisis del nivel de mantenimiento preventivo, se puede sobrecargar el costo de mantenimiento sin mejoras sustanciales en la disponibilidad.

1.3.2.3. Mantenimiento predictivo

Está basado, fundamentalmente, en detectar una falla antes de que suceda, para dar tiempo a corregirla sin perjuicios al servicio, ni detención de la

producción, etc. Estos controles pueden llevarse a cabo de forma periódica o continua, en función del tipo de equipo, del sistema productivo, etc. Para realizarlo, se utilizan instrumentos de diagnóstico, aparatos y pruebas no destructivas, como análisis de lubricantes, comprobaciones de temperatura de equipo eléctrico y otras más.

- Ventajas

- Reduce los tiempos de parada y optimiza la gestión del personal.
- Permite seguir la evolución de un defecto en el tiempo.
- Conocer con exactitud el tiempo límite de actuación que no implique el desarrollo de un fallo imprevisto.
- Toma de decisiones sobre la parada de una línea de máquinas en momentos críticos.
- Facilita el análisis de las averías y el análisis estadístico del sistema.

- Desventajas

- La implantación de un sistema de este tipo requiere una inversión inicial importante.
- Tener un personal capacitado para analizar e interpretar los datos que generan los equipos.

- Por todo ello, la implantación de este sistema se justifica en máquina o instalaciones donde los paros intempestivos ocasionan grandes pérdidas, donde las paradas innecesarias ocasionan grandes costos.

1.3.2.4. Mantenimiento proactivo

Este tiene como fundamento los principios, colaboración, iniciativa propia y trabajo en equipo, de modo tal que todos los involucrados, directa o indirectamente en la gestión del mantenimiento, deben conocer y estar conscientes de las actividades que se llevan a cabo para desarrollar las labores de mantenimiento.

El mantenimiento proactivo implica contar con una planificación de operaciones, la cual debe estar incluida en el Plan Estratégico de la organización. Este mantenimiento, a su vez, debe brindar indicadores (informes) hacia la gerencia, respecto del progreso de las actividades, los logros, aciertos, y también errores.

- Ventajas
 - Solución a fallas de causa recurrente
 - Incremento del tiempo medio entre fallas
 - Educación de mantenimiento
 - Optimiza los recursos

- Desventajas:
 - Contar con un plan estratégico de la organización definido.
 - Se necesita personal capacitado para la toma de decisiones en todas las áreas.
 - Debe existir un alto compromiso del personal de la empresa hacia la importancia del mantenimiento.

1.3.3. Costos de mantenimiento

Están compuestos por diferentes variables, entre ellos la mano de obra, materiales, repuestos, costos indirectos como la supervisión entre otros costos. La función de un ingeniero de mantenimiento, es optimizar estos costos atacando las diferentes variables que inciden en los mismos.

1.3.3.1. Mano de obra

El costo de mano de obra se calcula con el tiempo empleado en la intervención multiplicado por el costo de horas – hombre específico para el tipo de mano de obra ocupada.

La mano de obra externa, normalmente, es un monto convenido por un contratista y el encargado de mantenimiento previo a la realización del trabajo.

1.3.3.2. Materiales y repuestos

Los materiales y repuestos son todos aquellos elementos necesarios para realizar las actividades de mantenimiento.

Los materiales y repuestos almacenados en bodega deben ser valorados al precio actual del mercado y no al valor que ingresaron en la bodega.

1.3.3.3. Costos indirectos

Son aquellos que no pueden atribuirse, de una manera directa, a una operación o trabajo específico. En mantenimiento, es el costo que no puede relacionarse a un único trabajo. Por lo general, suelen ser: la supervisión, almacén, instalaciones, servicio de taller, accesorios diversos, administración, servicios públicos, etc.

1.3.3.4. Otros costos

La detención de una planta para mantenimiento significa producción interrumpida de un producto determinado, lo que redundará en la imposibilidad de venta del mismo en los mercados y la consiguiente insatisfacción del consumidor, difícil de eliminar con el tiempo. Por tal motivo, mientras menor sea el tiempo de éstas paradas, menor será también la pérdida de oportunidad de venta del producto.

1.3.4. Requisitos para la implementación de un plan de mantenimiento

Existen tres elementos fundamentales para tener éxito en la implementación de un plan de mantenimiento, siendo éstos los siguientes:

- El responsable: es necesario tener un responsable del fomento de las actividades del mantenimiento en la empresa, es decir, él debe ser el responsable de la implementación del mantenimiento, su desarrollo y control. Dicho gestor debe conocer los conceptos de este tipo de mantenimiento y poseer capacidad de liderazgo.
- Flexibilidad: la estrategia del mantenimiento debe abordar los objetivos específicos definidos por la empresa. Los cambios de producción, en inversiones y en calidad de producción pueden dar lugar a cambios en la política del mantenimiento, por lo que la flexibilidad del plan permite la adaptación a los cambios.
- Criterio preventivo: los encargados del mantenimiento, deben ejecutar un análisis técnico del estado del componente que se inspecciona, para proceder o no a su cambio. Esto marca la diferencia entre los mantenedores y cambiadores de piezas. Las inspecciones se orientan hacia la revisión, especificando cambio o reparación según el estado en que se encuentre el componente.

Adicionalmente a estos tres elementos, al momento de la implementación de un programa de mantenimiento se deben de contar con lo siguiente:

- Inventario técnico: con manuales, planos, características de cada equipo

- Procedimientos técnicos: listados de trabajos a efectuar periódicamente
- Control de frecuencias: indicación exacta de la fecha a efectuar el trabajo
- Registro de reparaciones: repuestos y costos que ayuden a planificar

1.3.5. Fuentes de información para un plan de mantenimiento

Para la realización de un plan de mantenimiento adecuado, el ingeniero debe de hacer uso de diferentes fuentes, entre ellas la experiencia de los técnicos de mantenimiento, las recomendaciones de los fabricantes y el análisis estadístico de fallas de los equipos.

1.3.5.1. Instrucciones genéricas y experiencia

Para la elaboración de un plan de mantenimiento basado en instrucciones genéricas y experiencia, deben de realizar los siguientes pasos:

- Realizar un inventario de todos los equipos que tienen una identidad suficiente, como para tener tareas de mantenimiento asociadas y agruparlas por tipos significativos como motores, bombas, filtros, etc.
- Realizar un listado de tareas genéricas de mantenimiento para cada grupo o tipo de equipo.
- Aplicar las tareas genéricas.
- Comprobación de las instrucciones de los fabricantes.

Según este método, la consulta a los manuales de los fabricantes se hace después de haber elaborado un borrador inicial del plan, con la idea de complementar éste, tratando de ver que no se ha olvidado nada importante.

1.3.5.2. Recomendaciones del fabricante

Realizar un plan de mantenimiento basado en las recomendaciones de los fabricantes de los diferentes equipos que componen la planta, no es más que recopilar toda la información existente en los manuales de operación y mantenimiento de estos equipos y darle al conjunto un formato determinado.

Para la realización de un plan de mantenimiento con base en las recomendaciones del fabricante es necesario realizar los siguientes pasos:

- Realizar una lista previa con todos los equipos significativos de la planta.
- Asegurarse de que se dispone de los manuales de todos esos equipos.
- Recopilar toda la información contenida en el apartado 'mantenimiento preventivo' que figura en esos manuales, y agruparla de forma operativa.

Con esta recopilación, el plan de mantenimiento no está completo. Es conveniente contar con la experiencia de los responsables de mantenimiento y de los propios técnicos, para completar las tareas que pudieran no estar incluidas en la recopilación de recomendaciones de fabricantes.

1.3.5.3. Análisis estadístico de fallas

Una vez elaborado un plan y con él ya en funcionamiento, es decir, los técnicos y todo el personal se ha acostumbrado a la idea de que los equipos hay que revisarlos periódicamente, se puede realizar un plan más avanzado basado en el análisis de fallos de cada uno de los sistemas que componen la planta.

Este análisis permitirá, no sólo diseñar el plan de mantenimiento, sino que, además, permitirá proponer mejoras que eviten esos fallos, crear procedimientos de mantenimiento o de operación y seleccionar el repuesto necesario.

1.3.6. Determinación de frecuencias de mantenimiento

Los programas de mantenimiento, inicialmente fueron realizados con base en recomendaciones de los fabricantes del equipo, donde de antemano se aseguraban en muchas ocasiones, de no correr riesgo de falla durante la garantía, a costa de incrementar la frecuencia de mantenimiento. Con el tiempo estos programas se pueden mejorar con la experiencia del personal, como también algunos métodos de trabajo.

Sin embargo, es frecuente que continúen presentándose fallas en los equipos entre intervenciones programadas, por lo que es necesario identificar las causas que están provocando estas fallas para controlarlas y/o eliminarlas, para obtener más confiabilidad en el desempeño del equipo y aumentar su disponibilidad.

1.3.6.1. Confiabilidad del equipo

La confiabilidad se refiere a la probabilidad de que un sistema o equipo, pueda funcionar correctamente sin falla, en un momento determinado y bajo condiciones establecidas.

La ejecución de un análisis de la confiabilidad debe incluir muchos tipos de exámenes para determinar cuan confiable es el sistema o equipo. Una vez realizados los análisis, es posible prever los efectos de los cambios y de las correcciones del diseño para mejorar la confiabilidad del mismo.

El objetivo principal del mantenimiento centrado en la confiabilidad es reducir el costo de mantenimiento enfocándose en las funciones más importantes de los sistemas y evitando o quitando acciones de mantenimiento que no son estrictamente necesarias, por lo tanto, pone énfasis en las consecuencias de las fallas como en las características técnicas de las mismas, a través de:

- Integración de una revisión de las fallas operacionales con la evaluación de aspecto de seguridad y amenazas al medio ambiente, esto hace que la seguridad y el medio ambiente sean tenidos en cuenta a la hora de tomar decisiones en materia de mantenimiento.
- Manteniendo mucha atención en las tareas del mantenimiento que más incidencia tienen en el funcionamiento y desempeño de las instalaciones, garantizando que la inversión en mantenimiento se utiliza donde más beneficio va a reportar.

1.3.6.2. Submantenimiento

El submantenimiento o bajo mantenimiento tiene las siguientes consecuencias negativas en la confiabilidad y disponibilidad de un sistema:

- Bajo costo de mantenimiento preventivo
- Alto costo de mantenimiento correctivo
- Pérdidas productivas por baja disponibilidad a causa de fallas en el equipo
- Alto costo por consumo e inventario de refacciones

1.3.6.3. Sobremantenimiento

El sobremantenimiento tiene las siguientes consecuencias negativas en la confiabilidad y disponibilidad de un sistema:

- Alto costo de mantenimiento preventivo.
- Bajo costo de mantenimiento correctivo.
- Pérdidas productivas por baja disponibilidad debido al exceso de paros programados de mantenimiento al equipo.
- Alto costo por consumo e inventario de refacciones.

2. SITUACIÓN ACTUAL

2.1. Planteamiento del problema

Actualmente, en la empresa se lleva a cabo un programa de mantenimiento para cada uno de los equipos; sin embargo, en ninguno de ellos se lleva un control estadístico de las intervenciones, ya sea programadas o no, por lo que tampoco se realiza ningún tipo de análisis de la información que se encuentra en los registros que los colaboradores llenan, lo cual impide el desarrollo de propuestas para la mejora continua del servicio que ofrece el departamento a los demás integrantes de la empresa.

Por tal razón, se propone la aplicación de un Control Estadístico de Procesos (CEP) con el objetivo de reducir las fallas mecánicas de los equipos y la optimización de tiempos de paro. Para tal estudio se tomará como prueba piloto la línea de extrusión de tubería corrugada de doble pared de PVC, con el objetivo de optimizar dichos indicadores mediante las herramientas del CEP y con la visión de implementar este tipo de controles en todos los equipos que componen la planta de producción de la empresa.

2.2. Área de mantenimiento

El departamento de mantenimiento de la empresa está conformada por dos áreas principales: el taller mecánico y el taller eléctrico; adicionalmente para tareas de mantenimiento que son fáciles de realizar. El departamento se apoya en el personal de planta para su realización, mediante la aplicación del llamado mantenimiento autónomo.

Para el seguimiento y control de todas las actividades de mantenimiento, el departamento se apoya en una serie de registros que ayudan a administrar de mejor manera, como los siguientes:

- Plan anual de mantenimiento
- Ordenes de trabajo
- Hojas de verificación de funcionamiento
- Reportes de mantenimiento

2.2.1. Taller mecánico

Las actividades del taller mecánico tienen como propósito el establecer las directrices necesarias para llevar a cabo las actividades de mantenimiento mecánico en los diferentes equipos de la planta, con el fin de asegurar el cumplimiento de los requisitos especificados para los productos, la gestión del medio ambiente y la seguridad industrial de manera eficiente.

Para la realización de las actividades de mantenimiento el departamento cuenta con un supervisor de taller mecánico y cinco técnicos mecánicos; de los cuales hay uno asignado por turno como apoyo a planta y los otros son encargados del mantenimiento preventivo y proyectos especiales.

Entre las actividades de mantenimiento preventivo más importantes realizadas por los mecánicos están:

- Revisión de niveles y cambios de aceite

- Limpieza y cambio de filtros de aceite
- Lubricación de cojinetes, cadenas y partes móviles
- Mantenimiento de bombas y radiadores

2.2.2. Taller eléctrico

Las actividades del taller eléctrico tienen como propósito el establecer las directrices necesarias para llevar a cabo las actividades de mantenimiento eléctrico y electrónico para los diferentes equipos de la planta, con el fin de asegurar el cumplimiento de los requisitos especificados para los productos, la gestión del medio ambiente y la seguridad industrial de manera eficiente.

Para la realización de las actividades de mantenimiento, el departamento cuenta con un supervisor de taller eléctrico y cinco técnicos electricistas; de los cuales hay uno asignado por turno como apoyo a planta y los otros son encargados del mantenimiento preventivo y proyectos especiales.

Entre las actividades de mantenimiento preventivo más importantes realizadas por los mecánicos están:

- Mantenimiento de motores
- Limpieza de tableros de mando principal
- Limpieza y verificación de sensores y micros

2.2.3. Mantenimiento autónomo

Cada colaborador es responsable de realizar el mantenimiento autónomo al equipo bajo su responsabilidad según la actividad realizada y su frecuencia, de manera que se garantice el uso óptimo y correcto del equipo. El listado de actividades de mantenimiento autónomo y su frecuencia son llevados por medio de un plan de mantenimiento anual respectivo, el cual será elaborado y coordinado por el supervisor de taller mecánico y/o eléctrico, pero las actividades derivadas del programa de mantenimiento autónomo serán supervisadas por los jefes y supervisores de cada área.

El mantenimiento autónomo consiste en tareas básicas, pero que contribuyen significativamente en la eficacia del equipo, por ejemplo:

- Limpieza diaria, que se tomará como un proceso de inspección.
- Inspección de los puntos claves del equipo, en busca de fugas, fuentes de contaminación, exceso o defecto de lubricación, entre otros.
- Lubricación básica periódica de los puntos claves del equipo.
- Pequeños ajustes.
- Reportar todas las fallas mecánicas o eléctricas que no puedan repararse en el momento de su detección y que requieren una programación para solucionarse.

2.2.4. Uso del control estadístico de procesos en las actividades del área

Actualmente, el único indicador del cual se lleva un seguimiento estadístico para las actividades de mantenimiento es el indicador de porcentaje de paros por mantenimiento; sin embargo, a este indicador no se le da ningún tipo de seguimiento o análisis para poder mejorarlo y buscar las causas de dichos tiempos de reparación, lo que se busca con este análisis es implementar controles fundamentados en la teoría del control estadístico de procesos, para poder proponer mejoras que impacten directamente en la mejora de las actividades de mantenimiento y por consiguiente, en la eficiencia de la planta.

2.3. Descripción de una línea de extrusión de tubería corrugada

Una línea de extrusión es un conjunto de equipos diseñados para transformar materia prima, en productos finales con secciones transversales, tales como: como tubería, perfiles, películas, entre otros.

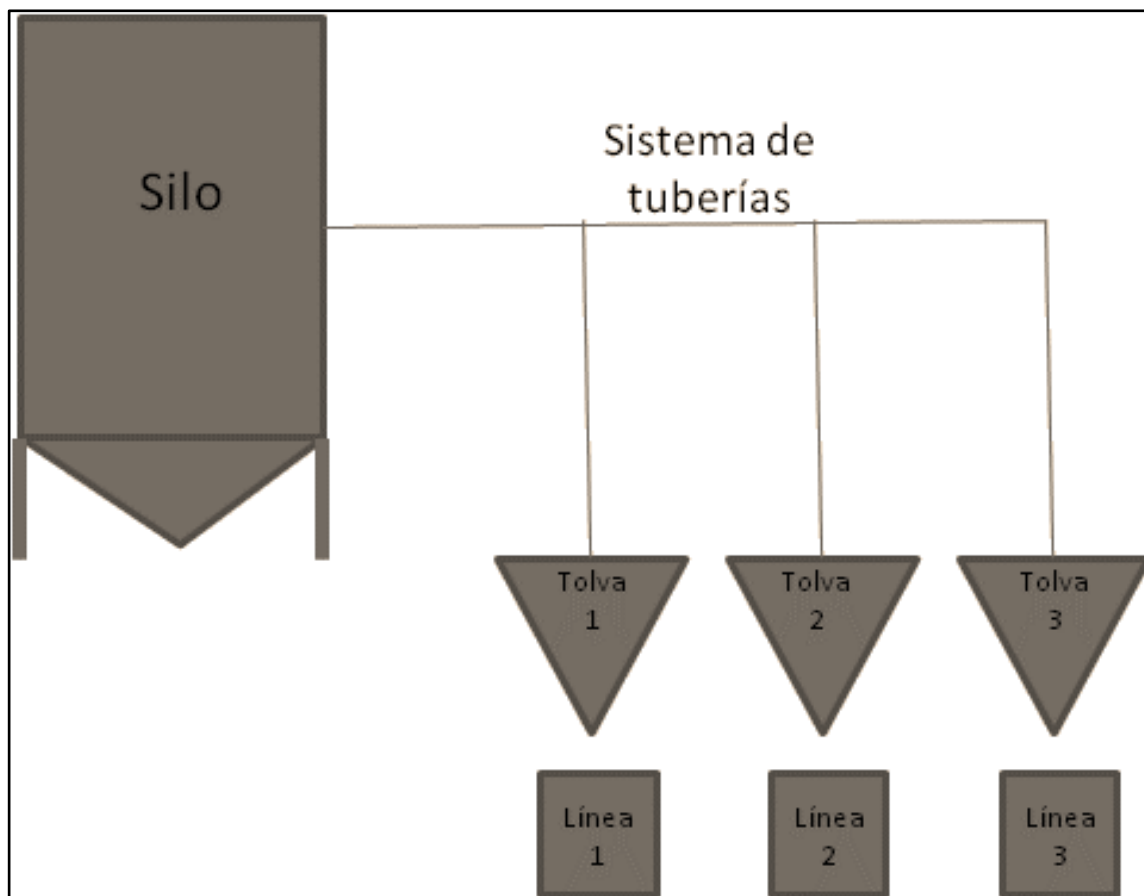
2.3.1. Sistema de transporte de material

El sistema de transporte de material es de vital importancia en toda línea de extrusión, ya que es el medio por el cual se alimenta de materia prima a la extrusora.

Si el sistema de transporte no alimenta el equipo con suficiente material, la extrusora se puede quedar sin material, lo cual puede provocar que la máquina deje de funcionar correctamente, cortando la continuidad del proceso y si alimenta demasiado material, la tolva puede sobre pasar su capacidad provocando rebalses.

El sistema de transporte empieza desde los silos de almacenamiento de material y está formado por una red de tubería de acero inoxidable que conectan el silo y la extrusora mediante una tolva de almacenamiento previo a la dosificación del material hacia la extrusora, el transporte del material se realiza mediante un soplador y debe contar con un filtro que no permite pasar material contaminado hacia la extrusora.

Figura 3. **Diagrama básico de un sistema de transporte de material**



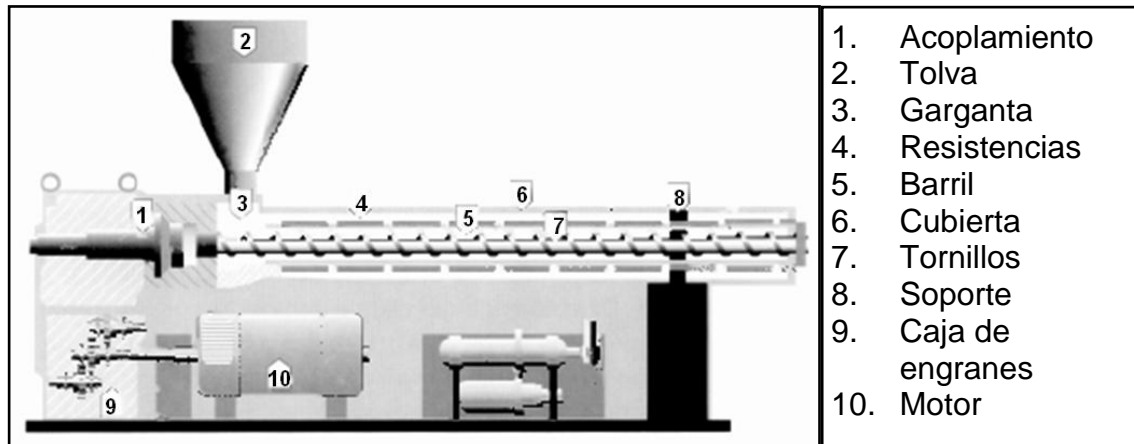
Fuente: elaboración propia

2.3.2. Extrusora

Los componentes principales de cualquier extrusor son:

- Tornillo del extrusor: la parte más importante en un extrusor es el tornillo, ya que es la parte que mezclará, fundirá y transportará el plástico fundido. El tornillo es movido por un motor eléctrico de gran potencia; la flecha del motor se conecta a través de un reductor y una caja de engranes, para asegurar la suficiente fuerza de torsión y transformar la alta velocidad del motor a una más baja velocidad requerida del tornillo. El tornillo debe ser fabricado de acero y poseer gran resistencia a la torsión.
- Barril del extrusor. el barril de un extrusor podría ser comparado con un canon de artillería. Los barriles de los extrusores están hechos de acero inoxidable y tienen paredes gruesas para poder soportar presiones de 10 000 a 20 000 psi. La superficie del barril casi siempre está fabricado de un acero especial y muy resistente. El diámetro interior del barril es la dimensión que determina el tamaño del extrusor.
- Sistema de calentamiento y enfriamiento del extrusor: la parte externa del barril del extrusor está equipada con sistema de calentamiento y enfriamiento para mantener el barril a la temperatura deseada. El calentamiento viene de las resistencias eléctricas que están alrededor del barril que deberán estar muy bien ajustadas y bien conectadas, para lograr una buena transferencia de calor hacia el barril.

Figura 4. Diagrama básico de una extrusora

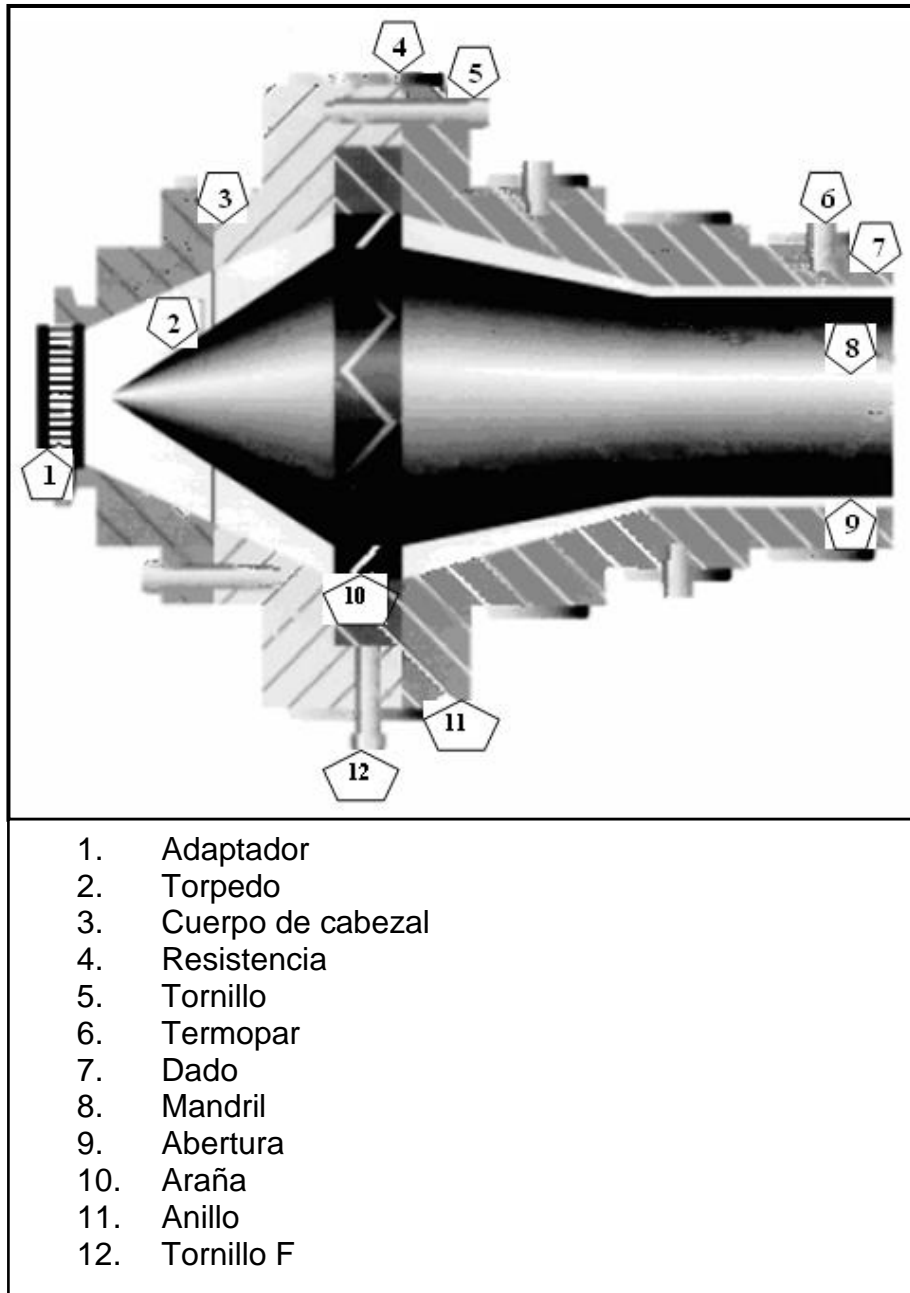


Fuente: OMYA. Manual de extrusión. p. 43.

2.3.3. Cabezal y molde

El cuerpo del cabezal, es la parte más complicada. Está maquinada de una sola parte de acero y sirve para colocar todas las demás partes. Es sujetado al frente del extrusor usando un adaptador. La resina fluye a través del cuerpo del dado dividiéndose en tres partes por medio de la araña. Esta araña tiene tres ranuras, podría haber de dos, cuatro, seis y ocho brazos. La resina llega al dado y mandril donde se le dará la forma cilíndrica de la tubería. El dado, también es colocado en el cuerpo del cabezal por medio de un anillo, el cual es apretado por varios tornillos. El dado es diseñado para que se adapte a la superficie del cuerpo del cabezal y el anillo y que puede ser empujado por varios tornillos. Durante el inicio de la extrusión de la tubería, el centrado del dado con respecto al mandril es una de las primeras cosas que deberán de ser ajustadas. Esto afectará la excentricidad del grosor de las paredes del tubo.

Figura 5. Diagrama de un cabezal y dado típico para la fabricación de tubería de PVC



Fuente: OMYA. Manual de extrusión. p. 53.

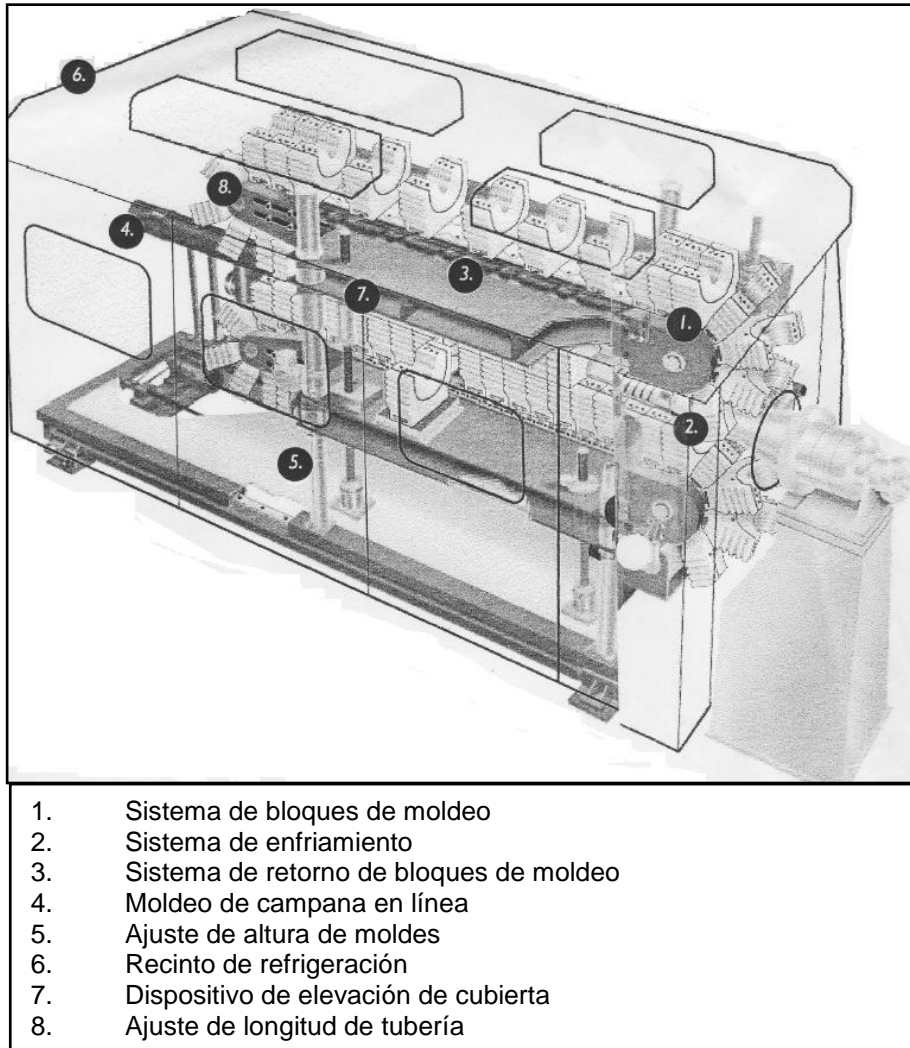
2.3.4. Corrugadora

La corrugadora consta de una vía superior y una inferior que contiene las mitades de bloques de moldes de avance, que juntas conforman el túnel de molde de avance donde se forma la tubería; las dos mitades de cada bloque de moldes se mantienen alineadas por medio de clavijas.

La extrusora funde el PVC y lo convierte en una masa suave que es pasada a través de un molde donde se divide el fluido del material en dos paredes, la interna y la externa. Posteriormente, el material sale del molde y entra a la corrugadora donde el material fundido forma la parte corrugada de la tubería a través de vacío en el túnel de bloque de moldes. El tubo moldeado se enfría y endurece mientras pasa, y está en contacto con los bloques de molde, y luego se desprende cuando se sueltan las mitades del bloque de moldes, cada mitad retorna a su guía superior o inferior. Las guías transportadoras superior e inferior son enfriadas con agua y las mitades de los bloques de molde son enfriadas con aire mientras retornan. La corrugadora se opera dentro de una variación de temperatura que va desde los 0 °C y los 40 °C.

La corrugadora se controla desde un puesto de control central, que está ubicado en la base de la máquina. Además, se provee un sistema de lubricación central automático y los medios para el posicionamiento axial de la cavidad del molde sobre el mecanizado de troquel durante la producción y alejamiento del troquel durante los procedimientos de instalación o limpieza. Adicionalmente, se proveen actuadores eléctricos para ajustar el espacio entre la caja superior y la inferior, y para ajustar la altura de centrado del túnel de molde.

Figura 6. **Diagrama de una corrugadora para la fabricación de tubería de PVC de doble pared**



Fuente: Corma. Manual de corrugadora modelo 1530. p. 2.

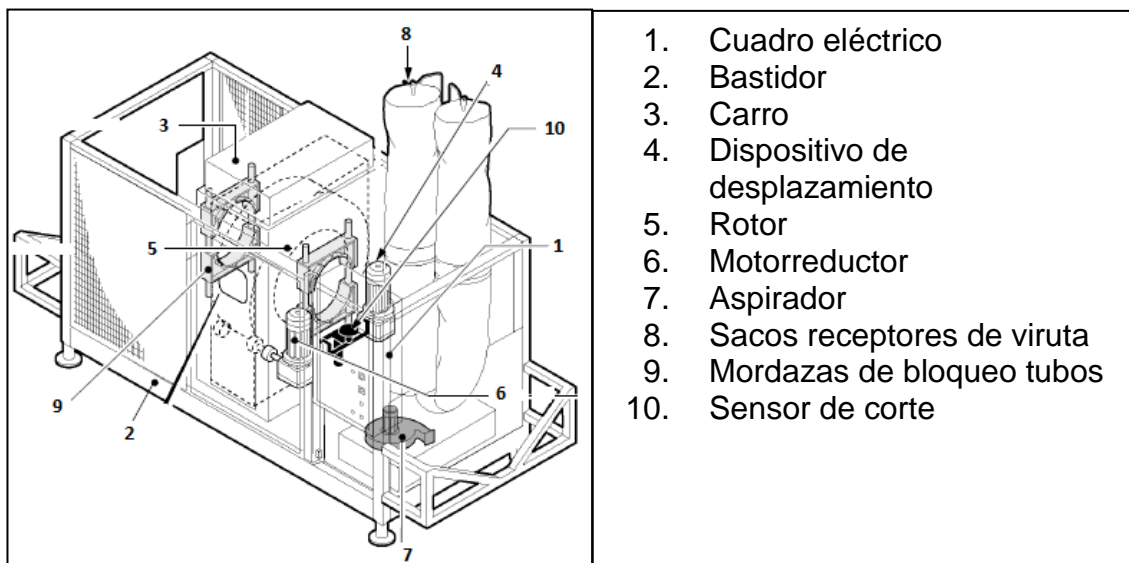
2.3.5. Sierra

La tubería es, normalmente, cortada por una sierra radial circular, la cual viaja con la tubería para realizar el corte. La sierra es activada por un *switch* de límite que es colocado de acuerdo a la longitud de la tubería. En tuberías con

diámetro mayor de 6 pulgadas (150 mm), se usan sierras periféricas (planetarias), las cuales no hacen el corte cruzado, sino que giran alrededor de la circunferencia del tubo.

Es posible sincronizar la velocidad de trabajo con la velocidad de extrusión de la línea mediante una señal eléctrica proveniente de una máquina (extrusora o corrugadora), instalada en posición previa.

Figura 7. Diagrama de una cortadora planetaria para tubería corrugada de PVC



Fuente: SICA. Manual cortadora planetaria modelo TRS/D/SY 315 – 1200. p. 8.

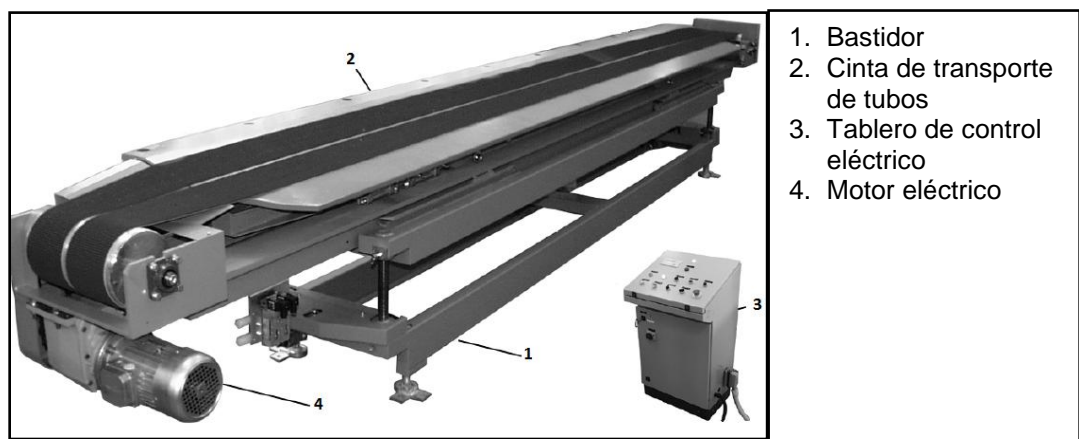
2.3.6. Sistema de volteo

El sistema de volteo consiste en una cinta de transporte automática destinada al transporte de tubos rígidos de material plástico el cual recibe el tubo lateralmente o en línea.

En caso reciba el tubo lateralmente, dos fotocélulas, ubicadas en la zona de recepción mandan la apertura del *flap* desde la posición de recepción, hasta la de trasporte. De este modo, el tubo se deposita en la cinta de transporte, listo para desplazarse.

Por otro lado, si la máquina recibe el tubo en línea una fotocélula ubicada en la zona de recepción manda el desplazamiento del tubo, su colocación en la cota solicitada y, por último, la apertura del borde móvil desde la posición de trasporte hasta la descarga.

Figura 8. **Imagen de un sistema de transporte y volteo para tubería de PVC**



Fuente: SICA. Manual cinta de transporte modelo A640. p. 16.

2.4. Programación del mantenimiento

Para la programación del mantenimiento en la empresa, se utilizan diferentes fuentes de información, entre ellas la experiencia del equipo técnico y

los manuales de los fabricantes. Además, hacen uso de diferentes formatos para el registro del mismo.

2.4.1. Fuentes de información

El departamento de mantenimiento de la empresa se apoya básicamente, en los manuales de mantenimiento de los fabricantes, sin embargo, existen muchos equipos que no cuentan con dicho manual, por lo que su mantenimiento es programado según la experiencia del equipo técnico (mecánicos y electricistas).

El objetivo principal de este trabajo es evolucionar a una planificación mediante el uso de las herramientas de control estadístico de proceso en donde se utilice el historial de mantenimiento de los equipos, la experiencia y habilidades del equipo técnico y las sugerencias del fabricante para minimizar las fallas de elementos mecánicos y optimizar el tiempo de las intervenciones debidas a mantenimiento.

2.4.2. Formato de registros

Los diferentes formatos de registro utilizados en la empresa son: el plan anual de mantenimiento, la orden de trabajo, las hojas de verificación de funcionamiento y los reportes de mantenimiento; dichos planes serán descritos a continuación.

2.4.2.1. Plan anual de mantenimiento

El jefe de mantenimiento y/o los supervisores de taller definirán las actividades de mantenimiento mecánico y eléctrico a realizarse y su frecuencia

durante un año para cada uno de los equipos. En este plan se deben incluir los servicios de mantenimiento realizados por contratistas (ver figura 9).

2.4.2.2. Orden de trabajo

Para la realización de mantenimientos correctivos derivados de fallos en los equipos o solicitudes de mejora de infraestructuras y ambientes de trabajo, las partes interesadas son las responsables de trasladar dichos requerimientos a los jefes de taller o responsable designado, para propiciar su intervención y rehabilitación, dejando evidencia de la ejecución del mismo a través del registro y orden de trabajo (ver figura 10).

2.4.2.3. Hojas de verificación de funcionamiento

Se cuenta con hojas de verificación de funcionamiento para los equipos en donde se registran las principales variables de funcionamiento y se verifica que estas variables se mantengan dentro de los parámetros establecidos.

2.4.2.4. Reportes de mantenimiento

El reporte de mantenimiento es la evidencia de la realización del mantenimiento preventivo según el plan anual de mantenimiento. Se realiza un reporte de mantenimiento por equipo y para una semana en particular. Adicionalmente, se tiene un espacio para anotar los mantenimientos correctivos derivados de los trabajos de mantenimiento preventivo.

Figura 10. Formato de registro orden de trabajo

EMPRESA	Código: _____	Versión: 00								
	Página 1 de 1									
	Orden de trabajo									
No. 00000										
Fecha solicitado: _____	C.C. _____									
Solicitado por: _____	<table border="1" style="float: right;"> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">Gestión de referencia</td></tr> <tr><td>Calidad</td><td>_____</td></tr> <tr><td>Ambiente</td><td>_____</td></tr> <tr><td>S&SO</td><td>_____</td></tr> </table>		Gestión de referencia		Calidad	_____	Ambiente	_____	S&SO	_____
Gestión de referencia										
Calidad	_____									
Ambiente	_____									
S&SO	_____									
Departamento: _____										
DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO SOLICITADO		PRIORIDAD								
		Urgente								
		A Planificar								
		Tipo								
		Mecánico								
		Eléctrico								
		Otro								
Fecha de recibido _____ Hora de recibido: _____ Nombre de quien recibe: _____ Firma de quien recibe: _____ Otras observaciones: _____										
REPORTE DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO										
MAQUINA: _____ ÁREA: _____ TÉCNICO: _____ Eléctrico <input type="checkbox"/> Mecánico <input type="checkbox"/> FECHA: _____ TURNO <input type="checkbox"/> HORARIO DE: _____ A _____										
DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO										
REPUESTOS UTILIZADOS										
OBSERVACIONES										
_____ COLABORADOR QUE RECIBE EL TRABAJO _____ COLABORADOR QUE EJECUTO EL TRABAJO _____ SUPERVISOR										

Fuente: elaboración propia.

Figura 11. Formato de registro reporte de mantenimiento

EMPRESA			Código:	Versión: 00	
Página 1 de 1					
Reporte de mantenimiento					
Equipo :			Semana No.	Hoja	
Responsable:			Realizados		
No.					
Eléctrico			si	no	Fecha
Mecánico					
<i>TRABAJOS PREVENTIVOS</i>					
<i>TRABAJOS CORRECTIVOS</i>			Realizado		fecha
No.			si	no	
<i>TRABAJOS REPROGRAMADOS</i>					
Observaciones					
Fecha de entrega _____			Supervisor _____		
Firma de colaborador responsable _____			Firma de supervisor _____		

Fuente: elaboración propia.

3. PROPUESTA PARA LA APLICACIÓN DEL CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS

3.1. Recopilación de datos

Establecer un plan enfocado en la reducción de fallas en elementos mecánicos y la reducción de paros por mantenimiento con base en el control estadístico de procesos, parte inicialmente del conocimiento de cada uno de los equipos de la línea de producción sobre la cual deberá aplicarse. Para conseguir este conocimiento, es muy importante entrar en contacto directo con los equipos realizando un inventario de todos los elementos mecánicos que lo componen.

Adicionalmente, la documentación técnica o manual del fabricante debe ser tomada en cuenta para determinar los criterios más adecuados de mantenimiento preventivo que deban aplicarse en cada caso.

Otra información importante para la elaboración del plan es la siguiente:

- Archivos correspondientes a cualquier servicio de mantenimiento prestado con anterioridad.
- Historial de fallas.
- Historial de tiempos de paro.
- Modificaciones efectuadas sobre las instalaciones después de su puesta en marcha inicial.

- Informes de estado de la instalación

3.1.1. Inventario de equipo

Una vez analizada la documentación técnica disponible sobre los equipos, el paso siguiente será confeccionar el inventario específico de elementos mecánicos sujetos a mantenimiento.

Es recomendable que el inventario de elementos de cada equipo que forma parte de la línea de producción se configure de lo general a lo específico, identificando en primer lugar, los sistemas que lo componen, después los subsistemas que se integran en cada sistema y finalmente, enumerando los elementos y componentes sujetos a mantenimiento dentro de cada subsistema. Posteriormente, los elementos, con independencia de los sistemas o subsistemas a los que pertenezcan, deberán encuadrarse por familias, por ejemplo: bombas, motores, compresores, entre otros.

De forma paralela y simultánea a la confección del inventario de instalaciones, o bien inmediatamente a continuación de la terminación del mismo, los encargados del mantenimiento deberán llevar a cabo la elaboración de fichas técnicas específicas de cada elemento y equipo componente de las instalaciones.

Las fichas deberán disponer de todos los campos necesarios para recoger, como mínimo, los datos relativos a:

- Identificación del equipo en cada sistema y función a la que se destina, conviene ordenarlos, también, por familias.

- Datos y características técnicas de cada elemento, datos del fabricante.
- Componentes singulares que lo configuran.
- Frecuencias de revisión que se le asignen, según las recomendaciones de su fabricante, o bien, según los protocolos de mantenimiento que se le apliquen posteriormente.
- Características del estado en que se encuentra.

Para la elaboración de las fichas será muy valiosa la aportación de los técnicos que tengan experiencia en el mantenimiento del elemento concreto o de elementos similares, sobre todo en lo referente a las necesidades de atención que puedan ser requeridas, y a sus particularidades de manipulación. Esta información puede quedar recogida en campos destinados a notas o comentarios.

Se deberá añadir la información referente a los repuestos recomendados para cada elemento o equipo, que deberán facilitar los fabricantes.

La fase de elaboración de fichas técnicas determinará si es necesario completar la información recabada en campo llevando a cabo visitas complementarias a las instalaciones.

Como complemento de las fichas técnicas se deberán confeccionar hojas de verificación de toma de datos de funcionamiento, para todos los equipos y elementos componentes cuyo mantenimiento preventivo los haga precisos.

3.1.2. Historial de fallas mecánicas

El historial de fallas mecánicas debe ser recopilado de cada uno de los registros de mantenimiento realizados al equipo, mediante los reportes y órdenes de trabajo generados como mínimo de un año anterior a la fecha del análisis.

3.1.3. Historial de tiempos de paro por mantenimiento

El historial de tiempos de paro por mantenimiento debe ser recopilado de cada uno de los registros de mantenimiento realizados al equipo, mediante los reportes y órdenes de trabajo generados como mínimo de un año anterior a la fecha del análisis.

3.2. Análisis de datos

El análisis de datos se realizará, a través de histogramas de frecuencia y gráficos de Pareto para la identificación de puntos críticos y oportunidades de mejora.

3.2.1. Histograma de frecuencia

Herramienta del control estadístico de procesos que se utiliza para realizar análisis de frecuencia sobre el historial de fallas mecánicas y tiempos de paro por mantenimiento y sirve de base para el análisis de Pareto. Los aspectos que se pueden evaluar mediante histogramas de frecuencia son:

- Frecuencia de fallas

- Fallas por equipo
- Tiempos de paro por equipo

3.2.2. Análisis de Pareto

Mediante el análisis de Pareto se pueden tomar decisiones y definir prioridades respecto a qué equipos se debe mejorar su mantenimiento y brinda una idea sobre aquellos sistemas, elementos y factores de la maquinaria sobre los cuales hay mayor frecuencia de fallos y mayor tiempo de paro por mantenimiento, separando los pocos vitales de los muchos triviales, ayudando a definir los elementos de la máquina que se les debe efectuar un análisis de causa.

Este análisis es, simplemente, una distribución de frecuencias de datos acomodados en orden, de mayor a menor, y en él que se debe analizar el veinte o treinta por ciento de las causas que provoca el sesenta a ochenta por ciento de las fallas en la maquinaria y mayores tiempos de paro por mantenimiento.

3.2.3. Identificación de puntos críticos y oportunidades de mejora

Los puntos críticos serán los factores que representen el ochenta por ciento de las fallas de elementos mecánicos y tiempos de paro por mantenimiento de los cuales se debe realizar un análisis de causa y efecto mediante el uso del diagrama de Ishikawa.

3.3. Análisis de causa y efecto de puntos críticos

Después de la identificación de puntos críticos y oportunidades de mejora, se realizará un análisis de causa y efecto mediante la herramienta Diagrama de Ishikawa.

3.3.1. Diagrama de Ishikawa

Por cada punto crítico encontrado en el análisis de Pareto se debe realizar un análisis de causa con el uso de la herramienta de Espina de Pescado o Diagrama de Ishikawa, con el objetivo de ubicar el problema de raíz y realizar las propuestas de mejora sobre ese punto específico.

El análisis se centrará en cuatro aspectos importantes:

- Procedimientos y normas
- Recurso humano
- Materiales y repuestos
- Herramientas y equipo

3.4. Propuestas de mejora

Las propuestas de mejora derivadas del análisis estadístico pretenden estar enfocadas en los cuatro principales actores del mantenimiento, como los siguientes:

- Procedimientos y normas: buscar oportunidades de mejora en la optimización de procedimientos eliminando operaciones que no agreguen valor a las actividades de mantenimiento.
- Recurso humano: en cuanto al recurso humano, se busca encontrar cuáles son las posibles brechas de conocimiento en el personal entre lo que sabe y lo que debe hacer para buscar oportunidades de capacitación y así las tareas de mantenimiento sean de la mayor calidad, brindando confiabilidad a los equipos.
- Materiales y repuestos: buscar oportunidades de mejora respecto a temas de manejo de inventarios de repuestos.
- Herramientas y equipo: este aspecto se enfoca en la búsqueda de la herramienta adecuada para cada trabajo. Va muy de la mano con el de procedimientos y normas, ya que derivado de la optimización de procedimientos pueden surgir mejoras respecto a las herramientas y equipos utilizados para las tareas de mantenimiento.

Las propuestas de mejora deben de documentarse para su seguimiento.

3.5. Beneficios por la aplicación del control estadístico de proceso

La aplicación del control estadístico de procesos tiene grandes beneficios para las empresas, tales como:

- Reducir costos y ahorrar tiempo en las tareas de mantenimiento.
- Determinar las causas asignables a los principales problemas de mantenimiento en la línea.

- Detectar a tiempo anomalías en el proceso.
- Impedir la fabricación de piezas fuera de especificación por problemas de mantenimiento.
- Economía en la realización de la investigación y la rapidez en la obtención de resultados.
- Proporcionar evidencias para investigar la causa de malos resultados.
- Detectar un deterioro no deseado del proceso, éste puede obedecer a múltiples causas. Es fácil detectar y ajustar el tipo de deterioro que pasa a uno de otro nivel.

4. IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

Toda empresa, independientemente de su tamaño, es una organización formal cuya función es fabricar un producto o prestar un servicio para satisfacer necesidades de los consumidores o usuarios y al más bajo costo. Para garantizar la satisfacción completa del consumidor y funcionar en forma eficiente, cada empresa debe desarrollar políticas y procedimientos de trabajo, así como, establecer los flujos de mando y definir las responsabilidades de los distintos integrantes de la organización.

De la misma manera, cada departamento de la empresa se debe de ver como una empresa individual donde los miembros de los otros departamentos son sus clientes a los cuales deben brindarles un buen servicio, es por esto que cada departamento debe definir muy bien sus procedimientos específicos y definir las responsabilidades de cada uno de sus miembros para saber cuál es el flujo de mando de cómo se debe de actuar ante las diferentes situaciones que se pueden presentar.

4.1. Responsabilidades del personal

A continuación se definen las responsabilidades que tiene cada uno de los involucrados dentro de la implementación del proyecto.

4.1.1. Jefe de mantenimiento

Es el líder del proyecto, responsable del cumplimiento de los objetivos de implementación del control estadístico de procesos al departamento, de ahora

en adelante denominado como proyecto. Esto implica, entre otras funciones, las siguientes:

- Presentar el proyecto de implementación del control estadístico de procesos del departamento frente a la alta gerencia y a los demás departamentos de la empresa.
- Comunicar las metas, objetivos y políticas previamente acordadas con la alta gerencia de la empresa y con su personal.
- Definir y administrar los recursos físicos y humanos, para cumplir satisfactoriamente con los objetivos y metas fijadas para el proyecto.
- Establecer los procedimientos para la recopilación, procesamiento y análisis, divulgación de datos y elaboración de informe de resultados.
- Formular recomendaciones de mejora a los procedimientos, administración de recursos y herramientas utilizados para el mantenimiento.
- Definir los programas de entrenamiento y capacitación del personal.
- Establecer costos y presupuestos de mantenimiento.

4.1.2. Mecánicos

El personal técnico del departamento es el encargado de ejecutar las tareas de mantenimiento y del levantamiento de la información necesaria para la implementación del proyecto.

- Supervisor de taller mecánico:

Las responsabilidades del supervisor de mantenimiento son:

- Apoyar al gerente de mantenimiento en la implementación del proyecto.
- Verificar el cumplimiento de las tareas de mantenimiento mecánico.
- Verificar que la información recopilada por los mecánicos sea adecuada y confiable.
- Elaboración de histogramas de fallas mecánicas y tiempos de paro por mantenimiento

- Técnico mecánico

Las responsabilidades del personal técnico mecánico son:

- Cumplir con las tareas de mantenimiento preventivas y correctivas.
- Llenar los registros necesarios de forma adecuada y con datos confiables.

4.1.3. Personal de planta

El personal de planta es responsable de notificar de forma oportuna cualquier fallo o anomalía en el funcionamiento mecánico de los equipos,

además de apoyar al departamento de mantenimiento en la realización del mantenimiento autónomo.

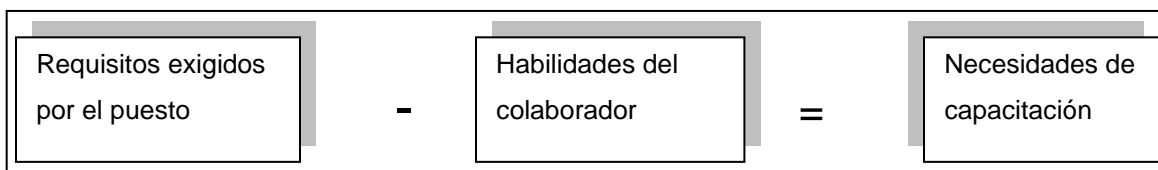
4.2. Identificación de necesidades de capacitación para el personal

Se necesita identificar las necesidades de capacitación de todo el personal involucrando en el proyecto, para eliminar todas las brechas de conocimiento que puedan encontrarse y obstaculicen el logro de los objetivos que han sido establecidos para el mismo.

Es por esto que se debe realizar una evaluación de los puestos de trabajo, es decir, determinar las nuevas necesidades que se tienen de cada uno de los integrantes del departamento de mantenimiento y otros grupos interesados, derivados del proyecto y elaborar una matriz de capacitación que permita cerrar las brechas existentes.

Para determinar las necesidades de capacitación se debe de hacer la siguiente evaluación:

Figura 12. **Método de evaluación de necesidades de capacitación**



Fuente: elaboración propia.

En la evaluación de los perfiles de puesto se lograron observar nuevas habilidades y competencias que se deben desarrollar, para el personal de

mantenimiento involucrado en el proyecto que son muy importantes para alcanzar los objetivos:

- Gerente de mantenimiento

El gerente de mantenimiento debe de cumplir con las siguientes competencias para cumplir con los objetivos del proyecto:

- Competencia en la administración de proyectos
- Implementación de sistemas de gestión de la calidad
- Empoderamiento
- Negociación comunicación y liderazgo
- Herramientas del control estadístico de procesos
- Excel avanzado

- Supervisores de taller mecánico

Los supervisores de taller deben cumplir con las siguientes competencias para, alcanzar los objetivos del proyecto:

- Conocimiento avanzado de Excel.
- Herramientas básicas del control estadístico de procesos.

- Conocimiento sobre los nuevos procedimientos del departamento concernientes al proyecto.
 - Capacidad de liderazgo.
 - Administración.
 - Conocimiento intermedio en la elaboración de reportes y figuras en Excel.
- Técnicos mecánicos

Los mecánicos deben cumplir con las siguientes competencias para alcanzar los objetivos del proyecto:

- Conocimiento en estadística básica
 - Conocimiento básico de Excel
 - Conocimiento sobre los nuevos procedimientos y llenado de registros
 - Concientización sobre la importancia del proyecto
 - Trabajo en equipo
 - Orden y limpieza
- Personal de planta

Para obtener el apoyo del personal de planta, es importante que entiendan la importancia del proyecto a través de capacitaciones como:

- Importancia del control estadístico de procesos
- Concientización sobre la importancia del proyecto

Tabla I. **Matriz de necesidades de capacitación**

Puesto de trabajo	Competencias a desarrollar	Competencias a fortalecer
Gerente de mantenimiento	Administración de proyectos Implementación de sistemas de gestión de la calidad Negociación Empoderamiento	Comunicación y liderazgo Estadística avanzada Uso de herramientas de control estadístico Excel avanzado
Jefe de taller mecánico	Estadística intermedia Herramientas de control estadístico Procedimientos del proyecto	Liderazgo Administración Excel intermedio
Mecánicos	Estadística básica Excel básico Procedimientos del proyecto Concientización	Trabajo en equipo Orden y limpieza (5 eses)
Personal de planta	Importancia del control estadístico de procesos Concientización	

Fuente: elaboración propia

4.3. Definición de procedimientos

Existen diferentes procedimientos que son importantes definir para desarrollar el proyecto, entre ellos: recopilación de datos, análisis de datos, análisis de causas para puntos críticos y propuestas de mejora.

4.3.1. Recopilación de datos

Los datos de entrada para la implementación del proyecto son:

- Ficha técnica

Realizar un inventario de cada uno de los equipos que componen la línea de extrusión el cual debe quedar registrado en el siguiente formato de ficha técnica de equipos (ver figura 13).

Dicho inventario servirá de base para el análisis de los elementos mecánicos para la evaluación de fallas y tiempos de paro de mantenimiento.

Para la recopilación de fallas de elementos mecánicos y tiempos de paro por mantenimiento se deben utilizar los siguientes registros:

- Orden de trabajo

Para la recopilación de datos sobre trabajos de mantenimiento correctivos, se debe utilizar el formato de registro orden de trabajo, figura 10, donde se deben anotar claramente la fecha, descripción del trabajo realizado, repuestos utilizados y el horario en el cual se realizó dicho mantenimiento.

- Reporte de mantenimiento

Para la recopilación de datos sobre trabajos de mantenimiento preventivos, se debe utilizar el formato de registro reporte de mantenimiento, figura 11, donde se deben anotar todos los trabajos realizados según el programa anual de mantenimiento, figura 9, y los trabajos de mantenimiento correctivos derivados del mantenimiento preventivo.

La ventaja de la utilización de estos reportes, radica en el ordenamiento que se dará a la información que a través de éstos es recopilada; en este sentido, es importante señalar que se debe utilizar los reportes de forma física y en formato digital; al referirse que sea utilizado en forma física, se refiere, que el mismo sea llenado y elaborado en planta y al momento de realizar la operación, colocando los parámetros requeridos en el instante en que se realiza la orden o el mantenimiento, acompañado de la firma del personal responsable del mismo.

En cuanto al formato digital, se hará necesaria la digitalización del reporte de dos formas, la primera consistirá en la digitalización exacta del reporte llenado en planta, siendo una copia fiel del mismo, la segunda consistirá en la extracción de los datos contenidos en el reporte para su manipulación y control estadístico.

En todo momento debe ser verificada tanto la veracidad como integridad de los datos contenidos en los reportes, de forma que el registro de las órdenes y reportes sea una base de datos fiel y confiable.

Figura 13. Formato de registro ficha técnica de equipos

FICHA TÉCNICA DE EQUIPOS			
INFORMACIÓN GENERAL:			
Fecha:			
Empresa:			
Línea de producción:			
Equipo:			
Técnico:			
Supervisor:			
INFORMACIÓN DEL EQUIPO:			
Marca:		Modelo:	
Año de Fabricación:		País de origen:	
Amperaje:		Voltaje:	
		No. Serie:	
		Tipo:	
		Frecuencia:	
ELEMENTOS MECÁNICOS DEL EQUIPO			
Cantidad	Sistema	Elemento	Tipo
OBSERVACIONES			

Fuente: elaboración propia.

4.3.2. Análisis de datos

Para el análisis de datos se utilizan dos herramientas del control estadístico de procesos:

- Histograma de frecuencias
- Gráfico de Pareto

La información recopilada se agrupa en una tabla de frecuencias la cual debe de ordenarse de mayor a menor frecuencia.

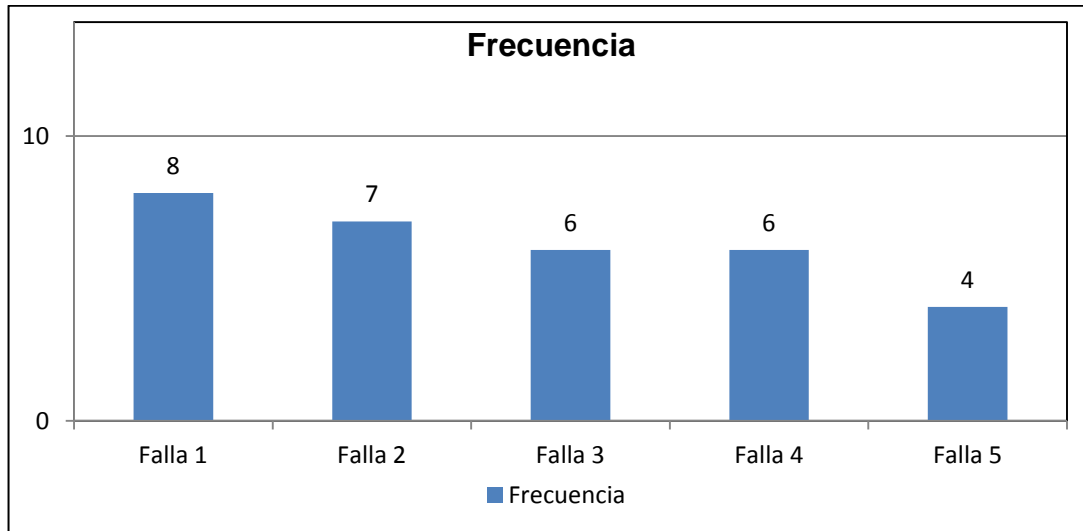
Tabla II. **Ejemplo tabla de frecuencias**

Tipos de falla	Frecuencia
Falla 1	8
Falla 2	7
Falla 3	6
Falla 4	6
Falla 5	4
Total	31

Fuente: elaboración propia.

La información recopilada en la tabla II se grafica en un histograma de frecuencias.

Figura 14. **Ejemplo histograma de frecuencias**



Fuente: elaboración propia.

En la tabla de frecuencias se deben de agregar una columna que representa el porcentaje que representa cada elemento respecto al total y una columna de porcentaje acumulado, ésta se denomina tabla de Pareto.

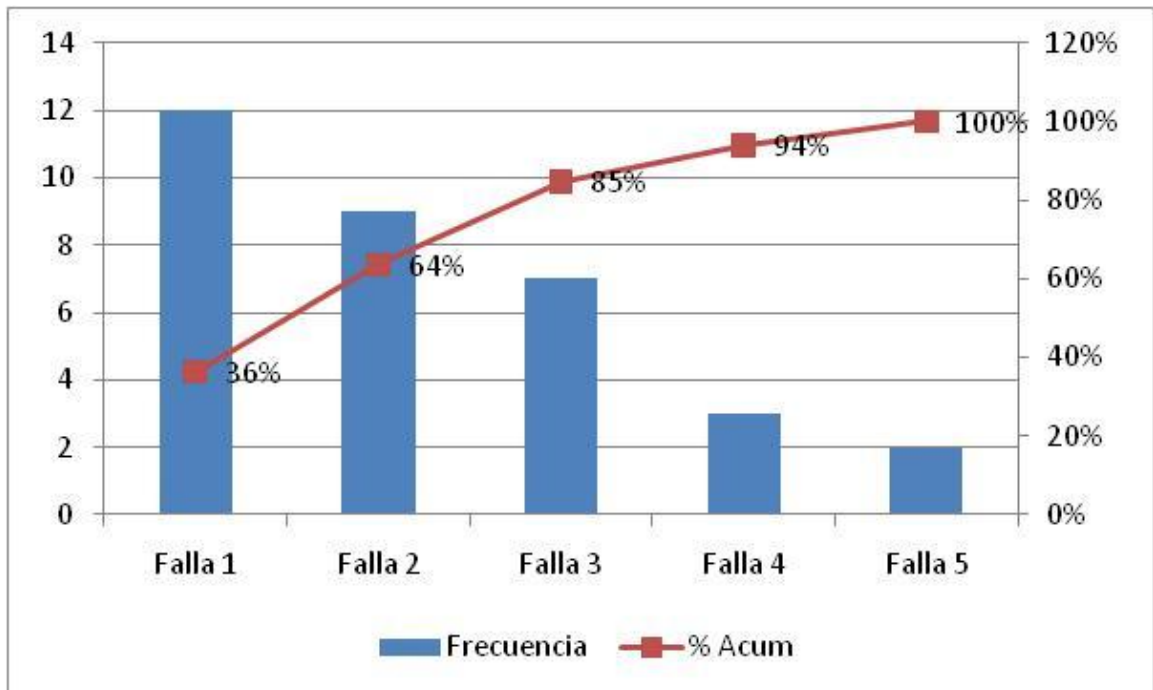
Tabla III. **Ejemplo tabla de Pareto**

Tipos de Falla	Frecuencia	%	% Acum
Falla 1	12	36%	36%
Falla 2	9	27%	64%
Falla 3	7	21%	85%
Falla 4	3	9%	94%
Falla 5	2	6%	100%
Total	33	100%	

Fuente: elaboración propia.

Como apoyo para el análisis, se debe realizar la gráfica de Pareto.

Figura 15. Ejemplo gráfica de Pareto



Fuente: elaboración propia.

Con la tabla y gráfica de Pareto se pueden identificar los puntos críticos que provocan la mayor cantidad de fallas o tiempos de paro por mantenimiento, esto se logra basándonos en el cambio de inclinación en cada elemento.

Siguiendo el ejemplo, se observa el cambio de inclinación a partir de la falla 3, los cuales representan el 85% del total de fallas, por lo que se debe de realizar un análisis de causa para esas tres fallas con el fin de reducirlas.

4.3.3. Análisis de causas para puntos críticos

El análisis de causa se debe realizar de los puntos críticos encontrados en el análisis de Pareto, en el cual se deben analizar las causas principales y secundarias que generen esa condición.

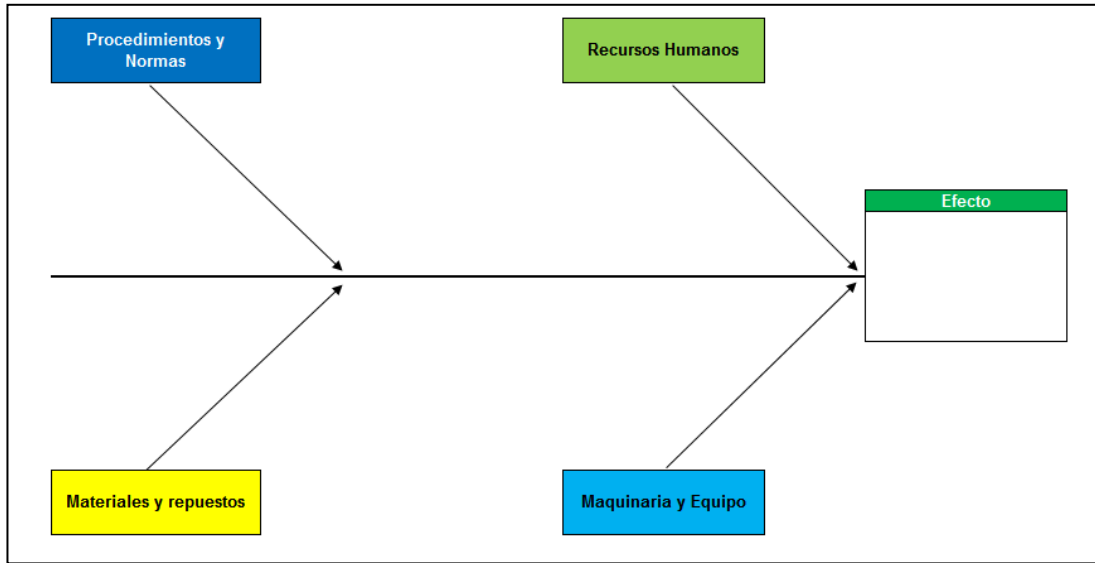
Para la realización del análisis de causa se debe de evaluar las principales entradas que se ven involucradas en el proceso de mantenimiento como:

- Recursos humanos
- Maquinaria y equipo
- Procedimientos y normas
- Materiales y repuestos

El análisis de causas se debe realizar en una reunión con un equipo de las diferentes áreas involucradas conocedoras del tema a evaluar. Durante la reunión se debe de utilizar la técnica de lluvia de ideas para determinar todas las posibles causas del efecto que está siendo analizado. De esta lluvia de ideas se debe de seleccionar la causa más probable. Si hubiera varias causas, éstas se deben de relacionar entre sí para determinar si provienen de una causa mayor.

Del análisis de causa se determinan las posibles propuestas de mejora.

Figura 16. **Gráfico para el análisis de causa y efecto**



Fuente: elaboración propia.

4.3.4. **Propuestas de mejora**

Del análisis de datos realizado con el apoyo de las herramientas de control estadístico de procesos, surgen varias oportunidades de mejora para reducir las fallas mecánicas y optimizar los tiempos de paro por mantenimiento.

Estas oportunidades de mejora deben documentarse mediante el formato propuesta de mejora, figura 16, donde se debe indicar cuál es la oportunidad de mejora la cual debe de justificarse con base al análisis de datos con las herramientas de control estadísticos de procesos. La justificación de la mejora debe estar relacionada a un objetivo de desempeño, indicador o meta relacionado con la reducción de fallas mecánicas y optimización de tiempos de mantenimiento.

La propuesta de mejora debe ser enviada a la alta dirección para que sea evaluada para su implementación.

Una vez evaluada y aprobada la propuesta se debe realizar un plan de acción, figura 18, donde debe reflejarse el objetivo a alcanzar mediante la implementación de la propuesta. Para alcanzar este objetivo, en el plan de acción, se deben de listar las actividades y recursos necesarios para alcanzarlo, las fechas de implementación programadas y reales, además de las firmas de los responsables de la implementación.

El seguimiento a la implementación y efectividad del plan de acción se hará de forma mensual y será realizada por el jefe de mantenimiento, quien reportará los avances de cada plan de acción a la alta dirección.

Si el plan de acción fue implementado efectivamente, se cierra.

Si el plan de acción no fue implementado efectivamente, se repite nuevamente el ciclo de gestión, se elabora una nueva propuesta de mejora y un nuevo plan de acción.

Figura 17. **Formato de registro propuestas de mejora**

EMPRESA	Nombre:		Código:	Versión:
	Propuesta de Mejora			
No de solicitud		Fecha de emisión		Fecha de aprobación
Puesto del colaborador que emite la solicitud				
Puesto del colaborador al que se dirige la solicitud				
Propuesta de mejora				
Justificación de la propuesta de mejora				
Aceptación de la solicitud de mejora		Puesto responsable de la decisión	Puesto responsable de elaborar el plan de acción	Fecha de entrega del plan de acción
SI	NO			

Fuente: elaboración propia.

Figura 18. Formato de registro plan de acción

EMPRESA		Nombre: Plan de acción		Código:	Versión:
No de plan de acción		Fecha de inicio		Fecha de finalización	
Puesto del colaborador que realiza el plan					
Puesto del colaborador que verificará la efectividad					
Objetivo del plan de acción			Indicadores		
Detalle del plan de acciones a seguir					
Item	Acción(es) a seguir	Recursos necesarios	Puesto responsable	Fecha de implantación	
				Propuesta	Real
1					
2					
3					
4					
Fecha de verificación		Puesto a realizar la verificación	Puesto responsable de supervisar la verificación	Resolución	
Programada	Real			Acción efectiva	
				SI	NO
Justificación de la resolución					
Justificaciones por atraso en fechas programadas					
Fecha incumplida	Acción	Motivo			Nueva fecha

Fuente: elaboración propia.

4.4. Programa de implementación del proyecto

El programa de implementación del proyecto consta de nueve actividades diferentes a desarrollarse durante ocho meses, según el siguiente cronograma (ver figura 19):

Figura 19. Cronograma de actividades para el desarrollo del proyecto

No.	Actividades / mes	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8
1	Análisis de situación actual del departamento de mantenimiento	■							
2	Determinación de perfiles de puesto y necesidades de capacitación		■						
3	Elaboración de procedimiento y registros		■						
4	Inventario de elementos mecánicos por equipo			■					
5	Recopilación de datos sobre fallas mecánicas en los equipos			■	■	■			
6	Recopilación de datos sobre tiempos de paro por mantenimiento en los equipos			■	■	■			
7	Análisis de datos usando herramientas de control estadístico de procesos						■		
8	Elaboración de propuestas de mejora y planes de acción							■	
9	Seguimiento y verificación de planes								■

Fuente: elaboración propia.

4.5. Desarrollo del proyecto

Para el desarrollo del proyecto, se realizó diversas actividades, entre las cuales, es posible mencionar:

- Recopilación de datos
- Análisis de datos
- Análisis de causas y efectos para puntos críticos, entre otros

4.5.1. Recopilación de datos

Se realizó mediante la investigación en campo del inventario de elementos mecánicos, por cada equipo que compone la línea de extrusión, además de la recopilación de la frecuencia y tiempos de falla de los diferentes elementos que la componen.

4.5.1.1. Inventario de elementos mecánicos por equipo

El inventario de elementos mecánicos se realizó utilizando la ficha técnica de equipos, figura 13. La información fue obtenida con base al manual técnico de los equipos proporcionado por el proveedor y realizando una verificación de los mismos in situ.

4.5.1.1.1. Sistema de transporte

A través de la verificación del manual del fabricante y una comprobación en campo, se realizó la ficha técnica del sistema de transporte de la línea de extrusión de tubería corrugada de doble pared de PVC de la empresa.

Figura 20. Ficha técnica del sistema de transporte

FICHA TÉCNICA DE EQUIPOS			
INFORMACIÓN GENERAL:			
Fecha:	15/06/2010		
Empresa:	Amanco Tubosistemas Guatemala, S.A.		
Línea de producción:	Tubería corrugada		
Equipo:	Sistema de transporte		
Técnico:	Erick Ordóñez		
Supervisor:	Alejandro Estrada		
INFORMACIÓN DEL EQUIPO:			
Marca:	Dinamic Air	Modelo:	LDP2000
No. Serie:	45685		
Año de fabricación:	2000	País de origen:	Estados Unidos
Tipo:	Transporte Neumático		
Amperaje:	1	Voltaje:	220
Frecuencia:	60		
ELEMENTOS SUJETOS A MANTENIMIENTO			
Cantidad	Sistema	Elemento	Tipo
1	Sistema de transporte	Soplador	Soplador
1	Sistema de transporte	Tubería 4 pulgadas	Tubería
1	Sistema de transporte	Filtro de mangas	Filtro
1	Sistema de transporte	Pretolva	Tolva
1	Sistema de transporte	Tolva	Tolva
1	Sistema de transporte	Detector de nivel	Sensor
1	Sistema de transporte	Válvula neumática de salida	Válvula
OBSERVACIONES			
Ninguna			

Fuente: elaboración propia.

4.5.1.1.2. Extrusora

A través de la verificación del manual del fabricante y una comprobación en campo, se realizó la ficha técnica de la extrusora de la línea de extrusión de tubería corrugada de doble pared de PVC de la empresa.

Figura 21. Ficha técnica de extrusora

FICHA TÉCNICA DE EQUIPOS			
INFORMACIÓN GENERAL:			
Fecha:	15/06/2010		
Empresa:	Amanco Tubosistemas Guatemala, S.A.		
Línea de producción:	Tubería corrugada		
Equipo:	Extrusora		
Técnico:	Erick Ordóñez		
Supervisor:	Alejandro Estrada		
INFORMACIÓN DEL EQUIPO:			
Marca:	Theyson	Modelo:	TTM98
Año de fabricación:	2004	Pais de origen:	Alemania
Amperaje:	25	Voltaje:	480
No. Serie:	TTM_DOK04		Tipo:
			Extrusora
			Frecuencia:
			60
ELEMENTOS SUJETOS A MANTENIMIENTO			
Cantidad	Sistema	Elemento	Tipo
1	Accionamiento principal	Motor AC	Motor
1	Accionamiento principal	Motoreductor	Motoreductor
1	Caja de Cambios	Caja reductora	Caja
1	Caja de Cambios	Caja distribuidora	Caja
2	Caja de Cambios	Cojinetes de empuje	Cojinete
1	Caja de Cambios	Sistema de lubricación	Lubricación
5	Sistema de calentamiento	Resistencias de calentamiento	Resistencia
20	Sistema de calentamiento	Termocoplas	Termocopla
20	Sistema de calentamiento	Pirometros	Pirometro
1	Barril	Barril	Molde
1	Tornillo	Tornillo	Molde
1	Sistema de venteo	Bomba de vacío	Bomba Vacío
2	Sistema de venteo	Cilindros de vacío	Acumulador
2	Sistema de venteo	Filtros	Filtro
4	Sistema de venteo	Válvulas de bola	Válvula
1	Sistema de venteo	Manómetro	Manómetro
1	Sistema de venteo	Válvula de alivio	Válvula
2	Sistema de venteo	Tornillo de alimentación	Tornillo
1	Sistema de venteo	Motor AC	Motor
1	Sistema de venteo	Potenciómetro	Potenciómetro
1	Adaptador	Resistencias de calentamiento	Resistencia
1	Adaptador	Termocoplas	Termocopla
1	Sistema de enfriamiento Z5	Tanque de aceite	Acumulador
1	Sistema de enfriamiento Z5	Bomba de aceite	Bomba
1	Sistema de enfriamiento Z5	Manómetro	Manómetro
1	Sistema de enfriamiento Z5	Termocoplas	Termocopla
1	Sistema de enfriamiento Z5	Filtros	Filtro
1	Sistema de enfriamiento Z5	Intercambiador de calor	Intercambiador
1	Sistema de enfriamiento Z5	Válvula de agua	Válvula
1	Sistema de enfriamiento Z5	Tubería	Tubería
1	Control de temperatura tornillo	Tanque de aceite	Acumulador
1	Control de temperatura tornillo	Bomba	Bomba
2	Control de temperatura tornillo	Resistencias de calentamiento	Resistencia
1	Control de temperatura tornillo	Aceite de enfriamiento	Lubricación
1	Control de temperatura tornillo	Filtros	Filtro
1	Control de temperatura tornillo	Manómetro	Manómetro
1	Control de temperatura tornillo	Termocoplas	Termocopla
OBSERVACIONES			
Ninguna			

Fuente: elaboración propia.

4.5.1.1.3. Cabezal y molde

A través de la verificación del manual del fabricante y una comprobación en campo se realizó la ficha técnica del cabezal y molde de la línea de extrusión de tubería corrugada de doble pared de PVC de la empresa.

Figura 22. Ficha técnica del cabezal y molde

FICHA TÉCNICA DE EQUIPOS					
INFORMACIÓN GENERAL:					
Fecha:	15/06/2010				
Empresa:	Amanco Tubosistemas Guatemala, S.A.				
Línea de producción:	Tubería corrugada				
Equipo:	Cabezal y molde				
Técnico:	Erick Ordóñez				
Supervisor:	Alejandro Estrada				
INFORMACIÓN DEL EQUIPO:					
Marca:	CORMA INC	Modelo:	1530	No. Serie:	10384
Año de fabricación:	2006	País de origen:	Cánada	Tipo:	Cabezal
Amperaje:	NA	Voltaje:	NA	Frecuencia:	NA
ELEMENTOS SUJETOS A MANTENIMIENTO					
Cantidad	Sistema	Elemento	Tipo		
1	Cabezal y molde	Porta Cabezal	Molde		
1	Cabezal y molde	Cabezal	Molde		
1	Cabezal y molde	Araña	Molde		
1	Cabezal y molde	Pin	Molde		
1	Cabezal y molde	Dado	Molde		
3	Sistema de calentamiento	Resistencias de calentamiento	Resistencia		
9	Sistema de calentamiento	Termocoplas	Termocopla		
9	Sistema de calentamiento	Pirometros	Pirometro		
OBSERVACIONES					
Ninguna					

Fuente: elaboración propia.

4.5.1.1.4. Corrugadora

A través de la verificación del manual del fabricante y una comprobación en campo, se realizó la ficha técnica de la corrugadora de la línea de extrusión de tubería corrugada de doble pared de PVC de la empresa.

Figura 23. Ficha técnica de corrugadora

FICHA TÉCNICA DE EQUIPOS					
INFORMACIÓN GENERAL:					
Fecha:	15/06/2010				
Empresa:	Amanco Tubosistemas Guatemala, S.A.				
Línea de producción:	Tubería corrugada				
Equipo:	Corrugador				
Técnico:	Erick Ordóñez				
Supervisor:	Alejandro Estrada				
INFORMACIÓN DEL EQUIPO:					
Marca:	CORMA INC	Modelo:	1530	No. Serie:	10384
Año de fabricación:	2006	País de origen:	Canadá	Tipo:	Corrugador
Amperaje:	50	Voltaje:	480	Frecuencia:	60
ELEMENTOS SUJETOS A MANTENIMIENTO					
Cantidad	Sistema	Elemento	Tipo		
1	Mando de control	Control de operación	PLC		
4	Transportador	Rodillo	Cojinete		
8	Transportador	Cojinetes de aguja	Cojinete		
5	Transportador	Clavija	Molde		
4	Sistema de refrigeración	Ventiladores	Ventilador		
1	Sistema de refrigeración	Intercambiador de calor	Intercambiador		
2	Sistema de vacío	Bomba de vacío	Bomba Vacío		
1	Transmisión	Caja de engranajes	Caja		
2	Transmisión	Cajas en ángulo recto	Caja		
3	Transmisión	Cadenas	Cadena		
24	Moldeo	Moldes corrugados	Molde		
OBSERVACIONES					
Ninguna					

Fuente: elaboración propia.

4.5.1.1.5. Sierra

A través de la verificación del manual del fabricante y una comprobación en campo, se realizó la ficha técnica de la sierra de la línea de extrusión de tubería corrugada de doble pared de PVC de la empresa.

Figura 24. Ficha técnica de sierra

FICHA TÉCNICA DE EQUIPOS			
INFORMACIÓN GENERAL:			
Fecha:	15/06/2010		
Empresa:	Amanco Tubosistemas Guatemala, S.A.		
Línea de producción:	Tubería corrugada		
Equipo:	Cortadora Planetaria		
Técnico:	Erick Ordóñez		
Supervisor:	Alejandro Estrada		
INFORMACIÓN DEL EQUIPO:			
Marca:	SICA	Modelo:	TRS/D/SY 315-1200
Año de fabricación:	2004	País de origen:	Italia
Amperaje:	8	Voltaje:	230/400
		No. Serie:	
		Tipo:	Corrugadora
		Frecuencia:	50/60
ELEMENTOS MECANICOS DEL EQUIPO			
Cantidad	Sistema	Elemento	Tipo
1	Mando de Control	Mando electrico	PLC
1	Bastidor	Bastidor	Bastidor
2	Dispositivo de bloqueo	Sensor	Sensor
2	Dispositivo de bloqueo	Fotocélula	Sensor
4	Dispositivo de bloqueo	Mordazas de bloqueo	Molde
1	Dispositivo de bloqueo	Manometro	Manometro
2	Dispositivo de bloqueo	Electroválvula neumática	Válvula
1	Rotor	Motoreductor	Motoreductor
1	Rotor	Motor electico	Motor Electrico
1	Rotor	Centralita hidraulica	Válvula
1	Rotor	Pistón hidraulico	Pistón
1	Rotor	Brazo de corte	Pistón
1	Rotor	Sensor	Sensor
2	Rotor	Electroválvula oleodinámica	Válvula
1	Aspiración de viruta	Aspirador	Aspirador
1	Aspiración de viruta	Capuchón de aspiración	Aspirador
1	Aspiración de viruta	Saco receptor de viruta	Acumulador
4	Parada de emergencia	Microinterruptor	Interruptor
3	Dispositivo de desplazamiento del carro	Microinterruptor	Interruptor
1	Dispositivo de desplazamiento del carro	Sensor	Sensor
2	Dispositivo de desplazamiento del carro	Electroválvula oleodinámica	Válvula
OBSERVACIONES			
Ninguna			

Fuente: elaboración propia.

4.5.1.1.6. Sistema de volteo

A través de la verificación del manual del fabricante y una comprobación en campo, se realizó la ficha técnica del sistema de volteo de la línea de extrusión de tubería corrugada de doble pared de PVC de la empresa.

Figura 25. Ficha técnica del sistema de volteo

FICHA TÉCNICA DE EQUIPOS			
INFORMACIÓN GENERAL:			
Fecha:	15/06/2010		
Empresa:	Amanco Tubosistemas Guatemala, S.A.		
Línea de producción:	Tubería corrugada		
Equipo:	Volteadora - Cinta de Transporte		
Técnico:	Erick Ordóñez		
Supervisor:	Alejandro Estrada		
INFORMACIÓN DEL EQUIPO:			
Marca:	SICA	Modelo:	A - 640
Año de fabricación:	2004	País de origen:	Italia
Amperaje:	5	Voltaje:	220
No. Serie:		Tipo:	Cinta de Transp.
Frecuencia:			60
ELEMENTOS SUJETOS A MANTENIMIENTO			
Cantidad	Sistema	Elemento	Tipo
1	Mando de control	PLC	PLC
2	Sistema de posicionamiento	Fotocélulas	Sensor
2	Sistema de posicionamiento	Electroválvula de descarga	Válvula
1	Sistema de posicionamiento	Codificador de posicionamiento	Sensor
2	Sistema de posicionamiento	Electroválvula de transporte	Válvula
2	Sistema de posicionamiento	Cilindros Neumáticos	Pistón
1	Sistema de posicionamiento	Unidad de mantenimiento neumático	Unidad de Mantto
1	Sistema de transporte	Motor eléctrico	Motor
1	Sistema de transporte	Reductor	Caja
1	Sistema de transporte	Engrasadores	Cojinete
2	Sistema de transporte	Cojinetes	Cojinete
2	Sistema de transporte	Cadena de transmisión	Cadena
2	Sistema de transporte	Correa de transporte de tubo	Cadena
2	Sistema de transporte	Guías	Molde
OBSERVACIONES			
Ninguna			

Fuente: elaboración propia.

4.5.1.2. Historial de fallas mecánicas

Las fallas mecánicas de los equipos y los tiempos de paro, fueron recopilados durante el 2010, mediante la utilización de los diferentes registros con que cuenta el departamento de producción y mantenimiento de la empresa.

Para presentar la recopilación de la información se muestran tablas de frecuencia de fallas mecánicas analizadas desde lo más general a lo más específico. Esto significa que se iniciará el análisis determinando cuál de los equipos presenta la mayor frecuencia de fallas, para luego analizar el sistema del equipo con mayor frecuencia de fallas hasta llegar al elemento específico con mayor cantidad de fallas. Este análisis se realizará más adelante en este documento utilizando la metodología del análisis de Pareto.

Tabla IV. **Frecuencia de fallas por equipo**

Equipo	Fallas (frecuencia)
Corrugadora	415
Extrusor	335
Cabezal y molde	240
Transporte de material	111
Cortadora	103
Volteadora	87
Total	1 291

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. Frecuencia de fallas por sistemas de los equipos

Equipo	Sistema	Fallas (frecuencia)
Transporte de material	Transporte de material	111
Extrusor	Calentamiento	98
	Venteo	84
	Enfriamiento Z5	55
	Transmisión	42
	Temperatura tornillo	19
	Alimentación	12
	Tornillo	12
	Accionamiento	9
	Barril	4
	Cabezal y molde	Calentamiento
Cabezal y molde		63
Corrugadora	Refrigeración	190
	Sistema de vacío	107
	Transmisión	76
	Transportador	42
Sierra	Rotor	40
	Bloqueo	34
	Desplazamiento	28
	Aspiración viruta	1
Sistema de volteo	Posicionamiento	61
	Transporte	26
Total		1 291

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. Frecuencia de fallas por elemento de los equipos

Elemento	Equipo						Total general
	Corrugadora	Extrusor	Cabezal y molde	Transporte de material	Cortadora	Sistema de volteo	
Araña			37				37
Aspirador					1		1
Barril		4					4
Bomba de aceite		36					36
Bomba de vacío	107	25					132
Brazo de corte					14		14
Cadena de transmisión	32					11	43
Caja de engranajes	44						44
Caja distribuidora		22					22

Continuación tabla VI.

Caja reductora		16					16
Cilindro						9	9
Clavija	7						7
Codificador						16	16
Cojinete de aguja	31					2	33
Cojinetes de empuje		4					4
Dado			13				13
Detector de nivel				49			49
Electroválvula					9	18	27
Filtro		55					55
Filtro de cmangas				19			19
Fotocélula					18	15	33
Intercambiador de calor	98	6					104
Manómetro		17			5		22
Micro interruptor					4		4
Motor AC		13			9	9	31
Motor reductor		3				4	7
Pin			12				12
Pirómetro		33	36				69
Pistón hidráulico					4		4
Potenciómetro		5					5
Resistencia		60	54				114
Rodillo	4						4
Sensor					39		39
Soplador				22			22
Termo copla		23	88				111
Tolva				7			7
Tornillo		12					12
Unidad de mantenimiento						3	3
Válvula neumática		1		14			15
Ventiladores	92						92
Total general (frecuencia)	415	335	240	111	103	87	1 291

Fuente: elaboración propia.

4.5.1.3. Historial de tiempos de paro por mantenimiento

Las fallas reportadas por los equipos representan un tiempo en el cual fueron reparados y durante los cuales no se reportó producción. Esta información fue recopilada de los reportes de producción del personal de planta y comprobados mediante los registros del departamento de mantenimiento durante el 2010.

De la misma manera que fueron presentadas las fallas de los equipos, los tiempos de paro se presentan inicialmente a nivel de los equipos que forman la línea de producción para llegar a un detalle de los tiempos de paro debidos a sistemas y elementos específicos de los equipos.

Tabla VII. **Tiempos de paro por fallas del equipo**

Equipo	Tiempos de paro [horas]
Extrusor	317,2
Corrugadora	220,5
Cabezal y molde	160,0
Transporte de material	108,5
Cortadora	52,4
Volteadora	29,6
Total	888,3

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Tiempos de paro por fallas en los sistemas de los equipos**

Equipo	Sistema	Tiempos de paro [horas]
Transporte de material	Transporte de material	108,5
Extrusor	Accionamiento	11,7
	Alimentación	8,8
	Barril	5,6
	Calentamiento	118,5
	Enfriamiento Z5	30,1
	Temperatura tornillo	9,7
	Tornillo	3,8
	Transmisión	40,1
	Venteo	88,9
Cabezal y molde	Cabezal y molde	76,3
	Calentamiento	83,6
Corrugadora	Refrigeración	117,1
	Sistema de vacío	46,6
	Transmisión	38,6
	Transportador	18,3
Sierra	Aspiración viruta	0,4
	Bloqueo	15,6
	Desplazamiento	15,3
	Rotor	21,2
Sistema de volteo	Posicionamiento	22,7
	Transporte	6,9
Total	888,3	

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. Tiempos de paro por fallas en los elementos de los equipos

Elemento	Equipo						
	Corrugadora	Extrusor	Cabezal y molde	Transporte de material	Cortadora	Sistema de volteo	Total general
Araña	27,1						27,1
Aspirador			0,4				0,4
Barril				5,6			5,6
Bomba de aceite				15,3			15,3
Bomba de vacío		46,6		22,7			69,3
Brazo de corte			9,5				9,5
Cadena de transmisión		27,4				4,2	31,6
Caja de engranajes		11,2					11,2
Caja distribuidora				11,2			11,2
Caja reductora				18,9			18,9
Cilindro						7,0	7,0
Clavija		6,8					6,8
Codificador						6,5	6,5
Cojinete de aguja		11,0				0,5	11,5
Cojinetes de empuje				10,1			10,1
Dado	19,4						19,4
Detector de nivel					82,5		82,5
Electroválvula			5,1			2,9	8,0
Filtro				58,2			58,2
Filtro de mangas					12,0		12,0
Fotocélula			7,8			4,4	12,2
Intercambiador de calor		60,2		3,2			63,4
Manómetro			2,7	17,9			20,6
Micro interruptor			2,0				2,0
Motor AC			2,5	14,6		1,7	18,7
Motor reductor				1,1		0,6	1,7
Pin	29,8						29,8
Pirómetro	16,1			19,7			35,8
Pistón hidráulico			1,1				1,1
Potenciómetro				4,8			4,8
Resistencia	20,1			82,4			102,6
Rodillo		0,4					0,4
Sensor			21,3				21,3
Soplador					5,5		5,5
Termo copla	47,4			27,0			74,4
Tolva					0,7		0,7

Continuación tabla IX.

Tornillo				3,8			3,8
Unidad de mantenimiento						1,9	1,9
Válvula neumática				0,8	7,9		8,6
Ventiladores		56,9					56,9
Total general (horas)	160,0	220,5	52,4	317,2	108,5	29,6	888,3

Fuente: elaboración propia.

4.5.2. Análisis de datos

El análisis de datos se realizó con la información recopilada en los registros de producción mantenimiento del departamento de manufactura de la empresa.

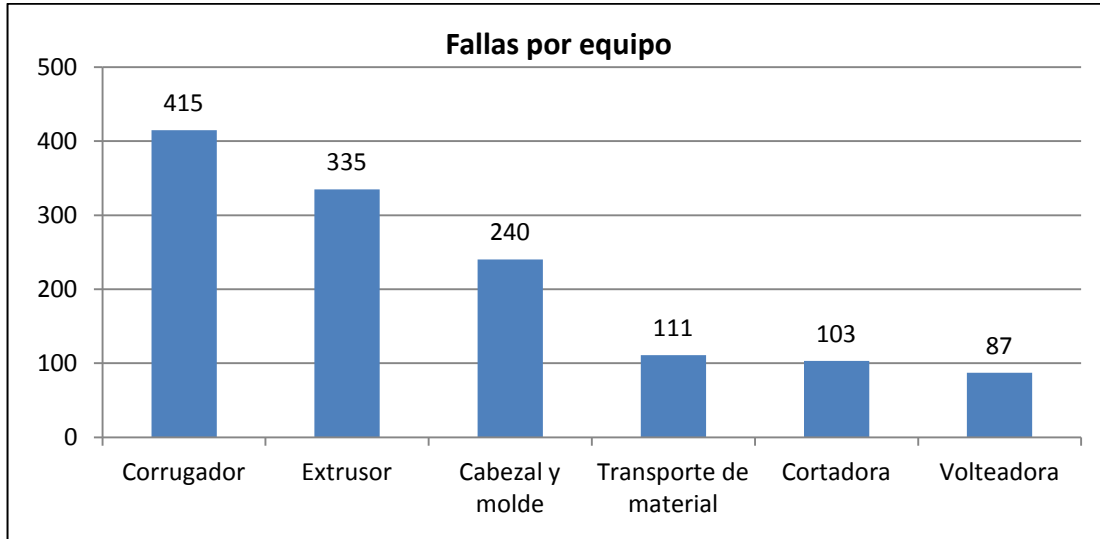
4.5.2.1. Fallas mecánicas

El análisis de fallas mecánicas de la línea de extrusión se realizó de lo general a lo específico, analizando primero los equipos como tal y después, cada equipo dividiéndolo en sus sistemas.

4.5.2.1.1. Histogramas de frecuencias

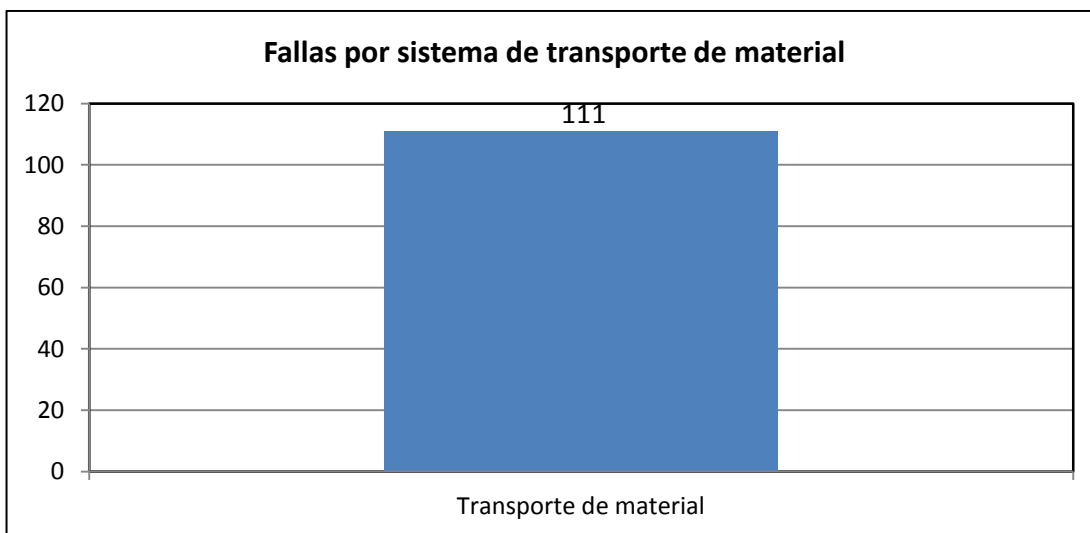
A través de los histogramas, se puede observar las frecuencias de fallas en los diferentes equipos que forman la línea de extrusión de tubería corrugada de doble pared de PVC y los diferentes sistemas que los conforman.

Figura 26. **Histograma de frecuencia de fallas por equipo**



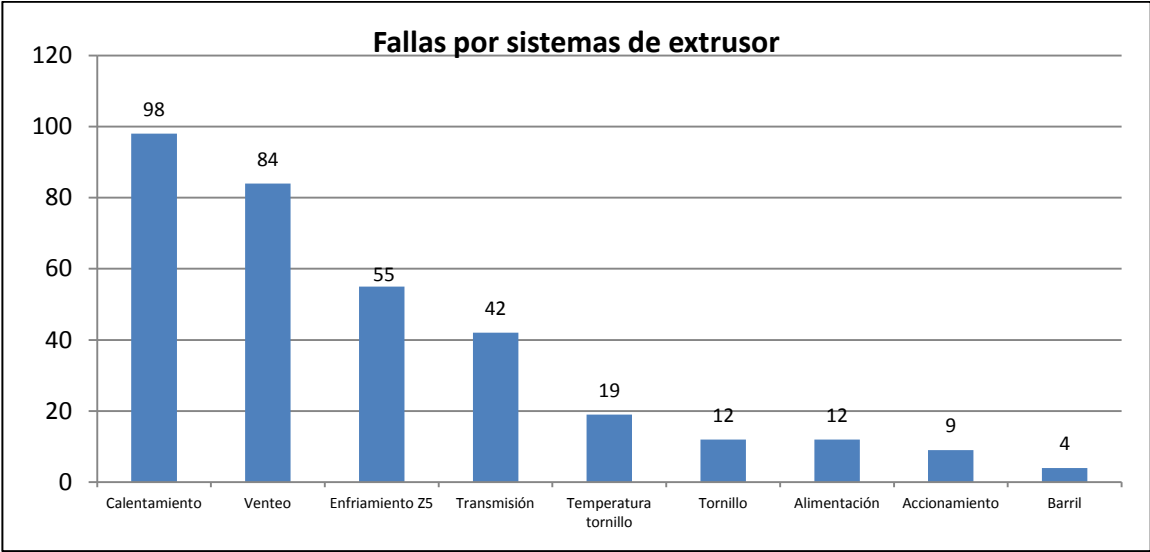
Fuente: elaboración propia.

Figura 27. **Histograma de frecuencia de fallas por sistemas de transporte de material**



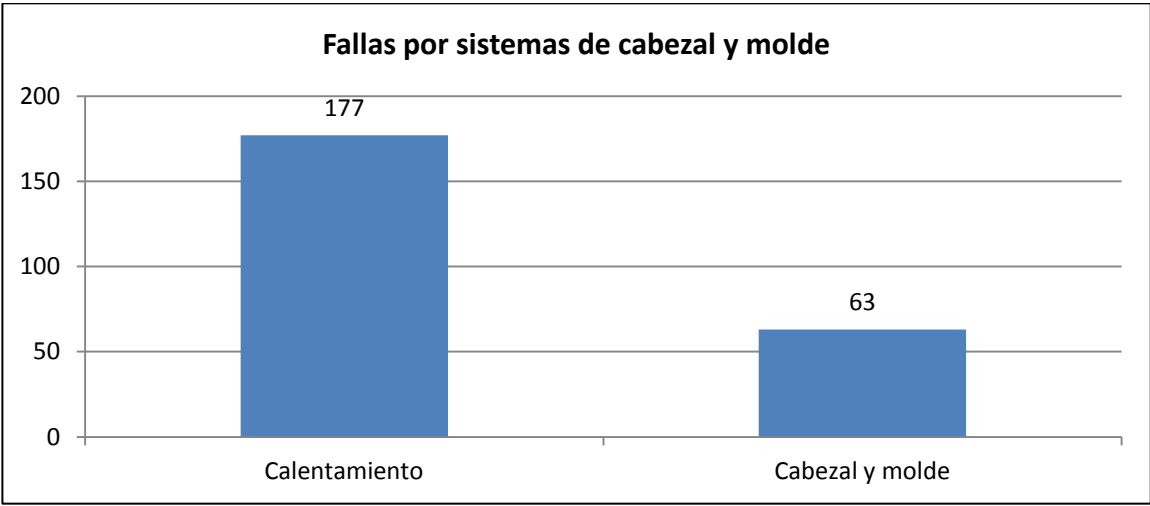
Fuente: elaboración propia.

Figura 28. **Histograma de frecuencia de fallas por sistemas de extrusor**



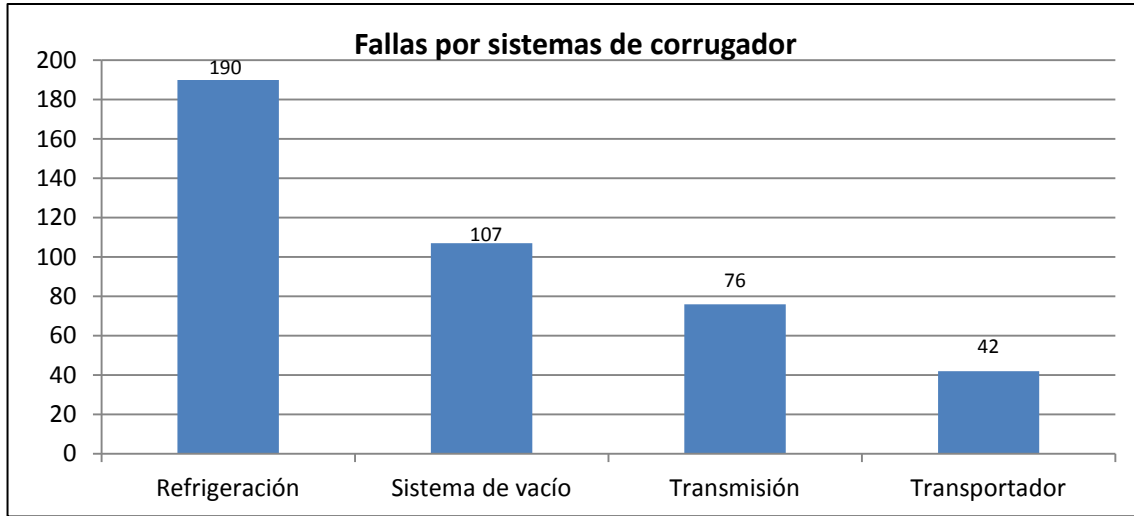
Fuente: elaboración propia.

Figura 29. **Histograma de frecuencia de fallas por sistemas de cabezal y molde**



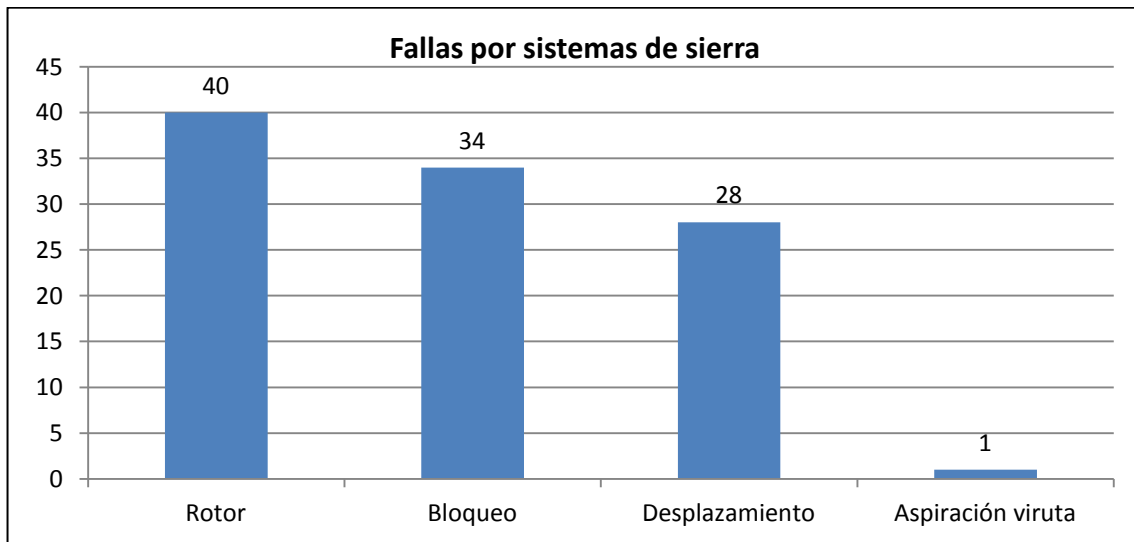
Fuente: elaboración propia.

Figura 30. **Histograma de frecuencia de fallas por sistemas de corrugador**



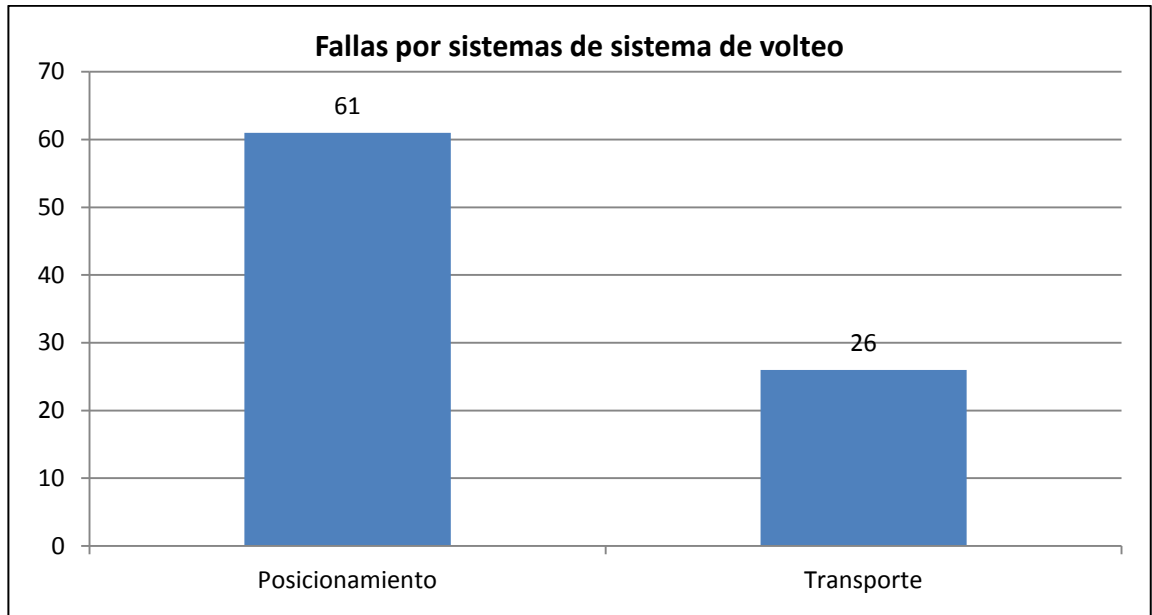
Fuente: elaboración propia.

Figura 31. **Histograma de frecuencia de fallas por sistemas de sierra**



Fuente: elaboración propia.

Figura 32. **Histograma de frecuencia de fallas por sistemas de volteo**



Fuente: elaboración propia.

4.5.2.1.2. Análisis de Pareto

A través del análisis de Pareto se logra separar los equipos que representan el 77% de la fallas del total de la línea de extrusión de tubería corrugada de doble pared de PVC, con el objetivo de enfocar los esfuerzos en reducir las fallas de estos equipos.

Tabla X. **Tabla de Pareto de fallas por equipo**

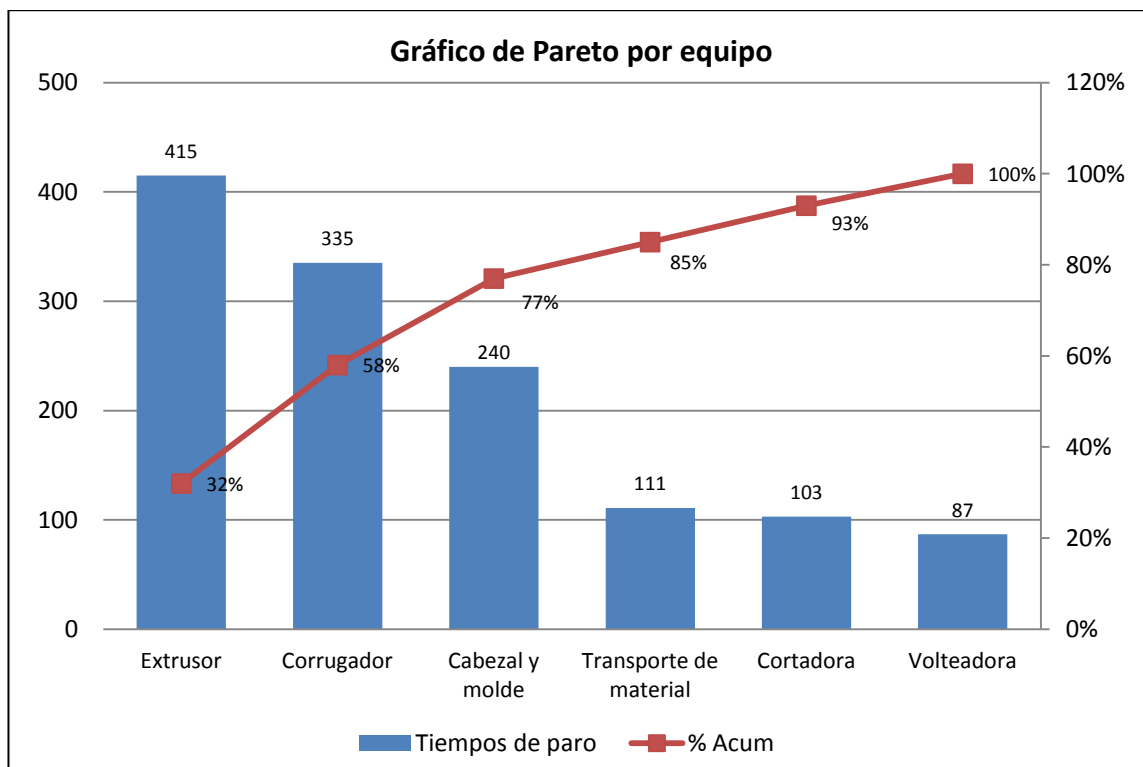
Equipo	Frecuencia	% Frec.	% Acum
Corrugador	415	32%	32%
Extrusor	335	26%	58%
Cabezal y Molde	240	19%	77%

Continuación tabla X.

Transporte de Material	111	9%	85%
Cortadora	103	8%	93%
Volteadora	87	7%	100%
Total	1 291	100%	

Fuente: elaboración propia.

Figura 33. **Gráfico de Pareto de fallas por equipo**



Fuente: elaboración propia.

Se puede observar, que del total de fallas reportadas el setenta y siete por ciento (77%) corresponde a los siguientes equipos: corrugador (32%), extrusor

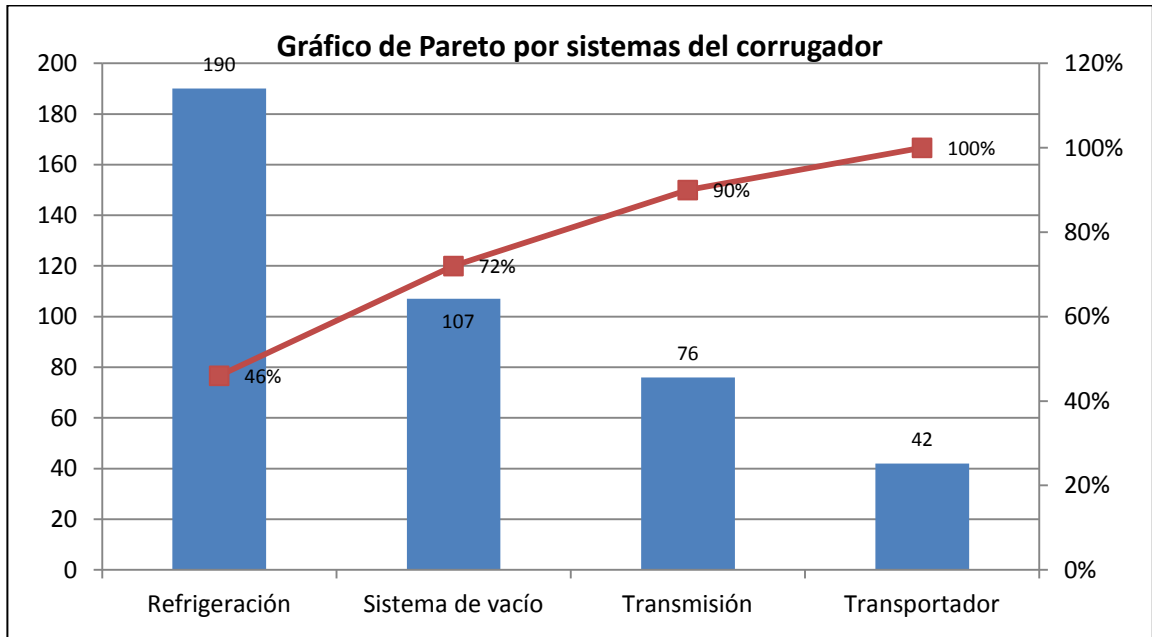
(26%) y cabezal y molde (19%); por lo que el posterior análisis se enfocará espacialmente en los sistemas y elementos que componen dichos equipos.

Tabla XI. **Tabla de Pareto de fallas por sistemas del corrugador**

Equipo	Sistema	Fallas (frecuencia)	% Frec	% Frec. Acum
Corrugador	Refrigeración	190	46%	46%
	Sistema de vacío	107	26%	72%
	Transmisión	76	18%	90%
	Transportador	42	10%	100%
Total		415	100%	

Fuente: elaboración propia.

Figura 34. **Gráfico de Pareto de fallas por sistemas del corrugadora**



Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar, los sistemas que componen el corrugador que más incide en la frecuencia de fallas, son el sistema de refrigeración (46%) y el sistema de vacío (26%), por lo que serán analizados posteriormente sobre las fallas de sus elementos específicos.

Tabla XII. **Tabla de Pareto de fallas por sistemas del extrusor**

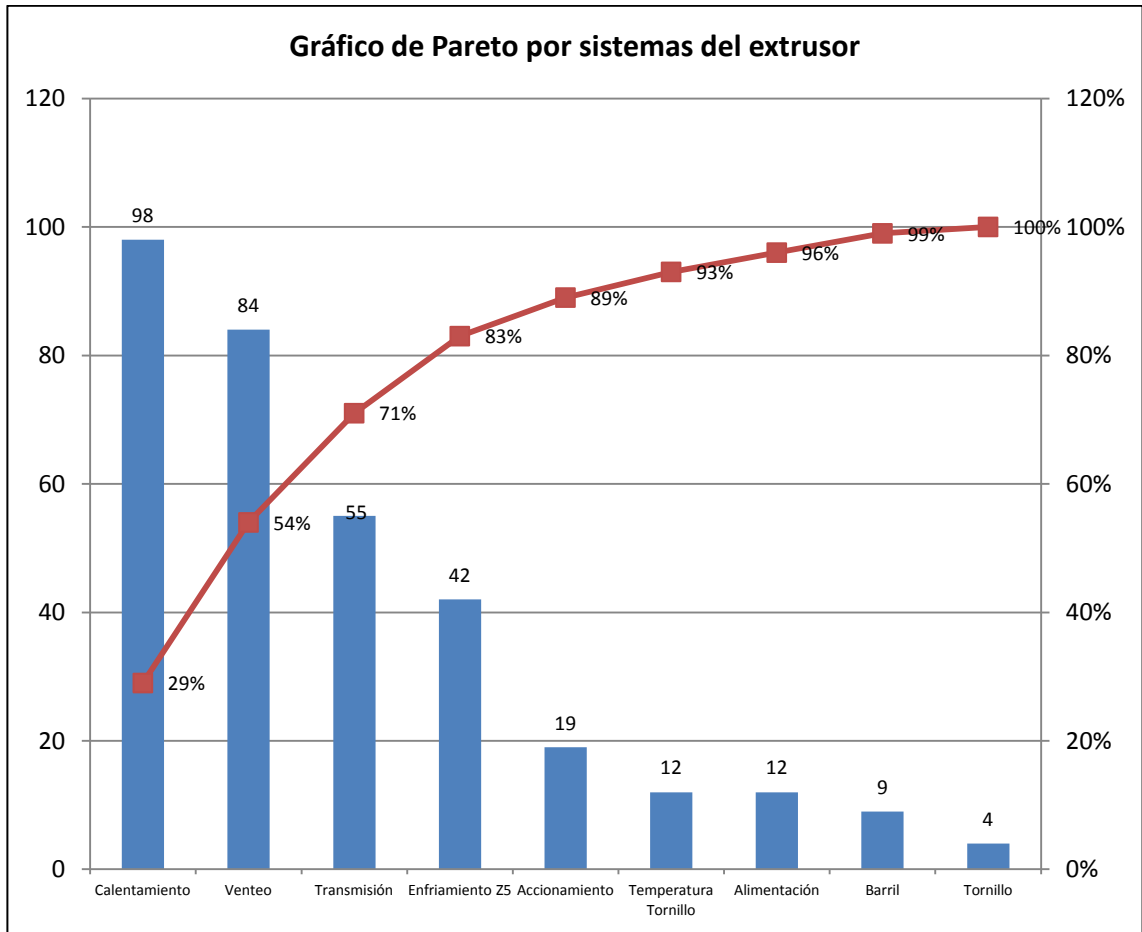
Equipo	Sistema	Fallas (frecuencia)	% Frec	% Frec. Acum
Extrusor	Calentamiento	98	29%	29%
	Venteo	84	25%	54%
	Enfriamiento Z5	55	16%	71%
	Transmisión	42	13%	83%
	Temperatura tornillo	19	6%	89%
	Tornillo	12	4%	93%
	Alimentación	12	4%	96%
	Accionamiento	9	3%	99%
	Barril	4	1%	100%
	Total		335	100%

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a la tabla de Pareto de fallas por sistemas de extrusor, la falla más común es debida al calentamiento, teniendo una frecuencia de 98 eventos, que corresponde al 29% del total, le sigue el sistema de venteo con un porcentaje de 25% del total de las fallas, el enfriamiento Z5 con el 6% y el sistema de transmisión con un 13%.

Utilizando los datos de la tabla XII, a continuación se presenta el gráfico de Pareto de fallas por sistemas de extrusor (ver figura 35):

Figura 35. **Gráfico de Pareto de fallas por sistemas del extrusor**



Fuente: elaboración propia.

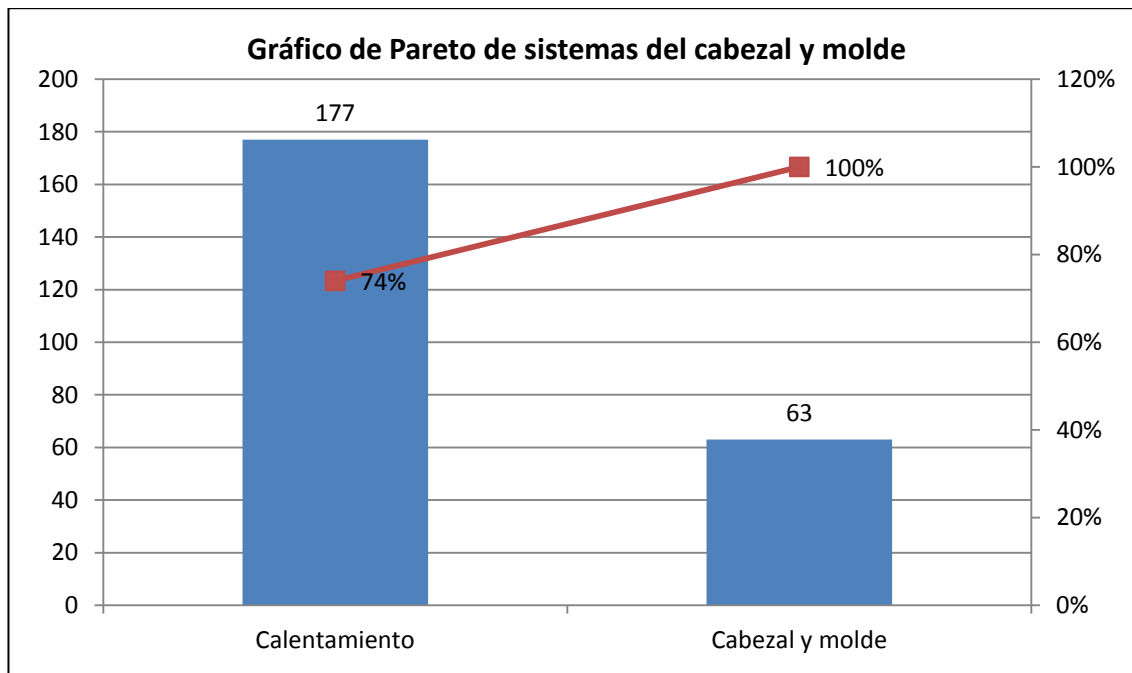
Como se puede observar, los sistemas que componen el extrusor que más inciden en la frecuencia de fallas son el sistema de calentamiento (29%), el de venteo (25%), el de enfriamiento (16%) y de transmisión (13%), por lo que serán analizados posteriormente sobre las fallas de sus elementos específicos.

Tabla XIII. **Tabla de Pareto de fallas por sistemas del cabezal y molde**

Equipo	Sistema	Fallas (frecuencia)	% Frec	% Frec. Acum
Cabezal y molde	Calentamiento	177	74%	74%
	Cabezal y molde	63	26%	100%
Total		240	100%	

Fuente: elaboración propia.

Figura 36. **Gráfico de Pareto de fallas por sistemas del cabezal y molde**



Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar, el sistema que más incide en la frecuencia de fallas del cabezal y molde es el de calentamiento (74%), por lo que será analizado posteriormente sobre las fallas de sus elementos específicos.

4.5.2.1.3. Determinación de puntos críticos y oportunidades de mejora

Del análisis de Pareto realizado en los equipos y los sistemas que los integran se pudieron observar seis sistemas específicos; los cuales representan el 64% de las fallas de la línea de producción.

Tabla XIV. **Sistemas con mayor frecuencia de fallas**

Sistemas	Fallas (frecuencia)
Calentamiento	275
Refrigeración	190
Transmisión	118
Sistema de vacío	107
Venteo	84
Enfriamiento Z5	55
Total	829

Fuente: elaboración propia

El análisis específico de las fallas de los elementos que componen estos sistemas se presenta en la tabla XV:

Tabla XV. **Tabla de Pareto de elementos con mayor frecuencia de fallas**

Elementos	Fallas (frecuencia)	% Frec	% Frec. Acum
Bomba de vacío	132	16%	16%
Termo copla	109	13%	29%
Resistencia	107	13%	42%
Intercambiador de calor	104	13%	55%

Continuación tabla XV.

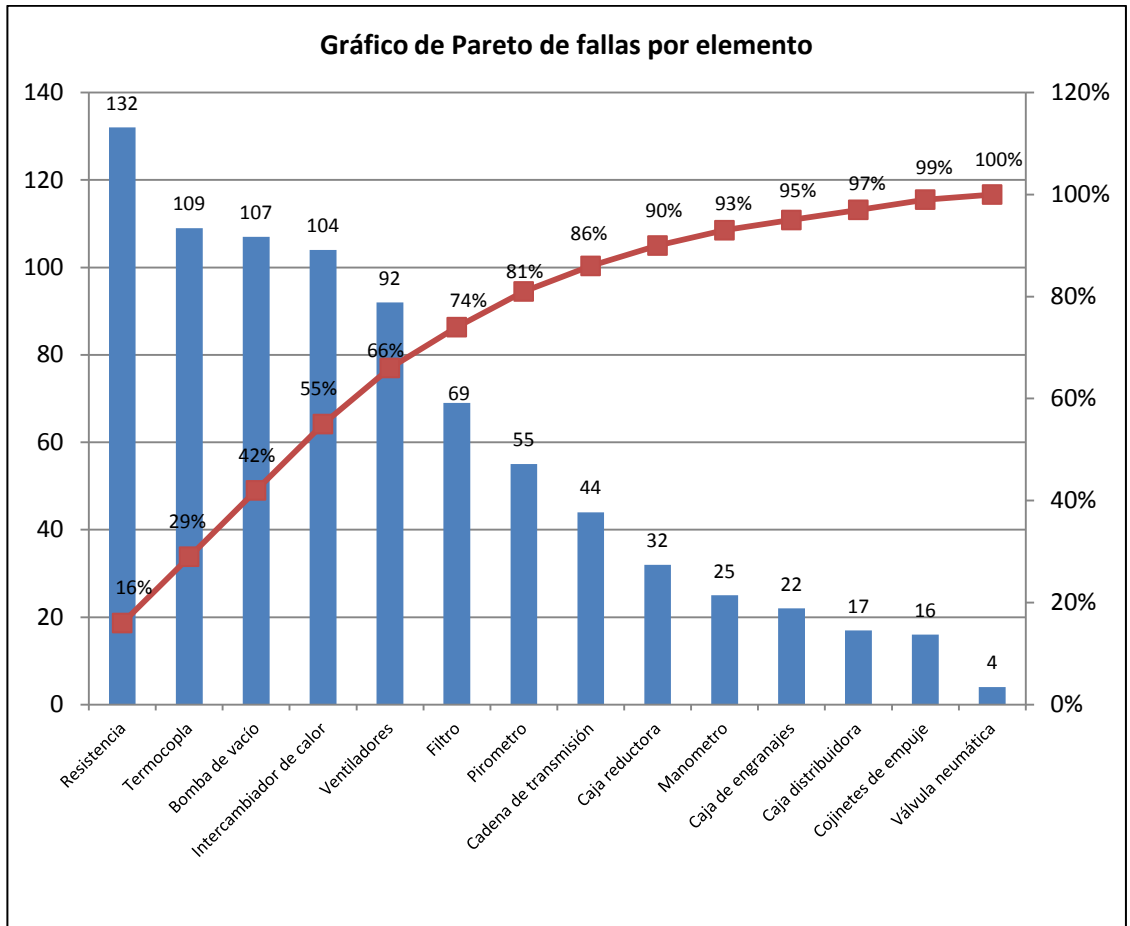
Ventiladores	92	11%	66%
Pirómetro	69	8%	74%
Filtro	55	7%	81%
Caja de engranajes	44	5%	86%
Cadena de transmisión	32	4%	90%
Bomba de aceite	25	3%	93%
Caja distribuidora	22	3%	95%
Manómetro	17	2%	97%
Caja reductora	16	2%	99%
Cojinetes de empuje	4	0%	100%
Válvula neumática	1	0%	100%
Total general	829	100%	

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a la tabla anterior, se observa que los elementos que presentan la mayor cantidad de fallas y que superan el límite de 10%, corresponden a: resistencia (13%), termocopla (13%), bomba de vacío (16%), intercambiador de calor (13%), ventiladores (11%); asimismo, los elementos que no sobrepasan el 10%, pero que también, deben ser monitoreados y analizados corresponden al pirómetro, filtro, caja de engranajes, aceite, bomba de aceite, caja distribuidora, manómetro, caja reductora.

Al tomar los datos de la tabla de Pareto, utilizando la frecuencia de fallas, el porcentaje de las mismas y el acumulado, es posible realizar la gráfica de Pareto de los elementos que presentan la mayor cantidad de fallas, esta gráfica se presenta a continuación (ver figura 37):

Figura 37. Gráfico de Pareto de elementos con mayor frecuencia de fallas



Fuente: elaboración propia.

Del análisis de Pareto, de los elementos componentes de los sistemas con mayor frecuencia de fallas se puede determinar que se debe trabajar en mejorar los procedimientos de mantenimiento, materiales, herramientas y capacitación del personal para los siguientes elementos que se muestran en la tabla XVI.

Tabla XVI. **Tabla de elementos para la elaboración de oportunidades de mejora**

Elementos	Fallas (frecuencia)
Bomba de vacío	132
Termo copla	109
Resistencia	107
Intercambiador de calor	104
Ventiladores	92
Pirómetro	69
Filtro	55
Total	668

Fuente: elaboración propia.

Estos elementos representan el 51% de total de fallas de la línea de extrusión de tubería corrugada de doble pared de PVC, por lo que trabajando en mejorar el mantenimiento de estos siete elementos se reduciría en por lo menos 50% de las fallas de la línea. Por lo que se procederá a hacer un análisis de causa para estos puntos críticos.

4.5.2.2. Tiempos de paro por mantenimiento

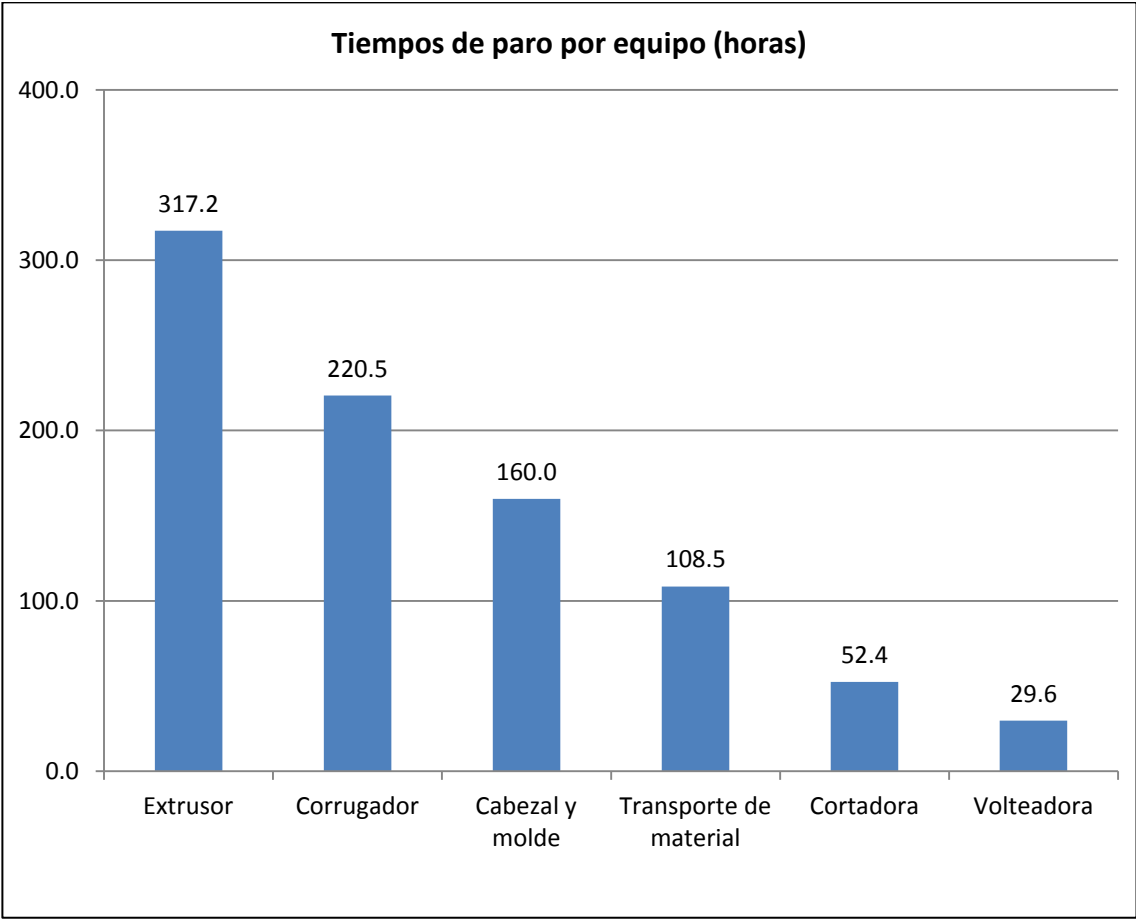
El análisis del tiempo de paro por mantenimiento de la línea de extrusión se realizó de lo general a lo específico, analizando primero los equipos como tal y después, cada equipo dividiéndolo en sus sistemas

4.5.2.2.1. Histogramas

A través de los histogramas, se puede observar los tiempos de paro por mantenimientos para los diferentes equipos que forman la línea de extrusión de

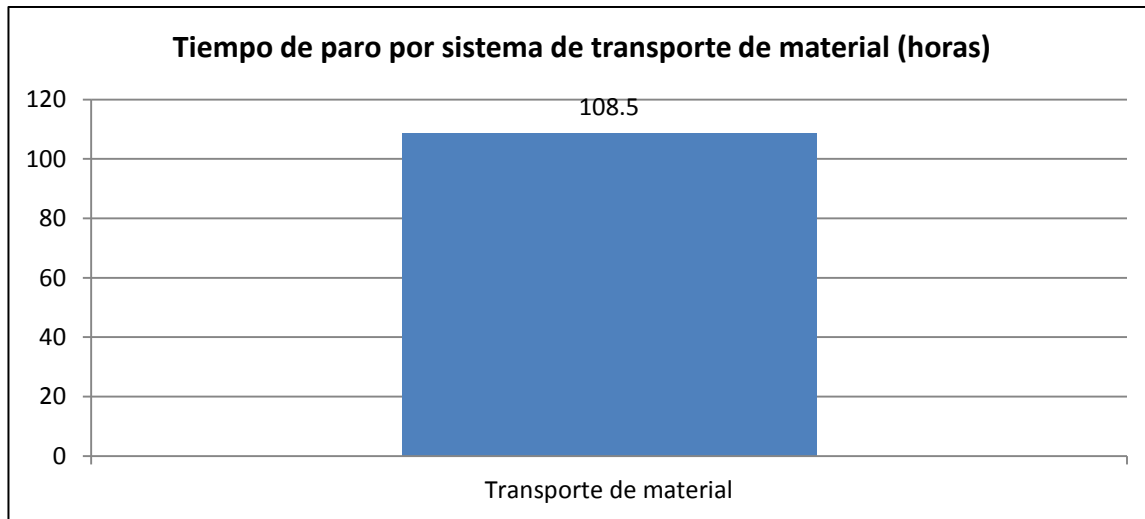
tubería corrugada de doble pared de PVC y los diferentes sistemas que los conforman.

Figura 38. **Histograma de tiempos de paro por equipo**



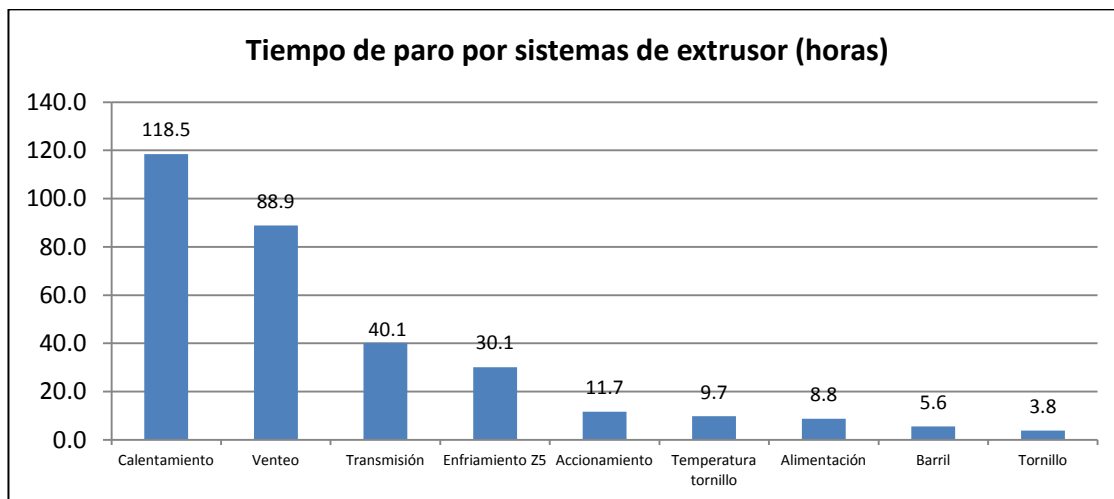
Fuente: elaboración propia.

Figura 39. **Histograma de tiempos de paro por sistema de transporte de material**



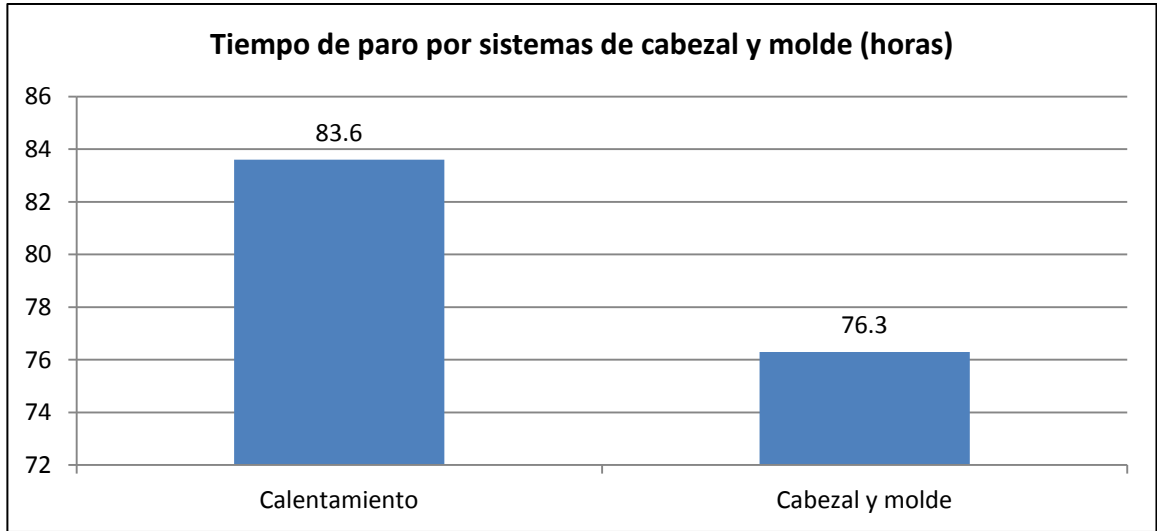
Fuente: elaboración propia.

Figura 40. **Histograma de tiempos de paro por sistemas de extrusora**



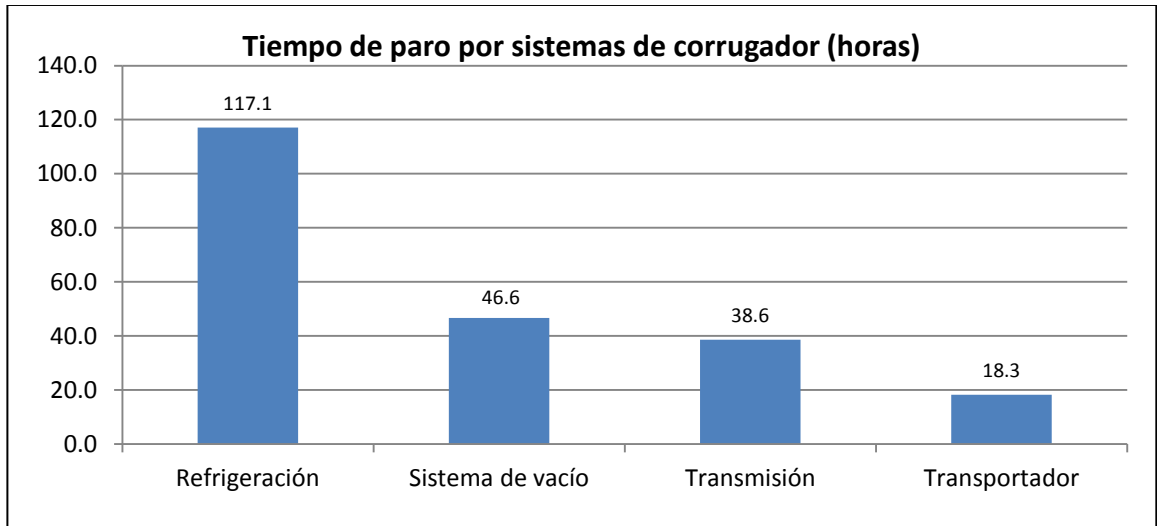
Fuente: elaboración propia.

Figura 41. **Histograma de tiempos de paro por sistemas del cabezal y molde**



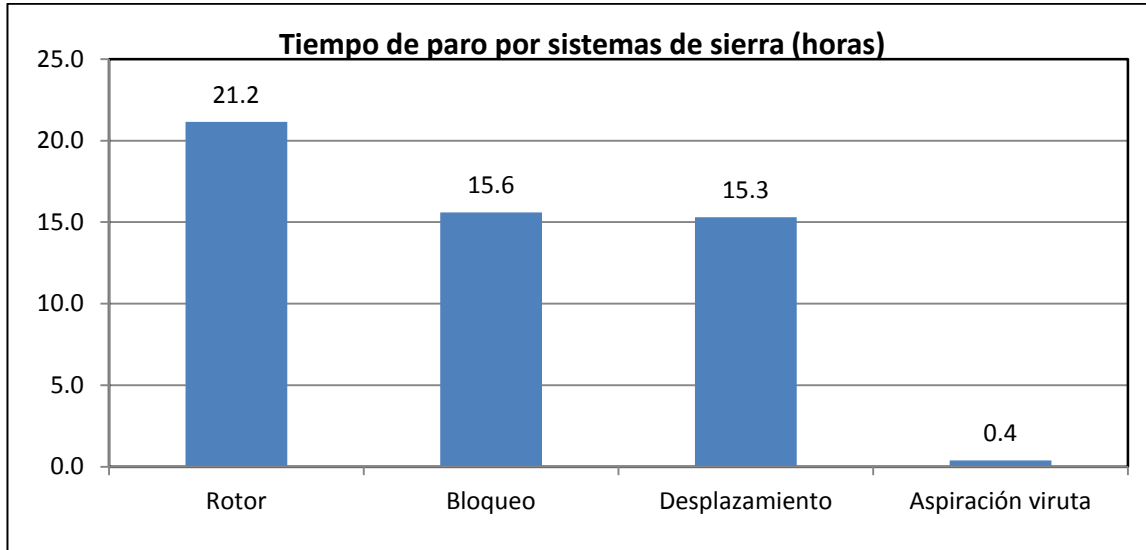
Fuente: elaboración propia.

Figura 42. **Histograma de tiempos de paro por sistemas de corrugador**



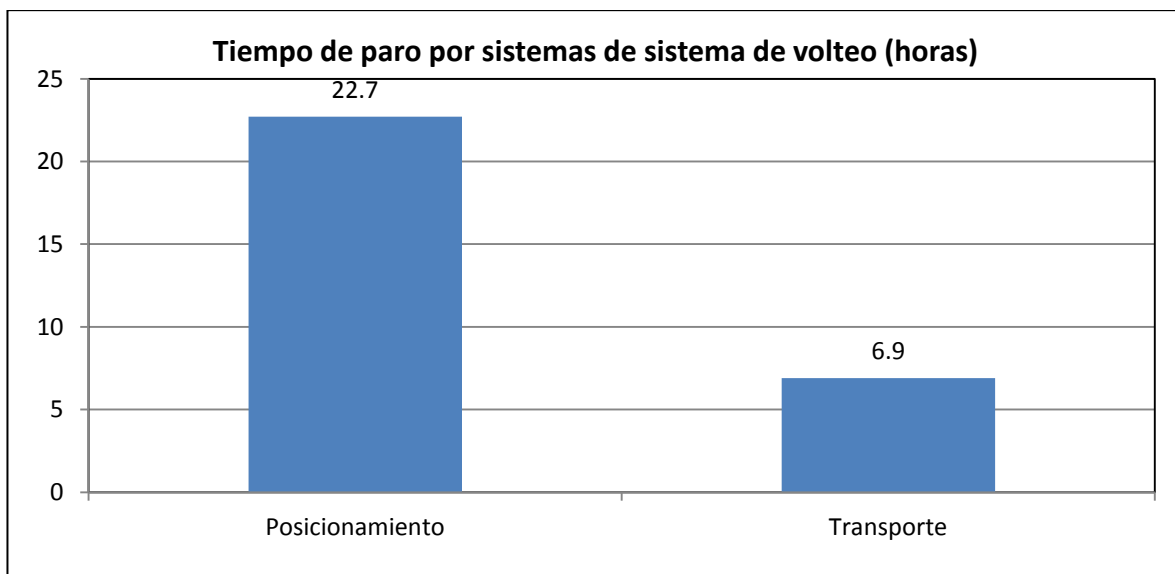
Fuente: elaboración propia.

Figura 43. **Histograma de tiempos de paro por sistemas de la sierra**



Fuente: elaboración propia.

Figura 44. **Histograma de tiempos de paro por sistemas de volteo**



Fuente: elaboración propia.

4.5.2.2.2. Análisis de Pareto

A través del análisis de Pareto, se logra separar los equipos que representan el 79% del tiempo de paro por mantenimiento del total de la línea de extrusión de tubería corrugada de doble pared de PVC, con el objetivo de enfocar los esfuerzos en reducir las fallas de estos equipos.

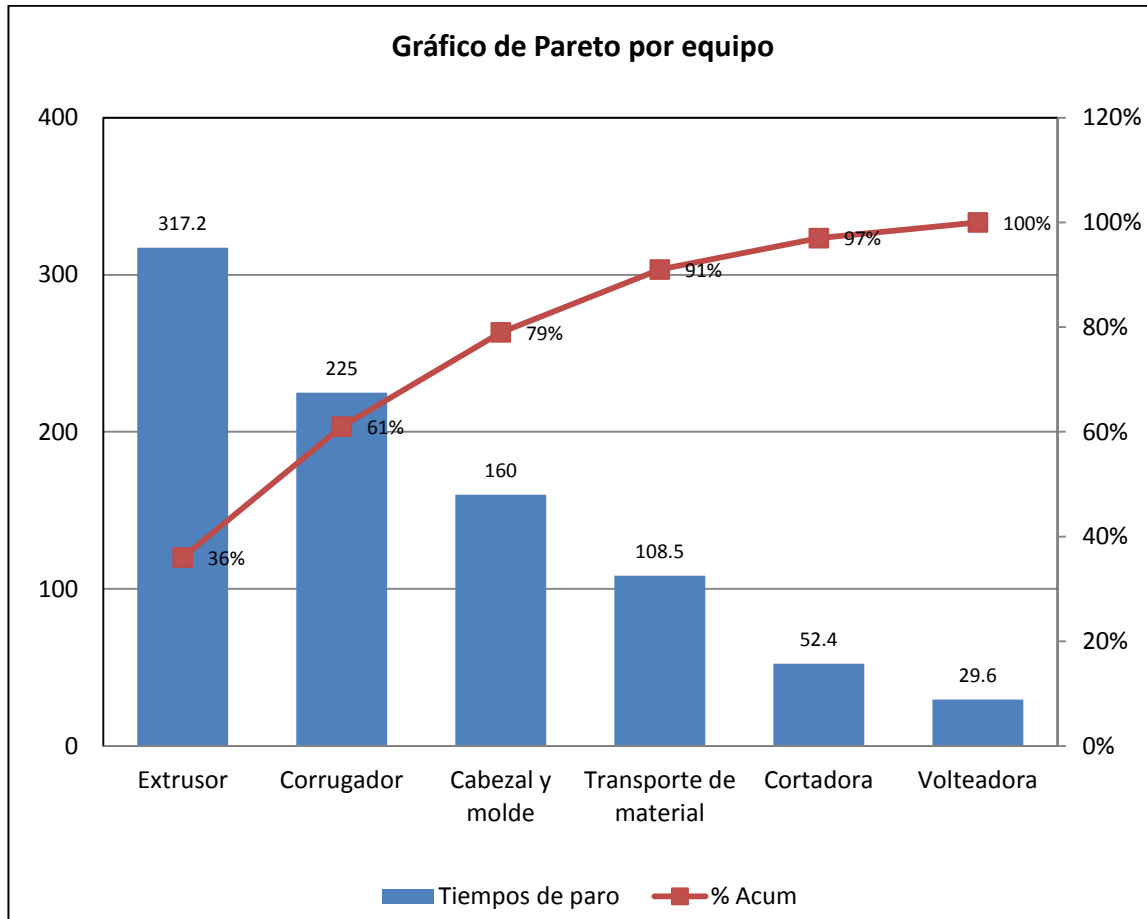
Tabla XVII. **Tabla de Pareto de tiempos de paro por equipo**

Tipos de Falla	Tiempo de paro (horas)	% Frec.	Frec. Acum
Extrusor	317,2	36%	36%
Corrugador	220,5	25%	61%
Cabezal y molde	160,0	18%	79%
Transporte de material	108,5	12%	91%
Cortadora	52,4	6%	97%
Volteadora	29,6	3%	100%
Total	888,3	100%	

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a la tabla de Pareto de tiempos de paro por equipo, el extrusor es el elemento que presenta un mayor tiempo de falla, hasta 317,2 horas al año, seguido el por el corrugador que presenta 220,5 horas al año y por último, el cabezal y el molde con 160,0 horas por año; por último, los elementos que presentan un tiempo de falla menor de 150 horas al año, corresponden al transporte de material, cortadora y volteadora.

Figura 45. Gráfico de Pareto de tiempos de paro por equipo



Fuente: elaboración propia.

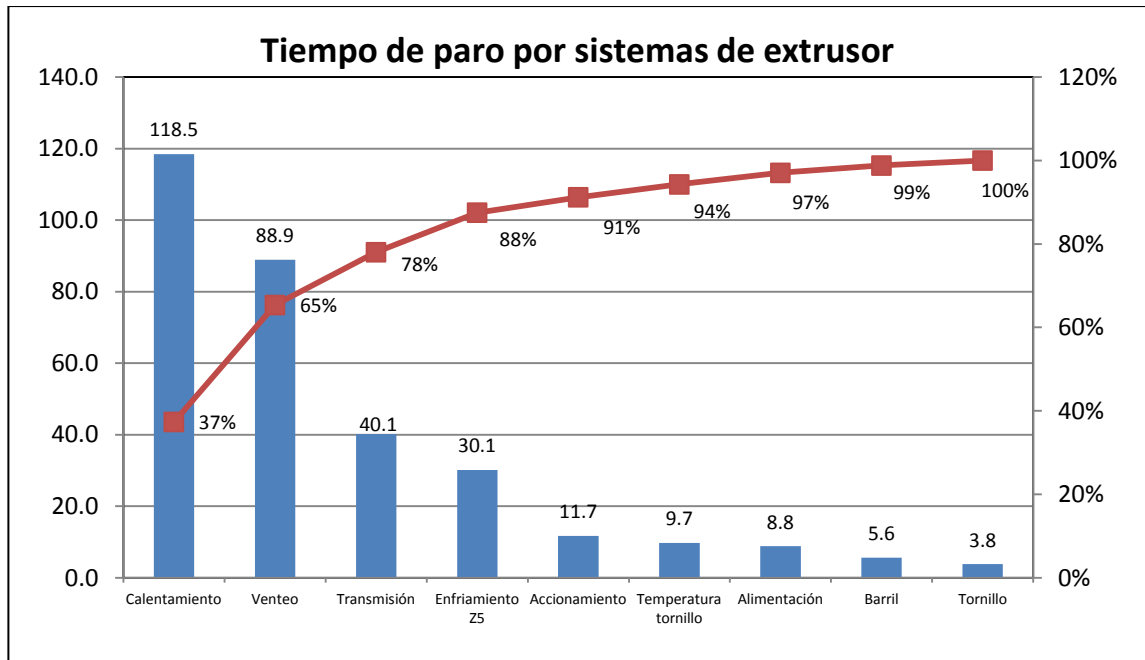
Puede observarse, que del total de tiempo de paro reportado el setenta y nueve por ciento (79%) corresponde a los siguientes equipos: extrusor (36%), corrugador (25%) y cabezal y molde (18%); por lo que el posterior análisis se enfocará, especialmente en los sistemas y elementos que componen dichos equipos.

Tabla XVIII. **Tabla de Pareto de tiempos de paro por sistemas del extrusor**

Equipo	Sistema	Tiempos de paro (horas)	% Frec	% Frec. Acum
Extrusor	Calentamiento	118,5	37%	37%
	Venteo	88,9	28%	65%
	Transmisión	40,1	13%	78%
	Enfriamiento Z5	30,1	9%	88%
	Accionamiento	11,7	4%	91%
	Temperatura tornillo	9,7	3%	94%
	Alimentación	8,8	3%	97%
	Barril	5,6	2%	99%
	Tornillo	3,8	1%	100%
	Total		317,2	100%

Fuente: elaboración propia.

Figura 46. **Gráfico de Pareto de tiempos de paro por sistemas de extrusor**



Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar, los sistemas que componen el extrusor que más inciden en la frecuencia de tiempos de paro por mantenimiento de fallas son el sistema de calentamiento (37%), el sistema de venteo (28%) y el sistema de transmisión (13%), por lo que serán analizados posteriormente sobre las fallas de sus elementos específicos.

Tabla XIX. **Tabla de Pareto de tiempos de paro por sistemas del corrugador**

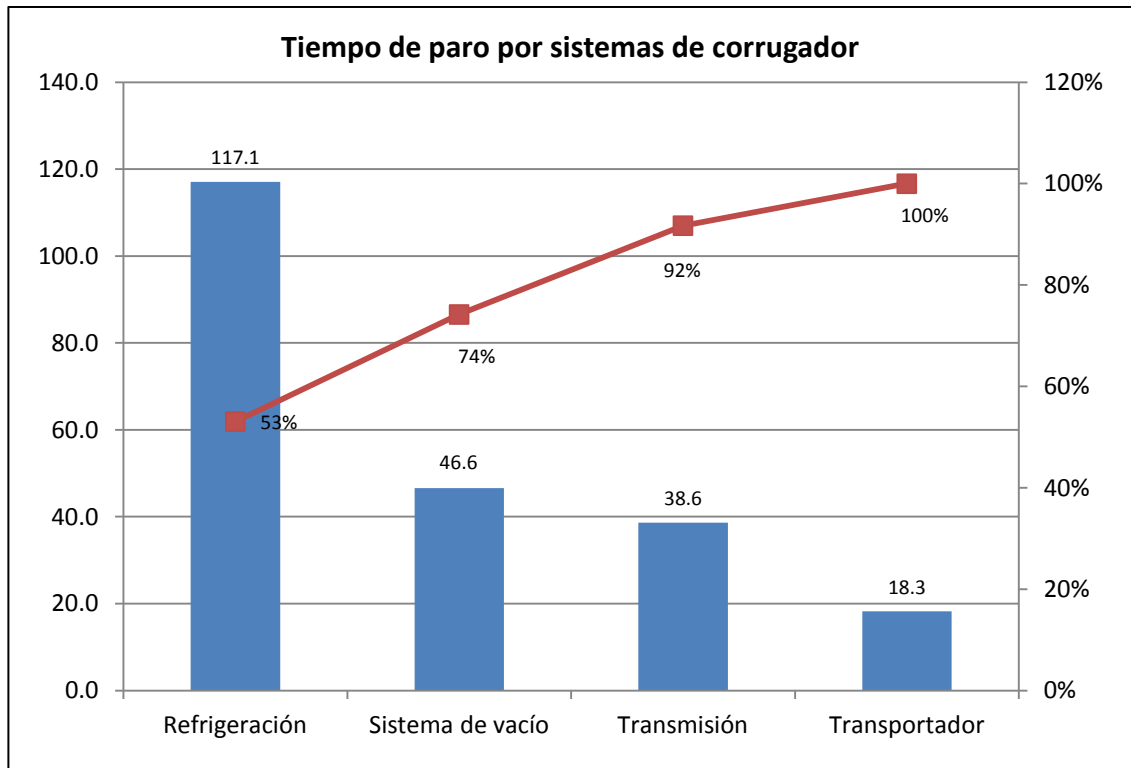
Equipo	Sistema	Tiempos de paro (horas)	% Frec	% Frec. Acum
Corrugador	Refrigeración	117,1	53%	53%
	Sistema de vacío	46,6	21%	74%
	Transmisión	38,6	18%	92%
	Transportador	18,3	8%	100%
	Total	220,5	100%	

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a la tabla de tiempos de paro por sistemas del corrugador, el sistema de refrigeración presenta 117,1 horas de paro al año, consistiendo el 53% de la frecuencia de paro del corrugador, en menor medida le sigue el sistema de vacío (46,6), transmisión (38,6) y el transportador (18,3%).

A través de los datos de la tabla XIX, se construye la gráfica de Pareto de tiempos de paro por sistemas del corrugador, la cual se presenta a continuación (ver figura 47):

Figura 47. **Gráfico de Pareto de tiempos de paro por sistemas del corrugador**



Fuente: elaboración propia.

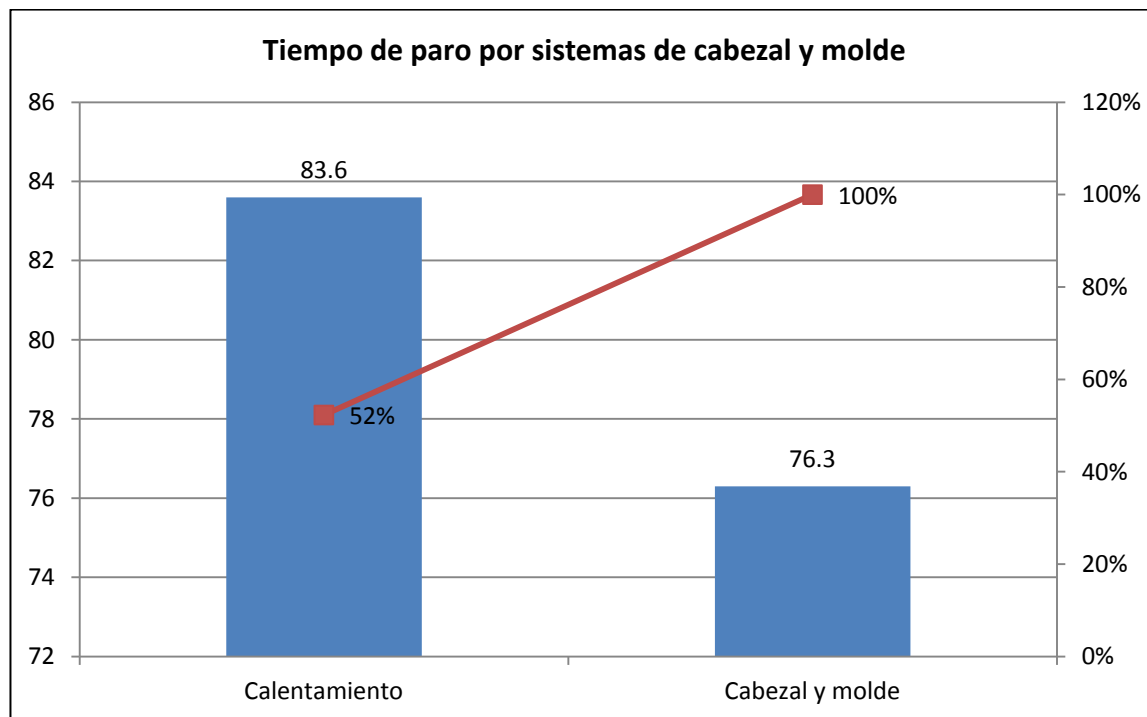
Como se puede observar, los sistemas que componen el corrugador que más inciden en la frecuencia de tiempos de paro por mantenimiento de fallas son el sistema de refrigeración (53%) y el sistema de vacío (23%), por lo que serán analizados posteriormente sobre las fallas de sus elementos específicos.

Tabla XX. **Tabla de Pareto de tiempos de paro por sistemas del cabezal y molde**

Equipo	Sistema	Tiempos de paro (horas)	% Frec	% Frec. Acum
Cabezal y Molde	Calentamiento	83,6	52%	52%
	Cabezal y molde	76,3	48%	100%
Total		159,9	100%	

Fuente: elaboración propia.

Figura 48. **Gráfico de Pareto de tiempos de paro por sistemas del cabezal y molde**



Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar, el sistema que más inciden en la frecuencia de fallas del cabezal y molde es el sistema de calentamiento (52%), por lo que será analizado posteriormente sobre las fallas de sus elementos específicos.

4.5.2.2.3. Determinación de puntos críticos y oportunidades de mejora

Del análisis de Pareto realizado en los equipos y los sistemas que los integran se pudieron observar 5 sistemas específicos, los cuales representan el 60% de total de tiempo de paro por mantenimiento de fallas.

Tabla XXI. **Sistemas con mayor tiempo de paro por mantenimiento de fallas**

Sistema	Tiempos de paro (horas)
Calentamiento	202,1
Refrigeración	117,1
Venteo	88,9
Transmisión	78,8
Sistema de vacío	46,6
Total	533,4

Fuente: elaboración propia.

El análisis específico de los tiempos de paro para los elementos que componen estos sistemas se presenta en la tabla XXII:

Tabla XXII. **Tabla de Pareto de elementos con mayor tiempo de paro por mantenimiento de fallas**

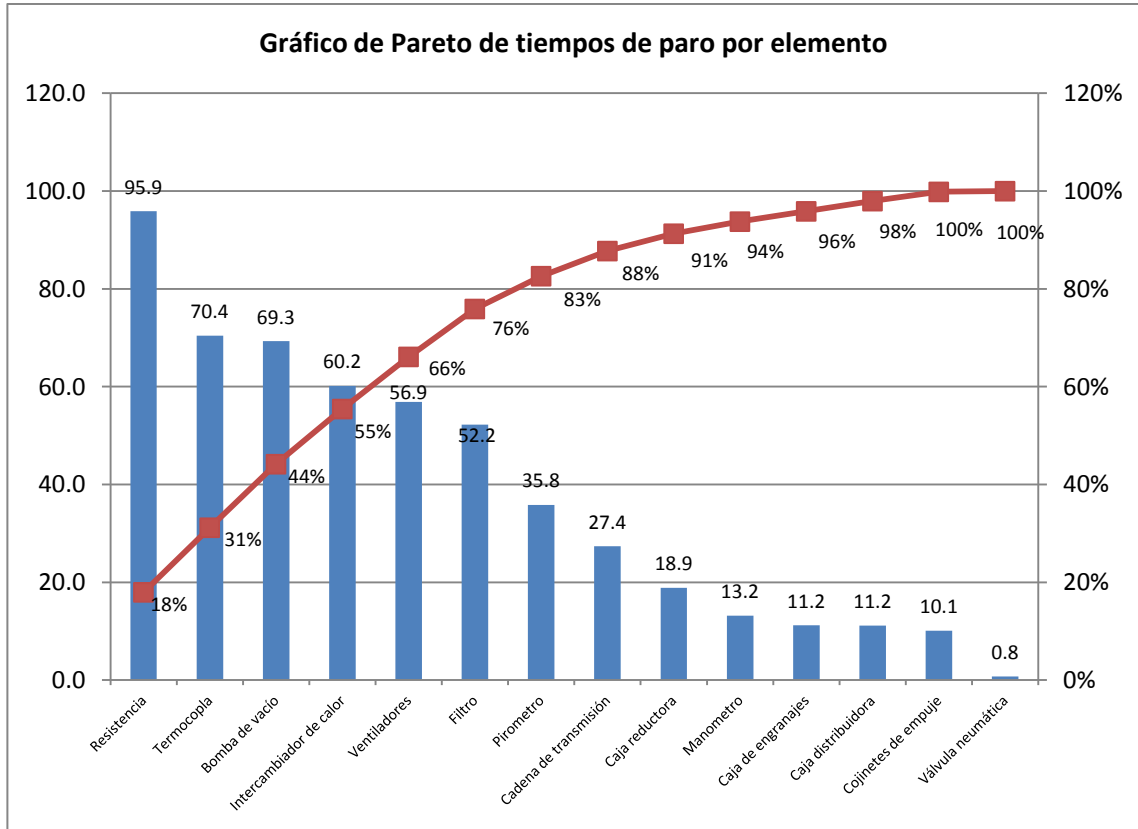
Elemento	Tiempos de paro (horas)	% Frec	% Frec. Acum
Resistencia	95,9	18%	18%
Termo copla	70,4	13%	31%
Bomba de vacío	69,3	13%	44%
Intercambiador de calor	60,2	11%	55%
Ventiladores	56,9	11%	66%
Filtro	52,2	10%	76%
Pirómetro	35,8	7%	83%
Cadena de transmisión	27,4	5%	88%
Caja reductora	18,9	4%	91%
Manómetro	13,2	2%	94%
Caja de engranajes	11,2	2%	96%
Caja distribuidora	11,2	2%	98%
Cojinetes de empuje	10,1	2%	100%
Válvula neumática	0,8	0%	100%
Total general	533,4	100%	

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a la tabla de Pareto de elementos con mayor tiempo de paro por mantenimiento de fallas, los elementos que sobrepasan las 30 horas corresponden a la resistencia (95,9), termo copla (70,4), bomba de vacío (69,3), intercambiadores de calor (60,2), ventiladores (56,9), filtro (52,2) y el pirómetro (35,8).

Con los datos correspondientes a las horas de paro y la frecuencia, se elaboró la gráfica de Pareto de tiempos de paro por elemento, la cual es presentada a continuación (ver figura 49):

Figura 49. **Gráfico de Pareto de elementos con mayor tiempo de paro por mantenimiento de fallas**



Fuente: elaboración propia.

Del análisis de Pareto de los elementos componentes de los sistemas con mayor tiempo de paro por mantenimiento de fallas, se puede determinar que se debe trabajar en mejorar los procedimientos de mantenimiento, materiales, herramientas y capacitación del personal para los siguientes elementos

Tabla XXIII. **Tabla de elementos para la elaboración de oportunidades de mejora**

Elemento	Tiempos de paro (horas)
Resistencia	95,9
Termo copla	70,4
Bomba de vacío	69,3
Intercambiador de calor	60,2
Ventiladores	56,9
Filtro	52,2
Pirómetro	35,8
Total	440,7

Fuente: elaboración propia.

Estos elementos representan, aproximadamente, el 50% de total del tiempo de paro por mantenimiento de fallas de la línea de extrusión de tubería corrugada de doble pared de PVC, por lo que trabajando en mejorar el mantenimiento de estos siete elementos se reduciría en por lo menos 50% del tiempo de mantenimiento por fallas de la línea. Por lo que se procederá a hacer un análisis de causa para estos puntos críticos.

4.5.3. Análisis de causas y efecto para puntos críticos

Según el análisis realizado, tanto en fallas de elementos mecánicos y tiempos de paro por mantenimiento de fallas se puede observar una relación directa que existente entre estas dos variables para los elementos evaluados, figura 49, esto debido a que la relación entre frecuencia de fallas y el tiempo utilizado para resolverlos es proporcional.

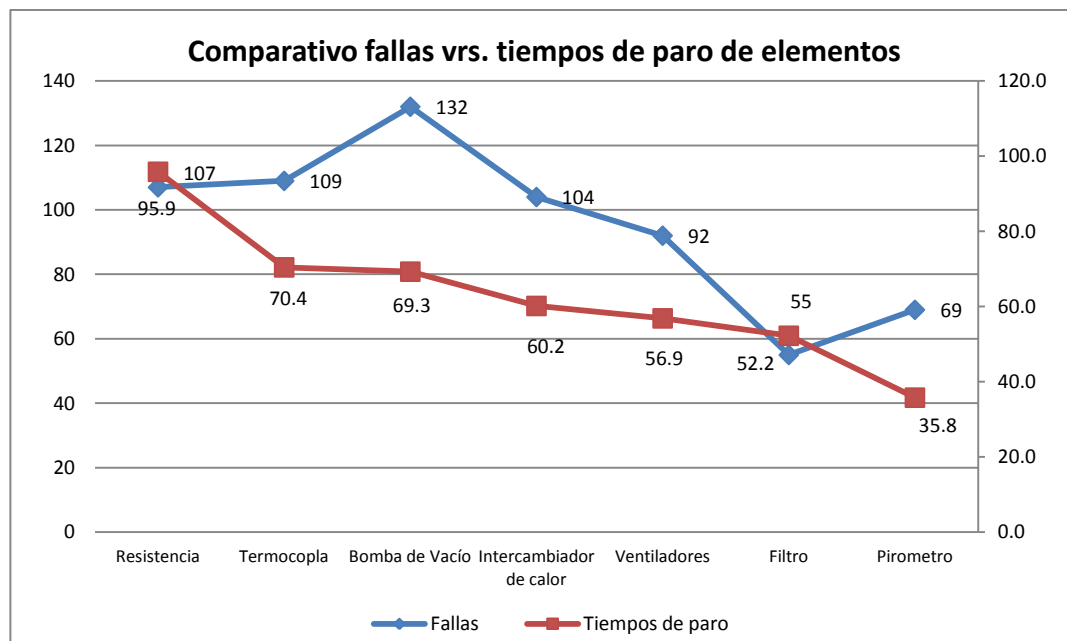
Esta relación que se observa entre fallas y tiempos facilita, por ende el análisis de causa y efecto, por lo cual se pueden realizar en un mismo diagrama.

Tabla XXIV. **Comparativo de fallas versus tiempos de paro de elementos**

Elemento	Fallas (frecuencia)	Tiempos de paro
Resistencia	107	95,9
Termo copla	109	70,4
Bomba de vacío	132	69,3
Intercambiador de calor	104	60,2
Ventiladores	92	56,9
Filtro	55	52,2
Pirómetro	69	35,8
Total	668	440,7

Fuente: elaboración propia.

Figura 50. **Comparativo de fallas versus tiempos de paro de elementos**

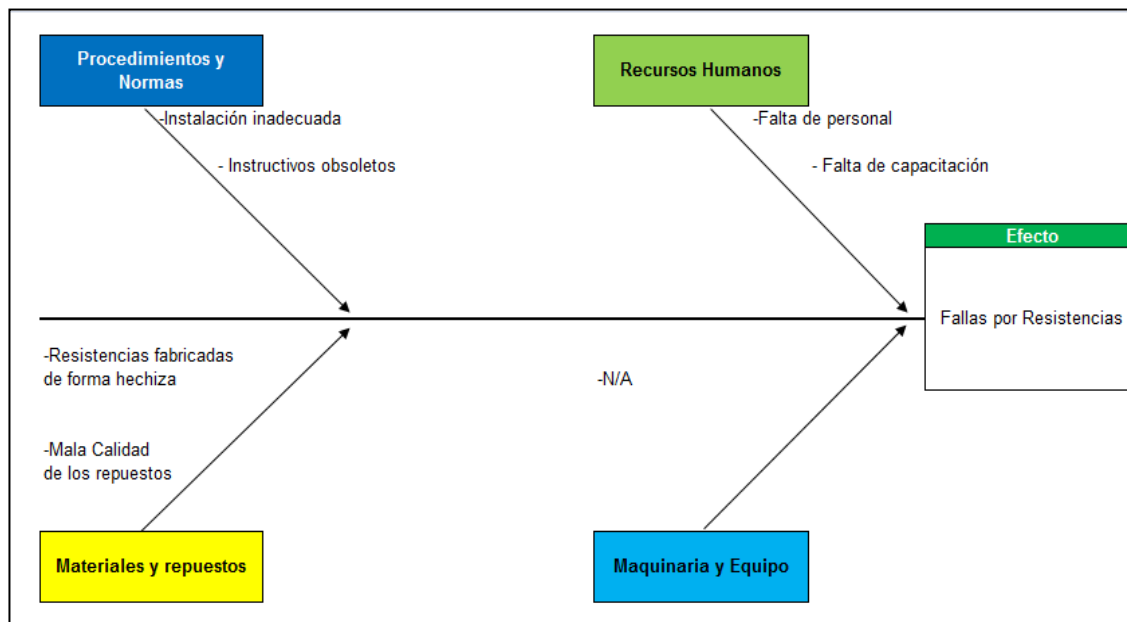


Fuente: elaboración propia.

4.5.3.1. Diagrama de Ishikawa para puntos críticos en fallas mecánicas

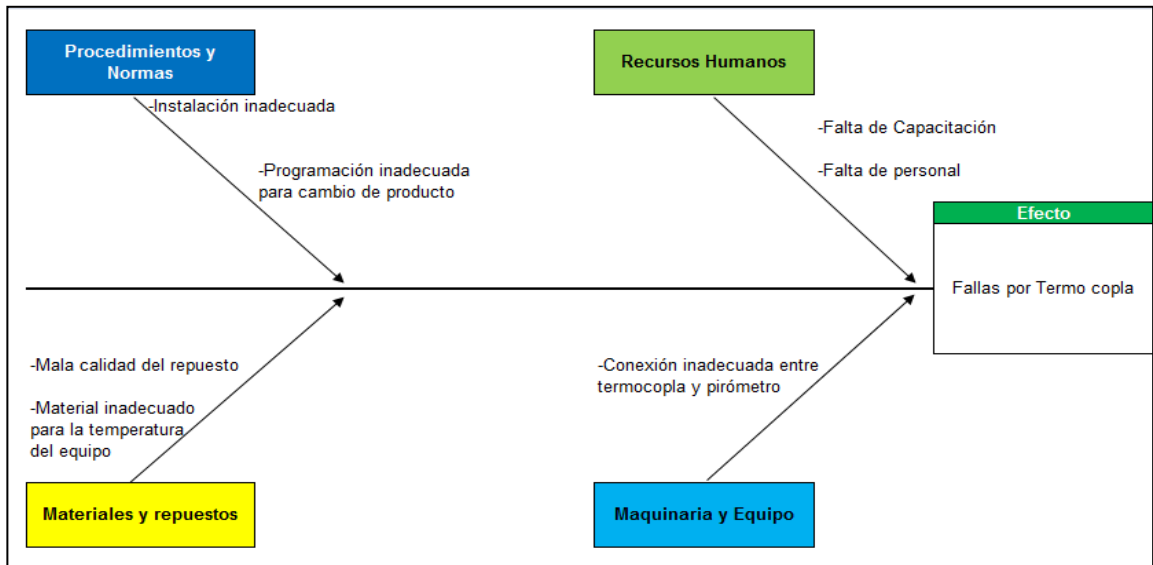
En función de los puntos críticos y oportunidades de mejora detectadas a través del análisis de Pareto, se realizó el análisis de causa y efecto de las mismas utilizando la herramienta del diagrama de Ishikawa, enfocándose principalmente en el análisis de procedimientos y normas, recursos humanos, materiales y repuestos y maquinaria y equipo.

Figura 51. Diagrama de Ishikawa para fallas en resistencias



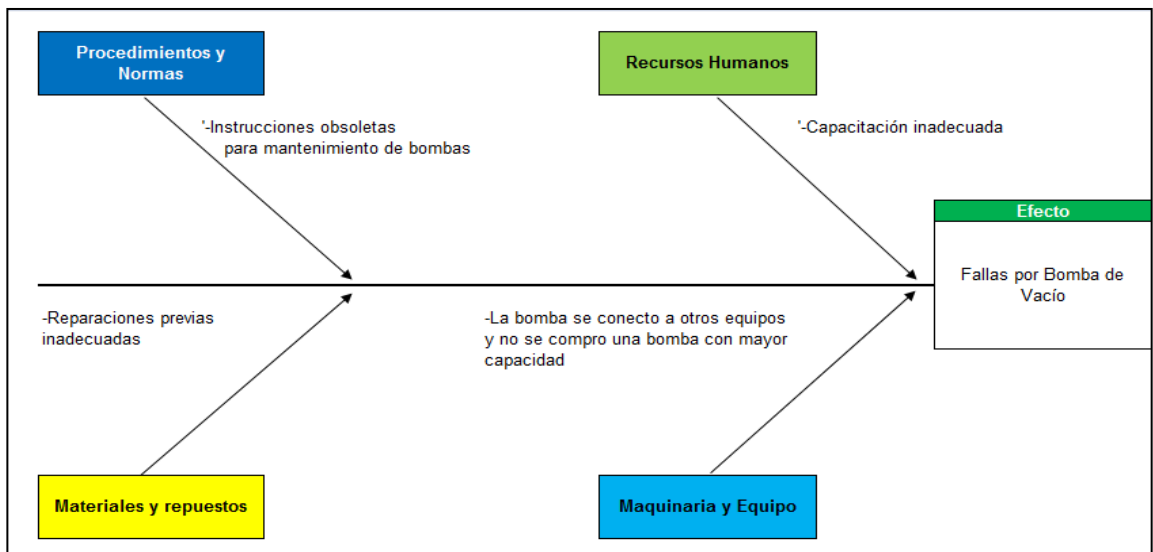
Fuente: elaboración propia.

Figura 52. Diagrama de Ishikawa para fallas en termo coplas



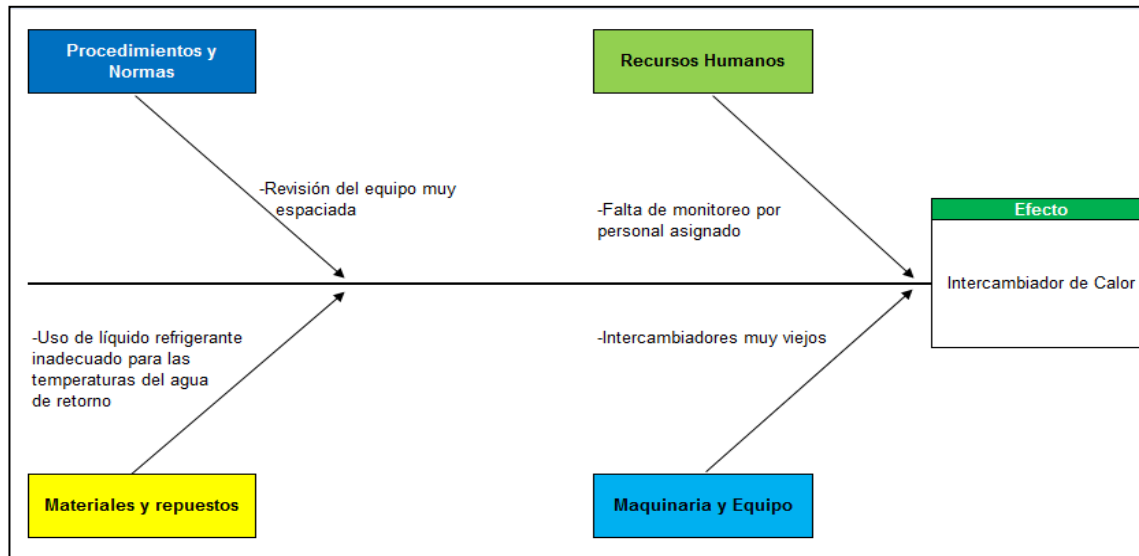
Fuente: elaboración propia.

Figura 53. Diagrama de Ishikawa para fallas en bomba de vacío



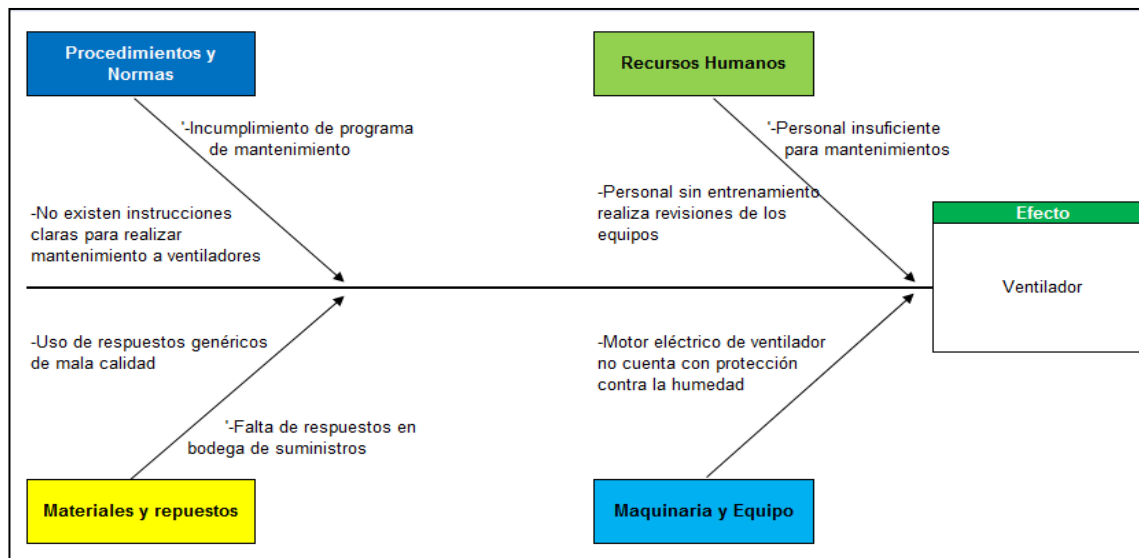
Fuente: elaboración propia.

Figura 54. Diagrama de Ishikawa para fallas en intercambiador de calor



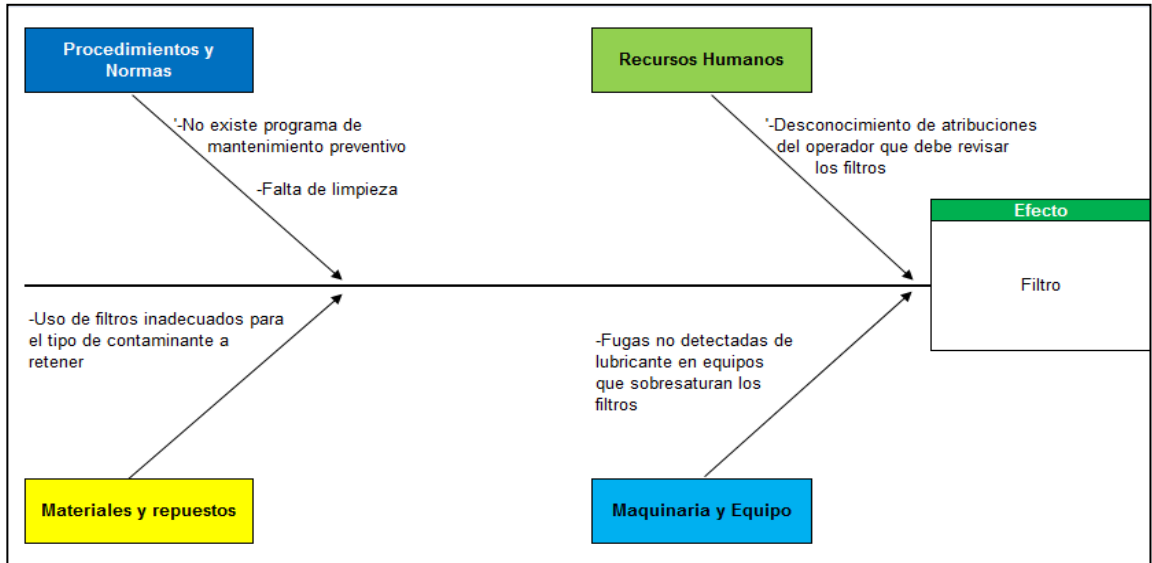
Fuente: elaboración propia.

Figura 55. Diagrama de Ishikawa para fallas en ventilador



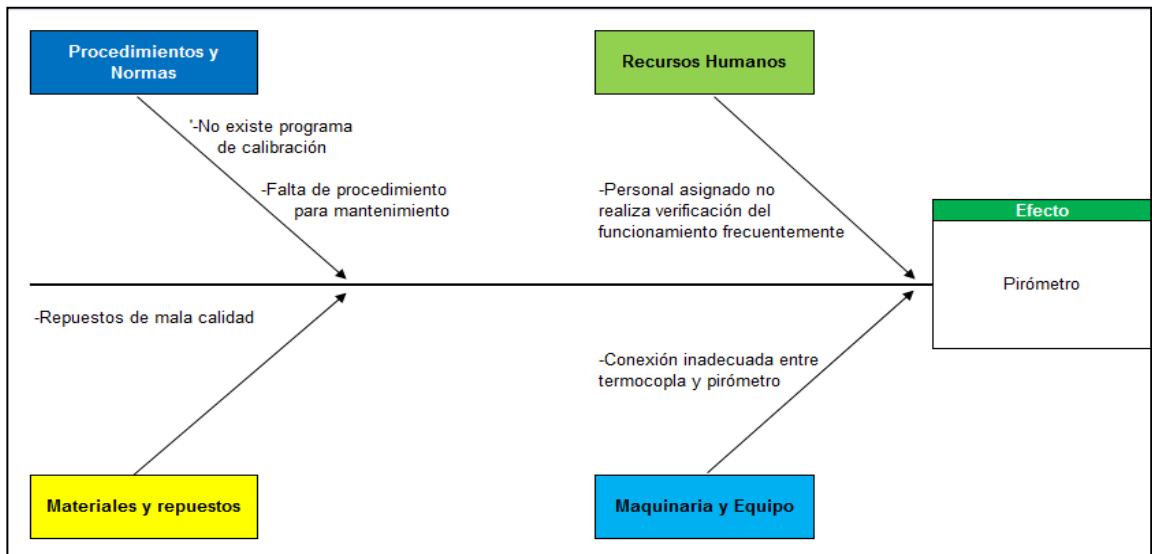
Fuente: elaboración propia.

Figura 56. Diagrama de Ishikawa para fallas en filtro



Fuente: elaboración propia.

Figura 57. Diagrama de Ishikawa para fallas en pirómetro



Fuente: elaboración propia.

4.5.3.2. Diagrama de Ishikawa para puntos críticos en tiempos de paro por mantenimiento

Debido a la relación existente entre la frecuencia de fallas y el tiempo de paro por el mantenimiento de las mismas, el análisis de Ishikawa realizado en el inciso 4.5.3.1. para la reducción de fallas es equivalente para la optimización de tiempos de paro por mantenimiento.

4.5.4. Asignación de presupuesto para el desarrollo de mejoras

Para poder desarrollar los proyectos derivados del análisis de datos para reducir las fallas y tiempos de paro se debe de contar con un presupuesto establecido por parte de la gerencia para invertir especialmente en las mejoras necesarias en el desarrollo del personal a través de capacitaciones, la compra de herramientas y equipos suficientes y adecuados para cada actividad y de materiales o repuestos de mejor calidad.

El presupuesto para la implementación de cada proyecto debe establecerse dentro de las actividades a realizarse en cada plan de acción.

5. SEGUIMIENTO Y MEJORA CONTINUA

Para cada uno de los puntos críticos y oportunidades de mejora detectados, se debe proponer proyectos de mejora para disminuir las fallas mecánicas y tiempos de paro por mantenimiento de la línea de extrusión. Además, se deben de establecer mecanismos de medición a través de indicadores, que permitan medir la eficacia de dichos proyectos.

5.1. Proyectos de mejora derivados del análisis

Los diferentes proyectos de mejora están enfocados en cuatro aspectos principalmente: procedimientos y normas, recursos humanos, materiales y repuestos y herramienta y equipo.

5.1.1. Procedimientos y normas

En lo que respecta a procedimientos y normas las causas detectadas son las siguientes.

Tabla XXV. **Causas de fallas y tiempos de paro por procedimientos y normas**

No.	Procedimientos y Normas
1.	Procedimientos obsoletos
2.	Instalación inadecuada
3.	Programa de cambios inadecuado
4.	Mantenimiento preventivo bajo

Continuación tabla XXV.

5.	Incumplimiento de programa de mantenimiento
6.	No existe programad de mantenimiento y calibración de equipos
7.	Falta de limpieza

Fuente: elaboración propia.

De las siete causas derivadas de la lluvia de ideas la causa número 1, 2 y 7 se pueden agrupar en una causa mayor denominada falta de procedimientos adecuados y actualizados para la elaboración del mantenimiento. Y las causas 3, 4, 5 y 6 se pueden agrupar en una causa mayor denominada evaluación del programa de mantenimiento de los equipos.

Para los cuales se presentan los siguientes planes de mejora:

- Propuestas de mejora para procedimientos y normas No. 1: consistente en la elaboración del procedimiento para el mantenimiento de las resistencias, termocoplas, bombas de vacios, intercambiadores de calor, ventiladores, filtros y pirómetros, (ver figura 58).
- Propuestas de mejora para procedimientos y normas No. 2: consistente en la evaluación del programa de mantenimiento anual, para verificar que las frecuencias de mantenimiento establecidas disminuyan las fallas y los tiempos de paro de los equipos.

Figura 58. **Propuestas de mejora para procedimientos y normas No. 1**

EMPRESA		Nombre: Propuesta de Mejora		Código:	Versión:
No de solicitud	1	Fecha de emisión	15/10/2011	Fecha de aprobación	
Puesto del colaborador que emite la solicitud		Gerente de Mantenimiento			
Puesto del colaborador al que se dirige la solicitud		Supervisor de Mantenimiento			
Propuesta de Mejora					
Elaborar el procedimiento actualizado para el mantenimiento de los siguientes equipos: - Resistencias - Termocoplas - Bombas de Vacío - Intercambiadores de Calor - Ventiladores - Filtos y - Pirómetros . Dicho procedimientos debe ser realizado en base al manual de mantenimiento dado por el fabricante contar y debe de contar la cantidad de personas necesarias para realizar el trabajo, los repuestos adecuados y necesarios y las herramientas y equipos necesarios para la realización del mantenimiento.					
Justificación de la Propuesta de Mejora					
Se decide realizar los procedimientos de mantenimiento de estos equipos en particular debido a su mayor frecuencia de fallas y tiempo de paro reportados los cuales fueron determinados en base al analisis realizado utilizando las Herramientas del Control Estadístico de Procesos					
Aceptación de la solicitud de Mejora		Puesto responsable de la decisión	Puesto responsable de elaborar el plan de acción	Fecha de entrega del plan de acción	
SI	NO				

Fuente: elaboración propia.

Figura 59. **Propuestas de mejora para procedimientos y normas No. 2**

EMPRESA	Nombre:		Código:		Versión:	
	Propuesta de Mejora					
No de solicitud	2	Fecha de emisión	15/10/2011	Fecha de aprobación		
Puesto del colaborador que emite la solicitud			Gerente de Mantenimiento			
Puesto del colaborador al que se dirige la solicitud			Supervisor de Mantenimiento			
Propuesta de Mejora						
<p>Evaluar el Programa de Mantenimiento Anual para verificar que las frecuencias de mantenimiento establecidas ayuden a disminuir la frecuencia de fallas y los tiempos de paro en base al historial recopilado para los siguientes elementos de equipos: - Resistencias - Termocoplas -Bombas de Vacío - Intercambiadores de Calor -Ventiladores - Filtos y - Pirómetros. Dicha evaluación debe de incluir una metodología para la evaluación del cumplimiento y la calidad de los trabajos realizados.</p>						
Justificación de la Propuesta de Mejora						
<p>Se decide realizar los procedimientos de mantenimiento de estos equipos en particular debido a su mayor frecuencia de fallas y tiempo de paro reportados los cuales fueron determinados en base al analisis realizado utilizando las Herramientas del Control Estadístico de Procesos</p>						
Aceptación de la solicitud de Mejora		Puesto responsable de la decisión	Puesto responsable de elaborar el plan de acción		Fecha de entrega del plan de acción	
SI	NO					

Fuente: elaboración propia.

5.1.2. Recurso humano

En lo que respecta a recurso humano, las causas detectadas son las siguientes:

Tabla XXVI. **Causas de fallas y tiempos de paro por recursos humanos**

No.	Recursos humanos
1.	Falta de personal
2.	Falta de capacitación
3.	Capacitación inadecuada
4.	Falta de supervisión
5.	Desconocimiento de sus labores
6.	Incumplimiento de responsabilidades

Fuente: elaboración propia.

De las seis causas derivadas de la lluvia de ideas la causa número 2, 3 y 5 se pueden agrupar en una causa mayor denominada desarrollo de un programa de capacitación para el personal de mantenimiento. Las causas 1, 4 y 6 se pueden agrupar en una causa mayor denominada capacitación sobre organización y liderazgo para supervisores.

Para los cuales se presentan los planes de mejora incluidos en las figuras 60 y 61:

Figura 60. **Propuestas de mejora para recursos humanos No. 1**

EMPRESA		Nombre:		Código:		Versión:	
		Propuesta de Mejora					
No de solicitud		3	Fecha de emisión		15/10/2011	Fecha de aprobación	
Puesto del colaborador que emite la solicitud			Gerente de Mantenimiento				
Puesto del colaborador al que se dirige la solicitud			Jefe de Recursos Humanos				
Propuesta de Mejora							
Desarrollar un programa de capacitación técnica para el personal de mantenimiento en base a los nuevos procedimientos desarrollados.							
Justificación de la Propuesta de Mejora							
Se decide capacitar al personal de mantenimiento en base a los nuevos procedimientos de mantenimiento de los equipos seleccionados debido a su mayor frecuencia de fallas y tiempo de paro reportados los cuales fueron determinados en base al analisis realizado utilizando las Herramientas del Control Estadístico de Procesos							
Aceptación de la solicitud de Mejora		Puesto responsable de la decisión		Puesto responsable de elaborar el plan de acción		Fecha de entrega del plan de acción	
SI	NO						

Fuente: elaboración propia.

Figura 61. **Propuestas de mejora para recursos humanos No. 2**

EMPRESA	Nombre:		Código:		Versión:	
	Propuesta de Mejora					
No de solicitud	4	Fecha de emisión	15/10/2011	Fecha de aprobación		
Puesto del colaborador que emite la solicitud			Gerente de Mantenimiento			
Puesto del colaborador al que se dirige la solicitud			Jefe de Recursos Humanos			
Propuesta de Mejora						
Desarrollar una capacitación específica dirigida a todos los supervisores de área, incluyen los de producción y mantenimiento que desarrolle sus competencias en Organización y Liderazgo de personal.						
Justificación de la Propuesta de Mejora						
En el análisis de causa se pudo observar que muchas de las fallas y tiempos de paro estaban relacionadas con la mala organización del personal en la ejecución de sus tareas.						
Aceptación de la solicitud de Mejora		Puesto responsable de la decisión	Puesto responsable de elaborar el plan de acción		Fecha de entrega del plan de acción	
SI	NO					

Fuente: elaboración propia.

5.1.3. Materiales y repuestos

En lo que respecta a materiales y repuestos las causas detectadas son las siguientes.

Tabla XXVII. **Causas de fallas y tiempos de paro por materiales y repuestos**

No.	Materiales y repuestos
1.	Mala calidad de los repuestos
2.	Repuestos no es el indicado
3.	Materiales no adecuados

Fuente: elaboración propia.

Las causas detectadas sobre materiales y repuestos inciden en la calidad y características técnicas de los repuestos por los que se pueden atribuir a una causa mayor denominada falta de ficha técnica de compra de equipos.

Para los cuales se presentan los planes de mejora consistentes en desarrollar fichas técnicas de compra de equipos, estas deben contener, las características generales específicas de los repuestos necesarios para la realización de los mantenimientos.

Estas fichas servirán de apoyo al departamento de compra, para asegurar que el repuesto comprado será el adecuado para el mantenimiento a realizar (ver figura 62):

Figura 62. **Propuestas de mejora para materiales y repuestos**

EMPRESA	Nombre:			Código:	Versión:
	Propuesta de Mejora				
No de solicitud	5	Fecha de emisión	15/10/2011	Fecha de aprobación	
Puesto del colaborador que emite la solicitud		Gerente de Mantenimiento			
Puesto del colaborador al que se dirige la solicitud		Supervisor de Mantenimiento			
Propuesta de Mejora					
Desarrollar Fichas Técnicas de Compra de Equipos, las cuales deben de contener las características generales y específicas de los repuestos necesarios para la realización de los mantenimiento. Esta ficha servirá de apoyo al departamento de compra para asegurar que el repuesto comprado sera el adecuado al mantenimiento a realizar.					
Justificación de la Propuesta de Mejora					
En el analisis de causa se pudo observar que muchas de las fallas y tiempos de paro estaban relacionadas una mala compra de repuestos los cuales no cuentan con los requisitos mínimos de calidad y las características específicas para los equipos.					
Aceptación de la solicitud de Mejora		Puesto responsable de la decisión	Puesto responsable de elaborar el plan de acción	Fecha de entrega del plan de acción	
SI	NO				

Fuente: elaboración propia.

5.1.3.1. Herramientas y equipo

En lo que respecta a herramientas y equipo las causas detectadas son las siguientes:

Tabla XXVIII. **Causas de fallas y tiempos de paro por maquinaria y equipos**

No.	Maquinaria y equipo
1.	Equipo obsoleto
2.	Equipo no es el indicado
3.	Bajo mantenimiento
4.	Sobredimensionamiento de equipo
5.	Malas conexiones

Fuente: elaboración propia.

De las causas referentes a maquinaria y equipo lo que se propone es hacer una evaluación general de la línea de extrusión, para determinar el estado general de los equipos y las diferentes variables que afectan su funcionamiento.

Para los cuales se presentan los planes de mejora consistentes en la evaluación general del estado de la línea de producción con el objetivo de determinar su estado general y las diferentes variables que pueden afectar su funcionamiento (ver figura 63):

Figura 63. **Propuestas de mejora para maquinaria y equipo**

EMPRESA	Nombre:		Código:		Versión:	
	Propuesta de Mejora					
No de solicitud	6	Fecha de emisión	15/10/2011	Fecha de aprobación		
Puesto del colaborador que emite la solicitud			Gerente de Mantenimiento			
Puesto del colaborador al que se dirige la solicitud			Supervisor de Mantenimiento			
Propuesta de Mejora						
Realizar una evaluación general del estado de la línea de producción con el objetivo de determinar su estado general y las diferentes variables externas que pueden afectar su funcionamiento.						
Justificación de la Propuesta de Mejora						
Se recomienda realizar esta evaluación general de la línea de producción para poder determinar variables externas que puedan afectar su funcionamiento, por ejemplo en el análisis de causa se descubrió que la bomba de vacío se dispara debido a un sobredimensionamiento que se ha realizado al conectarla a mas de un equipo a la vez, sobre pasando su capacidad.						
Aceptación de la solicitud de Mejora		Puesto responsable de la decisión	Puesto responsable de elaborar el plan de acción		Fecha de entrega del plan de acción	
SI	NO					

Fuente: elaboración propia.

5.1.4. Análisis de beneficio costo de implementación de mejoras

Los proyectos de mejora recomendados, no requieren una significativa cantidad de dinero para invertir, ya que la mayoría están basados en la realización y optimización de procedimientos, fichas técnicas de repuesto y capacitación. Tomando en cuenta que estos procedimientos están enfocados en los elementos que representan el 50% del total de las fallas y tiempos de paro por mantenimientos de falla, lo cual representa un total de 440 horas de producción equivalentes a 176 toneladas de producción en tubería que no se pudo producir a tiempo, por lo tanto el beneficio de la implementación de estas propuestas sería de mucho beneficio para la empresa.

5.2. Seguimiento a indicadores de mantenimiento

Es importante dar seguimiento a las acciones emprendidas mediante la implementación de indicadores de mantenimiento que permitan evaluar su eficacia.

5.2.1. Indicadores de mantenimiento en la empresa

La empresa cuenta con diferentes indicadores de mantenimiento, entre ellos: porcentaje de tiempos de paro por mantenimiento, frecuencia de fallas mecánicas y porcentaje de *scrap* por fallas mecánicas.

5.2.1.1. Porcentaje de tiempo de paros por mantenimiento

Con base en el historial de tiempos de paro recopilado durante un año se pueden determinar los tiempos de paro de forma mensual en la línea de

producción. Tomando en cuenta que con base al análisis realizado se prevé reducir el tiempo de paro en un 50% realizando las propuestas de mejora, la meta que se debe alcanzar mensualmente para el indicador de tiempos de paro por mantenimiento debe ser 37 horas mensuales.

Tabla XXIX. **Determinación del indicador de tiempo de paro por mantenimiento**

Mes	Tiempo de paro (horas)
Enero	93,0
Febrero	33,8
Marzo	78,5
Abril	72,5
Mayo	25,8
Junio	31,0
Julio	41,9
Agosto	62,0
Septiembre	188,1
Octubre	94,5
Noviembre	132,5
Diciembre	34,7
Total	888,3
Promedio mensual de fallas	74,0
Meta propuesta mensual de fallas	37,0

Fuente: elaboración propia.

5.2.1.2. Frecuencia de fallas mecánicas

Con base al historial de fallas recopilado durante un año, se pueden determinar las fallas que ocurrieron de forma mensual en la línea de producción. Tomando en cuenta que con base al análisis realizado se prevé reducir las fallas en un 50% realizando las propuestas de mejora, la meta que se debe alcanzar mensualmente para el indicador de frecuencia de fallas mecánicas es 54 fallas mensuales.

Tabla XXX. **Determinación del indicador de fallas mecánicas**

Mes	Fallas (frecuencia)
Enero	152
Febrero	100
Marzo	155
Abril	142
Mayo	82
Junio	78
Julio	50
Agosto	58
Septiembre	129
Octubre	131
Noviembre	146
Diciembre	68
Total	1 291
Promedio mensual de fallas	108
Meta propuesta mensual de fallas	54

Fuente: elaboración propia.

5.2.1.3. Porcentaje de *scrap* por fallas mecánicas

El *scrap* es el material de desecho que se genera debido a una falla en la línea de producción. Con base al historial de fallas recopilado durante un año se pueden determinar la cantidad de kilos de *scrap* que se generaron de forma mensual en la línea de producción. Tomando en cuenta que con base al análisis realizado se prevé reducir las fallas en un 50%, realizando las propuestas de mejora, la meta que se debe de alcanzar mensualmente para el indicador de cantidad de *scrap* por fallas mecánicas de 15 000 kilos mensuales.

Tabla XXXI. **Determinación del indicador de *scrap* por fallas mecánicas**

Mes	Scrap (kilogramos)
Enero	37 195,8
Febrero	15 002,4
Marzo	31 391,0
Abril	29 019,8
Mayo	10 320,1
Junio	12 411,4
Julio	16 777,1
Agosto	24 793,7
Septiembre	75 220,0
Octubre	37 805,2
Noviembre	52 984,5
Diciembre	13 884,6
Total	356 805,6
Promedio mensual de fallas	29 733,8
Meta propuesta mensual de fallas	14 866,9

Fuente: elaboración propia.

5.2.2. Análisis de indicadores

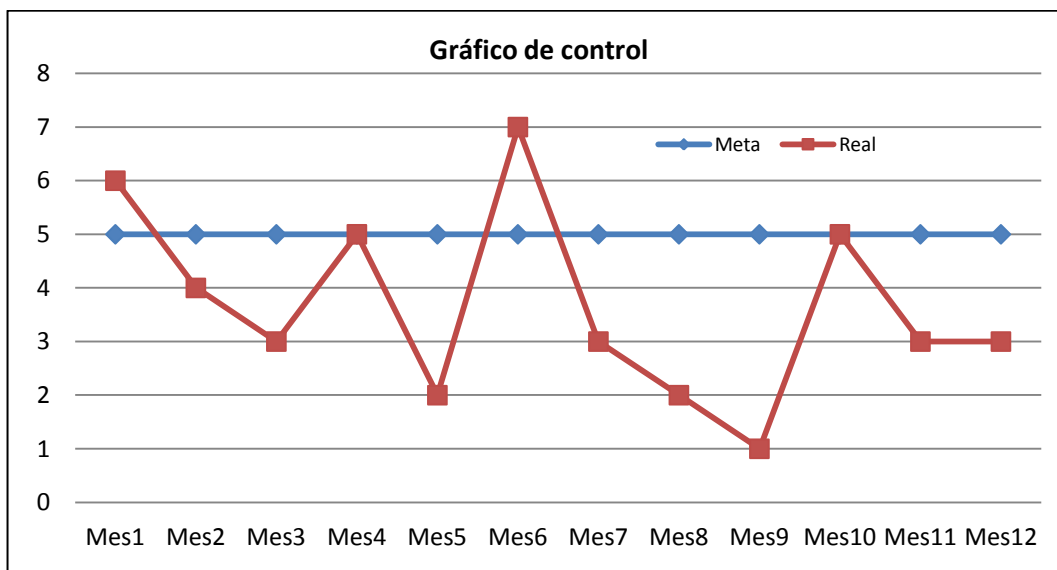
El análisis de indicadores es muy importante para verificar que los mismos se mantienen bajo control en función de su meta establecida.

5.2.2.1. Gráficos de control

El análisis de los indicadores se realizará utilizando la herramienta de Gráficos de Control, donde se podrá observar el grado de avance de las propuestas de mejora en función del tiempo.

Con la ayuda del gráfico de control se podrá observar el comportamiento del indicador a lo largo del tiempo, en este caso de forma mensual y se podrá comparar contra la meta establecida para dicho indicador.

Figura 64. Ejemplo de gráfico de control



Fuente: elaboración propia.

5.2.3. Auditorías de seguimiento

Para evaluar el grado de avance sobre las acciones derivadas de los planes de mejora se recomienda hacer una auditoría mensual con base a los indicadores de mantenimiento establecidos con el objetivo de poder detectar cualquier desviación que nos aleje de las metas establecidas.

Esta auditoría se puede realizar de forma documental a través de la comprobación de la información recopilada en los registros o en el área de producción durante una labor de mantenimiento para verificar el cumplimiento de las actividades con base a los procedimientos propuestos.

5.2.4. Ampliación del proyecto a otras líneas de producción

Con base a la efectividad de las propuestas de mejora planteadas derivadas del análisis de la información realizado con el apoyo de las herramientas de control estadístico de procesos, se planteará la posibilidad de desarrollar este mismo análisis a otras líneas de producción que cuenten con las mismas características de fallas dentro de la planta de producción.

CONCLUSIONES

1. Actualmente, la empresa tiene un programa de mantenimiento preventivo del cual se generan los registros pero no se tiene una metodología de análisis de datos que ayude a analizar el comportamiento de las fallas y tiempos de paro.
2. El personal cuenta con responsabilidades de ejecución y registro de actividades de mantenimiento, pero no existe definida la responsabilidad de análisis de la información.
3. Un total de 7 elementos mecánicos de la línea de extrusión representan aproximadamente el 50% del total de las fallas reportadas.
4. Un total de 7 elementos mecánicos de la línea de extrusión representan aproximadamente el 50% del total de tiempos de paro reportados.
5. Puede observarse que los elementos con mayor frecuencia de fallas son los mismos que representan la mayor cantidad de tiempos de paro por mantenimiento.
6. Las propuestas de mejora están enfocadas, principalmente, en la elaboración y validación de procedimientos de mantenimiento, elaboración de fichas técnicas de repuestos y en la capacitación del personal.

7. Desarrollo de tres indicadores de mantenimiento y sus metas relacionadas los cuales serán evaluados de forma mensual: (1) porcentaje de tiempos de paro por mantenimiento [37 horas/mes], (2) frecuencia de fallas mecánicas [54 fallas/mes] y (3) porcentaje de scrap por fallas mecánicas [15 toneladas/mes].

8. Debido a que las propuestas de mejora están enfocadas, básicamente en la elaboración de procedimientos, los cuales no representan un costo significativo, y el beneficio obtenido de la implementación efectiva de los mismos representa la reducción del 50% del total de fallas y tiempos de paro por mantenimiento, la implementación de este proyecto es factible en el tiempo.

RECOMENDACIONES

1. Implementar la metodología de análisis del control estadístico de procesos, para la resolución de problemas en otros procesos dentro de la empresa.
2. Evaluar las responsabilidades propuestas para cada uno de los puestos involucrados en la implementación del proyecto y capacitarlos según las nuevas necesidades de capacitación identificadas.
3. Mejorar la calidad de la información registrada en los formatos de orden de trabajo y reporte de mantenimiento relacionados con fallas y tiempos de paro por mantenimiento.
4. Reducir el total de fallas por mantenimiento trabajando principalmente en aquellos elementos que representan el 50% del total de fallos.
5. Reducir los tiempos de paro por mantenimiento trabajando principalmente en aquellos elementos que representan el 50% del total de tiempos de paro.
6. Debido a que la reducción de fallas de mantenimiento está directamente relacionado con la reducción de tiempos de paro, no se debe hacer ninguna diferenciación entre los elementos en los cuales se debe trabajar.

7. Actualizar los procedimientos de mantenimiento de equipos y fichas técnicas de repuestos, como mínimo una vez por año, o cuando haya un cambio considerable en el proceso (equipos nuevos).
8. Establecer el seguimiento mensual de los indicadores de mantenimiento, para poder detectar cualquier desviación que afecte el alcance de las metas.
9. Desarrollar e implementar los procedimientos propuestos para reducir las fallas mecánicas y tiempos de paro por mantenimiento en un 50%.

BIBLIOGRAFÍA

1. AVALLONE, A. Eugene. *Manual del ingeniero mecánico (Tomo 1)*. 9ª ed. México: McGraw-Hill, 1996. 425 p. ISBN: 9701006615.
2. _____. *Manual del ingeniero mecánico (Tomo 2)*. 9ª ed. México: McGraw-Hill, 1996. 350 p. ISBN 9684516428.
3. Corma Inc. *Thechnical information for 3030-7.6 MQR Corrugator* [en línea]. Cánada 2009. <http://corma.com/models/3030-corrugator/>. [Consulta: noviembre de 2011].
4. DUFFUAA, Salih O. *Sistemas de mantenimiento: planeación y control*. Mexico: Limusa, 2006. 419 p. ISBN 9681859189.
5. HIGGINS, Lindley R. *Maintenance engineering handbook*. 5ª ed. Estados Unidos de América: McGraw-Hill, 1995. 1200 p. ISBN 0071546464.
6. NAVAS Jiménez, Félix Fernando. *Programa de mantenimiento para la empresa Milacrón S.A.* Trabajo de graduación Ing. Mecánica, Facultad de Ingenieria, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2002. 64 p.
7. NIEBEL, Benjamín. *Métodos, estándares y diseño del trabajo*. 11ª ed. México: Alfaomega, 2004. 744 p. ISBN 9701069625.

8. Sica S.p.A. *Instrucciones para uso y mantenimiento cinta de transporte A640 – A647* [en línea]. Italia 2010. <http://www.sica-italy.com/>. [Consulta: junio de 2011].
9. _____. *Manual de uso cortadora planetaria TRS/SY 315 – 1200* [en línea]. Italia 2010. <http://www.sica-italy.com/>. [Consulta: junio de 2011].
10. Theysohn Extrusion Technik Ges. m.b.H. *Documentation parallel twin-screw extruder TTM 138* [en línea]. Austria 2010. <http://www.theysohn.de/company/group.htm>. [Consulta: mayo de 2010].