



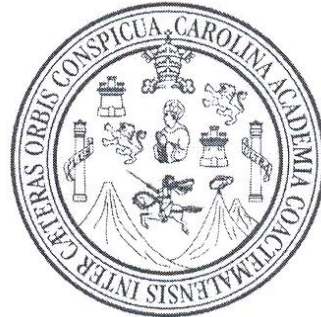
Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**IMPLEMENTACIÓN DE UN ANÁLISIS DE FALLAS
RECURRENTES PARA LOS TELARES DE LA EMPRESA SACOS
AGRO-INDUSTRIALES, S.A.**

Henry Armando Olcot Ejcalón
Asesorado por el Ing. Oscar Efraín Calderón Guzmán

Guatemala, noviembre de 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**IMPLEMENTACIÓN DE UN ANÁLISIS DE FALLAS
RECURRENTES PARA LOS TELARES DE LA EMPRESA SACOS
AGRO-INDUSTRIALES, S.A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA POR

HENRY ARMANDO OLCOT EJCALÓN

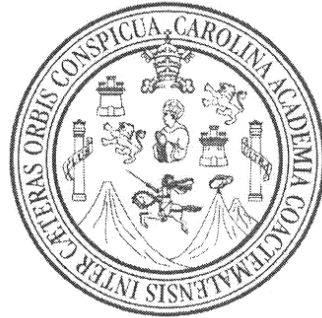
ASESORADO POR EL ING. OSCAR EFRAÍN CALDERÓN GUZMÁN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2010

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA**



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Enrique Alfredo Beber Aceituno
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero Spínola de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortiz de León
VOCAL V	P.A. José Alfredo Ortiz Herincx
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Álvaro Antonio Ávila Pinzón
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
SECRETARIO	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**IMPLEMENTACIÓN DE UN ANÁLISIS DE FALLAS
RECURRENTES PARA LOS TELARES DE LA EMPRESA SACOS
AGRO-INDUSTRIALES, S.A.;**

tema que me fue asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Mecánica,
el 07 de julio de 2008



Henry Armado Olcot Ejcalón

Guatemala, junio 07 del 2010.

Ing. Julio Campos, Director de la Escuela
de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Señor Director:

De la manera más atenta me dirijo a usted, para informarle que he asesorado el trabajo de graduación del estudiante, **Henry Armando Olcot Ejcalón** titulado **Implementación de un "Análisis de Fallas Recurrentes" para los telares de la empresa Sacos Agro-Industriales S.A.**

En mi calidad de asesor, considero que el trabajo presentado por el estudiante Henry Olcot es un aporte al departamento de mantenimiento de Sacos Agro-Industriales S.A., no obstante su contenido es totalmente aplicable a cualquier otra industria que lo requiera. Y estando satisfecho en mi calidad de asesor me permito someterla a su consideración.

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Atentamente,



Ing. Oscar Efraín Calderón Guzmán
Colegiado No. 7604
Asesor de trabajo de graduación

Guatemala, 07 de Junio de 2010.

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Guatemala, Guatemala
Presente

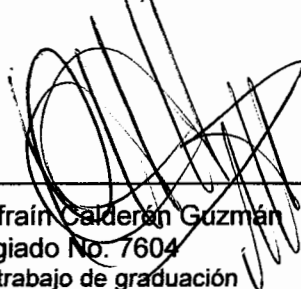
Respetable Ingeniera Sarmiento Zeceña,

Por este medio atentamente le informo que como Asesor de la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Henry Armando Olcot Ejcalón** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 2002-16438, procedí a revisar el informe final, cuyo título es: **Implementación de un "Análisis de Fallas Recurrentes" para los telares de la empresa Sacos Agro-Industriales S.A.**

En tal virtud, LO DOY POR APROBADO, solicitándole el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,



Ing. Oscar Efraín Calderón Guzmán
Colegiado No. 7604
Asesor de trabajo de graduación



Guatemala, 27 de octubre de 2010
REF.EPS.D.711.10.10

Ing. Julio César Campos Paiz
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente

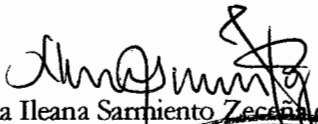
Estimado Ingeniero Campos Paiz:

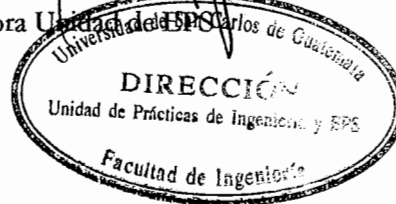
Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"IMPLEMENTACIÓN DE UN ANÁLISIS DE FALLAS RECURRENTE PARA LOS TELARES DE LA EMPRESA SACOS AGRO-INDUSTRIALES, S.A."** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Henry Armando Olcot Ejejalón** quien fue debidamente asesorado por el Ing. Oscar Efraín Calderón Guzmán y supervisado por el Ingeniero Carlos Anibal Chicojay Coloma.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor y del Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Norma Ileana Sarmiento Zecena de Serrano
Directora Unidad de EPS



NISZ/ra



Guatemala, 27 de octubre de 2010
REF.EPS.DOC.1066.10.10.

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Ingeniera Sarmiento Zeceña.

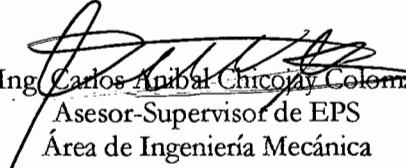
Por este medio atentamente le informo que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Henry Armando Olcot Ejcalón** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. **200216433**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"IMPLEMENTACIÓN DE UN ANÁLISIS DE FALLAS RECURRENTE PARA LOS TELARES DE LA EMPRESA SACOS AGRO-INDUSTRIALES, S.A."**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Carlos Anibal Chicó y Coloma
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica

c.c. Archivo
CACC/ra



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación de la Directora de la Unidad del Ejercicio Profesional Supervisado, al trabajo de graduación IMPLEMENTACIÓN DE UN ANÁLISIS DE FALLAS RECURRENTE PARA LOS TELARES DE LA EMPRESA SACOS AGRO-INDUSTRIALES, S.A., del estudiante Henry Armando Olcot Ejcalón, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Julio César Campos Paiz
DIRECTOR

Guatemala, noviembre de 2010.

/behdei





DTG. 413.2010

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, al trabajo de graduación titulado: **IMPLEMENTACIÓN DE UN ANÁLISIS DE FALLAS RECURRENTE PARA LOS TELARES DE LA EMPRESA SACOS AGRO-INDUSTRIALES, S.A.**, presentado por el estudiante universitario **Henry Armando Olcot Ejcalón**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 30 de noviembre de 2010.

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

DIOS

Por ser escudo alrededor de mí, y por los logros que he alcanzado, gracias a las bendiciones que he recibido de Él.

MIS PADRES

Armando Olcot y Sofía Ejcalón de Olcot por confiar en mí y por el apoyo durante mis días de estudiante, que el presente trabajo sea una mínima recompensa a sus sacrificios.

MIS HERMANOS

Jaime Geovanni, Nidia Magdalia, Nancy Sofía y Kevin Alexander, mil gracias por estar conmigo en las buenas y las malas y por el cariño que me han brindado.

LA MEMORIA DE

Mis abuelos:

Estanislao Ejcalón.

Eugenia Magtzul.

Pedro Olcot.

Cecilia Xinico.

LA FACULTAD DE INGENIERÍA

LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

SACOS AGRO-INDUSTRIALES

Por darme la oportunidad de ejercer profesionalmente en mi carrera.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	XIII
GLOSARIO	XIX
RESUMEN	XXIII
OBJETIVOS	XXV
INTRODUCCIÓN	XXVII
1 FASE DE INVESTIGACIÓN	1
1.1 Generalidades de la empresa Sacos Agro-Industriales, S.A.	1
1.1.1 Antecedentes históricos	1
1.1.2 Actividades y productos	4
1.1.2.1 Productos	4
1.1.2.1.1 Hilo	4
1.1.2.1.2 Lazo	5
1.1.2.1.3 Bolsas de polietileno	5
1.1.2.1.4 Sacos de polipropileno	5
1.1.3 Visión y misión	6
1.1.3.1 Visión	6
1.1.3.2 Misión	7
1.1.4 Estructura organizacional de la empresa	7
1.1.4.1 Junta directiva	7
1.1.4.2 Gerente general	8
1.1.4.3 Gerente de gestión de calidad	8
1.1.4.4 Gerente de planta	8
1.1.4.5 Gerente de mantenimiento	9

1.1.4.6 Organigrama de Sacos Agroindustriales, S.A.	10
1.1.5 Ubicación	11
1.1.5.1. Clima	11
1.1.5.2. Características socio-económicas	11
1.1.6 Planta de producción	12
1.1.6.1 Fundamentos teóricos	12
1.1.6.1.1 Definición de polímero	12
1.1.6.1.2 Polimerización y estructura	13
1.1.6.1.3 Propiedades eléctricas	16
1.1.6.1.4 Clasificación	17
1.1.6.1.4.1 Según su origen	18
1.1.6.1.4.1.1 Polímeros naturales	18
1.1.6.1.4.1.2 Polímeros semisintético	18
1.1.6.1.4.1.3 Polímeros sintéticos	18
1.1.6.1.4.2 Según se mecanismo de polimerización	19
1.1.6.1.4.2.1 Polímeros de condensación	19
1.1.6.1.4.2.2 Polímeros de adición	19
1.1.6.1.4.2.3 Polímeros formados por etapas	19
1.1.6.1.4.2.4 Polímeros formados por reacción en cadena	20
1.1.6.1.4.3 Según composición química	20
1.1.6.1.4.3.1 Polímeros orgánicos	20
1.1.6.1.4.3.2 Polímeros vinílicos	20
1.1.6.1.4.3.3 Polímeros orgánicos no vinílicos	21
1.1.6.1.4.3.4 Polímeros inorgánicos	21
1.1.6.1.4.4 Según sus aplicaciones	21
1.1.6.1.4.4.1 Elastómeros	21
1.1.6.1.4.4.2 Plásticos	22
1.1.6.1.4.4.3 Fibras	22

1.1.6.1.4.4.4	Recubrimientos	22
1.1.6.1.4.4.5	Adhesivos	22
1.1.6.1.4.5	Según su comportamiento al elevar su temperatura	23
1.1.6.1.5	Nomenclatura	24
1.1.6.1.6	Definición de polipropileno	26
1.1.6.1.6.1	Estructura química	26
1.1.6.1.6.2	Tacticidad	27
1.1.6.1.6.3	Tipos	28
1.1.6.1.6.3.1	PP homopolímero	28
1.1.6.1.6.3.2	PP copolímero	28
1.1.6.1.6.4	Propiedades	29
1.1.6.1.6.5	Propiedades mecánicas	30
1.1.6.1.6.6	Propiedades térmicas	31
1.1.6.1.6.7	Propiedades ópticas	31
1.1.6.1.6.8	Propiedades eléctricas	32
1.1.6.1.6.9	Aplicaciones	32
1.1.6.1.6.10	Aplicaciones del polipropileno	34
1.1.6.1.6.11	Proceso de producción	34
1.1.6.1.6.12	Catalizador	35
1.1.6.1.6.13	Reactores	35
1.1.6.1.6.14	Control de la polimerización	36
1.1.6.1.7	Definición de polietileno	36
1.1.6.1.7.1	Clasificación y propiedades físicas	37
1.1.6.1.7.2	Aplicaciones	41
1.1.6.1.7.3	Procesamiento	42
1.1.6.1.7.4	Consideraciones generales	43
1.1.6.1.8	Definición de tereftalato de polietileno	44
1.1.6.1.8.1	Propiedades	45

1.2 Departamento de mantenimiento	47
1.2.1 Actividades	47
1.2.2 Estructura organizacional	49
1.2.3 Definición de mantenimiento	51
1.2.3.1 Objetivos del mantenimiento	51
1.2.3.2 ¿Por qué hacer mantenimiento en una empresa?	51
1.2.3.3 Finalidad del mantenimiento	52
1.2.3.4 Tipos de mantenimiento, organización y manejo actuales	52
1.2.3.4.1 Mantenimiento correctivo	52
1.2.3.4.1.1 No planificado	53
1.2.3.4.1.2 Planificado	53
1.2.3.4.2 Mantenimiento preventivo	53
1.2.3.4.3 Mantenimiento de mejora (DOM)	54
1.2.3.4.4 Mantenimiento de oportunidad	55
1.2.3.4.5 Mantenimiento productivo total (T.P.M.)	55
1.2.3.5 Breve historia de la organización del mantenimiento	55
1.2.3.6 Una organización de mantenimiento	56
1.3 Conceptos generales	57
1.3.1 Definición de análisis de fallas	57
1.3.1.1 Beneficios del análisis de fallas	60
1.3.1.2 Causas que se deben tener en cuenta	61
1.3.1.3 Aplicación del análisis de fallas	62
1.3.1.4 Metodología del análisis de fallas	63
1.3.2 Diagrama de causa-efecto	72
1.3.2.1 Pasos para construir un diagrama de causa-efecto	74

1.3.2.2 Diagrama de Pareto	83
1.3.2.2.1 Algunos ejemplos de tales minorías vitales serían	85
1.3.2.2.2 Se recomienda su uso	86
1.3.2.2.3 ¿Cuándo se utiliza?	87
1.3.2.2.4 ¿Cómo se utiliza?	88
1.3.2.2.5 Ejemplo de aplicación	89
1.3.3 Árbol lógico de fallas	93
1.3.3.1 Diagramas analíticos	93
1.3.3.2 Árboles de fallas	94
1.3.3.3 Análisis de fallas con diagramas de árbol	94
1.3.3.3.1 Puerta “Y”	95
1.3.3.3.2 Puerta “O”	95
1.3.3.3.3 Tipos de símbolos para eventos	96
1.3.3.3.3.1 Rectángulo	96
1.3.3.3.3.2 Círculo	96
1.3.3.3.3.3 Diamante	97
1.3.3.3.3.4 Óvalo	97
1.3.3.3.3.5 Triángulo	98
1.3.3.4 Pasos para el análisis de fallas con diagramas de árbol	98
1.3.3.4.1 Defina el evento superior	99
1.3.3.4.1.1 Determine todos los eventos no deseados en la operación de un sistema	99
1.3.3.4.2 Conozca el sistema	99
1.3.3.4.3 Construya el árbol de fallas	100
1.3.3.4.3.1 Principios de construcción	100
1.3.3.4.4 Valide el árbol	101
1.3.3.4.5 Evalúe el árbol de fallas	101
1.3.3.4.6 Considere cambios constructivos	101
1.3.3.4.7 Considere alternativas y recomiende pasos	101

1.3.3.5 Beneficios	102
1.3.3.6 Limitación	102
1.3.4 Diferentes tipos de fallas	104
1.3.4.1 Cuándo hay una falla	104
1.3.4.2 Causas	104
1.3.4.3 Deficiencia en el diseño	105
1.3.4.4 Deficiencias en la selección del material	105
1.3.4.5 Imperfecciones en el material	105
1.3.4.6 Deficiencias en el proceso	106
1.3.4.7 Tipos de fallas	106
1.3.4.7.1 Fallas por desgaste	107
1.3.4.7.1.1 Tipos de desgaste	109
1.3.4.7.1.1.1 Desgaste adhesivo	110
1.3.4.7.1.1.2 Desgaste erosivo	112
1.3.4.7.1.1.3 Desgaste abrasivo	113
1.3.4.7.1.1.3.1 Causas y mecanismos del desgaste abrasivo	115
1.3.4.7.1.1.3.2 Tipos de desgaste abrasivo	116
1.3.4.7.1.1.4 Desgaste corrosivo	117
1.3.4.7.1.1.5 Desgaste por cavitación	119
1.3.4.7.1.1.6 Corrientes eléctricas	120
1.3.4.7.2 Falla por fatiga superficial	120
1.3.4.7.2.1 Etapas del proceso de fallas por fatiga	122
1.3.4.7.3 Falla por fractura	125
1.3.4.7.3.1 Tipo de fallas por fracturas	127
1.3.4.7.3.2 Fractura copa y cono & fractura plana	127
1.3.4.7.3.3 Fractura dúctil	129
1.3.4.7.3.4 Fractura frágil	130

1.4 Información general sobre análisis de fallas	131
1.4.1 Qué es el análisis de fallas	131
1.4.2 Pasos del análisis de fallas	132
1.4.2.1 Paso 1. Definir el problema	132
1.4.2.2 Paso 2. Preservando la información del evento	133
1.4.2.3 Paso 3. Ordenando el análisis del evento	134
1.4.2.4 Paso 4. Analizando el evento	135
1.4.2.5 Paso 5. Comunicando lo encontrado y emitiendo las recomendaciones	136
1.4.2.6 Paso 6. Totalizando los resultados de las recomendaciones tomadas	137
1.4.3 ¿Dónde concluye el análisis de fallas? En el ¿Cómo? o en el ¿Por Qué?	138
1.5 Generalidades de la norma ISO 9001:2000	140
1.5.1 ISO 9001 principios de la norma de calidad	142
1.5.1.1 Ocho principios básicos de la gestión de la calidad o excelencia	142
1.5.2 Beneficios de la norma ISO 9001	144
1.5.2.1 Participación de la administración	144
1.5.2.2 Beneficios en la productividad	145
1.5.2.3 Clientes satisfechos	145
1.6 Identificación de fallas en las piezas de la maquinaria utilizada en la línea de producción de sacos de polipropileno	146
1.6.1 Descripción técnica de los telares	149
1.6.2 Accesorios especiales	153
1.6.3 Datos técnicos	155
1.6.4 Instalación de un telar circular con bobinador de superficie	157
1.6.4.1 Lugar de instalación	158
1.6.4.2 Montaje	158

1.6.4.3 Alinear	158
1.6.5 Lubricación y mantenimiento	159
1.6.6 Trabajos de mantenimiento	160
1.6.6.1 Trabajos de mantenimiento diarios	160
1.6.6.2 Trabajos de mantenimiento semanales	161
1.6.7 Instrucciones para el diagnóstico de fallos	163
1.6.8 Faja xua	166
1.6.9 Leva	169
1.6.10 Lanzadera	170
1.6.10.1 Greyser	172
1.6.10.2 Ruedas excéntricas	173
1.6.10.3 Rueda cónica	173
1.6.10.4 Rueda de patín	174
1.6.10.5 Brazo de lanzadera	175
1.6.11 Rueda de freno	176
1.6.12 Rueda de impulsador	176
2 FASE TÉCNICO PROFESIONAL	177
2.1 Desarrollo del análisis de fallas para el equipo utilizado en la fabricación de sacos de polipropileno	177
2.1.1 Análisis de fallas	177
2.1.1.1 Faja xua	184
2.1.1.1.1 Identificación y descripción de las fallas en las fajas xua	184
2.1.1.1.2 Recolección y organización de datos e inspección de campo para fallas de faja xua	184
2.1.1.1.3 Análisis y elaboración de diagrama causa-efecto y árbol de falla	188

2.1.1.1.4	Hipótesis sobre la causa o causas de las fallas e interpretación de resultados	191
2.1.1.1.4.1	Hipótesis de las causas de las fallas de la felpa	191
2.1.1.1.4.2	Solución propuesta	192
2.1.1.1.4.3	Hipótesis para el lubricante	192
2.1.1.1.4.4	Solución propuesta para lubricante	193
2.1.1.1.4.5	Hipótesis sobre fuerzas externas	194
2.1.1.1.4.6	Solución propuesta para fuerzas externas	194
2.1.1.2	Leva	199
2.1.1.2.1	Identificación y descripción de las fallas en levas	199
2.1.1.2.2	Recolección y organización de datos e inspección de fallas de levas	204
2.1.1.2.3	Análisis y elaboración de diagrama causa-efecto y árbol de falla	207
2.1.1.2.4	Hipótesis sobre las causas o causa de las fallas e interpretación de resultados	212
2.1.1.2.4.1	Hipótesis para base de levas (HDE-4)	211
2.1.1.2.4.2	Solución propuesta	212
2.1.1.2.4.3	Hipótesis de la falla sobre la leva plástica	216
2.1.1.2.4.4	Solución propuesta	217
2.1.1.2.4.4.1	Para la parte de delante de la leva dónde se conecta con el sujetador de la faja	217
2.1.1.2.4.4.2	Para la parte de atrás de la leva	218
2.1.1.2.4.5	Hipótesis de rueda de levas	219
2.1.1.2.4.6	Solución propuesta	220
2.1.1.3	Greyser	221
2.1.1.3.1	Identificación y descripción de las fallas en greyser	221

2.1.1.3.2	Recolección y organización de datos e inspección de fallas de greyser	223
2.1.1.3.3	Análisis y elaboración de diagrama causa-efecto y árbol de falla	226
2.1.1.3.4	Hipótesis sobre las causas o causa de las fallas e interpretación de resultados	228
2.1.1.3.4.1	Hipótesis de resorte	228
2.1.1.3.4.2	Solución propuesta	228
2.1.1.3.4.3	Hipótesis para el seguro	229
2.1.1.3.4.4	Solución propuesta	229
2.1.1.3.4.5	Hipótesis del cojinete	229
2.1.1.3.4.6	Solución propuesta	230
2.1.1.4	Rueda excéntrica	231
2.1.1.4.1	Identificación y descripción de las fallas en rueda excéntrica	231
2.1.1.4.2	Recolección y organización de datos e inspección de fallas de ruedas excéntricas	232
2.1.1.4.3	Análisis y elaboración de diagrama causa-efecto y árbol de falla	235
2.1.1.4.4	Hipótesis sobre las causas o causa de las fallas e interpretación de resultados	237
2.1.1.4.4.1	Solución propuesta	237
2.1.1.5	Rueda cónica	238
2.1.1.5.1	Identificación y descripción de las fallas en ruedas cónicas	238
2.1.1.5.2	Recolección y organización de datos e inspección de fallas de ruedas cónicas	239
2.1.1.5.3	Análisis y elaboración de diagrama causa-efecto y árbol de falla	242

2.1.1.5.4 Hipótesis sobre las causas o causa de las fallas e interpretación de resultados	244
2.1.1.5.4.1 Solución propuesta	244
2.1.1.6 Rueda de patín	245
2.1.1.6.1 Identificación y descripción de las fallas en rueda de patín	245
2.1.1.6.2 Recolección y organización de datos e inspección de fallas de ruedas de patín	246
2.1.1.6.3 Análisis y elaboración de diagrama causa-efecto y árbol de falla	249
2.1.1.6.4 Hipótesis sobre las causas o causa de las fallas e interpretación de resultados	251
2.1.1.6.4.1 Solución propuesta	251
2.1.1.7 Brazo de lanzadera	255
2.1.1.7.1 Identificación y descripción de las fallas en brazo de lanzadera	255
2.1.1.7.2 Recolección y organización de datos e inspección de fallas de brazos de lanzadera	255
2.1.1.7.3 Solución propuesta	258
2.1.1.8 Rueda de impulsador y freno	259
2.1.1.8.1 Identificación y descripción de las fallas en ruedas de impulsador y freno	259
2.1.1.8.2 Recolección y organización de datos e inspección de fallas de ruedas de impulsador y freno	260
2.1.1.8.3 Hipótesis sobre las causas o causa de las fallas e interpretación de resultados	264
2.1.1.8.3.1 Solución propuesta	266

3 FASE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE	267
3.1 Objetivo principal	267
3.2 Tipos de mantenimiento	269
3.3 Descripción del análisis de fallas	272
CONCLUSIONES	279
RECOMENDACIONES	281
BIBLIOGRAFÍA	283

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura

1	Estructura organizacional de la empresa	10
2	Composición del polímero	12
3	Polímero lineal y ramificado	13
4	Polimerización del estireno	14
5	Cadenas de copolímeros	15
6	Ejemplo para nombrar polímeros	24
7	Ejemplos de polietileno frente a poli (metileno); poliestireno frente a poli (1-feniletileno)	25
8	PP isostático	27
9	PP astático	27
10	PP sindiotáctico	27
11	Propiedades mecánicas	30
12	Propiedades térmicas	31
13	Símbolo del polipropileno	32
14	Funda flexible de CD	34
15	Tubo de microcentrífuga	34
16	Caja de CD	34
17	Polietilenos de baja densidad	38
18	Símbolo del polietileno de baja densidad	39
19	Polietileno de alta densidad	39
20	Símbolo del polietileno de alta densidad	40

21	Unidad repetitiva de PET	44
22	Tereftalato de polietileno	46
23	Estructura organizacional del departamento de mantenimiento	50
24	Sistema del análisis de fallas	63
25	Árbol lógico de fallas	69
26	Esquema de un diagrama causa–efecto	73
27	Recuadro principal	75
28	Principales categorías	76
29	Causas probables	78
30	Diagrama de causa-efecto del proceso de fabricación de mayonesa	80
31	Pasos para un diagrama causa-efecto 01	81
32	Pasos para un diagrama causa-efecto 02	81
33	Diagrama causa-efecto completa	83
34	Ejemplo de histograma	91
35	Ejemplo de histograma en porcentaje	92
36	Puerta Y	95
37	Puerta O	95
38	Evento rectángulo	96
39	Evento círculo	96
40	Evento diamante	97
41	Evento óvalo	97
42	Evento triángulo	98
43	Ejemplo esquemático del diagrama de árbol	103
44	Crecimiento de fisura por fatiga	123
45	Fallas por fatiga	124
46	Ensayo por fatiga	124
47	Curvas de Fatiga	125
48	Energía de fractura por impacto para un acero al carbono	127

49	Fractura copa y cono	128
50	Fractura plana	129
51	Fractura dúctil	129
52	Fractura frágil sin deformación plástica	130
53	Telar circular SL-4, Starlinger & Co.	147
54	Telar circular Alpha-6, Starlinger & Co.	148
55	Plano de un telar circular Alpha-6, Satarlinger & Co.	157
56	Juego de banda de ojales	161
57	Corte transversal de anillo principal	162
58	Faja xua para los modelos HDE-4, SL-4, SL-6 y Alpha-6	167
59	Faja xua tipo Leno	168
60	Diferencia entre la base de las levas para telares HDE-4 y los de SL-4, SL-6, ALPHA-6 y Leno	170
61	Partes de lanzadera	171
62	Perfil de lanzadera	171
63	Partes de greyser	172
64	Partes de la rueda excéntrica	173
65	Partes de la rueda cónica	174
66	Rueda de patín	174
67	Partes del brazo de lanzadera	175
68	Rueda de freno	176
69	Rueda de impulsor	176
70	Total de fallas mecánicas de telares circulares, en cantidades	179
71	Total de fallas mecánicas de telares circulares, en porcentaje	179
72	Fallas de piezas del mes de enero	180
73	Fallas de piezas del mes de febrero	180
74	Fallas de piezas del mes de marzo	181
75	Fallas de piezas del mes de abril	181
76	Fallas de piezas del mes de mayo	182

77	Fallas de piezas del mes de junio	182
78	Fallas de piezas del mes de julio	183
79	Fallas de piezas del mes de agosto	183
80	Fallas de faja xua de enero-agosto	187
81	Fallas de faja xua en porcentaje	187
82	Diagrama causa-efecto de faja xua (Leno)	188
83	Diagrama de árbol para faja xua (Leno)	189
84	Diferentes fallas del cojinete de levas	200
85	Cojinete de leva destruido	200
86	Falla de leva quebrada	201
87	Falla de rueda de leva	201
88	Falla del rodillo de leva	202
89	Anillo interior, cojinete de rodillo de levas	203
90	Falla del cojinete de rodillo de levas	203
91	Fallas de levas de enero-agosto	206
92	Fallas de levas en porcentaje	206
93	Diagrama causa-efecto de leva	207
94	Diagrama de árbol de levas	208
95	Leva plástica y ruedas	210
96	Vista del desgaste de la cinta en el telar	210
97	Diferencias entre bases de levas	211
98	Fallas de greyser de enero-agosto	225
99	Fallas de greyser en porcentaje	225
100	Diagrama causa-efecto de greyser	226
101	Diagrama de árbol de greyser	227
102	Fallas de rueda excéntrica de enero-agosto	234
103	Fallas de rueda excéntrica en porcentaje	234
104	Diagrama de causa-efecto de rueda excéntrica	235
105	Diagrama de árbol de rueda excéntrica	236

106	Fallas de rueda cónica de enero-agosto	241
107	Fallas de rueda cónica en porcentaje	241
108	Diagrama de causa-efecto de rueda cónica	242
109	Diagrama de árbol de rueda cónica	243
110	Fallas de rueda de patín de enero-agosto	248
111	Fallas de rueda de patín en porcentaje	248
112	Diagrama de causa-efecto de rueda de patín	249
113	Diagrama de árbol de rueda de patín	250
114	Radio y trayectoria de la rueda de patín	252
115	Fallas de brazo de lanzadera de enero-agosto	257
116	Fallas de brazo de lanzadera en porcentaje	257
117	Guía hilo de telar circular Alpha-6, Starlinger & Co.	258
118	Fallas de impulsor y freno de enero-agosto	263
119	Fallas de impulsor y freno en porcentaje	263
120	Fallas de cojinetes en porcentaje	264
121	Modelo de un diagrama de causa-efecto	277

TABLAS

I	Características del PEBD, PEAD y PELDB	41
II	Defecto-detalle del problema	89
III	Defecto-detalle del problema-frecuencia	90
IV	Defecto-detalle del problema-frecuencia-porcentaje 01	90
V	Defecto-detalle del problema-frecuencia-porcentaje 02	91

VI	Diferentes modelos de telares circulares en la planta de producción	146
VII	Distribución de telares según número de máquina en planta	149
VIII	Datos técnicos	155
IX	Lista de lubricación	159
X	Problemas eléctricos	163
XI	Problemas mecánicos	165
XII	Modelo y N° de fajas xua que utiliza	166
XIII	Modelos y N° de levas que utiliza	169
XIV	Fallas de pieza de enero a agosto	178
XV	Órdenes de trabajo de faja xua de enero-agosto	185
XVI	Descarga de CFM por diámetro de fuga	197
XVII	Órdenes de trabajo de levas de enero-agosto	204
XVIII	Medidas de ruedas originales	209
XIX	Especificaciones de una aspiradora GOODWAY	215
XX	Órdenes de trabajo de greyser de enero-agosto	223
XXI	Órdenes de trabajo de rueda excéntrica de enero-agosto	232
XXII	Órdenes de trabajo de rueda cónica de enero-agosto	239
XXIII	Órdenes de trabajo de rueda de patín de enero-agosto	246
XXIV	Comparación de características de cojinetes	254
XXV	Órdenes de trabajo de brazo de lanzadera de enero-agosto	255
XXVI	Órdenes de trabajo de impulsor y freno de enero-agosto	260
XXVII	Cantidad de cojinetes utilizados por modelo	265

GLOSARIO

Aparellaje	Conjunto de aparatos y accesorios dispuestos para un uso preferentemente industrial.
Baquelita	Resina sintética que se obtiene calentando formaldehído y fenol en presencia de un catalizador. Tiene mucho uso en la industria, especialmente en la preparación de barnices y lacas y en la fabricación de objetos moldeados.
Catalizador	Cuerpo capaz de producir la transformación catalítica.
Desgaste	Acción y efecto de desgastar o desgastarse.
Dieléctrico	Dicho de un material: Qué es poco conductor y a través del cual se ejerce la inducción eléctrica.
Intrínseco	Intimo, esencial.

Mecanismo	Conjunto de sólidos resistentes, móviles unos respecto de otros, unidos entre sí mediante diferentes tipos de uniones, llamadas pares cinemáticos (pernos, uniones de contacto, pasadores, etc.); capaz de transformar un movimiento y una fuerza de entrada en otra de salida.
Número de Reynolds	Número adimensional que se utiliza en la mecánica de fluidos para estudiar el movimiento de un fluido en el interior de una tubería, o alrededor de un obstáculo sólido. Se representa por <i>R</i> .
Polímero	Compuesto químico, natural o sintético, formado por polimerización y que consiste esencialmente en unidades estructurales repetidas.
Saco	Receptáculo de tela, cuero, papel, etc., por lo común de forma rectangular o cilíndrica, abierto por uno de los lados.
Trama	Conjunto de hilos que, cruzados y enlazados con los de la urdimbre, forman una tela.

Tribología	Técnica que estudia el rozamiento entre los cuerpos sólidos, con el fin de producir mejor deslizamiento y menor desgaste de ellos.
UER	Unidad Estructural Repetitiva
Urdimbre	Conjunto de hilos que se colocan en el telar paralelamente unos a otros para formar una tela.
Viscosidad	Propiedad de los fluidos que caracteriza su resistencia a fluir, debida al rozamiento entre sus moléculas.

RESUMEN

Este trabajo de graduación constituye un análisis de fallas mecánicas recurrentes a telares circulares para la fabricación de sacos de polipropileno, se sabe que no es tarea fácil su implementación, ya que surgen dudas en su aplicación. Estas dudas son resueltas a lo largo de su contenido, justificando su aplicación para la reducción de tiempo por paros de mantenimiento correctivo.

La ingeniería de mantenimiento utiliza técnicas y disciplinas para hacer que las máquinas y equipos de baja confiabilidad que se encuentran en un régimen de mantenimiento en crisis o que producen inconformidades en la calidad, se puedan convertir en equipos de alta confiabilidad.

La técnica del análisis de fallas es un método simple para ubicar de manera precisa una falla, dicho método proporciona resultados de manera inmediata por un operador o un técnico, o bien a través de un grupo de trabajo localizar un problema en el mantenimiento. Este método es de gran utilidad para procesar información en la utilización de otras técnicas como diagrama Pareto, Hishikawa, etc.

El método está basado en el sentido común, y en la experiencia en el trabajo, se usa un procedimiento analítico para que pueda encontrar rápida, eficiente y económicamente la causa de las fallas.

El método de análisis de falla le permitirá al grupo de trabajo:

- Arreglar fallas rápidas, eficiente y económicamente.
- Corregir la causa de la falla, y no los efectos.
- Corregir la falla para que se mantenga arreglada mientras exista la operación.
- Al corregir unas cosas, no descompone otras creando nuevos problemas.
- Tomará acciones correctivas adecuadas, llevando el arreglo hasta la acción preventiva.

El método indicará al grupo de trabajo donde comenzar, le dará la ubicación exacta de la falla, y le indicará las causas probables, evitando errores que puedan provocar más problemas que después se convierten en un revoltijo, es decir una maraña de fallas.

Como es lógico pensar el entrenamiento y uso del método le proporcionará al grupo de trabajo una forma ordenada y sistemática de recabar los datos para obtener el conocimiento necesario para corregir el problema.

Por otra parte el método le proporcionará el hábito de estar pendiente de las dos únicas desviaciones que existen en el proceso productivo, estas desviaciones son: Desempeño (equipos, personas,) de la Calidad (comportamiento del proceso). Anteponiéndose a su generación y/o deterioro.

OBJETIVOS

GENERALES

- Analizar y realizar un diagnóstico situacional de los telares circulares y equipos involucrados en la línea de proceso para la fabricación de sacos de polipropileno, para proponer las distintas acciones de mantenimiento.
- Reducir los paros no programados por fallas para el equipo industrial de telares circulares en la fabricación de sacos de polipropileno.
- Capacitar al personal encargado de operación y mantenimiento con información directa sobre el mantenimiento y los beneficios que conlleva su buena aplicación.

ESPECÍFICOS

- Evitar fallos con impacto en la seguridad de la persona que opera la máquina.
- Evitar o reducir las consecuencias de fallas recurrentes con una elevada repercusión en los costos de operación y/o mantenimiento.

- Reducir tiempos de paros de maquinaria por desperfectos de operación o mantenimiento.
- Analizar los posibles errores cometidos durante la operación o mantenimiento del activo.

INTRODUCCIÓN

Partiendo como base principal, Sacos Agro-industriales, S.A. juega un papel importante en la industria guatemalteca con la fabricación de sacos de polipropileno, laminados, valvulados y yute; posee la tecnología que permite fabricar productos con el compromiso de la mejor calidad y productividad, enmarcados en las normas y estándares internacionales (ISO 9001-2000).

Por consiguiente, es conveniente que se tenga a disponibilidad ciertos requerimientos de mantenimiento de su maquinaria para que pueda cumplir rigurosamente un proceso continuo que garantice la rápida respuesta que exigen los grandes volúmenes en la fabricación de dicho producto.

La administración del mantenimiento juega un papel importante en las actividades de ordenamiento, disposición y organización que lleva a cabo el departamento de mantenimiento contribuyendo positivamente en su desempeño.

Como realización del Ejercicio Profesional Supervisado, se desarrollará un análisis de fallas recurrentes para equipo de telares circulares utilizado en la fabricación de sacos, con el análisis se espera tener un alto rendimiento en la elaboración de dicho producto, además lograr bajos costos de mantenimiento, tanto en mano de obra como de repuestos.

Básicamente, el proyecto estará basado en el área de telares circulares en la línea de producción de sacos de polipropileno.

La información general acerca de las actividades a desarrollar en el departamento de mantenimiento y de los equipos sobre los cuales se tiene acción directa se presenta en el primer capítulo. Las bases para establecer un análisis de fallas recurrentes se detallan en el capítulo dos, se detalla a plenitud el análisis para los telares involucrados, desarrollando cada una de las fases con detalles correspondientes a la aplicación y desempeño, que tendrá como objetivo ser una herramienta de mejora continua.

1 FASE DE INVESTIGACIÓN

1.1 Generalidades de la empresa Sacos Agro-Industriales, S.A.

1.1.1 Antecedentes históricos

Sacos agrícolas nace en 1986 con la finalidad de proveer empaque al grupo disagro, específicamente sacos de polipropileno, con una capacidad instalada de 6.4 millones de sacos anuales. Adicionalmente, incursiona en el mercado de bolsas de polietileno y sacos de yute.

Para el año de 1990, se inicia operaciones en el área de inyección y soplado. Ese mismo año se realiza la primera ampliación del área de polipropileno, manteniéndose este crecimiento sostenido año con año. En la actualidad llega a una capacidad instalada de 75 millones de sacos anuales, constituyéndose como la empresa más grande y tecnificada de Centro América y el Caribe.

En 1991 se incorpora el departamento de reciclaje, el cual surgió de la necesidad creciente del país, de minimizar los desechos industriales sólidos, procesando el 100% del producto no conforme elaborado dentro de la empresa.

En 1992 se incorpora el departamento de hilo multifilamento de polipropileno, la cual es la única planta de este tipo de hilo en Centro América, se adiciona también el área de lonas tapa cargas de PVC.

En 1996 **Sacos Agrícolas** se convierte en la cuarta empresa en el mundo y la primera en América con capacidad para producir saco laminado valvulado con maquinaria AD-Star, patentado a nivel mundial para la fabricación de los mismos, lo que nos coloca a la vanguardia en la fabricación de sacos de polipropileno a nivel mundial.

En 1998 “**Sacos Agrícolas**” y “**Envases y Sacos, S.A.**” (*Sacotex*), empresas líderes en el mercado se fusionan para dar origen a **SACOS AGRO-INDUSTRIALES, S.A.**

En el año 2000 surge la nueva área de producción de la empresa, la cual es una planta de soplado de envases de PET, en donde se elaboran envases y recipientes para leche, aguas, aguas carbonatadas y otros tipos de líquidos, contando con el equipo más moderno del mercado en la actualidad.

SACOS AGRO-INDUSTRIALES, S.A. es una compañía guatemalteca que se dedica a la fabricación de diversos productos de empaque, los cuales están siendo utilizados por diferentes industrias del país, tales como: fertilizantes, azúcar, café, cemento, harina, sal, alimentos concentrados, minerales, bebidas no carbonatadas y carbonatas, etc.

Estos sectores han sido de gran utilidad, permitiéndose la empresa servirse de los mismos para que otros escojan estos productos por la alta calidad, pues se manejan productos que por exigencia necesitan el empaque idóneo. La calidad y buen servicio han traspasado fronteras y actualmente se esta exportando a mercados tan importantes como los Estados Unidos, Canadá, México y Centro América.

Se cuenta durante todo el proceso de producción con un estricto control de calidad y equipos especializados de la más moderna y alta tecnología. Esto ha permitido con los años, liderar el mercado y ser en la actualidad la planta de sacos de polipropileno más grande en Centro América y a la vez, situarse a la vanguardia del manejo de nuevas tecnologías.

La empresa ha sido seleccionada entre cuatro empresas a nivel mundial para desarrollar el saco laminado valvulado (AD STAR). Esto la convierte en la primera empresa en América, que a un ritmo acelerado, está sustituyendo las tradicionales tecnologías de empaque, para productos tan específicos como los de las industrias de cemento, cal, harinas, alimentos concentrados, azúcar y fertilizantes.

Impulsada por las renovadoras tendencias de la globalización, dos empresas líderes fuertemente consolidadas: **Sacos Agrícolas, S.A. y Sacotex**, unifican en una alianza estratégica todo el potencial de ambas empresas: **SACOS AGRO-INDUSTRIALES, S.A.** empresa capaz de cumplir con los requerimientos de los más fuertes proveedores de equipo y tecnología.

1.1.2 Actividades y productos.

Sacos Agro-Industriales, una industria para industrias, luego de más de 20 años de actividad, es un referente en la región centroamericana en la producción y comercialización de plásticos tejidos.

1.1.2.1 Productos

Entre los productos que se fabrican en Sacos Agro-Industriales se tiene el hilo, lazo, bolsa de polietileno, sacos de polipropileno, sacos leno.

1.1.2.1.1 Hilo

Este hilo se fabrica al 100% de polipropileno, a su vez lleva una lubricación especial lo que le da dos propiedades importantes: cuerpo y mejor comportamiento en el equipo de costura. Esta formado de 50 a 125 filamentos, lo que le da una excelente resistencia y tenacidad en comparación con los hilos tradicionales. No absorbe humedad como otros tejidos, posee un mayor rendimiento por ser liviano.

1.1.2.1.2 Lazo

El lazo es fabricado con hilo multifilamento, posee un rendimiento alto debido a su poco peso y a la gran tracción que soporta. La cantidad de hilos entrelazados depende del diámetro del lazo a producir.

1.1.2.1.3 Bolsas de polietileno

Las bolsas de polietileno se utilizan en el embalaje de una amplísima gama de productos. Se pueden fabricar con materiales de distintos colores, espesores, medidas, impresiones y en todo tipo de acabados como: fuelles laterales o al fondo de la bolsa, asa troquelada, troqueles para colgar o de salida de aire, solapa tipo sobre, tira autoadhesiva.

1.1.2.1.4 Sacos de polipropileno

Su fabricación a partir de cintas de polipropileno de alta tenacidad y resistencia, estabilizados contra rayos UV (opcional), le otorgan gran durabilidad, aún después de varios usos.

Especialmente recomendados en el uso de:

- Productos químicos
- Harinas y subproductos
- Alimentos concentrados
- Azúcar
- Fertilizantes

Su cualidad impermeable es dada por la tela de polipropileno tejida y recubierta con una película de polipropileno homogénea y continúa, que hace innecesario el uso de otras capas o bolsas interiores protectoras. Puede adquirirse con protector contra los rayos UV opcional.

Especialmente recomendados en el uso de envase de productos que demanden una relación con la atmósfera exterior controlada.

1.1.3 Visión y misión

1.1.3.1 Visión

Seremos reconocidos a nivel mundial como líderes de calidad, eficiencia, servicio e innovación en la fabricación y comercialización de productos para envase y empaque.

Teniendo un crecimiento sostenido y bien planificado. Participando con la comunidad con programas de orientación para el uso de productos seguros y reciclables. Contando con recurso humano competente, comprometido y motivado.

1.1.3.2 Misión

En Sacos Agro-Industriales, S.A., fabricamos y comercializamos productos de calidad mundial para envase y empaque, con la finalidad de conservar los productos e imagen de nuestros clientes.

1.1.4 Estructura organizacional de la empresa

Básicamente en la organización existen puestos importantes para que la misma pueda satisfacer la gran demanda del producto. Conjuntamente con estas personas, se encuentra un gran equipo de producción, control de calidad, mantenimiento, recursos humanos, etc. que simplemente sin ellos no serian lo que hoy en día es la empresa. A continuación se muestra una breve descripción de cada una de las personas que hacen que esto funcione.

1.1.4.1 Junta directiva

La junta directiva ayuda a la gerencia a determinar objetivos y estrategias, proporciona experiencia especializada y está compuesta tanto de miembros internos como de externos.

1.1.4.2 Gerente general

Tiene la responsabilidad general de administrar los elementos de ingresos y costos de la empresa. Vela por todas las funciones de mercadeo y ventas de la empresa, así como las operaciones del día a día. Es también responsable de liderar y coordinar las funciones de planeamiento estratégico.

1.1.4.3 Gerente de gestión de calidad

Audita y verifica todas las actividades asociadas al producto, persigue de forma implacable por una calidad constante, mejorando los productos y servicios para los clientes a un costo competitivo.

1.1.4.4 Gerente de planta

El gerente de producción es responsable de la coordinación y supervisión de todos los detalles administrativos, económicos y técnicos de la producción, el gerente de producción supervisa todas las acciones del grupo de producción, es el máximo responsable de la parte de la empresa que desarrolla la actividad que le es propia, a la que la empresa se dedica.

1.1.4.5 Gerente de mantenimiento

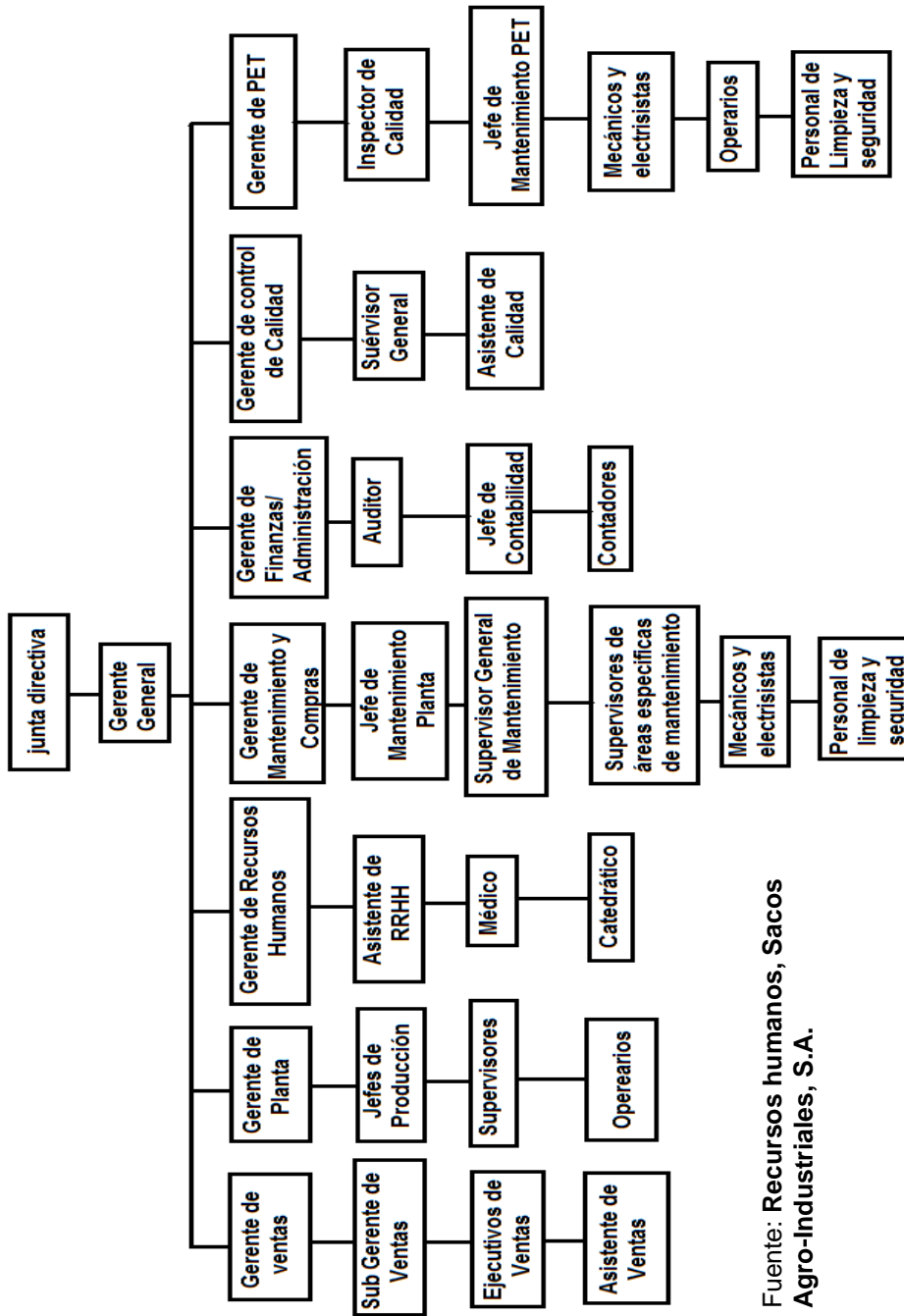
Administra los recursos humanos y materiales para mantener en las mejores condiciones los equipos e instalaciones, maximizando su operación, disminuyendo los paros no planeados y mejorando los equipos, para lograr los objetivos del área productiva. Supervisa el mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo mediante la utilización adecuada de las herramientas para cumplir los estándares de seguridad. Asigna cargas de trabajo y supervisa actividades específicas de sus subordinados.

Apoya y actúa como facilitador para cumplir con los objetivos de mantenimiento planeados en programas y el mantenimiento correctivo que se presente. Controla los costos directos e indirectos de su área, dando prioridad a gastos en puntos críticos para no exceder presupuesto asignado. Supervisa el funcionamiento de equipos, haciendo recorridos rutinarios por su área, revisando bitácoras, para establecer necesidades de mantenimiento y prever paros no necesarios.

Selecciona equipos en coordinación con líderes de proyectos, estableciendo comunicación con contratistas y/o proveedores en la logística de instalación y con sus técnicos en optimización para hacer eficiente el proceso de producción. Asegura el cumplimiento de los estándares del sistema de calidad.

1.4.6 Organigrama de Sacos Agroindustriales, S.A.

Figura 1: Estructura organizacional de la empresa



Fuente: Recursos humanos, Sacos Agro-Industriales, S.A.

1.1.5 Ubicación

La planta de producción de Sacos Agro-Industriales, se encuentra localizada camino a San Pedro Las Huertas a 2 km al sur de la ciudad de La Antigua Guatemala, departamento de Sacatepéquez.

1.1.5.1. Clima

El clima del lugar es templado con una temperatura promedio de 18° centígrados, su altura sobre el nivel del mar es de 1533 metros.

1.1.5.2. Características socio-económicas

Las personas que viven e San Pedro Las Huertas cuentan con varias fincas importantes, todas ellas de tierras fértiles donde se cultiva el mejor café de Sacatepéquez, hortalizas y gran variedad de árboles frutales y flores; también se cultivan maíz y frijol de excelente calidad, además una gran cantidad de personas de San Pedro Las Huertas trabajan en la fábrica Sacos Agro-Industriales, contribuyendo de esta forma con la economía de las familias de esta aldea.

1.1.6 Planta de producción

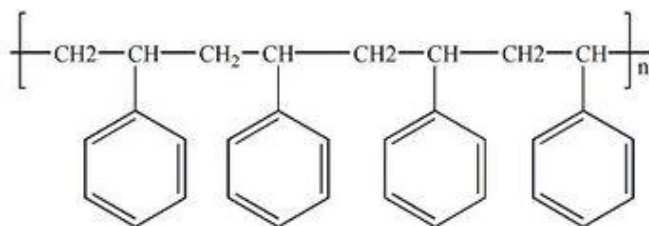
La planta de producción de la fábrica se dedica principalmente a la elaboración de sacos de polipropileno y bolsas de polietileno para satisfacer el creciente mercado que exige un empaque adecuado para su producto, para la fabricación de la cinta del saco se utiliza como materia prima resina de polipropileno y para las bolsas la resina de polietileno.

1.1.6.1 Fundamentos teóricos

1.1.6.1.1 Definición de polímero

Los polímeros son macromoléculas (generalmente orgánicas) formadas por la unión de moléculas más pequeñas llamados monómeros.

Figura 2. Composición del polímero



El poliestireno es un polímero formado a partir de la unidad repetitiva conocida como estireno.

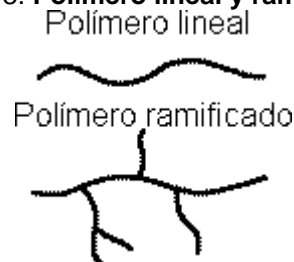
1.1.6.1.2 Polimerización y estructura

La reacción por la cual se sintetiza un polímero a partir de sus monómeros se denomina polimerización. Según el mecanismo por el cual se produce la reacción de polimerización para dar lugar al polímero, ésta se clasifica como polimerización por pasos o como polimerización en cadena. En cualquier caso, el tamaño de la cadena dependerá de parámetros como la temperatura o el tiempo de reacción, teniendo cada cadena un tamaño distinto y, por tanto, una masa molecular distinta, por lo que se habla de masa promedio para el polímero.

La polimerización en etapas (condensación) necesita monómeros bifuncionales.

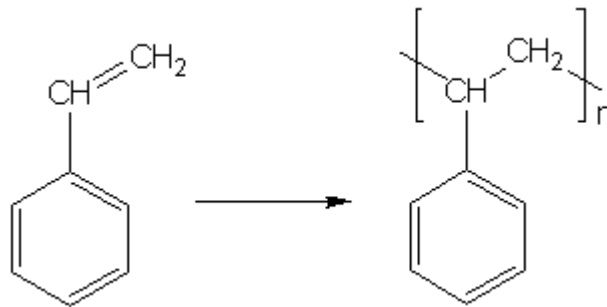
La estructura puede ser lineal o también ramificada (aparte de poder presentar entrecruzamientos). También pueden adoptar otras estructuras, por ejemplo radiales.

Figura 3. **Polímero lineal y ramificado**



Ejemplo de polimerización del estireno para dar poliestireno, “*n*” indica el grado de polimerización

Figura 4. **Polimerización del estireno**



Por otra parte, los polímeros pueden ser lineales, formados por una única cadena de monómeros, o bien esta cadena puede presentar ramificaciones de mayor o menor tamaño. También se pueden formar entrecruzamientos provocados por el enlace entre átomos de distintas cadenas.

La naturaleza química de los monómeros, su masa molecular y otras propiedades físicas, así como la estructura que presentan, determinan diferentes características para cada polímero. Por ejemplo, si un polímero presenta entrecruzamiento, el material será más difícil de fundir que si no presentara ninguno.

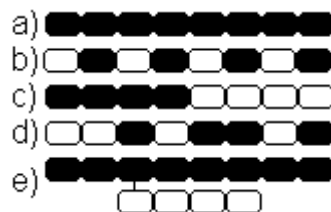
Los enlaces de carbono en los polímeros no son equivalentes entre sí, por eso dependiendo del orden estereo-químico de los enlaces, un polímero puede ser: atáctico (sin orden), isotáctico (mismo orden), o sindiotáctico (orden alternante) a esta conformación se la llama tacticidad. Las propiedades de un polímero pueden verse modificadas severamente dependiendo de su estereoquímica.

En el caso de que el polímero provenga de un único tipo de monómero se denomina homopolímero y si proviene de varios monómeros se llama copolímero o heteropolímero. Por ejemplo, el poliestireno es un homopolímero, pues proviene de un único tipo de monómero, el estireno, mientras que si se parte de estireno y acrilonitrilo se puede obtener un copolímero de estos dos monómeros.

En los heteropolímeros los monómeros pueden distribuirse de diferentes maneras, particularmente para polímeros naturales, los monómeros pueden repetirse de forma aleatoria, informativa (como en los polipéptidos de las proteínas o en los polinucleótidos de los ácidos nucleicos) o periódica, como en el peptidoglucano o en algunos polisacáridos.

Los monómeros que conforman la cadena de un copolímero se pueden ubicar en la cadena principal alternándose según diversos patrones, denominándose copolímero alternante, copolímero en bloque, copolímero aleatorio, copolímero de injerto. Para lograr este diseño, la reacción de polimerización y los catalizadores deben ser los adecuados.

Figura 5. Cadenas de copolímeros



a) Homopolímero, b) Copolímero alternante, c) Copolímero en bloque, d) Copolímero aleatorio, e) Copolímero de injerto

Finalmente, los extremos de los polímeros pueden ser distintos que el resto de la cadena polimérica, sin embargo es mucho más importante el resto de la cadena que estos extremos debido a que la cadena es de una gran extensión comparada con los extremos.

- Fotoconductividad
- Electrochromismo
- Fotoluminiscencia (fluorescencia y fosforescencia)

1.1.6.1.3 Propiedades eléctricas

Los polímeros industriales en general son malos conductores eléctricos, por lo que se emplean masivamente en la industria eléctrica y electrónica como materiales aislantes. Las baquelitas (resinas fenólicas) sustituyeron con ventaja a las porcelanas y el vidrio en el aparellaje de baja tensión hace ya muchos años; termoplásticos como el PVC y los PE, entre otros, se utilizan en la fabricación de cables eléctricos, llegando en la actualidad a tensiones de aplicación superiores a los 20 KV, y casi todas las carcasas de los equipos electrónicos se construyen en termoplásticos de magníficas propiedades mecánicas, además de eléctricas y de gran duración y resistencia al medio ambiente, como son, por ejemplo, las resinas ABS.

Para evitar cargas estáticas en aplicaciones que lo requieran, se ha utilizado el uso de antiestáticos que permite en la superficie del polímero una conducción parcial de cargas eléctricas.

Evidentemente, la principal desventaja de los materiales plásticos en estas aplicaciones está en relación a la pérdida de características mecánicas y geométricas con la temperatura. Sin embargo, ya se dispone de materiales que resisten sin problemas temperaturas relativamente elevadas (superiores a los 200 °C).

Las propiedades eléctricas de los polímeros industriales están determinadas principalmente, por la naturaleza química del material (enlaces covalentes de mayor o menor polaridad) y son poco sensibles a la microestructura cristalina o amorfa del material, que afecta mucho más a las propiedades mecánicas. Su estudio se acomete mediante ensayos de comportamiento en campos eléctricos de distinta intensidad y frecuencia. Seguidamente se analizan las características eléctricas de estos materiales.

Los polímeros conductores han sido recientemente (1974) desarrollados y sus aplicaciones están siendo estudiadas.

1.1.6.1.4 Clasificación

Existen varias formas posibles de clasificar los polímeros, sin que sean excluyentes entre sí.

1.1.6.1.4.1 Según su origen

1.1.6.1.4.1.1 Polímeros naturales

Existen en la naturaleza muchos polímeros y las biomoléculas que forman los seres vivos son macromoléculas poliméricas. Por ejemplo, las proteínas, los ácidos nucleicos, los polisacáridos (como la celulosa y la quitina), el hule o caucho natural, la lignina, etc.

1.1.6.1.4.1.2 Polímeros semisintéticos

Se obtienen por transformación de polímeros naturales. Por ejemplo, la nitrocelulosa, el caucho vulcanizado, etc.

1.1.6.1.4.1.3 Polímeros sintéticos

Muchos polímeros se obtienen industrialmente a partir de los monómeros. Por ejemplo, el nylon, el poliestireno, el cloruro de polivinilo (PVC), el polietileno, etc.

1.1.6.1.4.2 Según se mecanismo de polimerización

1.1.6.1.4.2.1 Polímeros de condensación

La reacción de polimerización implica a cada paso la formación de una molécula de baja masa molecular, por ejemplo agua.

1.1.6.1.4.2.2 Polímeros de adición

La polimerización no implica la liberación de ningún compuesto de baja masa molecular. Esta polimerización se genera cuando un "catalizador", inicia la reacción. Este catalizador separa la unión doble carbono en los monómeros, luego aquellos monómeros se unen con otros debido a los electrones libres, y así se van uniendo uno tras uno hasta que la ración termina.

1.1.6.1.4.2.3 Polímeros formados por etapas

La cadena de polímero va creciendo gradualmente mientras haya monómeros disponibles, añadiendo un monómero cada vez. Esta categoría incluye todos los polímeros de condensación de Carothers y además algunos otros que no liberan moléculas pequeñas pero sí se forman gradualmente, como por ejemplo los poliuretanos.

1.1.6.1.4.2.4 Polímeros formados por reacción en cadena

Cada cadena individual de polímero se forma a gran velocidad y luego queda inactiva, a pesar de estar rodeada de monómero.

1.1.6.1.4.3 Según composición química

1.1.6.1.4.3.1 Polímeros orgánicos

Posee en la cadena principal átomos de carbono.

1.1.6.1.4.3.2 Polímeros vinílicos

La cadena principal de sus moléculas está formada exclusivamente por átomos de carbono. Dentro de ellos se pueden distinguir:

- Poliolefinas, formados mediante la polimerización de olefinas.
Ejemplos: polietileno y polipropileno.
- Polímeros estirénicos, que incluyen al estireno entre sus monómeros.
Ejemplos: poliestireno y caucho estireno-butadieno.
- Polímeros vinílicos halogenados, que incluyen átomos de halógenos (cloro, flúor...) en su composición. Ejemplos: PVC y PTFE.

1.1.6.1.4.3.3 Polímeros orgánicos no vinílicos

Además de carbono, tienen átomos de oxígeno o nitrógeno en su cadena principal. Algunas sub-categorías de importancia:

- Poliésteres
- Poliamidas
- Poliuretanos

1.1.6.1.4.3.4 Polímeros inorgánicos

Entre otros:

- Basados en azufre. Ejemplo: polisulfuros.
- Basados en silicio. Ejemplo: silicona.

1.1.6.1.4.4 Según sus aplicaciones

Atendiendo a sus propiedades y usos finales, los polímeros pueden clasificarse en:

1.1.6.1.4.4.1 Elastómeros

Son materiales con muy bajo módulo de elasticidad y alta extensibilidad; es decir, se deforman mucho al someterlos a un esfuerzo pero recuperan su forma inicial al eliminar el esfuerzo. En cada ciclo de extensión y contracción los elastómeros absorben energía, una propiedad denominada resiliencia.

1.1.6.1.4.4.2 Plásticos

Son aquellos polímeros que, ante un esfuerzo suficientemente intenso, se deforman irreversiblemente, no pudiendo volver a su forma original. Hay que resaltar que el término plástico se aplica a veces incorrectamente para referirse a la totalidad de los polímeros.

1.1.6.1.4.4.3 Fibras

Presentan alto módulo de elasticidad y baja extensibilidad, lo que permite confeccionar tejidos cuyas dimensiones permanecen estables.

1.1.6.1.4.4.4 Recubrimientos

Son sustancias, normalmente líquidas, que se adhieren a la superficie de otros materiales para otorgarles alguna propiedad, por ejemplo resistencia a la abrasión.

1.1.6.1.4.4.5 Adhesivos

Son sustancias que combinan una alta adhesión y una alta cohesión, lo que les permite unir dos o más cuerpos por contacto superficial.

1.1.6.1.4.5 Según su comportamiento al elevar su temperatura

Para clasificar polímeros, una de las formas empíricas más sencillas consiste en calentarlos por encima de cierta temperatura. Según si el material funde y fluye o por el contrario no lo hace se diferencian dos tipos de polímeros: Termoplásticos, que fluyen (pasan al estado líquido) al calentarlos y se vuelven a endurecer (vuelven al estado sólido) al enfriarlos. Su estructura molecular presenta pocos (o ningún) entrecruzamientos. Ejemplos: polietileno (PE), polipropileno (PP), PVC.

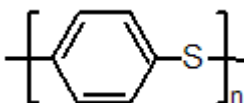
Termoestables, que no fluyen, y lo único que conseguimos al calentarlos es que se descompongan químicamente, en vez de fluir. Este comportamiento se debe a una estructura con muchos entrecruzamientos, que impiden los desplazamientos relativos de las moléculas.

La clasificación termoplásticos / termoestables es independiente de la clasificación elastómeros / plásticos / fibras. Existen plásticos que presentan un comportamiento termoplástico y otros que se comportan como termoestables. Esto constituye de hecho la principal subdivisión del grupo de los plásticos y hace que a menudo cuando se habla de "los termoestables" en realidad se haga referencia sólo a "los plásticos termoestables". Pero ello no debe hacer olvidar que los elastómeros también se dividen en termoestables (la gran mayoría) y termoplásticos (una minoría pero con aplicaciones muy interesantes).

1.1.6.1.5 Nomenclatura

Las normas internacionales publicadas por la IUPAC indican que el principio general para nombrar polímeros es utilizar el sufijo poli- seguido de la unidad estructural repetitiva (UER) que define al polímero, escrita entre paréntesis. La UER debe ser nombrada siguiendo las normas convencionales de la IUPAC para moléculas sencillas.

Figura 6. Ejemplo para nombrar polímeros: poli (tio-1, 4-fenileno)

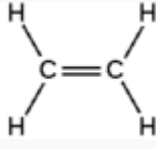
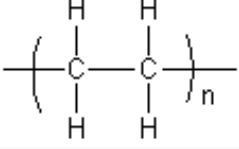
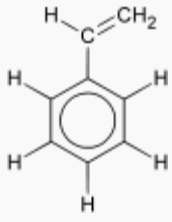
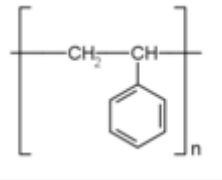


Las normas IUPAC se utilizan habitualmente para nombrar los polímeros de estructura complicada, ya que permiten identificarlos sin ambigüedad en las bases de datos de artículos científicos. Por el contrario, no suelen ser utilizadas para los polímeros de estructura más sencilla y de uso común principalmente porque estos polímeros fueron inventados antes de que se publicasen las primeras normas IUPAC, en 1952, y por tanto sus nombres "comunes" o "tradicionales" ya se habían popularizado.

En la práctica, los polímeros de uso común se suelen nombrar según alguna de las siguientes opciones:

- Sufijo *poli-* seguido del monómero del que se obtiene el polímero. Esta convención es diferente de la IUPAC porque el monómero no siempre coincide con la UER y además se nombra sin paréntesis y en muchos casos según una nomenclatura "tradicional", no la IUPAC.

Figura 7. Ejemplos de polietileno frente a poli (metileno); poliestireno frente a poli (1-feniletileno)

Sistema	Monómero	UER	Polímero
			
Sistema tradicional	etileno		Polietileno
Sistema IUPAC	eteno	metileno	poli(metileno)
	Monómero	UER	Polímero
			
Sistema tradicional	estireno		Poliestireno
Sistema IUPAC	fenileteno	1-feniletileno	poli(1-feniletileno)

- Para copolímeros se suelen listar simplemente los monómeros que los forman, a veces precedidos de las palabras caucho o goma si se trata de un elastómero o bien resina si es un plástico. Ejemplos: acrilonitrilo butadieno estireno; caucho estireno-butadieno; resina fenol-formaldehído.

- Es frecuente también el uso indebido de marcas comerciales como sinónimos del polímero, independientemente de la empresa que lo fabrique. Ejemplos: Nylon para poliamida; Teflón para politetrafluoretileno; Neopreno para policloropreno.

La IUPAC reconoce que los nombres tradicionales están firmemente asentados por su uso y no pretende abolirlos sino solo ir reduciendo paulatinamente su utilización en las publicaciones científicas.

1.1.6.1.6 Definición de polipropileno

El polipropileno (PP) es el polímero termoplástico, parcialmente cristalino, que se obtiene de la polimerización del propileno (o propeno). Pertenece al grupo de las poliolefinas y es utilizado en una amplia variedad de aplicaciones que incluyen empaques para alimentos, tejidos, equipo de laboratorio, componentes automotrices y películas transparentes. Tiene gran resistencia contra diversos solventes químicos, así como contra álcalis y ácidos.

1.1.6.1.6.1 Estructura química

Por su mecanismo de polimerización, el PP es un polímero de reacción en cadena ("de adición" según la antigua nomenclatura de Carothers). Por su composición química es un polímero vinílico (cadena principal formada exclusivamente por átomos de carbono) y en particular una poliolefina.

1.1.6.1.6.2 Tacticidad

Las moléculas de PP se componen de una cadena principal de átomos de carbono enlazados entre sí, de la cual cuelgan grupos metilo (CH_3 -) a uno u otro lado de la cadena. Cuando todos los grupos metilo están del mismo lado se habla de "polipropileno isotáctico"; cuando están alternados a uno u otro lado, de "polipropileno sindiotáctico"; cuando no tienen un orden aparente, de "polipropileno atáctico". Las propiedades del PP dependen enormemente del tipo de tacticidad que presenten sus moléculas.

Las figuras siguientes ilustran los distintos tipos de polipropileno, según su tacticidad. Los átomos de carbono se representan en disposiciones grandes y los de hidrógeno en pequeños.

Figura 8. **PP isotáctico**

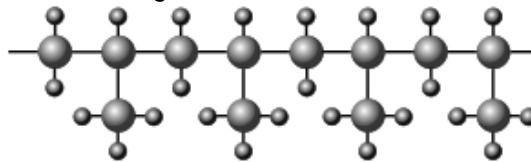


Figura 9. **PP atáctico**

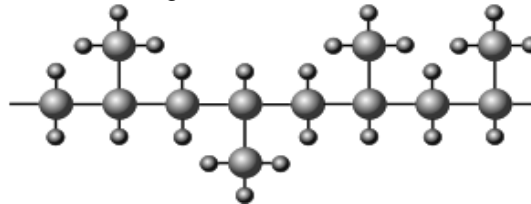
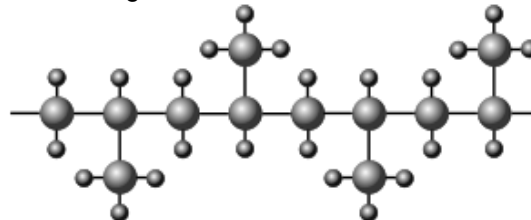


Figura 10. **PP sindiotáctico**



1.1.6.1.6.3 Tipos

1.1.6.1.6.3.1 PP homopolímero

Se denomina homopolímero al PP obtenido de la polimerización de propileno puro. Según su tacticidad, se distinguen tres tipos:

- **PP atáctico.** Material completamente amorfo, tiene pocas aplicaciones.
- **PP isotáctico.** La distribución regular de los grupos metilo le otorga una alta cristalinidad, entre 70 y 80%. Es el tipo más utilizado hoy día.
- **PP sindiotáctico.** Muy poco cristalino, lo cual le hace ser más elástico que el PP isotáctico pero también menos resistente.

1.1.6.1.6.3.2 PP copolímero

Al añadir entre un 5 y un 30% de etileno en la polimerización se obtiene un copolímero que posee mayor resistencia al impacto que el PP homopolímero. Existen, a su vez, dos tipos:

- **Copolímero estadístico.** El etileno y el propileno se introducen a la vez en un mismo reactor, resultando cadenas de polímero en las que ambos monómeros se alternan de manera aleatoria.

- **Copolímero en bloques.** En este caso primero se lleva a cabo la polimerización del propileno en un reactor y luego, en otro reactor, se añade etileno que polimeriza sobre el PP ya formado, obteniéndose así cadenas con bloques homogéneos de PP y PE. La resistencia al impacto de estos copolímeros es muy alta, por lo que se les conoce como PP impacto o PP choque.

Cuando el porcentaje de etileno supera un cierto valor, el material pasa a comportarse como un elastómero, con propiedades muy diferentes del PP convencional. A este producto se le llama caucho etileno-propileno (EPR, del inglés *Ethylene-Propylene Rubber*).

1.1.6.1.6.4 Propiedades

El PP isotáctico comercial es muy similar al polietileno, excepto por las siguientes propiedades:

- Menor densidad: el PP tiene un peso específico entre 0,9 g/cm³ y 0,91 g/cm³, mientras que el peso específico del PEBD (polietileno de baja densidad) oscila entre 0,915 y 0,935, y el del PEAD (polietileno de alta densidad) entre 0,9 y 0,97 (en g/cm³)
- Temperatura de reblandecimiento más alta
- Mayor tendencia a ser oxidado (problema normalmente resuelto mediante la adición de antioxidantes).

El PP tiene un grado de cristalinidad intermedio entre el polietileno de alta y el de baja densidad.

1.1.6.1.6.5 Propiedades mecánicas

Figura 11. Propiedades mecánicas

Propiedades mecánicas	PP homopolímero	PP copolímero	Comentarios
Módulo elástico en tracción (GPa)	1,1 a 1,6	0,7 a 1,4	
Alargamiento de rotura en tracción (%)	100 a 600	450 a 900	Junto al polietileno, una de las más altas de todos los termoplásticos
Carga de rotura en tracción (MPa)	31 a 42	28 a 38	
Módulo de flexión (GPa)	1,19 a 1,75	0,42 a 1,40	
Resistencia al impacto Charpy (kJ/m ²)	4 a 20	9 a 40	El PP copolímero posee la mayor resistencia al impacto de todos los termoplásticos
Dureza Shore D	72 a 74	67 a 73	Más duro que el polietileno pero menos que el poliestireno o el PET

1.1.6.1.6.6 Propiedades térmicas

Figura 12. Propiedades térmicas

Temperatura	PP homopolímero	PP copolímero	Comentarios
Temperatura de fusión (°C)	160 a 170	130 a 168	Superior a la del polietileno
Temperatura máxima de uso continuo (°C)	100	100	Superior al poliestireno, al LDPE y al PVC pero inferior al HDPE, al PET y a los "plásticos de ingeniería"
Temperatura de transición vítrea (°C)	-10	-20	

A baja temperatura el PP homopolímero se vuelve frágil (típicamente en torno a los 0 °C); no tanto el PP copolímero, que conserva su ductilidad hasta los -40 °C.

1.1.6.1.6.7 Propiedades ópticas

El PP homopolímero es transparente, con un índice de refracción en torno a 1,5. Esto, unido a su buena resistencia mecánica, lo hace un material muy utilizado para producir vasos desechables.

1.1.6.1.6.8 Propiedades eléctricas

El PP es un buen dieléctrico. Por ello se le utiliza en películas muy delgadas para formar capacitores de buen desempeño.

1.1.6.1.6.9 Aplicaciones

El polipropileno ha sido uno de los plásticos con mayor crecimiento en los últimos años y se prevé que su consumo continúe creciendo más que el de los otros grandes termoplásticos (PE, PS, PVC, PET). En 2005, la producción y el consumo de PP en la Unión Europea fueron de 9 y 8 millones de toneladas respectivamente, un volumen sólo inferior al del PE.

Figura 13. Símbolo del polipropileno



El PP es transformado mediante muchos procesos diferentes. Los más utilizados son:

- **Moldeo por inyección** de una gran diversidad de piezas, desde juguetes hasta parachoques de automóviles.
- **Moldeo por soplado** de recipientes huecos como por ejemplo botellas o depósitos de combustible.

- **Termoformado**, por ejemplo, contenedores de alimentos. En particular se utiliza PP para aplicaciones que requieren resistencia a alta temperatura (microondas) o baja temperatura (congelados).

- **Producción de fibras**, tanto tejidas como no tejidas.

- **Extrusión de perfiles**, láminas y tubos.

- **Producción de película**, en particular:
 - Película de polipropileno biorientado (BOPP), la más extendida, representando más del 20% del mercado del embalaje flexible en Europa Occidental
 - Película moldeada ("*cast film*")
 - Película soplada ("*blown film*"), un mercado pequeño actualmente (2007) pero en rápido crecimiento

Una gran parte de los grados de PP son aptos para contacto con alimentos y una minoría puede ser usada en aplicaciones médicas o farmacéuticas.

1.1.6.1.6.10 Aplicaciones del polipropileno

Figura 14. Funda flexible de CD

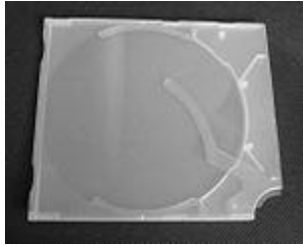


Figura 15. Tubo de microcentrífuga



Figura 16. Caja de CD



1.1.6.1.6.11 Proceso de producción

Existen numerosos procesos diferentes para la producción de PP. El más utilizado en el mundo actualmente (2002) es el Spheripol de Basell.

1.1.6.1.6.12 Catalizador

El elemento clave en el proceso es el catalizador utilizado. Se pueden utilizar tres tipos de catalizadores; en orden cronológico de invención:

- óxidos metálicos
- Ziegler-Natta
- metallocenos

1.1.6.1.6.13 Reactores

Los diferentes procesos también se diferencian por el tipo de reactor utilizado. Hoy en día se utilizan tres tipos de reactores:

- En masa. El reactor contiene sólo propileno líquido, catalizador y el PP producto. El ejemplo más extendido de este tipo de procesos es el Spheripol.
- En suspensión. Además de propileno y catalizador, en estos reactores se añade un diluyente inerte. Este tipo de procesos fue el utilizado en primer lugar por Montecatini y el más empleado hasta los años 1980 pero hoy en día ya no se construyen plantas basadas en él por ser más complejo que las alternativas (en masa y en fase gas). Sin embargo, las plantas construidas hasta los años 1980 siguen funcionando y produciendo sobre todo PP choque.

- En fase gas. En este caso el propileno se inyecta en fase gas para mantener al catalizador en suspensión, formando un lecho fluido. A medida que el PP se va formando sobre las partículas de catalizador, éstas modifican su densidad, lo cual hace que abandonen el lecho al terminar su función.

1.1.6.1.6.14 Control de la polimerización

La mayoría de los procesos inyectan hidrógeno para limitar el peso molecular producido, ya que actúa como agente de transferencia de cadena.

1.1.6.1.7 Definición de polietileno

El polietileno (PE) es un material termoplástico blanquecino, de transparente a translúcido, y es frecuentemente fabricado en finas láminas transparentes. Las secciones gruesas son translúcidas y tienen una apariencia de cera. Mediante el uso de colorantes pueden obtenerse una gran variedad de productos coloreados.

Por la polimerización de etileno pueden obtenerse productos con propiedades físicas muy variadas. Estos productos tienen en común la estructura química fundamental $(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$, y en general tienen propiedades químicas de un alcano de peso molecular elevado.

Este tipo de polímero se creó para usarlo como aislamiento eléctrico, pero después ha encontrado muchas aplicaciones en otros campos, especialmente como película y para envases.

El polietileno es químicamente el polímero más simple. Por su alta producción mundial (aproximadamente 60 millones de toneladas son producidas anualmente alrededor del mundo) es también el más barato, siendo uno de los plásticos más comunes. Es químicamente inerte.

Este polímero puede ser producido por diferentes reacciones de polimerización, como por ejemplo: Polimerización por radicales libres, polimerización aniónica, polimerización por coordinación de iones o polimerización catiónica. Cada uno de estos mecanismos de reacción produce un tipo diferente de polietileno.

1.1.6.1.7.1 Clasificación y propiedades físicas

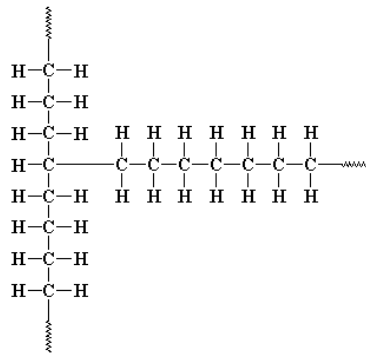
La abreviatura de polietileno comúnmente utilizada es PE. Los polietilenos pueden clasificarse en general en dos tipos:

- De baja densidad (LDPE)
- De alta densidad (HDPE)

El de baja densidad tiene una estructura de cadena enramada, mientras que el polietileno de alta densidad tiene esencialmente una estructura de cadena recta.

- **PEBD** (en inglés conocido como LDPE o PE-LD): polietileno de baja densidad; el polietileno de baja densidad es un polímero de cadena ramificada.

Figura 17. **Polietileno de baja densidad**



Es un sólido más o menos flexible, según el grosor, ligero y buen aislante eléctrico. Se trata de un material plástico que por sus características y bajo coste se utiliza mucho en envasado, revestimiento de cables y en la fabricación de tuberías.

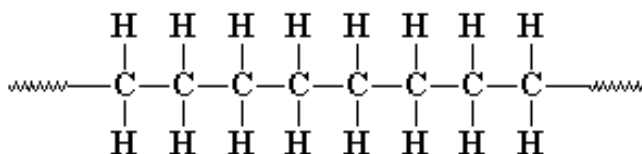
Los objetos fabricados con LDPE se identifican, en el sistema de identificación americano SPI (*Society of the Plastics Industry*), con el siguiente símbolo en la parte inferior o posterior.

Figura 18. Símbolo del polietileno de baja densidad



- No tóxico
 - Flexible
 - Liviano
 - Transparente
 - Inerte (al contenido)
 - Impermeable
 - Poca estabilidad dimensional, pero fácil procesamiento
 - Bajo costo
- **PEAD** (en inglés conocido como HDPE o PE-HD): Polietileno de Alta Densidad; densidad igual o menor a 0.941 g/cm^3 . Tiene un bajo nivel de ramificaciones, por lo cual su densidad es alta, las fuerzas intermoleculares son altas también. La producción de un buen PEAD depende de la selección del catalizador. Algunos de los catalizadores modernos incluyen los de Ziegler-Natta, cuyo desarrollo culminó con el Premio Nobel. El polietileno de alta densidad es un polímero de cadena lineal no ramificada

Figura 19. Polietileno de alta densidad



Los objetos fabricados con HDPE se identifican, en el sistema de identificación americano SPI (*Society of the Plastics Industry*), con el siguiente símbolo en la parte inferior o posterior.

Figura 20. Símbolo del polietileno de alta densidad



- Resistente a las bajas temperaturas;
 - Alta resistencia a la tensión; compresión, tracción;
 - Baja densidad en comparación con metales u otros materiales;
 - Impermeable;
 - Inerte (al contenido), baja reactividad;
 - No tóxico
 - Poca estabilidad dimensional
-
- **PELBD** (en inglés conocido como LLDPE): polietileno lineal de baja densidad; Se trata de un polímero con ramificaciones muy cortas y uniformes que hacen que su temperatura de fusión y su resistencia a la tracción y al agrietamiento sean superiores a las del polietileno de baja densidad. Se utiliza en el recubrimiento de cables y en la fabricación de objetos moldeados por extrusión o soplado.

 - **UHWPE**: polietileno de ultra alto peso molecular; con este material se producen fibras, tan fuertes, que pueden utilizarse para fabricar chalecos a prueba de balas.

 - **PEX**: Polietileno con formación de red;

Tabla I Características del PEBD, PEAD y PELBD

Características	PEBD	PEAD	PELBD
Grado de cristalinidad [%]	40 hasta 50	60 hasta 80	30 hasta 40
densidad [g/cm ³]	0,915 hasta 0,935	0,94 hasta 0,97	0.90 hasta 0.93
Módulo [N/mm ²] a 52215°C	~130	~1000	-
Temperatura de cristalización [°C]	105 hasta 110	130 hasta 135	121 hasta 125
estabilidad química	buena	excelente	buena
Esfuerzo de ruptura [N/mm ²]	8,0-10	20,0-30,0	10,0-30,0
Elongación a ruptura [%]	20	12	16
Módulo elástico E [N/mm ²]	200	1000	-
Coefficiente de expansión lineal [K ⁻¹]	1.7 * 10 ⁻⁴	2 * 10 ⁻⁴	2 * 10 ⁻⁴
Temperatura máxima permisible [°C]	80	100	-
Temperatura de reblandecimiento [°C]	110	140	-

1.1.6.1.7.2 Aplicaciones

- **PEBD:**
 - Bolsas de todo tipo: supermercados, boutiques, panificación, congelados, industriales, etc.;
 - Películas para agro;
 - Recubrimiento de acequias;
 - Envasamiento automático de alimentos y productos industriales: leche, agua, plásticos, etc.;
 - Base para pañales desechables;
 - Bolsas para suero;
 - Contenedores herméticos domésticos;
 - Bazar;
 - Tubos y pomos: cosméticos, medicamentos y alimentos;
 - Tuberías para riego.

- **PEAD:**
 - Envases para: detergentes, lejía, aceites automotor, shampoo, lácteos;
 - Bolsas para supermercados;
 - Bazar y menaje;
 - Cajones para pescados, gaseosas, cervezas;
 - Envases para pintura, helados, aceites;
 - Tambores;
 - Tuberías para gas, telefonía, agua potable, minería, láminas de drenaje y uso sanitario;
 - Macetas;
 - Bolsas tejidas;
 - Guías de cadena, piezas mecánicas.
 - También se usa para recubrir lagunas, canales, fosas de neutralización, contra tanques, tanques de agua, plantas de tratamiento de aguas, lagos artificiales, canalones de lámina, etc...

1.1.6.1.7.3 Procesamiento

El polietileno se usa para diferentes tipos de productos finales, para cada uno de ellos se utilizan también diferentes procesos, entre los más comunes se encuentran:

- **Extrusión:** película, cables, hilos, tuberías.
- **Moldeo por inyección:** partes en tercera dimensión con formas complicadas
- **Inyección y soplado:** botellas de diferentes tamaños

- **Extrusión y soplado:** bolsas o tubos de calibre delgado
- **Extrusión y soplado de cuerpos huecos:** botellas de diferentes tamaños.
- **Rotomoldeo:** depósitos y formas huecas de grandes dimensiones.

El polietileno tiene un color lechoso translúcido, este color se puede modificar con tres procedimientos comunes:

- Añadir pigmento polvo al PE antes de su procesamiento
- Colorear todo el PE antes de su procesamiento
- Usar un concentrado de color (conocido en inglés como masterbatch), el cual representa la forma más económica y fácil de colorear un polímero.

Aditivos necesarios para el uso final son importantes, dependiendo de la función final se recomiendan por ejemplo: Antioxidantes, antinflama, antiestáticos, antibacteriales.

1.1.6.1.7.4 Consideraciones generales

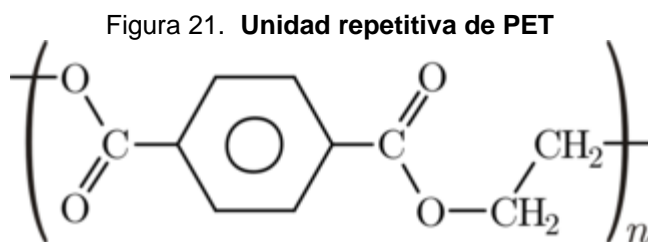
Los termoplásticos pueden ser ablandados mediante calor repetidas veces y endurecidos mediante enfriamiento. Las resinas de polietileno son termoplásticas. Las propiedades de las resinas de polietileno se deben principalmente, sino exclusivamente a tres propiedades moleculares básicas: densidad, peso molecular promedio y distribución del peso molecular. Estas propiedades básicas a su vez dependen del tamaño, estructura y uniformidad de la molécula de polietileno.

Algunas de las propiedades que hacen del polietileno una materia prima tan conveniente para miles de artículos manufacturados son, entre otro poco peso, flexibilidad, tenacidad, alta resistencia química y propiedades eléctricas sobresalientes.

La enorme competencia en el mercado de polietileno ha traído consigo más trabajos acerca de la modificación de polietilenos con propiedades específicas para aplicaciones determinadas. Son de esperar mejoras en propiedades parejas con determinados usos, a medida que se comprenda mejor la estructura de los diversos polímeros de polietileno y su relación con las propiedades físicas y químicas.

1.1.6.1.8 Definición de tereftalato de polietileno

El tereftalato de polietileno o "polietileno tereftalato" (más conocido por sus siglas en inglés PET, (*polyethylene terephthalate*) es un tipo de plástico muy usado en envases de bebidas y textiles.



Químicamente, el PET es un polímero que se obtiene mediante una reacción de policondensación entre el ácido tereftálico y el etilenglicol. Pertenece al grupo de materiales sintéticos denominados poliésteres.

Es un polímero termoplástico lineal, con un alto grado de cristalinidad. Como todos los termoplásticos puede ser procesado mediante:

- Extrusión
- Inyección
- Inyección y soplado
- Soplado de preforma
- Termoconformado

Para evitar el crecimiento excesivo de las esferulitas y lamelas de cristales, este material debe ser rápidamente enfriado, con esto se logra una mayor transparencia, la razón de su transparencia al enfriarse rápido consiste en que los cristales no alcanzan a desarrollarse completamente y su tamaño no interfiere (*scattering* en inglés) con la trayectoria de la longitud de onda de la luz visible, de acuerdo con la teoría cuántica.

1.1.6.1.8.1 Propiedades

Presenta como características más relevantes:

- Alta transparencia, aunque admite cargas de colorantes
- Alta resistencia al desgaste
- Muy buen coeficiente de deslizamiento

- Buena resistencia química y térmica
- Muy buena barrera a CO₂, aceptable barrera a O₂ y humedad.
- Compatible con otros materiales barrera que mejoran en su conjunto la calidad barrera de los envases y por lo tanto permiten su uso en mercados específicos.
- Reciclable, aunque tiende a disminuir su viscosidad con la historia térmica.
- Aprobado para su uso en productos que deban estar en contacto con productos alimentarios

Las propiedades físicas del PET y su capacidad para cumplir diversas especificaciones técnicas han sido las razones por las que el material haya alcanzado un desarrollo relevante en la producción de fibras textiles y en la producción de una gran diversidad de envases, especialmente en la producción de botellas, bandejas, flejes y láminas.

Los objetos fabricados con PET se identifican, en el sistema de identificación americano SPI (*Society of the Plastics Industry*), con el siguiente símbolo en la parte inferior o posterior:

Figura 22. Tereftalato de polietileno



1.2 Departamento de mantenimiento

1.2.1 Actividades

La labor del departamento de mantenimiento está relacionada muy estrechamente en la prevención de accidentes y lesiones en el trabajador ya que tiene la responsabilidad de efectuar trabajos en una máquina o equipo determinado, con el objetivo de que cumpla satisfactoriamente con las tareas para lo cual fue creado, además de la coordinación en la planificación de la producción, la estrategia de mantenimiento, la adquisición de repuestos, la programación de servicios y el flujo de información con otros departamentos.

Definitivamente, el área de mantenimiento es el sector que más incógnitas presenta para alguien que no tiene la experiencia de haber trabajado en una planta productiva.

Esto se puede deber por, lo compleja que es la tarea; por el dinero que se gasta en la reparación de equipos o, por la estrecha relación que existe entre este sector y los proveedores. Las fuentes que generan tales incógnitas pueden ser de todo tipo. Sin embargo, si no fuera por mantenimiento los procesos productivos se verían interrumpidos en una infinidad de veces, causando costos no contemplados en los presupuestos financieros.

En principio, el sector de mantenimiento contribuye a la rentabilidad de la empresa, y luego poner a trabajar a los encargados en la elaboración de planes o programas de mantenimiento.

En su elaboración se debe tener en claro que los objetivos generales de un área de mantenimiento deben ser:

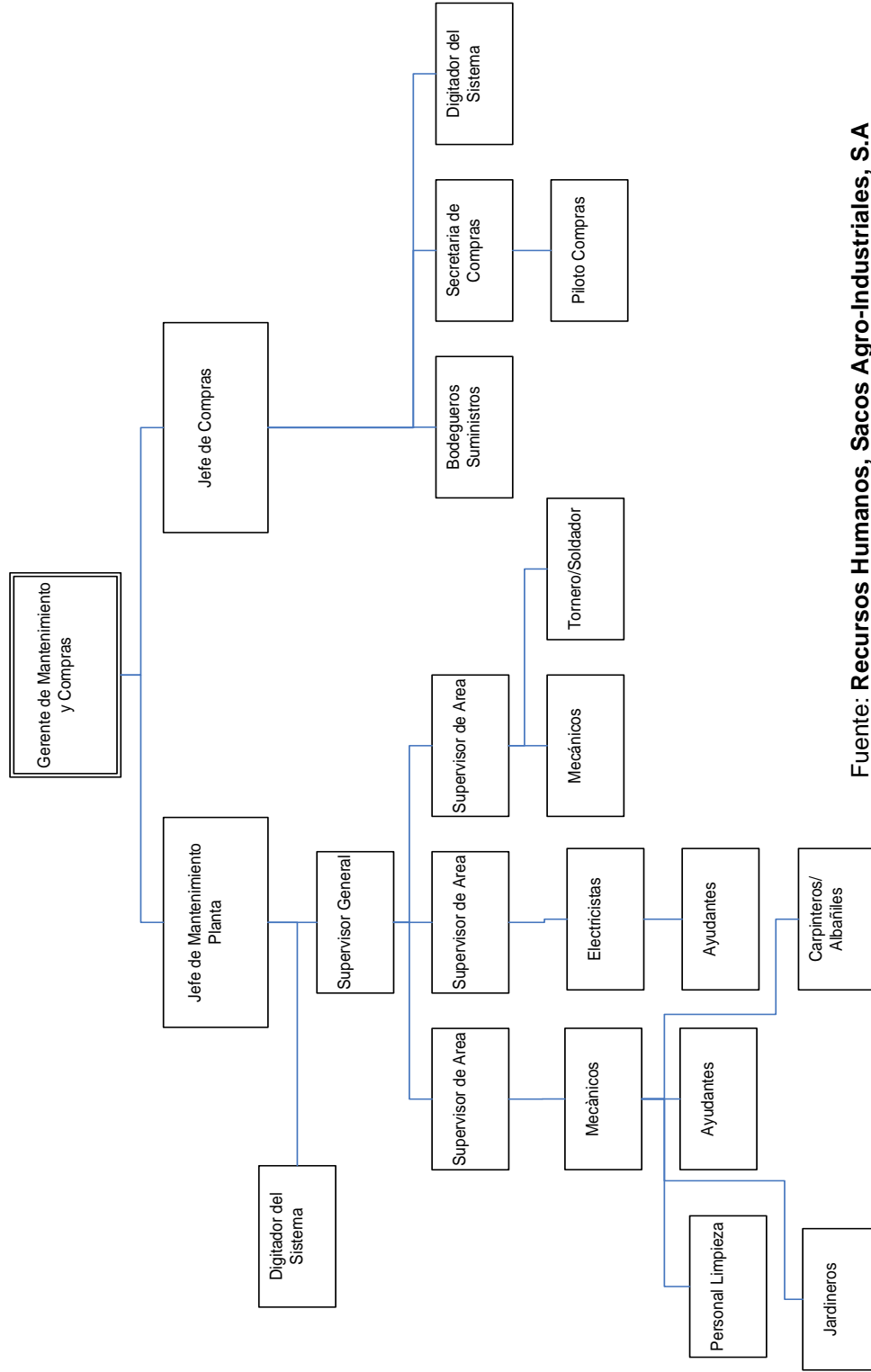
1. Proteger los activos de la compañía para que cumplan al máximo con su función productiva;
2. Disminuir la cantidad de paradas de máquinas por fallas;
3. Mejorar la eficiencia de las máquinas o equipos productivos.
4. Cumplir con las normas de seguridad y medio ambiente establecidas.

1.2.2 Estructura organizacional

La estructura organizacional permite visualizar a cada colaborador del departamento el grado de responsabilidad que posee de acuerdo al trabajo que realiza, además muestra claramente con quien puede abocarse para cualquier problema que surja y así obtener solución a sus problemas. En la empresa se trabajan dos jornadas, diurna y nocturna de 12 horas cada una; de las 06:00 a las 18:00 horas, y de las 18:00 a las 06:00 horas.

Este organigrama es de vital importancia, ya que permite que cada miembro del departamento conozca el nivel jerárquico en el que se encuentra, y el alcance del puesto para la toma de decisiones.

Figura 23. Estructura organizacional del departamento de mantenimiento



Fuente: Recursos Humanos, Sacos Agro-Industriales, S.A

1.2.3 Definición de mantenimiento

Conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que instalaciones, edificios, industrias, etc. puedan seguir funcionando adecuadamente. Comprende todas aquellas actividades necesarias para que los equipos e instalaciones se mantengan en una condición particular.

1.2.3.1 Objetivos del mantenimiento

En el caso del mantenimiento su organización e información debe estar encaminada a la permanente consecución de los siguientes objetivos:

- Optimización de la disponibilidad del equipo productivo.
- Disminución de los costos de mantenimiento.
- Optimización de los recursos humanos.
- Maximización de la vida de la máquina.

1.2.3.2 ¿Por qué hacer mantenimiento en una empresa?

Porque el mantenimiento representa una inversión que a mediano y largo plazo acarreará ganancias no sólo para el empresario a quien esta inversión se le revertirá en mejoras en su producción, sino también el ahorro que representa tener unos trabajadores sanos e índices de accidentalidad bajos.

El mantenimiento representa un arma importante en seguridad laboral, ya que un gran porcentaje de accidentes son causados por desperfectos en los equipos que pueden ser prevenidos.

1.2.3.3 Finalidad del mantenimiento

Conservar la planta industrial con el equipo, los edificios, los servicios y las instalaciones en condiciones de cumplir con la función para la cual fueron proyectados con la capacidad y la calidad especificadas, pudiendo ser utilizados en condiciones de seguridad y economía de acuerdo a un nivel de ocupación y a un programa de uso definidos por los requerimientos de producción.

1.2.3.4 Tipos de mantenimiento, organización y manejo actuales

1.2.3.4.1 Mantenimiento correctivo

Comprende el que se lleva a cabo con el fin de corregir (reparar) una falla en el equipo. Se clasifica en:

- No planificado
- Planificado

1.2.3.4.1.1 No planificado

Es el mantenimiento de emergencia (reparación de fallas). Debe efectuarse con urgencia ya sea por una avería imprevista a reparar lo más pronto posible o por una condición imperativa que hay que satisfacer (problemas de seguridad, de contaminación, de aplicación de normas, etc.).

1.2.3.4.1.2 Planificado

Se sabe con antelación qué es lo que debe hacerse, de modo que cuando se pare el equipo para efectuar la reparación, se disponga del personal, repuesto y documentos técnicos necesarios para realizarla correctamente.

1.2.3.4.2 Mantenimiento preventivo

Cubre todo el mantenimiento programado que se realiza con el fin de:

- **Prevenir la ocurrencia de fallas**

Se conoce como mantenimiento preventivo directo o periódico - FTM (*Fixed Time Maintenance*) por cuanto sus actividades están controladas por el tiempo. Se basa en la confiabilidad de los equipos, sin considerar las peculiaridades de una instalación dada. Ejemplos: limpieza, lubricación, recambios programados.

- **Detectar las fallas antes de que se desarrollen otras interferencias en producción**

Está basado en inspecciones, medidas y control del nivel de condición de los equipos. También conocido como mantenimiento predictivo, preventivo indirecto o mantenimiento por condición -CBM (condition based maintenance). A diferencia del mantenimiento preventivo directo, que asume que los equipos e instalaciones siguen cierta clase de comportamiento estadístico, el mantenimiento predictivo verifica muy de cerca la operación de cada máquina operando en su entorno real. Sus beneficios son difíciles de cuantificar ya que no se dispone de métodos para el cálculo de los beneficios o del valor derivado de su aplicación. Por ello, muchas empresas usan sistemas informales basados en los costos evitados, indicándose que por cada dólar gastado en su empleo, se economizan 10 dólares en costos de mantenimiento.

En realidad, ambos mantenimientos preventivos no están en competencia, por el contrario, el mantenimiento predictivo permite decidir cuándo hacer el preventivo.

1.2.3.4.3 Mantenimiento de mejora (DOM)

Consiste en modificaciones o agregados que se pueden hacer a los equipos, si ello constituye una ventaja técnica y/o económica y si permiten reducir, simplificar o eliminar operaciones de mantenimiento.

1.2.3.4.4 Mantenimiento de oportunidad

Aprovechando la parada de los equipos por otros motivos y según la oportunidad calculada sobre bases estadísticas, técnicas y económicas, se procede a un mantenimiento programado de algunos componentes predeterminados de aquéllos.

1.2.3.4.5 Mantenimiento productivo total (T.P.M.)

Es un sistema de organización donde la responsabilidad no recae sólo en el departamento de mantenimiento sino en toda la estructura de la empresa "El buen funcionamiento de las máquinas o instalaciones depende y es responsabilidad de todos".

1.2.3.5 Breve historia de la organización del mantenimiento

La necesidad de organizar adecuadamente el servicio de mantenimiento con la introducción de programas de mantenimiento preventivo y el control del mantenimiento correctivo hace ya varias décadas tiene como base, fundamentalmente, el objetivo de optimizar la disponibilidad de los equipos productores. Posteriormente, la necesidad de minimizar los costos propios de mantenimiento acentúa esta necesidad de organización mediante la introducción de controles adecuados de costos.

Más recientemente, la exigencia a que la industria está sometida de optimizar todos sus aspectos, tanto de costos, como de calidad, como de cambio rápido de producto, conduce a la necesidad de analizar de forma sistemática las mejoras que pueden ser introducidas en la gestión, tanto técnica como económica del mantenimiento.

1.2.3.6 Una organización de mantenimiento

Puede ser de diversos tipos, pero en todos ellos aparecen los tres componentes siguientes:

- **Recursos:** comprende personal, repuestos y herramientas, con un tamaño, composición, localización y movimientos determinados.
- **Administración:** una estructura jerárquica con autoridad y responsabilidad que decida que trabajo se harán, y cuándo y cómo debe llevarse a cabo.
- **Planificación del trabajo y sistema de control:** un mecanismo para planificar y programar el trabajo, y garantizar la recuperación de la información necesaria para que el esfuerzo de mantenimiento se dirija correctamente hacia el objetivo definido, la totalidad del sistema de mantenimiento es un organismo en continua evolución, cuya organización necesitará una modificación continua como respuesta a unos requisitos cambiantes.

1.3 Conceptos generales

1.3.1 Definición de análisis de fallas

El análisis de fallas se define como una serie de procesos de mejora continua, diseñado para identificar y categorizar las causas de eventos relevantes que impactan en la seguridad, el ambiente, la producción, la calidad, etc., y para las cuales se deben tomar acciones que involucra en forma sistemática, avanzadas técnicas de diagnóstico, metodologías de análisis y nuevas tecnologías para optimizar la producción industrial y así evitar la recurrencia y ocurrencia de eventos relevantes similares.

El análisis de fallas es la herramienta básica para determinar las causas que generan el advenimiento de fallas, o en su defecto dentro de un conjunto de fallas, la anomalía de mayor peso en cuanto al tiempo operacional, económico y de seguridad. El objeto del análisis de fallas es que permite de la forma más eficiente, segura y económica, obtener la más alta productividad, reducir los costos totales de mantenimiento, y poder alcanzar un nivel de competitividad en los mercados globales.

El mantenimiento ha sufrido grandes cambios, dejando de ser visto como un centro de gastos, para convertirse en un sistema integral que fomenta la creación de valor y la generación de utilidades.

La función del mantenimiento en cada uno de los niveles de su estructura organizativa debe aportar estrategias de mejoramiento, a partir del diagnóstico y análisis de las oportunidades y la evolución del impacto del mantenimiento en la empresa, en sus cuatro áreas fundamentales:

1. Capacidad de producción

- Mejora de la productividad de la planta.
- Aumento de la capacidad de los equipos.

2. Costo de manufactura

- Reducción de tiempos de mantenimiento.
- Reducción de los tiempos de paradas.

3. Seguridad industrial

- Reducción de fallas críticas y catastróficas.
- Mayor seguridad del personal.

4. Satisfacción de los clientes

- Cumplimiento de las entregas.
- Alta calidad de los productos.

Las empresas que han logrado impactar en forma real estas cuatro áreas, pertenecen al privilegiado grupo de la “Categoría de clase mundial”, y el aspecto que las identifica es la aplicación de prácticas comunes denominadas “Las diez mejores practicas”, que son:

- Trabajo en equipo
- Contratista orientados a la productividad
- Integración con proveedores de materiales y servicios
- Apoyo y visión gerencial
- Planificación y programación proactiva
- Mejoramiento continuo
- Gestión disciplinada de materiales
- Integración de los sistemas
- Gerencias de paradas de planta
- Producción basada en la productividad

Los departamentos de mantenimiento de cualquier organización deben prepararse para afrontar los retos de un entorno dinámico propio de una economía globalizada y en constante evolución tecnológica, adoptando esquemas ágiles y flexibles para evolucionar en todos los aspectos de la industria a fin de asegurar su viabilidad futura.

Las fallas nunca se planean y sorprenden a la gente de mantenimiento y producción, porque casi siempre origina producción perdida. Hallar el problema subyacente o la causa de la falla o fallas provee a la empresa una solución al problema y elimina el enigma del porque fallan los equipos. Una vez que se hayan identificado las causas, se puede ejecutar su plan correctivo.

El análisis de fallas es un riguroso método de solución de problemas, para cualquier tipo de fallas, que utiliza la lógica sistemática y el diagrama de árbol, usando la deducción y la prueba de los hechos que conducen a las causas reales. Esta técnica de análisis permite aprender de las fallas y eliminar las causas, en lugar de corregir los síntomas.

El objeto de análisis de fallas es determinar el origen de la falla o fallas, la frecuencia con que aparecen y el impacto que genera, por medio de un estudio profundo de los factores, condiciones, elementos y afines que podrían originarla, con la finalidad de mitigarla o eliminarla por completo una vez tomada las acciones correctivas que sugiere el análisis.

1.3.1.1 Beneficios del análisis de fallas

Los beneficios que se obtiene al aplicar el análisis de fallas son:

- Proporciona la capacidad de reconocer un patrón de fallas y la repetición de las mismas.
- Aumenta la confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad de los equipos.
- Mejora las condiciones de seguridad industrial y evita tiempos improductivos innecesarios.
- Disminuye el número de incidentes, reduce los impactos ambientales y los accidentes.
- Reduce las frustraciones del personal de mantenimiento y operaciones.

1.3.1.2 Causas que se deben tener en cuenta

Existen tres tipos de causas que deben ser identificadas durante el desarrollo del análisis de fallas:

1. **Causa física:** es la causa tangible del porqué está ocurriendo una falla, siempre proviene de una raíz humana o latente. Son las más fáciles de detectar y siempre requieren verificación.
2. **Causa humana:** es producto de errores humanos motivados por sus inapropiadas intervenciones. Nace por la ausencia de decisiones acertadas, que pueden ser por convicción u omiso. Nunca se debe utilizar nombres individuales o grupales cuando se especifica la causa.
3. **Causa latente:** son producto de la deficiencia del sistema de información. Proviene de errores humanos. En ciertas ocasiones afectan más que el problema que se está estudiando, ya que pueden generar circunstancias que ocasionan nuevas fallas.

1.3.1.3 Aplicación del análisis de fallas

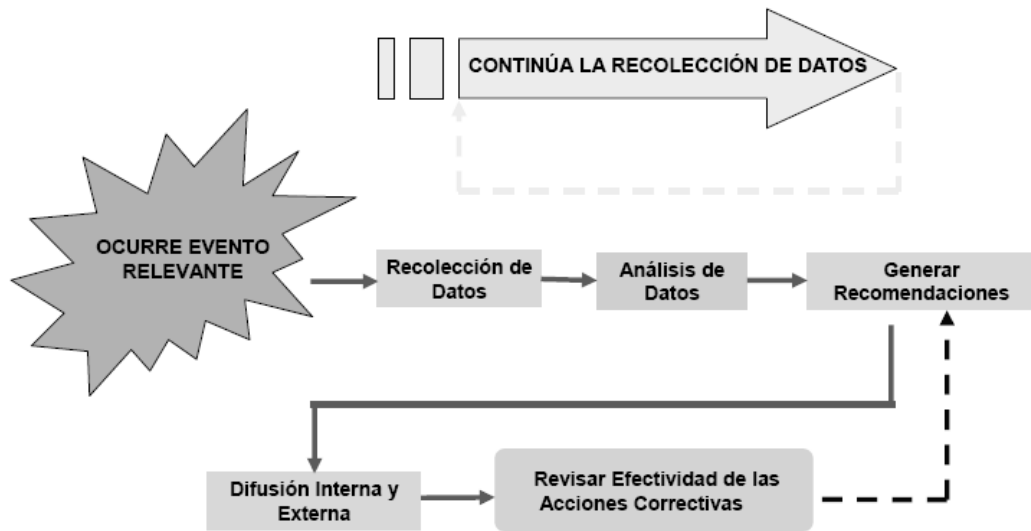
El análisis de fallas se aplica generalmente en problemas puntuales para equipos críticos dentro de un proceso o cuando existe la presencia de fallas repetitivas, por lo tanto se recomienda cuando:

- Se requiere el análisis de las fallas crónicas (repetitivas) que se presentan continuamente, tales como fallas de equipos comunes.
- Se presentan fallas esporádicas (una vez), en procesos críticos, tales como paradas de emergencia, incendios, explosiones, muerte, lesiones importantes o fallas graves poco frecuentes en los equipos.
- Es necesario un análisis de proceso de diseño de nuevos equipos, de aplicación de procedimientos operativos y de supervisión de actividades de mantenimiento.
- Son comunes aspectos operativos tales como: el congestionamiento, interrupción de las operaciones aumento del consumo de energía, corridas mas largas, defectos de calidad e incidentes ambientales.
- Es necesario identificar las deficiencias en los programas de entrenamiento y procedimientos operativos.
- Se tiene la necesidad de analizar diferencias organizacionales y programáticas.

1.3.1.4 Metodología del análisis de fallas

Para aplicar un análisis de fallas se debe tener una definición clara del sistema, para comprender la interrelación existente entre los diversos niveles de un proceso, lo que nos permite a la hora de realizar un estudio, considerar todos los factores, aspectos y condiciones que están presentes en un entorno, ya que cualquiera de ellos puede generar una falla.

Figura 24. Sistema del análisis de fallas



La metodología para implantar un sistema de análisis de fallas esta definida por un procedimiento de trabajo de seis pasos. Este proceso inicia preparando la investigación a realizar y termina con un reporte de los hallazgos.

Paso 1

Identificar los eventos más significativos

En este paso se recolecta la información, se definen las fallas y se calculan las pérdidas debido a las fallas ocurridas. El objeto es determinar cuales son los eventos y fallas más importantes. Esta información se utiliza para analizar los costos de las fallas en una instalación y clasificar los problemas encontrados en orden de importancia económica.

Lo primero que se debe hacer es identificar los problemas específicos que dan el mejor retorno a la inversión. Hay dos tipos de problemas básicos:

- Esporádicos
- Crónicos

Los problemas o eventos esporádicos son aquellos que causan una cantidad considerable de caos cuando aparecen, tienen ciertas características que son importantes y por la naturaleza del problema capturan la atención de todos; individualmente son los más costosos.

Los problemas o eventos crónicos por otro lado, ocurren una y otra vez, y por las mismas razones aparentes. A diferencia de los eventuales, los problemas crónicos tiene la alta frecuencia de ocurrencia y no lleva mucho tiempo para corregirse.

Cuando se considera individualmente cada evento tiene un costo relativamente bajo. Sin embargo, cuando la frecuencia del evento se multiplica por los costos se encuentra que la pérdida total es significativa. Los problemas crónicos ocurren dentro de las situaciones normales y presentan una gran oportunidad de mejoramiento.

La herramienta apropiada es el análisis de Pareto, que afirma que el 80% de los costos de las fallas son causados por el 20 % de las fallas totales. Esta se designa como “las pocas fallas críticas” y son identificadas por los análisis de fallas.

Paso 2

Preservar la evidencia de las fallas

Es la parte en la que se comienza a analizar un problema en específico. La recolección de datos es una parte integral del análisis de fallas. Sin la información de la falla, es virtualmente imposible descubrir la causa.

La metodología de las 5P's se ha desarrollado como un medio de ayuda al analista a recolectar los diferentes tipos de datos. Las 5P's es una sigla para Parte, Posición, Persona, Papel y Paradigmas.

1. Parte:

Equipo o componente que fallo. Rodamiento, tubería, sello, instrumento, cable, motores, bombas, herramientas, etc.

2. Posiciones:

Ubicación física del equipo o componente en falla. Posición física de las máquinas, de los equipos, de los instrumentos, nivel de presión, personal en la hora de ocurrencia, información ambiental, etc.

3. Personal:

Entrevistas al personal involucrado en la falla. Entrevista al personal de mantenimiento, operaciones, administración, manejo, calidad, etc.

4. Papel:

Todos los reportes escritos relacionados con la falla. Reportes de mantenimiento, políticas, planos, cuartos de control, procedimientos, especificaciones, entrenamientos, información del fabricante, históricos, etc.

5. Paradigmas:

Frases comunes que el personal de operaciones usa para evitar investigaciones o desarrollar alguna actividad de mejora. “no tenemos tiempo para un análisis de fallas”, “hemos tratado de resolverlo desde hace muchos años”, “es un equipo viejo y por supuesto falla”, “siempre a funcionado así”, “esto es imposible de resolver”, etc.

Paso 3

Ordenar el análisis

Es la organización del equipo de trabajo y el procedimiento. La forma convencional de formar un equipo de análisis es mediante la asignación de un grupo de persona, que deben ser expertos y tener conocimientos relacionados directamente con los problemas a analizar.

El análisis de fallas debe ser dirigido por un facilitador, que tenga entrenamiento específico en la metodología de análisis de fallas. El resto del equipo lo conforma un grupo multifuncional que varía entre un problema y otro.

El análisis de fallas por lo regular debe incluir:

- El facilitador que dirige el proceso
- Un operador familiarizado con el proceso operativo
- Un técnico en mantenimiento (en equipos mecánicos, eléctricos, o de instrumentación)
- Un supervisor de primera línea
- Un ingeniero (mecánico, eléctrico, químico, o de otra especialidad).

El facilitador no debe estar familiarizado con el evento que se está analizando. Lo único en lo que el analista principal debe ser un experto es en facilitar el análisis. Además debe ser un individuo tenaz. Los facilitadores exitosos son aquellos que facilitan el análisis de falla, sin ser dominantes y sin permitir parar el proceso.

En ocasiones el equipo debe incluir especialistas tales como inspectores, especialistas de proceso, especialista de equipos rotativos, o proveedores. A menudo es necesario involucrar a los niveles altos y medios de la administración. Los expertos, vendedores y contratistas son generalmente irremplazables para generar las hipótesis. Por lo menos debe haber una persona que ignore los eventos de fallas y sirva como crítico constructivo.

Paso 4

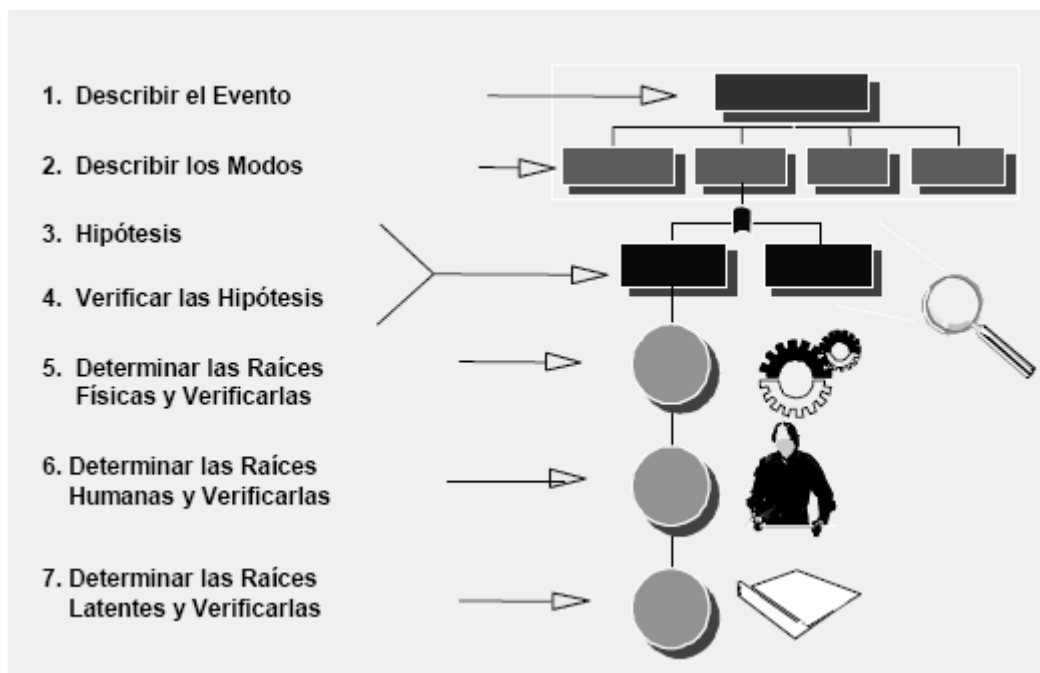
Construir el árbol lógico de fallas

El análisis debe continuar con la construcción estructurada del árbol lógico de fallas con nivel de causa y efecto. El árbol lógico trata estrictamente con datos reales y utiliza la lógica deductiva para trabajar sistemáticamente a través del problema, para llegar a la causa real.

Los pasos para construir un “árbol lógico de fallas” en las aplicaciones de un proceso de análisis de fallas, que se muestra en la figura 25 son:

- Describir el evento de la falla
- Describir los modos de falla
- Hacer una lista de las causas potenciales de fallas y verificarlas
- Determinar y verificar la causa física
- Determinar y verificar las causa humanas
- Determinar y verificar las causas del sistema (latentes)

Figura 25. **Árbol lógico de fallas**



Los dos primeros niveles del árbol lógico consideran todos los “hechos conocidos” del problema a analizar. Estos dos niveles conforman la caja superior y representan la definición de falla. El primer nivel es la declaración del evento, la razón por la que se está analizando el problema. El segundo nivel representa los modos del problema. Se pueden analizar los modos de fallas como las causas aparentes del evento. En el tercer nivel se procede a hipotetizar “como” pudo haber ocurrido. La clave es ser amplio e incluir todo lo posible en las hipótesis. La idea es agrupar las razones (o causas) en categorías generales. En esencia, el árbol lógico debe ir de lo general a lo específico, aplicar la lógica educativa.

El siguiente paso, el más crítico, es la verificación de la hipótesis. Se debe verificar cada hipótesis para ver cual es verdadera y cuales no lo son. La verificación de las hipótesis da la confianza necesaria para llegar a las causas correctas. Este proceso de lógica deductiva y verificación se reitera una y otra vez hasta que todas las causas se determinen acertadamente.

Paso 5

Comunicar los resultados y las comunicaciones

El análisis de fallas y la verificación de las causas, determinan las causas físicas, humanas y del sistema, para cualquier tipo de falla. Comunicar los resultados es el paso esencial para documentar los hallazgos en las investigaciones de análisis de fallas y las recomendaciones asociadas.

Estos hallazgos se deben analizar con el personal apropiado y pueden requerir de reuniones con alta gerencia.

Para que el analista tenga éxitos comunicando sus resultados y haciendo recomendaciones a la administración sobre causas identificadas, primero debe darse cuenta de la posición de la administración con respecto al resultado del análisis. La administración debe ser consiente de la responsabilidad financiera de la empresa.

Un informe general por lo general ayuda a obtener el compromiso de la gerencia para resolver las fallas centrándose en las causas determinadas en la investigación. El costo de implementar los resultados se debe comparar con el costo de las fallas.

Se debe tener en cuenta que las causas identificadas no son negociables. Sin embargo, las recomendaciones pueden ser diseñadas para cumplir los criterios de adaptación preestablecidas.

Paso 6

Hacer seguimiento a los resultados

Parte de la responsabilidad que asume el facilitador del sistema, es analizar la implantación de las recomendaciones y realizar el seguimiento de su ejecución.

Los resultados pueden ser comparados y medidos mediante la reducción en los costos de mantenimiento, el mejoramiento en la tasa de producción la reducción en la tasa de fallas, etc.

El análisis de fallas sería una actividad sin valor agregado si no se actúa sobre las recomendaciones y las soluciones no son implementadas en el tiempo establecido. Después de todo, es demasiado frustrante dar recomendaciones para la solución de problemas, asignar responsabilidades para la implementación, y establecer actividades para su realización y aun así no ver el fruto de los esfuerzos.

Por lo tanto, es primordial que se tome el control de las operaciones en vez de permitir que las operaciones tomen el control de la organización. Para poder obtener los recursos necesarios para dedicar al trabajo futuro, sea trabajo de mejora, corrección o rediseño, se debe analizar los problemas hasta las causas y actuar de acuerdo con sus resultados.

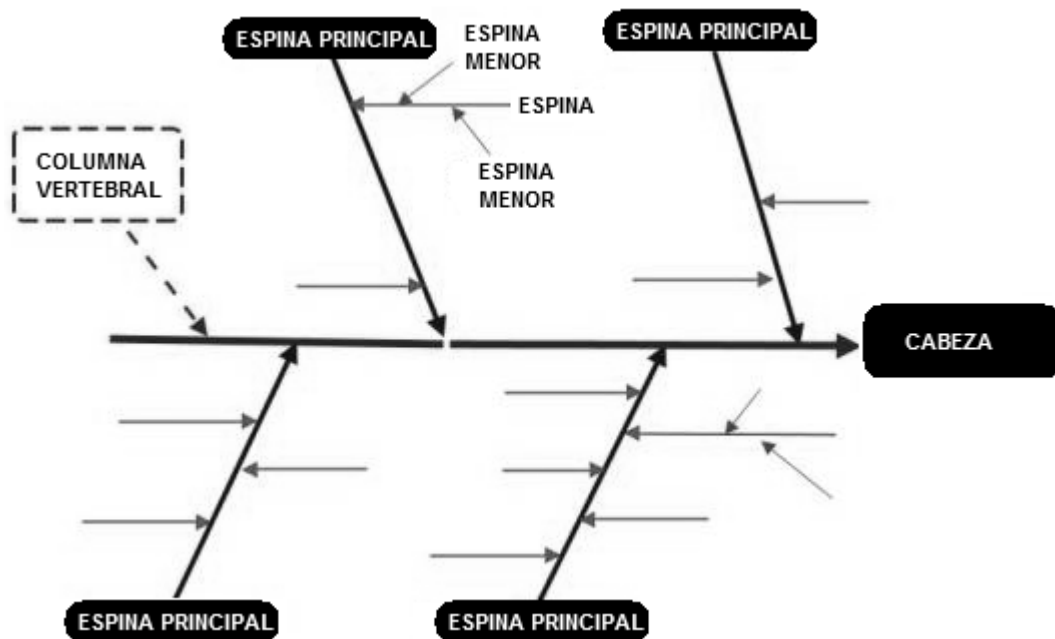
1.3.2 Diagrama de causa-efecto

El diagrama causa-efecto es una forma de organizar y representar las diferentes teorías propuestas sobre las causas de un problema. Se conoce también como diagrama de "Ishikawa" porque fue creado por Kaoru Ishikawa, experto en dirección de empresas interesado en mejorar el control de la calidad; también es llamado "diagrama espina de pescado" por que su forma es similar al esqueleto de un pez.

Está compuesto por un recuadro (cabeza), una línea principal (columna vertebral), y 4 o más líneas que apuntan a la línea principal formando un ángulo aproximado de 70° (espinas principales). Estas últimas poseen a su vez dos o tres líneas inclinadas (espinas), y así sucesivamente (espinas menores), según sea necesario, y se utiliza en las fases de diagnóstico y solución de la causa.

Aunque la mayoría de diagramas causa-efecto se representan de esta manera, estos se pueden elaborar siguiendo otros formatos.

Figura 26. Esquema de un diagrama causa-efecto



El diagrama causa-efecto es un vehículo para ordenar, de forma muy concentrada, todas las causas que supuestamente pueden contribuir a un determinado efecto. Permite, por tanto, lograr un conocimiento común de un problema complejo, sin ser nunca sustitutivo de los datos.

Es importante ser conscientes de que los diagramas de causa-efecto presentan y organizan teorías.

Sólo cuando estas teorías son contrastadas con datos podemos probar las causas de los fenómenos observables. Errores comunes son construir el diagrama antes de analizar globalmente los síntomas, limitar las teorías propuestas enmascarando involuntariamente la causa, o cometer errores tanto en la relación causal como en el orden de las teorías, suponiendo un gasto de tiempo importante.

Los diagramas causa-efecto ayudan a pensar sobre todas las causas reales y potenciales de un suceso o problema, y no solamente en las más obvias o simples. Además, son idóneos para motivar el análisis y la discusión grupal, de manera que el equipo de trabajo pueda ampliar su comprensión del problema, visualizar las razones, motivos o factores principales y secundarios, identificar posibles soluciones, tomar decisiones y, organizar planes de acción.

1.3.2.1 Pasos para construir un diagrama de causa-efecto

1. Identificar el problema

Identifique y defina con exactitud el problema, fenómeno, evento o situación que se quiere analizar. Éste debe plantearse de manera específica y concreta para que el análisis de las causas se oriente correctamente y se eviten confusiones.

Los diagramas causa-efecto permiten analizar problemas o fenómenos propios de diversas áreas del conocimiento. Algunos ejemplos podrían ser: la falta participación de los alumnos del grado 9-A en las votaciones estudiantiles, la extinción de los dinosaurios, la migración de las aves, entre otros. Una vez el problema se delimite correctamente, debe escribirse con una frase corta y sencilla, en el recuadro principal o cabeza del pescado, tal como se muestra en el siguiente ejemplo: bajo rendimiento en matemáticas.

Figura 27. Recuadro principal

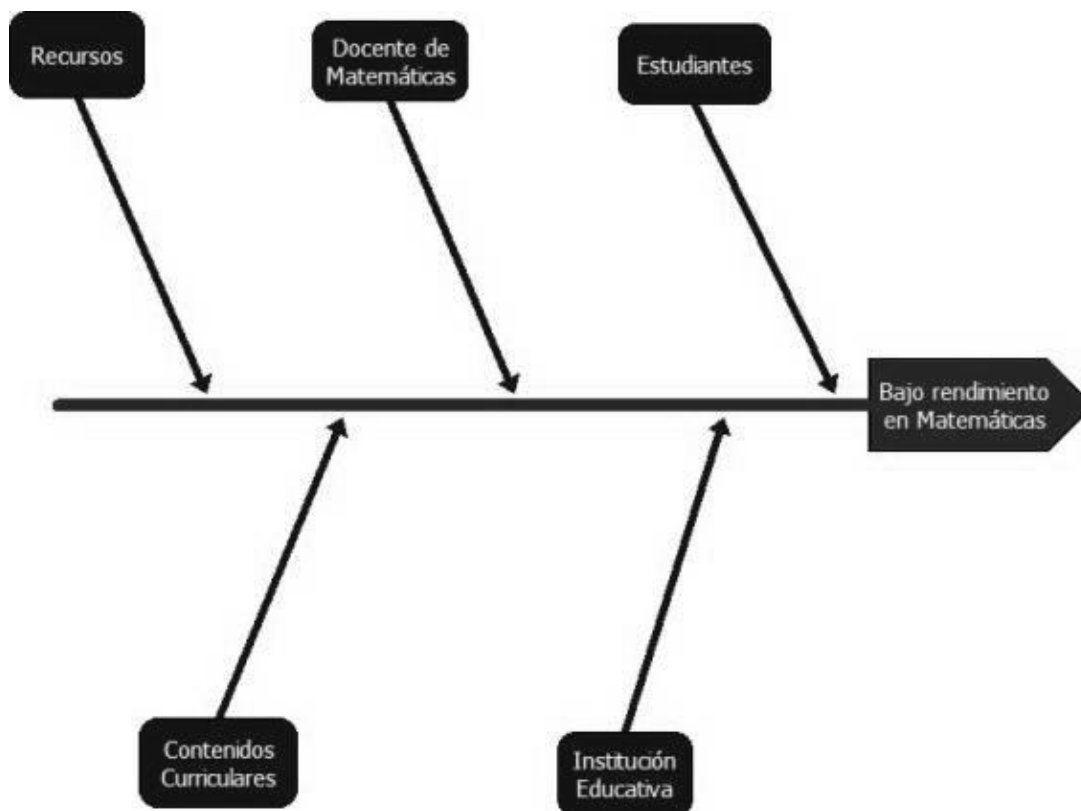


2. Identificar las principales categorías dentro de las cuales pueden clasificarse las causas del problema

Para identificar categorías en un diagrama causa-efecto, es necesario definir los factores o agentes generales que dan origen a la situación, evento, fenómeno o problema que se quiere analizar y que hacen que se presente de una manera determinada. Se asume que todas las causas del problema que se identifiquen, pueden clasificarse dentro de una u otra categoría. Generalmente, la mejor estrategia para identificar la mayor cantidad de categorías posibles, es realizar una lluvia de ideas con el equipo de trabajo. Cada categoría que se identifique debe ubicarse independientemente en una de las espinas principales del pescado.

Siguiendo con el ejemplo, se puede decir que las causas del problema, del bajo rendimiento en matemáticas, pueden clasificarse dentro de las siguientes categorías o factores que influyen en este: a) políticas de la institución educativa; b) docente de matemáticas; c) contenidos curriculares; y d) estudiantes.

Figura 28. Principales categorías



3. Identificar las causas

Mediante una lluvia de ideas y teniendo en cuenta las categorías encontradas, identifique las causas del problema. Éstas son por lo regular, aspectos específicos de cada una de las categorías que, al estar presentes de una u otra manera, generan el problema.

Las causas que se identifiquen se deben ubicar en las espinas, que confluyen en las espinas principales del pescado. Si una o más de las causas identificadas son muy complejas, ésta puede descomponerse en sub-causas. Éstas últimas se ubican en nuevas espinas, espinas menores, que a su vez confluyen en la espina correspondiente de la causa principal.

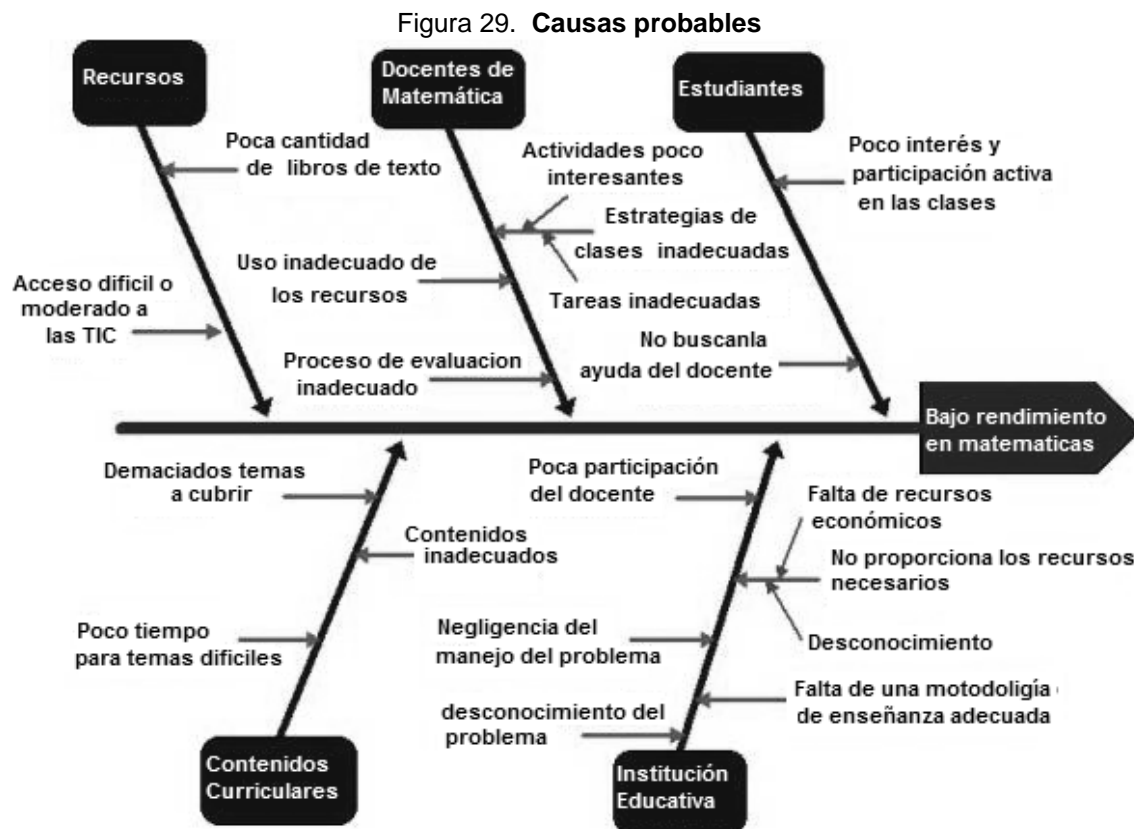
También puede ocurrir que al realizar la lluvia de ideas resulte una causa del problema que no pueda clasificarse en ninguna de las categorías previamente identificadas. En este caso, es necesario generar una nueva categoría e identificar otras posibles causas del problema relacionadas con ésta.

En el ejemplo, se identificaron diferentes causas del problema y se clasificaron en las categorías correspondientes. En el caso de la categoría docente de matemáticas, se estableció que una causa potencial es el uso de estrategias de clase inadecuadas.

Sin embargo, fue necesario establecer sub-causas, ya que existen muchos factores que pueden influir en que una estrategia de clase no sea pertinente. Por ejemplo: plantear actividades poco interesantes y proponer tareas inadecuadas, entre otros.

Por otra parte, se identificó que otra de las posibles causas para que el docente no utilice estrategias de clase adecuadas, es la falta de recursos necesarios para ello.

Sin embargo, esta causa no puede ser clasificada únicamente dentro de la categoría docente de matemáticas, porque el hecho de no usar recursos adecuados para sus clases puede deberse a factores externos a él, por ejemplo, que exista una baja disponibilidad de recursos. Por tal motivo, lo más adecuado fue crear una nueva categoría llamada recursos.



Como es posible observar, el proceso de construcción de un diagrama causa-efecto puede darse en dos vías: en la primera, se establecen primero las categorías y después, de acuerdo con ellas, se determinan las posibles causas; en la segunda, se establecen las causas y después se crean las categorías dentro de las que estas causas se pueden clasificar. Ambas vías son válidas y generalmente se dan de manera complementaria.

4. Analizar y discutir el diagrama

Cuando el diagrama ya esté finalizado, el grupo de trabajo puede discutirlo, analizarlo y, si se requiere, realizarle modificaciones. La discusión debe estar dirigida a identificar la(s) causa(s) más probable(s), y a generar, si es necesario, posibles planes de acción.

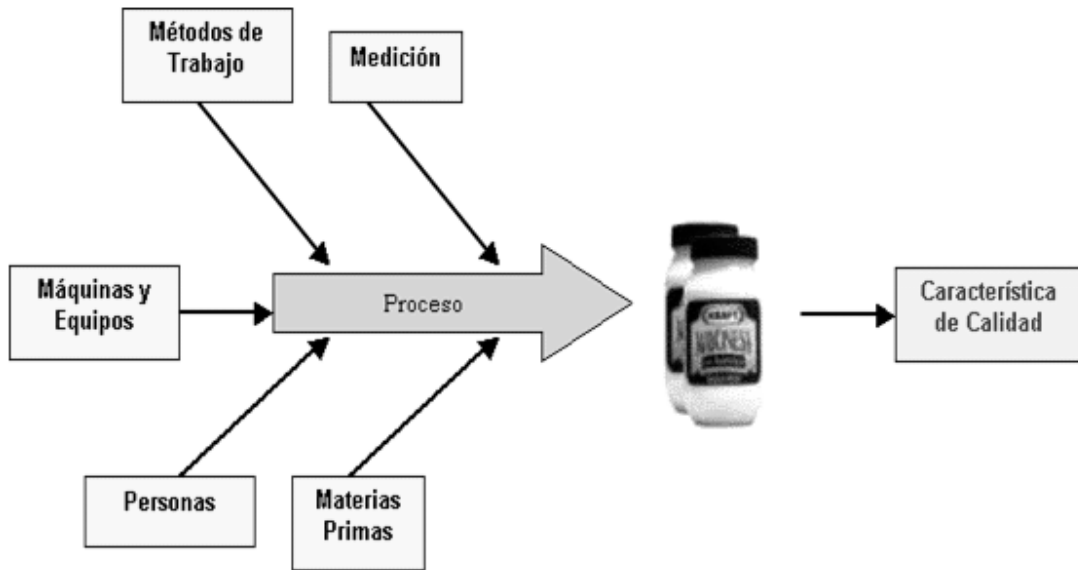
Los diagramas causa-efecto pueden elaborarse tanto con tiza y tablero y/o lápiz y papel, como en la sala de informática mediante el uso de un Software gratuito especializado. Aunque ambas opciones son efectivas, vale la pena resaltar que el uso de software facilita notablemente la elaboración de estos diagramas y de otros organizadores gráficos de aprendizaje visual.

Como se puede observar, la construcción de diagramas causa-efecto es sencilla y promueve el análisis de diferentes aspectos relacionados con un tema.

A continuación se observará como el valor de una característica de calidad depende de una combinación de variables y factores que condicionan el proceso productivo (entre otros procesos).

El ejemplo se basa en el proceso de fabricación de mayonesa, para así explicar los diagramas de causa-efecto:

Figura 30. Diagrama de causa-efecto del proceso de fabricación de mayonesa



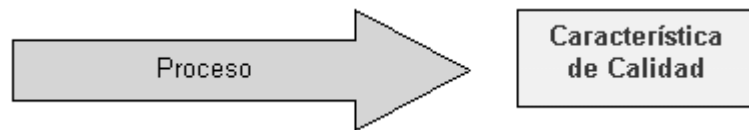
La variabilidad de las características de calidad es un efecto observado que tiene múltiples causas. Cuando ocurre algún problema con la calidad del producto, se debe investigar a fin de identificar las causas del mismo.

Para hacer un diagrama de causa-efecto se siguen los siguientes pasos:

Se decide cuál va a ser la característica de calidad que se va a analizar. Por ejemplo, en el caso de la mayonesa podría ser el peso del frasco lleno, la densidad del producto, el porcentaje de aceite, etc.

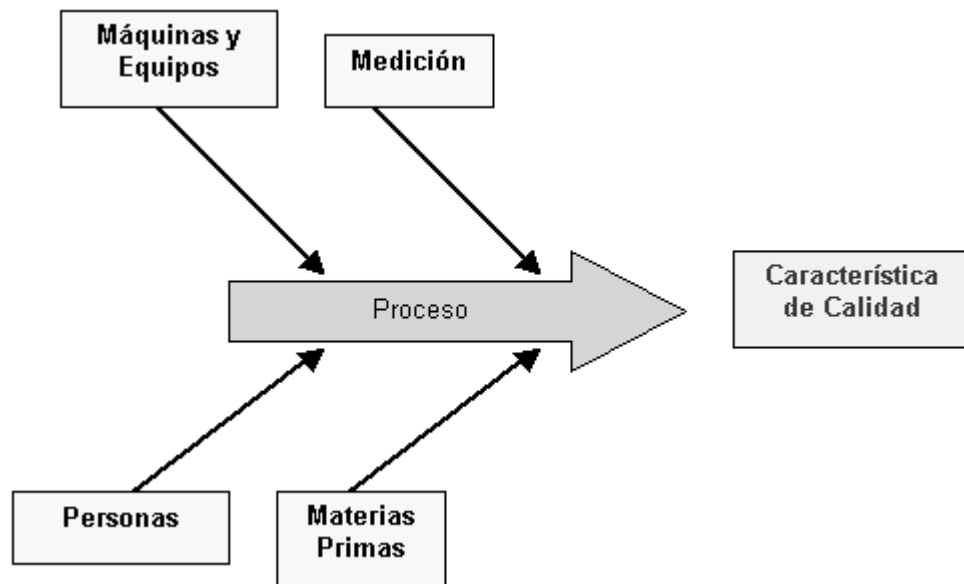
Se traza una flecha gruesa que representa el proceso y a la derecha se escribe la característica de calidad.

Figura 31. Pasos para un diagrama causa-efecto 01



Se indican los factores causales más importantes y generales que puedan generar la fluctuación de la característica de calidad, trazando flechas secundarias hacia la principal. Por ejemplo: materias primas, equipos, operarios, método de medición, etc.:

Figura 32. Pasos para un diagrama causa-efecto 02

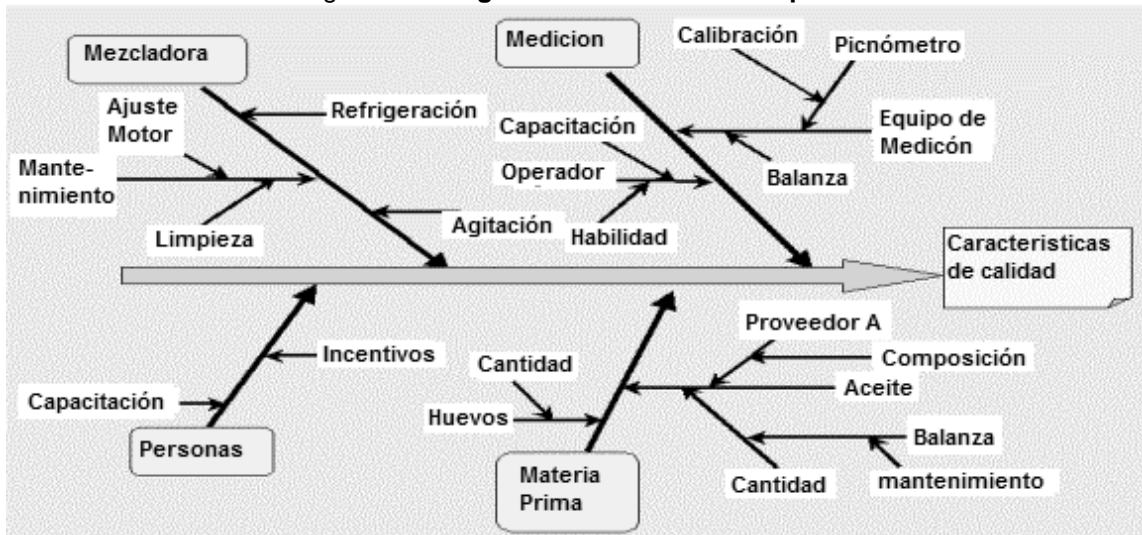


Se incorporan en cada rama factores más detallados que se puedan considerar causas de fluctuación. Para hacer esto, se pueden formular estas preguntas:

- ¿Por qué hay fluctuación o dispersión en los valores de la característica de calidad? Por la fluctuación de las materias primas. Se anota materias primas como una de las ramas principales.
- ¿Qué materias primas producen fluctuación o dispersión en los valores de la característica de calidad? Aceite, huevos, sal, otros condimentos. Se agrega aceite como rama menor de la rama principal materias primas.
- ¿Por qué hay fluctuación o dispersión en el aceite? Por la fluctuación de la cantidad agregada a la mezcla. Agregamos a aceite la rama más pequeña cantidad.
- ¿Por qué hay variación en la cantidad agregada de aceite? Por funcionamiento irregular de la balanza. Se registra la rama balanza.
- ¿Por qué la balanza funciona en forma irregular? Por que necesita mantenimiento. En la rama balanza colocamos la rama mantenimiento.

Así se sigue ampliando el diagrama de causa-efecto hasta que contenga todas las causas posibles de dispersión.

Figura 33. Diagrama causa-efecto completa



Finalmente se verifica que todos los factores que puedan causar dispersión hayan sido incorporados al diagrama. Las relaciones causa-efecto deben quedar claramente establecidas y en ese caso, el diagrama está terminado.

1.3.2.2 Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto es una gráfica en donde se organizan diversas clasificaciones de datos por orden descendente, de izquierda a derecha por medio de barras sencillas después de haber reunido los datos para calificar las causas. De modo que se pueda asignar un orden de prioridades.

El nombre de Pareto fue dado por el Dr. Joseph Juran en honor del economista italiano Vilfredo Pareto (1848-1923) quien realizó un estudio sobre la distribución de la riqueza, en el cual descubrió que la minoría de la población poseía la mayor parte de la riqueza y la mayoría de la población poseía la menor parte de la riqueza. Con esto estableció la llamada "Ley de Pareto" según la cual la desigualdad económica es inevitable en cualquier sociedad.

El Dr. Juran aplicó este concepto a la calidad, obteniéndose lo que hoy se conoce como la regla 80/20. Según este concepto, si se tiene un problema con muchas causas, podemos decir que el 20% de las causas resuelven el 80% del problema y el 80% de las causas solo resuelven el 20% del problema.

Por lo tanto, el análisis de Pareto es una técnica que separa los "pocos vitales" de los "muchos triviales". Una gráfica de Pareto es utilizada para separar gráficamente los aspectos significativos de un problema desde los triviales de manera que un equipo sepa dónde dirigir sus esfuerzos para mejorar.

Reducir los problemas más significativos (las barras más largas en una gráfica Pareto) servirá más para una mejora general que reducir los más pequeños. Con frecuencia, un aspecto tendrá el 80% de los problemas. En el resto de los casos, entre 2 y 3 aspectos serán responsables por el 80% de los problemas.

Usando el diagrama de Pareto se pueden detectar los problemas que tienen más relevancia mediante la aplicación del principio de Pareto (pocos vitales, muchos triviales) que dice que hay muchos problemas sin importancia frente a solo unos graves.

La gráfica es útil al permitir identificar visualmente en una sola revisión tales minorías de características vitales a las que es importante prestar atención y de esta manera utilizar todos los recursos necesarios para llevar a cabo una acción correctiva sin malgastar esfuerzos.

En relación con los estilos gerenciales de resolución de problemas y toma de decisiones, se puede ver como la utilización de esta herramienta puede resultar una alternativa excelente para un gerente de estilo bombero, quien constantemente a la hora de resolver problemas sólo “apaga incendios”, es decir, pone todo su esfuerzo en los “muchos triviales”.

1.3.2.2.1 Algunos ejemplos de tales minorías vitales serían

- La minoría de devoluciones que representa la mayoría de quejas de la clientela.
- La minoría de compradores que representen la mayoría de las ventas.
- La minoría de productos, procesos, o características de la calidad causantes del grueso de desperdicio o de los costos de reproceso.
- La minoría de vendedores que esta vinculada a la mayoría de partes impugnadas.

- La minoría de problemas causantes del grueso del retraso de un proceso.
- La minoría de productos ó servicios que representan la mayoría de las ganancias obtenidas.
- La minoría de elementos que representan al grueso del costo de un inventario.

1.3.2.2 Se recomienda su uso

- Para identificar oportunidades para mejorar.
- Para identificar un producto o servicio para el análisis para mejorar la calidad.
- Cuando existe la necesidad de llamar la atención a los problema o causas de una forma sistemática.
- Para analizar las diferentes agrupaciones de datos.
- Al buscar las causas principales de los problemas y establecer la prioridad de las soluciones.
- Para evaluar los resultados de los cambios efectuados a un proceso (antes y después).
- Cuando los datos puedan clasificarse en categorías.
- Cuando el rango de cada categoría es importante.

1.3.2.2.3 ¿Cuándo se utiliza?

- Al identificar un producto o servicio para el análisis, para mejorar la calidad.
- Cuando existe la necesidad de llamar la atención a los problema o causas de una forma sistemática.
- Al identificar oportunidades para mejorar.
- Al analizar las diferentes agrupaciones de datos (eje: por producto, por segmento, del mercado, área geográfica, etc.)
- Al buscar las causas principales de los problemas y establecer la prioridad de las soluciones.
- Al evaluar los resultados de los cambios efectuados a un proceso (antes y después).
- Cuando los datos puedan clasificarse en categorías.
- Cuando el rango de cada categoría es importante.

1.3.2.2.4 ¿Cómo se utiliza?

1. Seleccionar categorías lógicas para el tópico de análisis identificado (incluir el período de tiempo).
2. Reunir datos. La utilización de una lista de control puede ser de mucha ayuda en este paso.
3. Ordenar los datos de la mayor categoría a la menor.
4. Totalizar los datos para todas las categorías.
5. Calcular el porcentaje del total que cada categoría representa.
6. Trazar los ejes horizontales (**x**) y verticales (**y** primario - **y** secundario).
7. Trazar la escala del eje vertical izquierdo para frecuencia (de 0 al total, según se calculó anteriormente), de izquierda a derecha trazar las barras para cada categoría en orden descendente. Si existe una categoría “otros”, debe ser colocada al final, sin importar su valor.
Es decir, que no debe tenerse en cuenta al momento de ordenar de mayor a menor la frecuencia de las categorías.
8. Trazar la escala del eje vertical derecho para el porcentaje acumulativo, comenzando por el 0 y hasta el 100%.
9. Trazar el gráfico lineal para el porcentaje acumulado, comenzando en la parte superior de la barra de la primera categoría (la más alta).

10. Dar un título al gráfico, agregar las fechas de cuando los datos fueron reunidos y citar la fuente de los datos.

11. Analizar la gráfica para determinar los “pocos vitales”.

1.3.2.2.5 Ejemplo de aplicación

Un fabricante de heladeras desea analizar cuáles son los defectos más frecuentes que aparecen en las unidades al salir de la línea de producción. Para esto, empezó por clasificar todos los defectos posibles en sus diversos tipos:

Tabla II Defecto-detalle del problema

TIPO DE DEFECTO	DETALLE DEL PROBLEMA
Motor no detiene	No para el motor cuando alcanza temperatura
No enfría	El motor arranca pero la heladera no enfría
Burlete Deficiente	Burlete roto o deforme que no ajusta
Pintura Deficiente	Defectos de pintura en superficies externas
Rayas	Rayas en las superficies externas
No funciona	Al enchufar no arranca el motor
Puerta no cierra	La puerta no cierra correctamente
Gavetas Deficiente	Gavetas interiores con rajaduras
Motor no arranca	El motor no arranca después de ciclo de parada
Mala Nivelación	La heladera se balancea y no se puede nivelar
Puerta Def.	Puerta de refrigerador no cierra herméticamente
Otros	Otros Defectos no incluidos en los anteriores

Posteriormente, un inspector revisa cada heladera a medida que sale de producción registrando sus defectos de acuerdo con dichos tipos. Después de inspeccionar 88 heladeras, se obtuvo una tabla como esta.

Tabla III Defecto-detalle del problema-frecuencia

TIPO DE DEFECTO	DETALLE DEL PROBLEMA	FREC.
Burlete Defecto	Burlete roto o deforme que no ajusta	9
Pintura Defecto	Defectos de pintura en superficies externas	5
Gavetas Defecto	Gavetas interiores con rajaduras	1
Mala Nivelación	La heladera se balancea y no se puede nivelar	1
Motor no arranca	El motor no arranca después de ciclo de parada	1
Motor no detiene	No para el motor cuando alcanza Temperatura	36
No enfría	El motor arranca pero la heladera no enfría	27
No funciona	Al enchufar no arranca el motor	2
Otros	Otros Defectos no incluidos en los anteriores	0
Puerta Defecto	Puerta de refrigerador no cierra herméticamente	0
Puerta no cierra	La puerta no cierra correctamente	2
Rayas	Rayas en las superficies externas	4
TOTAL		88

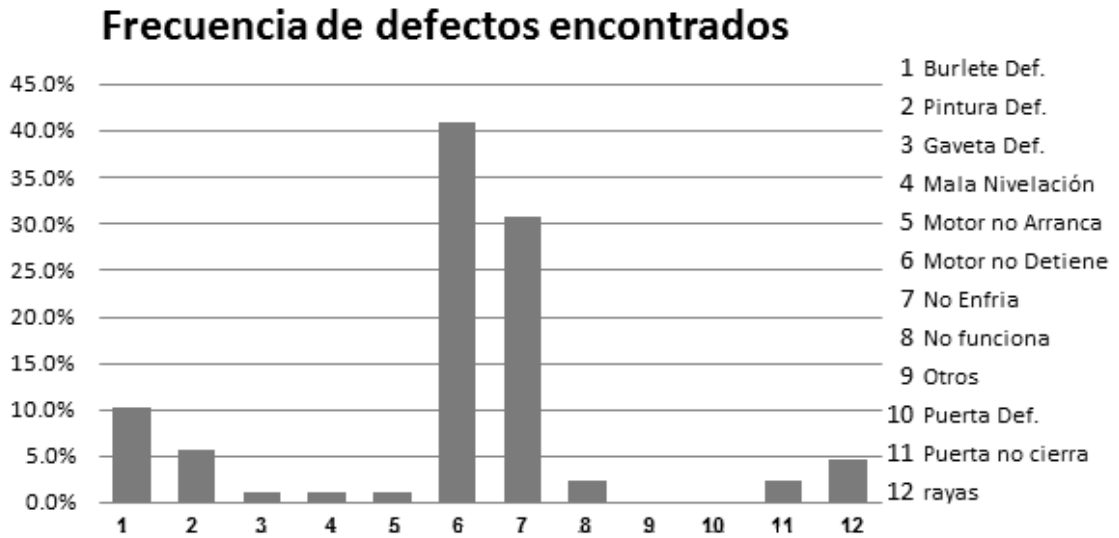
La última columna muestra el número de heladeras que presentaban cada tipo de defecto, es decir, la frecuencia con que se presenta cada defecto. En lugar de la frecuencia numérica podemos utilizar la frecuencia porcentual, es decir, el porcentaje de heladeras en cada tipo de defecto:

Tabla IV Defecto-detalle del problema-frecuencia-porcentaje 01

TIPO DE DEFECTO	DETALLE DEL PROBLEMA	FREC.	%
Burlete Defecto	Burlete roto o deforme que no ajusta	9	10.2
Pintura Defecto	Defectos de pintura en superficies externas	5	5.7
Gavetas Defecto	Gavetas interiores con rajaduras	1	1.1
Mala Nivelación	La heladera se balancea y no se puede nivelar	1	1.1
Motor no arranca	El motor no arranca después de ciclo de parada	1	1.1
Motor no detiene	No para el motor cuando alcanza Temperatura	36	40.9
No enfría	El motor arranca pero la heladera no enfría	27	30.7
No funciona	Al enchufar no arranca el motor	2	2.3
Otros	Otros Defectos no incluidos en los anteriores	0	0.0
Puerta Def.	Puerta de refrigerador no cierra herméticamente	0	0.0
Puerta no cierra	La puerta no cierra correctamente	2	2.3
Rayas	Rayas en las superficies externas	4	4.5
TOTAL		88	100

Ahora se puede representar los datos en un histograma.

Figura 34. Ejemplo de histograma



Ahora bien, ¿cuáles son los defectos que aparecen con mayor frecuencia? Para hacerlo más evidente, antes de graficar se pueden ordenar los datos de la tabla en orden decreciente de frecuencia:

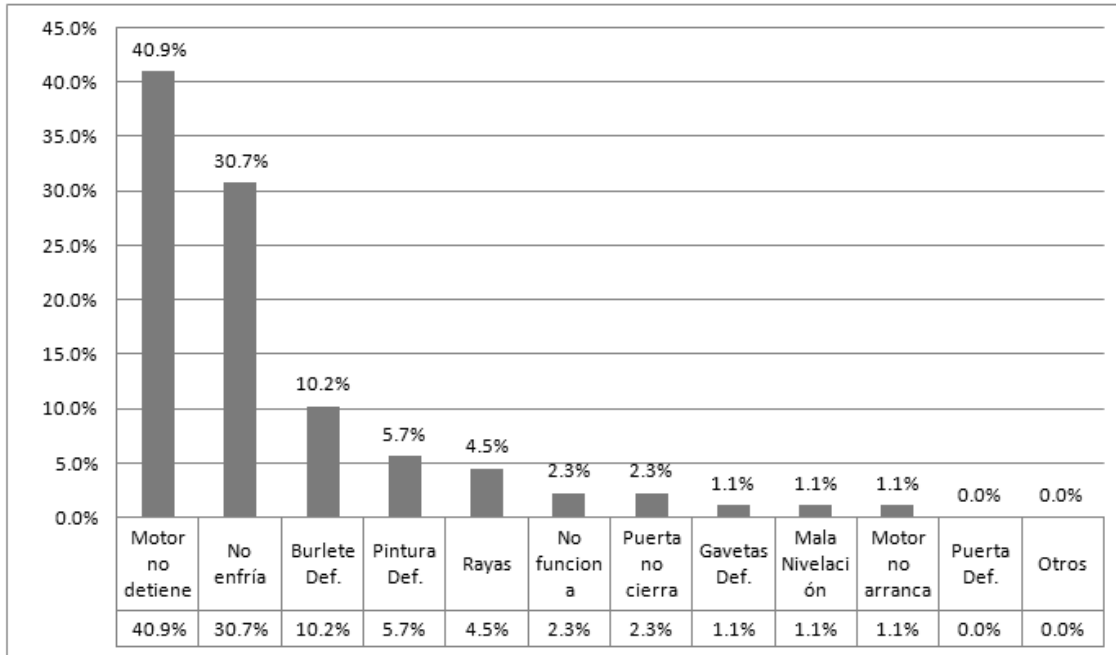
Tabla V Defecto-detalle del problema-frecuencia-porcentaje 02

Tipo de Defecto	Detalle del Problema	Frec.	%
Motor no detiene	No para el motor cuando alcanza Temperatura	36	40.9
No enfría	El motor arranca pero la heladera no enfría	27	30.7
Burlete Deficiente	Burlete roto o déforme que no ajusta	9	10.2
Pintura Def.	Defectos de pintura en superficies externas	5	5.7
Rayas	Rayas en las superficies externas	4	4.5
No funciona	Al enchufar no arranca el motor	2	2.3
Puerta no cierra	La puerta no cierra correctamente	2	2.3
Gavetas Def.	Gavetas interiores con rajaduras	1	1.1
Mala Nivelación	La heladera se balancea y no se puede nivelar	1	1.1
Motor no arranca	El motor no arranca después de ciclo de parada	1	1.1
Puerta Def.	Puerta de refrigerador no cierra herméticamente	0	0.0
Otros	Otros Defectos no incluidos en los anteriores	0	0.0
Total:		88	100

Se puede ver que la categoría “otros” siempre debe ir al final, sin importar su valor. De esta manera, si hubiese tenido un valor más alto, igual debería haberse ubicado en la última fila.

Ahora resulta evidente cuáles son los tipos de defectos más frecuentes. Se puede observar que los tres primeros tipos de defectos se presentan en el 82% de las heladeras, aproximadamente. Por el principio de Pareto, se concluye que: la mayor parte de los defectos encontrados en el lote pertenece sólo a 3 tipos de defectos, de manera que si se eliminan las causas que los provocan desaparecería la mayor parte de los defectos.

Figura 35. Ejemplo de histograma en porcentaje



1.3.3 Árbol lógico de fallas

El análisis de fallas con diagramas de árbol (FTA, por sus siglas en inglés). Fue desarrollado por ingenieros para mejorar la seguridad de los sistemas de misiles. Entendieron que la mayoría de accidentes/incidentes resultan de fallas inherentes a un sistema.

Un sistema consta de personas, equipo, material y factores ambientales. Este sistema realiza tareas específicas con métodos recomendados. Los componentes de un sistema y su ambiente están interrelacionados, y una falla con cualquier parte puede afectar las demás partes.

Un evento negativo puede ser un “por poco” o un “incidente” que podría haber resultado en lesiones personales a un empleado o daños a equipo/propiedad.

1.3.3.1 Diagramas analíticos

Los diagramas analíticos son representaciones gráficas o ilustraciones de un proyecto o evento. Utilizan el razonamiento deductivo ya que empiezan con un evento general o un evento de resultado y elaboran por las ramas a los eventos específicos causantes que tienen que ocurrir para producir el evento general.

Se refiere a los diagramas analíticos como árboles porque su estructura parece la de un árbol, estrecho en lo de arriba con un solo evento y luego echando ramas en el proceso de su desarrollo.

1.3.3.2 Árboles de fallas

Árboles analíticos negativos o árboles de fallas son herramientas excelentes para localizar y corregir fallas. Pueden usarse para prevenir o identificar fallas antes de que ocurran, pero se usan con más frecuencia para analizar accidentes o como herramientas investigativas para señalar fallas. Al ocurrirse un accidente o una falla, se puede identificar la causa raíz del evento negativo.

1.3.3.3 El análisis de fallas con diagramas de árbol

Se analiza cada evento al hacer la pregunta, “¿Cómo es posible que esto suceda?”. Al contestar esta pregunta, se identifican las causas principales y como se interactúan para producir un evento no deseado. Este proceso de lógica sigue hasta identificar todas las causas posibles.

A lo largo de este proceso, se usa un diagrama de árbol para grabar los eventos identificados. Las ramas del árbol terminan cuando estén completos todos los eventos que resultan en el evento negativo. Se usan símbolos para representar varios eventos y para describir relaciones.

1.3.3.3.1 Puerta “Y”

Representa una condición en la cual todos los eventos mostrados debajo de la puerta (puerta de entrada) tienen que estar presentes para que ocurra el evento arriba de la puerta (evento de resultado). Esto significa que el evento de resultado ocurrirá solamente si todos los eventos de entrada existen simultáneamente.

Figura 36. Puerta Y



1.3.3.3.2 Puerta “O”

Representa una situación en la cual cualquier de los eventos mostrados debajo de la puerta (puerta de entrada) llevarán al evento mostrado arriba de la puerta (evento de resultado). El evento ocurrirá si solamente uno o cualquier combinación de los eventos de entrada ocurren.

Figura 37. Puerta O



1.3.3.3 Tipos de símbolos para eventos

1.3.3.3.1. Rectángulo

El rectángulo es el principal componente básico del árbol analítico. Representa el evento negativo y se localiza en el punto superior del árbol y puede localizarse por todo el árbol para indicar otros eventos que pueden dividirse más. Este es el único símbolo que tendrá abajo una puerta de lógica y eventos de entrada.

Figura 38. **Evento rectángulo**



1.3.3.3.2. Círculo

Un círculo representa un evento base en el árbol. Estos se encuentran en los niveles inferiores del árbol y no requieren más desarrollo o divisiones. No hay puertas o eventos debajo del evento base.

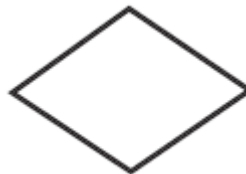
Figura 39. **Evento círculo**



1.3.3.3.3. Diamante

El diamante identifica un evento terminal sin desarrollar. Tal evento es uno no completamente desarrollado debido a una falta de información o significancia. Una rama del árbol de fallas puede terminar con un diamante. Por ejemplo, la mayoría de los proyectos requieren personal, procedimientos y equipo. El desarrollador del árbol tal vez se decida enfocarse en el aspecto de personal del procedimiento y no en los aspectos del equipo o procedimientos. En este caso el desarrollador usaría diamantes para mostrar “procedimientos” y “equipo” como eventos terminales no desarrollados.

Figura 40. **Evento diamante**



1.3.3.3.4. Óvalo

Un símbolo de oval representa una situación especial que puede ocurrir solamente si ocurren ciertas circunstancias. Esto se explica adentro del símbolo del ovalo. Un ejemplo de esto tal vez sea el caso de que si hay que cerrar ciertos interruptores por una secuencia específica antes de ocurrir una acción.

Figura 41. **Evento óvalo**



1.3.3.3.5 Triángulo

El triángulo significa una transferencia de una rama del árbol de fallas a otro lugar del árbol. Donde se conecta un triángulo al árbol con una flecha, todo que esté mostrado debajo del punto de conexión se pasa a otra área del árbol. Esta área se identifica con un triángulo correspondiente que se conecta al árbol con una línea vertical. Letras, números o figuras diferencian un grupo de símbolos de transferencia de otro. Para mantener la simplicidad del árbol analítico, el símbolo de transferencia debe usarse con moderación.

Figura 42. **Evento triangulo**



1.3.3.4 Pasos para el análisis de fallas con diagramas de árbol

1. Definir el evento superior.
2. Conocer el sistema.
3. Construir el árbol.
4. Validar el árbol.
5. Evaluar el árbol.
6. Considerar cambios constructivos.
7. Considerar alternativas y recomiende medidas.

1.3.3.4.1 Defina el evento superior

Para definir el evento superior, se tiene que identificar el tipo de falla que se va a investigar. Esto podría ser lo que haya sido el resultado final de un incidente, tal como el volcarse un montacargas.

1.3.3.4.1.1 Determine todos los eventos no deseados en la operación de un sistema

Separe esta lista en grupos con características comunes. Varios FTA tal vez sean necesarios para estudiar un sistema completamente. Finalmente, un evento debe establecerse que representa todos los eventos dentro de un grupo. Este evento llega a ser el evento no deseado que se va a estudiar.

1.3.3.4.2 Conozca el sistema

Se debe estudiar toda la información disponible sobre el sistema y su ambiente. Puede ser de ayuda un análisis de trabajo para determinar la información necesaria.

1.3.3.4.3 Construya el árbol de fallas

Este paso tal vez sea el más fácil porque se usan solamente pocos de los símbolos y la construcción práctica es muy sencilla.

1.3.3.4.3.1 Principios de construcción

El árbol tiene que construirse al usar los símbolos de eventos nombrados arriba. Debe de mantenerse sencillo. Mantenga un formato lógico, uniforme y consistente de nivel a nivel. Use títulos claros y precisos al escribir dentro de los símbolos de eventos. Las puertas de lógica deben limitarse a “la puerta y” y “la puerta o” y se debe usar símbolos de restricción solamente cuando sea necesario.

Un ejemplo sería el uso del símbolo ovalo de restricción para ilustrar una secuencia necesaria de eventos que tienen que suceder para que ocurra un evento. El triángulo de transferencia debe usarse muy poco o nunca. Mientras más se usa el triángulo de transferencia, más complicado se pone el árbol. El propósito del árbol es mantener el procedimiento tan sencillo como sea posible.

1.3.3.4.4 Valide el árbol

Esto requiere a una persona que sabe mucho del proceso para verificar que el árbol esté completo y exacto.

1.3.3.4.5 Evalúe el árbol de fallas

El árbol ahora necesita examinarse para las áreas donde pueden hacerse mejoras en el análisis o donde tal vez haya oportunidad de utilizar procedimientos o materiales alternativos para disminuir el peligro.

1.3.3.4.6 Considere cambios constructivos

En este paso, cualquier método alternativo que se implementen deben evaluarse más. Esto permite que los asesores vean cualquier problema que esté relacionado con el nuevo procedimiento antes de implementarlo.

1.3.3.4.7 Considerar alternativas y recomiende pasos.

Este es el último paso en el proceso donde se recomiendan acciones correctivas o medidas alternativas.

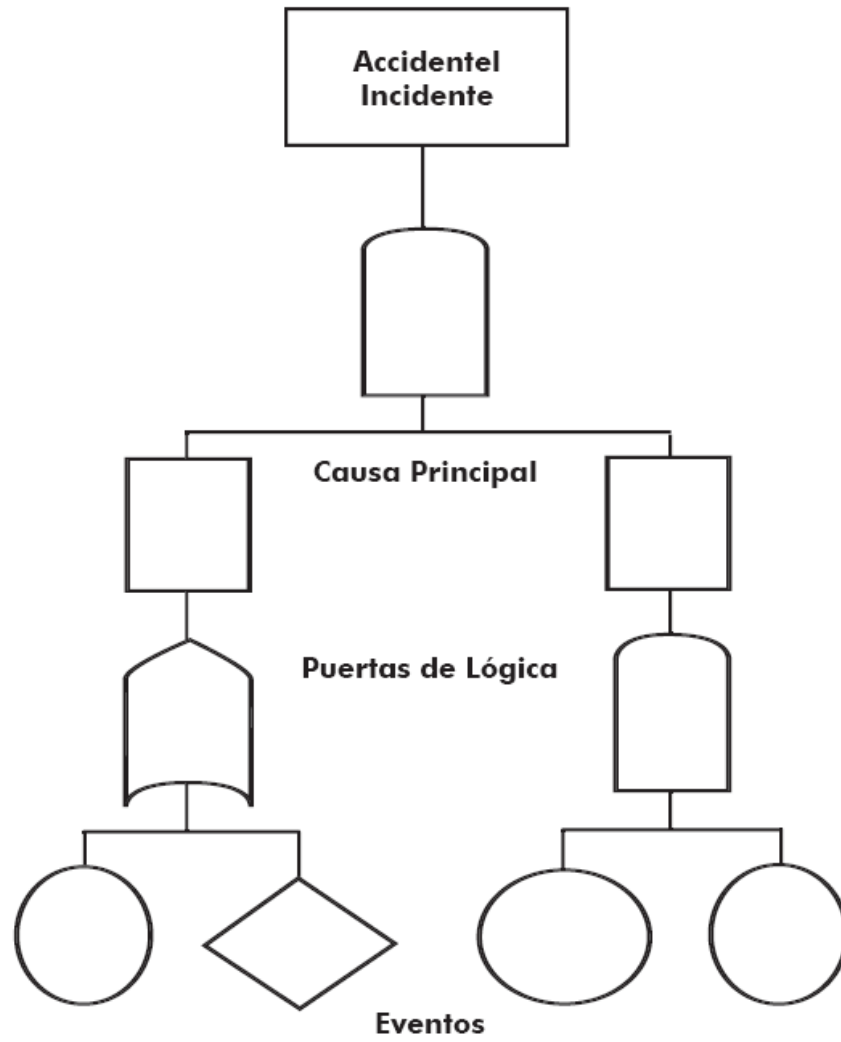
1.3.3.5 Beneficios

La ventaja principal de los análisis de árbol de falla son los datos valiosos que producen que permiten evaluar y mejorar la fiabilidad general del sistema. También evalúa la eficiencia y la necesidad de redundancia.

1.3.3.6 Limitación

Una limitación del análisis de árbol de fallas es que el evento no deseado que se está evaluando tiene que ser previsto y todos los factores contribuyentes a la falla tienen que ser anticipados. Este esfuerzo puede llevar mucho tiempo y puede ser muy caro. Y finalmente, el éxito en general del proceso depende de la habilidad del analista involucrado.

Figura 43. Ejemplo esquemático del diagrama de árbol



1.3.4 Diferentes tipos de fallas

1.3.4.1 Cuándo hay una falla

- Cuando la pieza queda completamente inservible.
- Cuando a pesar de que funciona no cumple su función satisfactoriamente.
- Cuando su funcionamiento es poco confiable debido a las fallas y presenta riesgos.

1.3.4.2 Causas

- Mal diseño, mala selección del material.
- Imperfecciones del material, del proceso y/o de su fabricación.
- Errores en el servicio y en el montaje.
- Errores en el control de calidad, mantenimiento y reparación.
- Factores ambientales, sobrecargas.

Generalmente, una falla es el resultado de uno o más de los anteriores factores.

1.3.4.3 Deficiencia en el diseño

- Errores al no considerar adecuadamente los efectos de las entallas.
- Insuficientes criterios de diseño por no tener la información suficiente sobre los tipos y magnitudes de las cargas especialmente en piezas complejas (No se conocen los esfuerzos a los que están sometidos los elementos).
- Cambios al diseño sin tener en cuenta los factores elevadores de los esfuerzos.

1.3.4.4 Deficiencias en la selección del material

- Datos poco exactos del material (ensayo de tensión, dureza).
- Empleo de criterios erróneos en la selección del material.
- Darle mayor importancia al costo del material que a su calidad.

1.3.4.5 Imperfecciones en el material

Segregaciones, porosidades, incrustaciones, grietas (generadas en el proceso del material) que pueden conducir a la falla del material.

1.3.4.6 Deficiencias en el proceso

- Marcas de maquinado pueden originar grietas que conducen a la falla.
- Esfuerzos residuales causados en el proceso de deformación en frío o en el tratamiento térmico que no se hacen bajo las normas establecidas (temperatura, tiempo, medio de enfriamiento, velocidad).
- Recubrimientos inadecuados.
- Soldaduras y/o reparaciones inadecuadas.

1.3.4.7 Tipos de fallas

- **Fallas por desgaste:** generalmente, se presenta pérdida de material en la superficie del elemento; puede ser abrasivo, adhesivo y corrosivo entre otros. Se puede catalogar como una falla de lubricación (tipo de lubricante).
- **Fallas por fatiga superficial:** debido a los esfuerzos presentes en la superficie y subsuperficie del material.
- **Fallas por fractura:** se puede presentar del tipo frágil o dúctil, su huella debe ser analizada para encontrar el motivo de la falla. La pieza queda inservible, generalmente es causada por el fenómeno de la fatiga.

- **Fallas por flujo plástico:** se presenta deformación permanente del material; es causado por presencia de cargas que generan esfuerzos superiores al límite elástico del material.

1.3.4.7.1 Fallas por desgaste

El desgaste es sinónimo de improductividad y se define como la pérdida de material entre dos superficies que se encuentran en movimiento relativo y que se manifiesta por su funcionamiento errático, siendo necesario en la mayoría de los casos sacar de servicio el equipo rotativo del cual hacen parte esencial, y cambiarle las piezas defectuosas.

Las causas del desgaste no siempre se pueden determinar, conllevando a que en muchos casos sea imposible determinarlas aún cuando el mecanismo se haya lubricado correctamente. El desgaste, cualquiera que sea su origen, finalmente conduce al contacto metal-metal entre las superficies del mecanismo que se encuentran en movimiento relativo y se define como el deterioro sufrido por ellas a causa de la intensidad de la interacción de sus rugosidades superficiales; este tipo de desgaste puede llegar a ser crítico haciendo que las piezas de una máquina pierdan sus tolerancias y el mecanismo funcione de una manera errática ó que fallen catastróficamente quedando inservibles y causando consecuentemente costosos daños y elevadas pérdidas en el sistema productivo de la empresa.

En cualquier caso el desgaste de un mecanismo es indeseable pero es imposible evitarlo ya que aun cuando se controlen las causas que lo originan, no será factible evitar la fatiga del material ya que ésta es una propiedad intrínseca de dicho material y conducirá a que finalmente el mecanismo se tenga que reemplazar.

Si se quiere que las máquinas alcancen sus mayores índices de productividad es necesario lograr que los componentes que las constituyen se cambien por fatiga y no por alguno de los muchos tipos de desgaste que se pueden presentar durante su explotación.

El desgaste genera considerables pérdidas de materiales, recursos y tiempo, con la consiguiente disminución de la producción, conlleva a la pérdida de gran cantidad de medios para su reparación, así como en la elaboración o adquisición de nuevos elementos.

El desgaste es un proceso complejo que se produce en las superficies de los cuerpos debido a la fricción de otro cuerpo o medio, trayendo por consecuencia la variación del micro y macro-geometría superficial; la estructura y las propiedades mecánicas y físicas del material con o sin pérdida de material.

Es el resultado de una interacción superficial de naturaleza dual, y de atracción molecular en los límites de la adhesión y deformación mecánica en los límites del micro-corte.

1.3.4.7.1.1 Tipos de desgaste

Las superficies de los mecanismos lubricados de una máquina se pueden desgastar por causas que pueden ser intrínsecas al tipo de lubricante utilizado, a su tiempo de servicio, a contaminantes presentes en el aceite cuyo origen puede ser de ellos mismos o de fuentes externas, a fallas intempestivas del sistema de lubricación, a sobrecargas debidas a problemas mecánicos u operacionales, y en algunos pocos casos como resultado de una selección incorrecta del equipo rotativo para el tipo de trabajo que va a desarrollar, a un mal diseño ó al empleo de materiales inadecuados para las condiciones de operacionales de la máquina.

Uno de los problemas no resuelto en la temática del desgaste es la designación y clasificación del mismo en las superficies de los cuerpos sólidos; a continuación, se darán los conceptos más utilizados:

- **Desgaste adhesivo**
- **Desgaste erosivo**
- **Desgaste abrasivo**
- **Desgaste corrosivo**
- **Desgaste por cavitación**
- **Desgaste por corrientes eléctricas**

Es necesario aclarar que en la práctica se ponen de manifiesto dos o más tipo de desgaste a la vez, y en determinados momentos uno se transforma en otro.

1.3.4.7.1.1.1 Desgaste adhesivo

También llamado desgaste por fricción o deslizante, se produce debido a la adhesión molecular entre los cuerpos en contacto. Es el más crítico ya que en la mayoría de los casos da lugar a la falla catastrófica del mecanismo lubricado quedando inservible y causando altas pérdidas en el proceso productivo.

Se presenta como resultado del contacto metal-metal entre las superficies del mecanismo lubricado debido al adelgazamiento de la película lubricante en el caso de lubricación fluida ya sea por la presencia de contaminantes en el aceite (agua, gases, combustibles, etc.) o a un bajo nivel de aceite, baja viscosidad ó baja presión en el sistema de lubricación; un alto nivel de aceite, una alta viscosidad y una alta presión en el sistema de lubricación también pueden dar lugar al desgaste adhesivo debido a que el exceso de fricción fluida en el aceite incrementa la temperatura de operación, haciendo que las superficies metálicas sometidas a fricción se dilaten y rocen, rompiendo en un momento dado la película límite.

En la lubricación EHL el desgaste adhesivo se debe al rompimiento de la película límite formada por el aditivo EP del lubricante utilizado.

En el desgaste adhesivo las superficies metálicas de las rugosidades se sueldan al no estar interpuesto un elemento tribológico que las separe, como por ejemplo, un aceite o una grasa en la lubricación fluida o la película límite formada por los aditivos de extrema presión (EP) en la lubricación EHL; las crestas de las rugosidades aunque tengan la capacidad de deformarse elásticamente no lo pueden hacer debido a que están soldadas y al seguir actuando la carga transmitida por el mecanismo hace que se fracturen dando lugar al desprendimiento de partículas o fragmentos metálicos de diferentes tamaños; la energía liberada incrementa la temperatura de operación haciendo que las superficies que se encuentran en contacto metal-metal se aproximen aún más conduciendo finalmente a que el mecanismo se agarrote y la máquina se detenga.

Cuando una máquina arranca o para el desgaste adhesivo, en los mecanismos lubricados es mínimo siempre y cuando la película límite se encuentre en óptimas condiciones, de lo contrario será crítico, si ésta es escasa como resultado de la falta o del agotamiento de los aditivos antidesgaste en el lubricante, en el caso de la lubricación fluida o de los aditivos extrema presión, en la lubricación EHL, ya sea porque se está utilizando un lubricante inadecuado ó porque su vida de servicio ha sobrepasado el tiempo máximo permisible. Este tipo de desgaste en la mayoría de los elementos lubricados no se puede eliminar completamente, pero si se puede reducir considerablemente mediante la utilización de lubricantes que tengan óptimas propiedades de película límite. Cuando la lubricación es fluida el lubricante debe contar con aditivos antidesgaste que trabajen en el proceso de arrancada y parada de la máquina y en lubricación EHL con aditivos de EP que pueden ser ácidos grasos, fósforo, azufre, cloro, bisulfuro de molibdeno, grafito, etc., dependiendo de la generación del aditivo de EP.

La única manera de evitar el desgaste adhesivo en el momento de la puesta en marcha de los mecanismos de un equipo es cuando se utiliza la lubricación hidrostática, pero en la práctica sería imposible y antieconómico colocárselo a todas las máquinas. Si se eliminara el desgaste adhesivo en el momento de la puesta en marcha del equipo, la vida disponible (V_d) de los mecanismos que lo constituyen sería mucho mayor que la esperada (V_e).

1.3.4.7.1.1.2 Desgaste erosivo

Es la pérdida lenta de material en las rugosidades de las dos superficies que se encuentran en movimiento relativo como resultado del impacto de partículas sólidas o metálicas en suspensión en un aceite que fluye a alta presión de un tamaño mucho menor que el mínimo espesor de la película lubricante (h_0). Las partículas aunque sean de menor tamaño al entrar en la zona de alta presión no siguen un movimiento lineal sino que se desordenan chocando con las rugosidades, es posible que cuando empiezan a chocar no causen desgaste, pero si van fatigando las superficies hasta que finalmente dan lugar al desprendimiento de material; un desgaste erosivo lento siempre estará presente aunque el aceite circule a baja presión ya que ningún aceite es completamente limpio aún cuando cumpla con los estándares de limpieza de la norma ISO 4406 de acuerdo con el tipo de mecanismo lubricado. El desgaste erosivo se puede presentar también, ya sea en lubricación fluida o EHL, como resultado del empleo de un aceite de una viscosidad mayor que la requerida debido a que el exceso de capas en la película lubricante "barren" la capa límite que se encuentra adherida a las superficies metálicas haciendo que dichas capas las desgasten por erosión.

Cuando se tienen condiciones de flujo turbulento en la película lubricante se presenta el desgaste erosivo porque la película lubricante se mueve con respecto a las rugosidades, esto se puede presentar como resultado de la utilización de aceites con bajos índices de viscosidad que hacen que la viscosidad del aceite se reduzca considerablemente a la temperatura de operación del equipo, más cuando ésta es alta ó cuando se presentan elevados incrementos en la temperatura ambiente que hacen que las condiciones de flujo de la película lubricante cambien de laminar a turbulento como resultado del incremento en el número Reynolds por encima de 2000.

1.3.4.7.1.1.3 Desgaste abrasivo

La causa de la sustitución del 50% de los elementos de máquinas en la industria y el transporte es el desgaste abrasivo, pudiendo llegar al 85% en caso de la maquinaria agrícola; pero a la vez es la base sobre la cual se sustenta varios métodos de elaboración de materiales, como son: el pulido, esmerilado, el lapeado, etc.

Como desgaste abrasivo se entiende la modificación de las capas superficiales de los cuerpos sólidos producto de la acción de asperezas o partículas libres de alta dureza al deslizarse sobre otra superficie de menor resistencia mecánica. Es consecuencia de la presencia de partículas sólidas o metálicas de un tamaño igual o mayor que el espesor mínimo de la película lubricante y de la misma dureza o superior a la de las superficies metálicas del mecanismo lubricado; el desgaste es mayor en la superficie más blanda.

Las partículas sólidas como el silicio dan lugar a un considerable desgaste abrasivo debido a la elevada dureza de este material.

Cuando las partículas del mismo tamaño que el mínimo espesor de la película lubricante se encuentran entre las dos superficies “ruedan” removiendo la película límite y desprendiendo material de ambas superficies. Cuando son de mayor tamaño se fracturan dando lugar a partículas del mismo tamaño que el mínimo espesor de la película lubricante y de un tamaño menor que propician el desgaste erosivo de dichas superficies metálicas o el abrasivo si la carga que actúa sobre el mecanismo se incrementa o la viscosidad del aceite se reduce ya sea por contaminación con agua o con aceites de menor viscosidad. También es factible que se incrusten partículas en una de las superficies y actúen como una herramienta de corte, removiendo material de la otra.

El desgaste abrasivo en un mecanismo se puede controlar filtrando el aceite de tal manera que se mantenga dentro del código de limpieza recomendado por la norma ISO 4406, de acuerdo con el tipo de mecanismo lubricado; esto quiere decir que el número de partículas cuyo tamaño es mayor que el espesor mínimo de la película lubricante es menor ó igual que el especificado; no significando esto, ausencia de desgaste abrasivo en el mecanismo, sino que éste estará dentro de los valores máximos permisibles para alcanzar la vida proyectada por el fabricante. En la actualidad no es factible eliminar totalmente el desgaste abrasivo debido a la imposibilidad de contar con aceites completamente limpios.

1.3.4.7.1.1.3.1 Causas y mecanismos del desgaste abrasivo

Las causas del desgaste abrasivo son:

- La penetración de las asperezas de alta dureza en las capas superficiales de la otra superficie en contacto.
- La acción y/o penetración de partículas libres de alta dureza; producto del medio o del mismo proceso de desgaste; en las capas superficiales de los elementos de máquina.

Bajos la acción de asperezas o partículas y dependiendo de la forma y dimensiones de las mismas; así como de la relación de dureza, resistencia a la rotura y fluencia, módulo de elasticidad; de las condiciones del medio y de trabajo, de la carga aplicada y del tipo de elemento de máquinas se pueden presentar diferentes mecanismos del desgaste abrasivo:

- Mecanismo de micro-corte

Si la penetración de la partícula abrasiva o aspereza sobrepasa cierto valor; si la partícula presenta cantos vivos; si la dureza del abrasivo es superior a la del material y si se sobrepasa el límite de rotura del material. Se produce el micro-corte de las superficies, generándose partículas de desgaste en forma de limallas o virutas.

- Mecanismo de deformación plástica

Si las partículas son pulidas (sin cantos vivos), tensiones por debajo del límite de rotura del material, bajo grados de penetración, se produce la deformación plástica de las capas superficiales, trayendo como consecuencia la ralladura, arrugado de la superficie con poca generación de partículas de desgaste.

1.3.4.7.1.1.3.2 Tipos de desgaste abrasivo

En dependencia del grado de libertad del grano abrasivo se distinguen dos tipos fundamentales de desgaste abrasivo.

1. Desgaste contacto-abrasivo

Producido por las asperezas o micro-irregularidades superficiales al penetrar y deslizarse sobre el otro cuerpo; conocidos también como desgaste por partículas fijas. Producto de la carga normal y en dependencia de las propiedades mecánicas de los cuerpos sólidos en contacto se produce la penetración de las asperezas del cuerpo más duro o resistente en las capas superficiales del cuerpo menos duro o resistente. Al producirse el movimiento relativo, y debido a que las tensiones producto de la carga normal sobrepasan el límite de resistencia del material menos resistente, se produce el micro-corte de la superficie. La magnitud del desgaste contactos - abrasivo depende de la rugosidad superficial del cuerpo duro y de las propiedades mecánicas del cuerpo blando.

2. Desgaste contaminante-abrasivo

Producido por la acción de partículas libres, proveniente de diferentes medios; las cuales deforman plásticamente y/o cortan las capas superficiales. Al desgaste contaminante abrasivo se le denomina simplemente desgaste abrasivo por ser la forma más difundida de designarlo.

1.3.4.7.1.1.4 Desgaste corrosivo

Puede ser consecuencia del ataque químico de los ácidos débiles que se forman en el proceso de degradación normal del aceite, de la contaminación de éste con agua o con ácidos del medio ambiente o de los ácidos fuertes debidos a la descomposición del aceite cuando está sometido a altas temperaturas; en el primer caso el desgaste corrosivo es lento mientras que en el segundo es crítico siendo por lo tanto la situación que más se debe controlar; tanto los ácidos débiles como los fuertes dan lugar a la formación de ácido sulfúrico.

El desgaste corrosivo se puede evitar si el aceite se cambia dentro de los intervalos recomendados, para lo cual si no se conoce, se le analiza al aceite la acidez mediante la prueba del número ácido total (TAN) o número de neutralización (NN) según el método ASTM D664; este parámetro bajo ninguna circunstancia puede ser mayor que el máximo permisible de acuerdo con el tipo de mecanismo que esté lubricando el aceite.

El desgaste corrosivo se manifiesta inicialmente por un color amarillento y luego rojizo de las superficies metálicas, seguido del desprendimiento de pequeñas partículas que cada vez aumentan su concentración hasta que finalmente causan el desgaste por erosión y por abrasión de las superficies sometidas a fricción, por otro lado los pequeños cráteres que dejan las partículas que se desprenden al unirse forman grietas que pueden producir finalmente la rotura de la pieza.

El desgaste corrosivo cuando se presenta en los materiales ferrosos por la acción del agua se conoce con el nombre de herrumbre y se analiza con la prueba de laboratorio ASTM D665 y en los materiales blancos como el babbitt con la prueba de corrosión en lámina de cobre, y se evalúa con la prueba ASTM D130.

Es muy importante tener en cuenta que aunque el aceite se oxide, los inhibidores de la corrosión presentes en el aceite reducen la concentración de los ácidos disminuyendo la probabilidad de que se presente el desgaste corrosivo en las superficies metálicas.

En los mecanismos que trabajan bajo cargas vibratorias continuas como es el caso de las zarandas se puede presentar un tipo de desgaste que se conoce como desgaste corrosivo por vibración que causa el desprendimiento de pequeñas partículas como resultado de la rotura de la película lubricante y de la presencia de humedad en el ambiente.

Este puede ser el caso de los componentes de los telares textiles que trabajan bajo cargas vibratorias continuas y en ambientes donde es necesario mantener determinadas condiciones de humedad relativa. El desgaste corrosivo por vibración se puede reducir considerablemente o evitar si se utilizan lubricantes con aditivos de extrema presión, siendo los más indicados el grafito ó el bisulfuro de molibdeno.

1.3.4.7.1.1.5 Desgaste por cavitación

Es el fenómeno que se presenta cuando las burbujas de vapor de agua que se forman en el aceite, al circular éste a través de una región donde la presión es menor que su presión de vapor, “explotan” al llegar nuevamente a una región de mayor presión como resultado del cambio de estado de vapor a líquido.

Si las burbujas “explotan” cerca de las superficies metálicas darán lugar a presiones localizadas muy altas que ocasionarán picaduras en dichas superficies. La cavitación generalmente va acompañada de ruido y vibraciones. El desgaste por cavitación se puede evitar incrementando la presión en el sistema ó utilizando aceites con presiones de vapor bajas a altas temperaturas.

1.3.4.7.1.1.6 Corrientes eléctricas

Se presenta por corrientes eléctricas, cuyo origen pueden ser corrientes parásitas u otras fuentes externas, que pasan a través de los mecanismos de un componente equipo lubricado y cuya toma a tierra está defectuosa ó no la tiene causando en ellos picaduras que los pueden dejar inservibles. Este puede ser el caso de los rodamientos de los motores eléctricos y de los cojinetes lisos de turbinas de vapor, gas, hidráulicas, generadores y compresores centrífugos.

1.3.4.7.2 Falla por fatiga superficial

Es el único tipo de falla que no se puede evitar y el cual finalmente hace que el componente se tenga que cambiar. Este se presenta como resultado de los esfuerzos cíclicos que genera la carga al actuar en un punto. Entre mayor sea la temperatura de operación del elemento, el desgaste por fatiga superficial es más acelerado debido a la modificación que sufre la curva esfuerzo-deformación del material que hace que el punto de fluencia se corra hacia la izquierda y que por lo tanto para la misma condición de carga, el mecanismo quede trabajando en la zona plástica y no en la elástica.

La falla por fatiga superficial se presenta de manera típica después de millones de ciclos de deformación elástica y se acelera cuando se tienen temperaturas de operación por encima de los 50 °C, por la aplicación de esfuerzos de tensión y compresión, que superan los del material del mecanismo.

El esfuerzo de fatiga de una aleación corriente de acero es de alrededor de un 50% del esfuerzo límite y de un 75% del esfuerzo elástico, pero puede ser mucho menor en el caso de los aceros más duros tratados térmicamente.

El desgaste por fatiga superficial aparece más rápidamente en los elementos que están sometidos a movimiento de rodadura que por deslizamiento debido a los mayores esfuerzos que soportan, este es el caso de los rodamientos, flancos de los dientes de los engranajes a la altura del diámetro de paso, ejes y las superficies de las levas, entre otros.

En general, las fallas se producen muy por debajo de los esfuerzos que se pueden considerar aceptables en diseño estático y de forma repentina, sin sufrir ninguna deformación que advierta acerca del fallo del material

Este fenómeno ocurre porque hay deformaciones plásticas cíclicas que provocan cambios irreversibles en la dislocación de la micro estructura de los materiales.

El fenómeno de fatiga se produce por lo general en zonas donde el material es más propenso a sufrir deformaciones plásticas, esto se debe a la presencia de efectos como: las inclusiones, porosidades o concentraciones de esfuerzos, los cuales aumentan las probabilidades de formación de fisuras o micro grietas por el efecto cíclico de cargas.

En las zonas donde se inicia la formación de grietas, los materiales pueden soportar cargas mientras no sea excedido el límite elástico de esfuerzo, de lo contrario, se produce una deformación localizada.

En este último caso la grieta puede ser tratada como una perturbación si sus efectos son mínimos, pero si el ataque es severo bajo la acción de esfuerzos aplicados se puede llegar a formar una zona plástica donde la fragilidad de la misma conduce a la propagación de grietas y falla de las piezas o estructuras mecánicas. Se han realizado análisis microscópicamente, los cuales expresan que los efectos de la fatiga en las fibras de la zona de fractura evidencian la formación de núcleos en el origen de los bordes de grano y planos de deslizamiento.

1.3.4.7.2.1 Etapas del proceso de fallas por fatiga

La historia de una grieta que se desarrolla en un componente sometido a fatiga tiene típicamente tres etapas: una de iniciación, una de propagación estable y finalmente una propagación acelerada que conduce a la falla del componente.

- **Etapas I** corresponde a una fase donde se producen los primeros cambios microestructurales, con aumento de la densidad de dislocaciones y formación de microfisuras y posterior localización de las zonas con daño irreversible.

- **Etapa II** en esta se inician las macrogrietas y la formación de fisuras con tamaños similares al tamaño de grano del material, con tendencia a la propagación total de las grietas.
- **Etapa III** se produce un proceso de propagación inestable, provocando la fractura o fallo total de la pieza. La magnitud de la concentración de deformación plástica en el extremo de la grieta controla el radio de crecimiento de la misma.

Figura 44. Crecimiento de fisura por fatiga

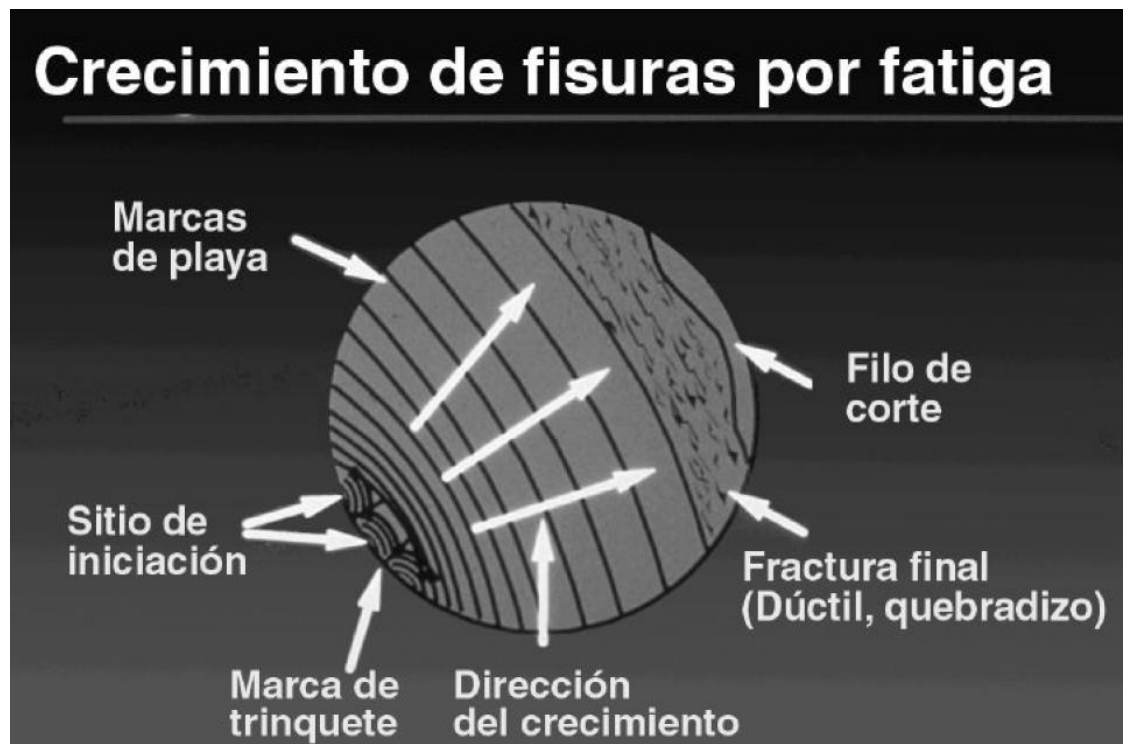
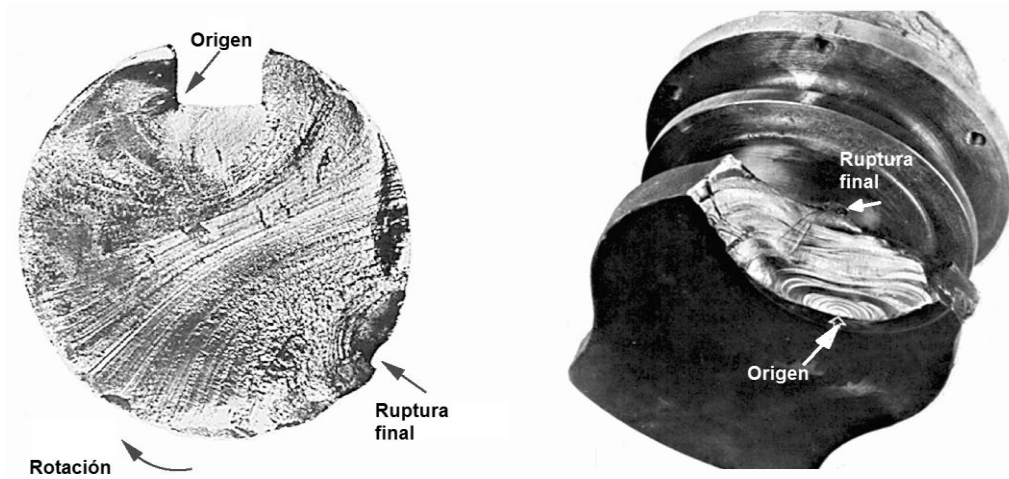


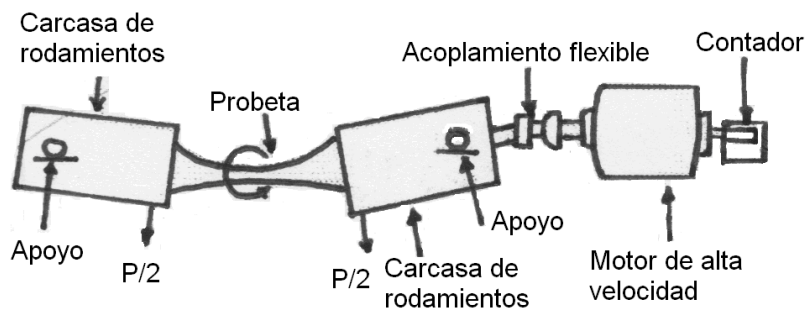
Figura 45. Fallas por fatiga



La duración de cada una de las etapas descritas anteriormente puede variar considerablemente en función del tipo de material, carga aplicada, geometría, temperatura e irregularidades. A menudo resulta difícil distinguir estas etapas antes mencionadas.

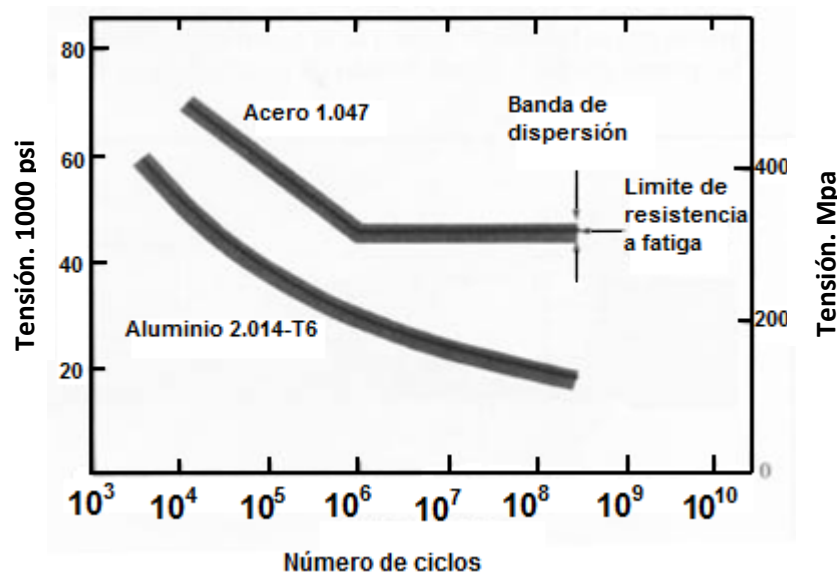
Un esquema de la máquina típica para realizar un ensayo de fatiga se muestra en la figura 46. Aquí la probeta está sujeta a tensiones de compresión y extensión alternas de igual magnitud mientras se rota. Se cuenta el número de ciclos que soporta la muestra antes de fallar y se realiza una gráfica Tensión vrs. número de ciclos (en escala logarítmica)

Figura 46. Ensayo de fatiga



Para los materiales ferrosos, la pérdida de resistencia con el número de ciclos alcanza un límite denominado resistencia a la fatiga ó límite de vida a fatiga. Los materiales no férreos no tienen un límite tan marcado, aunque la velocidad de pérdida de resistencia disminuye con el número de ciclos y en este caso se escoge un número de ciclos tal como para establecer el límite. La resistencia a la fatiga es como la cuarta parte o la mitad de la resistencia a la tracción.

Figura 47. **Curvas de fatiga**



1.3.4.7.3 Falla por fractura

Las fracturas por tensión pueden clasificarse en cuanto a forma, textura y color. Los tipos de fractura, en lo respectivo a la forma, son simétricos: cono y copa, planos e irregulares. Varias descripciones de la textura son: sedosa, grano fino, grano grueso o granular, fibrosa o astillable, cristalina, vidriosa y mate.

Ciertos materiales se identifican efectivamente por sus fracturas. El acero suave en forma de una probeta cilíndrica normal usualmente presenta un tipo de fractura de cono y copa de textura sedosa. El hierro forjado presenta una fractura dentada y fibrosa, mientras que la fractura típica del hierro fundido es gris, plana y granular.

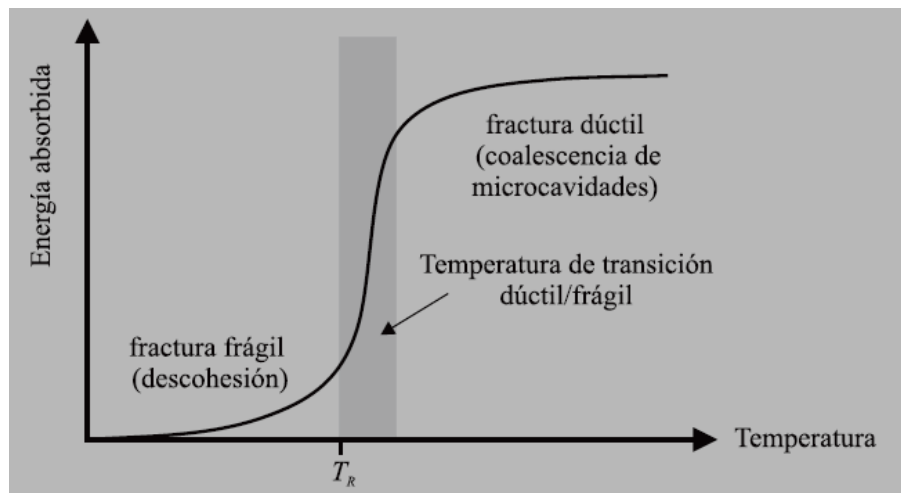
Un examen de la fractura puede arrojar una pista posible de los valores bajos de la resistencia o la ductilidad de la probeta. La carga no axial causara tipos asimétricos. La falta de simetría puede también ser causada por la heterogeneidad del material o un defecto o una falla de alguna clase, tal como la segregación, una burbuja, o una inclusión de material extraña, tal como la segregación, una burbuja, o una inclusión de material extraña, tal como la escoria.

Sobre la superficie fracturada del material que haya sido trabajado en frío o posea una condición de esfuerzo interno, debida a ciertos tratamientos térmicos, frecuentemente existe una apariencia de rayos o vetas que irradian de algún punto cercano al centro de la sección; esta ocasionalmente es denominada “fractura de estrella”. Una descripción de la fractura debe incluirse en cada informe de ensayo, aun cuando su valor sea incidental para las fracturas normales.

Fractura es la separación de un sólido bajo tensión en dos o más piezas. En general, la fractura metálica puede clasificarse en dúctil y frágil. La fractura dúctil ocurre después de una intensa deformación plástica y se caracteriza por una lenta propagación de la grieta.

La fractura frágil se produce a lo largo de planos cristalográficos llamados planos de fractura y tiene una rápida propagación de la grieta.

Figura 48. **Energía de fractura por impacto para un acero al carbono**



1.3.4.7.3.1 Tipo de fallas por fracturas

1. Fractura copa y cono & Fractura plana
2. Fractura dúctil
3. Fractura frágil

1.3.4.7.3.2 Fractura copa y cono & fractura plana

Como resultado de la triaxialidad de tensiones producida por la estricción, se alcanza una situación en la que las pequeñas inclusiones no metálicas que contiene el material en la zona restringida o bien se fracturan o bien se decohesionan de la matriz metálica produciendo micro-huecos que crecen gradualmente al ir progresando la deformación plástica, hasta dañarse.

De este modo se genera una fisura interna plana en forma de disco orientada normalmente a la dirección del esfuerzo aplicado. Finalmente, la rotura se completa por corte a lo largo de una superficie cónica orientada a unos 45° del eje de tracción, dando origen a la clásica fractura copa y cono que se ilustra en la Figura 49.

Figura 49. **Fractura copa y cono**

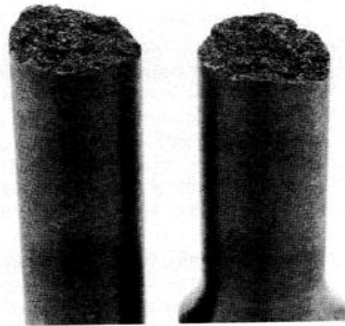


La producción de la rotura a lo largo de la superficie cónica tiene su origen en el hecho que a medida que el vértice de la fisura plana en forma de disco se acerca a la superficie de la barra, se pierde triaxialidad de tensiones porque la tensión normal a la superficie libre es nula.

Por lo tanto, la constricción plástica disminuye y consecuentemente las tensiones de corte a 45° del eje se tornan preponderantes, lo que conduce a la rotura plástica a lo largo de tales planos.

Si el material es frágil, o mediante una entalla superficial se induce un estado de triaxialidad superficial, tiende a suprimirse la zona cónica y se obtiene entonces una fractura plana como puede verse en la Figura 50.

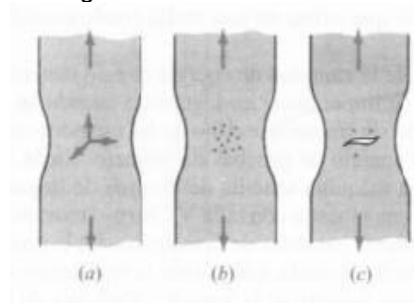
Figura 50. **Fractura plana**



1.3.4.7.3.3 Fractura dúctil

Esta fractura ocurre bajo una intensa deformación plástica. La fractura dúctil comienza con la formación de un cuello y la formación de cavidades dentro de la zona de estrangulamiento. Luego las cavidades se fusionan en una grieta en el centro de la muestra y se propaga hacia la superficie en dirección perpendicular a la tensión aplicada. Cuando se acerca a la superficie, la grieta cambia su dirección a 45° con respecto al eje de tensión y resulta una fractura de cono y embudo.

Figura 51. **Fractura dúctil**

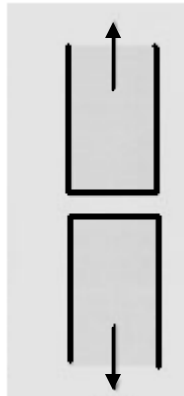


1.3.4.7.3.4 Fractura frágil

La fractura frágil tiene lugar sin una apreciable deformación y debido a una rápida propagación de una grieta. Normalmente ocurre a lo largo de planos cristalográficos específicos denominados planos de fractura que son perpendiculares a la tensión aplicada.

La mayoría de las fracturas frágiles son transgranulares o sea que se propagan a través de los granos. Pero si los límites de grano constituyen una zona de debilidad, es posible que la fractura se propague intergranularmente. Las bajas temperaturas y las altas deformaciones favorecen la fractura frágil.

Figura 52. **Fractura frágil sin deformación plástica**



1.4 Información general sobre análisis de fallas

El análisis de fallas puede significar muchas cosas para la gente con diferentes experiencias. A través de esfuerzos de consultoría y presentaciones de seminarios se puede escuchar a la gente describir el análisis de fallas como el cumplimiento de los requisitos para la confiabilidad de los activos. Esta es una mala interpretación básica que debes aclarar. La confiabilidad es mucho más que la adopción de la metodología del análisis de fallas. Para que la Confiabilidad verdaderamente se convierta en una parte de una cultura, debe ser adoptada como responsabilidad de todos, no solamente de mantenimiento. Debe abarcar no solamente temas de los activos físicos (mecánicos, eléctricos, etc.), deberá cubrir temas relacionados a los procesos de producción y a lo humano.

1.4.1 ¿Qué es el análisis de fallas?

Es una metodología disciplinada que permite identificar las causas físicas, humanas y latentes de cualquier tipo de falla o incidente que ocurren una o varias veces permitiendo adoptar las acciones correctivas que reducen los costos del ciclo de vida útil del proceso, mejora la seguridad y la confiabilidad del negocio.

1.4.2 Pasos del análisis de fallas

1.4.2.1 Paso 1. Definir el problema

Los problemas o eventos no deseables pueden ser definidos con precisión como desviaciones de la norma de rendimiento. Ahora la pregunta es, ¿cómo se puede transformar los problemas en oportunidades? La primera cosa que se debe hacer es identificar los problemas específicos que le darán el mejor retorno en su inversión. Para hacer esto es importante entender que de hecho hay dos tipos de problemas con los que se puede enfrentar; esporádicos y crónicos.

- Los problemas o eventos esporádicos son aquellos que causan una cantidad considerable de caos cuando aparecen, tienen ciertas características que son importantes que notemos, por ejemplo, por la naturaleza del problema capturan la atención de todos (incendios, explosiones, virus en las computadoras, huelgas...)
- Los problemas o eventos crónicos por otro lado, ocurren una y otra vez, y por las mismas razones aparentes. Ocurren tan frecuentemente que son aceptados simplemente como el costo de hacer negocios. El estado normal se mantiene a pesar de su existencia continua. A diferencia de sus contrapartes esporádicas, los problemas crónicos tienen una alta frecuencia de ocurrencia y generalmente no llevan mucho tiempo para ser corregidos.

1.4.2.2 Paso 2. Preservando la información del evento

Preservando los datos del evento es una parte de nuestra metodología. Este es el punto en el que se comienza a analizar un problema o evento específico. La recolección de datos es una parte integral del análisis de fallas. Sin los datos, es virtualmente imposible descubrir las causas del problema. Este escenario es análogo a lo que sería un detective policial investigando en la escena de un crimen. No se puede esperar que el detective resuelva el caso sin pistas.

La primera razón es que la mayoría de la gente no valora los datos para solucionar problemas. Esto es fácil de cambiar mediante la educación de la gente con las razones por las cuales la información necesita ser recolectada y como la misma juega un rol en el análisis.

La segunda razón, y la que se cree de mayor frecuencia, es que la gente tiene miedo de ser culpada si de alguna manera los datos se relacionan con ellos. Esto es lo que se conoce como "cacería de brujas". Las organizaciones deben darse cuenta de que mediante la "cacería de brujas"; por ejemplo, el tener como objetivo un individuo, está perdiendo el conocimiento de la causa real. Cuando uno disciplina a un individuo por haber contribuido con un error al problema, uno pierde información valiosa sobre los demás errores que llevaron al problema. Es muy simple, el análisis de fallas no puede tener éxito mediante el método de la "cacería de brujas".

1.4.2.3 Paso 3. Ordenado el análisis del evento

Ordenando los datos es otra parte de la metodología del análisis fallas. La forma convencional de formar un equipo de análisis es mediante la asignación de un grupo de personas, que son expertos y tienen conocimiento relacionado directamente al evento que se está analizando.

Una vez que el equipo ha sido formado, organizan una tormenta de ideas para poder deducir cómo ocurrió el evento y poder desarrollar recomendaciones para prevenir que el mismo vuelva a ocurrir.

Ante todo, los equipos de este tipo se forman con base en reacción espontánea a un problema. Están respondiendo a un "incidente" que generalmente no pertenece a los "pocos significativos".

Los equipos creados para resolver los problemas generalmente se forman utilizando gente técnica que está muy familiarizada con el evento. Cuando esto ocurre, el mecanismo del pensamiento del equipo normalmente se limita a un cuadrante del cerebro. Esto no promueve el pensamiento "fuera de la caja" porque los miembros del equipo compartirán los mismos paradigmas. Es nuestra intención que la posición de analista principal sea una dedicada de tiempo completo.

1.4.2.4 Paso 4. Analizando el evento

Para analizar un evento o un problema hasta sus causas raíz más profundas “latentes”, se necesita utilizar una metodología disciplinada. Sin una metodología disciplinada, se está destinado a descubrir las causas raíces incorrectas y por lo tanto implementar las soluciones incorrectas a lo que en realidad está causando el problema. Los primeros dos niveles del árbol lógico tienen en cuenta todos los "hechos conocidos" del problema que se está analizando. Nos referimos a estos dos niveles como la caja superior y representan la definición del evento.

La formación de la caja superior es un paso crítico en la creación del árbol lógico, porque si el evento está definido incorrectamente, definitivamente se llegará a las causas incorrectas del problema que se está analizando. El primer nivel de la caja superior es una declaración del evento.

El segundo nivel de la caja superior representa los modos del problema. Estos son los modos que históricamente han ocurrido en el pasado.

1.4.2.5 Paso 5. Comunicando lo encontrado y emitiendo las recomendaciones

Cuando el análisis ha sido completado y se han determinado las soluciones a las causas físicas, humanas y latentes identificadas, es tiempo de convertirse en vendedor.

Para que el analista tenga éxito comunicando sus hallazgos y haciendo recomendaciones a la administración sobre causas identificadas, primero deben darse cuenta la posición de la administración con respecto al análisis.

La administración debe dar cuentas de la responsabilidad financiera de la empresa. Si invierten dinero, este debe tener una ganancia superior a la inversión. Sabiendo esto, es fácil darse cuenta de que la administración tiene algún tipo de criterio en mente de cómo evaluarán las recomendaciones; puede no estar escrito, pero va a estar en sus mentes. Se debe recordar que una de las metas principales es incorporar el análisis de fallas como una parte de la cultura.

Pues se quiere que todos deduzcan lógicamente el porqué del problema. Para lograr apoyo de los demás en el proceso, se necesita que participe tanta gente como sea posible y que sean reconocidos por sus contribuciones.

1.4.2.6 Paso 6. Totalizando los resultados de las recomendaciones tomadas

El análisis de fallas es una actividad sin valor agregado si no se actúa sobre las recomendaciones y las soluciones no son implementadas en el tiempo establecido. Generalmente, la gente es bien intencionada cuando se trata de implementar un plan de acción.

Sin embargo, después de que se desarrolló el plan y los participantes vuelven a sus ambientes, tienden a volver directamente al “surco” reactivo; o sea, el problema del día parece siempre tener prioridad sobre el trabajo de mejora. Los jugadores siguen postergando diciendo: “puede esperar”. ¿Pero realmente puede esperar?

Si todo lo que se hace es trabajo reactivo, nunca habrá progreso. Por lo tanto, es primordial que se tome control de las operaciones en vez de permitir que las operaciones tomen control de uno. Para poder obtener los recursos necesarios que se necesita dedicar al trabajo de mañana; o sea, trabajo de mejora, se debe analizar los problemas hasta las causas y actuar de acuerdo a los hallazgos.

1.4.3 ¿Dónde concluye el análisis de fallas? en el ¿cómo? o en el ¿por qué?

Cuando la mayoría de la gente conduce su versión de un Análisis de de fallas, ¿Hasta dónde llegan? ¿Cómo se aseguran que el problema no repetirá? Estas preguntas son muy realistas cuando somos nosotros mismos quienes nos hallamos en el piso (o en las alturas), trabajando en la solución de un problema bajo la presión de la gerencia directamente tras de nosotros. Si nos consideramos "Detectives de Manufactura", estaremos satisfechos con sólo llegar a los "¿CÓMO? y los ¿POR QUÉ?

Como analistas de fallas, nosotros debemos construir un "caso sólido". Sin embargo, nuestra corte no será un juez o un jurado, sino uno o más gerentes a quienes les debemos demostrar la necesidad de tomar acciones respecto a lo que recomienda el análisis de fallas.

Aún cuando los objetivos son diferentes, los medios de investigación tienen gran similitud. En ambos casos se debe construir un caso sólido para llegar al fin que deseamos. En el caso criminal, la sentencia del culpable. En el caso del analista, la meta es poder implementar nuestras recomendaciones para que no se repita un evento indeseable.

Viéndolo de esta manera, preguntémonos ¿cuál es el papel que desempeñamos? ¿Somos el ingeniero forense que realiza todas las investigaciones, o el fiscal que quiere ganar el caso? ¿Cual es la diferencia?

La función del ingeniero forense será simplemente la de determinar científicamente ¿cómo? ocurrió el evento.

Esto significa que una serie de causas-efectos se sucedieron hasta llegar a un evento no deseable. Su papel es el de probar que cada hipótesis, sucedió o no sucedió. Tal como el científico forense traza un mapa de ¿cómo? ocurrió el crimen y demuestra que sucedió exactamente así.

Ahora se ve el papel del fiscal y los detectives. ¿Cómo entran en la imagen general del caso? Su papel es determinar el ¿por qué?

Los ingenieros forenses les proporcionan las piezas "¿cómo?" del rompecabezas y es a los detectives y al fiscal a quienes les corresponde determinar "¿por qué?" se cometió el crimen o se causó el problema. En otras palabras, ellos deben determinar el motivo por el cuál la persona actuó para cometerlo.

Lo mismo pasa con nosotros en la industria. Usamos nuestra tecnología: por ejemplo monitoreo de vibración, imágenes térmicas infrarrojas, microscopio electrónico, análisis de esfuerzos, de aceite, etc.). Para probar o eliminar las hipótesis, pero toca a los analistas determinar por qué la persona o personas tomaron decisiones o efectuaron acciones que resultaron en un problema o falla. Si no se explora el "¿por qué?", es posible que el ¿cómo? se vuelva a presentar una y otra vez.

1.5 Generalidades de la norma ISO 9001:2000

ISO es un organismo mundial de normalización (*International Standardization Organization*), su función es desarrollar, editar y mantener actualizadas las normas internacionales sobre todo tipo de sistemas, productos y servicios, con el propósito de facilitar intercambios comerciales entre los países, estableciendo un consenso universal de las características y especificaciones mínimas que deben cumplir los productos y servicios.

La norma ISO 9001 es un método de trabajo, que se considera tan bueno, que es el mejor para mejorar la calidad y satisfacción de cara al consumidor. La versión actual, es del año 2000 ISO 9001:2000, que ha sido adoptada como modelo a seguir para obtener la certificación de calidad. Y es a lo que tiende, y debe de aspirar toda empresa competitiva, que quiera permanecer y sobrevivir en el exigente mercado actual.

Estos principios básicos de la gestión de la calidad, son reglas de carácter social encaminadas a mejorar la marcha y funcionamiento de una organización mediante la mejora de sus relaciones internas.

Estas normas han de combinarse con los principios técnicos para conseguir una mejora de la satisfacción del consumidor. Satisfacer al consumidor, permite que este repita los hábitos de consumo, y sea fiel a los productos o servicios de la empresa. Consiguiendo más beneficios, capacidad de permanencia y supervivencia de las empresas a largo plazo.

Como es difícil mejorar la técnica, se recurren a mejorar otros aspectos en la esperanza de lograr un mejor producto de calidad superior. La norma ISO 9001, mejora los aspectos organizativos de una empresa, que es un grupo social formada por individuos que interaccionan.

Sin calidad técnica. No es posible producir en el competitivo mercado presente. Y una mala organización, genera un producto de deficiente calidad que no sigue las especificaciones de la dirección.

Puesto que la calidad técnica se presupone. ISO 9001 propone unos sencillos, probados y geniales principios para mejorar la calidad final del producto mediante sencillas mejoras en la organización de la empresa que a todos benefician.

Toda mejora, redunda en un beneficio de la calidad final del producto, y de la satisfacción del consumidor. Que es lo que pretende quien adopta la norma como guía de desarrollo empresarial.

1.5.1 ISO 9001 principios de la norma de calidad

Estos sencillos principios, se consideran básicos en cualquier empresa que quiera perdurar en el mercado. Aunque no se quiera obtener la certificación. Es recomendable seguir los principios de la norma. Estos mejoran la capacidad de competencia y permanencia de cualquier empresa.

1.5.1.1 Ocho principios básicos de la gestión de la calidad o excelencia

1. Organización enfocada a los clientes

Las organizaciones dependen de sus clientes y por lo tanto comprender sus necesidades presentes y futuras, cumplir con sus requisitos y esforzarse en exceder sus expectativas.

2. Liderazgo

Los líderes establecen la unidad de propósito y dirección de la organización. Ellos deben crear y mantener un ambiente interno, en el cual el personal pueda llegar a involucrarse totalmente para lograr los objetivos de la organización.

3. Compromiso de todo el personal

El personal, con independencia del nivel de la organización en el que se encuentre, es la esencia de la organización y su total implicación posibilita que sus capacidades sean usadas para el beneficio de la organización.

4. Enfoque a procesos

Los resultados deseados se alcanzan más eficientemente cuando los recursos y las actividades relacionadas se gestionan como un proceso.

5. Enfoque del sistema hacia la gestión

Identificar, entender y gestionar un sistema de procesos interrelacionados para un objeto dado, mejora la eficiencia y la eficiencia de una organización.

6. La mejora continua

La mejora continua debería ser el objetivo permanente de la organización.

7. Enfoque objetivo hacia la toma de decisiones

Las decisiones efectivas se basan en el análisis de datos y en la información.

8. Relaciones mutuamente beneficiosas con los proveedores

Una organización y sus proveedores son independientes y una relación mutuamente benéfica intensifica la capacidad de ambos para crear valor y riqueza.

1.5.2 Beneficios de la norma ISO 9001

1.5.2.1 Participación de la administración

Debido a las exigencias que impone la norma ISO 9001, las organizaciones suelen ver que el sector administrativo se involucra más en el sistema de administración de calidad. La administración tiene la obligación de participar en el diseño de la política de calidad y de los objetivos de calidad, debe revisar los datos del sistema de gestión de calidad y tomar las medidas necesarias para asegurarse de que se cumplan los objetivos de calidad, establecer nuevas metas y lograr un progreso continuo.

Una vez implementado el sistema, la organización debe centrarse en el cumplimiento de los objetivos de calidad. La administración recibe información de manera constante, de modo que puede ver los progresos (o la falta de progresos) hacia el cumplimiento de los objetivos, lo que le permitirá tomar las medidas apropiadas. Luego, se lleva a cabo el proceso de evaluación organizado y se implementa un mecanismo de supervisión del desempeño, teniendo en cuenta los objetivos. De este modo, es posible tomar las medidas necesarias de acuerdo con los resultados.

1.5.2.2 Beneficios en la productividad

El aumento de la productividad se alcanza tras la evaluación inicial y la consiguiente mejora de los procesos que se producen durante su implementación, así como también de la mejora en la capacitación y calificación de los empleados. Al disponer de mejor documentación o de un control de los procesos, es posible alcanzar una estabilidad en el desempeño, reducir la cantidad de desperdicio y evitar la repetición del trabajo. Los gerentes reciben menos llamadas por problemas durante las noches ya que los empleados cuentan con más información para resolverlos por sí mismos.

1.5.2.3 Clientes satisfechos

Aumenta el grado de satisfacción de los clientes porque los objetivos que se establecen toman en cuenta sus necesidades. La empresa procura la opinión de sus clientes y luego la analiza con el objeto de lograr una mejor comprensión de sus necesidades. Los objetivos se adaptan de acuerdo a esta información y la organización se torna más centrada en el cliente. Cuando los objetivos se concentran en el cliente, la organización dedica menos tiempo a los objetivos individuales de los departamentos y más tiempo a trabajar en conjunto para cumplir con las necesidades de los clientes.

Todo esto lleva a beneficios económicos, que son la recompensa por el arduo trabajo e inversión en el sistema de administración de calidad.

1.6 Identificación de fallas en las piezas de la maquinaria utilizada en la línea de producción de sacos de polipropileno

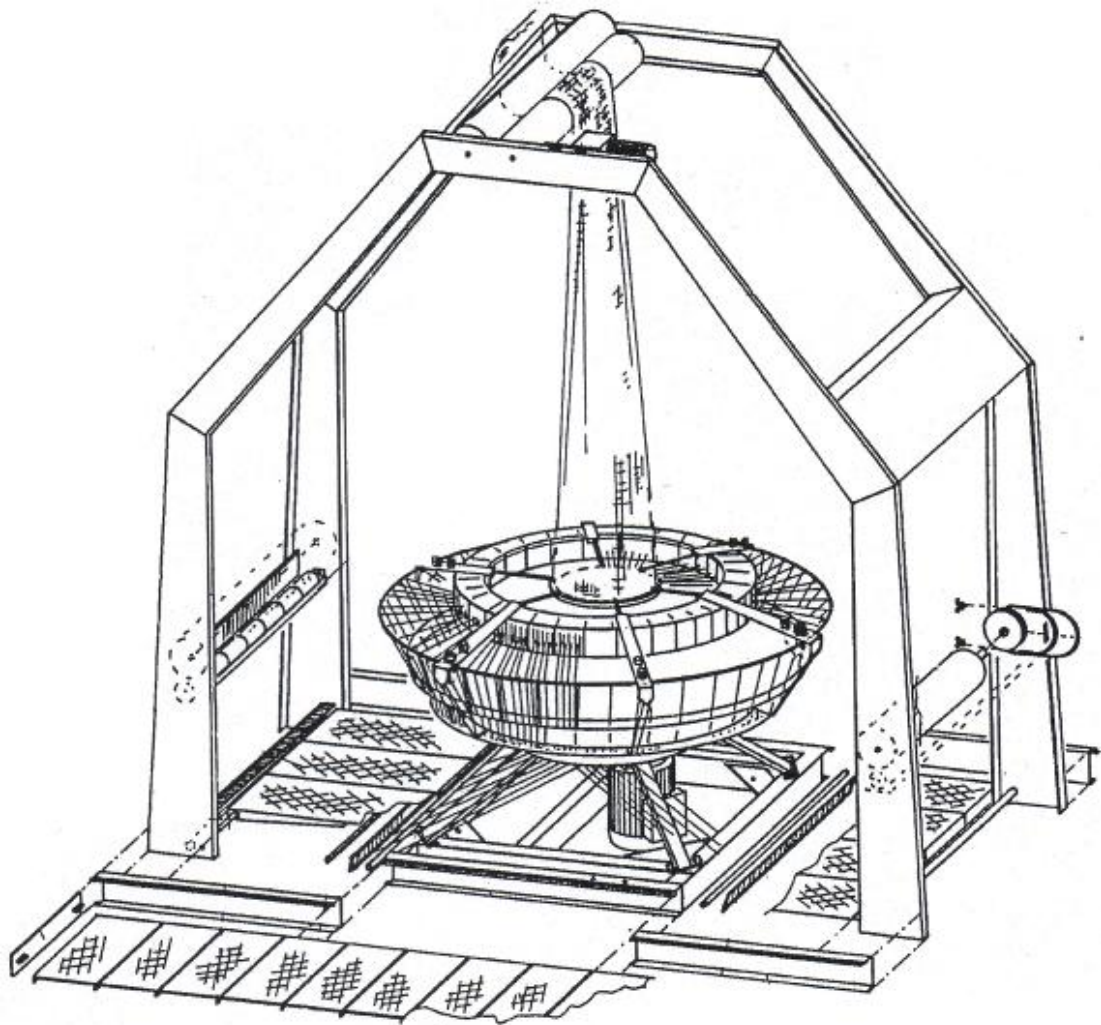
La maquinaria utilizada para producir sacos de polipropileno, en la empresa SACOS AGRO-INDUSTRIALES, se compone de máquinas correspondientes a la firma alemana STARLINGER & CO. La empresa cuenta con un total de 106 telares circulares en funcionamiento de dicha marca, contando con solo 1 telar de la marca FREDERICK en funcionamiento por lo que las fallas diarias que se presenta en el taller de mantenimiento ha ido aumentando dando como tal algo común y tomando estas fallas como crónicas (repetitivas), por lo que el análisis de fallas en estos telares se hace necesario para identificar posibles causas que ocasionan los paros inesperados y el tiempo muerto en mantenimiento.

Tabla VI **Diferentes modelos de telares circulares en la planta de producción**

Modelo	Unidades	Modelo	Unidades
SL-4	48 unidades	Alpha-6	05 unidades
SL-6	34 unidades	Frederick	01 unidades
HDE-4	09 unidades	SL-8	01 unidades
Leno	08 unidades	SL-61	01 unidades

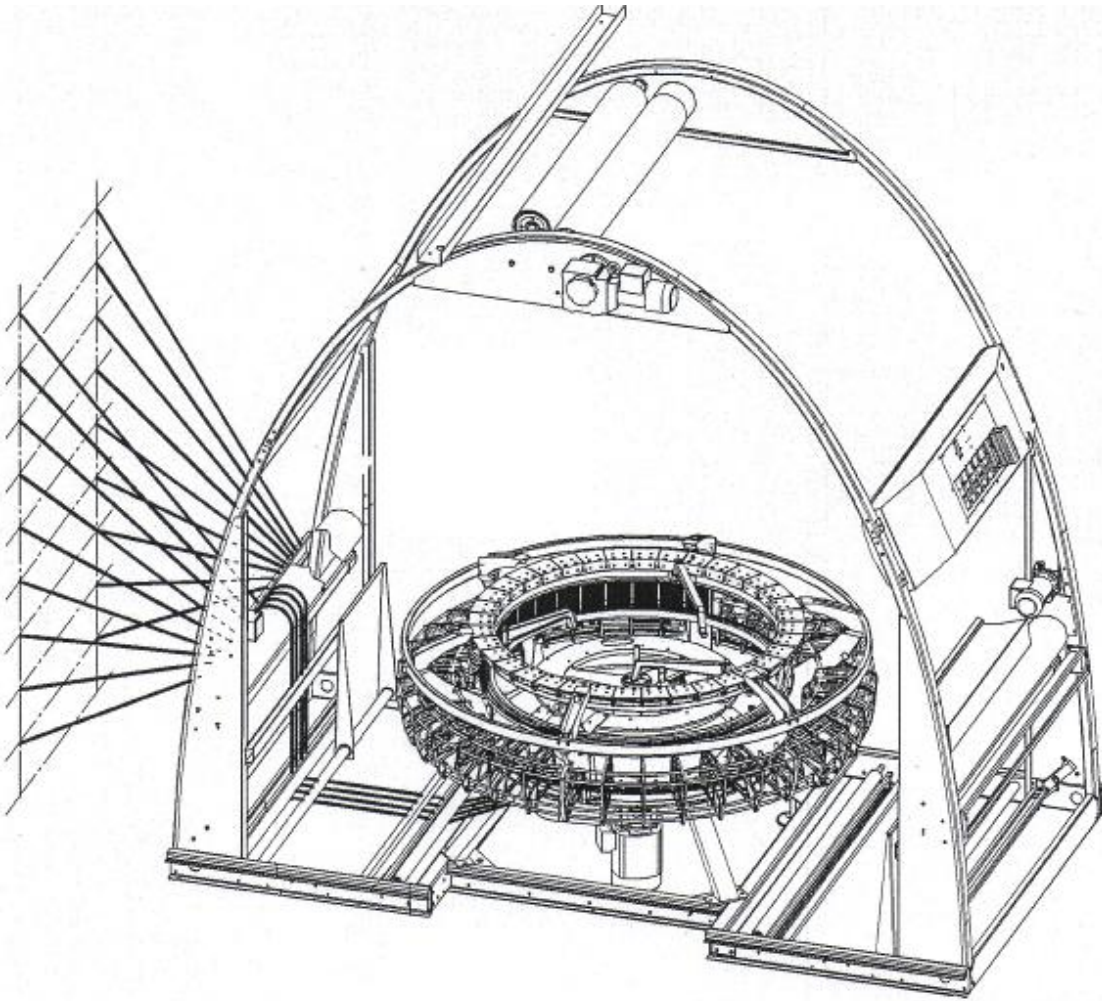
A continuación se muestra los modelos SL-4 y Alpha-6, los modelos faltantes son iguales al SL-4, pero con ligeras modificaciones, siendo los más recientes los Alpha-6.

Figura 53. Telar Circular SL-4, STRARLINGER & CO.



Fuete: Starlinger & Co. **Catálogo de parte de repuesto. Pag.13**

Figura 54. Telar circular Alpha-6, STRALINGER & CO



Fuete: Starlinger & Co. **Catálogo de parte de repuesto. Pag.47**

Tabla VII **Distribución de telares según número de máquina en planta.**

05 al 17	SL-6	83 al 90	SL-6
18 al 22	Alpha-6	91 al 103	SI-4
23 al 26	SL-4	104 al 105	Leno (SLL-4)
27 al 34	SL-4 BB	106 al 112	SL-6
45 al 53	HDE-4	113	Frederick
54 al 63	SL-4	114	SL-8 Jumbo Grande
64 al 67	Leno (SLL-4)	115 al 120	SL-6
68 al 69	Leno (HDE-4)	121	SL-61 Jumbo Peq.
70 al 82	SL-4		

Nota: las máquinas del 1 al 4 y del 35 al 44, no están en servicio.

1.6.1 Descripción técnica de los telares

El telar circular de alto rendimiento fue diseñado específicamente para tejer tela tubular o plana sin fin de cinta de PP, HDPE, LLDPE u otras poliolefinas. Las cintas de urdimbre se llevan al telar desde dos filetas por medio de rodillos, lo que asegura una tensión de urdimbre uniforme, excelente calidad de tela y manejo sin problemas.

Durante la producción, se puede cambiarlas bobinas de urdimbre fácil y rápidamente sin parar el telar: los extremos de las cintas son simplemente atados. La trama es insertada mediante las lanzaderas en un anillo de deslizamiento de la lanzadera construido para este propósito.

Utilizando materiales robustos especialmente desarrollados para el telar circular de alto rendimiento, la masa de piezas en movimiento se ha reducido a un mínimo, asegurando una elevada capacidad de producción, así como una vida de trabajo larga y reduciendo el consumo de las piezas de recambio a un mínimo. El ancho de la tela puede ser modificado simplemente cambiando el anillo del tejido.

La tela tubular pasa por un sistema de calibrado y expansión a un rodillo de arrastre de accionamiento continuo y posteriormente pasa a una bobina de tela. Gracias a la construcción superior del telar circular de alto rendimiento y al hecho que no se utiliza elementos deslizantes, no es necesario ningún sistema de lubricación central, y el telar alcanza elevadas velocidades mientras se minimiza el consumo de energía y se maximiza el rendimiento.

La versión estándar del telar incluye:

- **Dos filetas:** a proveer de las bobinas de urdimbre.
- **Sistema de alimentación de urdimbre:** consiste en rodillos de entrada e intermedios para asegurar la entrada suave de las cintas en la máquina así como para mantener una tensión de urdimbre uniforme.
- **Sistema de detector de rotura de urdimbre:** cada cinta atraviesa un compensador que es responsable de la compensación de longitud de la cinta y que detiene la máquina automáticamente si una cinta rota hace contacto. La rotura de urdimbre es indicada por una de las lámpara piloto colocadas en los sectores de la circunferencia del telar.

- **Sistema detector de rotura de trama:** un sensor magnético monitoriza la máquina y la detiene en caso de una rotura de cinta de trama. La velocidad de arrastre se reduce automáticamente para evitar un fallo visible en la trama.
- **Seis unidades de control manual:** consiste en una tecla de avance, de paro y de arranque. Las unidades de control son fácilmente accesibles al personal operario desde cada punto alrededor del telar.
- **Sistema de accionamiento principal:** un eje central es accionado vía correas en V por un motor CA. La excéntrica rotativa controla el movimiento de calado y acciona las lanzaderas.
- **Transportador de tela:** la velocidad del transportador de tela es infinitamente variable. La densidad de trama deseada puede ajustarse por medio de teclas en el controlador del telar y también puede modificarse durante el funcionamiento de la máquina. Cuando se enhebra el telar, se puede operar el sistema de arrastre apretando el botón sin arrancar la máquina.

Accesorios incluidos con el modelo estándar:

- **Sistema de alimentación accionado eléctricamente:** mantiene constante en la tensión de urdimbre en la máquina.
- **Dispositivo automático de comprensión de la trama:** en caso de rotura de trama, la velocidad de arrastre se reduce automáticamente para evitar fallos de trama visible en el tejido.

- **Un anillo de tejido con guía circular:** se proporciona con las dimensiones requeridas.
- **Dispositivo de monitorización para extremos de cintas de trama con sensor de color:** el color del canuto tiene que contrastar con el color de la cinta. La máquina se detiene automáticamente antes del fin de la cinta de trama.
- **Control de proceso para telar:** la unidad de control computarizada central del telar sirve para:
 1. Ajustar la velocidad de la máquina (inserción de la trama),
 2. Ajustar la densidad de la trama,
 3. Ajustar los metros que se desean bobinar en la bobina de la tela,
 4. Permitir el control manual de la velocidad de arrastre sin arrancar la máquina, y es suministrada con las siguientes indicaciones de los datos de máquina:
 - Contador de metros para 4 turnos
 - Indicador de velocidad de trama
 - Contador de las horas de servicio
 - Indicador de la velocidad de arrastre
 - Indicador del cambio de bobina
 - Indicación de fallo
 - Rendimiento en porcentaje
 5. Sistema de evaluación de la máquina-este modulo determina los siguientes datos adicionales para cada turno y los evalúa:
 - Tiempo de puesta de servicio de la máquina
 - Tiempo de operación de la máquina
 - Número de cintas de urdimbre rotas

- Número de cintas de tramas rotas
- Rendimiento en porcentaje

Las distintas indicaciones se pueden recoger en varios idiomas y en el sistema métrico o sistema inglés (pulgadas).

- **Almacenaje de bobinas por encima de la entrada**
- **Bobinador de superficie:** sirve para bobinar el tejido tubular o la tela plana en los mandriles. Los rodillos de accionamiento con recubrimiento anti-deslizante asegura la producción de bobinas de telas sin pliegues. La tensión de bobinado se puede controlar con variabilidad infinita.

1.6.2 Accesorios especiales

- **Segundo bobinador de superficie, montado sobre el otro:** para bobinar dos telas planas en los mandriles. Los rodillos de accionamiento con recubrimiento anti-deslizante asegura la producción de bobinas de tela sin pliegues. La tensión de bobinado ajustable con variabilidad infinita.
- **Dispositivo de soldadura Stacosonic que usa el corte en frío:** para cortar un tejido tubular con un borde lizo reforzado. Es soldado por ultrasonido y a continuación es cortado en frío. Esto asegura un borde limpio, no deshilachado del tejido sin producir calor.

- **Dispositivo de soldadura Ultrasonic que usa el corte en frío:** para cortar un tejido tubular. Es soldado por ultrasonido y a continuación es cortado en frío. Esto asegura un borde limpio, no deshilachado del tejido sin producir calor.
- **Dispositivo de corte térmico:** con control de temperatura ajustable con variabilidad infinita, diseñado para el corte longitudinal de los tejidos tubulares de poliolefina y el sellado simultáneo del borde del tejido.
- **Dispositivo de despliegue con bobinador de superficie:** dispositivo especialmente diseñado para desplegar el tejido tubular y convertirlo en tejido plano. Después, el tejido plano desplegado es bobinado en los mandriles. Los de accionamiento –con recubrimiento anti-deslizante- del bobinador de superficie asegura la producción de bobina de tela sin pliegues. La tensión de bobinado es ajustable con variabilidad infinita.
- **Dispositivo de fuelle:** para plegar fuelles de máx. 10 cm en ambos lados de la tela. La profundidad del fuelle se puede ajustar de forma continua.
- **Dispositivo de monitorización para extremos de cintas de trama con barrera de luz:** con barrera del luz y canuto con cintas reflectoras. La máquina está detenida automáticamente antes del fin de la cinta de trama.

1.6.3 Datos técnicos

Tabla VIII **Datos técnicos**

Ancho de trabajo, doble plano con inserción de trama reducida	300-859 mm 300-400 mm 700-850 mm
Número de lanzadera	según modelo
Densidad de trama Inserción de trama	20-75 picadas/min 1000 picadas/min
Velocidad	166.6 rpm (lanzadera)
Bobina de trama Diámetro interno del canuto Longitud del canuto Diámetro máx. de la bobina de trama. Longitud transversal	35 mm 218 mm 115 mm 200 mm
Bobina de urdimbre Diámetro interno del canuto Longitud del canuto Diámetro máx. de la bobina de trama. Longitud transversal	35 mm 2218 mm 160 mm 200 mm
Número de cintas	576 piezas
Posiciones de filetas	576 piezas
Bobinador de superficie (equipo estándar) Ancho de tela Diámetro máx. de bobina Potencia nominal de motor	850 mm 1200 mm 0.25 kW
Bobina de superficie, montados uno sobre el otro (equipo especial)	
Ancho de la tela Diámetro máx. de bobina Potencia nominal de motor	850 mm 1200 mm 0.25 kW

Continuación Tabla VIII	
Bobinador de superficie con dispositivo de despliegue (equipo especial)	
Ancho de la tela	1700 mm
Diámetro máx. de bobina	1000 mm
Potencia nominal de motor	0.25 kW
Espacio requerido	
Longitud con bobinador de superficie (estándar)	10330 mm
Longitud con dos bobinadores de superficie, montado uno sobre el otro (equipo especial)	10380 mm
Longitud con bobinador de superficie con dispositivo de despliegue (equipo especial)	10330 mm
Ancho (con instalación simple)	2950 mm
Espacio con instalación de varias máquinas	2300 mm
Espacio con instalación de varias máquinas con dispositivo de despliegue	2950 mm
Altura	3100 mm
Datos eléctricos	
Potencia nominal del motor principal	3 kW
Consumo medio de energía aprox.	2.2 kW
Potencia conectada	4.9 kVA
Emisión de ruidos.	
Nivel de ruidos	92 dB (A)

Fuente: Starlinger & Co. **Catálogo de parte de repuestos. Pag. 9 y 10**

Nota: los telares no son apropiados para una instalación exterior, la temperatura ambiente para las áreas de producción y de almacenamiento tiene que ser entre 18 °C y 40 °C.

1.6.4 Instalación de un telar circular con bobinador de superficie

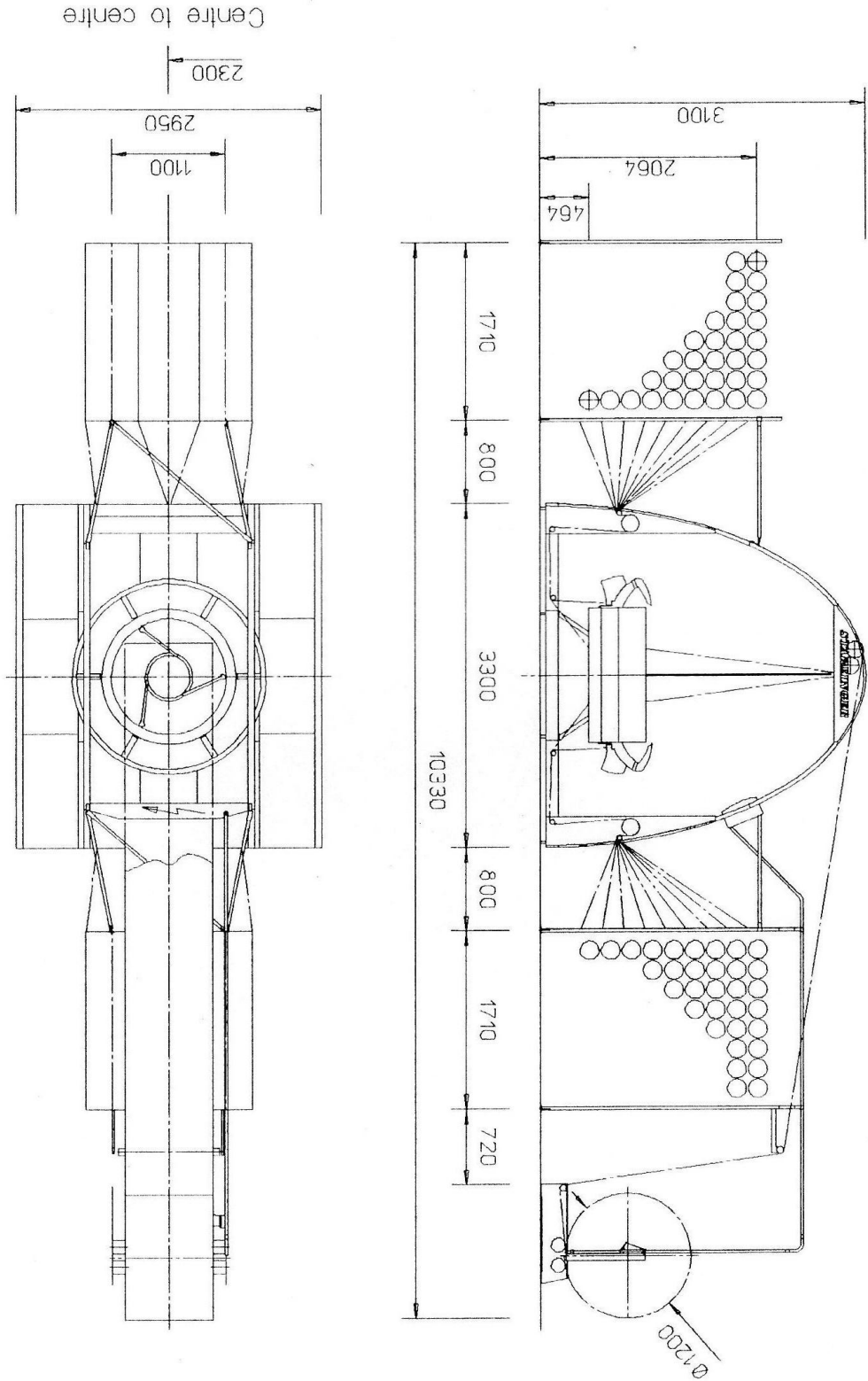


Figura 55. Plano de un telar circular Alpha-6, Starlinger & Co.

Fuente: Starlinger & Co. Catálogo de Partes de Repuestos. Pág. 11

1.6.4.1 Lugar de instalación

El área de instalación de la máquina debería ser horizontal y apropiada para soportar las presiones, y no transmitir las vibraciones causadas por la marcha de la máquina. La capacidad de carga de dicha área debe ascender por lo menos a 1000 kg/m²

1.6.4.2 Montaje

Con la excepción de algunas piezas sueltas, el telar circular se proporciona completamente montado. Es recomendable colocar los paquetes más o menos en el lugar de instalación antes de desembalar el equipo. Se debe prestar atención a la dirección del bobinador: lado del bobinador, igual, lado orientado hacia el motor principal.

1.6.4.3 Alinear

Compensar las desigualdades del suelo con los pies de la máquina. Nivelar la máquina con un nivel de burbuja de aire, posicionándolo sobre la excéntrica. Cargar los pies (8 piezas/máquina) y apretarlos. Si se instalan varias máquinas, hay que alinear mediante una cuerda.

1.6.5 Lubricación y mantenimiento

Es necesario prestar una atención especial a la importancia de la lubricación adecuada de las máquinas de trabajos de alta calidad. La correcta aplicación de los lubricantes más adecuados contribuirá a ampliar la vida de trabajo así como a obtener un alto rendimiento y a eliminar los problemas de funcionamiento. La siguiente lista incluye los diferentes aceites y calidades de grasa que se han mostrado adecuados para una lubricación satisfactoria de los componentes de la máquina.

Tabla IX **Lista de lubricación**

Punto de lubricación	Cambio de lubricante	No. Lubricante/Cantidad
Casquillo de la palanca de mano	Engrasar cada 2 semanas	No. 10
Motor reductor de los rodillos de entrada	Cambiar cada 15000 h, por lo menos después de 2-3 años	No. 3/0,05 litros
Motor reductor. del sistema de arrastre	Cambiar cada 15000 h, por lo menos después de 2-3 años	No. 3/0,9 litros
Motor reductor del bobinador de superficie	Cambiar cada 15000 h, por lo menos después de 2-3 años	No. 3/0,65 litros
Motor reductor del bobinador de superficie con dispositivo de despliegue (opción)	Cambiar cada 15000 h, por lo menos después de 2-3 años	No. 3/0,65 litros
Soporte del mandril de la bobina en el bobinador de superficie	Engrasar a la primera puesta en marcha	NO.7
Cadenas	Lubricar y ajustar cada 1000 h Hervir en grasa de cadena una vez al año	NO.7

En cuanto a las instrucciones especiales para la lubricación y el mantenimiento correcto, tiene prioridad y, generalmente, se tiene que observar la información en las placas o en la documentación adjunta del fabricante. ¡En cualquier caso evitar mezclar distintos tipos de aceite o grasa!

1.6.6 Trabajos de mantenimiento

1.6.6.1 Trabajos de mantenimiento diarios

ATENCIÓN: ¡Estos son trabajos de mantenimiento importantes que hay que efectuar todos los días!

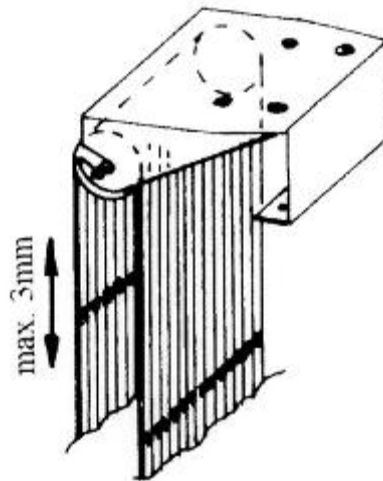
- Comprobar el movimiento fácil del compensador de trama junto al dedo de Inserción.
- Limpiar los dedos de inserción de polvo.
- Comprobar las cubiertas de las ruedas de lanzadera.
- Comprobar la marcha suave de los rodillos de lanzadera, de accionamiento y de freno.
- Aspirar el polvo de las lanzaderas y del anillo de deslizamiento (no utilizar aire comprimido; esto empujará el polvo del tejido de los rodamientos y los elementos de deslizamiento y producirá un rápido desgaste de las piezas).
- Limpiar el anillo de paro en el compensador.
- Comprobar la función del rodillo de mojadura y desembarazarlo de residuos de cinta (deben girar fácilmente).
- Comprobar las barrillas en la fileta.

- Limpiar la punta de corte del dispositivo de corte y comprobar la marcha suave de los rodillos de presión.
- Poner atención en la limpieza de los sistemas de ventilación de todos los motores montados a ras del suelo.

1.6.6.2 Trabajos de mantenimiento semanales

- El juego de las bandas de ojales debe ser menos de 3 mm; en caso contrario, los rodillos excéntricos tienen que cambiarse.

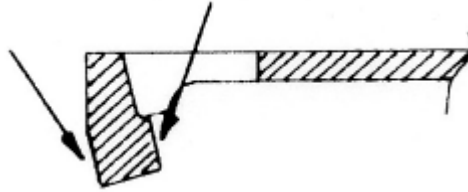
Figura 56. **Juego de bandas de ojales**



Fuente: Starlinger & Co. **Catálogo de partes de repuestos. Pág. 61**

- Limpiar la máquina completamente (aspirarla) - utilizar un aspirador de vacío en cualquier caso:
 - anillo principal;
 - excéntrica (limpiarla en ambos lados);

Figura 57. Corte transversal del anillo principal



Fuente: Starlinger & Co. **Catálogo de partes de repuestos. Pág. 61**

- desmontar la lanzadera y limpiar/a; desmontar los rodillos y limpiar también la parte posterior, volver a engrasar la lanzadera si es necesario; limpiar el soporte de bobina de residuos de cintas;
 - limpiar la banda de ojales y los rodillos desviadores, comprobar la junta de fieltro;
 - limpiar el suelo debajo de la máquina.
-
- Extraer las cintas residuales de todas las partes móviles, especialmente de los rodillos de entrada.
 - Comprobar el fácil movimiento de los adaptadores de fileta y limpiar los ejes con un solvente una vez al mes.
 - Comprobar el desgaste de las mallas de los muelles doblados y de los ojales en las bandas de ojales.
 - Comprobar si hay polvo en la caja de control eléctrico, aspirarlo si fuera necesario.
 - Comprobar los rodillos y su recubrimiento.
 - Comprobar la tensión de las correas y cadenas; primera inspección una semana después de la primera puesta en marcha, entonces después de cada 1000 horas.
 - Limpiar las cubetas de mojado.

Tabla X Problemas eléctricos

Fallo	Causa	Solución
La máquina no puede ser arrancada	<p>Sin voltaje de suministro.</p> <p>Fusibles desconectados.</p> <p>Tecla de para activado (iluminada).</p> <p>Indicación de fallo en el controlador de tela.</p>	<p>Comprobar el voltaje de suministro.</p> <p>Comprobar los fusibles.</p> <p>Pulsarla.</p> <p>Ver descripción del controlador del telar.</p>
Parada de máquina después de algún tiempo	<p>La cinta de trama se ha roto.</p> <p>La cinta de urdimbre se ha roto.</p> <p>Sin voltaje de suministro.</p> <p>Fusibles desconectados.</p> <p>Exceso de temperatura del motor.</p> <p>Mensaje de fallo en el control de proceso para telar.</p> <p>Ajuste equivocado del sensor magnético.</p>	<p>Unir la cinta de trama.</p> <p>Unir la cinta de urdimbre.</p> <p>Comprobar el voltaje de suministro.</p> <p>Comprobar los fusibles.</p> <p>Comprobar el movimiento fácil de la máquina.</p> <p>Comprobar la temperatura del motor.</p> <p>Ver descripción "control de proceso para telar".</p> <p>Reajustar según el ítem 4.8</p>

1.6.7 Instrucciones para el diagnóstico de fallos

Continuación Tabla X

<p>Máquina se para demasiado tarde en el caso de rotura de trama.</p>	<p>Ajuste equivocado del sensor magnético.</p>	<p>Ajustarlo según el ítem 4.8 (ver manual).</p>
<p>Monitor de rotura de urdimbre no detiene el telar</p>	<p>Muelle compensador estirado o roto. Compensador o anillo de compensador sucio. Cable de conexión en el anillo de compensador defectuoso.</p>	<p>Limpiarlo. Comprobar cable y sustituirlo si fuera necesario.</p>
<p>La densidad de trama de la tela no corresponde al ajuste.</p>	<p>Densidad de trama incorrecta.</p>	<p>Ajustar los parámetros correctos (comprobar la transmisión)-ver descripción "control de proceso para telar". Comprobar la transmisión del sistema de arrastre y del motor del bobinador.</p>

Tabla XI Problemas mecánicos

Fallo	Causa	Solución
La máquina chirría mucho	Correa V suelta	Ajustar la correa V
La máquina gira descentrada	Distintos diámetros de las bobinas de trama.	Montar bobinas de trama del mismo diámetro.
Roturas repetidas de cinta de urdimbre	Rodillo de lanzadera rueda con dificultad. Guarnición de rodillos de lanzadera defectuosas. Cintas no son llevadas derechas desde la entrada de la máquina. Abrazadera de lanzadera en contacto con el rodillo de freno. Tensión de urdimbre demasiado alta.	Reajustar los rodillos. Sustituir los rodillos de lanzadera. Comprobar la entrada de las cintas. Comprobar la altura de montaje del anillo de deslizamiento o corregir la posición de la abrazadera de lanzadera. Comprobar el movimiento fácil de los rodillos de entrada. Limpiar los adaptadores de bobina de fileta.
Ruido en operación	Rodillos excéntricos defectuosos. Guarnición de los rodillos de lanzadera defectuosos.	Montar unos rodillos excéntricos nuevos. Sustituir los rodillos de lanzadera.
Sin tensión de bobinador, los rodillos se están deslizando.	Recubrimiento de los rodillos deteriorado.	Sustituirlos.

1.6.8 Faja xua

Los telares circulares utilizan una faja para realizar la costura de la tela esta faja produce un movimiento oscilante con dirección vertical haciendo mover la cinta de urdimbre para que la lanzadera pase la cinta de trama formando de esta forma la costura de la tela.

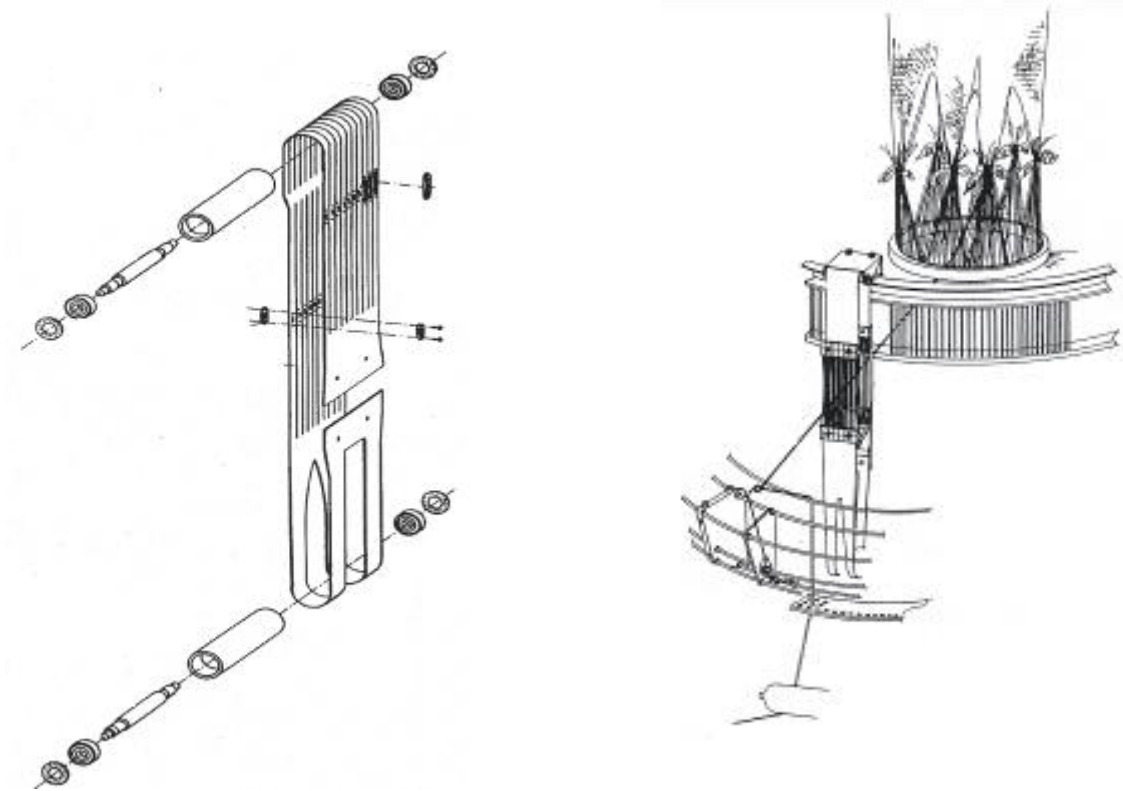
La faja xua es una pieza muy importante en el telar, cada tela cuenta con un número específico de fajas, dependiendo del modelo de la máquina así será el número de fajas xua que esta tenga, a continuación se muestra una tabla en la cual se especifica el modelo y el número de fajas xua que requiere cada modelo.

Tabla XII **Modelo y N° de fajas xua que utiliza**

Modelo	Cantidad de fajas	Modelo	Cantidad de fajas
HDE-4	24	LENO	36
SL-4	30	ALPHA-6	36
SL-6	36		

La faja xua de los telares circulares HDE-4, SL-4, SL-6 y ALPHA-6 son del mismo material y forma pero tiene una ligera diferencia en las medidas del ancho de la faja y en el tamaño de los ojete. A diferencia de las fajas xua de los telares que tejen tela tipo Leno, que son totalmente distintas que las anteriores, por la diferencia de tela que tejen estos telares.

Figura 58. Fajas xua para los modelos HDE-4, SL-4, SL-6 y ALPHA-6



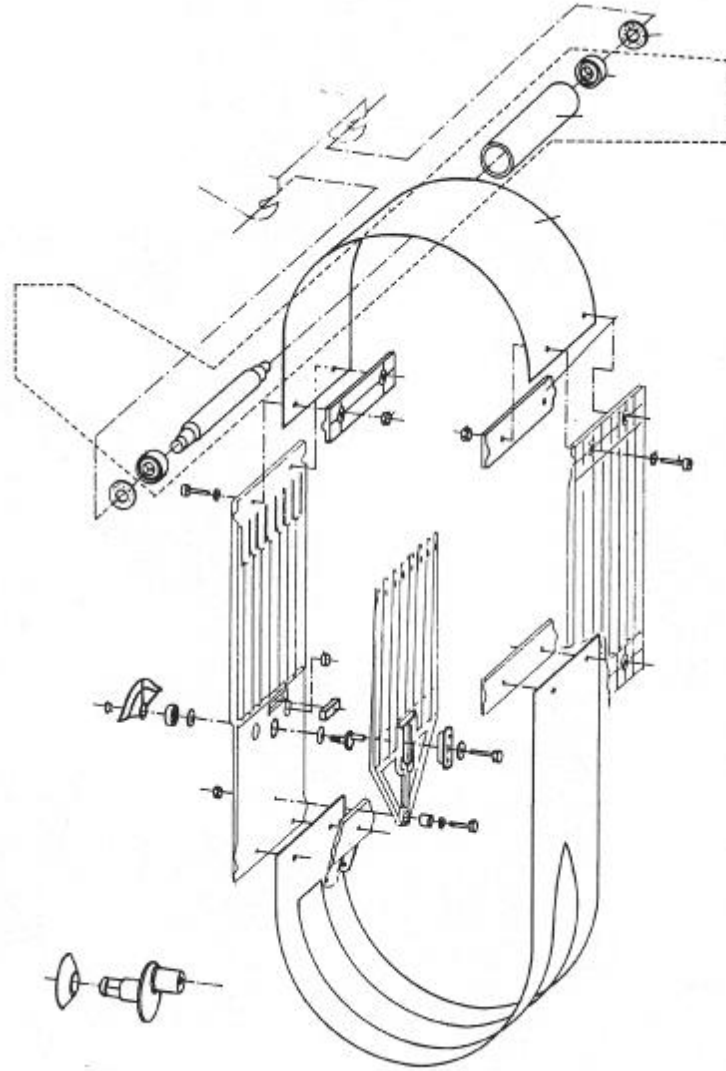
Fuente: Starlinger & Co. Catálogo de partes de repuestos. Pág. 50

Las piezas principales de la faja xua son:

- Faja
- Cojinete
- Rodillo
- Pin
- Felpa protectora

Las faja xua para telares tipo Leno, son de un diseño distinto a los telares anteriormente mencionado, estas fajas tienen una serie de piezas que conforman la faja, este diseño es necesario para poder formar la tela deseada.

Figura 59. Faja xua tipo Leno



Fuente: Starlinger & Co. **Catálogo de partes de repuestos. Pag. 31**

Las partes de esta faja son:

- | | | |
|-----------------------|--------------------|----------------------|
| 1. Faja superior | 6. Lever | 11. Block |
| 2. Faja inferior | 7. Cojinete 626 ZZ | 12. Buje |
| 3. Peineta triangular | 8. Eje excéntrico | 13. Conectin rod |
| 4. Peineta larga | 9. Felpa | 14. Rodillos |
| 5. Peineta corta | 10. Ficha | 15. Cojinete 6000 ZZ |

1.6.9 Leva

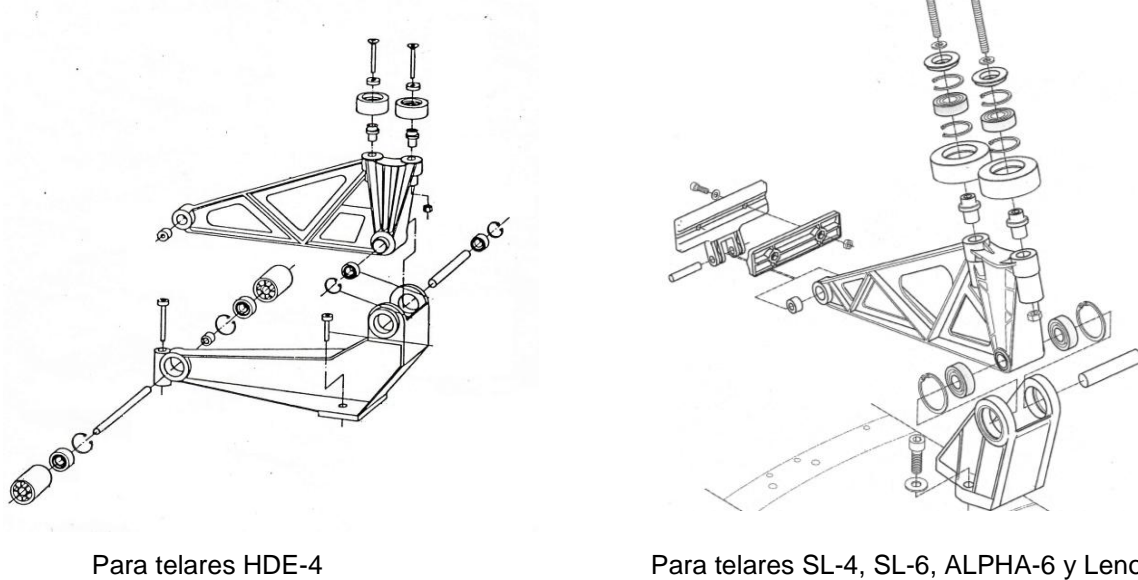
Esta pieza esta construida de plástico con forma triangular, esta conectado a la faja xua, de tal forma que esta le proporciona movimiento para que la tela sea tejida. Esta pieza tiene las mismas dimensiones y la misma forma para todos los telares por lo que la aparición de fallas en ella se han vuelto muy frecuente pues para cada modelo de los telares se tiene la misma cantidad de fajas que de levas la cual se muestra en la siguiente tabla.

Tabla XIII **Modelo y N° de levas que utiliza**

Modelo	Cantidad de levas	Modelo	Cantidad de levas
HDE-4	24	LENO	36
SL-4	30	ALPHA-6	36
SL-6	36		

Existe una diferencia en la pieza de levas en los modelos HDE-4, esta diferencia es que en estos modelos la base donde se coloca la leva es distinta a los otros modelos, la base de las levas de los telares HDE-4 son más largos, pero como estos modelos son mas antiguas que los anteriores esta base se a modificado y se a reducido de tamaño por lo que el telar es mas eficiente.

Figura 60. **Diferencia entre la base de las levas para telares HDE-4 y los de SL-4, SL-6, Alpha-6 y Leno**



Fuente: Starlinger & Co. **Catálogo de partes de repuestos. Pág. 12**

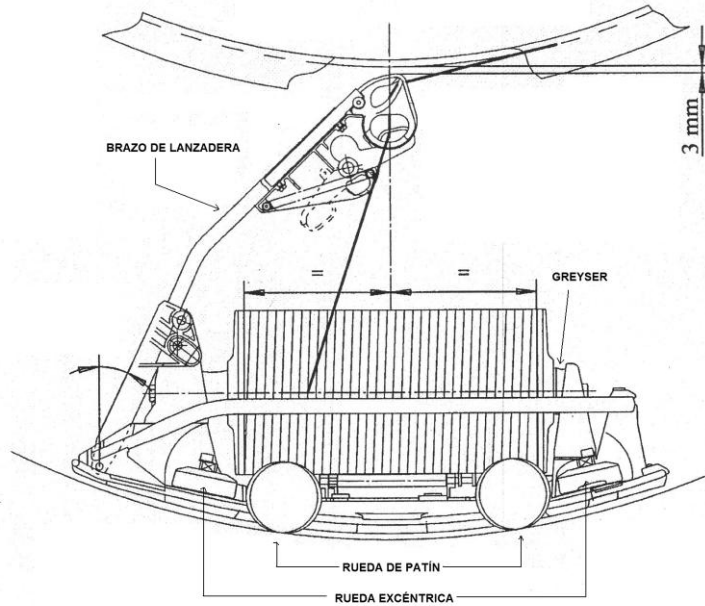
1.6.10 Lanzadera

Las lanzaderas son en su mayoría iguales para todos los telares solo existen unos pequeños cambios entre modelo de telares, pero estos solo son cambios en su diseño y no son muy significativos.

Las piezas que utilizan las lanzaderas se clasificaron de la siguiente manera:

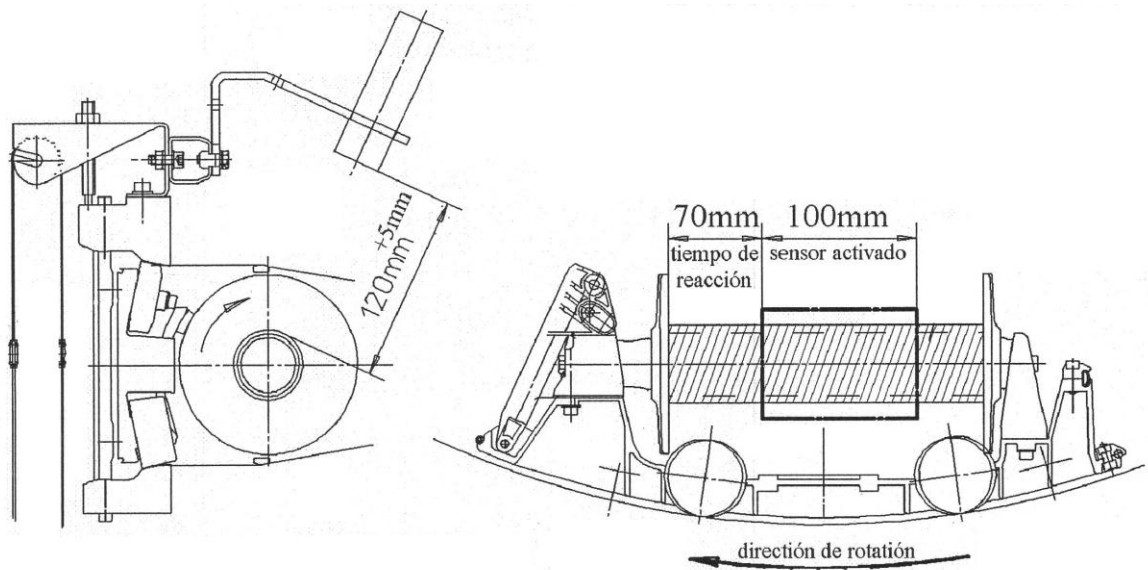
- Greyser
- Rueda excéntrica
- Rueda cónica
- Rueda de patín
- Brazo de lanzadera

Figura 61. Partes de lanzadera



Fuente: Starlinger & Co. Catálogo de partes de repuesto. Pág. 32

Figura 62. Perfil de lanzadera



Fuente: Starlinger & Co. Catálogo de partes de repuesto. Pág. 35

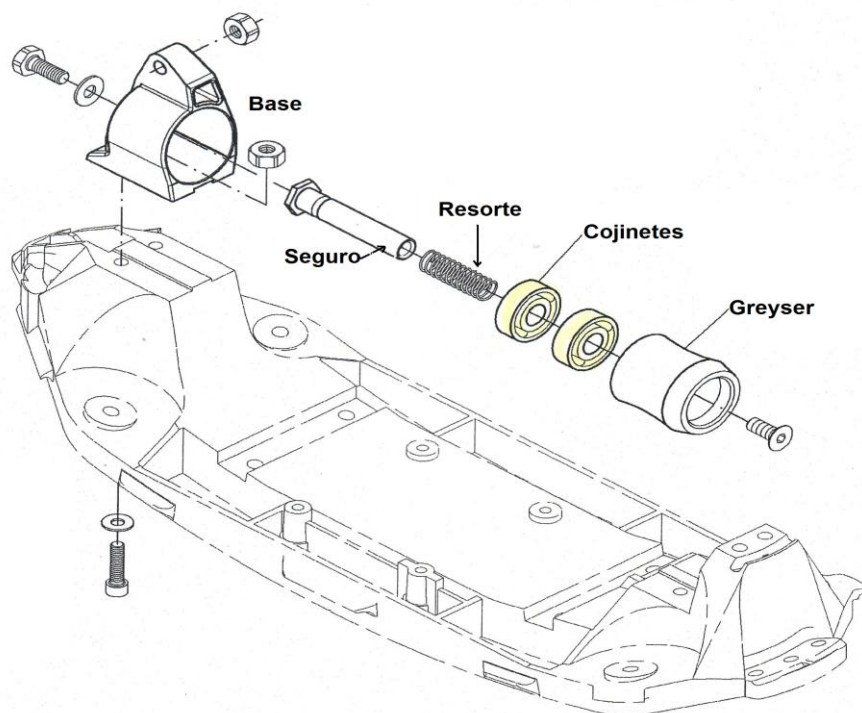
1.6.10.1 Greyser

El Greyser es una parte importante de la Lanzadera está sujeta la bobina de la cinta de trama del saco, por lo que cuando esta falla, revienta la cinta y la máquina se detiene automáticamente.

Las partes principales del greyser son:

- Resorte
- Seguro de greyser
- Cojinete

Figura 63. Partes de greyser

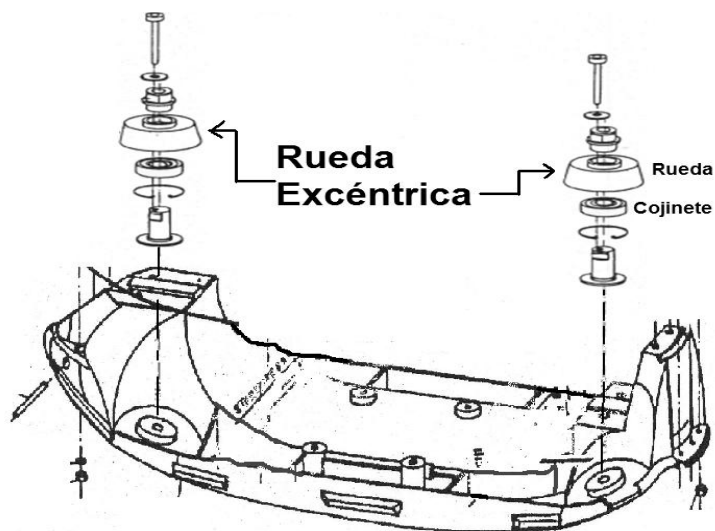


Fuente: Starlinger & Co. Catálogo de partes de repuesto. Pág.24

1.6.10.2 Ruedas excéntricas

La principal función de la rueda excéntrica es retener la lanzadera dentro del peine y poder formarse la tela para el saco, esta rueda está afectando de manera muy frecuente.

Figura 64. Partes de la rueda Excéntrica

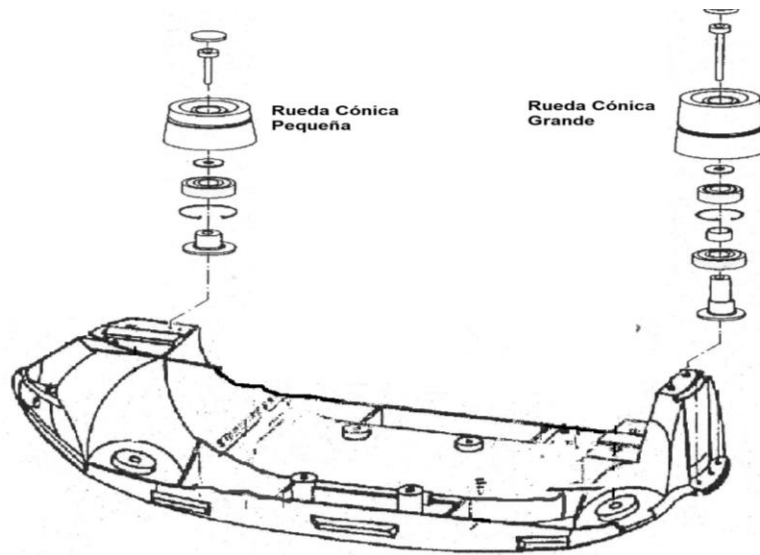


Fuente: Starlinger & Co. **Catálogo de partes de repuesto. Pág. 29**

1.6.10.3 Rueda cónica

Las ruedas cónicas son dos una grande y otra pequeña, la rueda cónica grande es la rueda que es movida por el impulsor y hace que la lanzadera gire en el peine, la rueda cónica pequeña es la rueda que ayuda a detener la lanzadera cuando esta debe hacerlo con la ayuda de la rueda de freno estas dos detienen el movimiento de la lanzadera.

Figura 65. Partes de la rueda cónica



Fuente: Starlinger & Co. Catálogo de partes de repuesto. Pág. 28

1.6.10.4 Rueda de patín

La rueda de patín es una de las piezas importantes de la lanzadera, esta rueda esta sometida a altas velocidades durante 24 horas, todos los días es por eso que cuando estas fallas la tela sale defectuosa y de mala calidad.

Figura 66. Rueda de patín

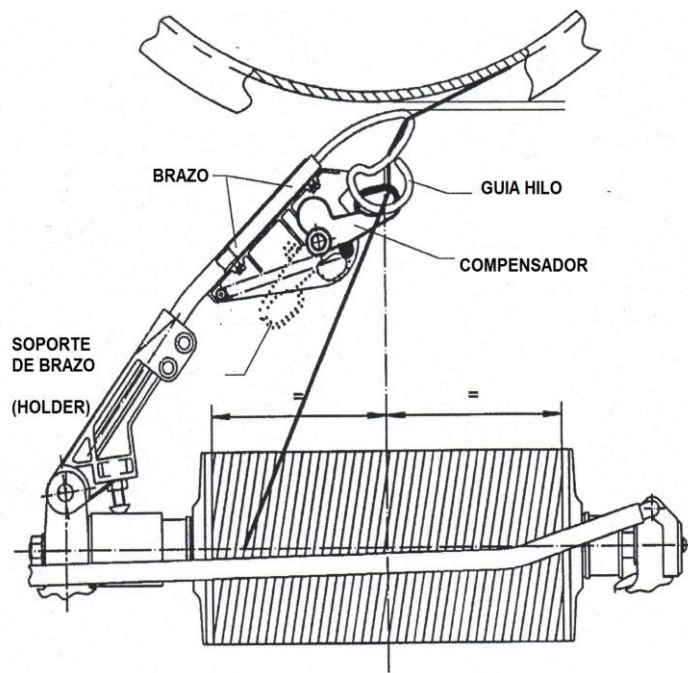


Fuente: Starlinger & Co. Catálogo de partes de repuesto. Pág. 34

1.6.10.5 Brazo de lanzadera

El brazo de lanzadera recoge directamente desde la bobina la cinta de trama, a través de un compensador y por el guía hilo o dedo de inserción este se mantiene ajustado mediante un tubo de inserción. Cuando una cinta de trama se rompe el compensador de trama se dobla a su posición de reposo y la máquina se detiene por medio de un sensor magnético

Figura 67. Partes del brazo de lanzadera

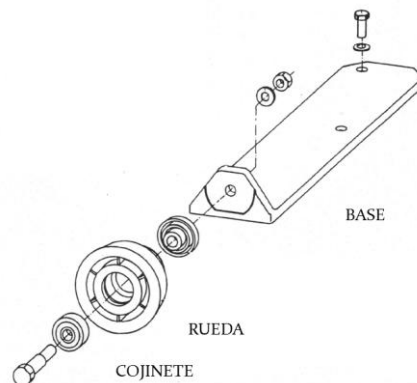


Fuente: Starlinger & Co. Catálogo de partes de repuesto. Pág. 30

1.6.11 Rueda de freno

La rueda de freno detiene la lanzadera para que mantenga una distancia apropiada de la otra lanzadera de tal forma que estas no choquen entre ellas mismas y así formar una tela de buena calidad.

Figura 68. Rueda de freno

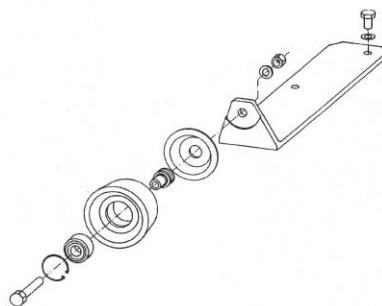


Fuente: Starlinger & Co. **Catálogo de partes de repuesto. Pág. 51**

1.6.12 Rueda de impulsador

Esta rueda impulsa la lanzadera cuando se pone en marcha la máquina, además cuando se detiene la máquina por cualquier falla esta rueda sirve para que las demás lanzaderas no choquen entre ellas y se mantenga el hilo de la trama sin enredarse o romperse.

Figura 69. Rueda de impulsador



Fuente: Starlinger & Co. **Catálogo de partes de repuesto. Pág. 52**

2 FASE TÉCNICO PROFESIONAL

2.1 Desarrollo del análisis de fallas para el equipo utilizado en la fabricación de sacos de polipropileno

2.1.1 Análisis de fallas

El departamento de mantenimiento de Sacos Agro-Industriales, S.A. observando el aumento de los paros por mantenimiento en telares circulares de la línea de producción de sacos de polipropileno ve la necesidad de realizar un análisis de fallas para esta área, en la cual se observa la gran cantidad de solicitud de trabajo de mantenimiento correctivo que el departamento de producción pide ser resuelto a diario.

El siguiente análisis de fallas se basa en el impacto que tiene la recurrencia de las fallas de piezas mecánicas en la línea de la maquinaria de telares circulares STARLINGER & CO., reportados por el departamento de producción, y por el impacto que estas causan en tiempos de paros no programados para su mantenimiento. La clasificación de las fallas se toma en cuanto a recurrencia de las fallas reportadas diariamente durante cada mes, tomando como muestra las ordenes del mes de enero al mes de agosto del año 2007, estas ordenes se encontraban archivadas y se utilizaron para no afectar la clasificación que el ingeniero de mantenimiento llevaba a cabo.

A continuación se presenta el resultado de la clasificación y tabulación de órdenes de trabajos correctivos del departamento de mantenimiento, Sacos Agro-Industriales, S.A.

Para la clasificación y tabulación de los datos se tomaron las órdenes de trabajo correctivo correspondientes al los meses de:

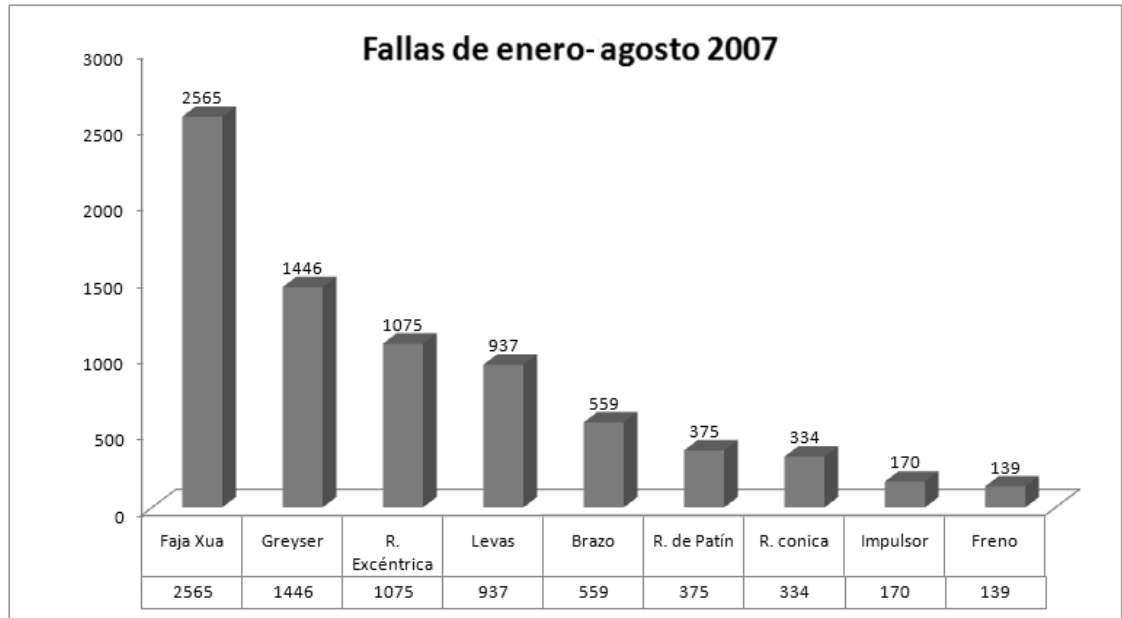
- ✓ Enero
- ✓ Febrero
- ✓ Marzo
- ✓ Abril
- ✓ Mayo
- ✓ Junio
- ✓ Julio
- ✓ Agosto

Del año 2007 con la finalidad de obtener datos más concretos sobre la recurrencia de fallas en los telares circulares, dando como resultado lo siguiente:

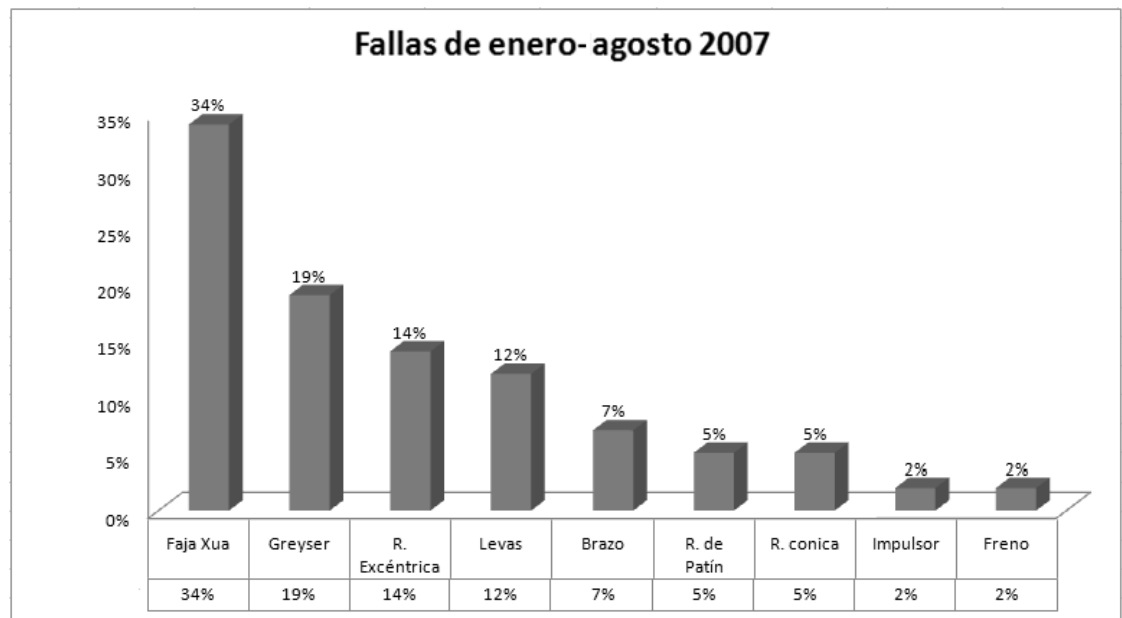
Tabla XIV **Fallas de piezas de enero-agosto**

<u>Piezas</u>	<u>Enero</u>	<u>Febrero</u>	<u>Marzo</u>	<u>Abril</u>	<u>Mayo</u>	<u>Junio</u>	<u>Julio</u>	<u>Agosto</u>	<u>TOTAL</u>
Faja Xua	293	382	180	290	302	399	411	308	2565
Leva	103	102	135	116	116	88	143	134	937
Greyser	219	178	249	172	187	201	104	136	1446
Excéntrica	150	183	138	151	161	82	52	158	1075
R. Cónica	65	64	56	17	37	41	21	33	334
R. Patin	59	36	24	43	86	30	53	44	375
Brazo	59	85	77	86	66	49	38	99	559
Impulsor	14	31	29	31	21	12	14	18	170
Freno	26	9	17	20	22	7	16	22	139

Figura 70. Total de fallas mecánicas de telares circulares, en cantidades



Grafica 71. Total de fallas mecánicas de telares circulares, en porcentaje



A continuación, se presentan las gráficas de los meses correspondientes a la investigación.

Figura 72. Fallas de piezas del mes de enero

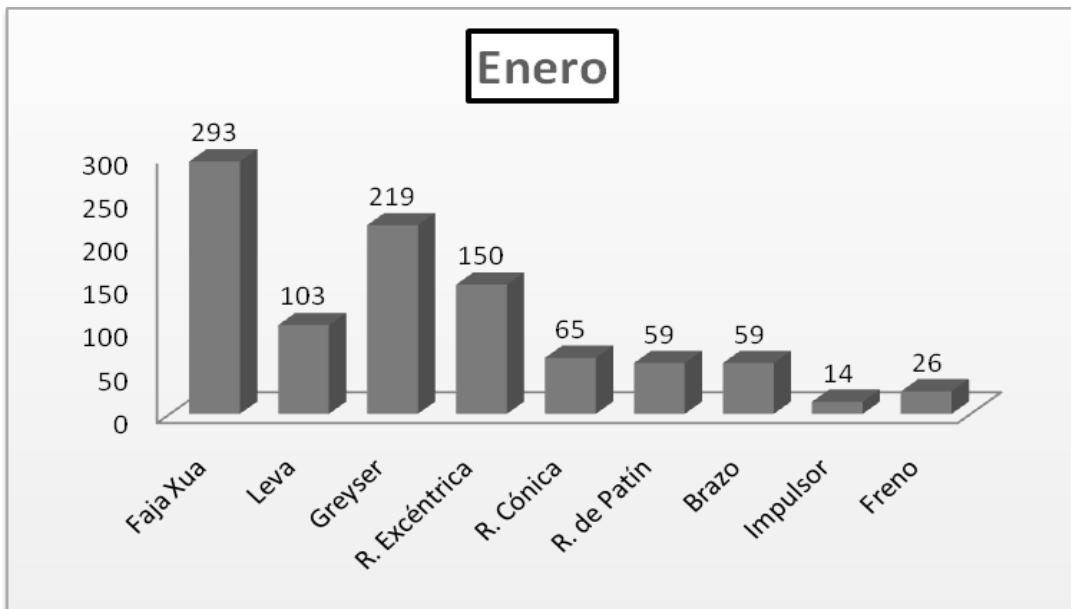


Figura 73. Fallas de piezas del mes de febrero

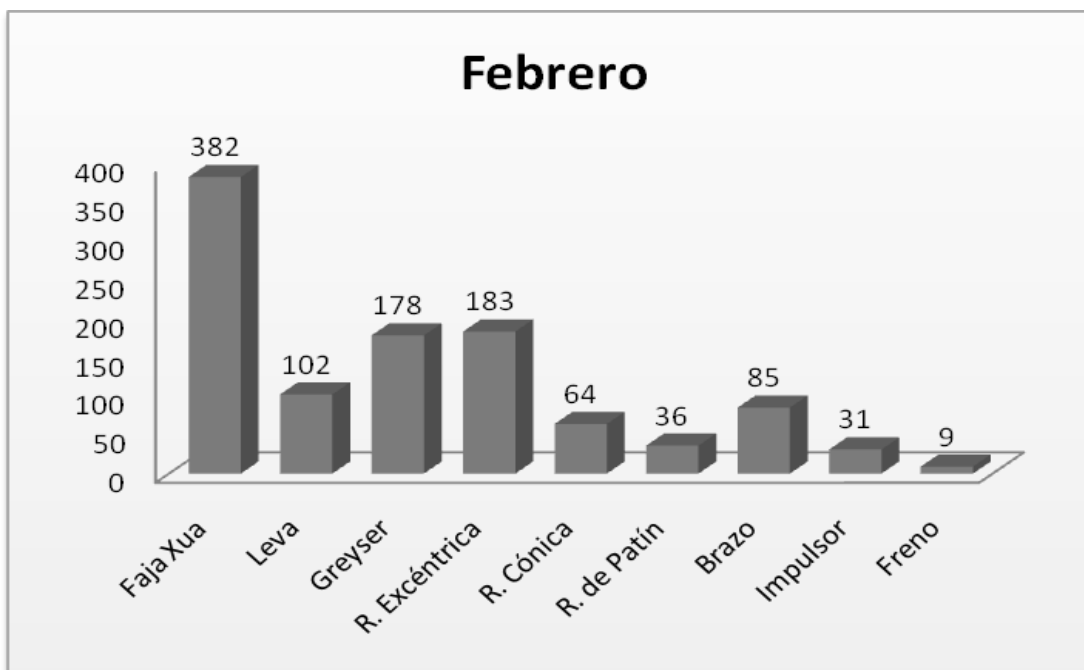


Figura 74. Fallas de piezas del mes de marzo

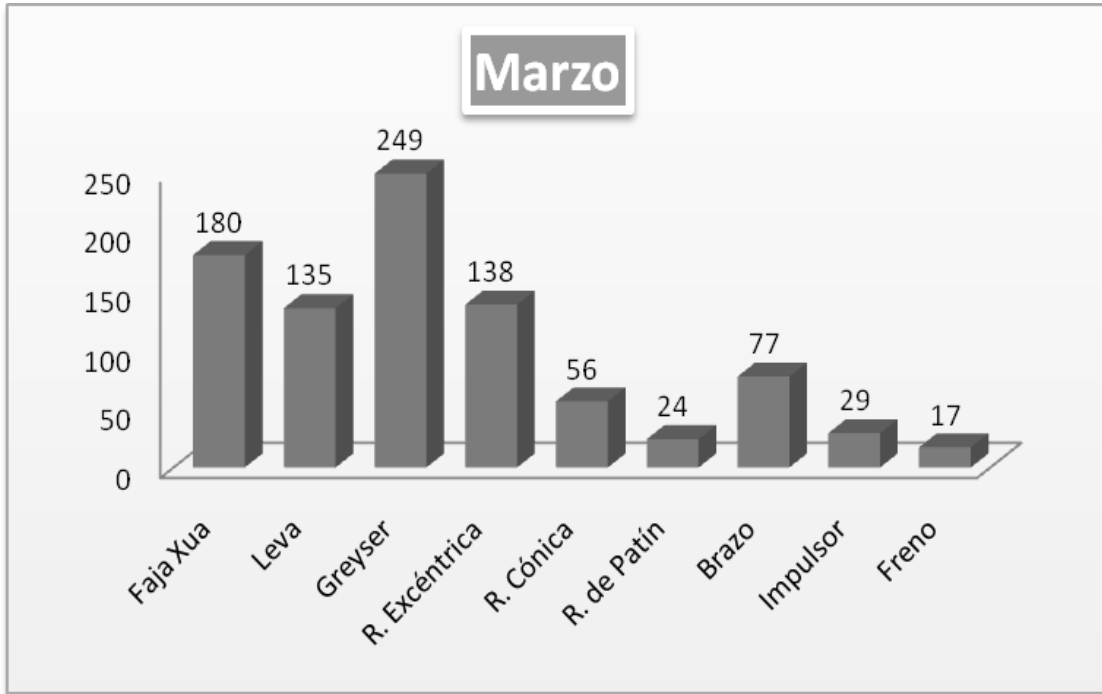


Figura 75. Fallas de piezas del mes de abril

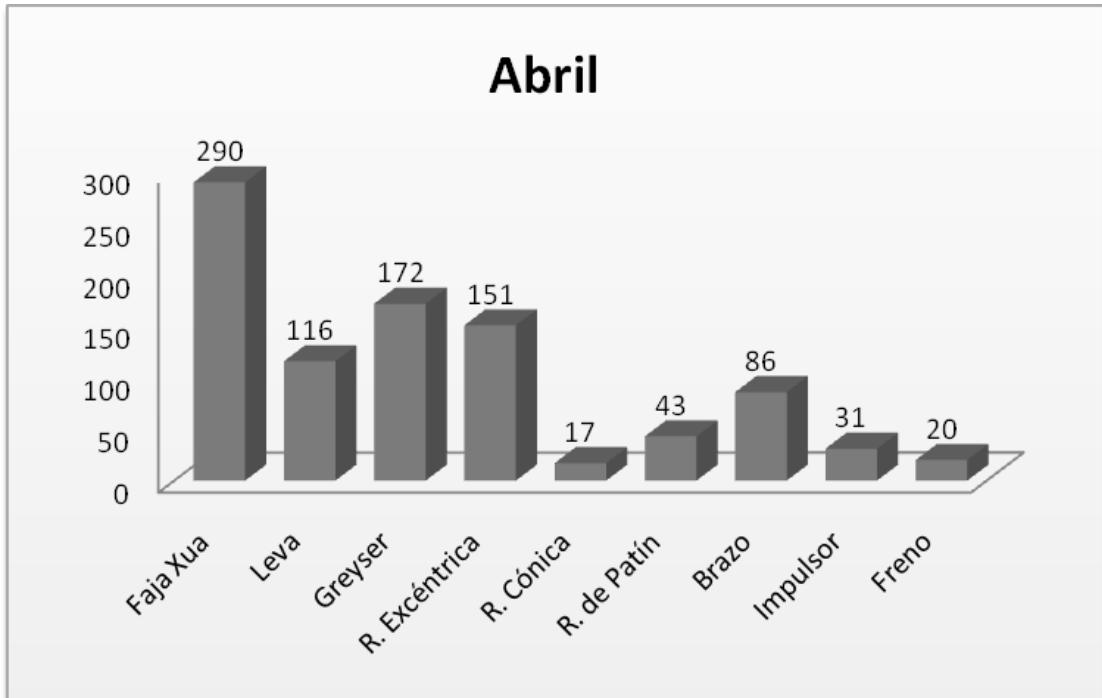


Figura 76. Fallas de piezas del mes de mayo

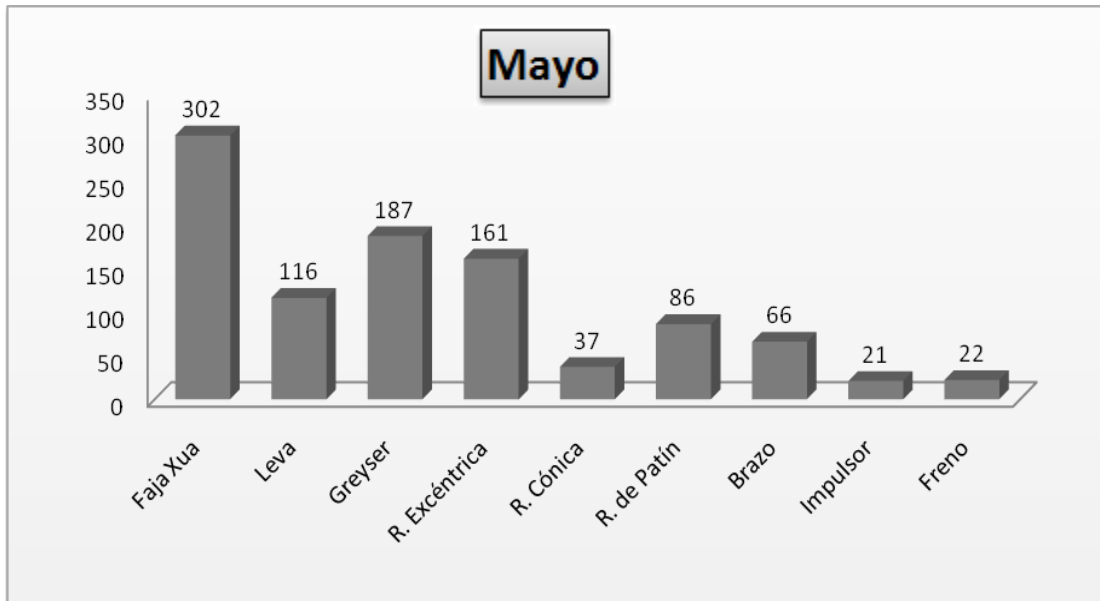


Figura 77. Fallas de piezas del mes de junio

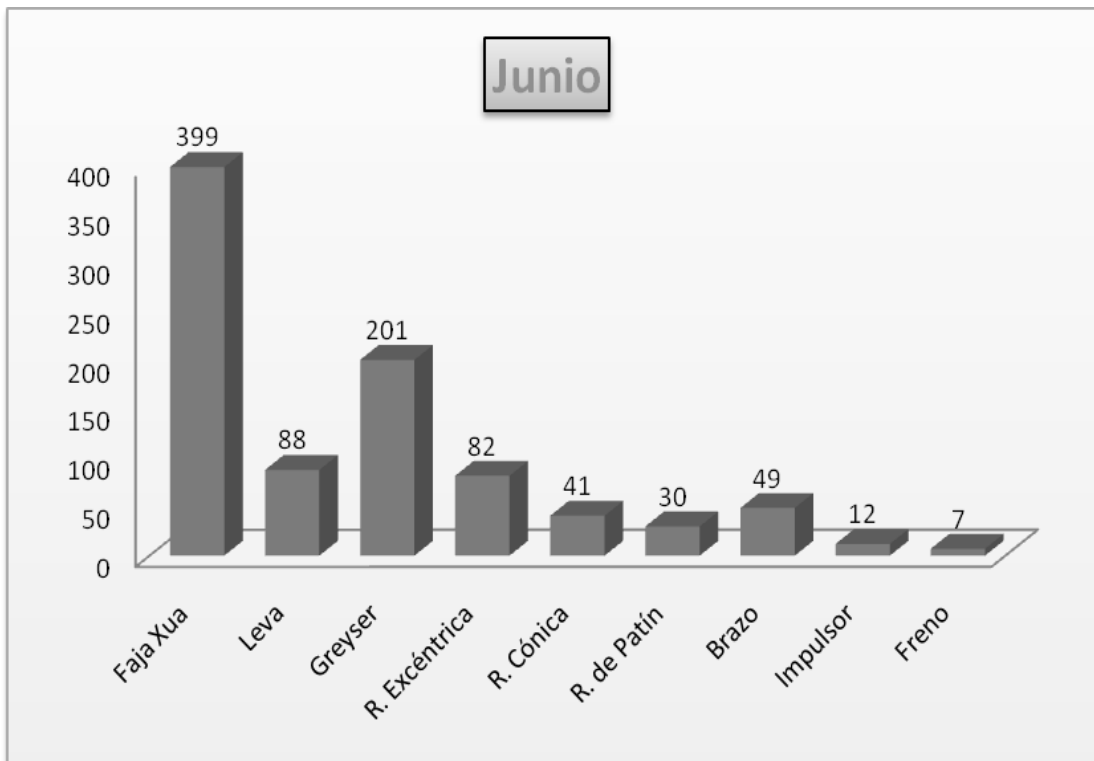


Figura 78. Fallas de piezas del mes de julio

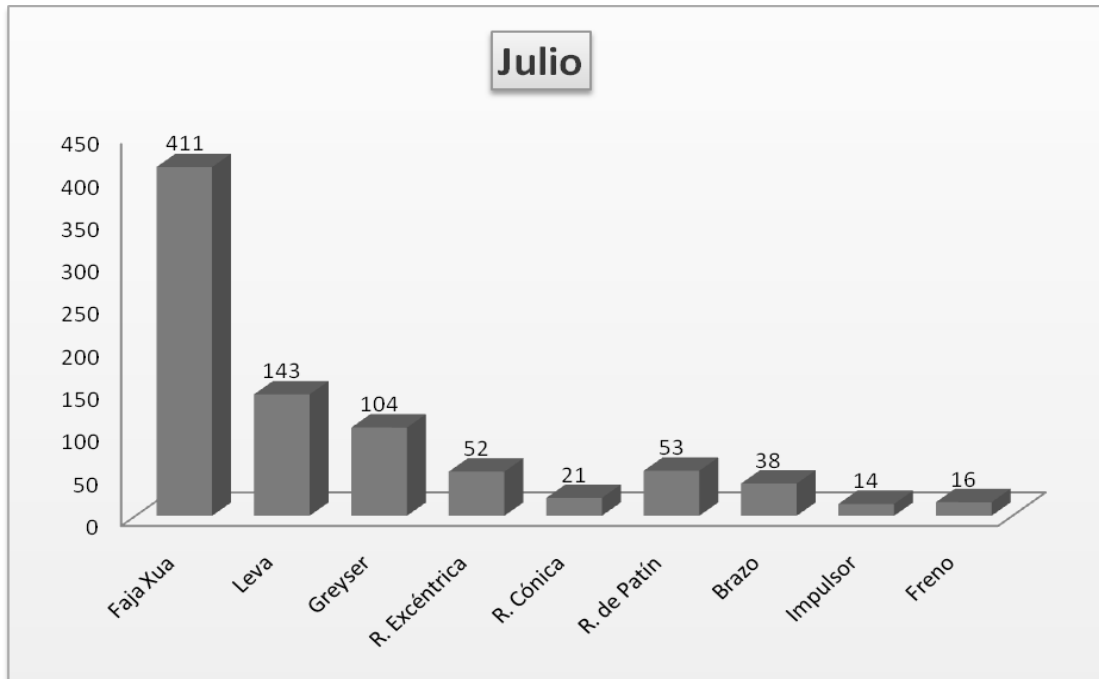
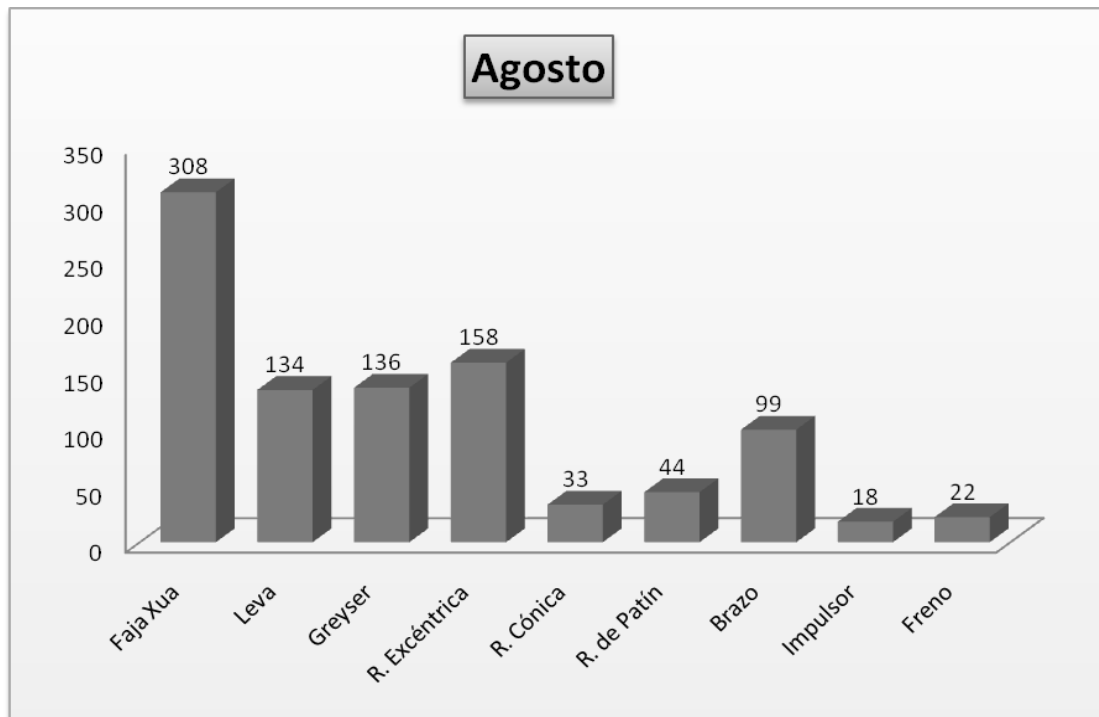


Figura 79. Fallas de piezas del mes de agosto



2.1.1.1 Faja xua

2.1.1.1.1 Identificación y descripción de las fallas en las fajas xua

Para los telares HDE-4, SL-4, SL-6 y Alpha-6 la falla crónica que se reportan cada día son la faja rota y el cambio de rodillos. A diferencia de los telares tipo Leno las fallas crónicas que se reportan cada día son varias por el diseño complejo que tiene este tipo de faja, tal como cambio de lever, felpa, block, ficha, radiar arm, hule de radiar, etc. (Ver fig. 59. faja tipo Leno)

2.1.1.1.2 Recolección y organización de datos e inspección de campo para fallas de faja xua

La recolección y organización de los datos se tomó clasificando las fallas que se presentaron durante cada mes, las fallas clasificadas son solo de fajas xua, a continuación se presenta la tabulación de las fallas del mes de Enero al mes de Agosto del año 2007.

Tabla XV Órdenes de trabajo de faja xua de Enero a Agosto

Enero

Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	9
SL-4	33
SL-6	16
Leno	235
ALPHA-6	0
TOTAL	293

Febrero

Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	11
SL-4	26
SL-6	21
Leno	324
ALPHA-6	0
Total	382

Marzo

Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	18
SL-4	24
SL-6	26
Leno	112
ALPHA-6	0
Total	180

Abril

Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	9
SL-4	19
SL-6	15
Leno	247
ALPHA-6	0
Total	290

Mayo

Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	4
SL-4	10
SL-6	18
Leno	270
ALPHA-6	0
Total	302

Junio

Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	6
SL-4	11
SL-6	15
Leno	367
ALPHA-6	0
Total	399

Julio

Modelo	Ordenes de trabajo
HDE-4	10
SL-4	15
SL-6	17
Leno	369
ALPHA-6	0
Total	411

Agosto

Modelo	Ordenes de trabajo
HDE-4	7
SL-4	15
SL-6	20
Leno	266
Total	308

Como se puede apreciar la cantidad de ordenes de trabajo reportadas todos los días son altas, teniendo mayor presencia en los telares tipo Leno, como se ha ido mencionando este tipo de faja tiene un mayor número de piezas.

Por lo que cuando una de estas pieza falla, la tela producida es defectuosa y no logra pasar el control de calidad lo que hace que la producción no logre alcanzar sus metas, así como el departamento de mantenimiento tenga mas tiempos de paros y no sea optimizado el tiempo de trabajo programado. Es importante notar que la cantidad de telares tipo Leno es menor a las demás telares de los otros modelos aun así, se tiene un gran problema con este tipo de telares.

A continuación se muestra las gráficas de fallas de las fajas xua de enero a agosto de 2007.

Figura 80. Fallas de faja xua de enero-agosto

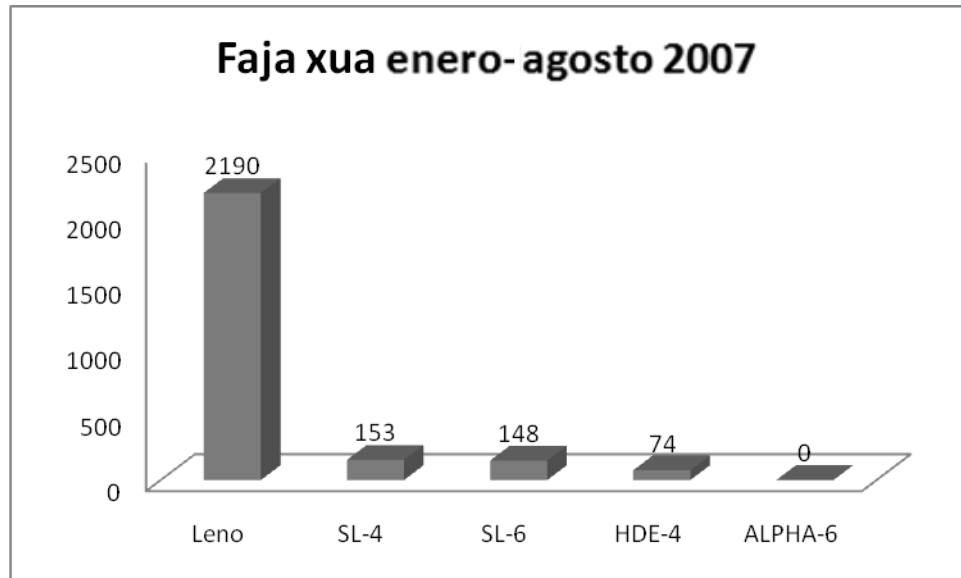
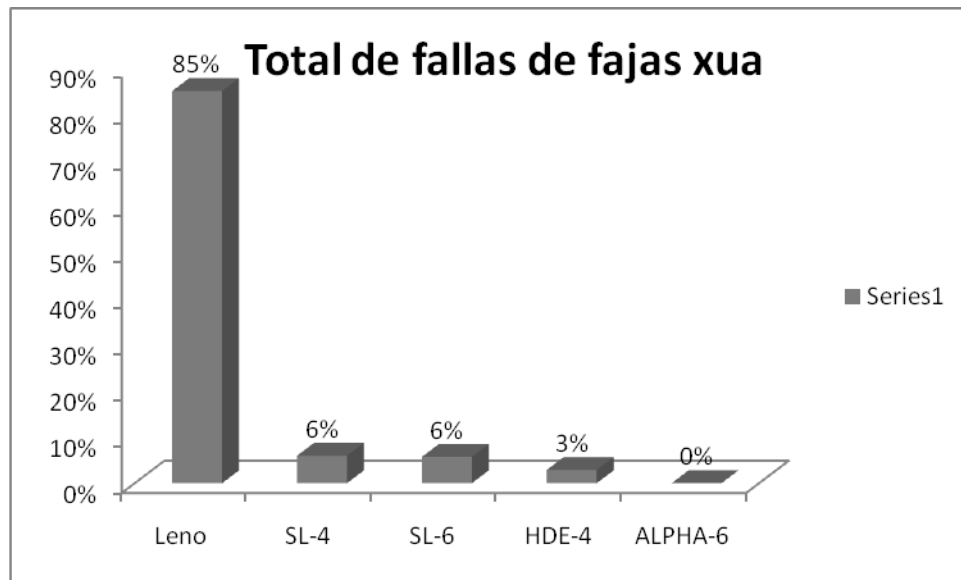


Figura 81. Fallas de faja Xua en porcentaje



Con la información obtenida se puede realizar diagramas de Ishikawa y árboles de fallas para analizar las posibles causas de esta falla y concluir con soluciones adecuadas y reducir tanto tiempo de paros como repuestos de mantenimiento correctivo.

2.1.1.1.3 Análisis y elaboración de diagrama causa-efecto y árbol de falla

Figura 82. Diagrama causa-efecto de faja xua (Leno)

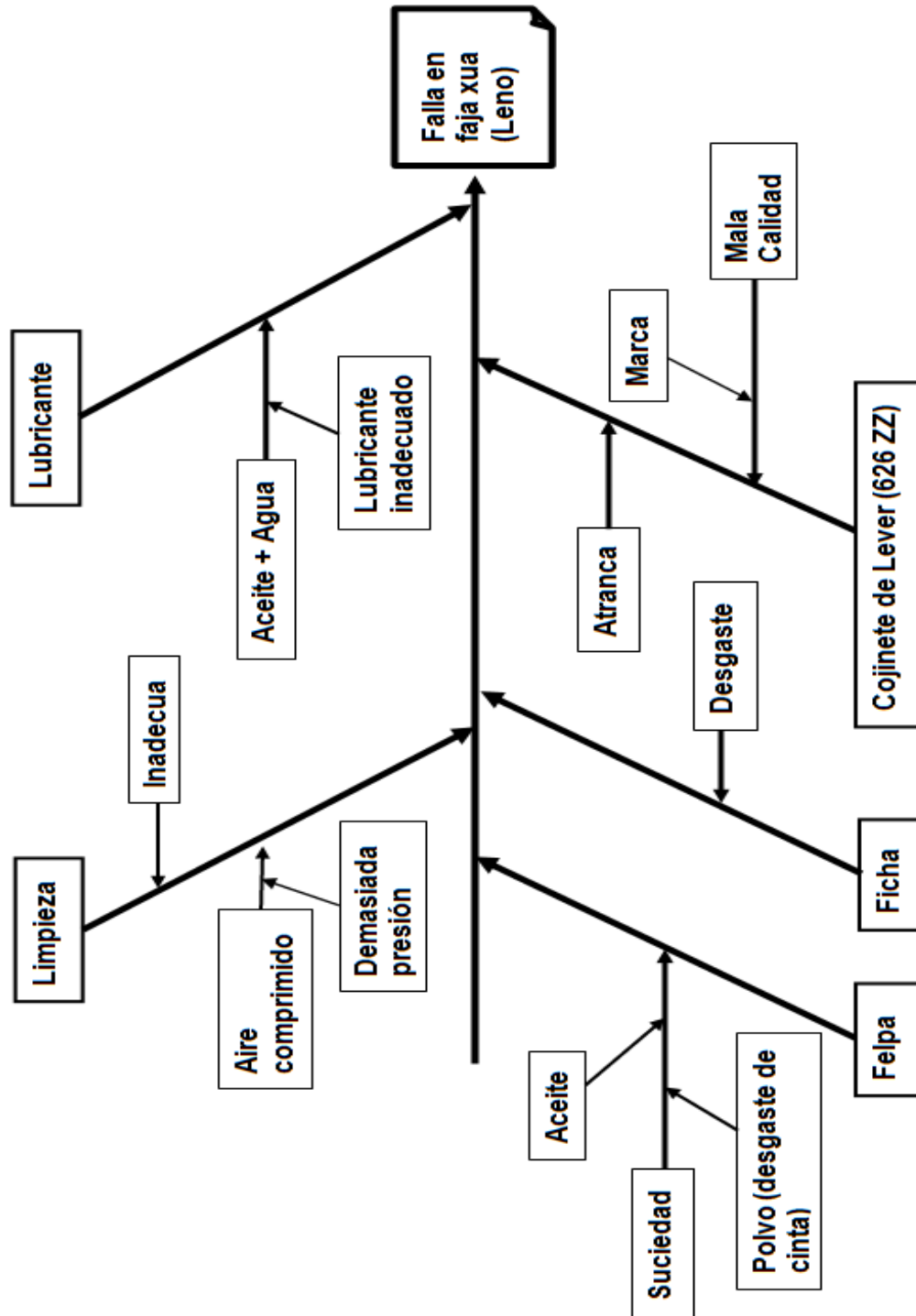
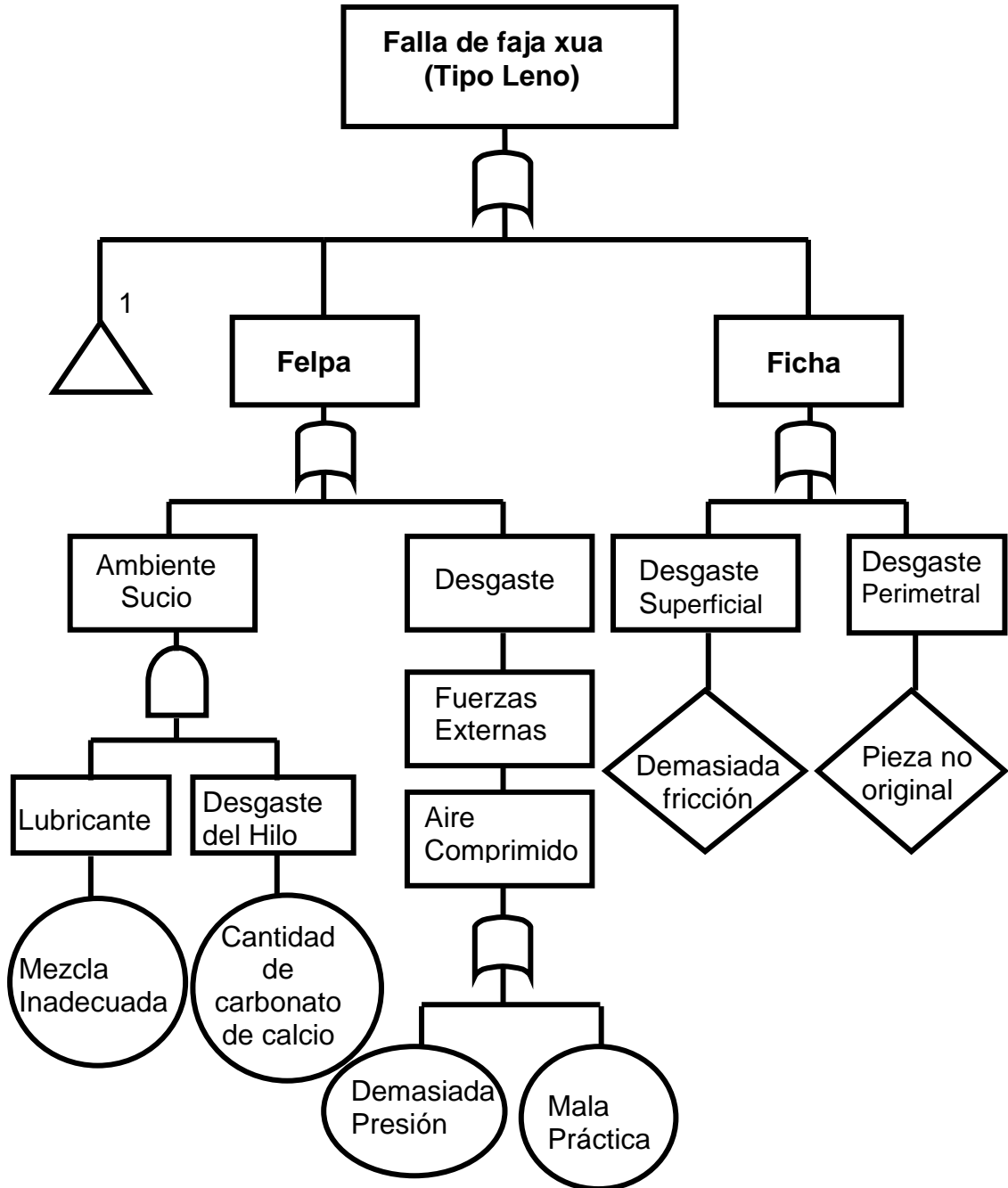
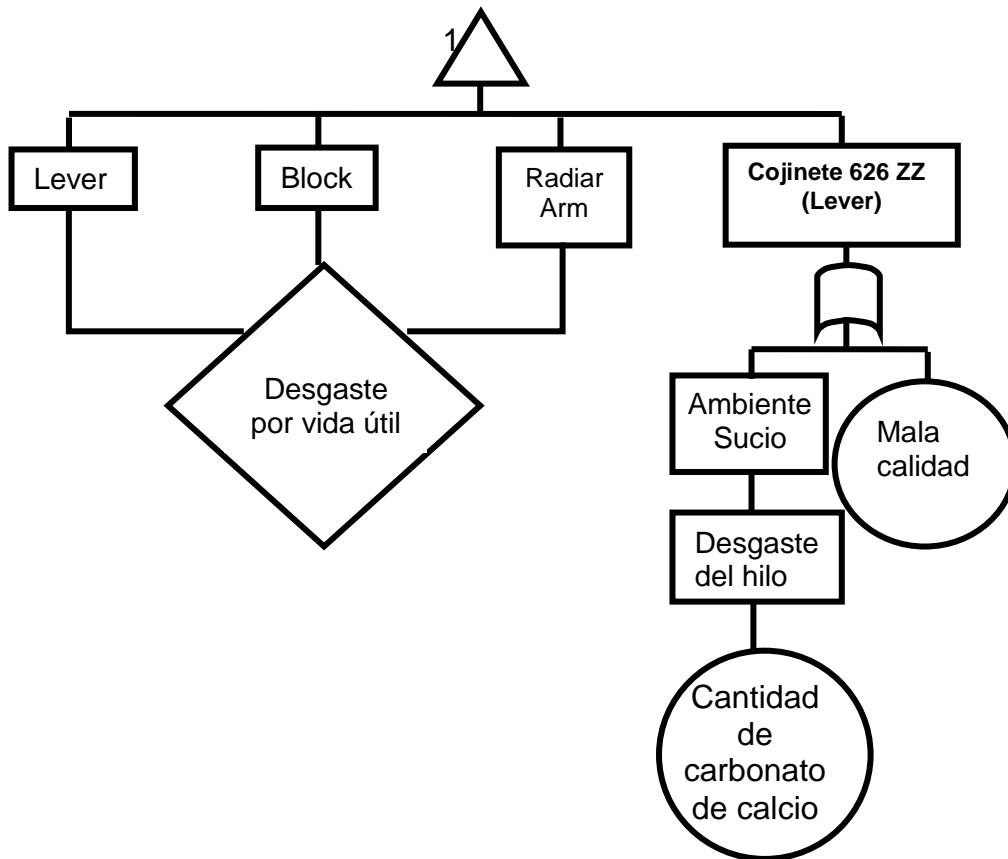


Figura 83. Diagrama de árbol para faja xua (Leno)



Continuación Figura 83



Por la cantidad de polvo que genera la fricción de la cinta con diferentes partes del telar, se mantiene un ambiente sucio, ocasionando fallas en el equipo, el desgaste de la cinta se provoca por la cantidad de carbonato de calcio que se utiliza en la producción de la cinta, la cantidad que se utiliza se debe por la calidad de la resina de polipropileno ó por la dureza de la cinta que pida el cliente. Por esta razón se utiliza aire comprimido para realizar la limpieza de los telares provocando fallas en diversa piezas del telar.

2.1.1.1.4 Hipótesis sobre la causa ó causas de las fallas e interpretación de resultados

2.1.1.1.4.1 Hipótesis de las causas de las fallas de la felpa

Una de las fallas más frecuentes en los telares Leno se provoca por la “contaminación” de la felpa con el lubricante, que se utiliza para evitar el calentamiento y desgaste de la cinta para la fabricación del saco, este lubricante es una mezcla de aceite + agua, como la cinta esta sometido a mucha fricción en diferentes partes del telar, este es pasado por un baño de dicho lubricante para reducir el desgaste de la cinta.

A pesar de esto la cinta deja mucho polvo por desgaste, esto se debe a que la cinta de la trama, tanto como la de urdimbre tiene mucho contacto con diferentes partes del telar circular, por lo que la fricción entre ellos genera demasiado desgaste de la cinta y en consecuencia se obtiene la aparición de mucho polvo por desgaste, lo que provoca el fallo de la felpa.

La causa probable

La presencia del polvo por desgaste de cinta en los telares, se debe a la cantidad de carbonato de calcio utilizado en la fabricación de la cinta en los extrusores, y la mezcla de “agua + aceite” para lubricar la cinta de urdimbre en los telares.

2.1.1.1.4.2 Solución propuesta

Se recomienda utilizar un 2% máximo de contenido de carbonato de calcio para la fabricación del hilo o cinta para el saco, según el manual de fabricante. Actualmente se está utilizando una cantidad mayor en la mezcla, debido a que cuando un cliente requiere una mayor dureza en la cinta, se agrega más carbonato de calcio ó por la calidad de la resina de polipropileno que se utiliza para la fabricación de la cinta, ya que se agrega más carbonato cuando así lo requiera la mezcla, por lo que se debe controlar el uso del carbonato de calcio para minimizar el desgaste provocado por la cinta y tener un ambiente de trabajo más limpio para evitar fallas y paros no programados.

2.1.1.1.4.3 Hipótesis para el lubricante

El lubricante (aceite+agua), utilizado para la cinta, no es el más adecuado porque cuando el lubricante llega al telar, el polvo del desgaste de la cinta se mezcla con el lubricante formando una especie de “polvo pegajoso”, el cual se adhiere a las demás piezas del telar provocando el fallo de muchas de las piezas, en el caso de los telares Leno la pieza más afectada es la felpa, porque el lubricante contaminado provoca que esta falle, el lubricante es absorbido por la felpa la cual se vuelve más blanda y se deforma lo cual causa la deformación y el falló de la faja Xua. Este lubricante contaminado puede estar llegando a la felpa por la forma de limpieza que se utiliza en los telares, que es por medio de aire comprimido, existe un encargado de limpieza de telares que limpia el telar utilizando aire comprimido, aplicándolo directamente sobre las piezas del telar donde el polvo pegajoso queda que es en la mayoría de partes.

2.1.1.1.4.4 Solución propuesta para lubricante

Se recomienda utilizar para lubricar la cinta de telar circular el producto “STANTEX S 6051”, diluido en agua en una porción de mezcla de aprox. 1:100, esto es, 1 porción de STANTEX S 6051 y 100 porciones de agua. También recomienda la utilización de “Biocida Henkel Resista 4102”, con una porción de mezcla 0.2% del 100% del STANTEX.

La utilización del STANTEX + Agua es para lubricar la cinta y reducir la fricción con las demás piezas y al mismo tiempo evitar el desgaste de la cinta y la generación de polvo disminuya, el biocida ayudara al agua, a no descomponerse demasiado rápido y no forme musgo y malos olores.

La bandeja del lubricante tiene un volumen de dos galones y cada telar utiliza dos bandejas, una a cada lado, habiendo 105 telares en funcionamiento se necesitaría 420 galones de lubricante, por lo que se necesitara 4.2 galones de STANTEX, el precio del galón de STANTEX tiene un costo de Q241.00, entonces el lubricante tendrá un costo de Q1,012.20; a esto se debe sumar el precio del biocida dado que se debe utilizar el 0.2% ó sea 0.0084 galones (31.8 cm³), siendo el precio de Q400.00 el galón, entonces se tiene un costo total de Q1412.20 por este lubricante el cual nos ayudará a que el ambiente de trabajo se más limpio. El lubricante con STANTEX debe ser cambiando cada 20 días lo que significa que se tendrá un gasto de Q 25,772.65 anuales por utilizar este lubricante, pero esto evitara que el polvo por desgaste de la cinta no se pegue en las piezas del telar y sea mas fácil la limpieza del telar y los piezas no fallen inesperadamente, alargando la vida de las piezas.

2.1.1.1.4.5 Hipótesis sobre fuerzas externas

Las fuerza externas están siendo generadas por la limpieza de los telares, esta se realiza con aire comprimido, utilizando una manguera para limpiar las partes donde el polvo se acumula, esta técnica utilizada no es la más adecuada porqué cuando se aplica el aire comprimido sobre las diferentes piezas del telar, puede provocar que el polvo se introduzca en los cojinetes y los dañe, a pesar que los cojinetes cuentan con sellos ó tapas de protección (ZZ).

2.1.1.1.4.6 Solución propuesta para fuerzas externas

En las tomas de aire comprimido se podría colocar un regulador de presión y evitar que toda la presión llegue directamente a las piezas del telar, con lo que se puede evitar que los cojinetes fallen por resequedad o por la entrada de materias extrañas y se lleguen a trabar.

También se podría tener la opción de utilizar una aspiradora de vacío industrial para la limpieza del telar, el costo de esta solución puede ser varios según sea la marca que se adquiera, pero teniendo en cuenta que el aire comprimido que se utiliza en la limpieza de los telares no es gratis y tiene un costo de producción, para tener una idea del costo que representa hacer la limpieza de los telares con este recurso, se realizó el cálculo del consumo en Kilowatt que se utiliza para la limpieza, y poder saber cuánto cuesta o cuánto se gasta anualmente en esta forma de limpieza.

El cálculo de la energía eléctrica utilizada, está en función casi en su totalidad de la potencia del equipo (HP), el costo de la energía eléctrica (\$/Kw-h) y el tiempo de operación del sistema (días).

El compresor que suministra el aire comprimido es de tornillo de la marca KAESER, el cual tiene las siguientes características:

Tipo	CSD 125
Año	2007
Presión	130 PSIG.
Caudal	569 CFM.
Potencia	125 HP.
Motor	Trifásico.

El procedimiento del cálculo del costo de la limpieza de los telares con aire comprimido se obtiene con los conceptos de:

Energía= Unidad de Potencia X Unidad de Tiempo
(Kwh = Kw X h)

Dado que la potencia de los motores se dan en HP, ya que es potencia mecánica en el eje, el equivalente de 1 HP = 745,7 Watt ó 0,7457 KW, por otra parte Potencia eléctrica = Potencia mecánica / Eficiencia. En un motor monofásico la eficiencia es = 0,75 mientras que en uno trifásico es = 0,9

Potencia Eléctrica (Kw) = $\frac{\text{Potencia Mecánica (HP)} * \text{F.S.}}{\text{Eficiencia del motor}}$

Como se sabe que el motor es trifásico su eficiencia es del 90%, y utilizaremos un Factor de Seguridad (F.S.) igual a 1. Para empezar se debe saber cuantos CFM nos produce 1 HP de este compresor.

125HP ----- 569 CFM Tenemos que
 1 HP----- ¿? 1HP nos produce 4.552 CFM
 Entonces se tiene:

$$\text{Pot. Eléct. (Kw)} = \frac{(1\text{HP}) \cdot (1) \cdot (0.7457 \text{ Kw/HP})}{0.9} = 0.82855 \text{ Kw}$$

Con este dato se puede saber cuanto nos cuesta 1 CFM por que sabemos que 1 HP nos produce 4.552 CFM y con 1HP se consume 0.82855 Kw por lo tanto:

$$1 \text{ CFM} = \frac{0.82855 \text{ Kw}}{4.552} = 0.1820 \text{ Kw}$$

Entonces en 1 CFM de aire comprimido consumimos 0.1820 Kw

Como la fábrica de Sacos Agro-Industriales está conectada a una red de 69,000 KVA se paga 0.12 centavos de dólar el kilowatt-hora.

Ahora se puede calcular el precio de producir 1 CFM, ya que se tiene el precio del Kw-hr y el consumo de 1 CFM en Kw

$$1 \text{ CFM nos cuesta} = (0.1820 \text{ Kw}) \times (0.12 \text{ \$/Kw-hr}) = 0.022 \text{ \$/hr}$$

Como el diámetro de la manguera que se utiliza para la limpieza de los telares es de ½ pulgada, podemos utilizar la siguiente tabla para obtener la cantidad de CFM que se descarga por la manguera.

Tabla XVI Descarga de CFM por diámetro de fuga

Fuga Φ	CFM	Fuga Φ	CFM
1/16"	6.49	3/4"	934.00
1/8"	26.00	1"	1,661.00
1/4"	104.00	2"	6,660.00
1/2"	415.00		

El tiempo utilizado para la limpieza de 1 telar es de 5 min, habiendo 105 telares en funcionamiento se usan 525 min diarios de aire comprimido para la limpieza de los telares. Las horas utilizadas al año son:

$$\frac{525 \text{ min}}{1 \text{ día}} \times \frac{7 \text{ días}}{1 \text{ semana}} \times \frac{4 \text{ semanas}}{1 \text{ mes}} \times \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} = 176\,400 \text{ min/año}$$

$$\frac{176\,400 \text{ min}}{1 \text{ año}} \times \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} = 2\,940 \text{ hrs/año}$$

Entonces como ya se sabe las horas que se utilizan al año para la limpieza de los telares se puede calcular cuanto cuesta la limpieza de los telares con aire comprimido con la siguiente fórmula:

$$\text{Costo (\$)} = [\text{CFM}] \times [\text{horas al año}] \times [\text{costo CFM/hr}]$$

$$\text{Costo (\$)} = (415) \times (2940 \text{ hrs/año}) \times (0.022 \text{ \$/hrs}) = 26\ 842.20 \text{ \$/año}$$

El costo de utilizar el aire comprimido para la limpieza de los telares es de 26 842.20 dólares al año, como se puede dar cuenta este recurso es demasiado caro además de que nos daña las piezas o reduce el tiempo de vida útil de los cojinetes utilizados en los telares.

Con este resultado se puede justificar la compra de una aspiradora de vacío industrial (como recomiendo el fabricante), para la realización de la limpieza de los telares circulares, reduciendo de esta manera las fallas de las piezas y el cambio frecuente de cojinetes que fallan por resequedad o por atrancamiento por la infiltración del desgaste de la cinta.

2.1.1.2 Leva

2.1.1.2.1 Identificación y descripción de las fallas en levas

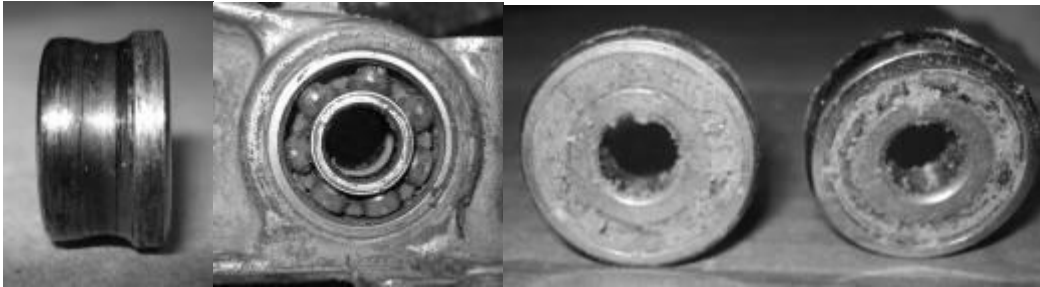
Como anteriormente se mencionó para los telares circulares ALPHA-6, SL-6, SL-4 y Leno la pieza denominada Leva, es la misma en diseño y tipo de material a diferencia de los telares HDE-4 las Levas son distintas.

Las fallas que presentan las levas son:

- Cojinete dañado
- Leva quebrada
- Rueda dañada
- Rodillos de leva (HDE-4)

El problema en los cojinetes de Levas es uno de los más frecuentes y más problemáticos en esta pieza, se puede notar que los cojinetes tanto de la rueda como los de la base sufren de diferentes tipos de fallas, el cojinete se torna inutilizable cuándo sufre fallas prematuras debido al manejo y procedimientos de montaje inadecuados. Cuando un cojinete se daña durante la operación, la máquina puede trabarse o presentar una mala operación por completo, la mayoría de fallas que presentan los cojinetes en la leva son por resequedad o atascamiento del mismo, esto se debe por la alta contaminación que existe en el lugar de trabajo, por el desgaste que sufre la cinta, este desgaste se introduce en el cojinete provocando de esta manera la falla de los cojinetes.

Figura 84. **Diferentes fallas del Cojinete de levas**



Otra de las fallas presentadas, es la destrucción del cojinete, cuando la falla se presenta en muchas de las ocasiones no se puede encontrar una de las jaulas ya sea la jaula interna o bien la externa, a pesar que el nivel de ruido que produce cada telar en funcionamiento es de 96 decibeles, cuando un cojinete se desarma, el operador solo puede percatarse de esta falla por un ruido diferente en la máquina o bien por la deficiencia de la costura de la tela.

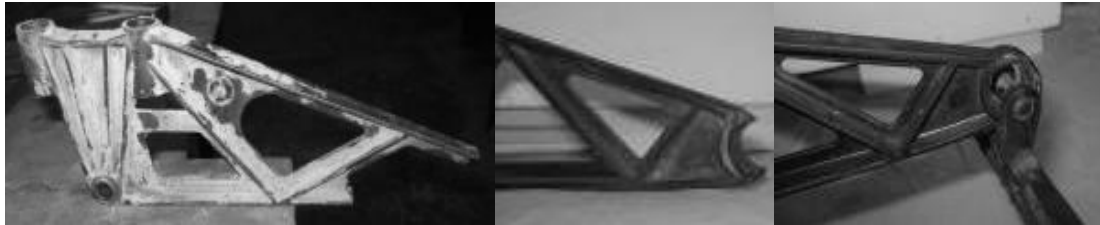
Figura 85. **Cojinete de levas destruido**



En al caso de la falla de la Leva quebrada se puede atribuir al atascamiento del cojinete en la rueda o del cojinete de la base, cuando uno de estos cojinetes se atascan la falla provocada es la fractura de la Leva, por la forma de la pieza existe dos puntos frágiles en las cuales siempre se de la falla, estas son la esquina de la leva y la otra es en la parte detrás de las ruedas.

Se atribuye también el atascamiento del cojinete del rodillo de la faja xua cuando la leva se quiebra en la punta donde se conectan estas dos piezas.

Figura 86. **Falla de leva quebrada**



Otra de las fallas que presenta la Leva es cuando la rueda se daña, las ruedas le proporcionan movimientos verticales a la leva para que realice su trabajo de mover las fajas y así formar la costura de la tela, comúnmente la rueda presenta signos de desgaste excesivo o destrucción completa, esto se puede atribuir al mal funcionamiento de un cojinete puesto que cuando un cojinete se atasca la rueda deja de girar provocando desgaste por fricción entre la rueda y el volante provocando la falla de la rueda.

Figura 87. **Falla de rueda de leva**



Los telares circulares modelo HDE-4 son los más antiguos con que cuenta la planta, estos modelos utilizan rodillos en la base de Levas, que también presenta una gran frecuencia de fallas.

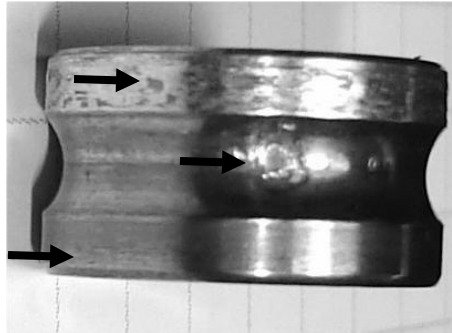
La falla que presentan estos rodillo en general es la deformación o destrucción del rodillo, también en muchos casos no solo el rodillo que da inservible sino que el cojinete se destruye, la destrucción del cojinete se puede atribuir a fallas en la instalación (desalineamiento), impacto durante el montaje, aumento de temperatura, rotación excesiva, aceleraciones o desaceleración repetitivas, etc., además se le puede sumar la contaminación que sufre el cojinete llegando a atrancarse el cojinete y de esta forma surge la falla.

Figura 88. **Falla de rodillo de levas**



En muchos de los cojinetes destruidos se pueden apreciar claramente marcas provocadas por sobrecarga, desalineación del eje o cuando el cojinete esta desmotado. Si los trazos están claramente definidos, es posible determinar si el rodamiento se sometió a carga radial, axial o de momento.

Figura 89. **Anillo interior, cojinete del rodillo de levas**



En la figura anterior se puede apreciar la falla por deslizamiento en las orillas del anillo interior provocada por el rompimiento de la película del lubricante y/o patinaje (deslizamiento) entre pistas y elementos rodantes, causados por aceleraciones y desaceleraciones repetitivas, así también se puede observar descamación en la pista en el intervalo de las bolas, este tipo de falla sucede cuando un rodamiento gira con carga, provocando la salida de material por la fatiga del acero en las superficies de los elementos rodantes de las pistas de los anillos interior o exterior, causado posiblemente por carga excesiva, falla en la instalación (desalineamiento), juego incorrecto, contaminación por partículas de polvo o por agua, deficiencia en la precisión del eje o el alojamiento,

Figura 90. **Falla del cojinete de rodillo de leva**



2.1.1.2.2 Recolección y organización de datos e inspección de fallas de levas

La recolección de los datos se tomó clasificando las fallas que se presentaron durante cada mes, a continuación se presenta la tabulación de las fallas de enero a agosto de 2007.

Tabla XVII Órdenes de trabajo de levas de enero a agosto

Enero

Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	58
SL-4	23
SL-6	20
Leno	0
ALPHA-6	2
Total	103

Febrero

Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	44
SL-4	29
SL-6	20
Leno	8
ALPHA-6	0
Frederick	1
Total	102

Marzo

Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	53
SL-4	42
SL-6	35
Leno	4
ALPHA-6	1
Frederick	0
Total	135

Abril

Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	56
SL-4	37
SL-6	15
Leno	8
ALPHA-6	0
Total	116

Continuación Tabla XVII

Mayo

Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	44
SL-4	36
SL-6	25
Leno	9
ALPHA-6	2
Total	116

Junio

Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	50
SL-4	16
SL-6	15
Leno	6
ALPHA-6	1
Total	88

Julio

Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	71
SL-4	23
SL-6	25
Leno	23
Frederick	1
Total	143

Agosto

Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	33
SL-4	32
SL-6	35
Leno	34
ALPHA-6	0
Total	134

Como se puede apreciar en las tablas anteriores las Levas de los telares circulares HDE-4, son las que se reportan con mayor frecuencia, esto se debe a que la base de las levas de estos modelos tienen un diseño diferente a las demás por ser más antiguos, la faja xua se conecta al extremo de la base de levas donde están los rodillos para darle el movimiento oscilatorio vertical, lo cual hace que el cojinete no tenga un movimiento circular completo sobre su eje, si no que solo un movimiento aproximado de 2/3 sobre su eje, y esto provoca una mayor tendencia a fallar.

A continuación se muestra las graficas de fallas de las levas de enero a agosto de 2007.

Figura 91. Fallas de levas de enero-agosto

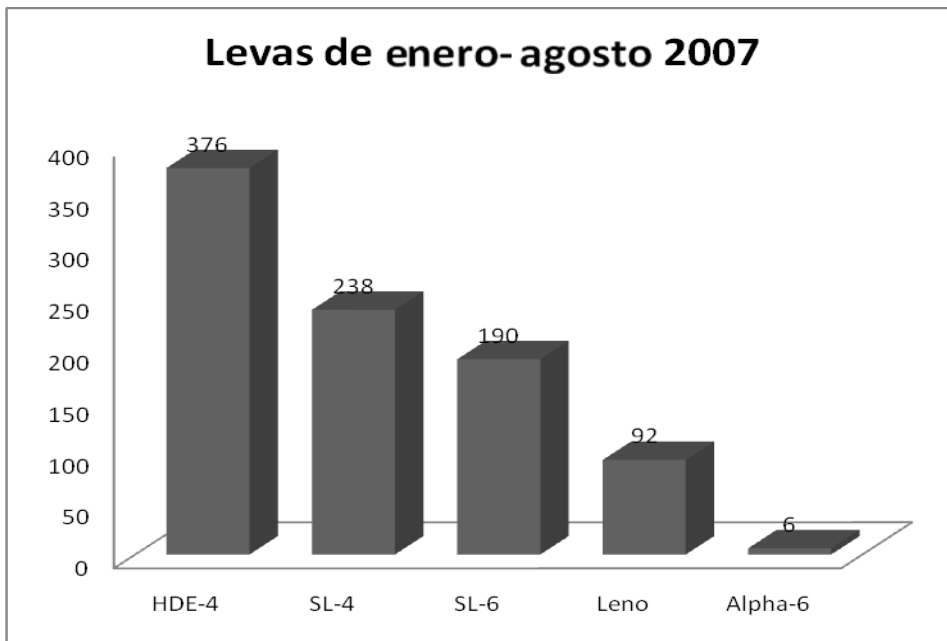
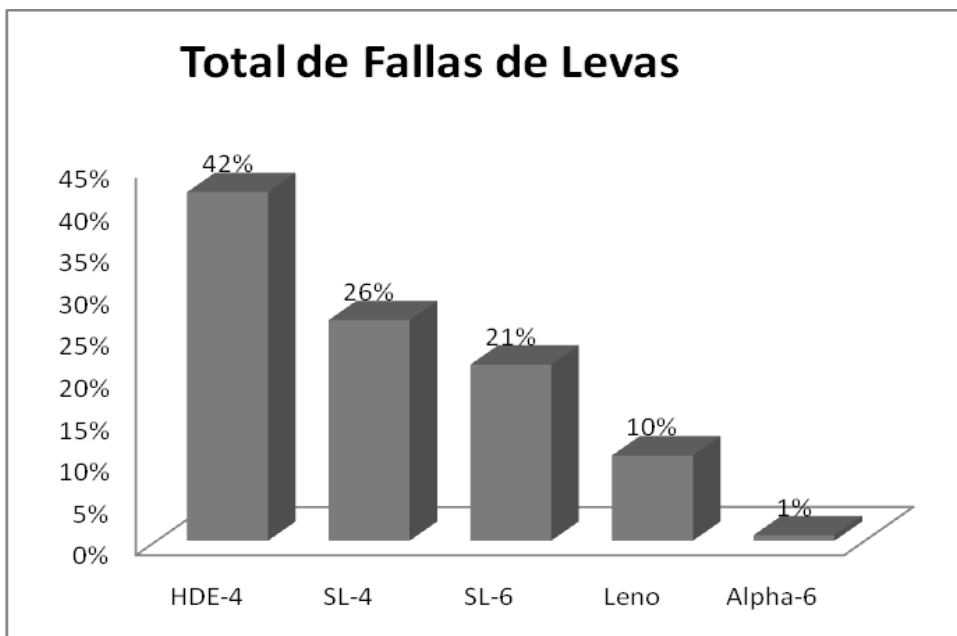


Figura 92. Fallas de levas en porcentaje



2.1.1.2.3 Análisis y elaboración de diagrama causa-efecto y árbol de falla

Figura 93. Diagrama causa-efecto de leva

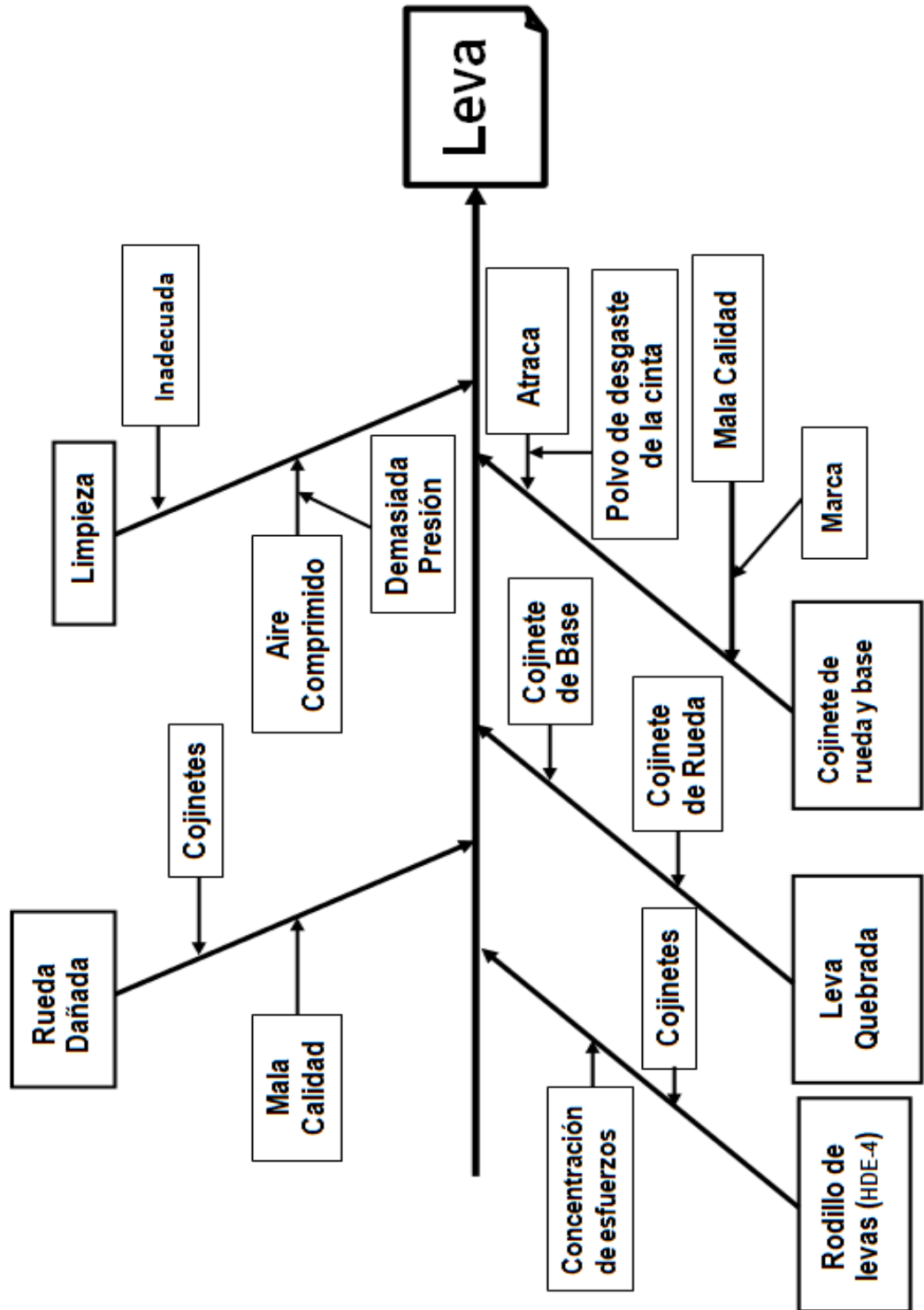
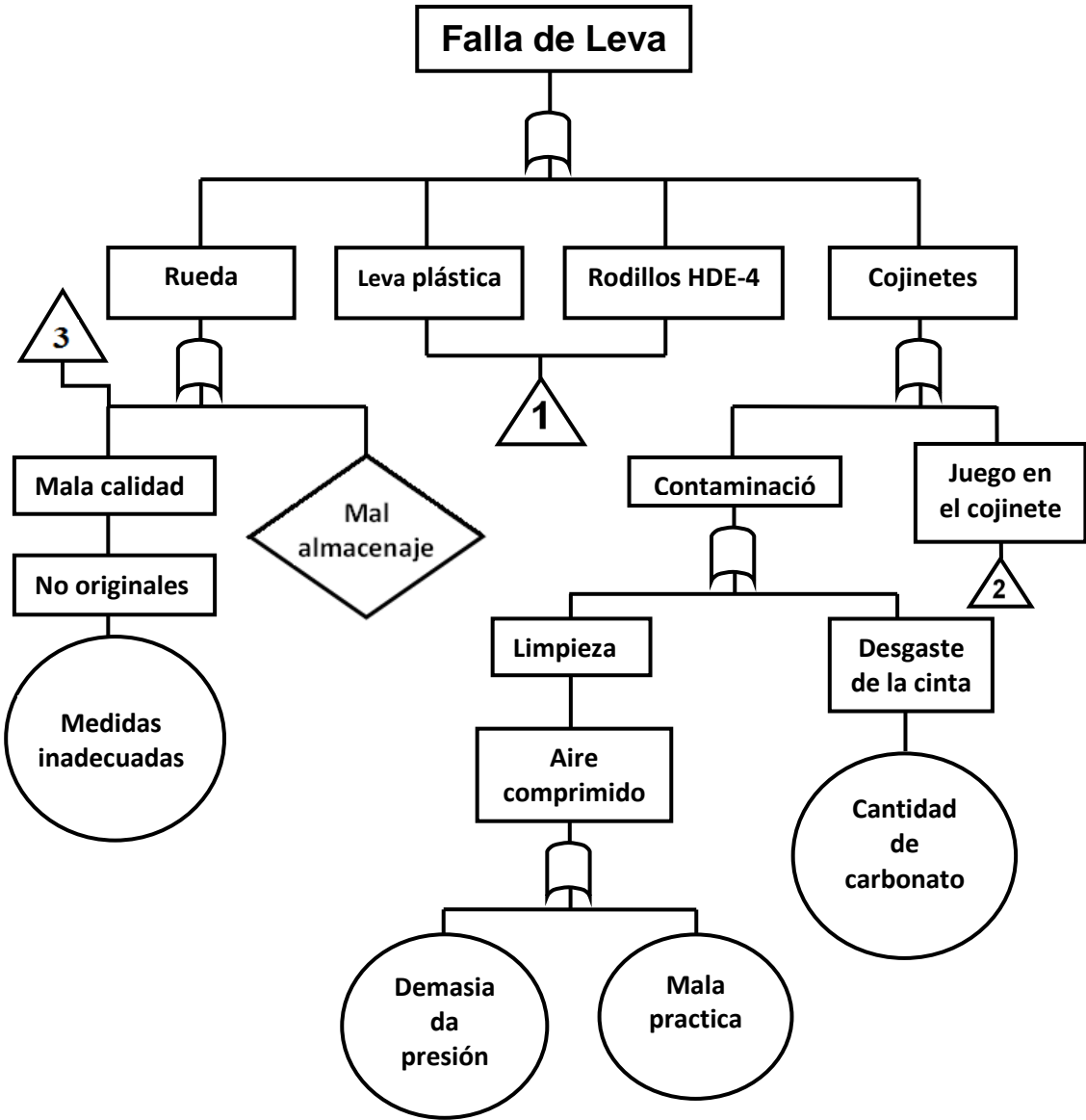
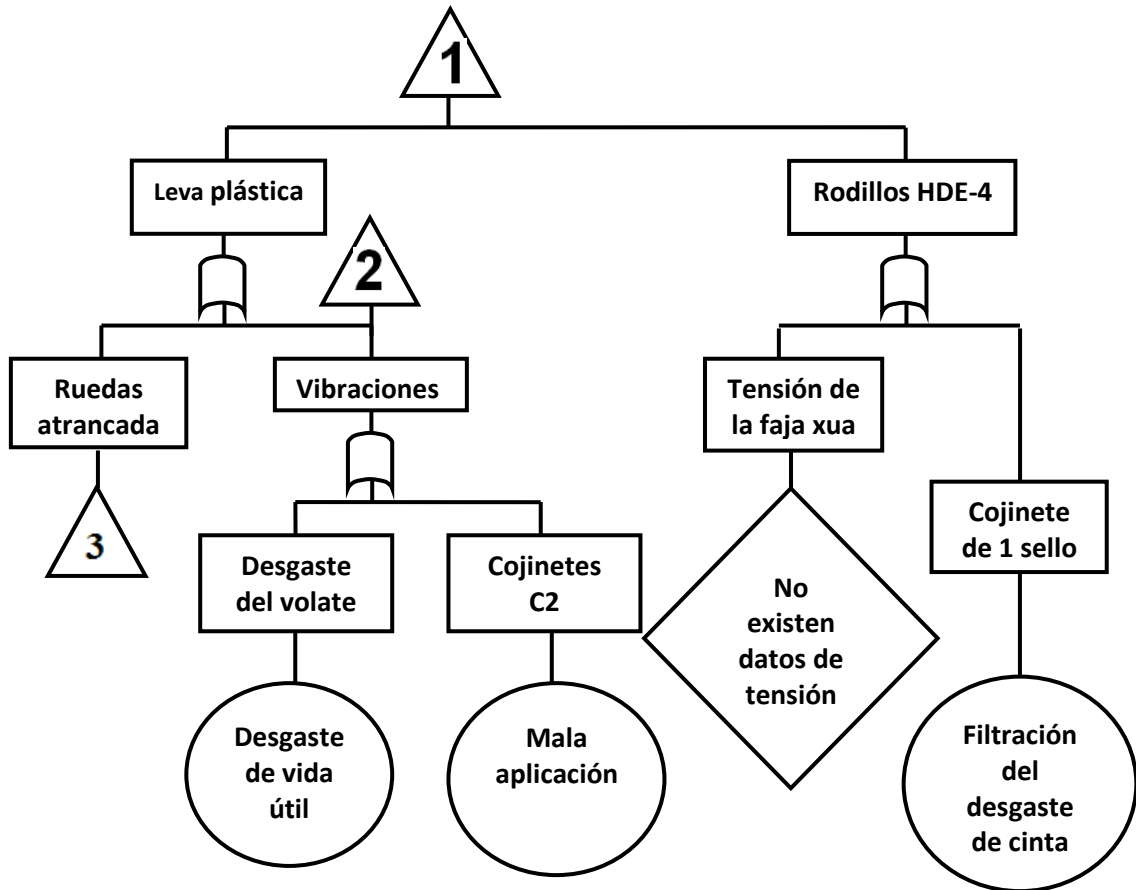


Figura 94. Diagrama de árbol para leva



Continuación Figura 94

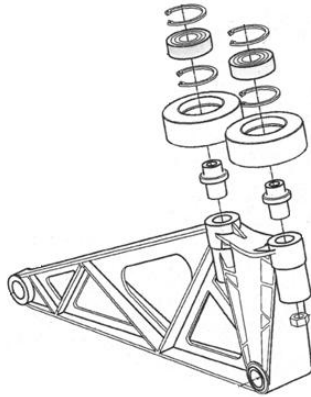


Las medidas de las ruedas de levas que se presentan a continuación son las medidas de ruedas originales, actualmente se usan ruedas producidas por un distribuidor nacional, las cuales cuentan con medidas inadecuadas no solo del diámetro sino también la medida del alojamiento, por lo general las dimensiones son mayores por unos milímetros causando la falla.

Tabla XVIII **Medidas de ruedas originales**

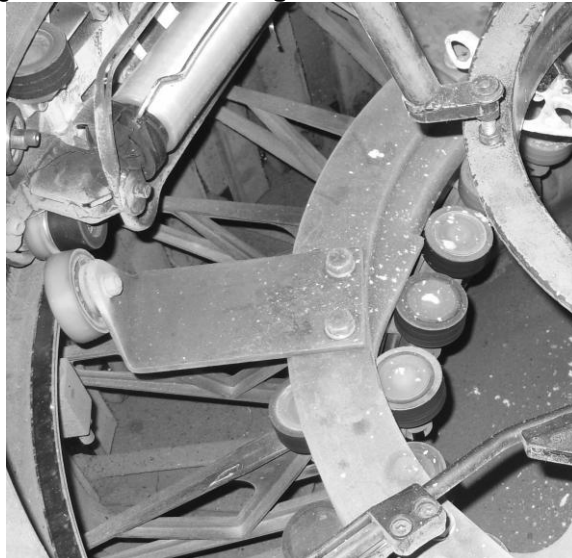
<i>Rueda de Levas</i>		
	Diámetro	Ancho
SL-4 BB	50 mm	22 mm
SL-6	45mm	17 mm
SL-4	50 mm	22 mm
Alpha-6	50 mm	17.3 mm
HDE-4	50 mm	22 mm

Figura 95. **Leva Plástica y ruedas**



Anteriormente, se menciona el problema que genera utilizar aire comprimido para la limpieza de telares, además de tomar en cuenta el gasto que genera producir aire comprimido como se calculo anteriormente. La infiltración del desgaste de la cinta esta siendo provocada por el aire comprimido, el desgaste de la cinta se encuentra en todas partes del telar provocando fallas prematuras en el cojinete, el desgaste de la cinta se debe a la cantidad de carbonato de calcio utilizado para su fabricación como se menciono anteriormente.

Figura 96. **Vista del desgaste de la cinta en el telar**

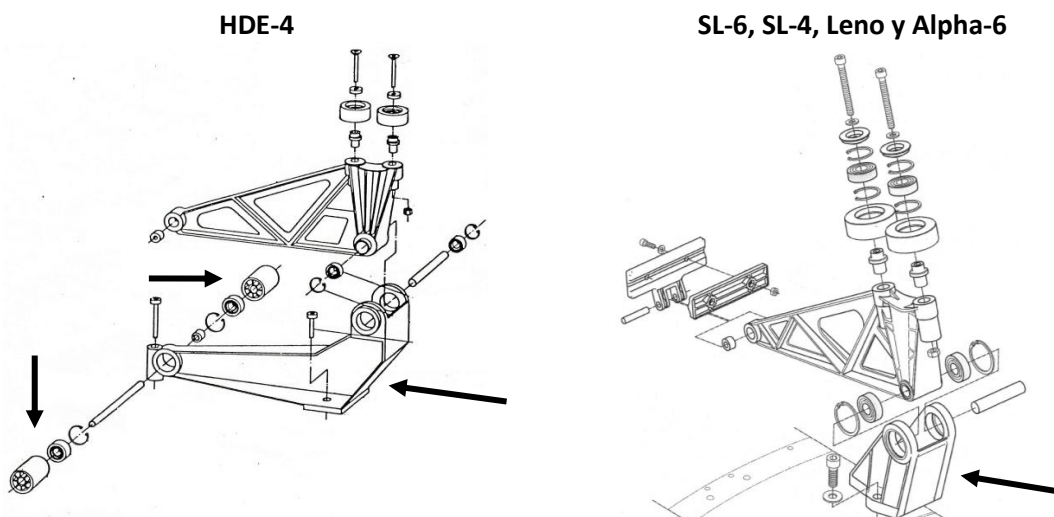


2.1.1.2.4 Hipótesis sobre las causas o causa de las fallas e interpretación de resultados

2.1.1.2.4.1 Hipótesis para base de levas (HDE-4)

Por la existencia de diversos modelos, de telares circulares, en la planta existen dos clases de bases para levas, las utilizadas en los telares HDE-4 y las utilizadas en los telares SL-6, SL-4, Leno y Alpha-6, la base de estos cuatro últimos telares tienen el mismo diseño, a diferencia de los telares HDE-4 la base es más alargada debido a que la faja xua se conecta el los rodos que tienes estas base, en los otros modelos la faja xua se conecta en la parte inferior de la estructura del telar, esto los hace más seguros y más eficientes.

Figura 97. Diferencias entre base de levas



La falla común encontrada en la base de los telares HDE-4 es el daño de los rodos ó los cojinetes de estos rodos, debido a que el área efectiva de trabajo de estos es pequeña y el esfuerzo que debe soportan son bastantes, a diferencia de los otros modelos el rodillo inferior de la faja xua se sostiene de los extremos distribuyendo de esta forma, mejor las cargas y los esfuerzos.

En los ejes de los rodos de los telares HDE-4 se puede observar la falla por desgaste adhesivo, este ocurre cuando, entre el eje y su cojinete se trasfiere metal debido a que entran en contacto directo por que se rompe la capa de lubricante. Algunas de las causas que producen la falla se pueden atribuir a falla en el sistema de lubricación, alta velocidad ó elevada temperatura.

2.1.1.2.4.2 Solución propuesta

Se llego a la conclusión de que la falla de los cojinetes en los rodos se debe a la pequeña área de trabajo a que esta sometida pues el cojinete no gira por completo sino se mantiene girando solo un una pequeña área, en esta área se concentra muchos fuerzas, por lo que el cojinete sufre mucho calentamiento y esto provoca la destrucción del cojinete y/o el rodo, en mucho de los casos también se ve afectado el eje del rodo.

En condiciones apropiadas de lubricación y carga es decir cuando se siguen procedimientos adecuados de mantenimiento y operación, se pude mantener la vida útil de los cojinetes.

La base de las levas de los telares HDE-4 cuentan con una grasera, la cual actualmente no se esta utilizando, se recomienda la utilización de la grasera para evitar el calentamiento en el cojinete y alargar la vida del mismo, para conseguir de esta forma un mejor funcionamiento del telar. Se podría utilizar cojinetes de un solo sello, si se utilizara la grasera para que la grasa introducida entre por las caras del cojinete sin sello y ayude a que el calentamiento se a menor.

La contaminación del cojinete es otra de las causas que se puede encontrar frecuentemente, muchas de las veces sucede que el cojinete se atranca por suciedad, esta suciedad es el polvo generado por la fricción y desgaste de la cinta.

Por lo que, también como se menciona anteriormente, sería bueno pensar en otra forma de limpieza en ves del uso del aire comprimido por razones económicas, se puede tener la opción de la implementación de una aspiradora industrial para la limpieza de los telares.

Anteriormente se encontró el costo de utilizar el aire comprimido para la limpieza de los telares, siendo 26 842.20 dólares al año, como se puede dar cuenta este recurso es demasiado caro, además de dañar las piezas o reducir el tiempo de vida útil de los cojinetes utilizados en los telares, es por eso que el uso de una aspiradora industrial para realizar la limpieza de los telares se debería tener muy en cuenta.

Una opción adecuada podría ser la adquisición de una aspiradora marca GOODWAY, modelo Aspiradora Industrial HEPA VAC-2-HEPA; sus características son: Aspiradora VAC-2-HEPA de Servicio Mojado-Seco del tipo HEPA es la solución segura para las aplicaciones de recobrar la mayoría de las partículas finas. Equipado con el poder de dos motores gemelos, la VAC-2-HEPA produce una elevación estática de agua de 83" (2,1 m) y un desplazamiento de aire de 150 pies cúbicos/minuto (CFM), (4,2 m³/min) para incluso completar los trabajos más duros.

Cómo funciona: para la aspiración de residuos secos se utiliza la toma inferior. Una bolsa desechable de colección de papel de filtro atrapa la mayoría de material – capacidad de 5 galones (19 litros).

Para la recolección de líquidos o materiales a granel se utiliza la toma superior – capacidad de 12 galones (45 litros). En todos los casos, Las partículas finas son filtradas hasta 0,3 micrones por un filtro de tela, un filtro de Dacrón, un filtro de polipropileno y un filtro HEPA. Solamente aire seguro "limpio" no peligroso pasa por el escape de la aspiradora.

Características – Ventajas

- Filtro HEPA es 99,97% eficiente a 0,3 micrones – filtración superior
- Grande filtro HEPA – larga duración
- Monitor de luz para el filtro HEPA – deja que el operador vea cuándo reemplazar el filtro
- Bolsa de colección de papel de filtro de 5 galones (19 litros) – capacidad grande

- Bolsa de plástico para el tanque – manera segura de botar la basura
- Dos motores de servicio pesado – succión potente Tanque de acero inoxidable – se adapta a cualquier aplicación
- Cuando el tanque se llena se detiene la aspiración – impidiendo el desborde de agua
- Deflector metálico – no se quiebra
- Mangueras de 1 1/2" o 2" (38mm o 51mm) – máxima adaptabilidad.

Tabla XIX. **Especificaciones de una aspiradora GOODWAY**

Especificaciones	
Potencia del motor	2 2/3 HP (2kW)
Alimentación	Estándar: 18 amperios, 115V, 50/60 Hz CA
Cordón de alimentación	37' (11,3m), calibre 14 AWG, 3 conductores
Elevación estática del agua	83" (2,1m)
Desplazamiento de aire	150 pies cúbicos por minuto (4,2 m3/min)
Dimensiones	17" (430mm) de diámetro, 40"(1m) de alto total
Peso	64 lb (30kg)
Capacidad de seco	5 galones (19 litros)
Capacidad de líquido	12 galones (45 litros)
Filtro HEPA	Rendimiento del 99.97% en 0,3 micrones

2.1.1.2.4.3 Hipótesis de la falla sobre la leva plástica

La leva plástica es la misma para todos los modelos. Esta pieza sufre daños con mayor frecuencia en dos partes.

1. En la parte de adelante de la leva donde se conecta con el sujetador de la faja xua.
2. En la parte de atrás de la leva.

1. En la parte de delante de la leva donde se conecta con el sujetador de la faja

Causas:

Las posibles causas que se encontraron para esta falla fueron:

- Cojinete de la base contaminado
- Cojinetes de la base trabado
- Cojinete utilizado muy ajustado (C2)

2. En la parte de atrás de la leva

Causa:

- Contaminación y traba del cojinete
- Cojinete demasiado ajustado
- Desgaste del volante tipo leva

2.1.1.2.4.4 Solución propuesta

2.1.1.2.4.4.1 Para la parte de delante de la leva donde se conecta con el sujetador de la faja

Para evitar que el cojinete se contamine y por esta razón se trabe y no gire, se debe tener el telar libre de agentes contaminantes, en este caso la contaminación que se mantiene en los telares es el desgaste de la cinta, este desgaste afecta de tal manera que en todas las piezas del telar que utilicen cojinetes para su funcionamiento, estén expuestos a fallar, por lo que una vez mas se aconseja encontrar una nueva forma de limpieza de los telares ó con menos presión de aire ó la consideración de limpieza del telar con una aspirador industrial.

Otra de las causas es que cuando se colocan los cojinetes en su alojamiento y empieza a girar, los elementos rodante del cojinete quedan ajustado dificultando su movimiento y no realice el trabajo al cual fueron diseñados, esto se debe a que en el cojinete hay medidas que no podemos observar, a menos que expresamente este informado en el cuerpo del anillo exterior o en las tapas de los sellos y se trata del juego interno, por norma este juego se denomina con la letra "C" , siendo el normal CN, y los mas comunes C2 y C3, donde el numero creciente indica un juego mayor entre bolas y anillos.

Actualmente, se está utilizando cojinete C2, por lo que cuando el cojinete quedara muy ajustado y que aun siendo nuevo el cojinete el desplazamiento o giro del cojinete sea muy forzado se debe utilizar un cojinete C3, los cojinetes C3 tienen un mayor juego interno, por lo que se recomienda utilizar cojinete C3 ya que estos se usan para RPM altos, y como la velocidad de la rueda es mayor a 2500 rpm el cambio resultaría una buena opción.

También actualmente se utilizan cojinetes con sello prelubricados con tapas de protección (ZZ) en ambos lados pero estos no son tan efectivos ya que la cantidad de contaminación es bastante considerable, por lo que se prefiere cambiarlos a cojinetes prelubricados con tapas de obturación o sello (RS o LLU en NTN) en ambos lados. Las tapas de obturación o sellos (2RS o LLU), el sello de estos rodamientos consiste de un caucho sintético moldeado a una plantilla de acero, fijado en la ranura del anillo exterior. A diferencia del anterior (ZZ), este sello se introduce en la ranura del anillo interior haciendo contacto. Este tipo de rodamiento brinda una excelente y efectiva protección contra la entrada de polvo y fuga de grasa.

2.1.1.2.4.4.2 Para la parte de atrás de la leva

Una de las condiciones que afectan más a los telares es la contaminación por desgaste de la cinta, por lo que se requiere que esta contaminación se elimine del telar con mayor eficiencia sin tener que causar otras fallas a la hora de eliminarla. Por eso se recomienda considerar la idea de la aspiradora industrial como anteriormente se ha mencionado.

Otra de las causas es que cuando se colocan los cojinetes en la rueda puede que este quede demasiado ajustado, esto se debe a que en el cojinete hay medidas que no podemos observar, anteriormente se mencionó que este se trata del juego interno. Actualmente se está utilizando cojinete C2, por lo que cuando el cojinete quedara muy ajustado y que aun siendo nuevo su desplazamiento o giro (del cojinete) sea muy forzado, se debería utilizar un cojinete C3.

Otra causa puede ser el desajuste que existe entre las ruedas de la leva y el volante, cuando el desajuste es demasiado causa una vibración en la maquina y esta afecta por lo general en la parte de atrás de la leva provocando que esta falle y se tenga que reemplazar la pieza, en muchos casos esta pieza afecta o otras levas pues la maquina no para y sigue girando, provocando un mayor fallo, por lo que se debería revisar el desgaste de las ruedas, pero se recomienda revisar con mayor frecuencia el desajuste del volante de los telares esto evitaría tomar decisiones erróneas pues si el volante está demasiado gastado no importa si las ruedas son originales o si el cojinete es el correcto siempre tendrá un juego entre las ruedas de levas y el volante lo que dará lugar a la falla de la leva.

2.1.1.2.4.5 Hipótesis de rueda de levas

La falla de las ruedas de levas es una falla que afecta muy frecuentemente por lo que es necesario darle una solución para tener una mejor optimización de recursos y tiempos de producción y/o mantenimiento.

Posibles causas:

- Mala calidad
- Mal almacenaje
- Contaminación y traba del cojinete
- Desgaste del volante tipo leva

2.1.1.2.4.6 Solución propuesta

Se debe verificar la calidad de las ruedas porque actualmente se están utilizando ruedas genéricas (no originales). Por lo que, se recomienda verificar en una rueda original el tiempo de vida útil que puede durar y comparar con las ruedas nuevas genéricas y comprobar los beneficios en tiempo de servicio como en precio, es también recomendable pedirle al proveedor de la ruedas genéricas pruebas de dureza del material, resistencia térmica, y así tener un estándar de la calidad en las ruedas utilizadas.

Para medir el tiempo de vida útil de las ruedas originales vs. Las ruedas genéricas la prueba se puede realizar, en uno o dos telares, utilizando varias levas como prueba, se colocan ruedas originales a unas levas y en otras levas ruedas nuevas no originales y de esta forma medir en tiempo de trabajo efectivo de cada rueda, considerando que las condiciones de trabajo sean las mismas para las ruedas a evaluar, teniendo de esta forma una vista clara de los beneficios de cada una de las ruedas (originales/ genéricas).

También se debería verificar la forma de almacenamiento de las ruedas, actualmente la ruedas se almacenan en la bodega de suministros en un segundo nivel, siendo este un lugar relativamente caliente por estar con un techo de lamina, lo que puede estar causando a que la ruedas se rajen cuando son utilizadas en los telares, provocando que estas fallen por las rajaduras que tengan, hasta llegar a su destrucción, por lo que seria una mejor opción el almacenaje en un lugar más fresco para que se mantengan en mejores condiciones. Anteriormente se menciona que el volante tipo leva puede estar gastado provocando vibraciones en el telar lo que da como resultado una mala costura de la tela, por tal razón es importante tomar las medidas de los volantes y no pensar que el problema sean los cojinetes.

2.1.1.3 Greyser

2.1.1.3.1 Identificación y descripción de las fallas en greyser

Las lanzaderas cuentan con dos greyser para mantener sujetado la bobina de la trama estos dos greyser se ven afectados frecuentemente por diversas razones siendo las mas comunes los siguientes:

1. Resorte
2. Seguro de greyser
3. Cojinete del greyser

Los problemas que presentan generalmente el resorte del greyser son que el resorte es demasiado duro o bien sea demasiado suave en cualquiera de los dos casos la maquina no trabaja bien y por tal motivo se detiene automáticamente, por lo que se debe encontrar una solución para evitar paros innecesarios.

Otro de los problemas que presentan los greyser son los seguros que estos llevan, estos seguros mantienen al resorte y los cojinetes tanto como al greyser mismo en su lugar, el problema con estos seguros es que se salen de su lugar provocando que la bobina de la trama se salga de la lanzadera y se detenga el telar.

El greyser generalmente lleva dos cojinetes, por lo que cada lanzadera tiene cuatro cojinetes de greyser, el problema que presentan estos cojinetes son los que generalmente se presentan en los demás cojinetes del telar, como atrancamiento, destrucción, infiltración de suciedad, etc.

2.1.1.3.2 Recolección y organización de datos e inspección de fallas de greyser

La recolección de los datos se tomó clasificando las fallas que se presentaron durante cada mes, a continuación se presenta la tabulación de las fallas del mes de Enero al mes de Agosto del año 2007.

Tabla XX Órdenes de trabajo de greyser de Enero-Agosto

Enero		Febrero	
Modelo	Órdenes de trabajo	Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	37	HDE-4	30
SL-4	133	SL-4	95
SL-6	39	SL-6	42
Leno	1	Leno	5
ALPHA-6	3	ALPHA-6	4
Frederick	6	Frederick	2
Total	219	Total	178

Marzo		Abril	
Modelo	Órdenes de trabajo	Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	38	HDE-4	37
SL-4	137	SL-4	107
SL-6	65	SL-6	18
ALPHA-6	0	Leno	4
Frederick	9	ALPHA-6	3
Total	249	Frederick	3
		Total	172

Continuación Tabla XX

Mayo

Modelo	Ordenes de trabajo
HDE-4	36
SL-4	113
SL-6	26
Leno	4
ALPHA-6	1
Frederick	7
Total	187

Junio

Modelo	Ordenes de trabajo
HDE-4	27
SL-4	147
SL-6	14
Leno	11
ALPHA-6	0
Frederick	2
Total	201

Julio

Modelo	Ordenes de trabajo
HDE-4	17
SL-4	70
SL-6	11
Leno	3
ALPHA-6	1
SL-8	2
Total	104

Agosto

Modelo	Ordenes de trabajo
HDE-4	20
SL-4	73
SL-6	40
Leno	3
ALPHA-6	0
Total	136

Se puede notar que en los telares SL-4 se presentan mayor número de fallas en los greyser esto se debe a que existe un mayor número de telares en funcionamiento modelos SL-4, y la sucesión de la cantidad de fallas en cada modelo corresponde a la cantidad de telares en funcionamiento, a pesar de esto la cantidad de fallas presentes de greyser en los modelos SL-4 es bastante considerable y por eso es necesario hallar una solución al problema.

A continuación se muestra las gráficas de fallas de greyser de enero a agosto de 2007.

Figura 98. **Falla de greyser de enero-agosto**

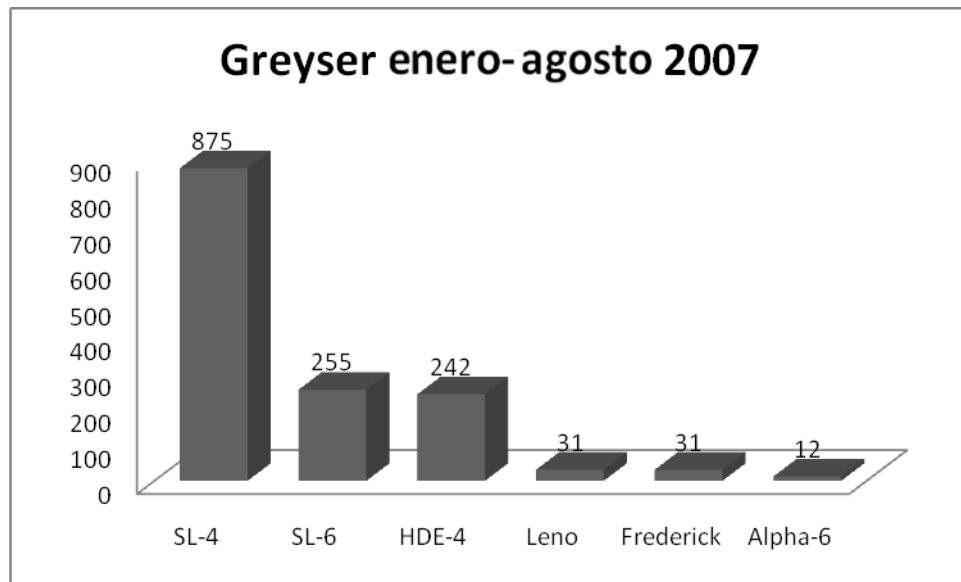
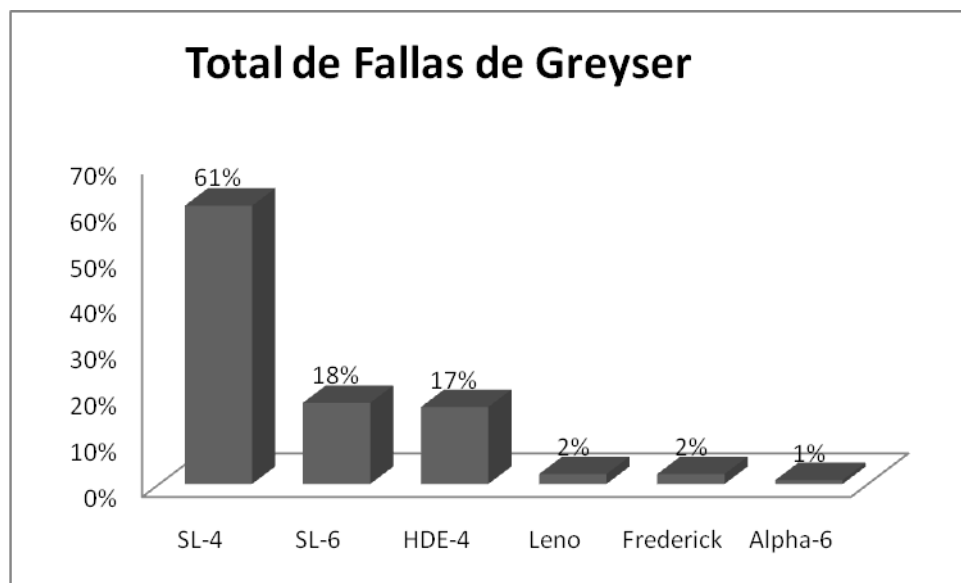


Figura 99. **Fallas de greyser en porcentaje**



2.1.1.3.3 Análisis y elaboración de diagrama causa-efecto y árbol de falla

Figura 100. Diagrama causa-efecto de greyser

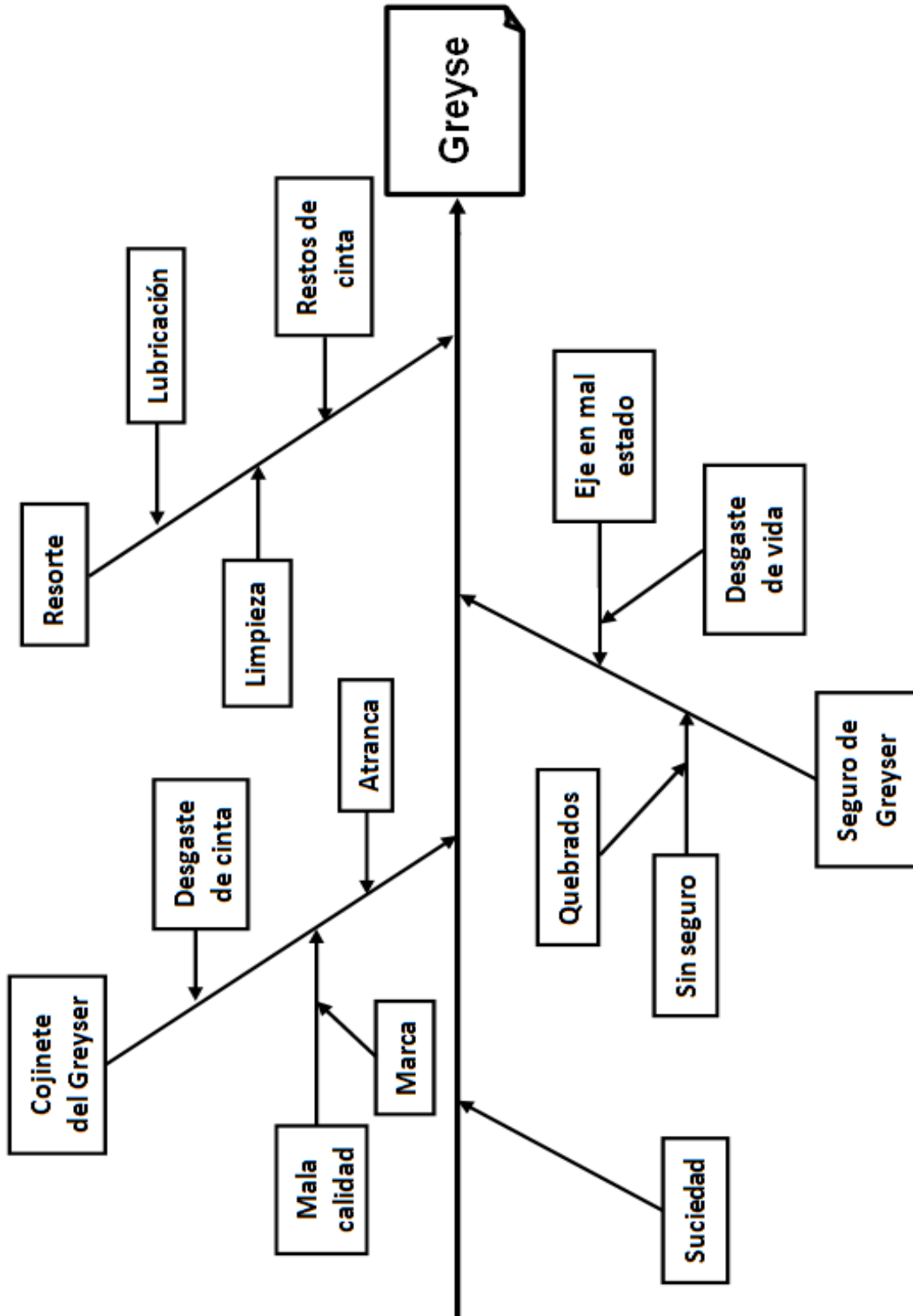
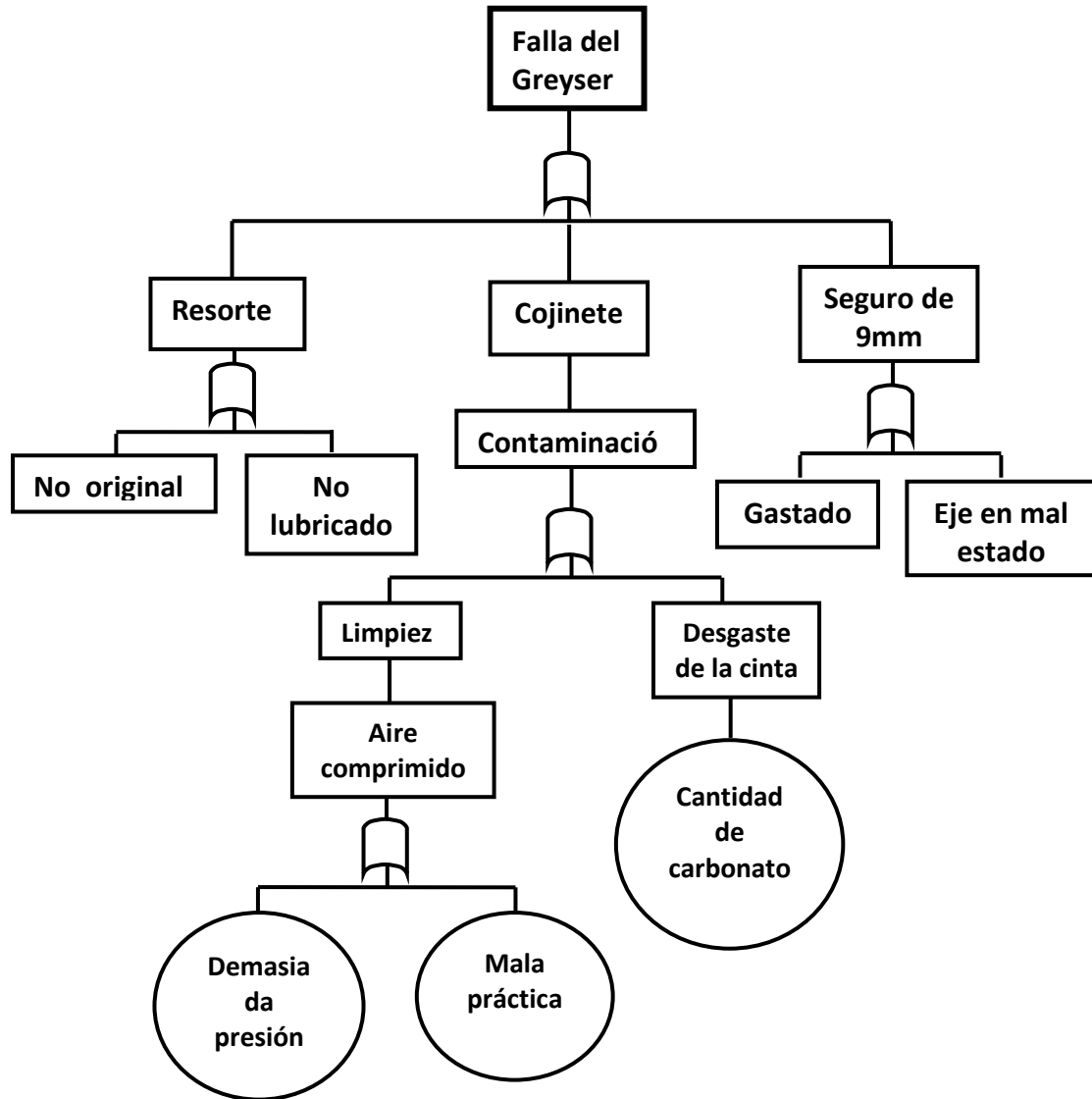


Figura 101. Diagrama de árbol de greyser



Como anteriormente se mencionó la cantidad de contaminación (desgaste da la cinta) que se encuentra en los telares provoca fallas a diferentes piezas del telar, afectando de esta manera también al greyser, además la forma de limpieza de los telares afecta en gran parte a muchos de las piezas del telar incluyendo al greyser.

2.1.1.3.4 Hipótesis sobre las causas o causa de las fallas e interpretación de resultados

2.1.1.3.4.1 Hipótesis de resorte

La cantidad de órdenes de trabajo reportadas mensualmente por falla del resorte es considerable, por lo que se debe darle una solución y así reducir el número de órdenes de trabajo para esta pieza.

Causas:

- Suciedad
- Lubricación

2.1.1.3.4.2 Solución propuesta

Para reducir el número de ordenes de trabajo para el greyser los operadores podrían limpiar con mayor frecuencia el resorte y lubricarlo, pues estos se llena de cintas obstaculizando la trayectoria del resorte y cuando se remueve las cintas que se enredan en el resorte, también se remueve el lubricante, por lo que se debería lubricar el resorte cada vez que se limpie el resorte. Es también recomendable tener una especificación de la suavidad o dureza que deba tener el resorte para cada modelo en los telares y así colocar el resorte adecuado a cada telar.

2.1.1.3.4.3 Hipótesis para el seguro

La causa probable de falla por la que se reportan con demasiada frecuencia el seguro del greyser, puede estar en el eje, del resorte y el seguro, el eje puede estar demasiado gastado en el espacio o alojamiento del seguro y no puede ser suficiente para retenerlo y por tal motivo se salga el seguro del eje, provocando de esta manera que una de las bobinas de la cinta se salga de su lugar y llegando de esta forma la falla de la telar.

2.1.1.3.4.4 Solución propuesta

Revisar los ejes del seguro del greyser y cambiar los ejes con mayor desgaste, por los ejes que se sujetan al greyser con tornillo, estos tipos de ejes que sujetan al greyser con tornillo hacen un mejor trabajo que los seguros, evitando de esta manera fallas por seguro de greyser, el cual nos reduciría los tiempos muertos de trabajo por cambio de seguros.

2.1.1.3.4.5 Hipótesis del cojinete

Los cojinetes del greyser son afectados de gran manera en esta pieza y en la mayoría de los cojinetes del telar, el problema que presentan son atascamiento, por infiltración de partículas o falta de lubricación, por lo que es de importancia darle una solución adecuada para evitar paros innecesarios en el telar.

Causas probables

- Suciedad
- Ajuste del cojinete
- Espaciador

2.1.1.3.4.6 Solución propuesta

Como se a mencionada la suciedad es uno de los problemas que más afecta a los telares circulares, es por esto que se debería tomar muy en cuenta la opción anteriormente propuesta, de adquirir una aspirador industrial para la limpieza de los telares esta solución ayudará a mantener limpio los telares sin tener que dañar los cojinetes u otras partes del telar

Para el ajuste del cojinete, como ya se menciona anteriormente, se está utilizando cojinetes con ajuste C2 y el problema con estos cojinetes es que internamente los bolas están muy ajustadas por eso se debería cambiar al cojinetes C3, este tipo de cojinete tiene un holgura interna mayor entre los elementos rodantes, estos cojinetes son para velocidades mayores a 2500 rpm por lo que soy apropiadas para el uso en los telares.

En el caso del espaciador, solo se deberá revisar que estos no tengan daños en las orillas porque esto podría ocasionar daño en los cojinetes y reducir la vida útil del mismo.

2.1.1.4 Rueda excéntrica

2.1.1.4.1 Identificación y descripción de las fallas en rueda excéntrica

La rueda excéntrica tiende a fallar por desgaste, por fallas de cojinetes o por desajuste de cojinetes en el alojamiento de la rueda o desajustes de la rueda en el peine donde tiene el recorrido la lanzadera, estas fallas provocan un paro por mantenimiento que afecta a producción.

Otro problema que presentan las ruedas excéntricas son la calidad del material con que se fabrican actualmente las ruedas que se utilizan no son originales, sino que un proveedor nacional las fabrica con especificaciones de medidas pero al parecer las ruedas no cumplen con las medidas de ruedas originales teniendo pequeñas diferencias.

2.1.1.4.2 Recolección y organización de datos e inspección de fallas de ruedas excéntricas

La recolección de los datos se tomó clasificando las fallas que se presentaron durante cada mes, a continuación se presenta la tabulación de las fallas de enero a agosto de 2007.

Tabla XXI Órdenes de trabajo de rueda excéntrica de enero-agosto

Enero

Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	24
SL-4	77
SL-6	33
Leno	1
Frederick	15
Total	150

Febrero

Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4-4	26
SL-4	92
SL-6	57
Leno	8
ALPHA-6	0
Total	183

Marzo

Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	18
SL-4	101
SL-6	17
Leno	1
ALPHA-6	0
Frederick	1
Total	138

Abril

Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	36
SL-4	91
SL-6	15
Leno	8
ALPHA-6	0
Frederick	1
Total	151

Continuación Tabla XXI

Mayo

Modelo	Ordenes de trabajo
HDE-4	39
SL-4	102
SL-6	20
ALPHA-6	0
Total	161

Junio

Modelo	Ordenes de trabajo
HDE-4	6
SL-4	57
SL-6	6
Leno	13
Total	82

Julio

Modelo	Ordenes de trabajo
HDE-4	10
SL-4	35
SL-6	4
Leno	3
ALPHA-6	0
Total	52

Agosto

Modelo	Ordenes de trabajo
HDE-4	27
SL-4	91
SL-6	31
Leno	1
SL-8	8
Total	158

A continuación se muestra las gráficas de fallas de las ruedas excéntricas de enero a agosto de 2007.

Figura 102. Fallas de rueda excéntrica de enero-agosto

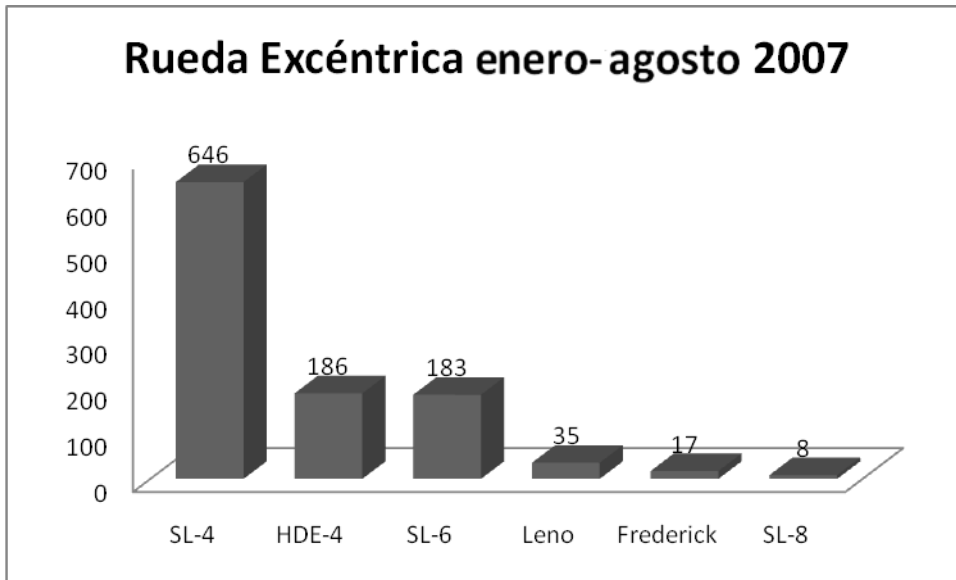
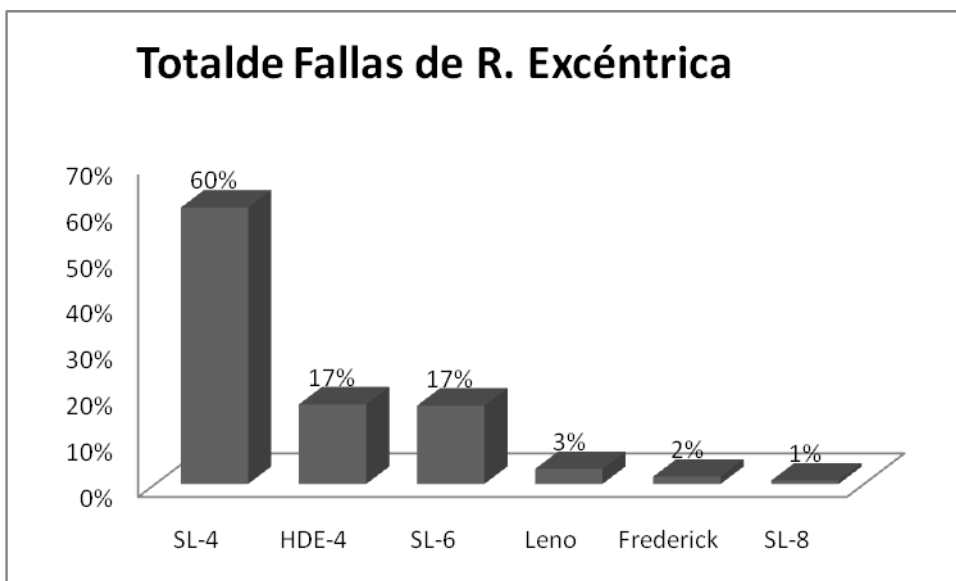


Figura 103. Fallas de rueda excéntrica en porcentaje



2.1.1.4.3 Análisis y elaboración de diagrama causa-efecto y árbol de falla

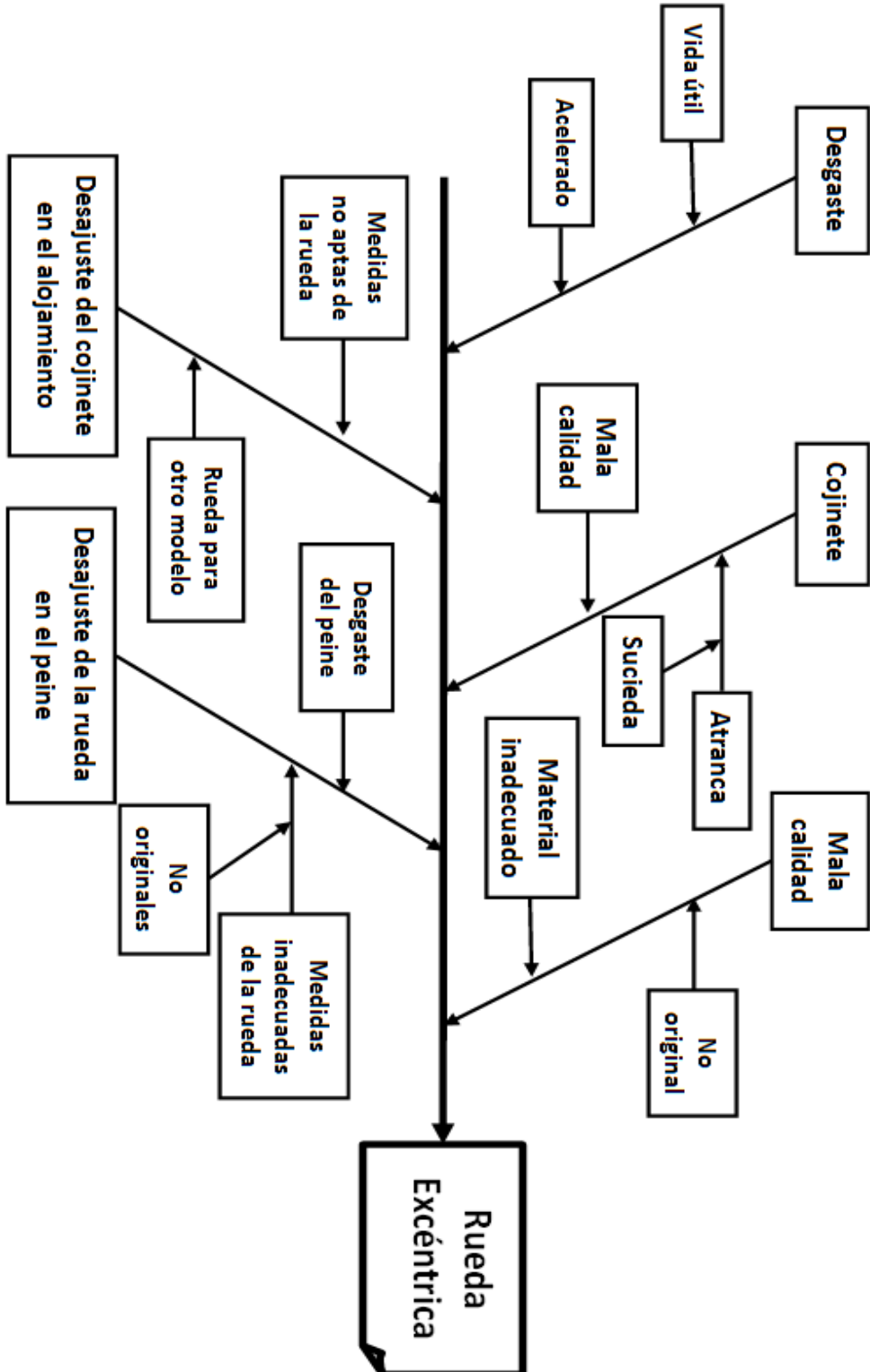
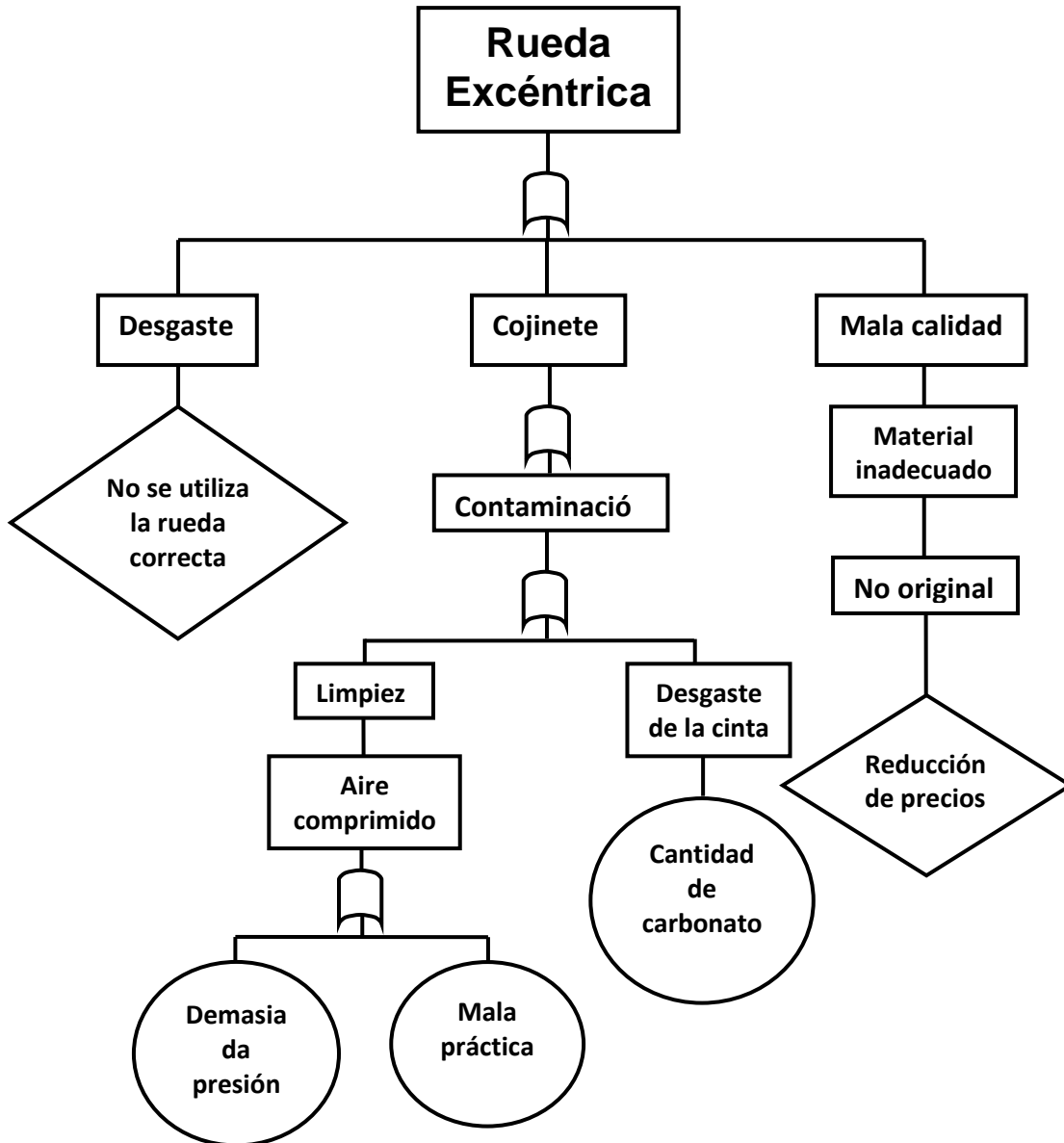


Figura 104. Diagrama causa-efecto de rueda excéntrica

Figura 105. Diagrama de árbol de rueda excéntrica



2.1.1.4.4 Hipótesis sobre las causas o causa de las fallas e interpretación de resultados

La principal función de la rueda excéntrica es retener la Lanzadera dentro del peine y poder formarse la tela para el saco, esta rueda esta siendo afectando de manera muy frecuente por diferentes fallas, considerando las causas de las fallas siguientes.

Causas

Mala calidad

Cojinete

Desgaste acelerado

2.1.1.4.4.1 Solución propuesta

Actualmente se esta utilizando ruedas genéricas en los telares circulares, estas ruedas son adquiridas a un proveedor nacional quien fábrica las ruedas por encargo, pero frecuentemente las ruedas tiene una desproporción bien sea en el alojamiento del cojinete o en el diámetro exterior de la rueda, provocando de esta forma vibraciones en el telar y en consecuencia mal funcionamiento llevando esto a la falla. Se recomienda pedir al proveedor de las ruedas, que las dimensiones sean lo más exactas posibles con las originales y así evitar que la rueda presente fallas antes de tiempo.

2.1.1.5 Rueda cónica

2.1.1.5.1 Identificación y descripción de las fallas en ruedas cónicas

Las fallas que afectan a las ruedas cónicas se deben en gran parte al esfuerzo al que están sometidas constantemente además de estos esfuerzos también están sometidos a grandes velocidades y a un ambiente de trabajo inadecuado, este ambiente es provocado por el desgaste de la cinta y/o por la forma de limpieza de los telares, otra de las piezas afectadas por la contaminación en los telares son los cojinetes de la rueda excéntrica, la contaminación provoca resequedad en los cojinetes.

También se llega a la falla de la rueda excéntrica por el tipo de rueda que se utiliza, dado que actualmente se esta utilizando ruedas que no son originales y los materiales con que son fabricados no son los suficientemente resistente y se deforman o gastan muy rápidamente.

2.1.1.5.2 Recolección y organización de datos e inspección de fallas de ruedas cónicas

La recolección de los datos se tomó clasificando las fallas que se presentaron durante cada mes, a continuación se presenta la tabulación de las fallas de enero a agosto de 2007.

Tabla XXI Órdenes de trabajo de rueda cónica de enero-agosto

Enero

Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	8
SL-4	31
SL-6	21
Leno	0
ALPHA-6	1
Frederick	4
Total	65

Febrero

Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4-4	14
SL-4	27
SL-6	20
Leno	3
ALPHA-6	0
Total	64

Marzo

Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	9
SL-4	29
SL-6	17
Leno	1
ALPHA-6	0
Total	56

Abril

Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	1
SL-4	11
SL-6	2
Leno	0
ALPHA-6	1
Frederick	2
Total	17

Continuación Tabla XII

Mayo

Modelo	Ordenes de trabajo
HDE-4	8
SL-4	9
SL-6	12
Leno	2
ALPHA-6	1
SL-61	5
Total	37

Junio

Modelo	Ordenes de trabajo
HDE-4	11
SL-4	5
SL-6	10
Leno	1
SL-8	8
SL-61	6
Total	41

Julio

Modelo	Ordenes de trabajo
HDE-4	0
SL-4	7
SL-6	9
Leno	1
Frederick	4
Total	21

Agosto

Modelo	Ordenes de trabajo
HDE-4	2
SL-4	26
SL-6	5
Leno	0
Total	33

A continuación se muestra las gráficas de fallas de las ruedas cónicas de enero a agosto de 2007.

Figura 106. Fallas de rueda cónica de enero-agosto

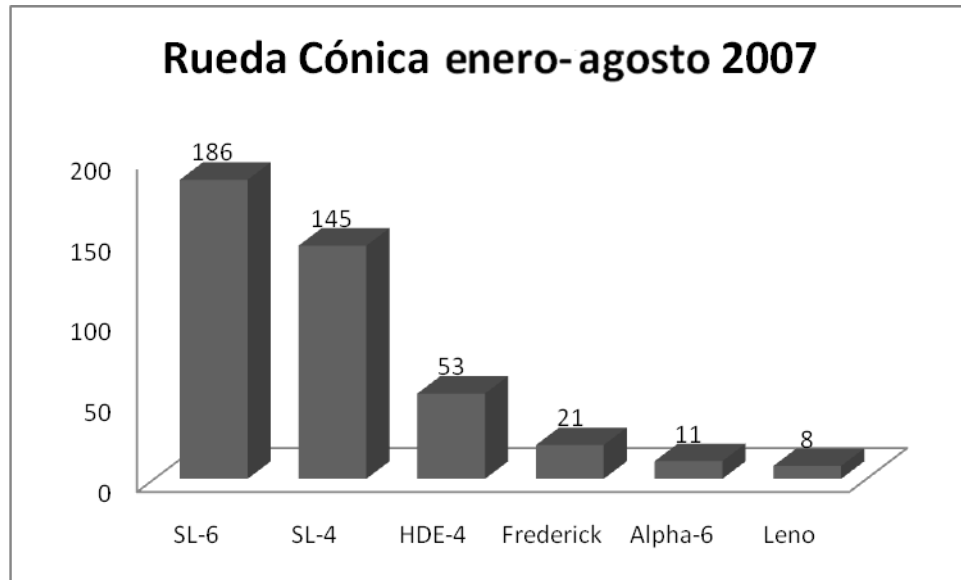
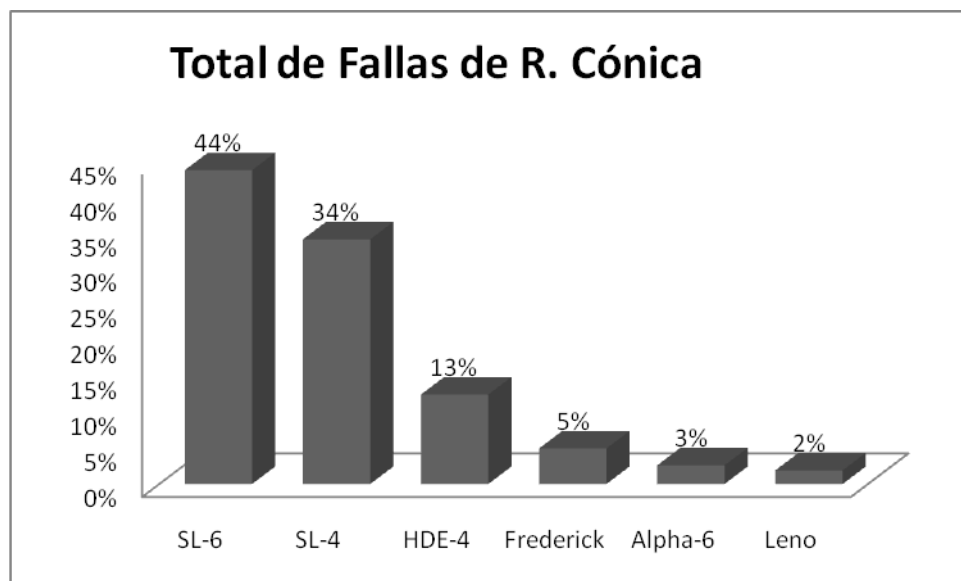


Figura 107. Fallas de rueda cónica en porcentaje



2.1.1.5.3 Análisis y elaboración de diagrama causa-efecto y árbol de falla

Figura 108. Diagrama de causa-efecto de rueda cónica

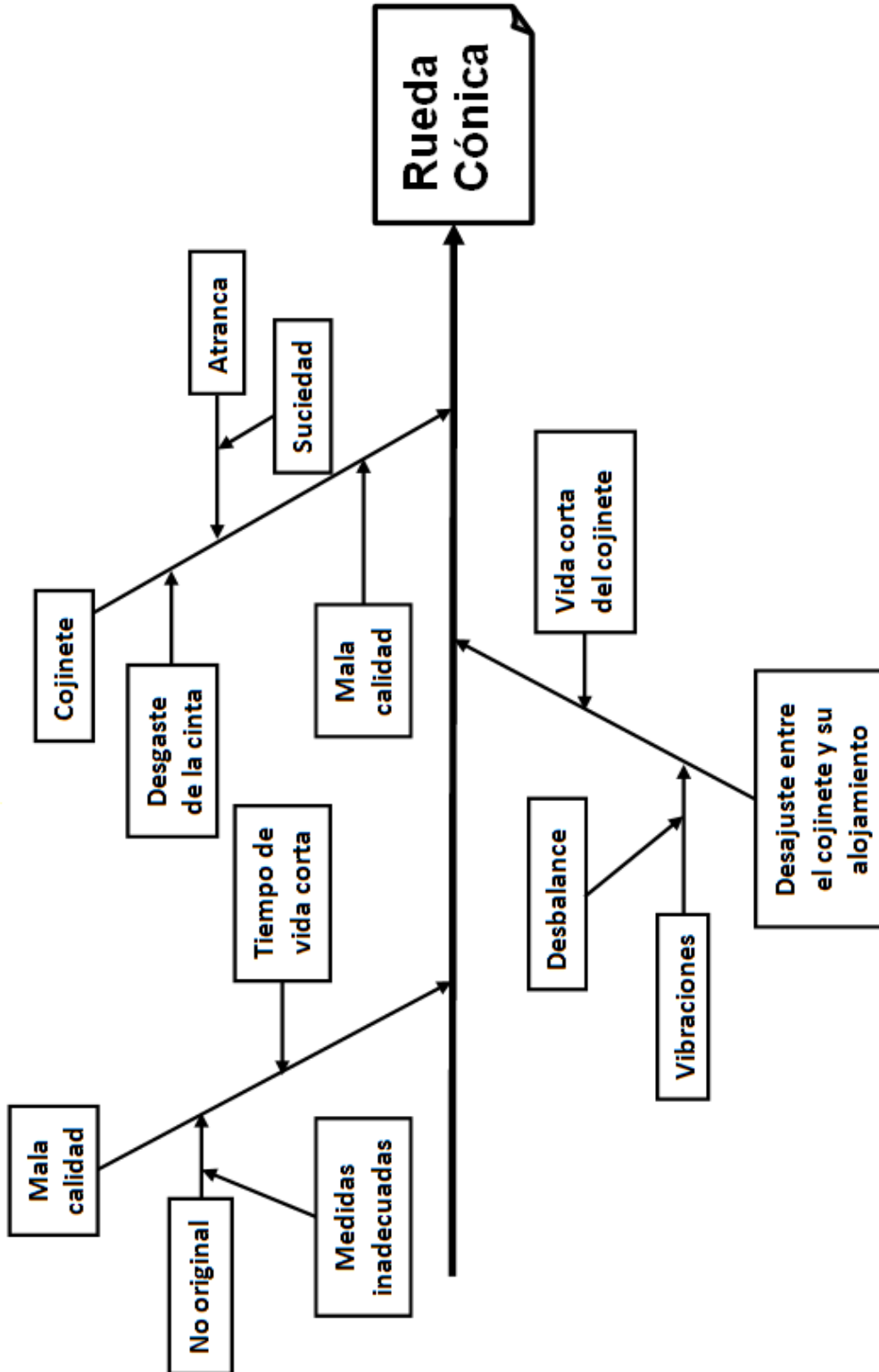
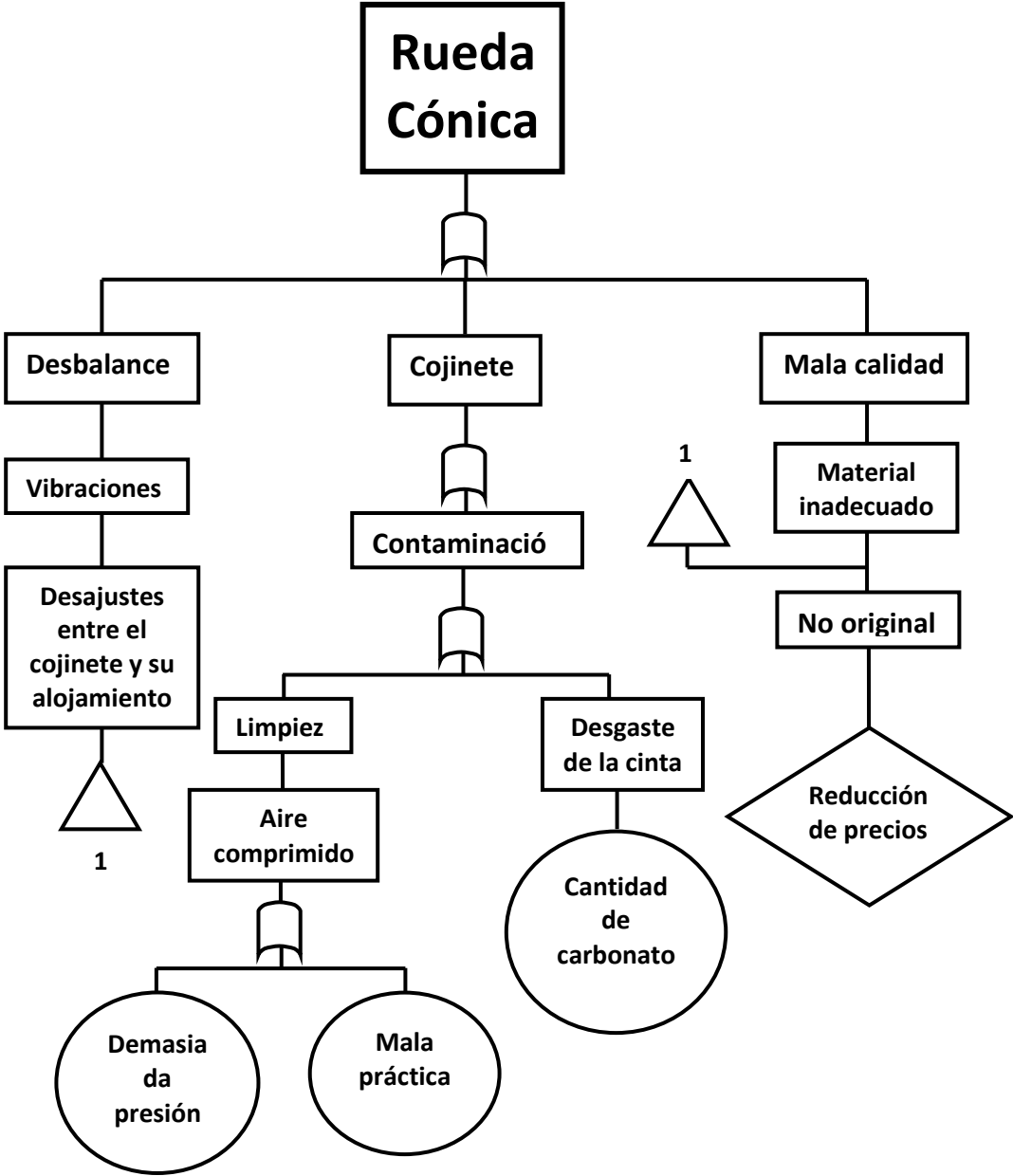


Figura 109. Diagrama de árbol de rueda cónica



2.1.1.5.4 Hipótesis sobre las causas o causa de las fallas e interpretación de resultados

Esta rueda se desgasta de una manera en la cual el cuerpo de la rueda se comprime dejando las orillas con un borde filoso que afecta a la cita, esto sucede por que la cinta tiene contacto con las orillas de esta rueda y tiende a romper la cinta cuando se da esta deformación de la rueda.

Causas

Material demasiado blando.

Cojinete.

Medidas inadecuadas.

2.1.1.5.4.1 Solución propuesta

Es importante señalar que estas ruedas están sometidas a golpes por impacto a la hora del arranque de la máquina, pues estas ruedas son golpeadas por las ruedas del impulsor para que la lanzadera gire dentro del aro. Actualmente las ruedas que se están utilizando no son originales y estas según los operadores solo tienen una $\frac{1}{4}$ parte de rendimiento que las originales, es necesario revisar el tipo de material con que se fabrican las ruedas actuales para que estas no se deformen a la hora de ser golpeadas por el impulsor. También otra solución podría ser pedir que las piezas se fabriquen del mismo material con que el impulsor es fabricado, para que el desgaste o deformación de las ruedas cónicas sean menores.

2.1.1.6 Rueda de patín

2.1.1.6.1 Identificación y descripción de las fallas en rueda de patín

Estas ruedas proporcionan el movimiento de la lanzadera sobre el peine por lo que es importante solucionar los problemas que están presentando, uno de los casos es que la rueda queda totalmente destruida, las razones por la que resulta esta falla pueden ser varias, se ha mencionada anteriormente que las ruedas no son originales y que se adquieren de un proveedor nacional, el problema es que tiene ciertas desajustes en las medidas así como también el material con que se fabrica no es el adecuado para el trabajo que realiza o para los esfuerzos al que esta rueda se somete.

Otro de las fallas que presenta la rueda de patín es el poco tiempo de vida útil del cojinete, el problema que podría estar ocasionándolo es la contaminación que existe por el desgaste de la cinta y por la forma de limpieza de los telares, este método de limpieza podría estar provocando la infiltración de agentes contaminantes dentro del cojinete provocando atrancamiento o resequedad del cojinete.

Además de la contaminación por desgaste de la cinta (por la fricción que esta sufre), también podemos mencionar restos de cintas que se enredan en la rueda provocando que no gire libremente, dando como resultado la falla del telar o más específicamente de la rueda de patín.

2.1.1.6.2 Recolección y organización de datos e inspección de fallas de ruedas de patín

La recolección de los datos se tomó clasificando las fallas que se presentaron durante cada mes, a continuación se presenta la tabulación de las fallas de enero a agosto de 2007.

Tabla XXIII Órdenes de trabajo de rueda de patín de enero-agosto

Enero

Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	10
SL-4	15
SL-6	32
Leno	0
ALPHA-6	0
Frederick	2
Total	59

Febrero

Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	12
SL-4	18
SL-6	2
Leno	2
ALPHA-6	0
Total	34

Marzo

Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	1
SL-4	13
SL-6	9
ALPHA-6	0
Frederick	1
Total	24

Abril

Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	9
SL-4	20
SL-6	13
ALPHA-6	0
Frederick	1
Total	43

Continuación Tabla XXIII

Mayo

Modelo	Ordenes de trabajo
HDE-4	12
SL-4	47
SL-6	25
Leno	2
ALPHA-6	0
Total	86

Junio

Modelo	Ordenes de trabajo
HDE-4	6
SL-4	10
SL-6	12
Leno	0
SL-61	1
Frederick	1
Total	30

Julio

Modelo	Ordenes de trabajo
HDE-4	8
SL-4	10
SL-6	32
Leno	0
SL-61	2
Frederick	1
Total	53

Agosto

Modelo	Ordenes de trabajo
HDE-4	3
SL-4	22
SL-6	18
Leno	1
Total	44

A continuación se muestra las gráficas de fallas de las ruedas de patín de enero a agosto de 2007.

Figura 110. Fallas de rueda de patín de enero-agosto

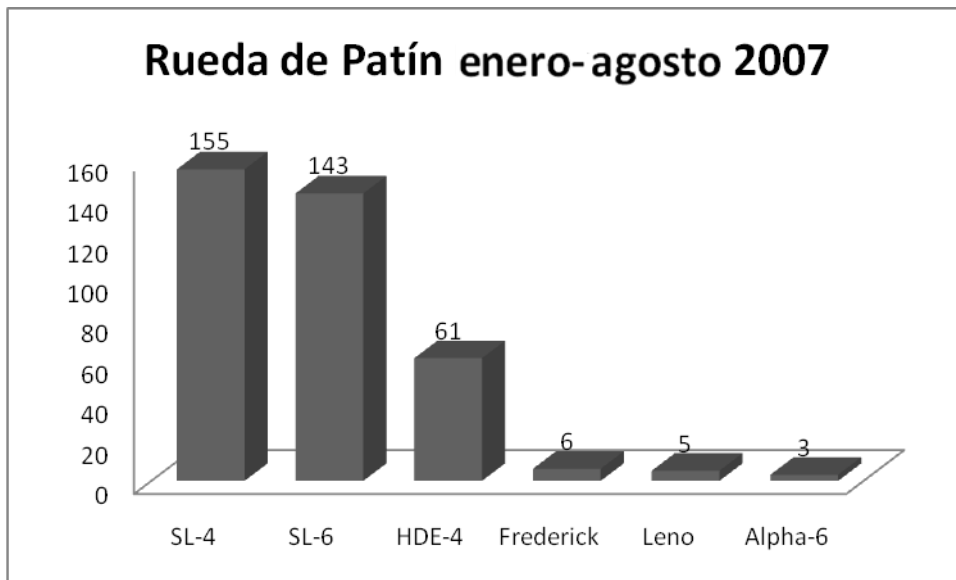
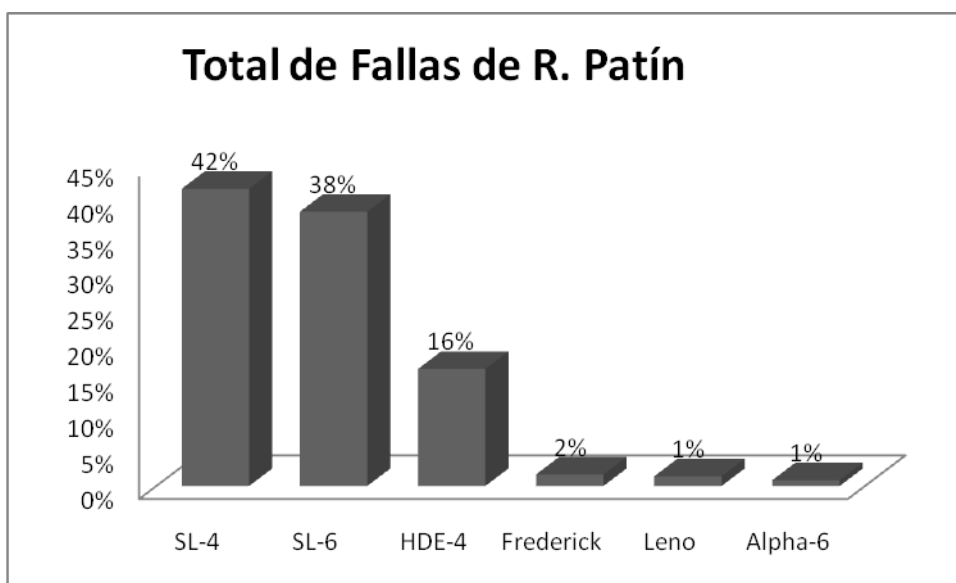


Figura 111. Fallas de rueda de patín en porcentaje



2.1.1.6.3 Análisis y elaboración de diagrama causa-efecto y árbol de falla

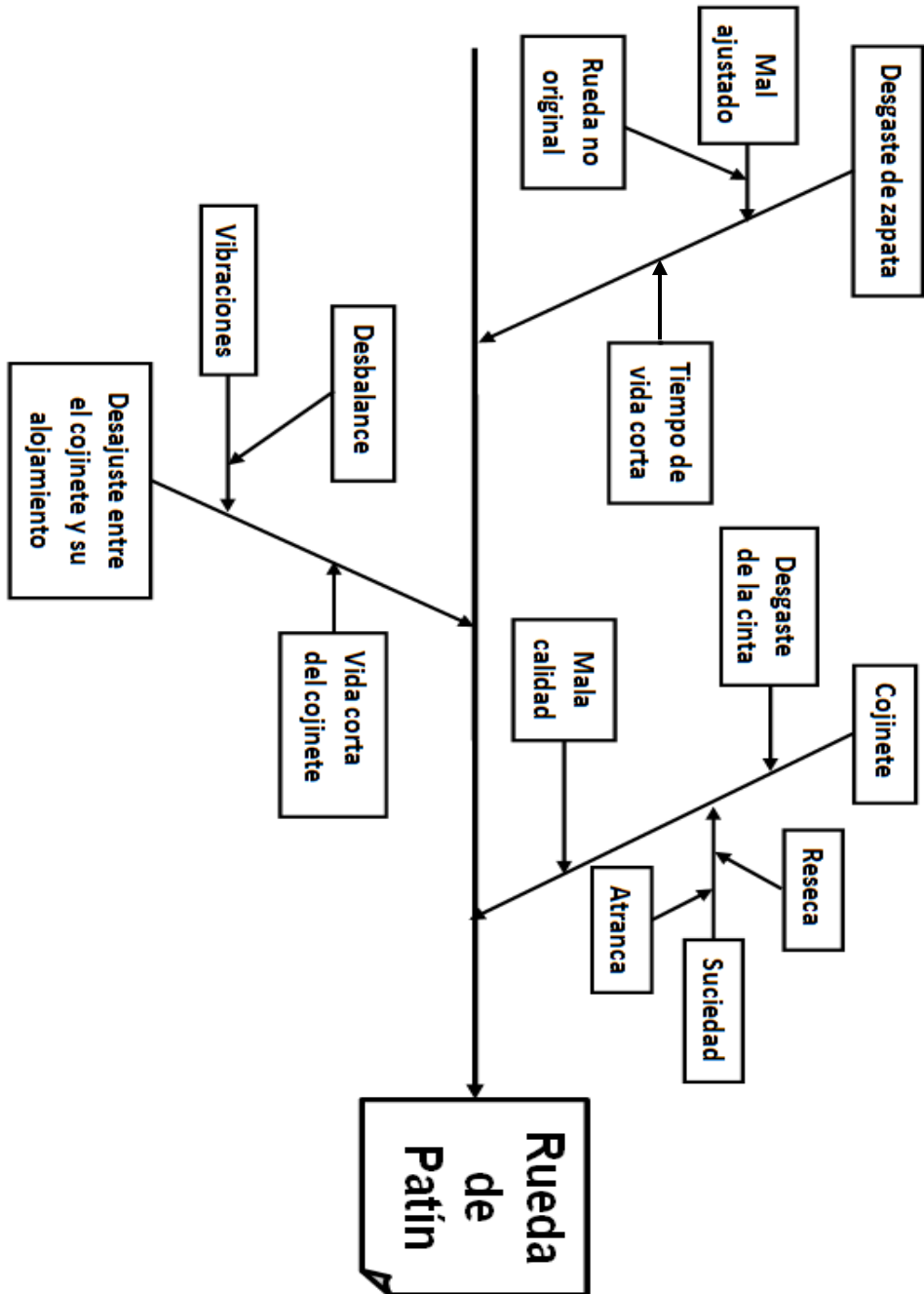
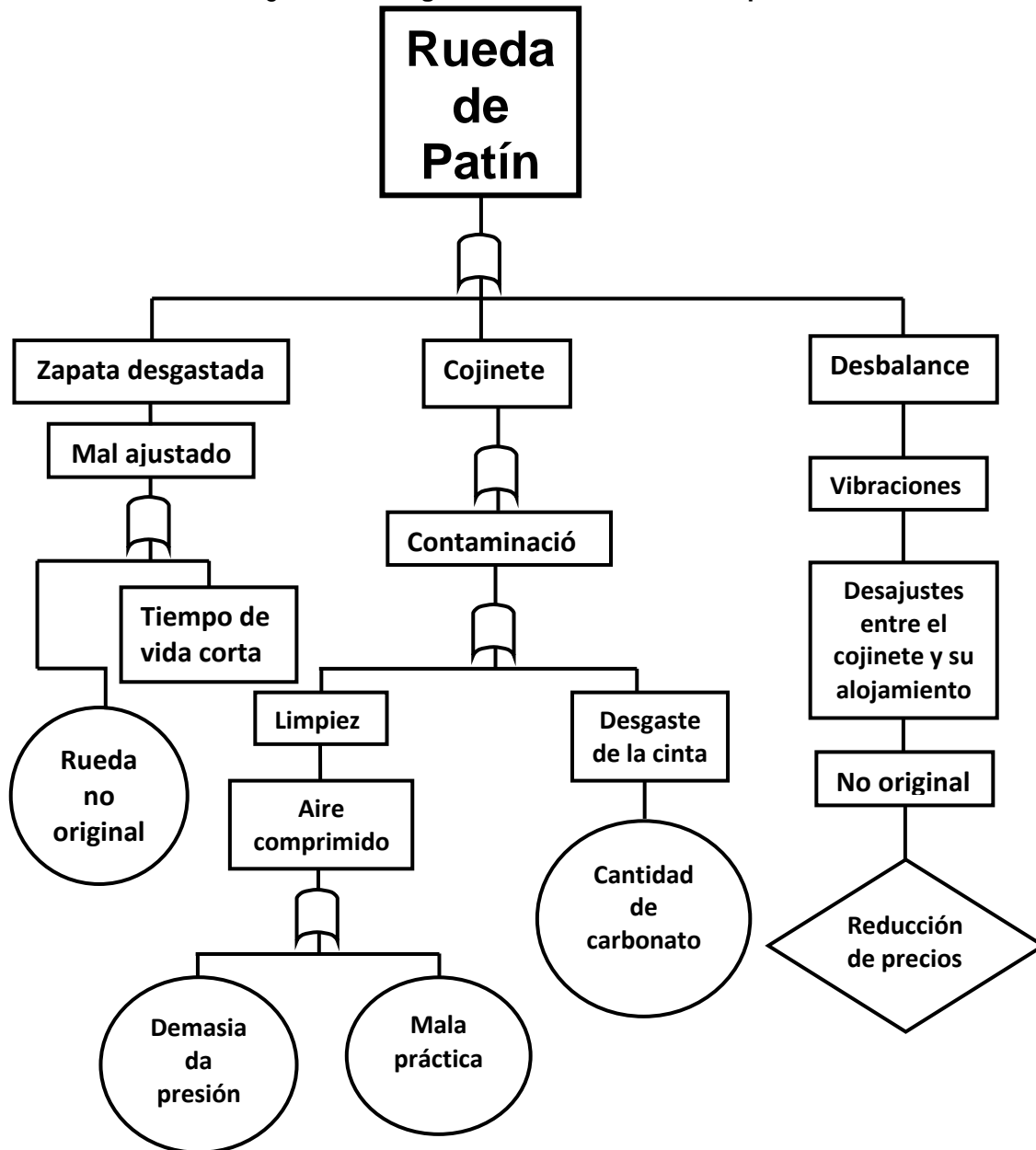


Figura 112: Diagrama causa-efecto de rueda de patín

Figura 113. Diagrama de árbol de rueda de patín



2.1.1.6.4 Hipótesis sobre las causas o causa de las fallas e interpretación de resultados

La rueda de patín es una de las piezas importantes de la lanzadera, esta rueda esta sometida a altas velocidades durante 24 horas, todos los días, el problema ocasionado por las altas velocidades y el continua trabajo de esta rueda provoca la falla, esto se puede deber por la mala calidad de las ruedas, ya sea por el tipo de material con que están fabricados o por que las medidas no sean las adecuadas, es por eso que cuando estas ruedas fallas la tela sale defectuosa y de mala calidad.

Causas

Mala calidad

Altas velocidades

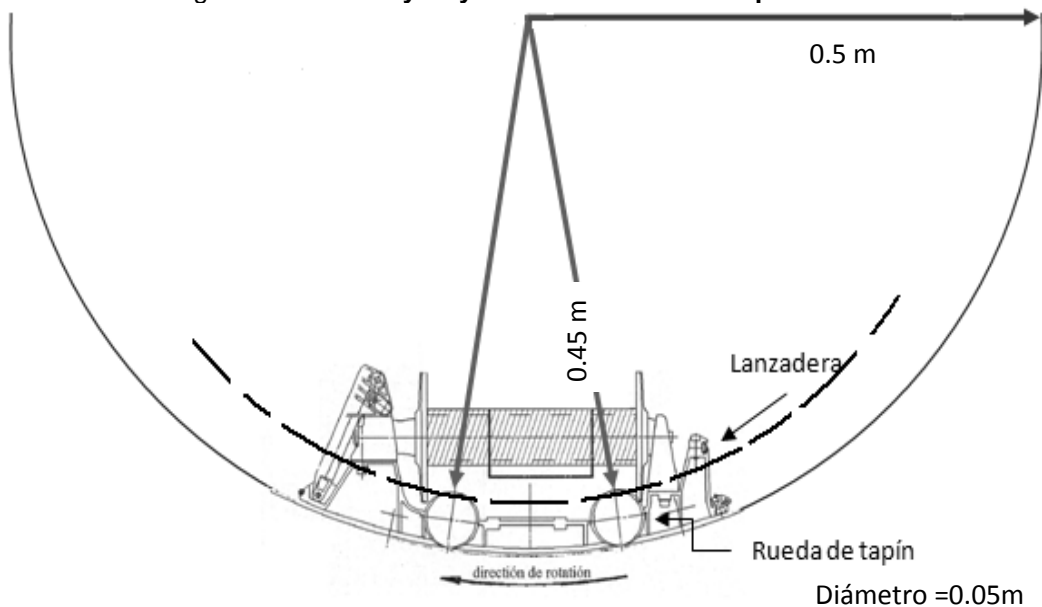
Desbalances

2.1.1.6.4.1 Solución propuesta

Se debería utilizar ruedas originales para evitar que las ruedas se deformen o destruyan antes de su vida útil, el utilizar ruedas no originales podría causar paros innecesarios el cual se quiere evitar. Es también aconsejable tener en cuenta otro tipo de limpieza para los telares pues el utilizado puede estar ocasionando que los cojinetes fallan prematuramente.

Para verificar si los cojinetes que se están utilizando en las ruedas de patín son los adecuados y soportan las velocidades a que están sometidas, se hacen a continuación los cálculos necesarios para saber a que velocidad giran las ruedas de patín.

Figura 114. Radio y trayectoria de la rueda de patín



La velocidad a la que gira la lanzadera es de 160 rpm, sobre el anillo de deslizamiento o peine, el diámetro de anillo para telares HDE-4 es de 1000 mm (1m); la rueda de patín tiene un diámetro de 50mm y utiliza un cojinete 6200zz.

Como se conoce la velocidad de la lanzadera (rpm), (se puede imaginar una trayectoria circular a la orilla de la rueda de patín); se puede encontrar su velocidad angular con la siguiente fórmula: $\omega = \frac{\pi \times n}{30}$ (rad/seg), donde “n” son las rpm.

$$\omega = [\pi \times 160]/30 = 16.755 \text{ rad/seg.}$$

La velocidad tangencial de la trayectoria de la lanzadera sería: $V = \omega \times r$, siendo el radio 0.45 m, entonces:

$$V = [16.755] \times [0.45] = 7.5398 \text{ m/seg.}$$

Ahora asumiendo que en un instante dado "t" las velocidades tangenciales de la rueda de patín y de la trayectoria de la lanzadera son iguales, se tiene:

$$V_{\text{trayectoria}} = V_{\text{rueda de patín}} = 7.5398 \text{ m/seg.}$$

Como ya se conoce la velocidad tangencial de la rueda de patín se puede hallar su velocidad angular ω . Como $V = \omega \times r$; donde el radio a utilizar es el de la rueda de patín, se puede despejar ω :

$$\omega = \frac{V}{r} = 7.5398 / 0.025 = 301.59 \text{ rad/seg.}$$

Ahora se pasa la velocidad angular a RPM, despejando n , de $\omega = \frac{\pi \times n}{30}$:

$$n = \frac{301.59 \times 30}{\pi} = 2,880 \text{ rpm.}$$

Entonces se tiene que la velocidad a que trabaja el cojinete de la rueda de patín es de 2880 rpm.

Ahora se puede verificar con los límites de velocidad en los catálogos de los cojinetes SKF, NTN y ROLLWAY.

Tabla XXIV. **Comparación de características de cojinetes**

Capacidad de carga (KN)		Limite de velocidad (rpm)		Número de rodamiento	Marca de rodamiento
din.	est.	lubricado con			
C	Co	grasa	aceite		
5.07	2.24	24 000	30 000	6200 zz	SKF
5.1	2.4	26 000		6200 zz	ROLLWAY
5.1	2.39	25 000	30 000	6200 zz	NTN

Se puede observar que la capacidad de los cojinetes están sobrados, llegando a concluir que no importa la marca de cojinetes que se utilicen estos siempre están bien seleccionados, y que el problema de los cojinetes es por el tipo de limpieza que se realiza en los telares y el desgaste de la cinta, lo que provocan las fallas de los cojinetes

Es por eso que anteriormente, se calculó el costo de utilizar aire comprimido en la limpieza de los telares y se ha sugerido la compra de una aspiradora industrial para realizar la limpieza de los telares, con la aspiradora se estaría evitando que las partículas que se generan por el desgaste de la cinta lleguen a introducirse al cojinete y no se atasquen o resequen, dándole así una mayor probabilidad para que llegue a su vida útil.

2.1.1.7 Brazo de lanzadera

2.1.1.7.1 Identificación y descripción de las fallas en brazo de lanzadera

Las fallas que presentan esta pieza de la lanzadera son en su mayoría desgaste por fricción de la cinta con el guía hilo, el problema que se presenta es que el guía hilo esta fabricado de metal por lo que se desgasta de una forma demasiada rápida dejando las marcas donde pasa la cinta y poco a poco estas marcas van formando bordes filosos que provocan la ruptura de la cinta que pasa por el, cuando esto sucede el telar deja de funcionar, por lo que es importante la solución de esta falla.

2.1.1.7.2 Recolección y organización de datos e inspección de fallas de brazos de lanzadera

Tabla XXV Órdenes de trabajo de brazo de lanzadera de enero-agosto

Enero		Febrero	
Modelo	Órdenes de trabajo	Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	1	HDE-4	9
SL-4	43	SL-4	29
SL-6	10	SL-6	33
Leno	5	Leno	11
Frederick	0	SL-8	2
Total	59	Total	84

Marzo

Continuación Tabla XXV

Abril

Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	7
SL-4	27
SL-6	38
Leno	3
SL-8	2
Total	77

Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	11
SL-4	43
SL-6	19
Leno	12
Frederick	1
Total	86

Mayo**Junio**

Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	16
SL-4	24
SL-6	22
Leno	3
ALPHA-6	0
SL-8	1
Total	66

Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	4
SL-4	20
SL-6	5
Leno	9
SL-8	10
Frederick	1
Total	49

Julio**Agosto**

Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	2
SL-4	13
SL-6	10
Leno	5
SL-8	7
Frederick	1
Total	38

Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	5
SL-4	26
SL-6	28
Leno	31
SL-8	9
Total	99

A continuación se muestra las gráficas de fallas de los brazos de lanzaderas de enero a agosto de 2007.

Figura 115. Fallas de brazo de lanzadera de enero-agosto

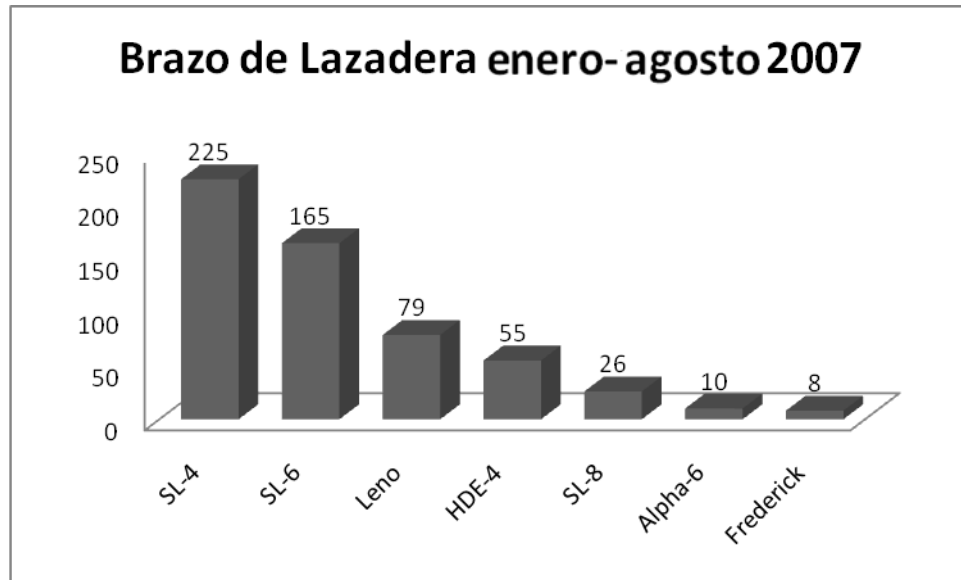
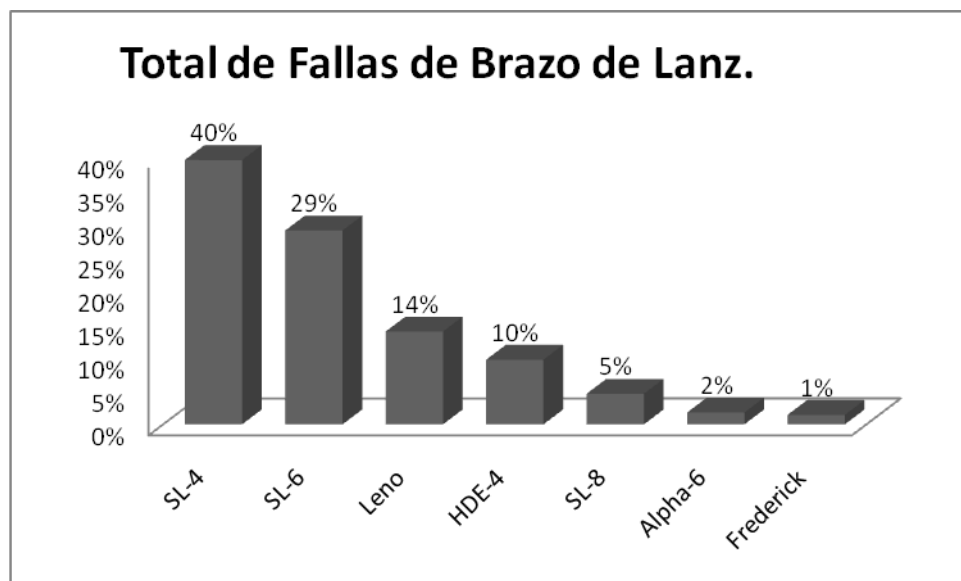


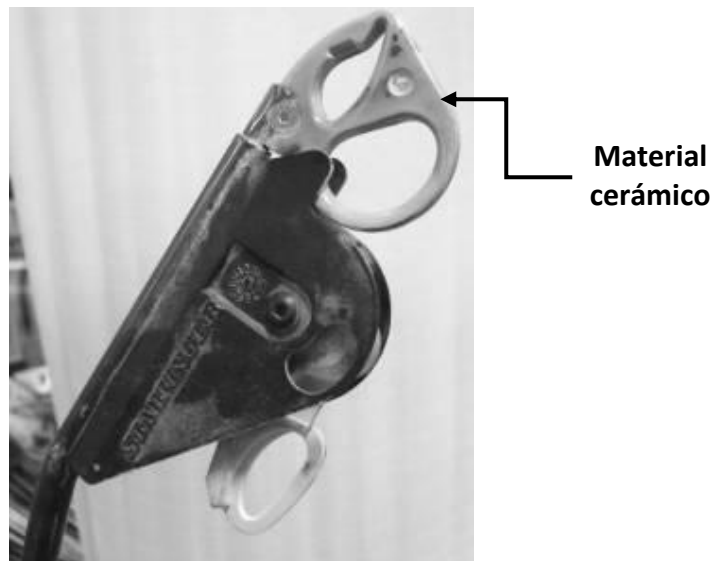
Figura 116. Fallas de brazo de lanzadera en porcentaje



2.1.1.7.3 Solución propuesta

Una buena solución podría ser utilizar el guía hilo de las telares ALPHA-6, estos guía hilos son de un material distintos a los de los otros modelos pues están hechos de un material de cerámica el cual tiene una resistencia al desgaste mucho mayor al de los otros modelos, este cambio ayudaría a reducir los tiempos de paro por cintas reventadas, por arreglar el guía hilo (quitarle el filo) y por cambio de guía hilo.

Figura 117. Guía hilo de telar circular Alpha-6, Starlinger & Co.



2.1.1.8 Rueda de impulsador y freno

2.1.1.8.1 Identificación y descripción de las fallas en ruedas de impulsador y freno

Como se puede apreciar las órdenes de trabajo presentadas cada mes no se comparan con las cantidades como las anteriores, por lo que estas dos ruedas no presentan un gran problema en los telares. El problema más común que presentan estas ruedas son el cambio de cojinete, ya sea por atrancamiento o resequedad, esto se puede atribuir a la contaminación que existe por el desgaste de la cinta junto con la forma de limpieza de los telares, ya que este es el mayor problema que presenta los telares circulares debido a la gran cantidad de cojinetes que está utiliza para trabajar y el tiempo completo de trabajo durante todo el año.

**2.1.1.8.2 Recolección y organización de datos e
inspección de fallas de ruedas de impulsador
y freno**

La recolección de los datos se tomó clasificando las fallas que se presentaron durante cada mes, a continuación se presenta la tabulación de las fallas de enero a agosto de 2007.

Tabla XXVI Órdenes de trabajo de impulsador y freno de enero-agosto

Enero

<u>Impulsador</u>	
Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	2
SL-4	3
SL-6	6
Leno	0
ALPHA-6	3
Total	14

<u>Freno</u>	
Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	2
SL-4	24
SL-6	0
Leno	0
ALPHA-6	0
Total	26

Febrero

<u>Impulsador</u>	
Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4-4	15
SL-4	6
SL-6	5
Leno	4
ALPHA-6	1
Total	31

<u>Freno</u>	
Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4-4	3
SL-4	4
SL-6	1
Leno	1
ALPHA-6	0
Total	9

Continuación Tabla XXVI

Marzo

<u>Impulsador</u>	
Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	3
SL-4	13
SL-6	9
ALPHA-6	3
Frederick	1
Total	29

<u>Freno</u>	
Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	2
SL-4	14
SL-6	1
ALPHA-6	0
Total	17

Abril

<u>Impulsador</u>	
Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	5
SL-4	15
SL-6	9
Leno	2
ALPHA-6	0
Total	31

<u>Freno</u>	
Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	3
SL-4	14
SL-6	2
Leno	1
ALPHA-6	0
Total	20

Mayo

<u>Impulsador</u>	Órdenes de trabajo
HDE-4	0
SL-4	7
SL-6	10
ALPHA-6	2
Total	19

<u>Freno</u>	Órdenes de trabajo
HDE-4	4
SL-4	12
SL-6	5
Leno	1
Total	22

Junio**Continuación Tabla XXVI**

<u>Impulsador</u>	
Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	1
SL-4	6
SL-6	2
SL-8	1
ALPHA-6	1
Total	12

<u>Freno</u>	
Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	1
SL-4	2
Leno	4
ALPHA-6	0
Total	7

Julio

<u>Impulsador</u>	
Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	5
SL-4	5
SL-6	1
SL-61	1
ALPHA-6	2
Total	14

<u>Freno</u>	
Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	0
SL-4	12
SL-6	0
Leno	3
SL-61	1
Total	16

Agosto

<u>Impulsador</u>	
Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	5
SL-4	5
SL-6	7
Leno	1
Total	18

<u>Freno</u>	
Modelo	Órdenes de trabajo
HDE-4	4
SL-4	9
SL-6	9
Leno	0
Total	22

A continuación se muestra las gráficas de fallas de las ruedas de impulsor y freno de enero a agosto de 2007.

Figura 118. Fallas de impulsor y freno de enero-agosto

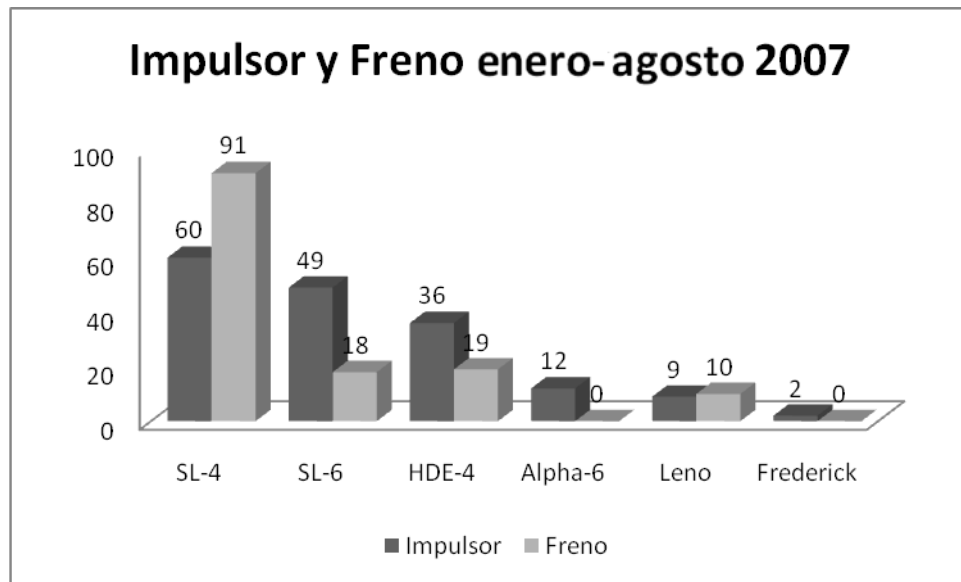
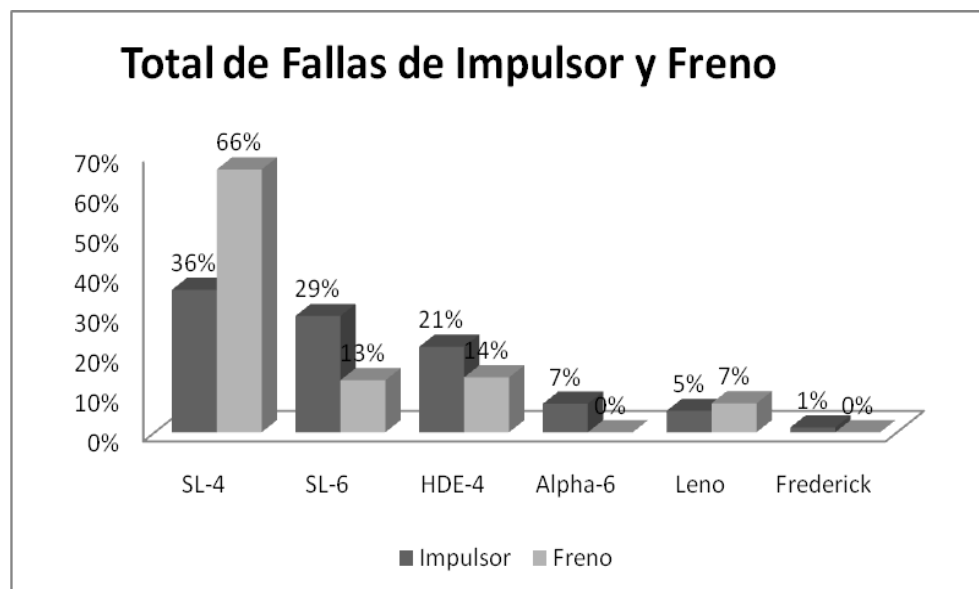


Figura 119. Fallas de impulsor y freno en porcentaje

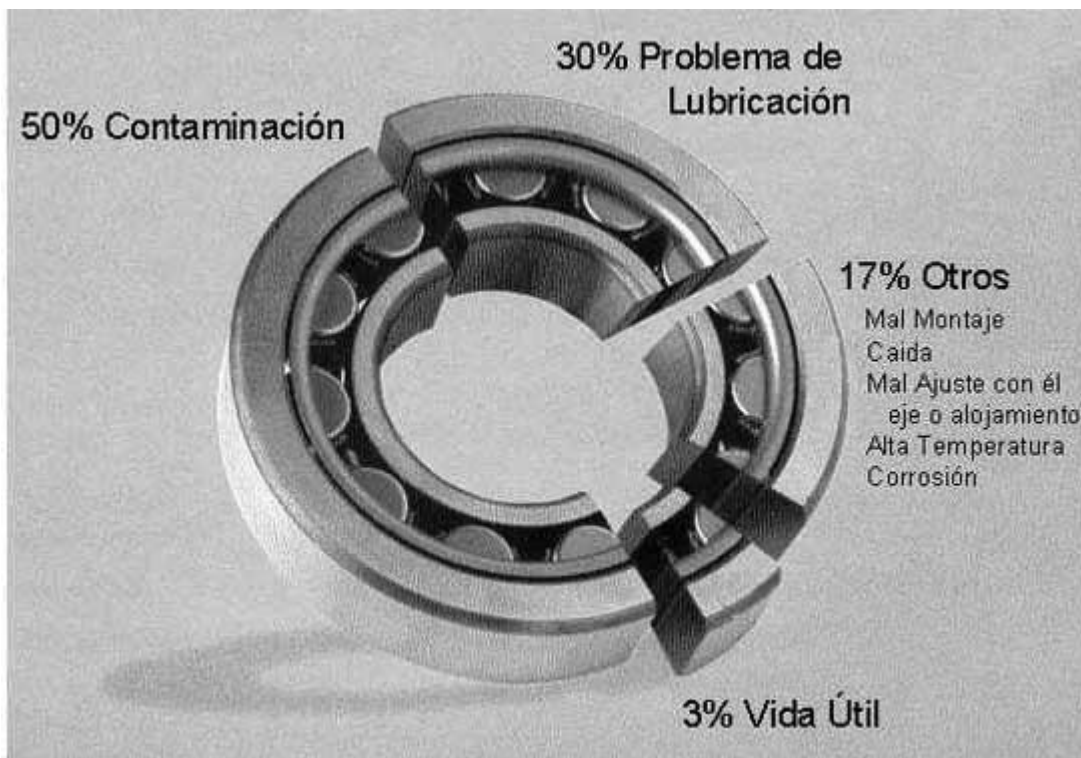


2.1.1.8.3 Hipótesis sobre las causas o causa de las fallas e interpretación de resultados

Se puede ver que la gran mayoría de los rodamientos no llegan a su vida útil. La vida útil del rodamiento es afectada por muchos factores externos tales como contaminación, problemas de lubricación, mal montaje, mal ajuste con el eje o alojamiento, altas temperaturas o corrosión.

En la figura siguiente se puede apreciar como es afectado el cojinete por las diferentes causas y sus porcentajes de presencia.

Figura 120. Fallas de cojinetes en porcentaje



Dado que en la planta se cuenta con 107 unidades de telares y cada tela cuenta con un a cantidad de cojinetes para su funcionamiento es importante hallar una solución a este problema.

A continuación se presenta las cantidades de cojinetes utilizados por cada modelo de telares circulares con que cuenta la planta.

Tabla XXVII **Cantidad de cojinetes utilizados por modelo**

Modelo	Cant. De Coj.
HDE-4	344
SL-4	248
SL-6	378
Leno	416
Alpha-6	378

Puesto que la cantidad de cojinetes utilizados en los telares es demasiado grande se debería considerar el hecho que la contaminación en los telares es demasiado, por lo que se debería tener muy en cuenta el tipo de limpieza que se realiza en los telares.

2.1.1.8.3.1 Solución propuesta

- Los cojinetes siempre se debe extraer con las herramientas apropiadas.
- Es recomendable instalar todo rodamiento, utilizando la única herramienta que nos garantiza una presión pareja y controlada, como la prensa manual.

Instalación correcta:

- Rodamientos fijos por anillo exterior: se debe emplear una pieza que nos permita empujar el anillo o cubeta exterior en forma pareja y completa.
- Rodamientos fijos por anillo interior: se debe emplear una pieza que nos permita empujar el anillo o cubeta interior en forma pareja y completa.

La desalineación al momento de la instalación, causará daño permanente por deformación en el eje o soporte donde vaya instalado el rodamiento. Esto sucederá porque el metal de los ejes es generalmente más blando que el metal del rodamiento. Nunca instalar un rodamiento a golpes. Los golpes deformarán levemente los anillos, disminuyendo su vida útil a menos de la mitad de una vida normal o incluso menos. El error más común de quienes instalan un rodamiento, es pensar que con suaves golpes, el daño es mínimo o inexistente, lo cual es erróneo pues con cualquier golpe que el cojinete sufra esta se magnificará por las altas velocidad a que están sometidos, el cual provocará la falla prematuramente.

3 FASE ENSEÑANZA APRENDIZAJE

3.1 Objetivo principal

Crear el hábito de mantenimiento eficaz y eficiente para la empresa puesto que de un buen mantenimiento depende, no sólo un funcionamiento eficiente de las instalaciones, sino que además, es preciso llevarlo a cabo con rigor para conseguir otros objetivos como son el control del ciclo de vida de las instalaciones sin disparar los costes destinados a mantenerlas.

Las estrategias convencionales de "reparar cuando se produzca la avería" ya no sirven. Fueron válidas en el pasado, pero ahora se es consciente de que esperar a que se produzca la avería para intervenir, es incurrir en unos costes excesivamente elevados (pérdidas de producción, deficiencias en la calidad, etc.) y por ello la empresas Sacos Agro-Industriales se planteó llevar a cabo procesos de prevención de estas averías mediante un adecuado programa de mantenimiento.

Por lo tanto, el área de mantenimiento no es un sector en el que exista un mecánico arregla-todo. Es en todo caso, un sector que bien administrado, genera un aporte importante para la rentabilidad de la empresa.

No solo porque mantiene funcionando los equipos productivos, sino porque colabora junto a los maquinistas, a los encargados y a los ingenieros de planta a mejorar las eficiencias productivas.

El personal de mantenimiento está preparado para arreglar casi todo. Están obligados a hacerlo porque no siempre hay especialistas para cada problemática.

Por lo tanto se debe tener en claro que los objetivos generales del área de mantenimiento deben ser:

1. Proteger los activos de la compañía para que cumplan al máximo con su función productiva.
2. Disminuir la cantidad de paradas de máquinas por roturas.
3. Mejorar la eficiencia de las máquinas o equipos productivos.
4. Cumplir con las normas de seguridad y medio ambiente establecidas.
5. Disminución de los costos de mantenimiento.

Para lograr estos cometidos será necesaria una adecuada formación en temas de administración. No hay que olvidarse que además de reparar los equipos, el sector debe administrar sus propios recursos humanos.

Entonces, será necesario comenzar a programar las horas de mano de obra que demandará cada trabajo. Si no se disponen de programa alguno, será conveniente comenzar a programar las tareas con un horizonte de tiempo máximo de una semana y luego, con la experiencia acumulada, comenzar a extender los horizontes de tiempos.

Todas las acciones contempladas en los programas elaborados por mantenimiento deberán estar focalizadas en alcanzar los objetivos generales del área. Estos programas deben definir claramente el tipo de mantenimiento a efectuar (correctivo, preventivo, basado en la confiabilidad).

3.2 Tipos de mantenimiento

- **Mantenimiento correctivo**

Comprende el que se lleva a cabo con el fin de corregir (reparar) una falla en el equipo. Se clasifica en:

- No planificado:

Es el mantenimiento de emergencia (reparación de roturas). Debe efectuarse con urgencia ya sea por una avería imprevista a reparar lo más pronto posible o por una condición imperativa que hay que satisfacer (problemas de seguridad, de contaminación, de aplicación de normas legales, etc.).

- Planificado:

Se sabe con antelación qué es lo que debe hacerse, de modo que cuando se pare el equipo para efectuar la reparación, se disponga del personal, repuesto y documentos técnicos necesarios para realizarla correctamente.

- **Mantenimiento preventivo**

Cubre todo el mantenimiento programado que se realiza con el fin de: prevenir la ocurrencia de fallas. Se conoce como mantenimiento preventivo directo o periódico -FTM (*Fixed Time Maintenance*) por cuanto sus actividades están controladas por el tiempo. Se basa en la confiabilidad de los equipos (MTTF) sin considerar las peculiaridades de una instalación dada. Ejemplos: limpieza, lubricación, recambios programados.

Detectar las fallas antes de que se desarrollen en una rotura u otras interferencias en producción. Está basado en inspecciones, medidas y control del nivel de condición de los equipos. También conocido como mantenimiento predictivo, preventivo indirecto o mantenimiento por condición -CBM (*Condition Based Maintenance*).

A diferencia del mantenimiento preventivo directo, que asume que los equipos e instalaciones siguen cierta clase de comportamiento estadístico, el mantenimiento predictivo verifica muy de cerca la operación de cada máquina operando en su entorno real.

Sus beneficios son difíciles de cuantificar ya que no se dispone de métodos para el cálculo de los beneficios o del valor derivado de su aplicación. Por ello, muchas empresas usan sistemas informales basados en los costos evitados, indicándose que por cada dólar gastado en su empleo, se economizan 10 dólares en costos de mantenimiento.

En realidad, ambos Mantenimientos Preventivos no están en competencia, por el contrario, el Mantenimiento Predictivo permite decidir cuándo hacer el Preventivo.

- **Mantenimiento de mejora (DOM)**

Consiste en modificaciones o agregados que se pueden hacer a los equipos, si ello constituye una ventaja técnica y/o económica y si permiten reducir, simplificar o eliminar operaciones de mantenimiento.

- **Mantenimiento de oportunidad**

Aprovechando la parada de los equipos por otros motivos y según la oportunidad calculada sobre bases estadísticas, técnicas y económicas, se procede a un mantenimiento programado de algunos componentes predeterminados de aquéllos.

- **Mantenimiento productivo total (T.P.M.)**

Es un sistema de organización donde la responsabilidad no recae sólo en el departamento de mantenimiento sino en toda la estructura de la empresa "El buen funcionamiento de las máquinas o instalaciones depende y es responsabilidad de todos".

3.3 Descripción del análisis de fallas

Esta técnica es un método para ubicar de manera precisa una falla, dicho método debe ser implementado en toda la organización y proporciona resultados de manera inmediata por un operador o un técnico, o bien a través de un grupo de trabajo localizar un problema en: la calidad, en el método de trabajo, en el mantenimiento y/o en el diseño de un equipo, en la materia prima, etc. Estos grupos son más efectivos cuando las personas tienen habilidades técnicas, experiencia y la disponibilidad de proveer diversos puntos de vista; permitiendo una lluvia de ideas y el explorar diferentes interpretaciones de razones por las que ocurrió la falla, así como de sus consecuencias.

No es necesario decir que las organizaciones no aprenden de las fallas si las personas no las discuten y las analizan. Sin embargo, esto continúa siendo solamente un pensamiento importante. El potencial del aprendizaje disponible no se obtiene a menos que la falla se analice y se discuta profundamente.

Este análisis solamente puede ser efectivo si la gente habla abiertamente de lo que sabe y otros escuchan, lo que da la oportunidad de que surja, dentro de la reunión, un nuevo entendimiento de lo que sucedió. La mayoría de las personas prefieren dejar en el olvido errores pasados, más que revisitarlos y desempacarlos para lograr un mayor entendimiento.

Las personas tienden a sentirse más cómodas analizando la evidencia, lo que les permite creer lo que quieren creer, negando responsabilidad por fallas y atribuyéndole el problema a otros, o al "sistema". Preferimos movernos hacia algo más placentero o cómodo.

Un riguroso análisis de fallas requiere que las personas, por lo menos temporalmente, hagan a un lado estas tendencias para explorar las no tan cómodas verdades y asumir la responsabilidad personal.

- **Beneficio del análisis de fallas**

El discutir fallas tiene importantes beneficios sociales y organizacionales.

- ✓ Primero: la discusión ofrece la oportunidad de que otros aprendan, sobre todo si no estuvieron involucrados en la falla.
- ✓ Segundo: estas personas pueden contribuir con diferentes perspectivas y puntos de vista para hacer un análisis más profundo, que ayude a contrarrestar los prejuicios y subjetividades de aquellos que estuvieron involucrados en la falla o error. Después de haber experimentado una falla, las personas generalmente atribuyen mucho de la culpa a otra gente y a fuerzas más allá de su control.

✓ Por último, el valor del aprendizaje, que podría lograrse al analizar y discutir errores simples, generalmente se subestima. Muchos descubrimientos científicos han resultado de aquellos que estuvieron atentos a errores sencillos en el laboratorio. Por ejemplo, los investigadores de uno de los laboratorios alemanes de polímeros, cometían generalmente el error de dejar el quemador Bunsen prendido el fin de semana. Al descubrir este error, los lunes por las mañanas, los químicos simplemente tiraban los resultados, y continuaban con su actividad del día. Diez años más tarde, un químico en un laboratorio de polímeros de DuPont cometió el mismo error. Sin embargo, en vez de tirar el error, el químico de DuPont analizó los resultados y descubrió que las fibras se habían coagulado. Este descubrimiento fue el primer paso hacia la invención del nylon. Con una atención parecida a la que emplearon en esta falla menor, el laboratorio alemán, podría haber obtenido una ventaja de casi una década en el nylon, logrando un dominio potencial de este mercado por muchos años.

- **Análisis de fallas en máquinas**

- ✓ **Cuando hay una falla.**

1. Cuando la pieza queda completamente inservible.
2. Cuando a pesar de que funciona no cumple su función satisfactoriamente.
3. Cuando su funcionamiento es poco confiable debido a las fallas y presenta riesgos.

✓ **Causas**

Mal diseño, mala selección del material.

1. Imperfecciones del material, del proceso y/o de su fabricación.
2. Errores en el servicio y en el montaje.
3. Errores en el control de Calidad, mantenimiento y reparación.
4. Factores ambientales, sobrecargas.

Generalmente una falla es el resultado de uno o más de los anteriores factores.

✓ **Deficiencia en el diseño**

1. Errores al no considerar adecuadamente los efectos de las entallas.
2. Insuficientes criterios de diseño por no tener la información suficiente sobre los tipos y magnitudes de las cargas especialmente en piezas complejas (No se conocen los esfuerzos a los que están sometidos los elementos).
3. Cambios al diseño sin tener en cuenta los factores elevadores de los esfuerzos.

✓ **Deficiencias en la selección del material**

1. Datos poco exactos del material (ensayo de tensión, dureza).
2. Empleo de criterios erróneos en la selección del material.
3. Darle mayor importancia al costo del material que a su calidad.

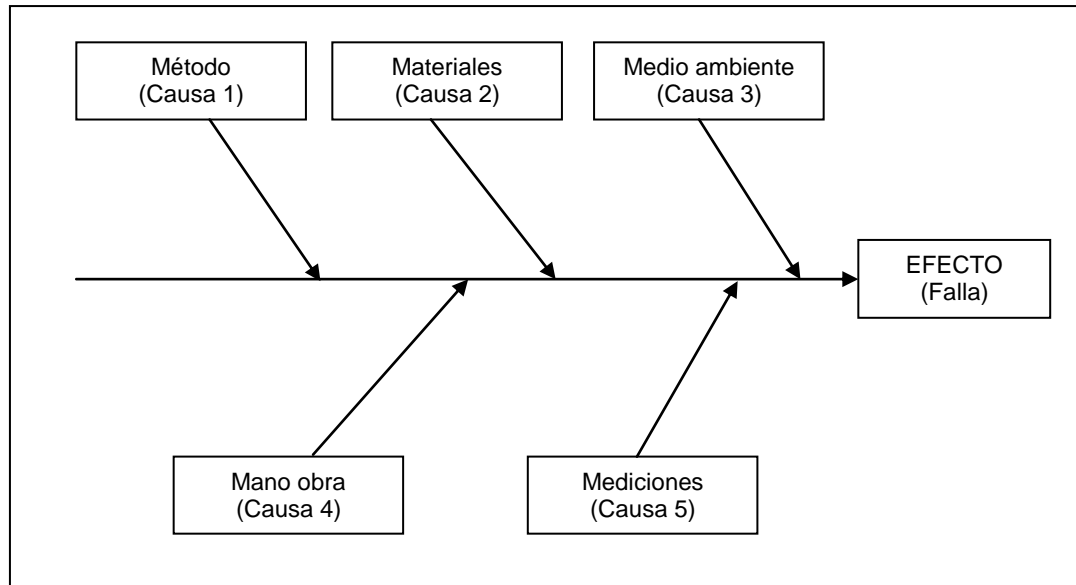
- **Diagrama de causa-efecto**

El diagrama de causa y efecto es una técnica poderosa usada para representar gráficamente las posibles causas. Puede utilizarse para reunir todo lo que se conoce sobre el problema, identificar qué información adicional se necesita y para hacer una tormenta de ideas sobre las posibles causas. El diagrama tiene anotada la descripción del problema a la derecha como "efecto". Las ramas que salen de los brazos que van hacia el efecto son las posibles causas.

Alguien comienza diciendo lo que piensa que es una posible causa del problema. Uno por uno, todos los participantes tienen su turno para hablar. En cualquier momento uno de ellos puede pasar. Esto continúa hasta que se hayan anotado en el diagrama todas las posibles causas.

Lo más importante de recordar es usar el diagrama para anotar todas las sugerencias posibles. Así pueden considerarse más posibles causas y nada se pasa por alto cuando intentamos identificar la causa o causas raíz del problema. Para usar esta herramienta el grupo sigue las reglas de la tormenta de ideas.

Figura 121. **Modelo de un diagrama de causa y efecto**



La tormenta de ideas se utiliza para alentar la participación de todos los miembros del equipo. Permite que todos hablen y escuchen. Cada idea, no importa lo poco práctica que sea, se registra. De hecho, en ocasiones es productivo alentar a los participantes a hacer las sugerencias más descabelladas posibles. De esta manera todas las ideas se anotan y se pueden considerar. Los integrantes del equipo pueden luego proceder con todas las opciones que tienen enfrente.

Si alguien reacciona en forma que critique la idea de otro, se le debe recordar que el objetivo es reunir todas, las ideas posibles y alentar a los integrantes del equipo a construir sobre esas ideas, no rechazarlas o analizarlas. Cuando la lista está completa, el equipo puede comenzar a evaluar cada idea e intentar llegar a una decisión por consenso.

CONCLUSIONES

1. La adecuada implementación de un programa de análisis de fallas trae beneficios de índole económico y calidad, con la cual se puede tener una idea clara de la situación en la que se encuentra los equipos involucrados en la línea de proceso de la fabricación de sacos de polipropileno; para que el análisis funcione adecuadamente es necesario la cooperación y coordinación entre los departamentos de producción y administración de la empresa. La clave del éxito del análisis, se debe recalcar, es el seguimiento de las tareas, pruebas, revisiones, controles, monitoreo, etc., como mejora continua.
2. Las guías de fallas y averías son una herramienta de gran valor en la resolución de problemas inesperados, logrando reducir los paros no programados por fallas, para el equipo industrial de telares circulares en la fabricación de sacos de polipropileno; es por eso que es importante que el análisis de fallas continúe hasta llegar a ser una herramienta de mejora continua para el departamento de mantenimiento.

3. Capacitando al personal encargado de operación y mantenimiento con información directa sobre un buen mantenimiento y los beneficios que conlleva su buena aplicación, se logra un gran ahorro de pérdidas por fallas inesperadas. Además, una mejor distribución de personal y tiempo para reparar fallas, ayudaría a mejorar la calidad del trabajo efectuado por el departamento de mantenimiento y se reduciría la cantidad de órdenes de trabajo que diariamente se reciben.
4. Es necesario tomar en cuenta, si se prefiere ahorrar en gastos de repuestos, comprar piezas genéricas, en vez de originales o tener máquinas en condiciones óptimas para trabajar y así evitar paros por mantenimiento no planificado.
5. Una buena aplicación del análisis de fallas evita fallos con impacto en la seguridad de la persona que opera la máquina, y reduce las consecuencias de fallas recurrentes con elevada repercusión en el costo de operación y mantenimiento.
6. Si se aplica el análisis de fallas como una herramienta de mejora continua, se logrará reducir tiempos de paro de máquinas por desperfecto de operación y/o mantenimiento, además de analizar los posibles errores cometidos durante la operación y/o mantenimiento de los telares circulares.

RECOMENDACIONES

1. Es conveniente buscar nuevas formas de limpieza para los telares, la forma actual puede estar ocasionando que fallen las piezas que utilizan cojinetes, es por eso que la utilización de una aspiradora industrial es una opción que se debería tomar muy en cuenta, ya que la cantidad de cojinetes cambiados diariamente es muy elevada, ya sea por contaminación, atrancamiento, o resequedad. La mayor causa que ocasiona estas fallas se puede atribuir a la contaminación que existe en los telares y su forma de limpieza.
2. La adecuada implementación del análisis de fallas puede garantizar que el tiempo que se emplea en la reparación de cualquier falla sea la menor posible, es necesario tener los repuestos disponibles, ya que será de gran ayuda para lograr este objetivo; el espacio destinado al almacenamiento de repuestos debe ser el adecuado y contar con un control de inventario tanto para fines técnicos de reparación como administración.
3. El adecuado control de cambios de piezas en reparación debe tenerse muy en cuenta para determinar que máquinas necesitan mayor atención y aplicar el análisis de fallas a los equipos que en realidad lo necesitan para reducir los paros por fallas de mantenimiento.

4. Capacitar, entrenar y actualizar continuamente a los técnicos encargados del área de telares, en lo referente al análisis de fallas, dando a conocer las técnicas y resultados del análisis para reducir fallas, tiempo de reparación y gastos en mantenimiento, tratando de tomarlo como una herramienta general de trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Amendola, Luis (2002). **Modelo mixto de confiabilidad operacional**. Publicado por Datastream. www.mantenimientomundial.com
2. Avallone, Eugene. **Manuel del ingeniero mecánico**. 3ª edición (Volúmenes II y III). México 1997 McGraw-Hill, Interamericana. Páginas 5-25 y 30-50.
3. Calixto Rodríguez, Roberto. **Análisis de causa raíz utilizando árboles lógicos, taxonomías y diagramas de nivel**. Publicado en www.mantenimientomundial.com, fecha de consulta enero 21 de 2009.
4. Duran, José. “¿Qué es confiabilidad operacional?” **Revista club mantenimiento**. Septiembre 2000, universidad pedagógica y tecnológica de Colombia volumen N° 2.
5. Enciclopedia **Microsoft® Encarta® 2007**.

6. Latino, Rosendo. **Análisis causa raíz: la actuación mejorando para el resultado de línea de fondo.** Reliability center, Inc. (Latino & Latino 2001/www.crcprees.com), fecha de consulta mayo 25 de 2009.

7. Murillo, William. **Modelo de confiabilidad basado en el análisis de fallas.** V congreso internacional de mantenimiento. ACEIM. 2003 Bogotá, Colombia.

8. Perez, Marcelo y Sales, Matias. Diagrama de Pareto, publicado por: Portal de estudiantes de RR.HH. www.uch.edu.ar/rrhh, fecha de consulta marzo 10 de 2009.

9. Ramírez, José. **Diagrama causa-efecto.** Publicado por www.monografias.com, fecha de consulta abril 06 de 2009.

10. Sojo, Luis. **El proceso del análisis causa raíz PROACT: metodología & software.** Publicado por: www.klaron.net y www.reliability.com, fecha de consulta mayo 05 de 2009.