



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

**OPTIMIZACIÓN DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE PASTA A TRAVÉS DE UN
MANTENIMIENTO BASADO EN EL CONTROL DE VARIABLES TÉRMICAS Y
OPERACIONALES**

Felix Ernesto Fong González

Asesorado por el Ing. Rodolfo Estuardo Quiroa Melendres

Guatemala, octubre de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**OPTIMIZACIÓN DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE PASTA A TRAVÉS
DE UN MANTENIMIENTO BASADO EN EL CONTROL DE VARIABLES
TÉRMICAS Y OPERACIONALES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

FELIX ERNESTO FONG GONZÁLEZ

ASESORADO POR EL ING. RODOLFO ESTUARDO QUIROA MELENDRES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Luis Pedro Ortiz de León
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

OPTIMIZACIÓN DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE PASTA A TRAVÉS DE UN MANTENIMIENTO BASADO EN EL CONTROL DE VARIABLES TÉRMICAS Y OPERACIONALES

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 7 de febrero de 2017.



Felix Ernesto Fong González

Guatemala, 28 de enero de 2019

Ingeniero Cesar Ernesto Urquizú Rodas

Director

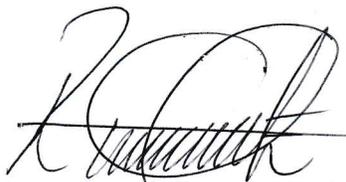
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala

Por medio de la presente me dirijo a usted, para hacer de su conocimiento que como asesor he revisado el trabajo de graduación titulado: **OPTIMIZACIÓN DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE PASTA A TRAVÉS DE UN MANTENIMIENTO BASADO EN EL CONTROL DE VARIABLES TÉRMICAS Y OPERACIONALES** del estudiante Felix Ernesto Fong González quien se identifica con carné número 2116336820101 y registro académico 201114574 de la carrera de Ingeniería Mecánica Industrial el cual encuentro satisfactorio, por lo que lo doy por aprobado.

Sin otro particular



*Rodolfo Estuardo Quiroa Melendres
Ingeniero Mecánico Industrial
Colegiado 10883*

Rodolfo Estuardo Quiroa Melendres

Ingeniero Mecánico Industrial

Colegiado número: 10883



REF.REV.EMI.039.019

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **OPTIMIZACIÓN DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE PASTA A TRAVÉS DE UN MANTENIMIENTO BASADO EN EL CONTROL DE VARIABLES TÉRMICAS Y OPERACIONALES**, presentado por el estudiante universitario **Felix Ernesto Fong González**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Inga. Priscila Yohana Sandoval Barrios
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, mayo de 2019.

Priscila Yohana Sandoval Barrios
Ingeniera Industrial
Coligado No 10392

/mgp

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

REF.DIR.EMI.164.019

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor **OPTIMIZACIÓN DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE PASTA A TRAVÉS DE UN MANTENIMIENTO BASADO EN EL CONTROL DE VARIABLES TÉRMICAS Y OPERACIONALES**, presentado por el estudiante universitario **Felix Ernesto Fong González**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. Cesar Ernesto Urquizu Rodas
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

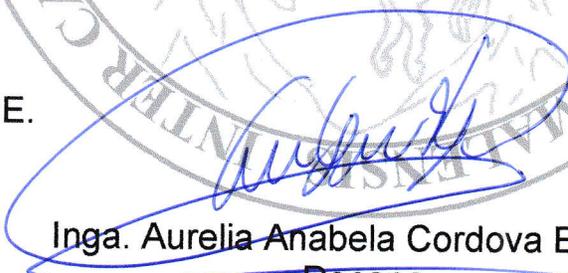
Guatemala, octubre de 2019.

/mgp



La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **OPTIMIZACIÓN DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE PASTA A TRAVÉS DE UN MANTENIMIENTO BASADO EN EL CONTROL DE VARIABLES TÉRMICAS Y OPERACIONALES**, presentado por el estudiante universitario: **Felix Ernesto Fong González**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, Octubre de 2019

AACE/asga
/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser fuente infinita de amor, consuelo y misericordia, guiarme por los caminos correctos en momentos de confusión y nunca desampararme.
- Mis padres** Marco Tulio Fong y María Elena González, por brindarme su amor, comprensión, consejo y apoyo en cada etapa de mi vida.
- Mis hermanas** Brenda Patricia y Nancy María Fong, por ser mis ejemplos por seguir, por mostrarme su cariño y brindarme su ayuda siempre que la he necesitado.
- Mis sobrinas** Hellen y Vanessa Padilla y Patricia Fong, por ser mi principal razón para ser mejor persona cada día e inspirarme a trabajar para ser un digno ejemplo.
- Mi tía** María Concepción González, por brindarme su amor incondicional y tratarme como un hijo desde el día en que nací.
- Mi familia** Mi cuñado, tíos y primos, por brindarme su apoyo.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi <i>alma máter</i> y hacerme sentir orgulloso de formar parte de una institución tan honorable e importante para Guatemala.
Facultad de Ingeniería	Por darme los conocimientos para ser un profesional ejemplar al servicio de la población.
Mis amigos de la Facultad	Por los gratos momentos vividos y el apoyo mutuo que siempre tuvimos.
Mi asesor	Ing. Rodolfo Quiroa Melendres, por sus consejos, apoyo e invaluable ayuda durante el proceso de este trabajo.
Departamento de mantenimiento de la empresa	Jefe, supervisores, programador y electromecánicos, por su ayuda desinteresada y paciencia y por mostrarme el significado de trabajo arduo y honrado.
Departamento de producción de la empresa	Operarios y auxiliares, por enseñarme el proceso de producción y brindarme la información necesaria para la realización de este trabajo.
La empresa en general	Por abrirme sus puertas.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XIII
GLOSARIO	XV
RESUMEN.....	XXI
OBJETIVOS.....	XXIII
INTRODUCCIÓN	XXV
1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1. Descripción general de la empresa	1
1.1.1. Historia	1
1.1.2. Visión.....	2
1.1.3. Misión	3
1.1.4. Valores	3
1.1.5. Innovaciones.....	4
1.1.6. Organigrama.....	5
1.1.7. Productos.....	6
1.1.8. Mercados.....	7
1.2. El producto	8
1.2.1. Ingredientes	8
1.2.1.1. Agua	9
1.2.1.2. Harina	9
1.2.1.3. Otros.....	10
1.2.2. Tipos de pastas	10
1.2.2.1. Pasta larga.....	10
1.2.2.2. Pasta corta.....	11

	1.2.2.3.	Pasta nidos.....	12
	1.2.2.4.	<i>Chao mein</i>	12
	1.2.3.	Valor nutricional.....	13
1.3.		Industria de las pastas	14
	1.3.1.	Origen.....	15
	1.3.2.	Clasificación	16
	1.3.3.	Industrias de pastas en Guatemala.....	17
2.		PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PASTA LARGA.....	21
2.1.		Descripción del producto.....	21
	2.1.1.	Materia prima	21
	2.1.2.	Características	22
	2.1.3.	Control de calidad	23
2.2.		Descripción de los equipos auxiliares del proceso.....	25
	2.2.1.	Calderas	25
		2.2.1.1. Tanque de agua caliente.....	29
	2.2.2.	Enfriador de agua (<i>chiller</i>)	31
		2.2.2.1. Cisterna de agua fría.....	33
	2.2.3.	Red de agua potable	34
	2.2.4.	Red de aire.....	36
	2.2.5.	Sistema abastecedor de harina.....	42
2.3.		Proceso de producción.....	45
	2.3.1.	Esquema (<i>layout</i>) de la línea.....	46
	2.3.2.	Proceso de elaboración de pasta	47
		2.3.2.1. Premezcla	47
		2.3.2.2. Amasadora	47
		2.3.2.3. Distribuidora	48
		2.3.2.4. Moldes.....	49
		2.3.2.5. Extrusión	49

	2.3.2.6.	Extendedora	50
	2.3.2.7.	Presecado.....	50
	2.3.2.8.	Secadero	52
	2.3.2.9.	Humidificador.....	53
	2.3.2.10.	Enfriador	54
	2.3.2.11.	Acúmulo.....	54
	2.3.2.12.	Desfiladora.....	55
	2.3.2.13.	Empaque	55
2.3.3.		Descripción de los equipos en la línea	56
	2.3.3.1.	Prensa	56
	2.3.3.2.	Presecado.....	57
	2.3.3.3.	Secado	58
	2.3.3.4.	Acúmulo.....	60
	2.3.3.5.	Empaque	61
2.3.4.		Procedimientos de operación y control.....	62
	2.3.4.1.	Procedimiento de arranque.....	62
		2.3.4.1.1. Lista de chequeo	63
		2.3.4.1.2. Lubricación	64
	2.3.4.2.	Procedimiento de operación	64
	2.3.4.3.	Procedimiento de paro.....	66
		2.3.4.3.1. Limpieza	66
		2.3.4.3.2. Revisión final	67
2.3.5.		Diagrama de flujo del proceso	68
3.		PROPUESTA PARA LA MEJORA DEL LA PRODUCCIÓN.....	71
	3.1.	Evaluación técnica de la línea	71
		3.1.1. Determinación de los fallos más comunes	71
		3.1.1.1. Fallos de operación	71
		3.1.1.2. Fallos mecánicos eléctricos	75

	3.1.1.2.1.	Equipos en línea	75
	3.1.1.2.2.	Equipos auxiliares	79
3.2.		Determinación de la cantidad de producto perdido	82
	3.2.1.	Pérdidas debido a errores humanos	82
	3.2.2.	Pérdidas debido a fallas en los equipos	84
3.3.		Desarrollo del perfil del operario	86
	3.3.1.	Competencias requeridas.....	86
	3.3.2.	Habilidades técnicas	88
	3.3.3.	Conocimientos teóricos	90
3.4.		Optimización y control de los equipos auxiliares.....	92
	3.4.1.	Condiciones de funcionamiento	93
	3.4.2.	Operaciones de contingencia.....	93
3.5.		Automatización y control del proceso.....	100
	3.5.1.	Tiempos y exactitud de respuesta.....	100
		3.5.1.1. Agua fría.....	100
		3.5.1.2. Agua caliente.....	102
		3.5.1.3. Aire.....	103
		3.5.1.4. Harina.....	104
4.		DESARROLLO DEL PROCESO.....	107
4.1.		Ajustes en la maquinaria	107
	4.1.1.	Reparaciones	107
	4.1.2.	Reemplazos	108
	4.1.3.	Mano de obra calificada de mantenimiento	109
	4.1.4.	Resultados esperados.....	111
4.2.		Mejora de las operaciones de producción.....	112
	4.2.1.	En la línea	112
		4.2.1.1. Manual de operación.....	113
		4.2.1.2. Ajustes de operación.....	124

4.2.2.	En equipos auxiliares.....	126
4.2.2.1.	Manuales de operación	127
4.2.2.2.	Calibración y ajuste	137
4.3.	Balance de línea.....	139
4.4.	Personal designado.....	143
4.4.1.	Operadores de línea.....	143
4.4.2.	Operarios de equipos auxiliares	143
4.5.	Salud ocupacional y seguridad industrial en el proceso	145
4.6.	Mantenimiento del sistema de control	155
4.6.1.	Monitoreo y control de dispositivos.....	155
4.6.2.	Mantenimiento correctivo.....	162
4.6.3.	Mantenimiento preventivo.....	163
4.6.4.	Mantenimiento basado en la condición.....	168
4.7.	Análisis financiero.....	169
4.7.1.	Costos	169
4.7.1.1.	Reparación de maquinaria.....	169
4.7.1.2.	Reemplazo de maquinaria	170
4.7.1.3.	Personal adicional	170
4.7.1.4.	Capacitación de nuevo personal.....	171
4.7.2.	Mejora en la producción	171
4.7.3.	Análisis costo beneficio del proyecto	175
5.	MEJORA CONTINUA.....	179
5.1.	Programas de capacitación de personal	179
5.1.1.	Capacitación técnica.....	179
5.1.1.1.	Operarios.....	179
5.1.1.2.	Electromecánicos	181
5.1.2.	Seguridad industrial	182
5.2.	Elaboración de fichas técnicas para la maquinaria.....	189

5.2.1.	Partes por revisar constantemente.....	189
5.2.2.	Inspecciones de rutina	191
5.2.3.	Informe de maquinaria por parte de operario	192
5.3.	Realización de rutinas.....	193
5.3.1.	Visitas técnicas.....	193
5.3.2.	Inspecciones	193
5.4.	Implementación de programas de mantenimiento	194
5.4.1.	Mantenimiento productivo total.....	195
5.4.2.	Mantenimiento centrado en la confiabilidad	199
CONCLUSIONES.....		207
RECOMENDACIONES		209
BIBLIOGRAFÍA.....		211
APÉNDICES.....		213

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama de la empresa.....	5
2.	Diagrama de la caldera de agua caliente	26
3.	Especificaciones técnicas de caldera de agua caliente.....	27
4.	Caldera de agua caliente	27
5.	Diagrama de la caldera de vapor	28
6.	Especificaciones técnicas de la caldera de vapor	28
7.	Caldera de vapor.....	29
8.	Especificaciones técnicas tanque de agua caliente	30
9.	Tanque de agua caliente.....	31
10.	Especificaciones técnicas <i>chiller</i>	32
11.	Enfriador de agua <i>chiller</i>	33
12.	Diagrama básico de un <i>chiller</i> con su cisterna	33
13.	Agua potable fría llegando a caldera.....	35
14.	Parte del sistema de distribución	35
15.	Especificaciones técnicas compresor.....	37
16.	Estructura básica del compresor	37
17.	Compresor de aire.....	38
18.	Especificaciones técnicas del almacenamiento de aire.....	39
19.	Almacenamiento de aire comprimido	39
20.	Especificaciones técnicas del secador de aire	40
21.	Estructura básica del secador	41
22.	Instalación básica de la red de aire para demanda constante	41
23.	Primera esclusa dosificadora	42

24.	Cernidor de harina	43
25.	Especificaciones técnicas <i>blower</i>	44
26.	<i>Blower</i>	44
27.	Inicio del transporte de sémola procesada hacia planta	45
28.	Esquema de la línea de pasta larga (no incluye empaque)	46
29.	Secado de las capas exteriores de la pasta	51
30.	Distribución de la humedad en la pasta	52
31.	Reducción final de los niveles de humedad.....	53
32.	Distribución final de la humedad en la pasta	53
33.	Especificaciones técnicas caldera eléctrica de vapor	59
34.	Caldera eléctrica de vapor	59
35.	Diagrama de flujo elaboración de pasta larga.....	70
36.	Número de incidencias de equipos de la línea	76
37.	Minutos de paro de producción causados por equipo.....	76
38.	Porcentaje de incidencias por equipo en línea	77
39.	Porcentaje de minutos de paro causados por equipo en línea	77
40.	Porcentaje de incidencias por equipo auxiliar	79
41.	Porcentaje de minutos de paro causados por equipo auxiliar.....	80
42.	Tarjeta de medición de producto perdido por error operacional	83
43.	Tarjeta de medición de producto perdido por fallas en equipos... ..	84
44.	Tarjeta de medición de pérdidas en área de empaque.....	85
45.	Pantalla de estado de la caldera.....	127
46.	Indicadores de temperatura de la caldera.....	128
47.	Modificación de valores de operación de la caldera	129
48.	Tablero de operación del <i>chiller</i>	130
49.	Tablero de comandos de operación del compresor	133
50.	Indicadores del compresor.....	133
51.	Matriz de criticidad para sistemas de línea de pasta larga	161
52.	Estudio de adecuación de una máquina	183

53.	Esquema de reducción de riesgos en maquinaria	184
54.	Correlación entre rendimiento y temperatura ambiental.....	185
55.	Ficha técnica de partes por revisar constantemente	190
56.	Ficha técnica de inspecciones de rutina.....	191
57.	Ficha técnica de informe de maquinaria por parte de operario	192
58.	Tiempo total de paro de una máquina por falla	201
59.	Curva P - F	203
60.	Intervalo P – F.....	204
61.	Esquema de toma de decisiones a falta de tareas proactivas	206

TABLAS

I.	Aporte nutricional en 100g de pasta simple	14
II.	Producción por país de pasta alimenticia en 2011 (en toneladas)	17
III.	Consumo por país de pasta alimenticia en 2011 (kg. <i>per cápita</i>).....	18
IV.	Composición del grano de trigo duro.....	22
V.	Valores bacteriológicos límite aconsejados para sémolas	23
VI.	Parámetros requeridos del agua potable	34
VII.	Equipos más relevantes en el área de prensa	57
VIII.	Equipos más relevantes en el área de presecado	58
IX.	Equipos más relevantes en el área de secado.....	60
X.	Equipos más relevantes del área de acúmulo.....	61
XI.	Equipos más relevantes del área de empaque	61
XII.	Tiempos de operación del área de prensa (minutos)	68
XIII.	Tiempos de operación del área de presecado	68
XIV.	Tiempos de operación del área de secado	69
XV.	Tiempos de operación del área de acúmulo	69
XVI.	Tiempos de operación del área de empaque	69
XVII.	Concordancias y discrepancias en criterios de operación.....	73

XVIII.	Consecuencias de discrepancias entre valores modificables	74
XIX.	Fallos en equipos de la línea	75
XX.	Fallos más comunes en equipos críticos de la línea.....	78
XXI.	Fallos en los equipos auxiliares	79
XXII.	Fallos más comunes en equipos auxiliares críticos	81
XXIII.	Valores ideales de equipos auxiliares.....	93
XXIV.	Medidas de contingencia ante las fallas registradas.....	94
XXV.	Resolución de problemas en <i>chiller</i>	95
XXVI.	Resolución de problemas en calderas	97
XXVII.	Resolución de problemas en la red de aire.....	99
XXVIII.	Tiempos y modulación de la entrada de agua fría	100
XXIX.	Tiempos y modulación de entrada de agua caliente.....	102
XXX.	Tiempos y modulación de entrada de aire	103
XXXI.	Tiempos y modulación de entrada de harina	105
XXXII.	Equipos necesarios para optimización.....	108
XXXIII.	Magnitudes ideales en presecado a velocidad más baja.....	115
XXXIV.	Magnitudes ideales en secador a velocidad más baja.....	116
XXXV.	Magnitudes ideales en presecado a velocidad nominal.....	117
XXXVI.	Magnitudes ideales en secador a velocidad nominal.....	118
XXXVII.	Magnitudes ideales en presecado a velocidad media-baja.....	119
XXXVIII.	Magnitudes ideales en secador a velocidad media-baja.....	120
XXXIX.	Magnitudes ideales en presecado a velocidad media-alta.....	121
XL.	Magnitudes ideales en secador a velocidad media-alta.....	122
XLI.	Valores ideales de trabajo de elementos no variables.....	123
XLII.	Ajustes ante problemas pertinentes a la operación en la línea	125
XLIII.	Comandos de operación del <i>chiller</i>	131
XLIV.	Función de los comandos del compresor	135
XLV.	Función de los indicadores del compresor.....	136
XLVI.	Medidas de seguridad para el área de prensa.....	146

XLVII.	Medidas de seguridad para el área de secado	147
XLVIII.	Medidas de seguridad para el área de la desfiladora.....	147
XLIX.	Programa de limpieza y desinfección de la línea	152
L.	Clasificación de los sistemas de la línea	155
LI.	Factores de criticidad determinados por sistema	157
LII.	Número de fallas por sistema.....	159
LIII.	Programa de mantenimiento preventivo en prensa.....	164
LIV.	Programa de mantenimiento preventivo en secador	166
LV.	Programa de mantenimiento preventivo en desfiladora	167
LVI.	Costo de reemplazo de maquinaria.....	170
LVII.	Ahorro en energía eléctrica	172
LVIII.	Ahorro monetario cada cuatro meses	175
LIX.	Señalización de seguridad industrial	186
LX.	Proceso de desarrollo de un sistema MPT.....	195
LXI.	Clasificación de las seis grandes pérdidas.....	196
LXII.	Actividades de mantenimiento autónomo por departamento	197
LXIII.	Las siete preguntas básicas del MCC.....	200

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Al	Aluminio
A	Amperio
bar	Bares
HP	Caballos de fuerza
Ca	Calcio
CaCO₃	Carbonato de calcio
Zn	Cinc
Cl	Cloruro
Cu	Cobre
°C	Grados centígrados
g	Gramo
Hz	Hercio
h	Hora
J/h	Julio sobre hora
Kcal	Kilocaloría
Kg	Kilogramo
kg/h	Kilogramo sobre hora
kW	Kilovatio
kW/h	Kilovatio sobre hora
psi	Libras por pulgada cuadrada
L	Litro
Mg	Magnesio
m³/min	Metro cúbico sobre minuto

m³/s	Metro cúbico sobre segundo
µg	Microgramo
µs/cm	Microsiemen sobre centímetro
mg	Miligramo
mg/L	Miligramo sobre litro
mm	Milímetro
min	Minuto
ppm	Partes por millón
%	Porcentaje
Q	Quetzal, moneda guatemalteca
SO₄	Sulfato
Btu/h	Unidad térmica británica sobre hora
W	Vatio
V	Voltio

GLOSARIO

Auxiliar	Personal que asiste y a veces sustituye al operario de línea.
Blower	Soplador de aire. Elemento mecánico que provee un flujo de aire que impulsa la harina desde los cernidores hacia la planta.
Bomba	Elemento mecánico que impulsa fluidos de una parte del proceso hacia otra.
BTU/h	Unidad térmica británica sobre hora.
Caldera	Elemento mecánico encargado de calentar el agua para el proceso.
Caña o varilla	Barra metálica en posición horizontal sobre la cual se transportan las hileras de pasta durante el proceso.
Chiller	Enfriador de agua. Elemento mecánico encargado de enfriar el agua para el proceso.
Clutch	Mecanismo que permite o restringe el movimiento de un motor.
Colaborador	Trabajador dentro de la empresa.

Compresor	Elemento mecánico que impulsa el aire comprimido hacia planta para el funcionamiento de los sistemas neumáticos.
Criticidad	Medida de la relevancia de un proceso respecto del sistema del cual forma parte.
Desfase	Medida en la cual un valor no coincide con otro de referencia.
Equipo auxiliar	Equipo no integrado directamente a la línea que es esencial para el funcionamiento del proceso.
Fallo	Acción incorrecta de un operario o mal funcionamiento de un equipo.
Ficha técnica	Hoja con formato definido que sirve para recabar información acerca de un equipo o proceso.
Fluido	Sustancia líquida o gaseosa esencial para el proceso, ya sea como materia prima o como elemento necesario para su funcionamiento.
Flujo	Movimiento de un fluido.
Gluten	Mezcla resultante del agua potable y la sémola de trigo procesada.

Humedad	Cantidad de agua en la superficie o el interior de un elemento.
Humedad relativa	Relación entre la máxima cantidad de agua que puede contener un elemento y la cantidad que contiene.
Humidificación	Aumento de la humedad en un espacio o cuerpo.
Inocuidad	Ausencia absoluta de contaminantes o patógenos dañinos para la salud.
LED	Luz integrada a un equipo que indica el estado de su funcionamiento o del proceso del cual forma parte.
Línea de producción	Conjunto de equipos individuales integrados para la transformación de materia prima en producto terminado.
Mantenimiento	Acciones planificadas y ejecutadas para prevenir o reparar el deterioro de los equipos involucrados en el proceso de producción de pasta.
Matriz de criticidad	Gráfica que muestra la importancia de cada elemento dentro de un proceso general y la frecuencia con la que ocurren fallos en dichos elementos.
MCC	Mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Motor	Elemento mecánico que transforma energía eléctrica en energía mecánica para generar movimiento e impulsar diversos elementos que integran, tanto la línea de producción como los equipos auxiliares.
MPT	Mantenimiento productivo total.
Operador u operario	Personal encargado de controlar los parámetros del proceso y mantener el funcionamiento de la línea.
Optimización	Revisión y mejora general de los las acciones y elementos que componen un proceso total mediante la corrección de posibles fallos y la ejecución de procedimientos existentes de forma más eficiente.
Parámetro	Variable inherente a un proceso susceptible de modificación cuya magnitud debe ser muy próxima a un valor ideal de referencia.
Pasta	Producto resultante de la mezcla de sémola de trigo procesada y agua potable luego de pasar por un proceso de transformación.
Planta	Instalación dentro de la cual se encuentra una línea de producción encargada de la transformación de materia prima en producto terminado.

Reproceso	Envío de materia prima en cualquier parte del proceso hasta antes del principio para ser descompuesta en sus componentes originales.
Reseteo	Apagar un equipo en funcionamiento y volver a encenderlo.
Restablecimiento	Programar los parámetros de un equipo que hayan sido cambiados de vuelta a sus valores originales.
RPM	Revoluciones por minuto.
Salud ocupacional	Actividades orientadas a promover y mantener el buen estado físico y mental de los trabajadores de una empresa.
Sémola	Producto resultante de la molienda de trigo duro, utilizado para la elaboración de pasta.
Sensor o sonda	Dispositivo integrado en la línea que capta y da aviso de cambios en los parámetros del proceso y sus variaciones generales.
Set point	Magnitud a la cual se fija un parámetro, cuyo valor no debe variar significativamente.
Sistema neumático	Sistema que utiliza aire comprimido para el movimiento de sus componentes.

Software	Programa informático que permite realizar ciertas tareas por medio de una computadora o tablero.
TIR	Tasa interna de retorno.
U.F.C.	Unidades formadoras de colonias.
Válvula	Elemento mecánico que se abre o cierra para regular el paso de un fluido.
Variable	Magnitud de un parámetro que puede cambiar por modificación o por alteraciones en el proceso.
VOSO	Metodología de detección temprana de fallos en los equipos que forma parte del mantenimiento basado en la condición, cuyas siglas significan ver, oír, sentir y oler.
VPN	Valor presente neto.

RESUMEN

Este trabajo se realizó dentro de las instalaciones de una empresa productora de pasta alimenticia, en la cual se llevó a cabo un estudio del funcionamiento de una de las principales líneas de producción con el fin de elaborar un plan de optimización considerando principalmente las magnitudes térmicas de temperatura y humedad utilizadas en el proceso y los procedimientos de operación de la línea. Se establecieron directrices de mantenimiento para las variables a fin de asegurar una producción estable.

Para evaluar el estado de la producción se tomó como indicador el tiempo que la línea estuvo en paro debido a fallos varios de los equipos que la componen, se determinó cuáles de estos eran los principales causantes de los retrasos de producción y la forma de disminuirlos. También se analizaron los métodos de operación y control de los procesos en la línea para proponer cambios que los hicieran ideales y se definió una forma mejorada para realizar la operación de los equipos auxiliares al proceso.

Con el fin de llevar a cabo una optimización completa, se identificaron los equipos que es prudente adquirir e instalar en la línea y se definieron los valores térmicos de operación que se deben mantener según la velocidad de producción para asegurar que esta sea idónea. Se establecen los requisitos que debe cumplir el personal de producción así como cursos de acción por aplicar en caso de ocurrir fallos en los equipos, tanto en línea como en los auxiliares. Se presentan los planes de mantenimiento existentes que deben seguirse para prevenir fallos en los equipos. Finalmente, se realizó un análisis financiero presentando los beneficios económicos del proyecto.

OBJETIVOS

General

Optimizar una línea de producción de pasta larga a través de un mantenimiento basado en el control de variables térmicas y operacionales.

Específicos

1. Determinar los fallos de operación y fallos en los equipos que mayor incidencia tienen en el proceso.
2. Determinar el perfil idóneo que debe cumplir el personal de producción para operar la línea eficientemente.
3. Definir las magnitudes idóneas de las variables térmicas de operación de la línea que deben mantenerse sin modificación durante la producción.
4. Inferir las consecuencias para la pasta resultantes de un ineficiente control de las variables térmicas involucradas en su procesamiento.
5. Identificar el tipo de mantenimiento que prevenga de manera más eficiente fallos en los equipos.
6. Analizar los beneficios económicos que implica la implementación del proyecto.

INTRODUCCIÓN

Toda industria cuyos procesos dependen de líneas de producción para su funcionamiento busca activamente la constante optimización con el objetivo de mejorar la eficiencia de la producción. Comúnmente dicha eficiencia se mide en el incremento de los beneficios para la empresa, ya sea por reducción de costos de operación o por un aumento en las ganancias. Sin embargo, algunas industrias deciden medir dicha eficiencia por la mejora y mantenimiento en la calidad de su producto o por la estandarización y simplificación de sus procesos.

En el presente trabajo se elaborará un plan de optimización para una línea de producción de pasta indagando en el modo en que esta es operada por el personal de producción, haciendo énfasis en las variables térmicas que se programan en la línea para definir sus magnitudes ideales. También se identifican los equipos cuyos fallos son responsables de la mayoría del tiempo que la línea detiene su producción y se propondrán soluciones.

Se determinará también el perfil que debe cumplir el personal de producción para realizar una labor eficiente, facilitando información pertinente para alcanzar el objetivo y material nuevo que simplifique sus funciones. Se evaluarán los costos y beneficios de la propuesta para determinar su viabilidad y, por último, se propondrán directrices para una optimización continua.

Ya que es un objetivo realizar una optimización que involucre primordialmente la definición de las variables térmicas empleadas en el proceso y la consideración de las variables involucradas en la operación de la línea, además de otros factores involucrados en la producción, primero se describen

los procedimientos y equipos involucrados en la elaboración de pasta larga. Luego se determinan los fallos de operación en la línea más comunes y los fallos más recurrentes en los equipos. Seguidamente se describe las características y conocimientos que debe poseer el personal que opera la línea, se presentan algunos valores de referencia a los cuales deben funcionar los equipos auxiliares y se determina el estado de la calibración de los sistemas de alimentación más importantes para la línea.

En capítulos posteriores se identifican los equipos que deben ser adquiridos y los valores térmicos de operación que, comprobadamente, son los más indicados para una producción idónea. Se muestra la forma correcta de operar los equipos auxiliares y los planes de mantenimiento correspondientes a la línea. Finalmente, se realiza el análisis financiero del proyecto y se proponen métodos para la mejora continua del proceso, los cuales incluyen directrices de capacitación técnica y en seguridad, fichas técnicas, la forma de realizar rutinas y las pautas para la implementación de nuevos programas de mantenimiento.

Adicionalmente, en el trabajo se presentan tarjetas de medición de desperdicios, varias medidas de contingencia propuestas por los fabricantes en caso de fallos en equipos, tanto en línea como pertenecientes a los equipos auxiliares, y, atendiendo a la prioridad de la empresa, algunas directrices de salud ocupacional y seguridad industrial.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. Descripción general de la empresa

La empresa está dedicada a la producción de una variedad de productos alimenticios en forma de pasta, entre ellos se encuentran las pastas largas tipo espagueti, macarrón y *lingüini*; pastas cortas tipo coditos, caracoles, corbatines, tornillo y pluma; pastas en forma de nidos y pasta tipo *chao mein*.

Por los distintos tipos de pasta que fabrica, la empresa generalmente utiliza líneas de producción individuales para la elaboración de cada una, salvo el caso de productos que no tienen una demanda muy elevada en el mercado y, por ende, son procesados en líneas que también se dedican a otras funciones.

Debido a las estrategias de negocios que maneja y la alta calidad del producto que elabora, la empresa se ha posicionado favorablemente en la producción de pastas en el mercado de Centroamérica y El Caribe, contando con sofisticado y moderno equipo para responder inmediatamente a cualquier demanda.

1.1.1. Historia

Entre principios y mediados del siglo XX se crea una sociedad entre empresarios que invierten en la creación de un molino de trigo, inversión que se convertiría años después en una importante corporación, cubriendo una parte importante de la demanda de harina en el mercado.

Aproximadamente, 15 años después, luego de constantes proyectos de expansión por parte de la corporación, se decide implementar un valor agregado a la harina, único producto de la corporación en aquel entonces, por lo que se incorpora una empresa productora de pasta muy importante.

Desde finales de la década de 1980 la empresa ha seguido fiel a sus metas de expansión, desde entonces hasta la fecha ha estado adquiriendo otras similares metas de producción e ingresando de esa forma en algunos mercados de Centroamérica, El Caribe y algunas regiones de México.

La empresa siempre se ha caracterizado por la adquisición de los equipos más eficientes para mantener los elevados estándares de calidad en todas sus líneas de producción, innovando constantemente debido a la demanda del mercado y modificando sus procesos cuando es necesario. Asimismo, ha mantenido medidas estrictas de inocuidad e higiene en sus productos.

1.1.2. Visión

Ser líderes a nivel mundial en la elaboración de los mejores productos alimenticios, la implementación de los procedimientos productivos más eficientes y en el trato humano y cordial con los colaboradores, posicionando el producto como el mejor de su tipo en los diversos mercados en los que se incursione y expande constantemente con estrategias e innovaciones acorde con las necesidades del consumidor. Mientras, se mantiene la calidad que siempre ha caracterizado a la empresa conservando y promoviendo la confiabilidad del cliente.

1.1.3. Misión

Desempeñarse como una corporación de clase mundial, a la vanguardia de la industria alimenticia en los mercados donde se tenga presencia, siendo líder en negocios importantes y expandiéndose de manera objetiva, generando beneficios de manera sostenida para sus inversores, proveedores, clientes, trabajadores y la comunidad.

1.1.4. Valores

El respeto debe mantenerse en todo momento entre los colaboradores de la empresa, ya que consiste en el reconocimiento y consideración los derechos de las demás personas y su promoción entre los compañeros de trabajo.

Es necesario desempeñar el trabajo con excelencia, misma que busca realizar una labor mejor cada día a base del esfuerzo y trabajo arduo. Para ello se debe buscar siempre la mejora continua en todos los procedimientos hechos, con el fin de obtener los mejores resultados y aumentar constantemente la eficiencia de los procesos.

La integridad es la concordancia de lo que se dice y promueve con las acciones que se realizan, esta debe estar presente en la mente de los colaboradores para desempeñarse acorde con lo que se instruye para continuar creciendo como empresa y organización.

Antes de iniciar cualquier labor se debe aceptar la responsabilidad de desempeñar las tareas asignadas a cabalidad y con la mayor eficiencia posible, asumiendo las consecuencias resultantes de cualquier acto realizado.

1.1.5. Innovaciones

Desde hace algunos años la empresa se ha caracterizado por expandir y renovarse internamente para asegurar que la producción funcione con el menor número de fallas posible y que los procesos empleados estén siempre actualizados según las innovaciones que surjan en el campo. Constantemente se modernizan equipos y se reemplazan unos obsoletos por otros de reciente fabricación y mayor capacidad.

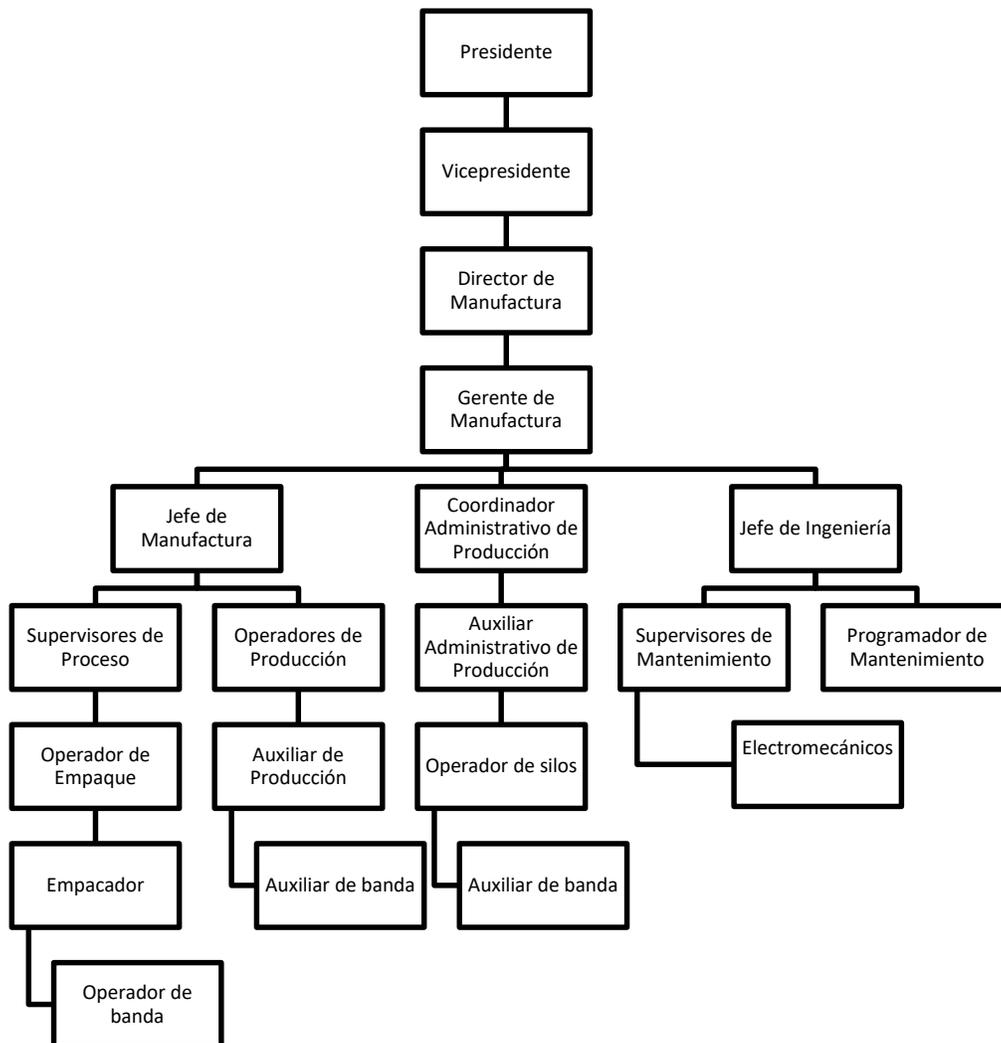
La planta de producción se encuentra en constante proceso de reestructuración, que incluye tanto la redistribución de los equipos existentes como la instalación de otros nuevos. Todo ello requiere de una constante planificación y control por parte de los profesionales encargados de los proyectos, los cuales, al igual que el resto de los colaboradores, reciben capacitación constante acerca de las nuevas estrategias desarrolladas en el ámbito en el cual cada uno se desempeña, para asegurar que cada labor será desarrollada con la mayor eficiencia posible y siguiendo las directrices más modernas que se conozcan al respecto.

En el aspecto mercadológico, la empresa aprovecha las distintas temporadas del año para modificar temporalmente sus productos o la presentación de estos y de esa forma promocionarse y darse a conocer a ciertos segmentos de la población, principalmente el mercado infantil. Dichas modificaciones incluyen la elaboración de figuras especiales para la pasta según situaciones como fechas especiales o estrenos de películas anticipadas por el público. La presentación del empaque es constantemente renovada debido, tanto a eventos específicos como a estrategias planeadas con anticipación, todo para dar un sentido de modernidad al consumidor y hacer de su conocimiento que siempre se está al tanto de sus necesidades.

1.1.6. Organigrama

La estructura organizacional de la empresa se compone principalmente por vicepresidencia, dirección de manufactura y gerencia de manufactura. Esta última se subdivide en tres diferentes áreas que son manejadas por dos jefes de sus respectivos departamentos y un coordinador de producción.

Figura 1. Organigrama de la empresa



Fuente: empresa.

1.1.7. Productos

A pesar de producir la harina para la elaboración del producto, esta se utiliza exclusivamente para fines internos, por lo que no se comercializa, haciendo de la pasta, en sus distintas formas y combinaciones de sémola con las cuales es producida, el único producto de la empresa.

Las pastas son elaboradas a base de trigo duro completamente natural y debido a la calidad del proceso de elaboración, se han posicionado como uno de los mejores productos de su tipo en toda la región, título que se ha mantenido a través de los años gracias a los constantes esfuerzos de innovación y control en su producción.

Entre los tipos de pasta elaborados más importantes se encuentra la pasta larga, consistente en fideos largos y flexibles de pequeño diámetro, incluyendo espagueti y *lingüini*, y la pasta corta, de la cual se encuentran diversos tipos y formas debido a la conveniencia de crear moldes específicos para el diseño deseado. Entre los tipos de pasta corta más conocidos se encuentran los tornillos, compuestos de fideos en forma de espiral y consistencia similar al espagueti, los caracoles, con un característico doblez y estrías lineales, y los coditos, con forma tubular y dobleces de aproximadamente 90°.

Otros tipos de pasta producidos incluyen pasta en forma de nido, consistente en fideos con forma enredada circular, frágiles y delgados; el *chao mein*, de consistencia más flexible y de menor diámetro que los otros tipos debido a un proceso de elaboración distintivo, y la lasaña, tipo de pasta fresca presentada en placas onduladas acompañadas de una variedad de salsas añadidas luego del proceso principal, entre otros.

1.1.8. Mercados

A nivel nacional la empresa ha tenido un éxito sostenible desde su origen hasta hoy día, abasteciendo al mercado de todo el país desde entonces. Dicho éxito se debe a que la calidad del producto lo ha posicionado entre los predilectos de los guatemaltecos al reconocer en él una excelente opción para su alimentación.

Debido a la alta demanda que el producto ha tenido a nivel nacional y a su reconocimiento fuera de las fronteras del país, se han creado sucursales de la empresa en otras regiones de Centroamérica y El Caribe, las cuales, si bien no utilizan exactamente el mismo proceso de elaboración de pasta, siguen el formato de producción original para manufacturar los productos derivados en sus respectivos países.

Por razones de mercado y de posicionamiento, las pastas elaboradas fuera del país no se comercializan con el mismo nombre por el cual son conocidas en Guatemala. Sin embargo, toda innovación desarrollada en el país es exportada hacia las otras sucursales para ser tomada en consideración en el proceso productivo. De igual forma la empresa recibe retroalimentación de sus sucursales en el extranjero para continuar mejorando la producción.

La calidad que ha caracterizado al proceso productivo desde sus inicios junto con las innovaciones y el mejoramiento continuo que ha sido aplicado al mismo, generan la posibilidad de que la empresa continúe expandiéndose hacia otros mercados más grandes y competitivos en los próximos años. Por ello, se deberán fortalecer y consolidar las pautas de manufactura para asegurar que el reconocimiento que ha tenido la pasta hasta ahora continúe a medida que es conocida en otras regiones del mercado global.

1.2. El producto

La pasta constituye uno de los pilares de la alimentación de los guatemaltecos, ya que es consumida prácticamente por todos los sectores de la población, al ser un producto de precio accesible, bajo en grasa y con importantes propiedades nutricionales.

El tipo de pasta en cuestión es del denominado como pasta seca, caracterizada por su proceso de producción en el cual el producto, la mezcla resultante de harina y agua con su forma final, pasa por un complejo proceso de secado hasta ser empaquetada para su distribución y venta.

1.2.1. Ingredientes

Todo tipo de pasta alimenticia es un producto no fermentado elaborado a base de una mezcla de agua con harina de trigo, el cual es un cereal con una cantidad considerable de gluten, el complejo proteico que brinda a la pasta sus características sensoriales.

Se distinguen dos tipos de trigo: trigo duro, especie *Turgidum* y trigo blando, especie *Triticum Vulgare*. Ambos tipos de trigo se distinguen por la forma, color y textura del grano, pero principalmente por el tipo de moléculas proteicas que formarán el gluten en cada una de ellas.

El trigo duro es el ideal para la elaboración de pasta seca debido a su mayor concentración de gluten respecto del trigo blando. Aproximadamente el 70 % de las cosechas de trigo duro son empleadas en la producción de harina para la producción de pasta.

1.2.1.1. Agua

Toda el agua utilizada en la elaboración de la pasta es libre de cloro y lo suficientemente tratada para ser utilizada en la mezcla alimenticia. Al combinar el agua con la sémola, las gluteninas y gliadinas, que constituyen los elementos proteicos de esta última, se forma el gluten que constituye la masa para ser moldeada y convertirse en la pasta.

El agua utilizada en la mezcla es una combinación de agua caliente entre 45 y 60 °C y agua fría entre 16 y 19 °C en distintas proporciones según las necesidades del proceso. Esta combinación se mezcla con la sémola durante el proceso de premezcla.

1.2.1.2. Harina

Los derivados del trigo duro son productos verdaderamente granulares, más que los derivados del trigo suave, por lo cual, para diferenciarlos de los derivados de estos últimos, se les conoce como sémolas, aunque pueden considerarse igualmente harinas.

La diferencia entre las sémolas de trigo utilizadas para elaborar cada tipo de pasta consiste en el grado de dureza de cada una, para lo cual a veces se realizan combinaciones entre sémolas según el tipo de pasta deseado. Para el proceso en cuestión se utiliza un tipo de sémola cuya cantidad de gluten aporta la elasticidad necesaria para producir pasta larga de buena calidad y con las características deseadas de tenacidad, flexibilidad y una dureza tal que no vuelva frágil el producto.

1.2.1.3. Otros

A la pasta se le añaden ciertos aditivos vitamínicos para aumentar su valor nutricional, así como colorantes no tóxicos para la salud con el fin de mantener la perceptibilidad que el consumidor tiene del producto, aunque ninguno es esencial para el proceso de producción.

1.2.2. Tipos de pastas

A continuación se describen los tipos de pastas que elabora la empresa.

1.2.2.1. Pasta larga

Es de los más elaborados en la industria, se le utiliza en cualquier comida que no incluya sopas o caldos, aunque también es frecuentemente preparada en dichas formas, por lo cual es ampliamente conocida en el mercado.

Se caracteriza por tener diámetros muy pequeños en comparación con su longitud, además de ser elaborada en grandes hileras durante su producción, lo cual requiere el uso de varillas o cañas para su transporte durante todo el proceso, hasta que se convierte en producto terminado.

Se diferencian dos tipos de pasta larga: huecas, sin consistencia sólida en su parte interior, como es el caso del macarrón, y compactas, que conforman un hilo consistente de pasta sólida, dentro del cual se incluye el espagueti y el *lingüini*.

1.2.2.2. Pasta corta

Es el tipo de pasta típicamente cocinado en agua hervida junto con otros aditivos para hacer toda clase de caldos, es el principal ingrediente en la elaboración de la mayoría de estos, aunque también ciertas presentaciones son mayoritariamente utilizadas acompañando comidas secas, como es el caso de los coditos o corbatones.

Son pastas que típicamente no poseen forma cilíndrica, salvo algunos casos como el tipo plumilla, caracterizadas por su corta longitud que rara vez excede los 3 cm. y por tener todo tipo de formas debido a la posibilidad de fabricar moldes y cuchillas de todo tipo que corten y moldeen la pasta en una gran variedad de estilos.

Dentro de ellas también se pueden diferenciar los tipos de pasta hueca, moldeadas en forma de recubrimiento que envuelven la pasta en sí misma, como los llamados coditos y caracoles, y los tipos de pasta compacta, moldeados de forma que no presentan la característica anterior, como los tipos tornillo y recortado.

Durante su producción la pasta debe transportarse en canjilones durante todo el proceso, desde los moldes hasta el empaque, sin embargo, antes de los procedimientos de secado, la consistencia es muy blanda, lo cual causaría que se deformara su forma original. Por ello se incorpora un proceso adicional, luego de salir de los moldes, denominado trabato, el cual calienta el producto hasta cierta temperatura, endureciéndolo lo suficiente para que pueda ser movilizado sin riesgo de deformarse debido a las vibraciones y oscilaciones que soportará durante el transporte.

1.2.2.3. Pasta nidos

Es un tipo de pasta especial utilizada exclusivamente en caldos debido a su presentación, una hilera de fideos largos dispuestos de forma circular de tal forma que el producto terminado adquiere una forma de nido, o como se conoce en la industria “cabello de ángel”.

A pesar de que su longitud, de ser extendida, superaría a la de los tipos de pasta larga, la pasta nidos no puede considerarse dentro de la misma categoría debido a que no mantiene forma rectilínea en su producto terminado. Adicionalmente, este tipo de pasta es mucho más delgado que el de los típicos espaguetis, razón por la cual es frecuentemente partida cuando es cocinada.

1.2.2.4. Chao mein

Es el tipo de pasta reconocido por ser el típico ingrediente principal de la denominada “comida china”, por lo que su uso es exclusivo de esta clase de alimentos. Es consumido tanto en su forma en seco, luego de cocinarlo, como en sopas a las que se les añade salsa de soya, conocidas como “sopa *mein*”.

El producto terminado consiste de varios fideos acomodados en forma de rollo y empacados en bolsa; su proceso de producción inicia de manera similar al de la pasta larga, con la salvedad de que utiliza vapor en lugar de agua caliente para su procesamiento, además de ser estirado en cierta parte del proceso para obtener su forma final, lo cual hace que el *chao mein* sea más largo y delgado que los tipos de pasta larga.

A pesar de tener una longitud similar o mayor a los tipos de la pasta larga, el *chao mein* se transporta en tapetes en lugar de cañas durante el proceso.

1.2.3. Valor nutricional

Se consideran pastas simples todas aquellas que son elaboradas con sémolas procedentes de trigo duro, como es el caso de la pasta larga, y se consideran de calidad superior a las demás cuando este es su único ingrediente esencial, además del agua.

Alrededor del mundo, los cereales (trigo, maíz y arroz) son alimentos base de la dieta de todas las poblaciones, constituyendo además la cuota más importante de fuentes energéticas que necesita el organismo, además de mantener el nivel de azúcar en la sangre y propiciar que el sistema gastrointestinal funcione sin complicaciones.

Debido a que es elaborada a base de harina de trigo, la pasta tiene un alto contenido de carbohidratos, constituyendo estos hasta un 75 % del contenido total. La pasta aporta bajo contenido en grasas, las cuales no tienen colesterol.

La pasta simple no tiene aporte significativo de vitaminas y minerales, salvo que estos sean incluidos como aditivos nutricionales, sin embargo, las pastas integrales sí brindan una cantidad mayor de dichos nutrientes, además de un buen porcentaje de fibra vegetal.

A pesar de ser un alimento básico con importantes propiedades nutricionales esenciales para el organismo, la pasta no constituye un alimento 100 % completo debido a su bajo aporte en proteínas y falta de grasas, por lo que siempre debe ser acompañada por otro tipo de comidas que complementen una alimentación balanceada.

Tabla I. **Aporte nutricional en 100g de pasta simple**

Aportes	Cantidad
Energía (Kcal.)	374,0
Proteínas (g.)	15,00
Grasas (g.)	1,100
Hidratos de carbono (g.)	75,00
Fósforo (mg.)	258,0
Hierro (mg.)	3,600
Magnesio (mg.)	143,0
Manganeso (mg.)	3,100
Zinc (µg.)	73,00
Sodio (mg.)	7,000
Vitamina B1 (mg.)	0,500
Vitamina B2 (mg.)	9,000
Vitamina B3 (mg.)	5,100
Vitamina B6 (mg.)	0,200
Ácido fólico (µg.)	4,000
Azúcares (g.)	2,600
Fibra (g.)	5,000

Fuente: www.infoalimentacion.com/cereales/propiedades_nutricionales_pasta.htm. Consulta: 1 de octubre de 2016.

1.3. Industria de las pastas

Dado que la pasta es un alimento que aporta muchos nutrientes esenciales, de precio accesible, fácil de preparar y del agrado de los consumidores, resulta natural que esta industria se encuentre prácticamente en todos los países del mundo. Italia es el consumidor de pasta por excelencia y también su mayor productor, lo cual hace que dicho país sea el mayor proveedor de líneas productoras de pasta hacia todos los mercados.

La magnitud de esta industria genera constantes innovaciones en lo que respecta a procedimientos de producción y controles de calidad, lo cual propicia una constante competencia entre productores para posicionar sus productos como los mejores de cada mercado.

1.3.1. Origen

“La pasta es un alimento que normalmente se asocia con Italia. Los italianos hoy en día consumen más pasta por persona que cualquier otra nación (aproximadamente 30-35 Kg. por persona y año). Sin embargo, ellos no inventaron la pasta. Existen registros que señalan que los tallarines se elaboraban en China desde al menos 3000 a.C.”¹

“Algunos historiadores adjudican a Marco Polo la introducción de la pasta en Europa en el siglo XIII, luego de haberla llevado a Italia de vuelta de uno de sus viajes a China. Sin embargo, fue a inicios del siglo XVII que nacieron en Nápoles, Italia las primeras maquinarias para su producción artesanal, dando razón de la histórica habilidad de los italianos para perfeccionar continuamente el proceso de elaboración de pasta.”²

A mediados del siglo XVIII se abre la primera fábrica de pasta en Venecia y cien años después se empezaban a utilizar molinos de agua y moledoras de piedra para el procesamiento de la sémola.

¹ ACOSTA RUEDA, Karime de los Ángeles. *Elaboración de una pasta alimentaria a partir de sémolas de diferentes variedades de cebada*. p. 26.

² International Pasta Organization. *Historia de la pasta*. <<http://www.internationalpasta.org/index.aspx?idsub=30>>. [Consulta: 1 de octubre de 2016].

“A lo largo del siglo XIX la pasta era reconocida como uno de los alimentos de mayor categoría de las clases altas de Italia, lo cual propició el desarrollo de nuevas tecnologías para su producción, haciendo que en 1878 se invente el “Purificador Marsellais”, que mejoró el preparado de la sémola y esta innovación hizo de la pasta el ingrediente fundamental de la cocina italiana.”³

“En 1914 se incorpora el secado artificial, haciendo que la producción de pasta creciera a gran escala y durante el siglo XX las exportaciones de pasta italiana se incrementaron en todo el mundo. Desde entonces la industria ha crecido considerablemente, innovando cada vez más las líneas de pasta, mejorando constantemente los parámetros de calidad y haciendo más eficientes los procesos para su elaboración.”⁴

1.3.2. Clasificación

A diferencia de otras industrias, no existen parámetros específicos en los cuales se clasifiquen las empresas productoras de pasta. Sin embargo, todas ellas se diferencian según la composición con la cual elaboran sus productos, la cantidad de pasta que colocan en el mercado y su relevancia de acuerdo con los mercados donde tengan presencia. Aunado a los mercados en los cuales cada empresa tenga participación, la calidad del producto en sí es fundamental para definir su posicionamiento y, por ende, la aceptación del consumidor.

Generalmente, las empresas que añaden aditivos nutricionales a sus productos para compensar su bajo contenido de vitaminas y proteínas, diversifican su producción para elaborar una amplia gama de tipos de pasta y

³ International Pasta Organization. *Historia de la pasta*. <<http://www.internationalpasta.org/index.aspx?idsub=30>>. [Consulta: 1 de octubre de 2016].

⁴ *Ibíd.*

mantienen estrictos controles respecto de la inocuidad y calidad de sus productos. Son vistas como más relevantes y confiables en el mercado y gozan de mayor crecimiento que otras que no cumplen con estos parámetros.

1.3.3. Industrias de pastas en Guatemala

Según la encuesta anual acerca de las industrias de pasta en el mundo de la *International Pasta Organization* (2012) la producción de pastas alimenticias en Guatemala en 2011 fue de 38 000 toneladas, siendo el trigésimo tercer país más productor en el mundo y el undécimo en Latinoamérica.

Tabla II. **Producción por país de pasta alimenticia en 2011 (en toneladas)**

País	Producción	País	Producción
Italia	3 316 728	Hungría	66 000
Estados Unidos	2 000 000	Rep. Dominicana	65 000
Brasil	1 300 000	Ecuador	56 000
Rusia	1 083 000	Austria	54 778
Turquía	851 830	Rumania	52 600
Irán	560 000	Australia	50 000
Egipto	400 000	Suiza	46 470
Venezuela	341 554	Bolivia	43 000
Alemania	334 179	Guatemala	38 000
México	330 000	Reino Unido	35 000
Perú	297 162	Holanda	23 335
Argentina	324 437	Eslovaquia	22 000
España	252 208	Costa Rica	20 873
Francia	241 933	Suecia	20 200
Túnez	183 000	Jordania	20 000
Canadá	170 000	Croacia	13 000
Polonia	160 000	El Salvador	13 000
Grecia	145 000	Siria	9 005
Japón	144 500	Eslovenia	6 261
Colombia	131 270	Lituania	5 976
Chile	126 080	Panamá	4 364
India	100 000	Letonia	1 845
Portugal	76 000	Estonia	1 400
República Checa	70 000		

Fuente: <http://www.internationalpasta.org/index.aspx?id=20>. Consulta: 1 de octubre de 2016.

Sin embargo, el país es el cuadragésimo quinto en consumo de pasta al año, con 2 kg. *per cápita* en el mismo período.

Tabla III. **Consumo por país de pasta alimenticia en 2011 (kg. *per cápita*)**

País	Consumo	País	Consumo
Italia	26,0	España	5,0
Venezuela	12,3	Eslovaquia	5,0
Túnez	11,9	Bolivia	4,8
Grecia	10,5	Holanda	4,4
Suiza	9,3	Lituania	4,4
Suecia	9,0	Polonia	4,4
Estados Unidos	8,8	Letonia	4,1
Irán	8,5	Rep. Dominicana	4,0
Chile	8,4	Australia	4,0
Perú	8,2	Israel	4,0
Francia	8,1	Ecuador	3,9
Alemania	8,1	Panamá	3,8
Argentina	7,9	Costa Rica	3,2
Rusia	7,8	Finlandia	3,2
Hungría	7,5	Colombia	3,0
Uruguay	7,5	México	2,7
Croacia	7,3	Rumania	2,7
Austria	7,0	Reino Unido	2,5
Eslovenia	6,7	Guatemala	2,0
Portugal	6,6	Dinamarca	2,0
Canadá	6,5	Libia	2,0
Brasil	6,2	Japón	1,7
Turquía	6,1	Egipto	1,2
República Checa	6,0	Irlanda	1,0
Bélgica	5,4	El Salvador	1,0
Estonia	5,3		

Fuente: <http://www.internationalpasta.org/index.aspx?idsub=31>. Consulta: 1 de octubre de 2016.

La aparente producción excesiva de pasta en relación con la cantidad consumida por los guatemaltecos se explica en la incursión de las industrias locales en varios mercados internacionales, aunque siempre dentro de la región centroamericana. Las innovaciones realizadas en el país y la calidad del producto elaborado permiten dichas expansiones, al dar a conocer el producto fuera de las fronteras y posicionarlo como de alta calidad para los consumidores internacionales.

En Guatemala existen tanto pequeñas empresas dedicadas a la elaboración de un solo tipo de pasta, como otras que diversifican su producción para abarcar todos los sectores del mercado con productos pasteros de todo tipo y maquinaria especializada tanto en la elaboración de una sola clase de pasta como equipos capaces de manufacturar más de una de ellas.

Son estas últimas empresas las que generalmente alcanzan mayor participación de mercado y, posteriormente, se expanden hacia los mercados internacionales, ya que la diversificación que manejan hace más plausible que sus productos sean conocidos en el exterior y que dichos mercados vean en el producto nacional una buena opción de compra debido a la calidad con la que es elaborado.

Los procesos innovadores y la adquisición de maquinaria moderna y adaptada a las crecientes necesidades del mercado son factores clave en el continuo crecimiento de dichas empresas, las cuales dependen de la adquisición de equipos de otros países para formar sus líneas, debido a que en Guatemala no se producen equipos ni maquinaria para ese propósito.

La forma más común en que las empresas nacionales se expanden hacia otros países es mediante la adquisición de otras similares en dichos países, las cuales adaptan a su producción los procesos desarrollados en el país al ser más productivos y eficientes.

En comparación con otros mercados, en Guatemala no existen muchas empresas dedicadas a la producción de pasta alimenticia. No obstante, las marcas existentes se encuentran fuertemente posicionadas en el mercado, por lo cual es necesaria la mejora continua de los procedimientos internos y la constante adquisición de los equipos más sofisticados, dentro de las posibilidades de cada empresa, para evitar perder clientes debido a los procesos innovadores que pueda implementar la competencia.

2. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PASTA LARGA

2.1. Descripción del producto

La pasta larga es uno de los productos más elaborados dentro de la gama de las denominadas pastas secas o precocidas que se producen en la industria. Se caracteriza por ser vendida al consumidor como producto sin humedad, que pasa por varias fases de secado y enfriamiento hasta ser empacada al vacío.

La pasta seca se diferencia de la fresca en que la primera se hincha mucho más al momento de la cocción, además de requerir mayor tiempo de preparación. También se pueden almacenar mucho más tiempo que las pastas frescas, sin necesidad de refrigeración y típicamente no incluyen otros ingredientes aparte de la sémola de trigo y agua.

2.1.1. Materia prima

Agua potable y sémola de trigo duro son los únicos ingredientes de la pasta larga, los aditivos vitamínicos para mejorar su valor nutricional y colorante vegetal son únicamente para dar al producto terminado la tonalidad regular que conoce el consumidor.

La composición proteica que caracteriza al trigo duro procesado es diferente en cada parte del grano. La composición se detalla a continuación.

Tabla IV. **Composición del grano de trigo duro**

Componente	Porcentaje
Endosperma	78 – 75 %
Tegumentos	8 – 13 %
Embrión	4 – 6 %
Aleurona	2 – 3 %

Fuente: empresa.

Se prefiere el gluten de trigo duro debido a su poca extensibilidad, elevada tenacidad y buena elasticidad, características deseadas en cualquier tipo de pasta producido.

2.1.2. Características

La pasta larga producida consiste en espagueti de aproximadamente 25 cm. de longitud y 1,8 mm. de diámetro. Su textura es lisa y es de color dorado tenue uniforme, sin puntos negros o blancos. Es flexible y compacto, lo cual permite que pueda almacenarse sin romperse con facilidad.

Tiene adecuada tenacidad y dureza media, lo cual previene su fragilidad y permite que se pueda doblar hasta cierto grado y evita que se deforme al aplicársele cierto peso encima. Lo anterior es esencial debido a que el producto debe ser transportado en grandes fardos por largas distancias hasta donde se encuentran todos sus puntos de distribución.

Al ser cocinada se hincha aproximadamente un 40 % de su tamaño original y se vuelve blando, su color cambia a uno ligeramente más blanquecino, pero conserva sus propiedades nutricionales, siempre que el tiempo de cocción no exceda demasiado el sugerido para su preparación.

2.1.3. Control de calidad

El primer paso para seleccionar el trigo con el que se elaborará la pasta es asegurarse que cumpla con las normas de higiene e inocuidad establecidas. Imperativamente no debe contener sustancias nocivas para la salud.

Entre los riesgos de contaminación durante el proceso productivo (trigo, sémola, pasta) se cuentan las sustancias de origen biológico, tales como mohos, bacterias, insectos, roedores, entre otros, y sustancias químicas como insecticidas, fumigantes, metales pesados y otros residuos. Para la siguiente tabla se hace la salvedad que U.F.C. = unidades formadoras de colonias.

Tabla V. **Valores bacteriológicos límite aconsejados para sémolas**

Agente	Máximo permitido	Unidad	Muestra
Recuento colonias aerobias mesófitas	100 000	U.F.C.	1 g.
Estafilococos coagulosa	25	U.F.C.	1 g.
Mohos	1 000	U.F.C.	1 g.
Levaduras	1 000	U.F.C.	1 g.
Enterobacterias totales	10 000	U.F.C.	1 g.
Salmonelas	Ausente	U.F.C.	25 g.

Fuente: método oficial italiano publicado en G.U. 64 del 18/3/99.

Los límites máximos de metales pesados permitidos son: plomo - 0,2 ppm. y cadmio – 0,1 ppm. Debido a los fumigantes y otros elementos involucrados en el procesamiento el trigo, estos son los únicos metales con cierta cantidad de elementos permisibles, cualquier cantidad de otros metales es inaceptable.

Si se adquiere sémola de un molino exterior, esta es revisada por los laboratoristas internos para confirmar su inocuidad. Luego se entrega al proveedor un certificado de cumplimiento de normas internas si su producto es avalado por la empresa.

Después del primer amasado se toma como muestra un puño de masa y se aprieta para observar la cantidad de puntos blancos, que evidencian gravita de sémola no hidratada. Se emplea un sistema manual para controlar el diámetro y longitud del producto terminado, así como una inspección visual para verificar la ausencia de puntos negros o blancos en la pasta, que indicarían, ya sea contaminantes o harina no procesada correctamente.

Al final del proceso, cada línea cuenta con un detector de metales que indicaría la presencia de estos en el producto, lo cual obligaría a botar el producto que esté en proceso antes de la muestra y revisar toda la línea. El peso de los empaques es medido en balanzas electrónicas antes de ser enviados a distribución. Se prefiere que el peso sea ligeramente mayor en caso de no ser exactamente el indicado.

En caso de que material biológico se derrame a la línea, debido a accidentes por parte del personal o cualquier otra circunstancia, se retira y da asistencia médica a la persona que presente el derrame. Se prosigue con la limpieza por parte del personal del área donde ocurrió el derrame, haciendo uso de guantes, mascarilla, lentes y todo el equipo de seguridad pertinente. Se deposita todo el producto, objetos y material de limpieza contaminado en bolsas identificadas y, por último, se procede a la sanitización completa del área empleando amonio cuaternario. Antes de iniciar la limpieza se delimita la zona del derrame, se retiran todas las herramientas contaminadas y se lavan con detergente alcalino y agua.

Si ocurre derrame sobre la materia prima o producto, se detiene el proceso y se retiran los elementos contaminados, luego se cubre y retira el fluido con papel absorbente y se limpia el área como se indicó anteriormente. El procedimiento se repite en caso de contaminación sobre la estructura de la línea y el empaque o producto terminado.

2.2. Descripción de los equipos auxiliares del proceso

Los equipos auxiliares son todos aquellos responsables del funcionamiento, no solo de la línea por optimizar, sino de todas las líneas de producción en planta. Estos se encargan de proveer la harina y el agua potable para realizar la mezcla, mantener la temperatura en todas las partes del proceso mediante el control del agua fría y caliente, brindar el vapor necesario para mantener la consistencia del producto y administrar el aire para el funcionamiento de toda la línea.

Se diferencian de los equipos en la línea en que estos se posicionan directamente en ella, dentro de planta, mientras que los auxiliares están ubicados en el área de máquinas y sus cercanías y, como se ha mencionado, no trabajan exclusivamente para dicha línea.

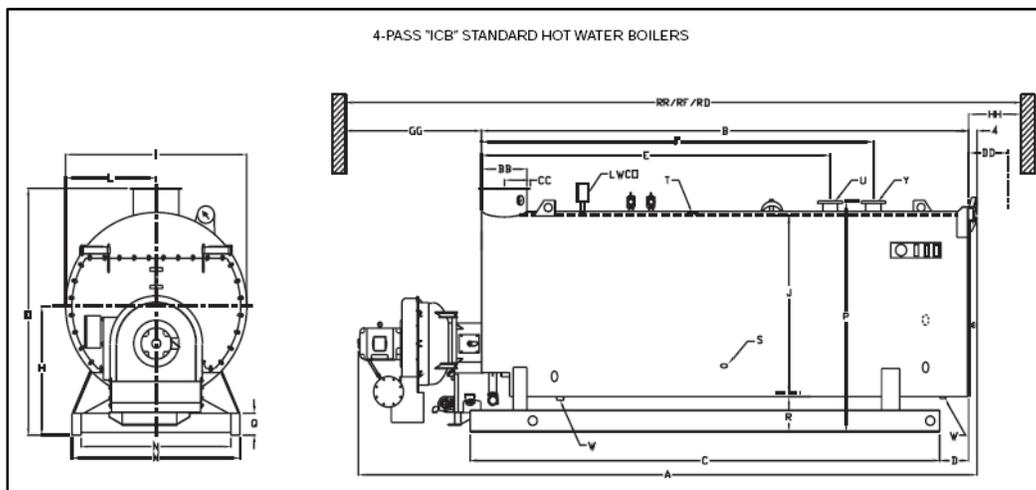
2.2.1. Calderas

Las calderas regulan la temperatura del agua de circulación en los procesos de amasado, presecado y secado, con las de agua caliente, y en el de humidificación, con las de vapor. Todas las calderas utilizadas en el proceso usan búnker como combustible y son pirotubulares, las cuales “son aquellas calderas en las que los gases de la combustión circulan por el interior de los tubos y el

líquido se encuentra en un recipiente atravesado por muchos tubos. Son de aplicación principalmente cuando la presión de trabajo es inferior a los 22 bar.”⁵

Existen dos calderas de agua caliente para cubrir las necesidades de todas las líneas. Ambas calderas pueden trabajar con una potencia de entre 100 y 800 HP. y tienen un diseño de cuatro pasos. Su presión de trabajo normal es 150 psi. Comúnmente calientan el agua de alimentación entre 200 y 240° C., dependiendo de las necesidades del proceso.

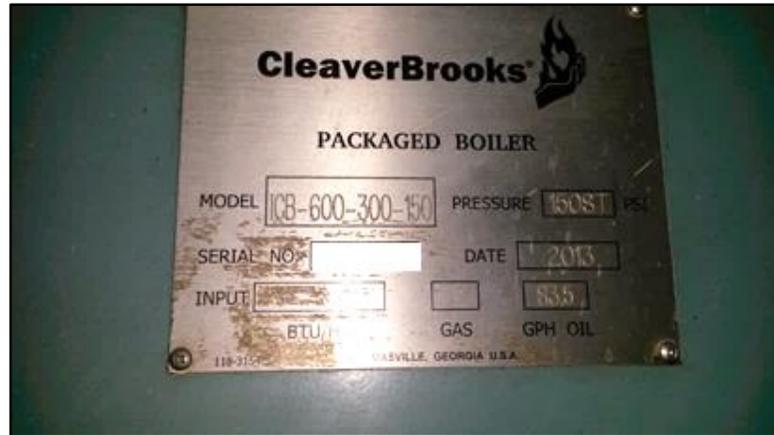
Figura 2. **Diagrama de la caldera de agua caliente**



Fuente: Cleaver Brooks, *The Boiler Book*. p. 12-02.

⁵ UCEDA MARTÍNEZ, Juan. Calderas. En: *Guía básica calderas industriales eficientes*. p. 73.

Figura 3. **Especificaciones técnicas caldera de agua caliente**



Fuente: empresa.

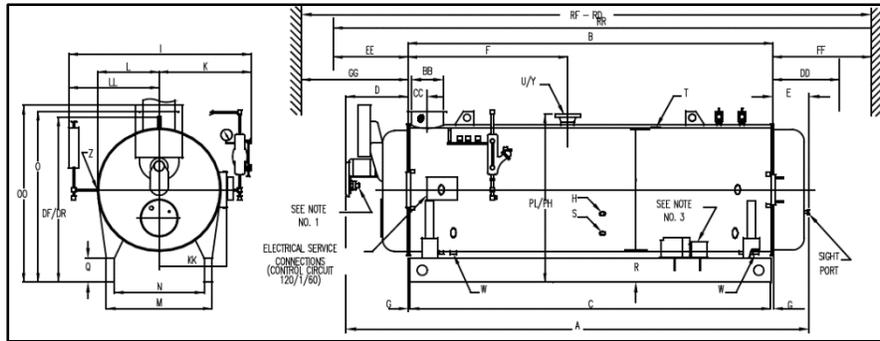
Figura 4. **Caldera de agua caliente**



Fuente: empresa.

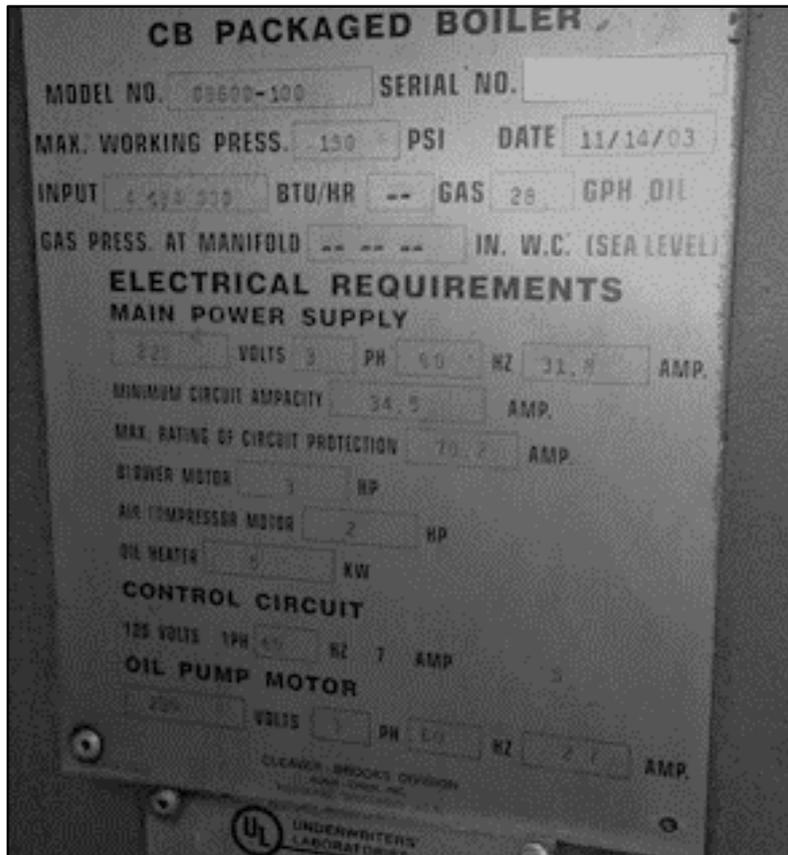
También se cuenta con dos calderas de vapor, las cuales brindan el vapor para el secado de la pasta en el proceso de humidificación. Ambas calderas trabajan con una potencia entre 15 y 100 HP, debido a las menores exigencias requeridas de ellas respecto de las calderas de agua caliente. Tienen un diseño integrado de cuatro pasos y su presión de trabajo normal es 150 psi. Comúnmente la temperatura requerida para generar el vapor necesario oscila entre los 95° C. y los 105° C, según las necesidades del proceso.

Figura 5. Diagrama de la caldera de vapor



Fuente: Cleaver Brooks, *Model CB Manual*. p. A6-8.

Figura 6. Especificaciones técnicas caldera de vapor



Fuente: empresa.

Figura 7. **Caldera de vapor**



Fuente: empresa.

Todas las calderas trabajan para todas las líneas, según las necesidades de cada una. No existen equipos auxiliares específicos para cada línea.

2.2.1.1. Tanque de agua caliente

En los sistemas mecánicos, ocurre que el calor debe ser transferido de un lugar a otro, o bien, de un fluido a otro. Los intercambiadores de calor son los dispositivos que permiten realizar dicha tarea. Entre las principales razones por las que se utilizan los intercambiadores de calor se encuentran las siguientes: Calentar un fluido frío mediante un fluido con mayor temperatura, reducir la temperatura de un fluido mediante un fluido con menor temperatura, llevar al punto de ebullición a un fluido mediante uno con mayor temperatura, condensar un fluido en estado gaseoso por medio de un fluido frío, llevar al punto de ebullición a un fluido mientras se condensa un fluido gaseoso con mayor temperatura.⁶

⁶ JARAMILLO, O.A. *Intercambiadores de calor*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2007. p. 2.

El tanque de agua caliente se trata de un intercambiador de calor cerrado, cuya función es tomar dos fluidos contenidos dentro de sí y realizar una transferencia de calor entre ambos. Dado que es de tipo cerrado, los fluidos no tienen contacto entre sí, sino que se encuentran separados por tuberías internas u otros medios, de ese modo la transferencia se realiza en tres pasos: del primer fluido a la superficie sólida que lo separa del segundo (convección), de un lado hacia otro de la misma superficie (conducción) y de la superficie hacia el segundo fluido (convección).

Dentro del mismo tanque se manejan fluidos que oscilan entre temperaturas de 64 a 76° C. uno y de 82 a 97°C, el otro, aunque en los conductos que conectan el tanque con los otros equipos el agua de entrada tiene una temperatura media de 70° C. y la de salida una media de 145° C. Ambos conductos son regulados por válvulas de globo y válvula reguladora maneja presiones de 10 psi. en entrada y 25 psi. de salida, respectivamente.

Figura 8. Especificaciones técnicas tanque de agua caliente



Fuente: empresa.

Figura 9. **Tanque de agua caliente**



Fuente: empresa.

2.2.2. Enfriador de agua (*chiller*)

Una unidad tipo *chiller* es un sistema completo de refrigeración que incluye un compresor, un condensador, evaporadores de placas, válvulas de expansión “evaporación”, refrigerantes y tuberías, sistema electrónico de control al sistema y demás... Consiste en extraer calor generado en un proceso por contacto con agua a una temperatura menor a la que el proceso finalmente debe quedar. El proceso cede calor bajando su temperatura y el agua, durante el paso por el proceso se eleva; el ahora agua “caliente” retorna al *chiller* donde nuevamente reduce su temperatura para ser enviada nuevamente al proceso.⁷

⁷ CONFORTFRESH. *Manual de instalación y servicio unidad tipo chiller condensado por aire*. Barranquilla: Confortfresh, 2012. p.5.

El *chiller* consta de dos compresores, cada uno con su respectiva unidad de refrigeración, un condensador de aire frío, tanques receptores, válvulas de alimentación, separadores de aceite y silenciadores. Maneja potencias entre 525 y 1 750 kW. y frecuencias entre 50 y 60 Hz.

El agua de enfriamiento se utiliza en los procesos de amasado, cuando se combina con agua caliente para dar la consistencia necesaria a la mezcla, y en el proceso de enfriamiento de la pasta, donde disminuye la temperatura de los equipos responsables en línea de terminar la fase de transformación del producto terminado.

En un proceso sin complicaciones puede reducir la temperatura del agua que recibe desde un 20 hasta 45 %. Para el abastecimiento de todas las líneas, el *chiller* reduce el agua hasta temperaturas que oscilan entre 10° C. y 23° C.

Figura 10. Especificaciones técnicas *chiller*

Model/PIN		YVAA				Serial #			
Refrigerant	Max. Allowable Pressure -Bar (psig):		High Side	25.9 (375)	Low Side	16.2 (235)			
R-134a	System Pressure Test On		MARCH 27 2012	at High Side	25.9 (375)	Low Side	16.2 (235)		
OUTDOOR USE									
Unit Power Supply:		Volt-Phase-Hertz	Utilization Range	Min. Circuit Ampacity	Max. Dual Element Fuse Size	Max. Circuit Breaker Size	Short Circuit Withstand		
230V-3PH-60Hz		208V - 254V	208V - 254V	908.65	1200.00	1200.00	30kA		
Protection Device Size-Amps									
System(s) No.	Min. Circuit Ampacity	Max. Dual Element Fuse Size	Max. Circuit Breaker Size	SYS No.	Compressor RLA	FLA	LRA	No.	Refrigerant Kg (lb)
1&3				1	359.42	6.60	34.20	7.00	95 (210)
				2	359.42	6.60	34.20	7.00	95 (210)
2&4				3					%%
				4					%%
YORK®		MADE IN MEXICO		No.		Volts-Phase-Hertz		KVA	
YORK INTERNATIONAL CORP.		029-26003-001		Control Transformer: 1.00		230V-1PH-60Hz		2.00	
York, PA								Unit Shipping Weight Kg (lb) 7442 (16407)	

Fuente: empresa.

Figura 11. **Enfriador de agua *chiller***

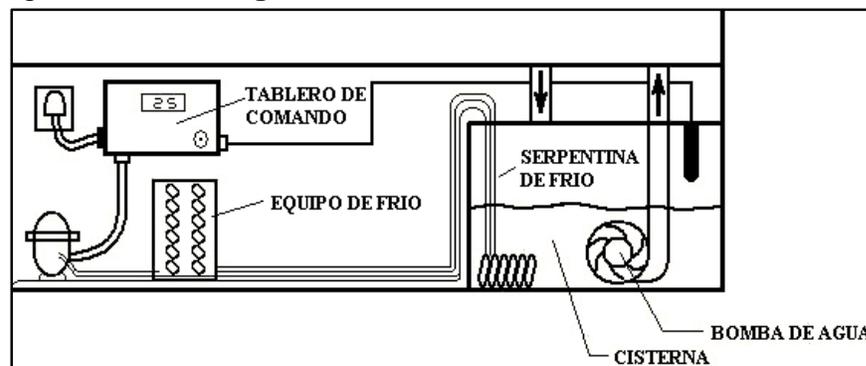


Fuente: empresa.

2.2.2.1. **Cisterna de agua fría**

Una cisterna es un depósito subterráneo utilizado para guardar agua. Un *chiller* siempre cuenta con una cisterna que almacena las enormes cantidades de agua fría requeridas para cualquier proceso industrial moderno. Cuenta con, al menos, una bomba de agua que hace circular el líquido desde que sale del *chiller* hasta que ingresa al proceso, lo cual a su vez evita que el agua se estanque. Es común que algunas cisternas cuenten con algún equipo de enfriamiento para mantener la baja temperatura del agua.

Figura 12. **Diagrama básico de un *chiller* con su cisterna**



Fuente: <http://www.apermotor.com.ar/chillers.htm>. Consulta: 2 de octubre de 2016.

Debido a la gran cantidad de líneas de producción a las que debe alimentar para cumplir con los procesos de enfriamiento y amasado de cada una, la cisterna cuenta con una capacidad aproximada de 20 000 litros.

2.2.3. Red de agua potable

El agua potable es la utilizada en el amasado al principio del proceso, ya que es la que está en contacto con la sémola para realizar la mezcla que finalmente se convertirá en la pasta, por ende, debe ser inocua y pasar por tratamientos mucho más estrictos que el agua que no se mezcla con el producto. Originalmente en la cisterna, el agua fría pasa por una serie de tratamientos para asegurar que, aparte de estar absolutamente libre de patógenos, cumpla con diversos criterios que aseguren su idoneidad para ser utilizada en el proceso.

Tabla VI. **Parámetros requeridos del agua potable**

Parámetros del agua	Límite máximo aceptable	Límite máximo permisible
Cloro residual libre	0,5 mg/L	1,0 mg/L
Cloruro (Cl)	100,000 mg/L	250,000 mg/L
Conductividad	---	< de 1,500 μ S/cm
Dureza total (CaCO ₃)	100,000 mg/L	500,000 mg/L
Potencial de hidrógeno	7,0-7,5	6,5-8,5
Sólidos totales disueltos	500 mg/L	1,000 mg/L
Sulfato (SO ₄)	100,000 mg/L	250,000 mg/L
Temperatura	15° C – 25° C	34° C
Alumino (Al)	0,05 mg/L	0,10 mg/L
Calcio (Ca)	75,000 mg/L	150,000 mg/L
Cinc (Zn)	3,000 mg/L	70,000 mg/L
Cobre (Cu)	0,050 mg/L	1,500 mg/L
Magnesio (Mg)	50,000 mg/L	100,000 mg/L

Fuente: norma COUGANOR NTO 29001.

Luego de ser tratada una parte del agua fría pasa a un sistema de bombas y válvulas de distribución mientras que el resto pasa por la caldera, convirtiéndose en agua caliente y llegando luego al mismo sistema, donde, a través de válvulas y tuberías, llegarán hasta la planta y hacia la parte del proceso donde se necesite en cada línea.

Figura 13. **Agua potable fría llegando a caldera**



Fuente: empresa.

Figura 14. **Parte del sistema de distribución**



Fuente: empresa.

Dada la complejidad del proceso de distribución, no se tienen presiones específicas de operación.

2.2.4. Red de aire

La red de distribución de aire es la más importante de todas las que participan en la operación de la planta, ya que, al funcionar todas las líneas como sistemas neumáticos, el aire comprimido es vital para que los sistemas realicen cualquier función. La red de aire se compone de tres equipos para asegurar la circulación del fluido: compresores, almacenamiento de aire comprimido y secadores.

Un compresor es un equipo capaz de desplazar todo tipo de fluidos compresibles, específicamente aire, vapores y gases, por tuberías, canales y otros conductos similares mediante un aumento de presión que impulsa los fluidos por las rutas deseadas.

Para suplir las necesidades de planta hay cuatro compresores, que trabajan con presiones de entre 75 y 130 psi. y durante este proceso alcanzan temperaturas oscilantes entre 80 y 105° C. Todos los compresores trabajan a 130 voltios, con una potencia de 40 HP. y velocidades entre 3 000 y 4 000 rpm.

Figura 17. **Compresor de aire**



Fuente: empresa.

Un almacenamiento de aire comprimido es un recipiente que resguarda fluidos en su interior y los mantiene a una presión distinta a la del ambiente. Se utilizan para resguardar el aire comprimido proveniente del compresor para después mandarlo a la siguiente parte del proceso.

Se cuenta con dos almacenamientos, que pueden trabajar a una presión de trabajo máxima de 160 psi, aunque normalmente manejan entre 100 y 130 psi. Su temperatura de funcionamiento oscila entre -10°C . y 50°C ., las cuales varían constantemente entre ese rango.

Figura 18. Especificaciones técnicas del almacenamiento de aire



Fuente: empresa.

Figura 19. Almacenamiento de aire comprimido



Fuente: empresa.

Siempre existe cierta cantidad de vapor de agua en el aire comprimido que se utiliza, el cual, luego de soportar las presiones y temperaturas propias del proceso, se condensa y se vuelve líquido, el cual posteriormente causa oxidación y corrosión en los equipos con los que tiene contacto.

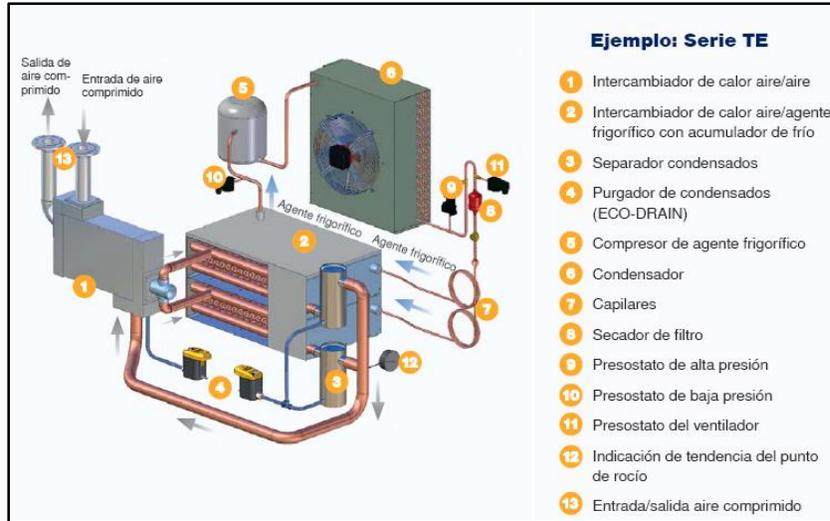
Un secador de aire es un equipo cuya función es remover el vapor de agua del aire comprimido. Se cuenta con tres secadores, los cuales manejan un flujo volumétrico a 100 psi. de 10,15 m³/min, provocan pérdidas de presión entre 2 y 3 psi. y su potencia efectiva absorbida al 100 % del flujo volumétrico es de 1,15 kW.

Figura 20. **Especificaciones técnicas del secador de aire**

KAESER KOMPRESSOREN		KAESER KOMPRESSOREN GmbH Carl-Kaaser-Str. 26, 96450 Coburg GERMANY Telefon +49 9561 640-0 Fax +49 9561 640-130	
Typ Model	TE 91		
Artikel - Nr. Part No.			
Serien - Nr. Serial No.			
Baujahr Year of production	2006		
Kältemittel Refrigerant	R134a		
Kältemittel - Füllmenge Charge of refrigerant	1,85 kg	4.08 lb	
Max. Betriebsdruck (Kältesystem) Max. working press. (Refrig. sys.)	18 bar	260 psig	
Dichtheit geprüft Tested leak-free	<input checked="" type="checkbox"/>		

Fuente: empresa.

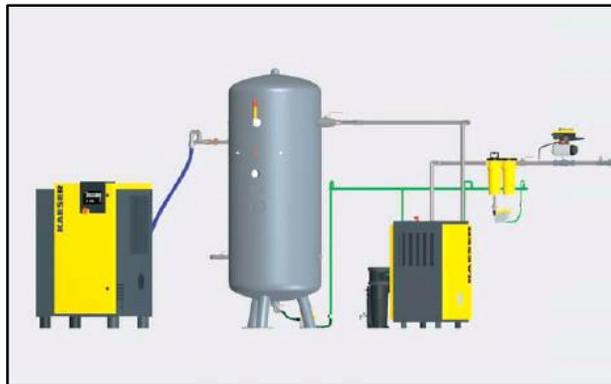
Figura 21. Estructura básica del secador



Fuente: Kaeser Kompressoren. *Manual de secadores de aire comprimido*. p. 12.

El funcionamiento de la red de aire consiste en el aire comprimido que es expulsado de los compresores, ingresa al almacenamiento de aire comprimido, donde se guarda a la presión que requiere el proceso y luego se transfiere a los secadores de aire, que remueven el vapor de agua del fluido para, finalmente, llegar a los equipos en planta por una serie de tuberías y válvulas.

Figura 22. Instalación básica de la red de aire para demanda constante



Fuente: Kaeser Kompressoren. *Manual de secadores de aire comprimido*. p. 13.

2.2.5. Sistema abastecedor de harina

Es el encargado de transportar la sémola de maíz, que se produce en el área de molino, hasta el inicio del proceso de todas las líneas para iniciar con la producción en los procesos de amasado.

La sémola ya procesada llega desde el área de molino hacia un receptáculo en el área de máquinas, en la parte más alta de una torre dedicada a la captación de harina, luego esta pasa por una esclusa dosificadora, la cual rota sus paletas constantemente para evitar que la harina se acumule y estanque en el proceso.

Figura 23. **Primera esclusa dosificadora**



Fuente: empresa.

La harina continúa bajando hasta llegar a un cernidor, el cual vibra constantemente para asegurar que las partículas de sémola que llegan al proceso sean del tamaño ideal para mezclarse con el agua y no atascarse.

Figura 24. **Cernidor de harina**



Fuente: empresa.

Debajo del cernidor se encuentra otra esclusa dosificadora, que cumple la misma función de la primera. En este punto del proceso se necesita un mecanismo que impulse la harina ya cernida por los conductos necesarios hasta llegar a los procesos iniciales de cada línea, para lo cual se conecta a la segunda esclusa un soplador de aire “*blower*”.

El principio de funcionamiento del *blower* es el siguiente: El aire entra por un impulsor y luego se acelera perpendicularmente a la rápida rotación de las aspas del equipo, como un ventilador común. Este ciclo se repite varias veces, lo que hace que el aire avance constantemente hacia delante por el conducto deseado.

La finalidad de este proceso es proveer un constante flujo de aire, a la presión adecuada, para impulsar la harina que sale del cernidor, mediante el transporte neumático, por las tuberías que la llevan hasta planta.

El *blower* trabaja con un flujo de volumen de admisión de 17,18 m³/min, a una presión máxima de succión de 9,4 psi. y una presión máxima de descarga de 16 psi.

Figura 25. **Especificaciones técnicas *blower***



Fuente: empresa.

Figura 26. ***Blower***



Fuente: empresa.

Luego de llegar a la última esclusa dosificadora e impulsada por el “*blower*”, la harina es transportada por una serie de tuberías hasta el inicio de los procesos de amasado de cada línea, proceso que es controlado por el operador de silos.

Figura 27. **Inicio del transporte de sémola procesada hacia planta**



Fuente: empresa.

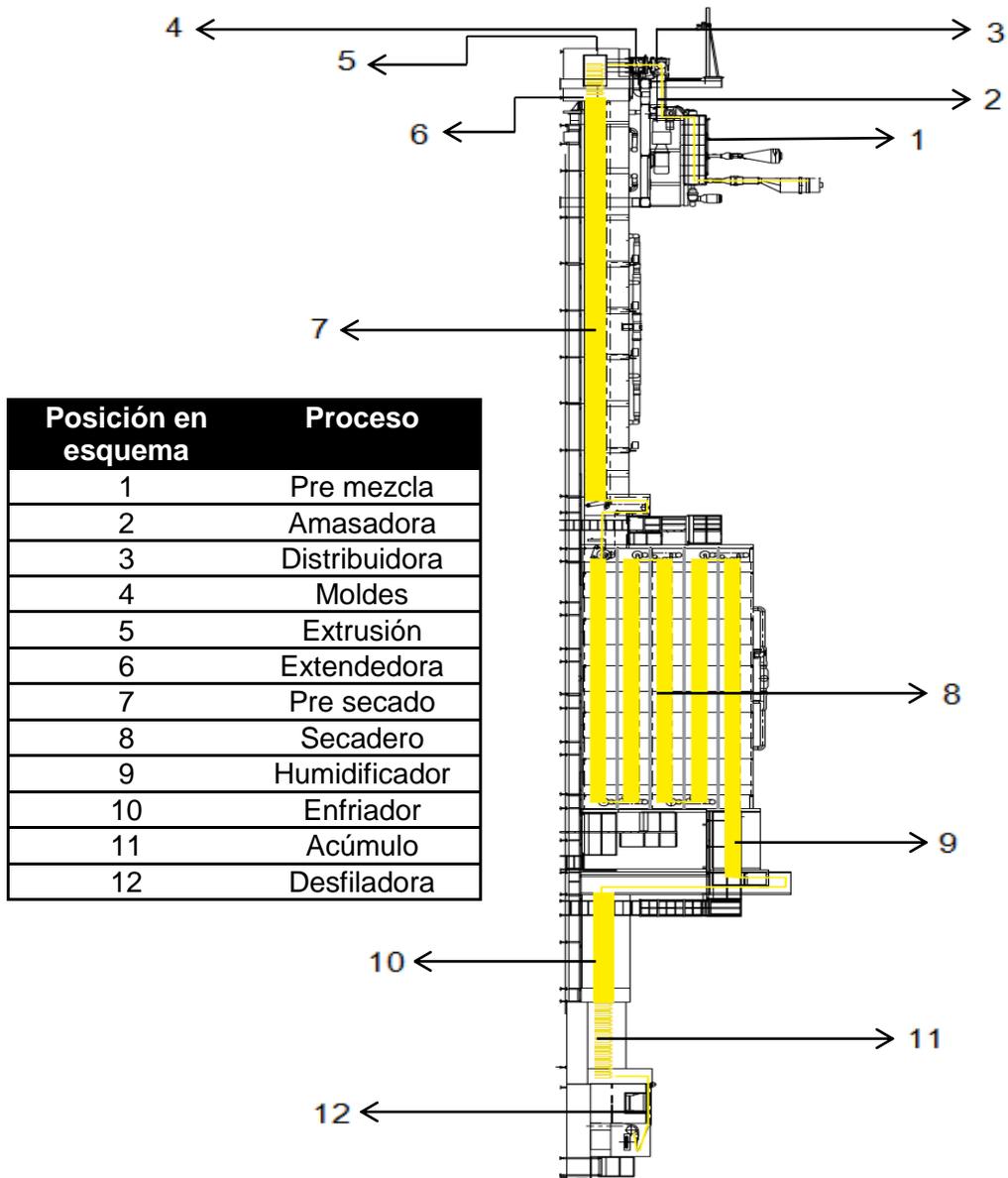
2.3. Proceso de producción

Se describen los pasos por los que la materia prima se convierte en el producto terminado, empaclado y listo para distribución, así como los equipos en involucrados en el proceso y las verificaciones y ajustes que realizan los operarios de la línea antes, durante y después de que está en funcionamiento.

2.3.1. Esquema (*layout*) de la línea

Se presenta el esquema de las secciones de la línea de pasta larga.

Figura 28. Esquema de la línea de pasta larga (no incluye empaque)



Fuente: PAVAN. *Dry pasta processing*. p. 28 – 29.

2.3.2. Proceso de elaboración de pasta

Se detallan todos los pasos por los que pasa la materia prima, en cada una de las estaciones de la línea, hasta convertirse en la pasta larga. Empieza desde que se combinan el agua y la sémola en la premezcla y termina en el área de empaque.

2.3.2.1. Premezcla

Empieza desde la combinación de la sémola de trigo duro con agua fría y caliente en proporciones indicadas para lograr una mezcla óptima de gluten. En la sémola de trigo el gluten aún no se ha formado, no es hasta que se añade agua y se combina que su estructura cambia para formarlo. Esta es la que dará origen a la pasta una vez terminado el proceso.

La temperatura del agua de amasado y su cantidad está en relación con la cantidad de sémola utilizada y es fundamental para la calidad del proceso, ya que influyen de gran manera en la textura, color y calidad del producto y posteriormente en el proceso de secado. Una centrífuga bate la mezcla hasta dejarla homogeneizada en un 90 % aproximadamente.

2.3.2.2. Amasadora

Es la culminación del proceso de mezcla. Mientras que el procedimiento anterior es tardado, este continúa mezclando entre 8 y 10 minutos aproximadamente para asegurar la homogeneidad del gluten.

La función de la amasadora es asegurar que todos los granos de la sémola reciban suficiente agua para hidratarse hasta el punto requerido. El centrifugado

se acelera y propicia una presión tal que la masa forma una amalgama que posteriormente se convierte en una pasta compacta. Además distribuyen el agua equitativamente para toda la masa.

Es esencial no producir demasiado calor o esfuerzo mecánico durante este proceso, ya que esto sería negativo para el gluten y tendría efectos negativos sobre el almidón ya que existen elementos en la misma sémola que reaccionan negativamente al calor. Ya que un recalentamiento durante el proceso de amasado es inevitable, se recomienda tener instalados buenos filtros de lámina o luz, asegurar una correcta refrigeración del cabezal y procurar una temperatura para el agua de amasado entre 25 y 30° C.

Se debe evitar que la masa sobrepase el nivel del equipo o queden bolsas estancadas en sus paredes, por lo que se recomienda utilizar paletas que causen movimientos alternativos para evitar obstrucción de masa.

2.3.2.3. Distribuidora

El gluten, ahora completamente mezclado, es empujado por dos tornillos de extrusión hacia los moldes. Los tornillos se diferencian principalmente por la relación de compresión entre ambos, si de un lado es requerida cierta compresión, del otro lado esta no debe ser excesiva para no recalentar la masa, por ello, es necesario regular la velocidad de los tornillos.

Una masa comprimida tiene menos volumen respecto de sí misma antes de dicho proceso, por ello se debe reducir el volumen del tornillo según se desplaza hacia la salida. La diferencia de volumen se logra comúnmente reduciendo el paso de las hélices.

2.3.2.4. Moldes

Los tornillos empujan por compresión la masa hacia los moldes, esta presión causa que la masa pase por las aberturas, de aproximadamente 1,17mm. de diámetro y forme largos hilos de masa procesada que posteriormente se convertirán en la pasta. Ya que trabajan por compresión, los moldes se componen de pastillas en vez de cuchillas. Luego de este paso las hileras de masa se descargan en varillas transportadoras.

2.3.2.5. Extrusión

La extrusión en sí es el proceso de moldear la pasta larga para reproducir la figura deseada, lo cual se logra cuando la masa pasa por el tornillo sinfín hacia la boquilla de los moldes. Luego de este paso la masa es homogeneizada nuevamente, esta vez en las hileras de masa que se convertirán en la pasta larga.

Las cañas o varillas son elementos metálicos horizontales sobre los cuales se cuelgan los hilos de pasta y serán responsables de transportarla durante todo el proceso hasta convertirse en producto terminado. En este paso las varillas se cargan del producto procesado y este se distribuye equitativamente a lo largo de ellas. De no distribuirse adecuadamente, el producto terminado podría presentar puntos blancos o estrías como resultado de no haber recibido calor y ventilación adecuadamente durante los procesos posteriores de secado.

Es importante considerar tanto el peso de las cañas como el largo de los hilos de pasta para asegurar que las cadenas que movilizan las cañas soportarán la carga que deben transportar. Si los componentes de la extrusión no trabajan correctamente, se pueden generar daños sobre la masa y defectos que perjudiquen su producción.

2.3.2.6. Extendedora

Es la parte final de la sección de la prensa. En este paso las varillas que transportan las hileras de masa avanzan lentamente luego de ser cargadas con el producto, después una serie de cuchillas de aproximadamente 2,5 metros de longitud realiza cortes finos a través de un grupo de varillas, en la parte colgante del producto. Este corte asegura que todas las hileras tengan la longitud necesaria para empezar el proceso de secado.

La extendedora puede trabajar a razón de tres cañas cada veintisiete segundos aproximadamente. Todas las partes del producto que son cortadas por las cuchillas son recolectadas por un recipiente que las lleva a reproceso y luego son devueltas hasta el inicio de la prensa, para asegurar que no haya pérdida de materia prima.

2.3.2.7. Presecado

En este punto el producto se encuentra muy blando, por lo que debe ser sometido a altas temperaturas para ser endurecido. Esto se logra mediante flujos de aire muy caliente que progresivamente van secando la superficie de la pasta hasta endurecerla lo suficiente para el secado final.

El pre secado consta de un solo piso, el cual está separado en cinco grupos diferentes, cada uno con su propia serie de equipos que manejan temperaturas y humedades distintas a cada cierta distancia que avanza el producto. El objetivo es propiciar un secado uniforme de la pasta, el cual ocurre progresivamente desde el centro y se expande radialmente hasta su superficie.

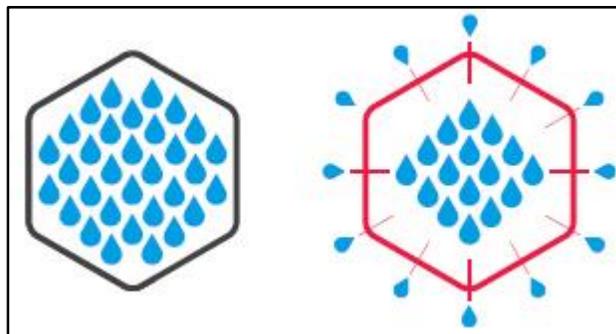
En el primer grupo la temperatura del ambiente se mantiene alrededor de los 60° C. y aumenta progresivamente hasta el quinto grupo, donde se sitúa comúnmente alrededor de los 92° C.

La humedad relativa es una medida de la humedad del aire, se refiere al porcentaje de vapor de agua que contiene una masa de aire en relación con la cantidad máxima de vapor de agua que podría contener dicha masa.

Durante el pre secado la humedad relativa del ambiente también es controlada, presentando un nivel alto en el segundo grupo de, aproximadamente, 90 %, disminuyendo considerablemente en el tercero y luego aumentando progresivamente en el cuarto y quinto hasta alcanzar un valor cercano a 92 %. En este punto la humedad relativa del producto es aproximadamente 20 %.

Durante el pre secado se empiezan a secar las capas exteriores de la pasta.

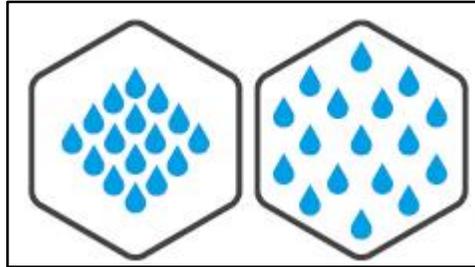
Figura 29. **Secado de las capas exteriores de la pasta**



Fuente: PAVAN. *Dry Pasta Processing*. p. 8.

Durante esta etapa la humedad se distribuye uniformemente en la totalidad del producto, ya que esta se encuentra originalmente concentrada en el núcleo de la pasta.

Figura 30. **Distribución de la humedad en la pasta**



Fuente: PAVAN. *Dry Pasta Processing*. p. 8.

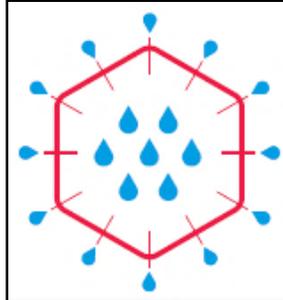
2.3.2.8. Secadero

Es la segunda fase del proceso de extracción de humedad del producto, aquí el producto se moviliza más lentamente que en el pre secado y las temperaturas van disminuyendo progresivamente. Al igual que en el paso anterior, aquí el producto se seca por medio de flujos de aire caliente.

El secadero consta de cinco pisos horizontales posicionados uno encima del otro, el primer piso está a la altura del pre secadero y el último en la parte superior. En el primer piso la temperatura es similar a la que se encuentra en el último grupo del pre secado, aproximadamente 91° C. y luego disminuye progresivamente hasta el último piso donde se mantiene a 80° C.

La humedad relativa en el primer piso es de 87 % aproximadamente, esta se mantiene en el segundo y tercer piso, aumenta en el cuarto y disminuye en el quinto para llegar a un valor aproximado de 90 %. Durante el primer y segundo piso la humedad relativa del producto se mantiene entre 17 % y 18 %, baja aproximadamente hasta 14 % entre los pisos 3 y 4 y este valor se mantiene relativamente sin cambios hasta el final del último piso. Al final del secado se han reducido los niveles de humedad hasta niveles deseados.

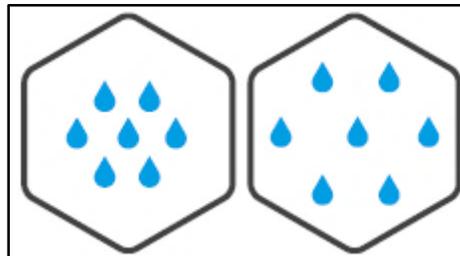
Figura 31. **Reducción final de los niveles de humedad**



Fuente: PAVAN. *Dry Pasta Processing*. p. 9.

Finalmente, concluido el secado, la humedad restante en la pasta se distribuye uniformemente sobre ella.

Figura 32. **Distribución final de la humedad en la pasta**



Fuente: PAVAN. *Dry Pasta Processing*. p. 9.

2.3.2.9. **Humidificador**

Este paso consiste en aplicar vapor al producto para terminar de secarlo en caso de persistir altos niveles de humedad. Se utiliza vapor en vez de aire caliente dado que, de haber aún humedad excesiva en el producto, esta será mínima, por lo que utilizar aire caliente rebajaría la humedad de la pasta a tal nivel que probablemente se volvería frágil y presentaría rajaduras u otros defectos, disminuyendo considerablemente su calidad. Utilizar vapor permite controlar el nivel de humedad del mismo y, por ende, el nivel de humedad de la pasta.

En este paso se maneja una temperatura aproximada de 81° C. y una humedad relativa promedio del ambiente de 80 %.

2.3.2.10. Enfriador

En este punto se utilizan radiadores que hacen circular agua fría por una serie de conductos y ventiladores que propician un flujo de aire a temperatura mucho menor que en los procesos anteriores, con el fin de regular la temperatura del producto de forma que no quede demasiado caliente y exude condensado a la bolsa donde será empacado. Se regula también que la temperatura no sea demasiado fría y esto cause rajaduras en el producto. En este paso la temperatura del proceso alcanza aproximadamente los 26° C.

Dado que la humedad relativa de la pasta permanece estable en esta etapa y en el humidificador dicha humedad es constantemente regulada con los valores deseados. La humedad relativa del producto virtualmente no ha cambiado desde el final del secadero, manteniéndose aproximadamente entre 13,8 % y 14,3 %.

2.3.2.11. Acúmulo

En esta área simplemente se acumula la pasta ya procesada en espera del siguiente paso, lo cual es necesario para evitar cuellos de botella debido a sobrecarga del producto si hay exceso de producción u ocurre cualquier otro incidente que propicie esta circunstancia.

El acúmulo toma mayor relevancia cuando es necesario parar la línea por cualquier motivo, ya que este permite que cierta cantidad del producto en proceso detrás de él no se aglomere al final del enfriador. También evita la sobresaturación de la pasta en el proceso posterior de corte.

2.3.2.12. Desfiladora

En esta etapa el producto ya ha sido completamente procesado, por lo que el último paso es cortarlo a la longitud establecida. El producto se transporta por una banda hasta una sección con dos cuchillas circulares rotando a gran velocidad, luego pasa horizontalmente entre las dos cuchillas, separadas a la distancia indicada de la longitud del producto y, finalmente, cae dentro de unos canjilones, que acumulan cierta cantidad de producto terminado cada uno, para luego transportarlo hacia el área de empaque.

Lógicamente una gran cantidad de producto no llega hasta el empaque en este paso, por lo que las partes que son rebanadas de la pasta son enviadas hacia un reproceso, que las devuelve al molino y las convierten nuevamente en sémola, para iniciar todo el proceso nuevamente.

2.3.2.13. Empaque

Aunque no se considera como parte de la línea de pasta, el empaque es esencial para terminar el proceso de producción, ya que cualquier producto alimenticio que no se empaca inmediatamente después de ser procesado se contamina fácilmente, perdiendo su inocuidad y volviéndose no apto para el consumo.

La pasta que sale de la desfiladora se transporta en canjilones, elevándose hasta arriba de las máquinas empacadoras y descargando el producto por una torre de descarga en cada una. Sensores en cada empacadora indican cuando alguna ya no tiene capacidad de recibir producto, lo cual causa que un pistón cierre la entrada hasta que pueda recibirse la pasta.

Grandes rollos de plástico se disponen en las empacadoras y envuelven el producto mediante un proceso de sellado formando los empaques, todo esto mediante un proceso automatizado que mide el peso del producto y de esa forma determina la cantidad por empaquetar. Luego de que los paquetes de pasta larga pasan hacia una banda que los transporta hasta el área de enfardelado manual, donde se juntan varios paquetes en bolsas plásticas o sacos, se pesan y se disponen para distribución.

2.3.3. Descripción de los equipos en la línea

En una línea de producción intervienen cientos de equipos distintos, sin embargo, a continuación se describen los más importantes para el proceso de producción.

2.3.3.1. Prensa

Dos bombas regulan la entrada de agua fría y caliente al proceso de premezcla, la harina se dosifica en un receptor que cuenta con tres sensores, los cuales indican el nivel de rebalse de harina, nivel adecuado y ausencia. Un motor se encarga de movilizar la centrífuga en la premezcla y otros tres del proceso de amasado, dos motores de mayor potencia hacen girar los dos tornillos de la distribuidora.

Después de los moldes tres motores intervienen en el proceso de extrusión movilizan las cañas y otros seis en la extendidora para movilizar las cuchillas de corte. Intervienen también dos ventiladores para que el producto que sale del molde se seque y no se pegue. Para la regulación de temperatura de los cilindros y cabezales se cuenta con cuatro bombas, cada una con su respectivo motor.

Tabla VII. **Equipos más relevantes en el área de prensa**

Equipo	Cantidad
Motores	19
Bombas hidráulicas	6
Ventiladores	2

Fuente: elaboración propia.

2.3.3.2. Presecado

Dos ventiladores intervienen en cada uno de los primeros tres grupos y cuatro ventiladores tanto en el cuarto como en el quinto grupo para proveer el aire caliente necesario para iniciar el proceso de deshumidificación de la pasta, totalizando catorce ventiladores. Cinco válvulas regulan el aumento gradual de temperatura por cada uno de los grupos, cada válvula cuenta con una bomba que impulsa el agua que pasa por ellas. Cuatro sondas regulan la humedad a lo largo del presecado.

Se cuenta con un extractor de humedad en el primer grupo, otro más en el segundo y un tercer extractor se encarga de regular la humedad del tercero, cuarto y quinto grupo, esto da pauta para comprender por qué la humedad disminuye considerablemente entre los grupos dos y tres pero luego aumenta progresivamente en los grupos cuatro y cinco. Para la regulación de temperatura central cada grupo cuenta con una bomba y su respectivo motor.

Tabla VIII. **Equipos más relevantes en el área de presecado**

Equipo	Cantidad
Ventiladores	14
Bombas hidráulicas	6
Válvulas	5
Sondas	4
Extractores de humedad	3
Motor	1

Fuente: elaboración propia.

2.3.3.3. Secado

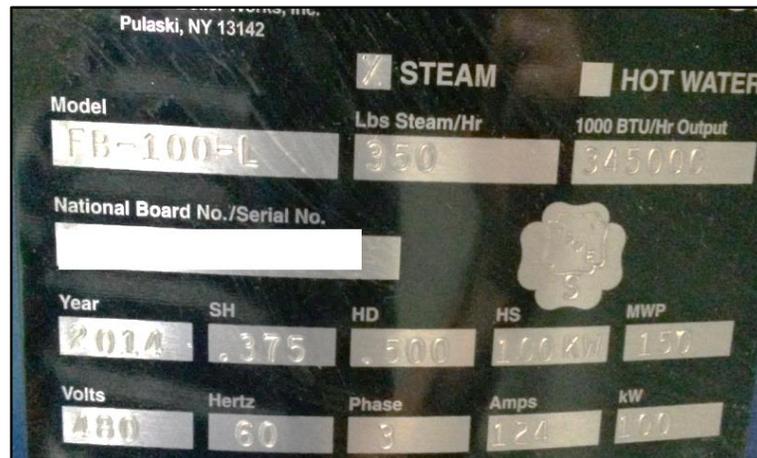
En el secadero actúan dos ventiladores al inicio y dos al final de cada uno de los primeros tres pisos, tanto en el cuarto como el quinto piso actúan dos ventiladores localizados al centro de los mismos, totalizando dieciséis ventiladores. Ocho válvulas, con sus respectivas bombas, regulan la temperatura que desciende progresivamente a medida que se avanza en los pisos.

En los primeros tres pisos únicamente hay dos válvulas mientras que las otras seis se distribuyen en los dos pisos restantes. Siete sondas regulan tanto la temperatura como la humedad y estas están ubicadas como sigue: dos en el primer piso, dos en el segundo y una en cada uno de los restantes. El secadero también cuenta con tres extractores de humedad que trabajan de forma general para todos los pisos y una bomba de lubricación de cadenas para asegurar el movimiento sin complicaciones de las cañas durante el proceso.

Comúnmente la caldera de vapor ubicada en el cuarto de máquinas provee el vapor necesario para el humidificador, sin embargo a veces las exigencias de las otras líneas tienen mayor demanda de vapor, por lo que el humidificador cuenta con su propia caldera eléctrica.

La caldera puede producir hasta 350 libras de vapor por hora (158,78 kg/h), tiene una salida de 345,000 BTU/h. ($3,64 \cdot 10^8$ J/h.), trabaja a 480 voltios con una corriente de 124 amperios y potencia de 100 kW.

Figura 33. **Especificaciones técnicas de la caldera eléctrica de vapor**



Fuente: empresa.

Figura 34. **Caldera eléctrica de vapor**



Fuente: empresa.

En el humidificador también se encuentra una bomba para administrar el vapor, con su respectivo motor, una electroválvula para regular el paso del vapor, una sonda que mide el nivel de vapor, dos ventiladores que propician el enfriamiento mediante la circulación de aire frío y un extractor de humedad.

En el enfriador se encuentra una válvula con su respectiva bomba que impulsa el agua fría del sistema de radiador. Una sonda mide la temperatura del enfriamiento y tres ventiladores propician el flujo de aire frío para normalizar la temperatura del producto.

Tabla IX. **Equipos más relevantes en el área de secado**

Equipo	Cantidad
Ventiladores	21
Válvulas	9
Bombas hidráulicas	9
Sondas	9
Extractores de humedad	4
Bomba de vapor	1
Bomba de lubricación	1
Caldera eléctrica de vapor	1
Motores	1
Electroválvulas	1

Fuente: elaboración propia.

2.3.3.4. Acúmulo

Dado que en este punto el producto ya ha sido completamente procesado, los equipos existentes son únicamente los que movilizan los componentes de la línea. En el acúmulo un motorreductor moviliza la cadena que transporta la pasta, mientras que en la desfiladora actúan ocho motores para movilizar la banda y hacer rotar las cuchillas de corte.

Los canjilones son transportados en elevadores que se movilizan por medio de una cadena rápida, impulsada por un motor que rota a mayores revoluciones por minutos que los encargados de movilizar las otras cadenas.

Tabla X. **Equipos más relevantes del área de acúmulo**

Equipo	Cantidad
Motores	9
Motorreductores	1

Fuente: elaboración propia.

2.3.3.5. Empaque

Se cuenta con cuatro empacadoras automatizadas, cada una con un sensor que detecta cuando una empacadora ya no tiene capacidad de recibir carga y deja de recibir producto, tres empacadoras son de alta velocidad, con una capacidad de 120 paquetes por minuto y un sistema de medición del producto por peso. Existe otra empacadora más de mediana velocidad, con una capacidad de 45 paquetes por minuto y un sistema de medición del producto por volumen.

El producto cae a las empacadoras por medio de una torre de descarga y cada una de dichas torres cuenta con un motor que propicia el movimiento de la pasta, adicionalmente cada una de las bandas transportadoras tiene un motor que moviliza los empaques hasta el área de enfardelado.

Tabla XI. **Equipos más relevantes del área de empaque**

Equipo	Cantidad
Empacadoras	4
Codificadores	4
Motores	8

Fuente: elaboración propia.

2.3.4. Procedimientos de operación y control

Toda la línea se maneja desde un software propio del fabricante, desde el cual se monitorean las variables que intervienen en todos los pasos del procesamiento de la pasta, tales como la temperatura de los grupos del pre secadero, la humedad relativa del producto, el caudal al que ingresa el agua de amasado, entre otros.

El operador de la línea programa el *set point* de estas variables, pero su disponibilidad depende de los equipos auxiliares, principalmente las calderas y el *chiller*, por ello es responsabilidad del operador dar aviso a los electromecánicos cuando alguna variable del proceso sufra demasiado desfase respecto de su *set point*, para que el personal de mantenimiento revise y repare la falla en el equipo auxiliar responsable de controlar dicha variable y regresar el proceso a la normalidad.

2.3.4.1. Procedimiento de arranque

El primer paso antes de arrancar la línea es verificar siempre que ningún colaborador esté trabajando sobre alguna parte de la línea en ese momento, principalmente electromecánicos, ya que el mantenimiento implica que el trabajador se introduzca dentro de la línea y podría resultar seria, o fatalmente, lastimado en caso de quedar atrapado entre elementos mecánicos móviles o lugares con temperaturas muy elevadas como el secadero.

Para asegurar el paso anterior se utiliza un sistema de bloqueo y etiquetado, el cual consiste en bloquear mediante un candado rojo el acceso a los sistemas de funcionamiento de la maquinaria y colocar una etiqueta que haga saber al personal que se está realizando mantenimiento a la línea.

El sistema anterior se utiliza para restringir el acceso tanto a los controles de las partes mecánicas como a las fuentes de energía y es colocado por los electromecánicos que realicen mantenimiento a la línea.

Por último se debe verificar que ningún trabajador se encuentre en alguna parte de la línea donde podría salir lesionado al iniciar el proceso, se prosigue con la verificación de ciertos pasos antes de empezar la producción.

2.3.4.1.1. Lista de chequeo

Los pasos por seguir antes de iniciar con el proceso de producción son los siguientes, siendo el primero el más importante.

- Revisar a fondo que ningún trabajador se encuentre en cualquier parte de la línea donde podría salir lesionado al arrancar la misma.
- Remover los restos de pasta sobrantes que hayan quedado del proceso anterior.
- Revisar la posición de las cañas para asegurarse que todas estén en posición correcta.
- Verificar la funcionalidad de todos los equipos auxiliares que alimentan a la línea.
- Precalentar la línea el tiempo suficiente para tener activos todos sus componentes.
- Pedir harina suficiente al molino para iniciar el proceso.
- Verificar la temperatura y el caudal del agua caliente y fría para el amasado.
- Preparar los moldes y colocarlos en la posición correcta para ser comprimidos uniformemente por la masa.

2.3.4.1.2. Lubricación

Durante el mantenimiento preventivo se verifican y reponen los lubricantes de los equipos responsables principalmente del movimiento de las cañas. Los procedimientos más importantes de esta índole son el reemplazo de aceite de las cajas reductoras de velocidad y engrasado de los motores, aunque también se lubrican todos los elementos mecánicos móviles propios de la línea, como los tornillos del área de prensa.

De los elementos que componen la línea, los más importantes por lubricar son el aceitado de todas las cadenas, responsables de la movilización de las cañas y canjilones, y el engrasado de las chumaceras.

Todos los lubricantes utilizados en la línea son de grado alimenticio, requisito indispensable según los parámetros de cualquier industria alimenticia que opere equipos que necesiten lubricación.

2.3.4.2. Procedimiento de operación

Como se mencionó anteriormente, el operador de línea programa el *set point* de las variables que intervienen en el proceso de producción, sin embargo, este también debe verificar constantemente las variables del proceso y dar aviso al personal de mantenimiento si alguna de ellas llega a valores demasiado alejados de lo requerido, además de cierta noción del equipo que puede estar causando el problema.

Algunos de los problemas más comunes que ocurren en la línea se listan a continuación, así como su posible causa.

- Falta de harina: el silo se ha tapado o la harina se ha acabado; se debe dar aviso al operador de silo.
- Falta de agua: avería en la bomba que manda el agua potable; se debe dar aviso al electromecánico.
- Fallo en descarga de producto: se ha llenado el acúmulo; se debe parar la línea hasta que el producto acumulado haya pasado por empaque.
- Disminución de la temperatura: fallo en caldera; se debe dar aviso al electromecánico.
- Paro en el proceso de empaque: avería en la red de aire comprimido, posiblemente falla de compresor; se debe dar aviso al electromecánico.
- Temperatura en el enfriamiento muy elevada: avería en el *chiller*; se debe dar aviso al electromecánico.
- Falta de vapor en el proceso de humidificación: avería en la caldera de vapor; se debe dar aviso al electromecánico.

Otras funciones que el operador mismo puede y debe realizar incluyen básicamente el destrabe de cañas atascadas debajo de la línea durante el proceso (utilizando para ello un elemento metálico de longitud adecuada) y colocación manual de la pasta rebalsada luego del proceso de prensa en una banda transportadora que la lleva a reproceso.

Actualmente no existen procedimientos de control técnicos o específicos para la operación de la línea, es la labor del operador controlar constantemente las variables de producción, dar aviso de cualquier desfase significativo en las mismas, además de alguna noción del equipo que pueda estar fallando, y realizar el mismo, manualmente, todo lo que pueda para evitar la pérdida de producto u obstrucción de la línea, así como decidir en qué momentos se debe parar la línea por cualquier circunstancia que lo amerite.

2.3.4.3. Procedimiento de paro

El paro de la línea se efectúa desde el software de operación, o bien por medio de los botones de emergencia ubicados en lugares pertinentes de la línea. Es necesario asegurarse que las secciones de la línea en las que aún se encuentre producto en proceso terminen su operación y que el producto llegue hasta el empaque para evitar su pérdida.

Es igualmente importante evitar que más materia prima siga ingresando al proceso de amasado antes de programar el paro, además de dosificar los tiempos de cada parte del proceso que aún tenga equipo que procesar para evitar que la línea esté en funcionamiento más tiempo del necesario. Se debe esperar a que termine su recorrido la última caña y finalmente bajar el calor gradualmente.

Se detallan a continuación los procedimientos de limpieza y revisión final que deben efectuarse después de haber parado la línea.

2.3.4.3.1. Limpieza

Se realiza al finalizar las operaciones de la línea para evitar lesiones causadas por maquinaria en movimiento, se quita la harina que no se haya utilizado en el amasado y se coloca en vaciantes, se verifican las cadenas buscando hileras de pasta que hayan quedado atascadas y se remueven.

Se debe barrer o recoger los restos de pasta que hayan quedado tanto en el suelo debajo y alrededor de la línea como en los pisos de esta, generalmente después del área de prensa, en el acúmulo, después de la desfiladora y en el empaque.

Cuando se programa el paro de la línea por limpieza, se deben abrir las partes de esta a las que se tenga acceso, como el presecado y secadero, se deben raspar los restos que hayan quedado en las paredes y posteriormente lavar a profundidad con amonio, luego la línea se mantiene en paro al menos 24 horas antes arrancarla nuevamente. Las cañas también se limpian con amonio después de remover los restos de pasta atascados en ellas.

2.3.4.3.2. Revisión final

La revisión de la línea después de la limpieza está a cargo de control de calidad, se observa que no haya quedado pasta sin procesar en alguna parte del proceso.

Se verifica que todas las cañas hayan sido profundamente limpiadas y que no existan partes del producto atascados que impidan su movimiento. Se cerciora que las cañas y moldes se encuentren en la posición adecuada antes de iniciar el siguiente ciclo de producción.

Es necesario asegurarse, además, que no existan restos de pasta en el suelo debajo ni a los lados de la línea, así como en los niveles superiores de esta a los que se pueda acceder, como el suelo en el área de acúmulo, del pre secadero y el secador, además de quedar limpia de harina las áreas desde la premezcla hasta los moldes.

Es responsabilidad de los electromecánicos asegurarse que todos los equipos en la línea sean adecuadamente limpiados luego de darles mantenimiento.

2.3.5. Diagrama de flujo del proceso

Para realizar el diagrama de flujo se consultaron los tiempos de cada operación en la bitácora del operario de la línea, se tomarán los tiempos en minutos.

Tabla XII. **Tiempos de operación del área de prensa (minutos)**

Número	Recepción MP	Pre mezcla	Amasadora y distribuidora	Moldes y extrusión	Extendedora
1	1,02	8,12	3,06	0,143	2,89
2	1,11	7,98	2,98	0,135	3,02
3	0,98	8,06	2,96	0,148	2,96
4	1,13	8,11	3,02	0,152	3,11
5	1,09	7,88	3,11	0,151	3,14
Promedio	1,07	8,03	5,04	0,146	3,02

Fuente: elaboración propia.

Tanto la amasadora y distribuidora como los moldes y la extrusión se toman como un solo proceso debido a la dificultad de diferenciar los tiempos entre ambos con el equipo actual.

Tabla XIII. **Tiempos de operación del área de presecado**

Número	Presecado
1	55,04
2	51,78
3	52,34
4	54,12
5	51,26
Promedio	52,91

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Tiempos de operación del área de secado**

Número	Secadero	Humidificador	Enfriador
1	242	11,02	22,02
2	240	10,03	22,11
3	237	9,98	21,89
4	241	10,15	21,98
5	245	10,23	22,14
Promedio	241	10,28	22,03

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Tiempos de operación del área de acúmulo**

Número	Acúmulo	Desfiladora
1	3,05	0,98
2	2,98	1,01
3	2,96	1,02
4	3,22	0,97
5	3,41	0,98
Promedio	3,12	0,99

Fuente: elaboración propia.

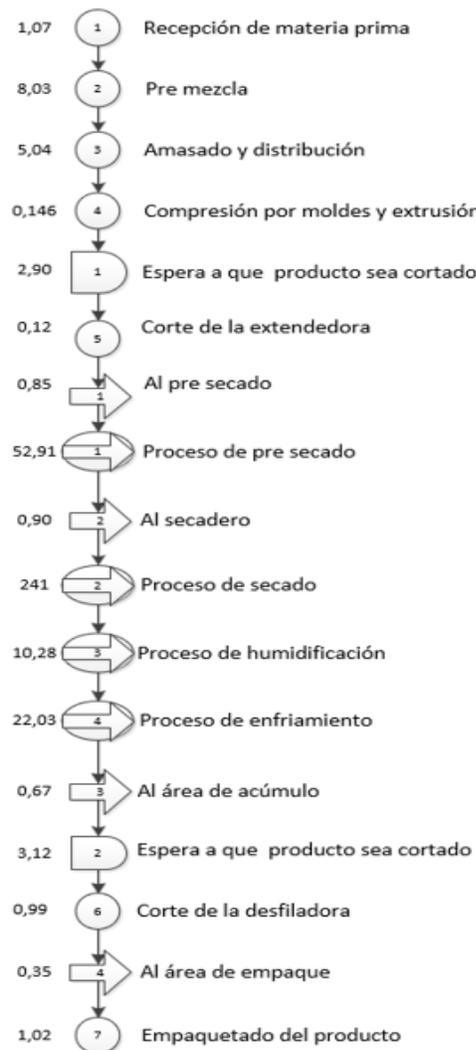
Tabla XVI. **Tiempos de operación del área de empaque**

Número	Empaque
1	1,02
2	0,98
3	1,05
4	1,02
5	1,03
Promedio	1,02

Fuente: elaboración propia.

Figura 35. Diagrama de flujo elaboración de pasta larga

Empresa			
Diagrama de Flujo de Proceso			
Objeto: Análisis del proceso de producción	RESUMEN		
Actividad: Elaboración de pasta larga	Actividad	Cantidad	Tiempo (min.)
Método: Actual	Operación 	7	16,416
Inicio: Recepción de materia prima	Demora 	2	6,02
Fin: Empaquetado del producto	Transporte 	4	2,77
Lugar: Planta de producción	Operación y transporte 	4	326,22
Operario: Operador de línea de pasta larga			
Analista: Felix Ernesto Fong González	Fecha: 9 de octubre de 2016	Firma: _____	
Aprobado: Jefe de manufactura	Fecha: 9 de octubre de 2016	Firma: _____	



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Office Visio 2010.

3. PROPUESTA PARA LA MEJORA DE LA PRODUCCIÓN

3.1. Evaluación técnica de la línea

Para empezar el proceso de optimización de la línea es necesario determinar los problemas e inconvenientes más comunes que obstaculizan la producción, mediante la identificación tanto de las condiciones de operación que impiden el funcionamiento óptimo de la línea así como los fallos más recurrentes en la maquinaria.

3.1.1. Determinación de los fallos más comunes

A continuación se analizará la forma en la cual los operadores controlan la línea para determinar si sus procedimientos son óptimos o se pueden mejorar mediante la corrección de errores recurrentes. También se indagará acerca de los fallos más recurrentes en los equipos, en mayor o menor medida, los habituales responsables de retrasos o paros en la producción.

3.1.1.1. Fallos de operación

La operación de la línea de producción consiste en el control de los valores de operación según los parámetros deseados, los cuales principalmente son la temperatura y humedad relativa a los que debe estar expuesta la materia prima durante el proceso de conversión con el fin de obtener un producto terminado de excelente calidad.

Esto se logra mediante la regulación de los *set point* que determinan tanto los parámetros mencionados anteriormente como algunos otros que no se modifican, ya sea porque deben mantenerse constantes sin importar las condiciones del proceso o que se modifiquen una vez.

Antes de analizar los fallos de operación más comunes se verán aquellos que no ocurren con frecuencia, ni fueron detectados durante el estudio, pero arruinarían el proceso de producción en caso de ocurrir, los cuales son:

- Pedir cantidad inadecuada de harina: lo primero que se debe tomar en cuenta al iniciar la producción es la velocidad de la línea, la cual se mide por la cantidad de cañas de pasta producida por hora, esto determina la cantidad de harina necesaria para cubrir dicha demanda. Además se deben considerar los posibles paros en las distintas partes de la línea por desperfectos mecánicos, eléctricos u otras circunstancias, en cuyo caso se debe disminuir la cantidad de harina pedida para evitar aglomeración de producto en proceso.
- Mantener la temperatura regular si cambia la velocidad de la línea: al ralentizar la velocidad nominal a la cual opera la línea, todo el producto en proceso pasa más tiempo del estipulado en cada sección, principalmente en las áreas de secado, por lo que es necesario disminuir la temperatura de los procesos en estas áreas para evitar quemar la materia prima.
- No considerar la humedad del tipo de sémola que se pide: la línea trabaja con tres tipos distintos de sémola con los que realizan tres clases de pasta. Estas sémolas se denominan: mezcla A, mezcla B y mezcla C, de las cuales la primera posee mayor humedad a su ingreso al área de premezcla.

Los principales fallos de operación ocurren por la discrepancia entre operarios respecto de qué valores de operación son modificables y cuáles no lo son, así como a la falta de magnitudes estándares a las cuales programar los parámetros de la línea según las condiciones del proceso. Esto comúnmente provoca que los operarios modifiquen constantemente los valores de los parámetros durante la producción. La siguiente tabla muestra las concordancias y discrepancias en criterios de operación.

Tabla XVII. **Concordancias y discrepancias en criterios de operación**

Concordancia de valores de operación modificables	Concordancia de valores de operación no modificables	Discrepancia de valores de operación modificables o no modificables
<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad de la línea • Cantidad de ingreso de sémola • Cantidad de agua de amasado • Temperatura de ventilación de cabezal • Temperatura del radiador que calienta las cañas • Temperaturas en las secciones del pre secado • Temperaturas en las secciones del secadero 	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura de la caldera • Temperatura del agua de retorno • Temperatura del <i>chiller</i> • Presión del aire comprimido • Temperatura del agua de amasado • Temperatura de las bolsas de amasado • Temperatura de los cilindros de amasado • Temperatura de los cabezales • Temperatura del radiador de ventilación 	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad de los tornillos de amasado 1 y 2 • Humedad relativa en las secciones del pre secado • Humedad relativa en las secciones del secadero • Temperatura y humedad relativa en el humidificador • Temperatura en el enfriador

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Consecuencias de discrepancias entre valores modificables**

Discrepancias	Consecuencias
Velocidad de los tornillos de amasado 1 y 2	Una incorrecta velocidad de funcionamiento de los tornillos encargados de amasar la mezcla de sémola y agua causa puntos blancos en la pasta debido a una mala formación del gluten en la masa.
Humedad relativa en las secciones del pre secado	Siendo esta la sección donde la pasta completa el 90 % de su procedimiento de secado, menor humedad de la necesaria provoca fragilidad en la pasta y mayor humedad ablanda su consistencia.
Humedad relativa en las secciones del secadero	Al final de esta sección la pasta ya debe tener su humedad final como producto terminado y alterarla en este punto afecta los parámetros de calidad pre establecidos.
Temperatura y humedad relativa en el humidificador	La regulación de la temperatura sin afectar la humedad relativa de la pasta en esta sección puede volverse drástica y ablandar la pasta más de lo necesario.
Temperatura en el enfriador	Si la pasta no disminuye adecuadamente su temperatura antes de ser empacada, forma un condensado dentro del empaque, lo cual disminuye la calidad del producto.

Fuente: elaboración propia.

Adicionalmente, cada operario tiene su propio criterio respecto de los parámetros de temperatura que deben programarse en la ventilación del cabezal, el calor de las cañas y las secciones del presecado y secadero, así como la cantidad de sémola que debe ingresar según la velocidad de la línea. Por ello, la calidad del producto terminado depende más bien del criterio del operador que estuviese controlando la línea durante su elaboración y no de parámetros estandarizados.

3.1.1.2. Fallos mecánicos eléctricos

Se determinaron los equipos que presentan la mayor cantidad de desperfectos durante el funcionamiento de la línea para averiguar cuáles son los causantes de la mayoría de retrasos en la producción debido a fallos recurrentes en ellos. Para recabar la información presentada a continuación, se levantaron datos a lo largo de un período de cuatro meses.

3.1.1.2.1. Equipos en línea

Durante el período de muestra, la línea estuvo en paro programado por 23 días a lo largo de dicho ciclo, por lo cual el período de operación fue de 88 días las 24 horas. En 20 días no presentó paros de producción debido a fallos mecánicos eléctricos, de los restantes 68 días los problemas fueron:

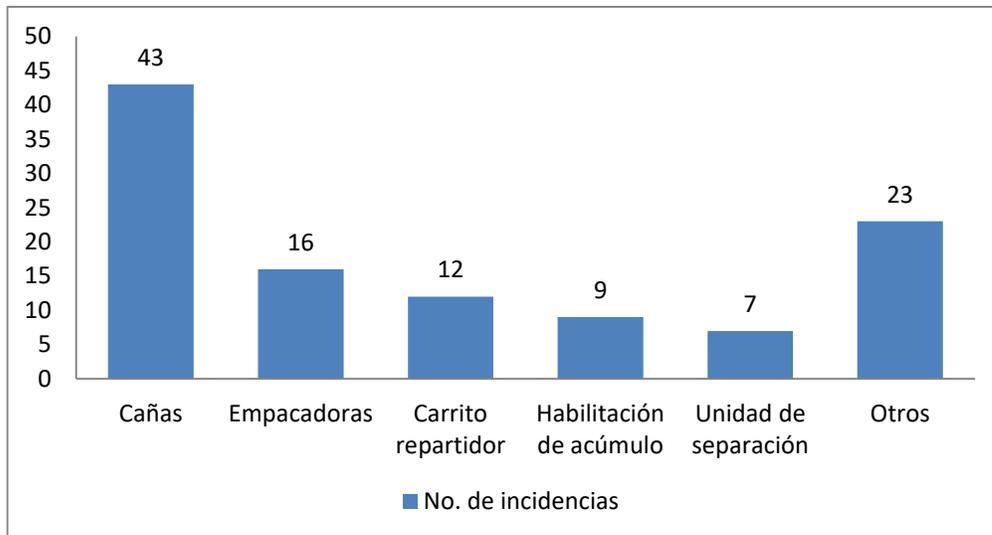
Tabla XIX. Fallos en equipos de la línea

Equipo	No. De incidencias	Minutos causantes de paro
Cañas	43	371
Empacadoras	16	339
Carrito repartidor	12	249
Habilitación de acúmulo	9	84
Unidad de separación	7	129
Clutch del elevador	5	188
Bajadores del humidificador	4	14
Bomba de vacío	3	75
Cuchillas de la desfiladora	2	19
Banda de recortes	2	14
Distribuidora	1	36
Bomba del calderín	1	30
Cuchillas de corte	1	22
Motor triturador	1	15
Bolas de acero	1	10
Ciclón de filtro	1	10
Ciclón de recorte	1	6

Fuente: elaboración propia.

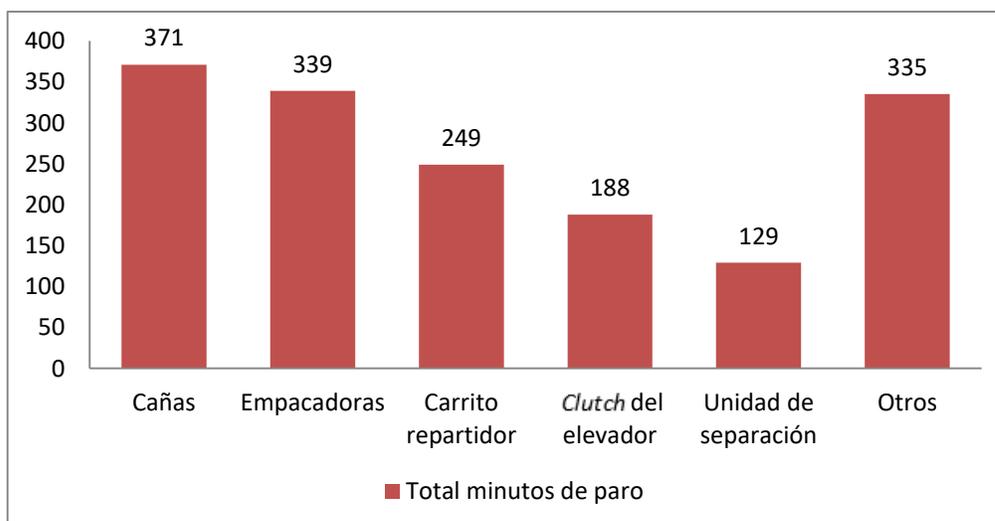
La información de la tabla anterior se representa gráficamente de la siguiente forma.

Figura 36. **Número de incidencias de equipos de la línea**



Fuente: elaboración propia.

Figura 37. **Minutos de paro de producción causados por equipo**



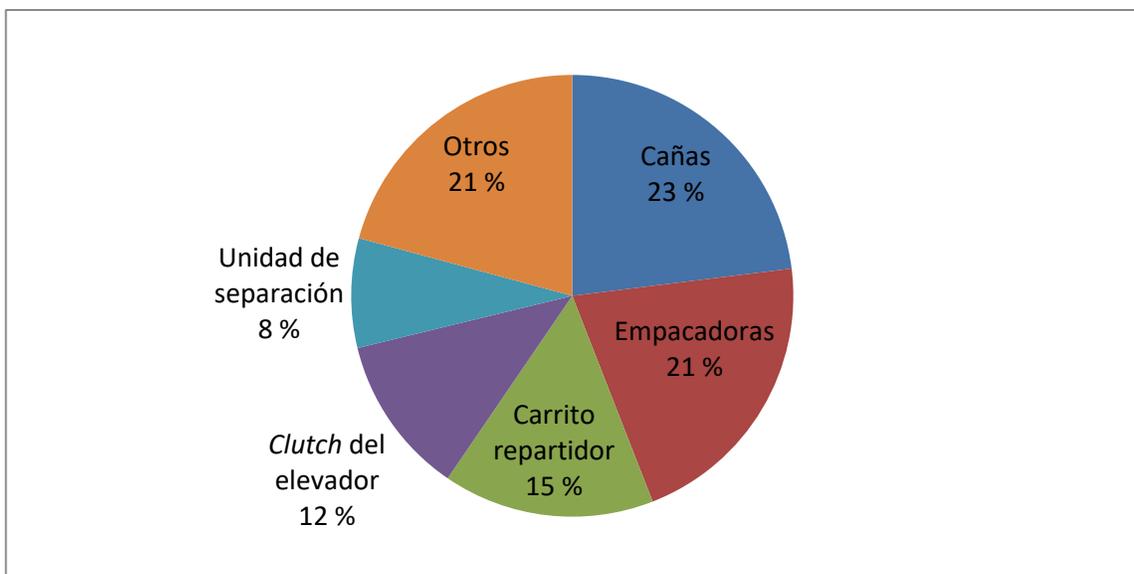
Fuente: elaboración propia.

Figura 38. **Porcentaje de incidencias por equipo en línea**



Fuente: elaboración propia.

Figura 39. **Porcentaje de minutos de paro causados por equipo en línea**



Fuente: elaboración propia.

De la información recabada se deduce que el 79 % de todos los paros de producción ocurridos en línea se deben a los cinco equipos que más tienden a fallar, de la misma forma el 79 % del tiempo total en que la línea debe permanecer en paro se debe a desperfectos en los cinco equipos que mayor incidencia tienen en ello (cuatro de los cuales son los mismos que los anteriores).

Al considerar que la habilitación de acúmulo es únicamente un área de la línea en la cual la materia prima en proceso puede esperar antes de continuar con el ciclo productivo, y que la falta de habilitación es consecuencia de otras causas listadas anteriormente, los fallos más comunes en la línea ocurren en: cañas, empacadoras, carrito repartidor, *clutch* del elevador, unidad de separación.

Las causas más comunes de fallos en los equipos, principales causantes de los retrasos de producción en toda la línea, son las siguientes:

Tabla XX. **Fallos más comunes en equipos críticos de la línea**

Equipo	Fallas
Cañas	Atasque durante transporte de pasta
Empacadoras	Averías en balanzas, motor de cepillos, empaques de hule rotos, quema de termocoplas, falta conexión de aire hacia pistón de freno
Carrito repartidor	Masa del producto lo tapa y se atasca
<i>Clutch</i> del elevador	Movimiento impedido debido a atasque de cañas
Unidad de separación	La cadena se atasca al recibir producto del pre secado al secadero

Fuente: elaboración propia.

3.1.1.2.2. Equipos auxiliares

Durante el mismo período, los fallos que causaron paros de producción correspondientes a los equipos auxiliares se registraron de la siguiente forma.

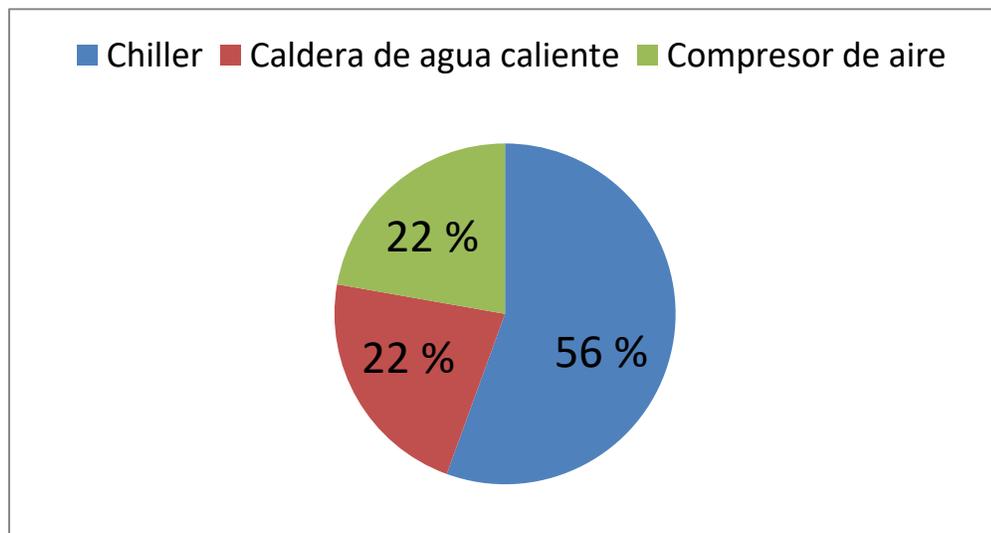
Tabla XXI. Fallos en los equipos auxiliares

Equipo	No. de incidencias	Minutos causantes de paro
<i>Chiller</i>	5	527
Caldera de agua caliente	2	53
Compresor de aire	2	38

Fuente: elaboración propia.

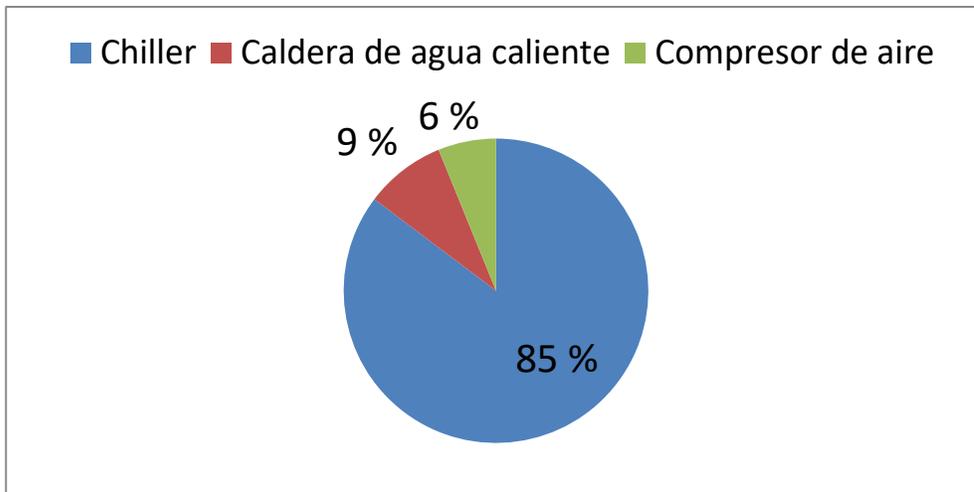
Los porcentajes de paros de producción correspondientes a los fallos en cada equipo auxiliar se representan de la siguiente forma.

Figura 40. Porcentaje de incidencias por equipo auxiliar



Fuente: elaboración propia.

Figura 41. **Porcentaje de minutos de paro causados por equipo auxiliar**



Fuente: elaboración propia.

De la información recabada se deduce que el enfriador de agua *chiller* es el equipo auxiliar que mayor incidencia tiene en los paros de producción en la línea, esto se debe principalmente a que este es el único equipo en la empresa que disminuye la temperatura del agua de circulación, mientras que existen otras calderas y compresores, entre otros equipos, que pueden suplir la demanda cuando uno de ellos muestra desperfectos.

Los fallos registrados en los equipos auxiliares previamente mencionados durante el período de muestra fueron los siguientes.

Tabla XXII. Fallos más comunes en equipos auxiliares críticos

Equipo	Fallos	Total
<i>Chiller</i>	Falla generalizada del sistema 1	38
	Falla del eductor del sistema 1	8
	Subida de temperatura en el sistema 1	6
	Falla del arrancador de bomba de envío	5
	Falla generalizada del sistema 2	4
	Desperfectos en bomba de envío	3
	Baja de presión en el sistema 1	1
	Aumento de presión en el sistema 1	1
	Subida de temperatura en el sistema 2	1
	Bloqueo de bombas de recirculación	1
	Falla del arrancador del sistema 1	1
	Falla del eductor del sistema 2	1
	Falla en terminales de motor de bomba de envío	1
	Disparo de la bomba de envío	1
Caldera para agua caliente	Incremento de la presión interna	3
	Fusible quemado en circuito de 120 VAC	1
	Obstrucción de sección en caldera	1
	Falla en bomba de recirculación de calderas	1
Compresor de aire	Falla en motor de compresor	2
	Fuga en visor de aceite de compresor	1
	Baja presión de aire comprimido	1

Fuente: elaboración propia.

3.2. Determinación de la cantidad de producto perdido

Para llevar un registro certero de la cantidad de materia prima y materiales involucrados en el proceso que se pierden durante la producción, es necesario documentar las causas en las áreas individuales de la línea, así como clasificar cuánta materia prima es enviada a reproceso y cuánta es descartada. Es necesario porque si bien el costo por pérdida de esta última sea mayor, el reproceso de la materia prima más de una vez, consume mayor energía eléctrica y produce mayor desgaste de los equipos en general y, por ende, su costo por pérdida es diferente al de la pasta que es descartada.

Adicionalmente, es necesario llevar un registro de la cantidad de material de empaque que es desechado por diversas circunstancias que ocurran en esa área de la línea, considerando que todo el material es desechado si resulta inservible para su función de embalaje, sin posibilidad de pasar por algún reproceso.

Para llevar a cabo lo anterior se proponen las siguientes tablas de medición de producto perdido, siendo entregadas una de cada una a cada operario de la línea al iniciar cada ciclo productivo.

3.2.1. Pérdidas debido a errores humanos

Se presenta la tarjeta de medición propuesta de pérdida de producto debido a errores operacionales.

Figura 42. **Tarjeta de medición de producto perdido por error operacional**

Pérdidas debido a errores operacionales		
Fecha de inicio de producción: _____ Horario: _____		
Operario de turno: _____ Auxiliares: _____		

Área de la línea	Causas de pérdida	
Prensa		
Pre secado		
Secado		
Acúmulo		
Área de la línea	Cantidad de materia prima enviada a reproceso (Kg)	Cantidad de materia prima descartada (Kg)
Prensa		
Pre secado		
Secado		
Acúmulo		

Fuente: elaboración propia.

3.2.2. Pérdidas debido a fallas en equipos

Se presenta el formato propuesto de la tarjeta de medición para cuantificar la cantidad de producto perdido en las secciones de la línea.

Figura 43. **Tarjeta de medición de producto perdido por fallas en los equipos**

Pérdidas debido a fallas en los equipos		
Fecha de inicio de producción: _____ Horario: _____		
Área de la línea	Equipos involucrados	Descripción
Prensa		
Pre secado		
Secado		
Acúmulo		
Área de la línea	Cantidad de materia prima enviada a reproceso (Kg)	Cantidad de materia prima descartada (Kg)
Prensa		
Pre secado		
Secado		
Acúmulo		

Fuente: elaboración propia.

También se ha elaborado una tarjeta de medición específica para el área de empaque, de forma que se considere tanto la pérdida de materia prima como la pérdida de material de empaque.

Figura 44. Tarjeta de medición de pérdidas en área de empaque

Pérdidas en área de empaque				
Fecha de inicio de producción: _____		Horario: _____		
Empacadora	SO-1	SO-2	SO-3	CPL-4
Tipo de empaque utilizado				
Peso inicial de la bobina (Kg)				
No. de empaques elaborados				
Peso del material utilizado (Kg)				
Peso del material desperdiciado (Kg)				
Cantidad de pasta enviada a reproceso (Kg)				
Pérdidas de pasta debido a errores operacionales				
Causas de pérdida				
Cantidad de pasta descartada (Kg)				
Pérdidas de pasta debido a fallos en los equipos				
Equipos involucrados	Descripción			
Cantidad de pasta descartada (Kg)				

Fuente: elaboración propia.

3.3. Desarrollo del perfil del operario

A continuación se detallan los requisitos que deben cumplir los operadores de la línea para desempeñar su trabajo de manera óptima.

3.3.1. Competencias requeridas

Se refiere a la capacidad de realizar una actividad en específico o resolver problemas mediante métodos concretos. Las competencias con la cuales deben contar los operarios de la línea son:

- Saber interpretar y llenar controles y registros periódicos: documentar los resultados de cada jornada en lo concerniente a la producción y las fallas que hayan ocurrido en la línea, así como revisar los reportes previos para determinar posibles causas de disminución de la producción en jornadas anteriores.
 - Llevar registros de la cantidad de producto perdido: con las fichas de medición propuestas anteriormente puede listar cantidad y causa del producto cuyo procesamiento no llega a término.
- Saber interpretar los valores termodinámicos de operación de la línea: en el programa de ejecución, leer las temperaturas y humedades que miden las sondas y determinar si dichos valores son adecuados para la producción o si es necesario modificarlos.
 - Regular la temperatura de cada sección: la temperatura debe disminuir si se ralentiza la velocidad nominal de la línea y los valores para cada

área deben ser definidos según el tiempo que el producto pasa por cada sección.

- Abrir y cerrar los extractores de humedad a porcentajes específicos: la humedad del producto se regula mediante la apertura o cierre de estos dispositivos, cuyos valores de apertura deben ser estandarizados según los valores puntuales de humedad de la pasta en proceso.
- Poseer liderazgo para coordinar su trabajo con los demás trabajadores: tener la facilidad para comunicar ideas, coordinar actividades y solucionar problemas trabajando con los demás colaboradores.
 - Mantener comunicación constante con las demás áreas: para evitar el desabastecimiento de materia prima e informar de los problemas de índole mecánico eléctrico que requieran intervención.
 - Coordinar las actividades de control con el personal auxiliar: es labor del operario indicar claramente todas estas funciones a sus colaboradores auxiliares y guiarlos en el desarrollo de las mismas.
- Saber controlar los valores de operación de la línea: regular tiempos y velocidades para que los elementos no termodinámicos del proceso propicien la formación de una buena pasta.
 - Controlar los tiempos de pedido de materia prima: la cantidad de sémola y agua que ingresa hacia el área de premezcla y la frecuencia de los pedidos deben ser regulados según las condiciones de la línea y el estado de la producción en proceso en ese momento.
 - Especificar la cantidad de agua de amasado: según el tipo de sémola que se esté procesando, se requiere cierta cantidad de agua de modo que la humedad de la masa sea la indicada para procesarla.

- Definir el tiempo de paro en cada sección de la línea: el tiempo que deba parar cada área de la línea debe ser coordinado de forma que se evite la acumulación de producto en el área de secado y evitar la mezcla de sémola y agua hasta asegurar el funcionamiento de la línea, procurando hasta entonces la mayor salida del producto en proceso posible.
- Saber reajustar elementos desfasados en la línea: colocar en su sitio cualquier elemento fuera de lugar que no requiera intervención de electromecánico cuando no sea necesario el desarme de alguna pieza o parar la línea para realizar dicho ajuste.
 - Identificar y reacomodar cañas del área específica donde se atoren: mediante detección en el computador, dirigir al personal auxiliar hacia el lugar del desfase y colocar la caña en su sitio sin parar la línea de no ser necesario.

3.3.2. Habilidades técnicas

Se refiere a la aplicación de métodos siguiendo una mecánica específica para realizar un trabajo particular.

- Mecánica básica: el operador debe conocer las partes móviles de los elementos mecánicos más comunes que componen la línea, así como determinar, mediante métodos empíricos o indicios de mal funcionamiento, cuando alguno requiere mantenimiento o reemplazo.
 - Realizar ajustes de elementos fuera de sitio: siempre que la naturaleza de un desfase no amerite la intervención del personal de

- mantenimiento, el operario debe colocar en su lugar el elemento en cuestión.
- Liberar cañas atoradas: mediante un brazo metálico se debe colocar la caña en su sitio correspondiente en la cadena móvil al momento de detectarse un atascamiento en la pantalla de control.
- Lubricación básica: conocer que elementos móviles de la línea son susceptibles de desgaste prematuro de no llevar un régimen adecuado, considerando período de lubricación, tipo de lubricante y la forma de aplicación.
 - Lubricación de cadenas: al ser los elementos móviles más importantes, es necesario llevar registro del tiempo transcurrido desde el último paro programado y cumplir con las especificaciones de las fichas de lubricación.
 - Realizar limpieza de la línea: todas las partes mecánicas accesibles, así como las áreas exteriores de la línea en general deben rasparse y limpiarse con amonio y otros productos no contaminantes.
 - Identificar la ubicación y el tipo de los equipos que presenten fallos: el operario debe indicar al electromecánico el área específica de la línea que presente desperfectos, así como dar noción del equipo que pueda estar ocasionando la falla en concreto, para ello debe poder relacionar cada equipo de la línea con su función en el proceso.
 - Enviar rápidamente a reproceso el producto sobre acumulado: cierta cantidad de pasta en proceso, principalmente al final de las áreas de corte, debe ser

colocada manualmente en los receptores que van hacia reproceso, para lo cual debe estar pendiente el personal auxiliar.

- Monitorear en todo momento el estado de la producción: esto se realiza mediante el software de control de la línea, por lo que el operario no puede dejar sin supervisión el área de control y regular las variables de la línea tan pronto haya aviso de paro en cualquier parte.

3.3.3. Conocimientos teóricos

La siguiente información es básica para el operario de línea:

- Buenas prácticas de manufactura e inocuidad: las normativas de las BPM son esenciales para asegurar que la pasta sea segura para el consumo. Es básico seguir prácticas como utilizar el uniforme designado para cada día de la semana, emplear únicamente uniformes lavados adecuadamente, mantener libre de derrames y basura las áreas alrededor de la línea, utilizar una redcilla limpia dentro de planta, lavar y desinfectar las manos y antebrazos antes de ingresar a planta y no tener contacto con la materia prima en proceso.
- Normativas de salud ocupacional y seguridad industrial: es imperativo seguir las directrices de seguridad de la empresa para prevenir accidentes mediante la prevención de actos inseguros y condiciones inseguras, siendo indispensable contar con un botiquín de primeros auxilios en el área de control, conocer los riesgos que conlleva la inhalación constante de harina y sus propiedades inflamables e informar inmediatamente al jefe superior inmediato de todo accidente o condición insegura que se observe.

- Composición de cada tipo de sémola: la línea trabaja con tres tipos de sémolas, cada una elaborada según combinaciones específicas de trigo; cada mezcla requiere cantidades distintas de agua para obtener la humedad deseada en la mezcla y para ello se debe conocer la naturaleza de cada sémola en cuestión.
- Temperatura del agua de ingreso: según el tipo de sémola que se esté procesando, saber la relación entre agua fría y caliente que debe ingresar para conseguir la temperatura requerida en el preamasado y asegurar la calidad del gluten en formación.
- La relación exacta entre la temperatura de cada sección de la línea y el tiempo que el producto se mantiene en ellas: como ya se ha mencionado, a menor velocidad de la línea la temperatura debe ser menor a la nominal y es por ello que la temperatura de cada sección debe estandarizarse a valores específicos en función de dicha velocidad.
- Saber medir la humedad y como regularla: conocer el porcentaje de humedad que pierde el producto según la apertura de los extractores para controlarla eficientemente, también se debe tener noción exacta de la relación entre la salida de humedad y la cantidad en la pasta, para modificar la apertura del menor número de extractores posible y preferiblemente modificar únicamente los valores de temperatura.
- La función de cada equipo y si esta se desempeña adecuadamente: con el fin de indicar a electromecánico cuando ocurra un fallo en la línea e identificar la naturaleza de la avería en el equipo responsable.

- La temperatura y humedad de control del producto al final del pre secado, secadero, humidificador y enfriador: para saber a qué valores de los mencionados debe estar la pasta y modificar los valores de las secciones posteriores de ser necesario.
- La dirección y naturaleza de los fluidos que transportan las tuberías hacia la línea: aunado a la identificación de desperfectos, se debe saber a qué partes de la línea llega cada fluido y hacia dónde se dirige.
- Medidas básicas de higiene: para prevenir la contaminación del producto el operario y los auxiliares deben seguir normativas claras para evitar contaminación directa o indirecta, especialmente al enviar producto a reproceso.

3.4. Optimización y control de los equipos auxiliares

Se listan valores específicos y las medidas para cuando se presentan fallos.

3.4.1. Condiciones de funcionamiento

Los valores corresponden a las magnitudes que deben trabajar los equipos auxiliares en todo momento para mantener un ritmo óptimo de producción.

Tabla XXIII. Valores ideales de equipos auxiliares

Equipo	Valores de trabajo	Valores de funcionamiento/cantidades recomendadas adicionales
Chiller	Temperatura del agua de enfriamiento: 18 °C	Cantidad de refrigerante por sistema: 95 Kg
		Cantidad de aceite por sistema: 10,1 L
		Volumen de agua: 220 L
		Presión máxima de agua: 10,3 bar
Caldera de agua caliente	Temperatura del agua caliente: 147,0 °C	Presión máxima del refrigerante: 16,2 bar
		Presión de trabajo: 10,34 bar
		Temperatura de calentamiento: 220 °C
		Frecuencia: 60 Hz
Compresor	Presión del aire comprimido: 8 bar	Potencia media: 500 HP
		Presión de trabajo: 8,62 bar
		Caudal: 0,09 m³/s
		Potencia del motor: 40 HP

Fuente: empresa.

3.4.2. Operaciones de contingencia

Cuando la temperatura del agua de enfriamiento sube se debe a desperfectos en el *chiller*; cuando la temperatura del agua caliente disminuye se debe a fallos en la caldera y cuando los elementos neumáticos no trabajan con la presión suficiente es por desperfectos en el sistema de aire, principalmente los compresores.

Para la inspección y reparación de los equipos auxiliares se emplea personal ajeno a la empresa. Para las fallas más comunes de cada equipo es necesario aplicar las siguientes medidas de contingencia.

Tabla XXIV. **Medidas de contingencia ante las fallas registradas**

Chiller	
Falla	Medidas a tomar
Falla generalizada del sistema 1	Reseteo del sistema 1
Falla del eductor del sistema 1	Modificar la presión de succión
Subida de temperatura del sistema 1	Enfriar intercambiadores de calor/ Enfriar radiadores con agua
Falla arrancador de la bomba de vacío	Restablecer bomba
Falla generalizada del sistema 2	Reseteo del sistema 2
Desperfectos en bomba de envío	Revisar elementos rotatorios y lubricación/ Comprobar presión de trabajo
Baja de presión en sistema 1	Restablecimiento del compresor
Aumento de presión en sistema 1	Restablecimiento del compresor
Subida de temperatura en el sistema 2	Enfriar intercambiadores de calor/ Enfriar radiadores con agua
Bloqueo en bombas de recirculación	Desarmar bomba y girar el tornillo manualmente con destornillador adecuado
Falla del arrancador del sistema 1	Purga del sistema 1
Falla del eductor del sistema 2	Modificar la presión de succión
Falla en terminales de motor de bomba de envío	Cambio de todas las terminales del motor de la bomba
Disparo de bomba de envío	Reseteo de la bomba
Caldera de agua caliente	
Falla	Medidas a tomar
Incremento de la presión interna	Cierre de llave de aire comprimido/ Presurización del sistema
Fusible quemado	Reemplazo de fusible
Obstrucción en sección de caldera	Purga de caldera y <i>manifold</i>
Falla en bomba de recirculación	Reseteo de la bomba
Compresor	
Falla	Medidas a tomar
Falla en motor del compresor	Reseteo del motor
Fuga en visor de aceite	Ajuste de pieza desfasada
Baja presión de aire comprimido	Cambio de posición del contactor del <i>blower</i>

Fuente: elaboración propia, con información del departamento de mantenimiento.

Los fabricantes de cada equipo sugieren una serie de posibles causas a problemas específicos que pudieran darse en sus equipos, así como sus soluciones, lo cual se muestra a continuación.

Tabla XXV. Resolución de problemas en *chiller*

Problema	Posibles causas	Acciones
No funciona la unidad del panel de control, no aparecen valores en pantalla	No hay alimentación al panel	Revisar pérdida de voltaje
		Revisar 1FU, 2FU, 4FU, 5FU, 17FU o 19FU
		Revisar transformadores 2T o 10T
	Se ha quemado un fusible	Revisar fusibles
	Tablero de control defectuoso	Reemplazar tablero de control
	Tablero de visualización defectuoso	Reemplazar tablero
Se queman los fusibles de línea	Diodo modular SCR defectuoso	Revisar diodo modular SCR
	Módulo IGBT defectuoso	Revisar módulo IGBT
	Tablero lógico VSD defectuoso	Reemplazar tablero lógico VSD
	Tablero accionador SCR defectuoso	Reemplazar tablero SCR
Falla del refrigerante: baja temperatura ambiental	Temperatura ambiente es menor al límite programado	Revisar la temperatura del aire exterior con termómetro
	Sensor de ambiente defectuoso	Comparar medida del sensor contra la medida real
Falla del refrigerante: alta temperatura ambiental	Temperatura ambiente es mayor al límite programado	Revisar la temperatura del aire exterior con termómetro
	Sensor de ambiente defectuoso	Revisar la temperatura del aire exterior con termómetro
Falla del refrigerante: salida baja del líquido enfriado	La temperatura del líquido enfriado que sale cae más rápido de lo que la unidad puede descargarlo	Revisar por flujo restringido
		Revisar por cambios rápidos de flujo
		Bucle de agua muy pequeño
	Sensor del agua enfriada defectuoso	Flujo está debajo del mínimo
		Comprobar lectura del sensor
		Posible operación intermitente del sensor
		Revisar cableado por cortos
Falla control de voltaje	Fusible del sistema quemado	Revisar fusible 20FU o 21FU
Falla de sistema: alta temperatura de aceite	Sensor de temperatura de aceite defectuoso	Revisar sensor con infrarrojo, verificar veracidad de lectura
	Ventiladores del condensador defectuosos	Revisar los ventiladores
	Bobinas sucias	Revisar y limpiar bobinas

Continuación de la tabla XXV.

Falla de sistema: alta presión de descarga	Bobinas sucias	Revisar y limpiar bobinas
	Bobinas dañadas	Cepillar las aletas
	Los ventiladores no están operando	Revisar fusibles de ventiladores
		Revisar motor de ventilador
Falla de sistema: alta temperatura de descarga	Sistema sobrecargado	Remover carga excesiva
	Sensor defectuoso	Revisar sensor
	Ventiladores del condensador no operan	Revisar los ventiladores
	Bobinas sucias	Revisar y limpiar bobinas
Falla de sistema: alta temperatura en el motor	Alto sobrecalentamiento	Medir con termocopla y verificar
	Se ha realizado input de alta temperatura en el motor desde uno de los sensores	Revisar carga de refrigerante
		Revisar exceso de carga
		Revisar el control de las válvulas de llenado y drenado
		Ignorar lectura de un sensor
Revisar fuga en válvula		
Falla de sistema: baja presión de succión	Carga baja	Revisar sub enfriamiento
	Lectura incorrecta de transductor	Verificar lectura de transductor mediante calibración
	Falla en sensor de succión	Verificar con termocopla
	Flujo bajo	Revisar flujo
	Válvula de drenado de condensado defectuosa	Revisar operaciones de llenado y drenado de la válvula
Falla de sistema: presión de descarga limitada	Falla transductor de descarga	Revisar transductor mediante calibración
	Temperatura ambiental alta	Operación normal
	Ventiladores no operan	Revisar ventiladores
	Se ha programado el límite	Operación normal
Estatus del sistema: corriente del motor limitada	Un control anticipatorio debido a la alta corriente del motor ha activado la limitación de la corriente	Respuesta normal del controlador
		Respuesta normal
		Ajustar exceso de carga
		Limpiar bobinas del condensador
		Revisar ventiladores
Falla VSD: alta temperatura en la base	Bajo nivel de refrigerante	Añadir refrigerante
	Bomba de glicol defectuosa	Remplazar bomba de glicol
	Tablero VSD defectuoso	Remplazar tablero VSD
	Módulo IGBT defectuoso	Revisar módulo IGBT

Fuente: Johnson Controls. *Air-cooled screw liquid chillers installation, operation, maintenance.*

p. 145-147.

Tabla XXVI. Resolución de problemas en calderas

Problema	Causas principales	Causas secundarias
La caldera no arranca	No hay voltaje en las terminales de entrada del programa de potencia del relé	Interruptor de desconexión principal abierto
		Fusible de control quemado
		Conexión eléctrica rota
	Interruptor de seguridad del relé requiere reseteo	
	Límite del circuito incompleto, sin voltaje al final del límite del programa de potencia del relé	Presión o temperatura muy alta
		Agua debajo del nivel requerido
	Presión de combustible inadecuada	
Circuito de entrelazado de la válvula de combustible roto	Interruptor de la válvula de combustible auxiliar abierto	
No hay ignición	Falta de chispa	Electrodo cimentado o porcelana roto
		Electrodo mal ajustado
		Terminal o cable de ignición suelto
		Transformador de ignición inoperante
		Sin voltaje en la terminal del circuito de ignición piloto
	Hay chispa pero no hay llama	Falta combustible/presión de gas
		Solenoide piloto inoperante
		Sin voltaje en la terminal del circuito de ignición piloto
		Demasiado aire
	Interruptor de fuego bajo abierto en circuito de prueba	Motor amortiguador abierto
		Amortiguador atorado
	Circuito de entrelazamiento incompleto	Interruptores de aire defectuosos
	Contacto de motor entrelazador abierto	
Detector de flama defectuoso	Tubo de visión obstruido, lentes sucias	
Flama piloto insuficiente		
Hay flama piloto pero no hay flama principal	Unidad de gas	Llave manual de gas cerrada
		Válvula de gas principal inoperante
		Regulador de presión de gas inerte
	Unidad de aceite	Suministro cerrado por obstrucción, válvula cerrada o falta de succión
		Bomba de alimentación inoperante
		Falta de combustible
		Válvula principal de aceite inoperante
		Revisar boquilla de aceite y líneas
Detector de flama defectuoso	Tubo de visión obstruido, lentes sucias	
Falta de voltaje en la terminal principal del circuito de la válvula de combustible		

Continuación de la tabla XXVI.

La caldera permanece en bajo fuego	Presión o temperatura altos		
	Interruptor automático - manual en mala posición		
	Motor modulador inoperante		
	Falla control modulador		
	Levas, tornillos sueltos		
Ocurre apagado durante el encendido	Falla suplemento de combustible		
	Falla válvula de combustible	Conexión eléctrica suelta	
	Detector de flama defectuoso		
	Control de seguridad abierto		
	Lente sucio o tubo obstruido		
	El interruptor de bloqueo de programador ha fallado	Revisar válvulas y líneas de combustible	
		Revisar detector de flama	
		Revisar circuitos abiertos	
	Razón de aire/combustible inadecuada	Malas conexiones	
		Amortiguador pegado abierto	
Suplemento de combustible fluctúa			
Falla dispositivo entrelazador			
Motor modulador inoperante	Interruptor automático – manual en posición inadecuada		
	Vínculo suelto o atascado		
	El motor no conduce a abierto o cerrado durante pre purga o cerrado al apagar la caldera	Motor defectuoso	
		Conexión eléctrica suelta	
		Transformador del motor amortiguador defectuoso	
	El motor no opera a la demanda requerida	Interruptor automático – manual en posición inadecuada	
		Control modulador mal puesto o inoperante	
		Motor defectuoso	
		Conexión eléctrica suelta	
	Transformador del motor amortiguador defectuoso		

Fuente: Cleaver Brooks. *Model ICB Packaged Boiler Operation, Service and Parts*. p. 136-139.

Tabla XXVII. **Resolución de problemas en la red de aire**

Problema	Soluciones
El compresor trabaja a temperatura demasiado alta	Limpiar el enfriador y revisar si hay restricciones en el flujo de aire. Para unidades que se enfrían con agua revisar el flujo de agua, presión y calidad. Revisar nivel de aceite y añadir más si es requerido. Verificar también que la temperatura del ambiente no sea demasiado alta.
La presión de aire en el punto de utilización es demasiado baja	Revisar que la presión de aire programada sea la adecuada considerando la baja de presión a través del secador, los filtros y el sistema de tubería. La demanda de aire comprimido podría exceder la capacidad, por lo que podría requerirse mayor capacidad de compresión. Revisar fugas en las líneas de aire o uso inapropiado.
La vida útil del filtro es demasiado corta	Utilizar piezas de la misma marca, filtros genéricos podrían no cumplir los criterios de radio de micrón, capacidad de contaminación y bajas de presión. Utilizar pre filtros especiales y aire frío desde una locación limpia si el compresor se encuentra en un ambiente polvoriento.
Hay agua o aceite en el punto de utilización del aire comprimido	Revisar las trampas de separación/drenado de los secadores y revisar si hay condensado contaminado. Secadores desecantes requieren pre filtros y cambio periódico de desecante. Revisar operación de las trampas de drenado y que el tamaño del filtro sea el apropiado. Asegurarse que el sistema esté diseñado para subidas de flujo.
La vida útil de los cartuchos de filtro es demasiado corta	Asegurarse que el tamaño y secuencia de instalación del filtro sean adecuados. Colocar un filtro más grueso frente al filtro previo para líquidos más densos.
Aún con un secador se presenta agua en las líneas de aire	Revisar si alguna trampa de drenado está defectuosa, revisar además anualmente todas las trampas. Asegurarse que el tamaño del secador sea el adecuado.

Fuente: Kaeser Kompressoren. *A Guide to Cost Savings with Air System Maintenance*.

<http://pdf.directindustry.com/pdf/kaeser-compressors/air-system-maintenance-guide-5/68092-177033.html>. Consulta: junio de 2017.

3.5. Automatización y control del proceso

Para determinar la eficiencia de la modulación de los dispositivos responsables de controlar la entrada de materia prima y otros elementos esenciales para el funcionamiento de la línea, se realizaron 30 mediciones correspondientes al desfase en la llegada de dichos elementos según el *set point* programado y el tiempo en el que dicha cantidad era corregida.

3.5.1. Tiempos y exactitud de respuesta

Debido a que las mediciones se realizaron a lo largo de un período de 10 días, se presenta el desfase porcentual de las magnitudes del *set point* según haya sido programado cada vez.

3.5.1.1. Agua fría

El *set point* de esta variable depende del porcentaje de apertura al que se programan las válvulas de entrada del elemento.

Tabla XXVIII. **Tiempos y modulación de la entrada de agua fría**

No.	Porcentaje de desviación	Tiempo de corrección
1	1,79 %	3,18 min.
2	3,71 %	6,28 min.
3	1,23 %	9,87 min.
4	3,50 %	2,35 min.
5	3,37 %	2,86 min.
6	3,55 %	2,71 min.
7	3,70 %	1,80 min.
8	4,94 %	3,59 min.
9	2,93 %	3,21 min.
10	1,10 %	2,87 min.
11	1,05 %	4,93 min.

Continuación de la tabla XXVIII.

12	7,40 %	2,65 min.
13	0,86 %	7,62 min.
14	1,60 %	2,15 min.
15	0,73 %	3,98 min.
16	1,17 %	6,82 min.
17	1,15 %	4,97 min.
18	0,45 %	1,56 min.
19	2,35 %	0,55 min.
20	1,23 %	0,26 min.
21	0,97 %	0,17 min.
22	0,93 %	0,12 min.
23	1,12 %	0,61 min.
24	0,45 %	1,28 min.
25	0,88 %	6,21 min.
26	3,67 %	5,34 min.
27	1,00 %	5,02 min.
28	1,49 %	4,91 min.
29	2,33 %	1,03 min.
30	4,78 %	3,71 min.

Fuente: elaboración propia.

Las mediciones No. 11, 15, 18, 22 y 24 corresponden a valores que indican cuando la cantidad de agua fría recibida fue menor a la requerida, el resto corresponde a desfases cuando la cantidad recibida fue mayor a la pedida.

El promedio de desfase mediciones arriba del *set point* fue de 2,47 %, mientras que el promedio de desfase de las mediciones debajo del mismo fue de 0,72 %. El promedio del tiempo de corrección de todos los desfases fue de 3,42 minutos.

3.5.1.2. Agua caliente

El *set point* de esta variable también depende del porcentaje de apertura al que se programan las válvulas de entrada del elemento.

Tabla XXIX. **Tiempos y modulación de entrada de agua caliente**

No.	Porcentaje de desviación	Tiempo de corrección
1	0,40 %	0,65 min.
2	0,34 %	0,27 min.
3	0,45 %	0,61 min.
4	0,53 %	0,57 min.
5	0,32 %	0,43 min.
6	0,42 %	0,56 min.
7	0,44 %	0,59 min.
8	0,50 %	0,14 min.
9	0,47 %	0,12 min.
10	0,24 %	3,27 min.
11	0,65 %	0,54 min.
12	0,34 %	1,99 min.
13	0,39 %	0,62 min.
14	0,40 %	0,58 min.
15	0,36 %	0,45 min.
16	0,31 %	0,26 min.
17	0,37 %	0,67 min.
18	0,45 %	0,63 min.
19	0,39 %	0,71 min.
20	0,46 %	0,74 min.
21	0,36 %	0,49 min.
22	0,33 %	0,42 min.
23	0,50 %	0,19 min.
24	0,42 %	0,78 min.
25	0,34 %	1,05 min.
26	0,54 %	0,87 min.
27	0,66 %	0,95 min.
28	0,46 %	0,67 min.
29	0,43 %	0,71 min.
30	0,50 %	0,32 min.

Fuente: elaboración propia.

Las mediciones No. 5, 10 y 16 corresponde a valores que indican cuando la cantidad de agua caliente recibida fue menor a la requerida, el resto corresponde a desfases cuando la cantidad recibida fue mayor a la pedida.

El promedio de desfase de mediciones arriba del *set point* fue de 0,44 %, mientras que el promedio de desfase de las mediciones debajo del mismo fue de 0,29 %. El promedio del tiempo de corrección de todos los desfases fue de 0,70 minutos.

3.5.1.3. Aire

El *set point* de esta variable depende de la presión de aire comprimido requerida de los compresores.

Tabla XXX. **Tiempos y modulación de entrada de aire**

No.	Porcentaje de desviación	Tiempo de corrección
1	6,74 %	1,80 min.
2	5,06 %	2,70 min.
3	4,89 %	2,40 min.
4	4,71 %	2,76 min.
5	6,66 %	3,36 min.
6	5,13 %	3,30 min.
7	4,97 %	1,74 min.
8	0,84 %	1,77 min.
9	4,80 %	2,52 min.
10	5,19 %	1,89 min.
11	5,10 %	2,61 min.
12	5,23 %	1,53 min.
13	4,87 %	3,39 min.
14	4,94 %	2,64 min.
15	4,04 %	4,17 min.
16	4,30 %	3,27 min.
17	2,61 %	0,93 min.
18	4,39 %	2,13 min.

Continuación de la tabla XXX.

19	2,87 %	0,96 min.
20	5,23 %	1,71 min.
21	1,77 %	0,51 min.
22	4,27 %	1,44 min.
23	3,80 %	2,67 min.
24	4,09 %	1,68 min.
25	3,54 %	2,76 min.
26	3,20 %	2,25 min.
27	3,44 %	1,84 min.
28	3,26 %	2,19 min.
29	2,70 %	2,05 min.
30	2,56 %	2,66 min.

Fuente: elaboración propia.

Las mediciones No. 8, 17, 21, 29 y 30 corresponden a valores que indican cuando la cantidad de aire comprimido recibido fue mayor a la requerida, el resto corresponde a desfases cuando la cantidad recibida fue menor a la pedida.

El promedio de desfase mediciones debajo del *set point* fue de 4,66 %, mientras que el promedio de desfase de las mediciones arriba del mismo fue de 2,23 %. El promedio del tiempo de corrección de todos los desfases fue de 2,25 minutos.

3.5.1.4. Harina

El *set point* de esta variable depende de la cantidad de sémola que se programe para recibir desde el área de silos en la sección de premezcla de la línea.

Tabla XXXI. **Tiempos y modulación de entrada de harina**

No.	Porcentaje de desviación	Tiempo de corrección
1	1,23 %	9,16 min.
2	1,41 %	2,71 min.
3	5,19 %	10,48 min.
4	0,97 %	2,35 min.
5	1,65 %	3,67 min.
6	5,66 %	6,82 min.
7	2,26 %	3,08 min.
8	0,90 %	2,35 min.
9	7,54 %	8,06 min.
10	1,70 %	2,49 min.
11	2,52 %	5,20 min.
12	1,18 %	2,27 min.
13	1,46 %	3,96 min.
14	5,00 %	7,77 min.
15	11,08 %	7,99 min.
16	6,13 %	4,29 min.
17	2,55 %	3,37 min.
18	6,32 %	6,74 min.
19	9,90 %	14,29 min.
20	13,67 %	4,76 min.
21	9,12 %	8,79 min.
22	10,84 %	2,93 min.
23	2,48 %	4,03 min.
24	12,73 %	6,96 min.
25	6,62 %	7,42 min.
26	10,28 %	13,21 min.
27	6,34 %	6,18 min.
28	2,87 %	3,59 min.
29	3,76 %	3,91 min.
30	8,98 %	9,03 min.

Fuente: elaboración propia.

Las mediciones No. 1 y 2 corresponde a valores que indican cuando la cantidad de harina recibida fue menor a la requerida, el resto corresponde a desfases cuando la cantidad recibida fue mayor a la pedida.

El promedio de desfase mediciones arriba del *set point* fue de 5,70 %, mientras que el promedio de desfase de las mediciones debajo del mismo fue de 1,32 %. El promedio del tiempo de corrección de todos los desfases fue de 5,93 minutos.

De los datos anteriores se deduce que los desfases por ingreso de agua fría y agua caliente, tanto en cantidades por encima y por debajo de su *set point*, se encuentran dentro de un rango aceptable, inferior a 3 %, pero el tiempo de corrección de las válvulas que alimentan el agua fría es elevado, por lo que se sugiere la calibración del sistema de válvulas para reducir el tiempo.

El porcentaje de desfase del ingreso de aire comprimido, especialmente por falta de aire, es elevado y su tiempo de corrección también es considerable, como dicho valor depende tanto de la demanda de las demás líneas en planta como del estado y funcionamiento del sistema de aire de la empresa. Únicamente se sugiere la manutención rutinaria del sistema para detectar y corregir posibles fallos en el menor tiempo posible.

El desfase por exceso en el ingreso de sémola, así como el tiempo de corrección, es elevado, lo cual causa paros en línea por llenarse la sección de acúmulo y tener que esperar a que se liberen las empacadoras.

Sin embargo, como la alimentación de harina depende, aparte de los sistemas en línea, de la coordinación del personal de producción con el área de silos, se sugiere calibrar los sistemas que controlan el ingreso de sémola antes de la premezcla y una comunicación constante y clara con el personal del área de silos.

4. DESARROLLO DEL PROCESO

4.1. Ajustes en la maquinaria

Luego de analizar la evaluación técnica, se procede a listar los elementos de los equipos, tanto los que pertenecen a la línea como los que pertenecen a los equipos auxiliares, que presentan fallos recurrentes y retrasan significativamente el proceso de producción. No se consideran necesarios de consideración los inconvenientes que son resueltos mediante ajustes rutinarios o durante el mantenimiento preventivo programado.

4.1.1. Reparaciones

Durante el análisis de la maquinaria no se identificaron equipos que requieran de reparación alguna para corregir su funcionamiento, debido a que todos los equipos auxiliares analizados cuentan con un tiempo de uso relativamente corto, entre tres y siete años aproximadamente. Por ello los componentes que presentan fallos son elementos menores los cuales resulta económica y prácticamente más viable reemplazar.

De igual forma, ningún componente sofisticado de la línea presenta fallos que retrasen la producción y, al igual que los equipos auxiliares, los componentes que obstaculizan el proceso son elementos menores de la maquinaria, por lo cual resulta más efectivo su reemplazo que considerar su reparación. Debido a todo lo anterior, no existen costos de reparación de maquinaria por considerar para la optimización de la línea de producción.

4.1.2. Reemplazos

A continuación se presentan los elementos de la maquinaria que es prudente reemplazar o adquirir para minimizar los paros de producción, considerando los fallos mecánicos eléctricos más comunes que fueron analizados anteriormente.

Tabla XXXII. Equipos necesarios para optimización

Equipo	Condición actual	Reemplazos/Adquisiciones
Empacadoras (Balanzas)	Tres de las empacadoras emplean tarjetas electrónicas para ejecutar comandos y leer los sensores de cantidad de producto, las cuales fallan debido al sobrecalentamiento propiciado por una pobre ventilación. Se necesita de cuatro ventiladores en cada una de dichas empacadoras para asegurar su correcto funcionamiento.	<ul style="list-style-type: none"> • 1 Ventilador para la empacadora No. 1 • 3 Ventiladores para la empacadora No. 2 • 4 Ventiladores para la empacadora No. 3
Empacadoras (Empaques de hule)	Tres de las empacadoras emplean empaques de hule, los cuales se dañan cada 8 días, mientras que los originales presentan duración aproximada de 3 meses.	<ul style="list-style-type: none"> • 12 Empaques de hule originales (para 1 año de trabajo)
<i>Chiller</i>	Las fallas más comunes que ameritan mantenimiento correctivo se deben a lecturas erróneas de los valores de flujo y presión del fluido refrigerante.	<ul style="list-style-type: none"> • 4 Sensores de flujo • 4 Sensores de presión
Calderas	El servomotor se desfasa de su posición constantemente requiriendo ajuste.	<ul style="list-style-type: none"> • 1 Tarjeta de posición del servomotor
Compresores	1 radiador presenta fuga y 1 válvula de purga no filtra el condensado correctamente, poniendo en riesgo los elementos neumáticos de la línea.	<ul style="list-style-type: none"> • 1 Radiador • 1 Válvula de purga

Fuente: elaboración propia.

Anteriormente se determinó que las termo coplas y el pistón de freno en el área de empaque eran causantes de paros de producción significativos, sin embargo, dichos problemas ya han sido solucionados al momento de este análisis.

4.1.3. Mano de obra calificada de mantenimiento

Como se mencionó al principio, no se listaron como reparaciones aquellos ajustes propios del mantenimiento preventivo aunque hay que recordar los paros de producción causados por tres de los cinco equipos identificados como los componentes de la línea responsables de la mayoría de retrasos en la producción, tales como las cañas, el *clutch* del elevador y la unidad de separación, que presentan problemas derivados de una única causa: desincronización de las cadenas que movilizan las cañas.

La línea cuenta con dos cadenas que la recorren paralelamente a ambos lados y cuya función es transportar las cañas, la desincronización ocurre cuando el tensor de una de ellas se afloja, lo cual hace variar el movimiento de una cadena respecto de otra y esto provoca los atasques mencionados.

Para corregir el problema se deben ajustar los *clutches* de las cadenas para tensarlas hasta que un indicador señale la posición correcta, de esa forma se alinean las cadenas desfasadas y se previene el 43 % del tiempo de paro de producción; salvo casos de emergencia, el ajuste de las cadenas se realiza aproximadamente cada 2 o 3 meses. Sin embargo, durante el tiempo en el cual se determinaron los fallos mecánicos eléctricos más comunes, el mayor tiempo que la línea estuvo en operación sin entrar en periodos de limpieza/mantenimiento preventivo fue de 32 días, hubo también ciclos de producción continua más cortos, de 26, 13 y 10 días entre otros, por lo cual, para

reducir al máximo los paros de producción debido a la causa anterior, se recomienda programar el ajuste de todos los *clutches* de las cadenas siempre que finalice el ciclo de producción programado.

El carrito repartidor localizado en el área de amasado, responsable del 15 % del tiempo de paro de producción, causa inconvenientes debido a que la materia prima que se desborda por los lados de los moldes. Ocasionalmente se introduce entre las hendiduras del transporte que moviliza el producto hasta la extendedora, lo cual hace que se tape y se atasque. Para prevenirlo basta que los operarios o el personal auxiliar remuevan el producto de dichas hendiduras, lo cual puede hacerse sin detener la producción.

Rutinariamente los operarios realizan esta labor aproximadamente cada tres horas o cuando reciben la señal de obstrucción en el tablero de control, por lo que se recomienda realizar inspecciones constantes entre una y dos horas durante el ciclo de producción para minimizar el tiempo de paro por dicha causa y que los colaboradores auxiliares revisen constantemente el área debajo de los moldes en búsqueda de taponamientos adicionales.

El personal de mantenimiento está plenamente capacitado, tanto para llevar a cabo las actividades anteriores como para reemplazar cualquier componente de la línea y realizar cualquier ajuste pertinente en la misma. De todas maneras, al haber sido adquiridos mediante empresas externas, los reemplazos y ajustes de todos los componentes de los equipos auxiliares deben ser ejecutados por los mismos proveedores o empresas calificadas por los mismos. Aún así, es labor del personal de mantenimiento tomar e interpretar las lecturas de los valores de trabajo de los equipos para verificar si su funcionamiento es adecuado e identificar cualquier posible desperfecto con el fin de repararlo antes de recurrir al mantenimiento correctivo.

4.1.4. Resultados esperados

Se estima que al priorizar el ajuste de los *clutches* para tensar las cadenas cada vez que la línea entre en paro programado, los retrasos relacionados con el desfase de cañas se reducirán como mínimo a un tercio de las incidencias actuales considerando que no será necesario esperar a que ocurra un desfase para tensar las cadenas en todas las áreas y que la desincronización ocurriría de forma mucho menos frecuente.

Las balanzas de las tres primeras empacadoras constituyen el 75 % de los equipos empleados en el área de empaque y su mal funcionamiento representa la única causa ponderable de retrasos continuos en el área de empaquetado, al solucionar el problema se reducirá al 25 % del tiempo actual los minutos de paro provocado por dicha área.

Al utilizar empaques de hule originales se empleará uno de estos por cada 12 de los empleados actualmente, previniendo posibles paros al tener que reemplazarlos constantemente.

Solamente con las modificaciones propuestas para las balanzas se estima que se evitará el costo asociado al reproceso de ocho paquetes de producto terminado por cada hora de producción y la pérdida de su material de empaque correspondiente.

Al remover constantemente los taponamientos que impiden el movimiento del carrito repartidor se espera reducir los paros por atasque al menos al 50 % de las incidencias actuales.

Al corresponder las reparaciones de los equipos auxiliares únicamente a personal externo, la prevención de paros derivados de inconvenientes de los mismos se limita a llevar el control del estado de operación mediante el monitoreo constante de sus valores, con los nuevos sensores de flujo y presión se espera detectar con mayor antelación posibles fallos en el *chiller* y reducir de manera conservadora en un tercio las incidencias actuales del mismo.

Los reemplazos indicados para las calderas y compresores no van orientados a disminuir el tiempo de paro actual causado por ellos, sino a mantener los valores bajos del mismo. En la caldera se prevendrán problemas en el servomotor responsable de la circulación del agua. Con la nueva válvula de purga se prevendrán posibles deterioros en las partes de la línea conectadas al sistema neumático debido al condensado contenido en las tuberías.

4.2. Mejora de las operaciones de producción

A continuación se listan las acciones específicas que el personal interno debe llevar a cabo en los equipos pertinentes para asegurar que la producción se desarrolle de la forma más uniforme posible al minimizar el tiempo que entra en paro.

4.2.1. En la línea

Se presenta la metodología empleada por el personal de producción para la operación de la línea y los valores óptimos de trabajo determinados para cada sección de las áreas de presecado y secado.

4.2.1.1. Manual de operación

Aparte de las acciones requeridas para disminuir el tiempo actual de paro de la línea correspondiente a los operarios, su función se limita a mantener dentro de los parámetros ideales las temperaturas y humedades en las distintas secciones que componen las áreas de presecado y secado de la línea. Esto se realiza mediante los termorreguladores instalados en las secciones, los cuales reciben señales de las sondas correspondientes y, en el caso de la temperatura, determinan el funcionamiento de las válvulas que controlan el agua caliente para aumentar su caudal si la temperatura debe ser mayor y reducirlo en caso contrario.

En el caso del control de la humedad, las sondas controlan los actuadores neumáticos que regulan la apertura de los extractores de humedad, aumentando dicha apertura si es necesario reducir el porcentaje de humedad relativa y disminuyéndola en caso contrario.

Los operarios controlan los *set point* para determinar los valores anteriores, determinan la temperatura a la cual se debe calentar cada sección y esta señal establece la cantidad de agua caliente que deben permitir las válvulas para que la temperatura del aire resultante de la ventilación sea idóneo. De forma similar el operario controla el porcentaje de humedad relativa que debe tener cada sección y dicha señal fija el porcentaje de apertura que tendrán los extractores de humedad. Esta relación ya está establecida en los parámetros de control del *software* de la línea.

Para determinar los valores de temperatura y humedad relativa que no causan retrasos en la línea y permiten que el producto conserve su calidad idónea, se realizó durante un período aproximado de cuatro meses el monitoreo

de dichos valores a lo largo de varias jornadas de producción. Se tomaron como valores ideales aquellos en los cuales la línea operase sin problemas y sin necesidad de modificarlos durante períodos continuos de dos horas. Estos se tabularon, se calculó su medida exacta y finalmente se determinó un rango en el cual deben ser mantenidos en todo momento.

La tabulación se realizó cuando la línea trabajaba a su velocidad nominal y cuando lo hacía en su velocidad más lenta, 90 cañas/hora menos; posteriormente se calcularon los valores de operación a velocidad media-baja (70 cañas/hora menor de la velocidad nominal) y a velocidad media-alta (20 cañas/hora menor a la velocidad nominal), siendo estas las cuatro velocidades a las que trabaja la línea.

Ya que, según las especificaciones de operación de la línea, los valores de temperatura y humedad poseen una relación directa con la velocidad de esta, el cálculo de los valores de trabajo a velocidad media se realizó mediante una relación lineal tomando como base los valores tabulados.

Primero se muestran los valores de trabajo ideales determinados para la velocidad más lenta y la velocidad nominal y posteriormente los valores ideales calculados para las velocidades medias de la línea.

Las siguientes dos tablas muestran los rangos de temperatura y humedad para cada sección del área de secado, a velocidad lenta, que no causaron retrasos de producción y mantuvieron la calidad idónea del producto, determinados luego de evaluar varios ciclos de producción continua de dos horas, cada uno programando el punto medio de cada rango como el *set point* de cada sección.

Tabla XXXIII. **Magnitudes ideales en presecado a velocidad más baja**

Grupo 1			
Temperatura			
Valor mínimo de trabajo		Valor máximo de trabajo	
66 °C		70 °C	
Grupo 2			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
72,8 °C	77,3 °C	67,9 %	72,1 %
Grupo 3			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
81,5 °C	86,5 °C	66 %	70 %
Grupo 4-5			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
82,5 °C	87,6 °C	73,7 %	78,3 %
Grupo 6-7			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
83,4 °C	88,6 °C	83,4 %	88,6 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. **Magnitudes ideales en secador a velocidad más baja**

Grupo 1			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
79,5 °C	84,5 °C	77,6 %	82,4 %
Grupo 2			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
79,5 °C	84,5 °C	92,2 %	97,9 %
Grupo 3			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
78,6 °C	83,4 °C	75,7 %	80,3 %
Grupo 4			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
78,6 °C	83,4 °C	75,7 %	80,3 %
Grupo 5			
Temperatura			
Valor mínimo de trabajo		Valor máximo de trabajo	
77,6 °C		82,4 °C	
Grupo 6			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
77,6 °C	82,4 °C	76,6 %	81,4 %
Grupo 7			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
72,8 °C	77,3 °C	77,6 %	82,4 %
Grupo 8			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
70,8 °C	75,2 °C	77,6 %	82,4 %

Fuente: elaboración propia.

Las siguientes dos tablas muestran los rangos de temperatura y humedad para cada sección del área de secado, a velocidad nominal, que no causaron retrasos de producción y mantuvieron la calidad idónea del producto, determinados luego de evaluar varios ciclos de producción continua de dos horas, cada uno programando el punto medio de cada rango como el *set point* de cada sección.

Tabla XXXV. **Magnitudes ideales en presecado a velocidad nominal**

Grupo 1			
Temperatura			
Valor mínimo de trabajo		Valor máximo de trabajo	
67,9 °C		72,1 °C	
Grupo 2			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
76,6 °C	81,4 °C	67,9 %	72,1 %
Grupo 3			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
85,4 °C	90,6 °C	67,9 %	72,1 %
Grupo 4-5			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
86,3 °C	91,7 °C	77,6 %	82,4 %
Grupo 6-7			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
87,3 °C	92,7 °C	92,2 %	97,9 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. **Magnitudes ideales en secador a velocidad nominal**

Grupo 1			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
83,4 °C	88,6 °C	77,6 %	82,4 %
Grupo 2			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
83,4 °C	88,6 °C	93,1 %	98,9 %
Grupo 3			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
82,5 °C	87,6 °C	75,7 %	80,3 %
Grupo 4			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
82,5 °C	87,6 °C	76,6 %	81,4 %
Grupo 5			
Temperatura			
Valor mínimo de trabajo		Valor máximo de trabajo	
81,5 °C		86,5 °C	
Grupo 6			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
81,5 °C	86,5 °C	76,6 %	81,4 %
Grupo 7			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
78,6 °C	83,4 °C	79,5 %	84,5 %
Grupo 8			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
76,6 °C	81,4 °C	80,5 %	85,5 %

Fuente: elaboración propia.

Las siguientes dos tablas muestran los rangos de los *set point* de temperatura y humedad para cada sección del área de secado ideales para la velocidad de operación media-baja de la línea, determinados mediante la relación lineal de los *set point* previamente establecidos para las velocidades nominal y lenta de acuerdo con el modo de operación de la línea.

Tabla XXXVII. **Magnitudes ideales en presecado a velocidad media-baja**

Grupo 1			
Temperatura			
Valor mínimo de trabajo		Valor máximo de trabajo	
66,4 °C		70,6 °C	
Grupo 2			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
73,7 °C	78,3 °C	67,9 %	72,1 %
Grupo 3			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
82,5 °C	87,6 °C	66,4 %	70,6 %
Grupo 4-5			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
83,4 °C	88,6 °C	74,7 %	79,3 %
Grupo 6-7			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
84,4 °C	89,6 °C	85,4 %	90,6 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVIII. **Magnitudes ideales en secador a velocidad media-baja**

Grupo 1			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
80,5 °C	85,5 °C	77,6 %	82,4 %
Grupo 2			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
80,5 °C	85,5 °C	92,2 %	97,9 %
Grupo 3			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
79,5 °C	84,5 °C	75,7 %	80,3 %
Grupo 4			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
79,5 °C	84,5 °C	75,7 %	80,3 %
Grupo 5			
Temperatura			
Valor mínimo de trabajo		Valor máximo de trabajo	
78,6 °C		83,4 °C	
Grupo 6			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
78,6 °C	83,4 °C	76,6 %	81,4 %
Grupo 7			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
74,2 °C	78,8 °C	78,1 %	82,9 %
Grupo 8			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
72,3 °C	76,7 °C	78,1 %	82,9 %

Fuente: elaboración propia.

Las siguientes dos tablas muestran los rangos de los *set point* de temperatura y humedad para cada sección del área de secado ideales para la velocidad de operación media-alta de la línea, determinados mediante la relación lineal de los *set point* previamente establecidos para las velocidades nominal y lenta de acuerdo con el modo de operación de la línea.

Tabla XXXIX. **Magnitudes ideales en presecado a velocidad media-alta**

Grupo 1			
Temperatura			
Valor mínimo de trabajo		Valor máximo de trabajo	
67,4 °C		71,6 °C	
Grupo 2			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
75,7 °C	80,3 °C	67,9 %	72,1 %
Grupo 3			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
84,4 °C	89,6 °C	67,4 %	71,6 %
Grupo 4-5			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
85,4 °C	90,6 °C	76,6 %	81,4 %
Grupo 6-7			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
86,3 °C	91,7 °C	90,2 %	95,8 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla XL. **Magnitudes ideales en secador a velocidad media-alta**

Grupo 1			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
82,5 °C	87,6 °C	77,6 %	82,4 %
Grupo 2			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
82,5 °C	87,6 °C	93,1 %	98,9 %
Grupo 3			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
81,5 °C	86,5 °C	75,7 %	80,3 %
Grupo 4			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
81,5 °C	86,5 °C	76,6 %	81,4 %
Grupo 5			
Temperatura			
Valor mínimo de trabajo		Valor máximo de trabajo	
80,5 °C		85,5 °C	
Grupo 6			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
80,5 °C	85,5 °C	76,6 %	81,4 %
Grupo 7			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
77,1 °C	81,9 °C	79,1 %	83,9 %
Grupo 8			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
75,2 °C	79,8 °C	80 %	85 %

Fuente: elaboración propia.

De la misma forma que se determinaron los valores de operación ideales a velocidad nominal y lenta, se determinó el rango en el cual deben mantenerse en todo momento los valores no modificables de la línea, independientemente del tipo de sémola que se utilice o de la velocidad a la que ocurra la producción.

Tabla XLI. **Valores ideales de trabajo de elementos no variables**

Humidificador			
Temperatura		Humedad relativa	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
74,5 °C	77,5 °C	83,3 %	86,7 %
Enfriador			
Temperatura			
Valor mínimo de trabajo		Valor máximo de trabajo	
29,4 °C		30,6 °C	
Temperatura de elementos generales del proceso			
Agua de amasado			
Valor mínimo de trabajo		Valor máximo de trabajo	
37,2 °C		38,8 °C	
Bolsas de amasado			
Valor mínimo de trabajo		Valor máximo de trabajo	
39,2 °C		40,8 °C	
Cilindros			
Cilindro 1		Cilindro 2	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
29,4 °C	30,6 °C	29,4 °C	30,6 °C
Cabezales			
Cabezal 1		Cabezal 2	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
40,2 °C	41,8 °C	40,2 °C	41,8 °C
Radiador de ventilación			
Valor mínimo de trabajo		Valor máximo de trabajo	
73,5 °C		76,5 °C	

Continuación de la tabla XLI.

Velocidad de los tornillos de amasado			
Tornillo 1		Tornillo 2	
Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo	Valor mínimo de trabajo	Valor máximo de trabajo
27,44 rpm	28,56 rpm	27,44 rpm	28,56 rpm

Fuente: elaboración propia.

Los límites mostrados representan el rango en el cual es aceptable la variabilidad de los elementos de la línea dependientes del operador. Sin embargo, dada la naturaleza de la producción, cuando estos valores varían normalmente lo hacen en conjunto, por lo que si un solo valor se encuentra en un límite del rango diferente del resto, el operador debe indagar acerca de la causa y actuar sobre ella. Dicho comportamiento se considera anormal, por lo que idílicamente se recomienda fijar el *set point* de todas las variables en el punto medio de su rango correspondiente y monitorear el comportamiento de su magnitud tomando como guía lo anteriormente determinado.

4.2.1.2. Ajustes de operación

En lo que concierne tanto a los operadores de la línea como a sus auxiliares, los ajustes de operación se limitan básicamente a mantener los valores anteriormente determinados dentro de su rango aceptable mediante la regulación de los *set point*, así como de llevar a cabo las acciones orientadas a obtener los resultados esperados mencionadas previamente. No obstante, es necesario que los operadores den noción al personal de mantenimiento acerca de los inconvenientes más comunes relativos a la producción, para lo cual deben tener conocimiento tanto de las posibles causas de las fallas más comunes en la línea como de los cursos de acción que deben tomarse.

La siguiente información fue provista por los departamentos de mantenimiento y de producción.

Tabla XLII. **Ajustes ante problemas pertinentes a la operación en la línea**

Incidencia	Posibles causas	Soluciones
Cantidad de sémola que ingresa a pre mezcla es insuficiente	Instrumentos encargados de molienda de la sémola no están calibrados	Verificar instrumentos encargados del empaste, la molienda y el circuito que alimenta a la prensa
	Harina se ha compactado en el ciclón de decantación y la alimentación del dosificador	Desmontar los equipos y verificar si hay obstrucciones
	Lectura de sensor errónea	Calibrar sonda y verificar
Cantidad de agua que ingresa a pre mezcla es insuficiente	Presión de agua desde la red es insuficiente	Verificar la instalación de alimentación de agua
	Filtros de agua están obstruidos o sucios	Verificar filtros por obstrucciones y limpiar
	Se ha formado sarro en la válvula reguladora	Verificar válvula por obstrucción y remover
	Se ha formado sarro en la tubería del agua	Verificar interior de los tubos y limpiar
Se atasca la centrífuga en la mezcladora	Excesiva cantidad de materia prima	Reducir pedido de sémola y agua *
	Obstrucción en la boquilla de descarga	Abrir boquilla y remover obstrucción
	Mezcla está muy blanda o pegajosa	Verificar que la proporción de sémola y agua sea la indicada para la mezcla *
Alto/bajo nivel de mezcla en la distribuidora	La cantidad de mezcla es excesiva o muy blanda	Corroborar la cantidad de sémola y agua utilizada *
	El sistema de control es defectuoso	Regular sensor que señala el nivel de la mezcla
Disparo térmico del motor de los tornillos de amasado	La mezcla no es lo suficientemente blanda	Controlar la cantidad de agua y sémola y la consistencia de la mezcla *
Producción de mezcla es inferior a lo indicado	Filtro al final de la pre mezcla está obstruido	Reemplazar filtro
	Alimentación de mezcla a los tornillos de amasado no es la adecuada	Controlar el nivel de la mezcla en la distribuidora y la dosificación *
	Existen grumos en la mezcla	Descartar toda la mezcla que no sea homogénea y verificar el proceso *

Continuación de la tabla XLII.

La pasta se pega en las cañas	La ventilación en los grupos de pasta sobre las cañas es insuficiente	Aumentar cantidad de aire y controlar la abertura de la tubería de alimentación *
	Temperatura del aire en los grupos de pasta sobre las cañas es muy baja	Corroborar el correcto comportamiento del circuito de agua caliente y aumentar su temperatura *
Pasta es demasiado rígida	Temperatura del aire en los grupos de pasta sobre las cañas es muy alta	Disminuir la temperatura en el circuito de agua caliente *
Pasta a la entrada del pre secado está fría y torcida	Poca ventilación y temperatura demasiado baja	Abrir el registro manual hacia el pre secado para aumentar la ventilación, aumentar la temperatura *
Pasta rígida y con marcas blancas verticales	Exceso de aire y temperatura del mismo demasiado elevada	Abrir más el extractor de aire al principio del pre secador y disminuir la temperatura del mismo *
Bloqueo en el retorno de las cañas al principio de la línea	Sobrecarga térmica del motor	Parar motor y reactivar
	Ruptura del reductor de movimiento	Reemplazar reductor
	Corto circuito en el motor	Desactivar y reactivar motor
	Se ha interrumpido la alimentación eléctrica al motor	Reactivar alimentación * Actividades que dependen del operador de la línea.

Fuente: elaboración propia, con información de los departamentos de mantenimiento y de producción.

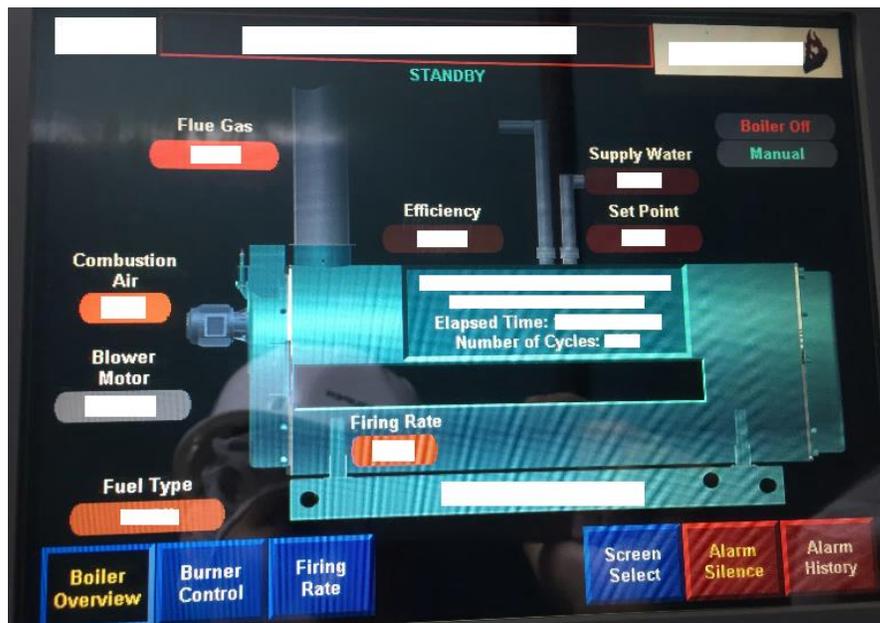
4.2.2. En equipos auxiliares

Se presentan los procedimientos de operación de los equipos auxiliares que debe realizar el personal de mantenimiento, considerando las labores de mantenimiento que competen exclusivamente a personal ajeno a la empresa.

4.2.2.1. Manuales de operación

Como se mencionó anteriormente, las actividades de mantenimiento de los equipos auxiliares corresponden a personal externo a la empresa. Los electromecánicos deben saber los comandos básicos de operación para los equipos, los cuales se limitan esencialmente al encendido, apagado, reseteo y la modificación de los valores de operación, para lo cual se presenta una guía.

Figura 45. Pantalla de estado de la caldera

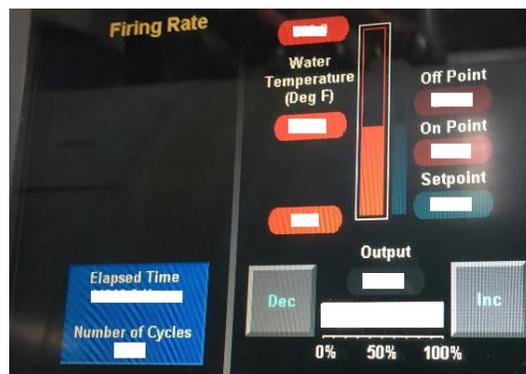


Fuente: empresa.

- Encendido/apagado de la caldera: en la parte derecha debajo de la pantalla táctil está localizado un interruptor que controla esta función. Para encender la caldera se posiciona a lado izquierdo en el valor *on* y para apagarla se posiciona a la derecha en *off*.

- Reseteo de caldera: cuando es necesario reiniciar la caldera se debe a algún problema con la misma, lo cual activa la alarma del equipo, por lo cual para efectuar en reinicio primero se selecciona *Alarm Silence* en la pantalla táctil y luego se presiona el botón de *Reset* localizado en la parte izquierda debajo de la pantalla táctil.
- Modificación de los valores de operación: los únicos valores modificables son el *set point* al cual debe llegar la temperatura de la flama principal, la cual debe ser aproximadamente igual a la temperatura del agua que se impulsa hacia la planta, y el límite superior de temperatura en el cual la caldera debe apagarse automáticamente al sobrepasarlo, además de cambiar el funcionamiento automático de la caldera por uno manual en el que un operador modifique constantemente los valores anteriores.

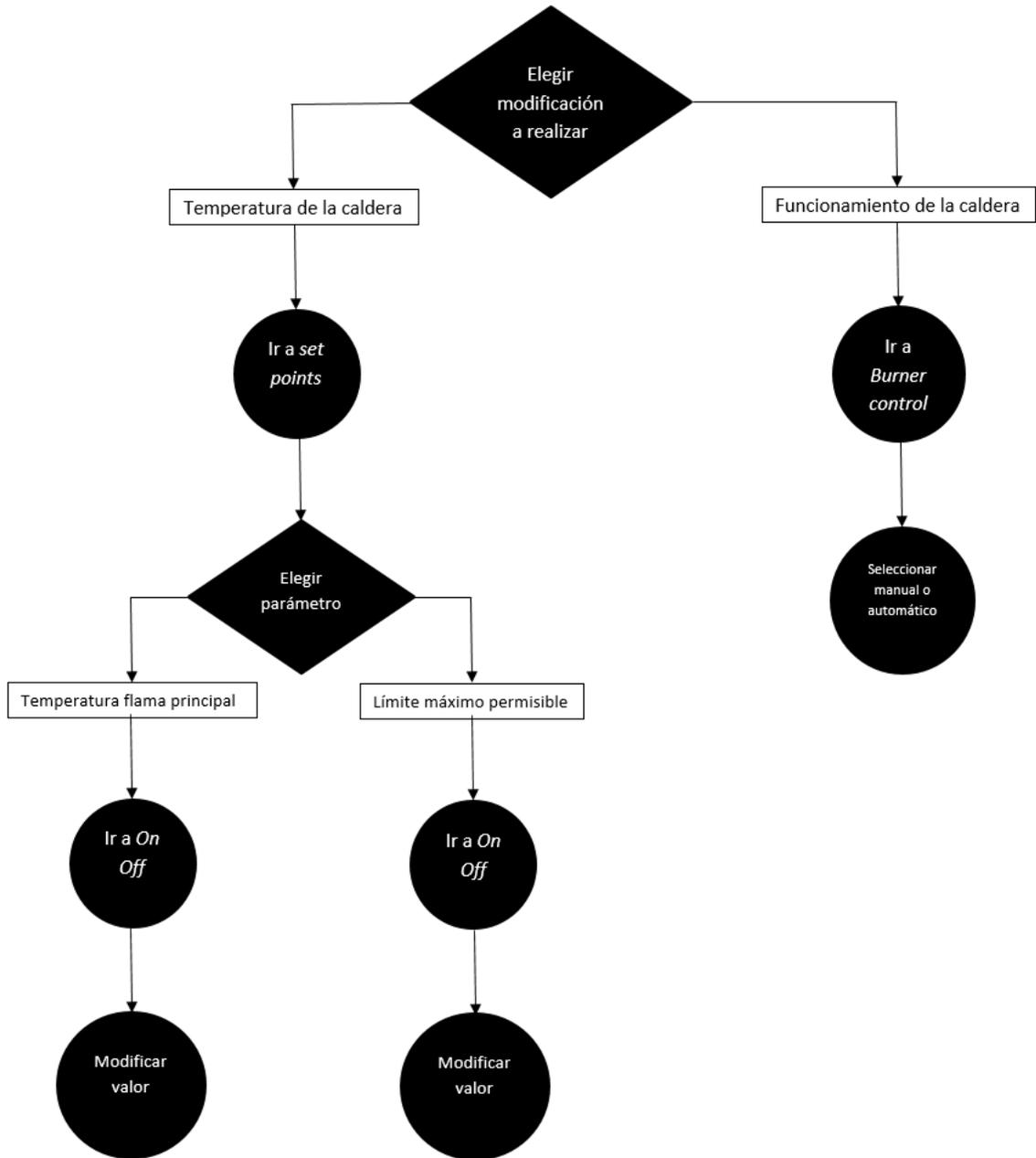
Figura 46. **Indicadores de temperatura de la caldera**



Fuente: empresa.

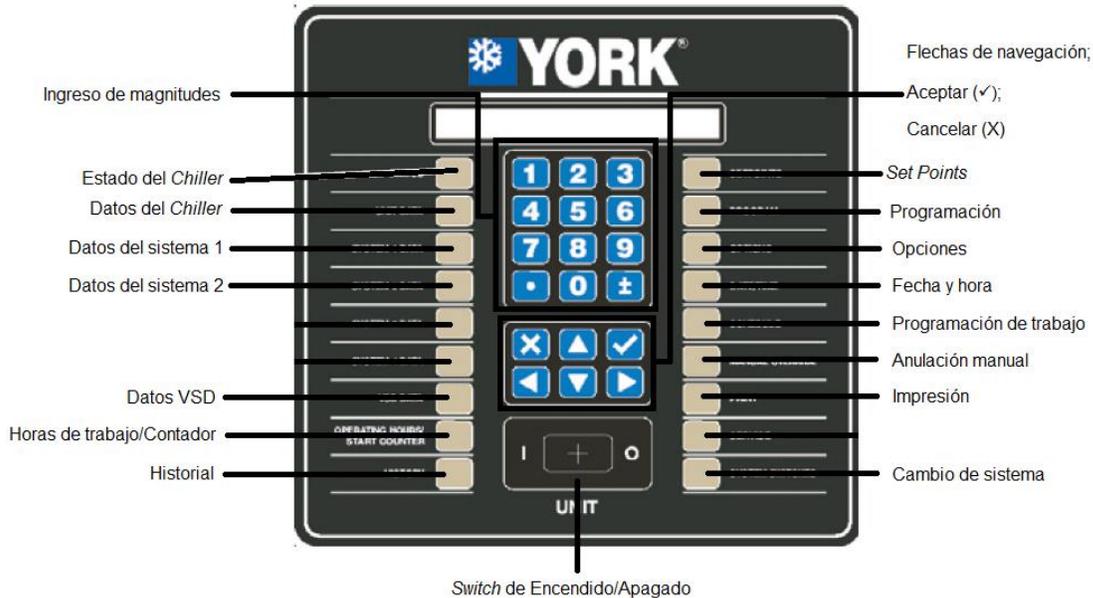
Se representa mediante un diagrama el proceso de modificación de los valores de la caldera.

Figura 47. **Modificación de valores de operación de la caldera**



Fuente: elaboración propia.

Figura 48. Tablero de operación del *chiller*



Fuente: Johnson Controls. *Air-cooled screw liquid chillers installation, operation, maintenance.*
p. 107.

- Encendido/apagado del *chiller*: para encender el equipo se posiciona el interruptor en la parte baja del panel de control hacia la derecha y para apagarlo se coloca el mismo en posición izquierda.
- Reseteo del *chiller*: el procedimiento para reiniciar el *chiller* consiste simplemente en apagar el equipo y encenderlo nuevamente o bien realizar un cambio del sistema dominante en el equipo.
- Modificación de los valores de operación: según las veces que se presione cada botón de comando en el panel de operación, se pueden realizar distintas modificaciones en el *chiller*, por lo cual se presenta la siguiente tabla con la información completa. Algunos comandos son modificables y otros únicamente muestran datos.

Tabla XLIII. Comandos de operación del *chiller*

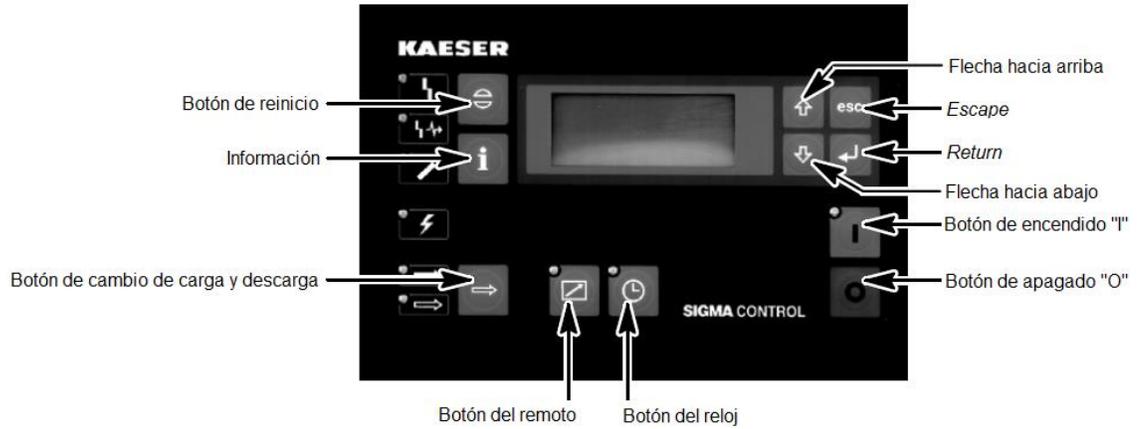
Estado del <i>chiller</i>
Descripción: muestra el estado actual del equipo y del sistema maestro en funcionamiento.
Comandos: 1) Estado del proceso. 2) Demanda de enfriamiento. 3) Fallas del sistema. 4) Fallas del <i>chiller</i> . 5) Fallas en los valores VSD. 6) Advertencias de la unidad. 7) Estado de los dispositivos externos. 8) Límite de carga. 9) Temporizador del ciclo de enfriamiento.
Datos del <i>chiller</i>
Descripción: muestra las magnitudes de temperatura y valores afines.
Comandos: 1) Temperaturas de evaporación y del líquido enfriado de retorno. 2) Temperatura del aire del ambiente. 3) Tiempo restante para la carga y descarga. 4) Rango de discrepancia entre el <i>set point</i> y la temperatura del líquido enfriado saliente. 5) Sistema maestro en actual. 6) Estado de la bomba de evaporación y del calentador. 7) Estado de los parámetros en control por activación remota.
Datos del sistema ½
Descripción: muestra las temperaturas, presiones y otros datos de cada sistema individual.
Comandos: 1) Presiones de los sistemas medidos (aceite y descarga). 2) Presión de la succión y del líquido condensador. 3) Temperaturas del sistema de aceite y del eductor. 4) Temperatura del líquido condensador, límite del sub enfriamiento del líquido y la temperatura de descarga saturada del límite del líquido. 5) Temperatura y sobrecalentamiento de descarga y presión de la descarga saturada en el compresor. 6) Temperaturas del termistor del motor. 7) Velocidad del compresor y si su calentador está encendido. 8) Nivel del tanque y porcentaje de apertura de la válvula economizadora. 9) Sub enfriamiento del límite del líquido condensador y la posición de la válvula de drenaje. 10) Número de ventiladores de condensación que están activados. 11) Estado de los solenoides opcionales VI. 12) Tiempo en que el sistema maestro actual ha estado en funcionamiento.
Datos VSD
Descripción: muestra los valores VSD (<i>Variable Speed Drives</i>), que reducen la velocidad del compresor si la carga es suficientemente baja, de temperatura, voltaje, corriente, entre otros
Comandos: 1) Frecuencia actual y frecuencia de comando. 2) porcentaje de amperios de carga completa (FLA) de los compresores y corriente de los motores para los sistemas 1 y 2. 3) Límite de corriente programado remotamente por una ISN y por el límite impuesto. 4) Voltaje DC Bus. 5) Temperatura interna y estado del ventilador y de la bomba de enfriamiento. 6) Temperatura de la plataforma base IGBT más alta. 7) Estado de la señal de precarga.
Horas de trabajo/contador
Descripción: muestra los horarios de operación de los sistemas 1 y 2. Con el único comando se muestra cuántas horas ha estado operando cada sistema y el tiempo transcurrido.
Historial
Descripción: muestra las unidades y los parámetros de operación del sistema, capturados en el instante que ocurre una falla. Con las flechas laterales de navegación se verifican los datos de los apagones normales, que muestran información acerca del ciclo de enfriamiento respecto a la temperatura, el ciclo, cambio de sistema, entre otros; se pueden consultar 20 datos de apagones normales, y los apagones por fallos que muestran la descripción y tipo de la falla, se pueden consultar datos de 10 apagones por fallos. Los datos que se muestran con un apagón por fallo son: Tipo de fallo del sistema, tipo de fallo del <i>chiller</i> , si la falla ocurrió a raíz de otra, temperaturas del líquido enfriado de entrada y salida, temperatura del ambiente, tiempo restante de carga y descarga, desfase entre la temperatura real y el <i>set point</i> , sistema maestro, estado de la bomba de evaporación, estado del control de activación remota, datos VSD, temperaturas y presiones del sistema, velocidad del compresor, estado del calentador,

Continuación de la tabla XLIII.

Temperatura del motor del sistema, nivel del tanque y posición del economizador, posición de la válvula de drenaje de condensado, estado de los ventiladores y solenoides, datos del tiempo de operación, <i>set points</i> de las temperaturas del proceso, las opciones y valores programados y los datos de la corriente del motor.
Set Points
Descripción: es el primer comando en el que se pueden modificar los valores de trabajo. Se programan los <i>set points</i> y rangos de enfriamiento. En cada parámetro se muestra el rango de valores mínimo y máximo recomendados y el valor por <i>default</i> de cada uno.
Comandos: 1) Magnitud local de enfriamiento. 2) Rango de control del líquido enfriado saliente. 3) <i>Set point</i> remoto y rango de enfriamiento. 4) Valor máximo que debe alcanzar la temperatura para que ocurra un reinicio automático.
Programación
Descripción: es el segundo comando en el que se pueden modificar los valores de trabajo. La mayoría consiste en límites críticos que apagan automáticamente el <i>chiller</i> para evitar daños.
Comandos: 1) Se entra al modo de programación. 2) Límite de presión de succión para que se apague el equipo. 3) Límite de temperatura ambiente para que se apague el equipo. 4) Límite de temperatura del líquido enfriado de salida para que se apague el equipo. 5) Límite de la corriente del motor para que se apague el equipo. 6) Tiempo que debe durar el apagón debido al exceso de corriente. 7) <i>Set point</i> de sub enfriamiento del líquido. 8) Diferencial de temperatura del eductor. 9) Tiempo que debe seguir funcionando el sistema si se sobrepasa alguno de los límites anteriores. 10) Temperatura que debe alcanzar el motor para que el compresor disminuya su velocidad.
Opciones
Descripción: permite modificar la configuración de la unidad.
Comandos: 1) Lenguaje. 2) Ciclo según el tipo de líquido de enfriamiento. 3) Modo de control local o remoto. 4) Sistema de unidades. 5) Control automático o manual del sistema maestro/esclavo. 6) Reinicio por temperatura remota. 7) Reinicio por límite de corriente. 8) Apagado o no del <i>chiller</i> al presentarse un límite bajo de la temperatura del ambiente.
Fecha y hora
Descripción: muestra la fecha y hora actual y la guarda cada vez que ocurre un fallo. Es posible ver y modificar de ser necesario fecha, hora, día de la semana, mes, año y formato.
Programación de trabajo
Descripción: se programan los tiempos en que la unidad debe empezar y dejar de trabajar. Mediante las flechas de navegación se programan los días de la semana y horarios de trabajo y la desactivación completa en días específicos.
Anulación manual
Descripción: solo debe utilizarse en emergencias. Al activarla se ignora la programación diaria y el equipo trabajara únicamente cuando lo permita la temperatura del líquido de enfriamiento, los contactos remotos, el interruptor de la unidad y el interruptor del sistema.
Impresión
Descripción: realiza una impresión de todos los datos actuales y del historial de los apagones normales o de una falla en específico. Con las flechas se selecciona la información requerida.
Cambio de sistema
Descripción: permite encender, apagar o reiniciar sistemas individuales. Muestra el sistema actual y su estado y se puede intercambiar con el que actúe de esclavo.

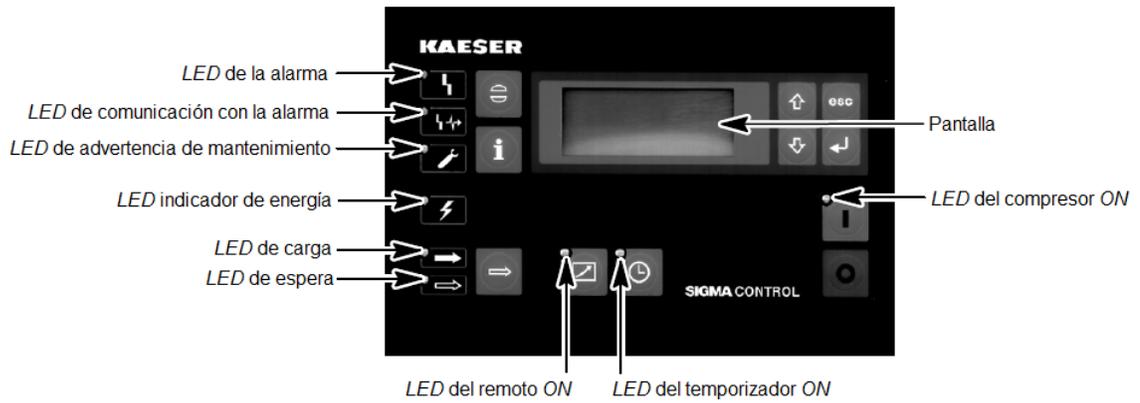
Fuente: elaboración propia, con base en Johnson Controls. *Air-cooled screw liquid chillers installation, operation, maintenance*. p. 107-139.

Figura 49. **Tablero de comandos de operación del compresor**



Fuente: Kaeser Kompressoren. *Service Manual Sigma Control*. p. 18.

Figura 50. **Indicadores del compresor**



Fuente: Kaeser Kompressoren. *Service Manual Sigma Control*. p. 20.

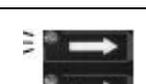
- Encendido del compresor: los pasos para poner en marcha el equipo son: 1) Abrir la válvula de admisión del tanque húmedo. 2) Cerrar la válvula de salida del tanque húmedo. 3) Cerrar la válvula de entrada y salida del tanque seco. 4) Activar el interruptor principal del equipo y esperar hasta que el led indicador de energía se encienda permanentemente. 5) Presionar el botón de encendido “I” del compresor y esperar a que el led del compresor *ON* se ilumine.
- Apagado del compresor: los pasos para apagar el equipo son 1) Presionar el botón de cambio de carga y descarga y poner a operar el equipo en vacío durante 20 segundos. 2) Presionar el botón de apagado “O” y esperar a que se apague el led del compresor *ON*. 3) Desactivar el interruptor principal del equipo. 4) Cerrar la válvula de corte a la salida del aire comprimido. 5) Despresurizar completamente el equipo.
- Reseteo del compresor: para efectuar un reinicio del equipo basta con presionar el botón de apagado “O” hasta que el led del compresor *ON* se apague y luego presionar el botón de encendido “I” hasta que vuelva a encenderse el mismo indicador; los pasos anteriores deben realizarse consecutivamente debido al peligro de no despresurizar el equipo si se deja apagado indefinidamente.
- Modificación de los valores de operación: la modificación de la presión y demás valores de trabajo, cuando se hace localmente, se realiza siguiendo las indicaciones de la pantalla del tablero de mando, para lo cual se detalla la función de los comandos del tablero del compresor y de sus indicadores.

Tabla XLIV. **Función de los comandos del compresor**

Botón	Descripción	Función
	Botón de encendido "I"	Enciende el compresor y lo pone en funcionamiento según el modo pre seleccionado de operación: Control local, control remoto o control según el reloj.
	Botón de apagado "O"	Apaga el compresor independientemente del modo de operación en el que esté.
	Botón del reloj	Causa que el compresor se encienda y se apague según el reloj integrado y los parámetros previamente programados en él.
	Botón del remoto	Causa que el modo de operación del compresor cambie entre control local y control remoto.
	Botón de cambio de carga y descarga	Presionar una vez este comando causa que el compresor cambie a modo de espera, presionarlo nuevamente hace que el compresor vuelva a cambiar a su modo pre seleccionado.
	Flecha hacia abajo	Se desplaza hacia abajo en el menú o hace que un parámetro seleccionado sea reducido.
	Flecha hacia arriba	Se desplaza hacia arriba en el menú o hace que un parámetro seleccionado sea aumentado.
	<i>Escape</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Regresa hacia el nivel anterior del menú. - Sale del modo de edición sin guardar los cambios hechos. Si se presiona por más de 10 segundos se vuelve al menú principal.
	<i>Return</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Regresa hacia el sub menú seleccionado. - Sale del modo de edición y guardo los cambios hechos a los parámetros.
	Información	Muestra la información guardada en la memoria del evento: puede seleccionarse en cualquiera de los menús.
	Botón de reinicio	Reconoce que los mensajes de las alarmas han sido leídos cuando estas son activadas debido a alguna anomalía y las reinicia de ser permitido.

Fuente: Kaeser Kompressoren. *Service Manual Sigma Control*. p. 19.

Tabla XLV. **Función de los indicadores del compresor**

Indicador	Descripción	Función
	Pantalla	Disposición alfanumérica que consta de 4 líneas donde se muestran los parámetros de trabajo y donde se visualiza la operación en modo local.
	Led de la alarma	La luz roja se activa si el compresor se apaga como resultado de una alarma, se apaga cuando la falla es corregida y la alarma se reinicia.
	Led de comunicación con la alarma	La luz roja se activa si la comunicación con la interface es interrumpida. De ocurrir dicha falla en control remoto, se cambia automáticamente a control local. Se apaga al reiniciar la alarma.
	Led de advertencia de mantenimiento	La luz amarilla se activa si hay un mensaje de servicio o se requiere mantenimiento. Si se reconoce el mensaje, la luz se mantiene continua hasta efectuarse el mantenimiento.
	Led indicador de energía	La luz verde se activa cuando hay potencia disponible, indicando que tanto el interruptor principal del equipo como el transformador de control están activados.
	Led de espera	La luz verde se activa continuamente cuando el compresor está trabajando pero no está produciendo aire comprimido. La luz parpadea se ha seleccionado manualmente el modo de espera.
	Led de carga	La luz verde se activa cuando el compresor está trabajando con carga y está produciendo aire comprimido.
	Led del compresor ON	Indica que el compresor está activado. Se debe tomar en cuenta si el led de espera o el de carga están encendidos para saber en qué modo de operación se encuentra el compresor.
	Led del remoto ON	La luz verde se activa cuando el compresor está en modo de control remoto.
	Led del temporizador ON	La luz verde se activa cuando el compresor está programado para encenderse y apagarse según los horarios impuestos en el reloj interno del mismo.

Fuente: Kaeser Kompressoren. *Service Manual Sigma Control*. p. 21.

4.2.2.2. Calibración y ajuste

Al considerarse parte del mantenimiento preventivo, la calibración y posterior ajuste de la exactitud de los instrumentos de medición de los equipos auxiliares corresponde al personal designado por los proveedores, así que los métodos utilizados no son compartidos por las empresas externas.

Con excepción de los proveedores de los equipos principales que componen la red de aire, que manejan políticas de confidencialidad particularmente cerradas, se ha logrado recabar información disponible acerca de la calibración de dos de los instrumentos de medición más importantes para la caldera y el *chiller*. Se recomienda siempre devengar en los proveedores la realización de las tareas.

Cabe resaltar que durante la determinación de los fallos en los equipos auxiliares no se identificó la falta de calibración como una causa de retraso en la producción, aunque sí se ha recomendado el reemplazo de ciertos instrumentos de medición del *chiller* por las razones expuestas previamente.

- Calibración del termostato de la caldera
 - Limpiar el área alrededor del termostato. Verificar que no existan elementos interfiriendo con su lectura, ya sea aumentando o disminuyendo el calor en el área.
 - Verificar la temperatura del termostato. Encender el termostato y posicionar un termómetro adecuado de modo que reciba la misma lectura, esperar 20 minutos y comparar la lectura del termómetro con la del termostato. Si la lectura es distinta por más de un grado, se necesita calibración.

- Limpiar el termostato. Remover la placa frontal y limpiar encima y alrededor de los bordes con un cepillo adecuado, también alrededor de las conexiones de todo tipo de suciedad y obstrucciones.
 - Utilizando una llave, mantener recto el marcador mientras se gira lentamente el tornillo de calibración, localizado en medio de una pieza de metal delgada y curva. Girar el tornillo hacia la izquierda y derecha hasta que se abran los contactos y quitar el desarmador. Luego volver a colocar el desarmador y girar hasta que los contactos vuelvan a cerrarse.
- Calibración del sensor de nivel del evaporador del *chiller*
 - Asegurarse que el nivel del refrigerante en la mirilla del evaporador esté aproximadamente a la mitad.
 - Remover la cubierta del sensor y presionar el botón *MODE* de calibración (amarillo) por 2 segundos. El led ahora estará en 0 y se habrá ingresado en el modo de calibración. Presionar el *MODE* repetidamente hasta que el led muestre un 5.
 - Presionar solamente una vez el botón de *SET* (verde).
 - Salir del modo de calibración presionando repetidamente el botón *MODE* hasta que el led esté en blanco. Ahora el sensor está calibrado a un nivel de 50 %.
 - En el tablero del *chiller* el indicador debe mostrar que el nivel del evaporador está a 50 %, de lo contrario se deben repetir los pasos anteriores y, de continuar mostrando luego de la re calibración una lectura distinta de 50 %, se debe reemplazar la cabeza del sensor de nivel.

4.3. Balance de línea

Deben existir ciertas condiciones para que la producción en línea sea práctica: 1. Cantidad. El volumen o cantidad de producción debe ser suficiente para cubrir el costo de la preparación de la línea. Esto depende del ritmo de producción y de la duración que tendrá la tarea. 2. Equilibrio. Los tiempos necesarios para cada operación en la línea deben ser aproximadamente iguales. 3. Continuidad. Una vez iniciadas, las líneas de producción deben continuar pues la detención en un punto corta la alimentación del resto de las operaciones. Esto significa que deben tomarse precauciones para asegurar un aprovisionamiento continuo del material, piezas, subensambles, etcétera, y la previsión de fallas en el equipo. A) Conocidos los tiempos de las operaciones, determinar el número de operadores necesarios para cada operación. B) Conocido el tiempo del ciclo, minimizar el número de estaciones de trabajo. C) Conocido el número de estaciones de trabajo, asignar elementos de trabajo a las mismas.⁸

Lo anterior corresponde a las características susceptibles de mejorar que debe tener una línea de producción para que sea posible aplicársele un balance mediante los métodos propios de la ingeniería industrial. Sin embargo, la producción de la línea de pasta larga es de naturaleza tal que la materia prima sigue un camino de transformación continuo y directo hasta convertirse en producto terminado, pasando por estaciones completamente automatizadas y cuyo tiempo de producción no puede variar. Esto hace que sea imposible cumplir con la condición de equilibrio expuesta previamente, ya que inevitablemente unas estaciones deberán tener un tiempo de producción mucho mayor que otras, principalmente el pre secado y secadero.

Adicionalmente, la función del operador de la línea y sus auxiliares se limita a controlar el funcionamiento mediante el software integrado, llevar registro de sus actividades, reportar problemas y solucionar ciertos inconvenientes anteriormente mencionados. Así que, al no depender cada sección de la línea de operarios individuales para su funcionamiento, tampoco se cumplen los incisos A, B y C, ya que no es posible asignar cierto número de operadores para cada

⁸ GARCÍA CRIOLLO, Roberto. *Estudio del trabajo. Ingeniería de métodos y medición del trabajo*. p. 414.

operación. Las estaciones de trabajo no pueden ser minimizadas y tampoco es posible asignarles elementos de trabajo.

Las características de la línea de pasta larga imposibilitan la aplicación del método de balanceo pero, ajustando los parámetros empleados, es posible determinar el número teórico de estaciones que debería haber de la misma sección para que el tiempo de funcionamiento de todas fuera igual y la eficiencia alcanzase el 100 %.

Para lo siguiente se debe tener en cuenta que:

IP = índice de producción

C_e = cantidad por elaborar

T_p = tiempo de producción

NE = número de estaciones

TE = tiempo estándar de cada estación

E = eficiencia planeada

Primero se listan los tiempos de operación promedio de cada estación cuando la línea trabaja a velocidad nominal, tomados durante la realización del diagrama de flujo del proceso.

Prensa: $TE_1 = 17,306 \text{ min}$

Pre secado: $TE_2 = 52,910 \text{ min}$

Secado: $TE_3 = 273,310 \text{ min}$

Acúmulo: $TE_4 = 4,110 \text{ min}$

Empaque: $TE_5 = 1,020 \text{ min}$

Para determinar el tiempo de producción se deben sumar los tiempos anteriores más los tiempos de transporte del producto de una sección a otra.

$$T_p = (17,306 + 0,85 + 52,91 + 0,90 + 273,31 + 0,67 + 4,11 + 0,35 + 1,02)min$$

$$T_p = 351,426 min$$

A velocidad nominal la cantidad de pasta producida durante una corrida de producción estándar es aproximadamente de 19 330 Kg, además se buscará una eficiencia del 100 %.

$$C_e = 19330 Kg$$

$$E = 100 \%$$

Para calcular el índice de producción se divide la cantidad por elaborar por el tiempo de producción.

$$IP = \frac{C_e}{T_p} = \frac{19330}{351,426} = 55,004 \rightarrow IP = 55$$

Se prosigue a calcular el número de estaciones teóricas, cuya fórmula es:

$$NE = \frac{TE \times IP}{E}$$

$$NE_1 = \frac{17,306 \times 55}{1} = 951,830 \quad NE_2 = \frac{52,91 \times 55}{1} = 2910,05$$

$$NE_3 = \frac{273,310 \times 55}{1} = 15032,05 \quad NE_4 = \frac{4,110 \times 55}{1} = 226,05$$

$$NE_5 = \frac{1,020 \times 55}{1} = 56,1$$

Debido a la forma de medir la cantidad de producto respecto de la cantidad de tiempo en la cual es procesado, el índice de producción ha resultado ser demasiado elevado, lo cual aumenta en gran medida los cálculos para el número de estaciones teóricas. Sin embargo, es posible dividir todos los resultados por el de menor valor para obtener una relación más fidedigna acerca del número de estaciones que lograrían un balance en la línea según los métodos utilizados.

$$NE_1 = \frac{951,83}{56,1} = 16,97 \rightarrow NE_1 = 17 \quad NE_2 = \frac{2910,05}{56,1} = 51,87 \rightarrow NE_2 = 52$$

$$NE_3 = \frac{15032,05}{56,1} = 267,95 \rightarrow NE_3 = 268 \quad NE_4 = \frac{226,05}{56,1} = 4,03 \rightarrow NE_4 = 4$$

$$NE_5 = \frac{56,1}{56,1} = 1$$

Al depender el balance de líneas de la proximidad de los tiempos de operación en cada estación y considerando la diferencia entre los procesos con la duración más larga (secado) y más corta (empaquetado), se observan diferencias demasiado grandes entre el número de elementos de trabajo que debería tener cada estación para llegar a dicho balance.

Lo anterior, aunado a que la adición de dichos elementos supondría la incorporación de más estaciones a la línea, lo cual resulta imposible dado el diseño de la misma y las implicaciones económicas y espaciales de la planta, se concluye que un balance no aplica para la optimización de las operaciones de la línea de pasta larga.

4.4. Personal designado

Se analizará el número de trabajadores correspondientes a las áreas de producción y mantenimiento para determinar si es conveniente la incorporación de personal adicional con el fin de optimizar las actividades de la línea de pasta larga.

4.4.1. Operadores de línea

En el área de producción, la línea cuenta actualmente con seis colaboradores para su funcionamiento, tres operarios y tres colaboradores auxiliares. Para operar la línea se requiere únicamente un operario, que controle la actividad de la misma desde el software integrado, y un colaborador auxiliar, que se encargue primordialmente de las actividades de limpieza de las hendiduras del carrito repartidor y otras similares vistas anteriormente. Además, las actividades pueden integrarse en caso de ser necesario.

Cada operario y colaborador auxiliar trabajan turnos continuos de 12 horas, por lo cual la carga de trabajo distribuida entre los 6 miembros del personal de producción resulta ser aceptable. Lo anterior, considerando la naturaleza del trabajo que realiza el personal encargado de la operación de la línea, indica que no se necesita personal adicional en el área de producción para optimizar las operaciones de la línea de pasta larga.

4.4.2. Operarios de equipos auxiliares

Se analiza la posibilidad de incorporar un nuevo elemento al departamento de mantenimiento, cuya función consiste en llevar el registro de todos los datos de operación de los equipos auxiliares para realizar estadísticas sobre los

mismos y verificar la posible correlación entre las fallas suscitadas y sus causas. Además, llevar a cabo ciertas medidas de contingencia cuando se presenten las fallas más comunes en los equipos y realizar labores de limpieza general de las partes accesibles de los equipos cuando estén en funcionamiento, además de los dispositivos y accesorios.

Las medidas de contingencia consistirán primordialmente en el control de los valores de operación más importantes de cada equipo, los cuales son:

- *Chiller*: subida de corriente y subida de temperatura.
- Compresor: subida de corriente.
- Caldera: subida de temperatura y superación del límite de presión.

Para mitigar el desfase en los valores de operación en el *chiller* y el compresor basta con realizar un *reset*, lo cual ya se ha explicado anteriormente. Para controlar la temperatura de la caldera se debe modificar su *set point* y para regular su presión se debe seguir el siguiente procedimiento: cuando la presión interna supera los 140 psi, la válvula de seguridad se abre automáticamente. Seguidamente se debe apagar la caldera y esperar a que la presión disminuya hasta llegar a 70 psi. Luego, mientras la caldera continúa apagada, se debe cerrar manualmente la válvula de seguridad y volver a encender la caldera.

Otra parte fundamental del trabajo de los operarios de equipos auxiliares sería la realización de purgas a la caldera, las cuales consisten en la remoción de las impurezas adheridas a las paredes internas de la misma debido a la dureza del agua, causada por los químicos propios del proceso de producción.

El procedimiento para realizar las purgas es el siguiente: mientras la caldera está en operación, se provoca un cambio repentino en la presión de trabajo, lo

cual desprende los sólidos adheridos en el interior y causa que estos caigan a su base, luego se abren las válvulas en el fondo de la caldera para remover los sólidos. Para asegurar un correcto funcionamiento del equipo se debe realizar una purga cada ocho horas de trabajo.

Se prevé que haya dos operarios de equipos auxiliares laborando turnos consecutivos de doce horas cinco días a la semana, los cuales deben ser asignados por el departamento de mantenimiento según las actividades programadas de la planta, asegurando que dichos operarios laboren en los días de mayor actividad. Cuando no haya operarios laborando, las actividades de contingencia y toma de datos de los equipos recaerán sobre los electromecánicos y la limpieza se reanudará hasta que retorne alguno de los operarios

Ya que el factor financiero es determinante para decidir acerca de cualquier propuesta de optimización, se analizará más adelante la viabilidad de la incorporación de los operarios de equipos auxiliares y se realizarán las recomendaciones pertinentes.

4.5. Salud ocupacional y seguridad industrial en el proceso

Para garantizar la integridad física de los colaboradores dentro de la planta de producción, la empresa ha implementado normas generales que deben ser conocidas y acatadas por el personal perteneciente a todos los departamentos. No obstante, los equipos que componen cada sección de la línea hacen que cada una de estas cuente con indicaciones específicas orientadas a evitar accidentes al realizar actividades de producción, las cuales se listarán primero por considerarse críticas. Para ello se presentarán los riesgos asociados a las secciones de la línea donde el peligro de accidentes es considerable y las medidas por tomar por parte del personal para prevenirlos.

La información pertinente a medidas de seguridad utilizadas para elaborar las siguientes tres tablas fue provista por el departamento de mantenimiento de la empresa.

Tabla XLVI. **Medidas de seguridad para el área de prensa**

Sección peligrosa	Riesgo de lesión	Medidas preventivas
Área de recuperación de desperdicios	Corte	Depositar pasta 10 centímetros por encima de la banda transportadora
Mezclador	Corte	Evitar contacto mientras esté en funcionamiento
Ventilación interna en el bastidor	Corte o arrastre	Evitar contacto mientras esté en funcionamiento
Tapas de la tina amasadora	Corte o atrapamiento	Manipular una tapa a la vez con ambas manos
Ventilación del cabezal	Corte o quemadura	Evitar contacto salvo por paro programado
Inserción y extracción de moldes	Corte o apretamiento	No manipular salvo con línea en paro y con asistencia
Elevación de moldes	Apretamiento	No manipular salvo con línea en paro y con asistencia
Cortadora de pasta	Corte/Seccionamiento	No manipular salvo con línea en paro
Escalera de acceso a la plataforma	Deslizamiento y caída	Transitar sin sostener objetos manteniendo agarre en ambos barandales, solicitar ayuda para subir o bajar elementos de trabajo
Circuitos térmicos	Quemadura	Para tuberías y superficies, manipular con material aislante protector

Fuente: elaboración propia, con información del departamento de mantenimiento.

Tabla XLVII. **Medidas de seguridad para el área de secado**

Sección peligrosa	Riesgo de lesión	Medidas preventivas
Puertas de acceso	Corte o aplastamiento	Abrir únicamente con la línea en paro y utilizando el equipo adecuado
Área de extracción de muestras	Corte o quemadura	Utilizar guantes y máscara para evitar escaldadura por salida de aire caliente
Paneles aislantes fijos	Aplastamiento	Utilizar guantes y el equipo adecuado para abrirlos de ser necesario
Regreso y acumulación de cañas	Corte	Evitar contacto en todo momento salvo con la línea en paro por limpieza
Tuberías componentes de la instalación térmica	Quemadura	Utilizar guantes aislantes en caso de existir riesgo por contacto

Fuente: elaboración propia, con información del departamento de mantenimiento.

Tabla XLVIII. **Medidas de seguridad para el área de la desfiladora**

Sección peligrosa	Riesgo de lesión	Medidas preventivas
Área de recuperación de desperdicios	Corte	Para todas las secciones del área de la desfiladora las medidas preventivas consisten en la abstención en todo momento del contacto con cualquier parte móvil, salvo con la línea en paro absoluto por razón de limpieza o mantenimiento.
Movimiento de paletas	Corte	
Cinta en la salida	Enredamiento	
Discos de corte	Corte/seccionamiento	
Zona de disgregación frontal	Corte, atrapamiento	
Zona frontal de retorno de cañas	Corte, atrapamiento	
Paso entre acumulación y sierra	Corte, atrapamiento	

Fuente: elaboración propia, con información del departamento de mantenimiento.

Al estar establecidos los riesgos de lesión que implica cada sección de la línea y las medidas preventivas pertinentes, se deben establecer procedimientos que mitiguen dichos riesgos de forma sistemática y eficiente. Para ello se propone emplear la metodología de la jerarquía de controles operacionales, la cual dicta los controles de seguridad que se deben tomar para reducir el riesgo que implica el proceso de producción hasta el menor grado posible, dichos controles deben implementarse en un orden específico priorizando los que significarían un mayor impacto en la reducción de riesgo según lo permita el proceso de producción.

Las medidas que conlleva la jerarquía de controles operacionales, en el orden que deben ser consideradas y, de ser posible, implementadas, son las siguientes:

- **Eliminación del peligro:** consiste en modificar el diseño de la propia línea para eliminar la posibilidad de lesión. Debido a que los fabricantes de la línea han diseñado sus componentes para que se acoplen como una sola unidad individual. No es posible modificarlos ya que esto causaría problemas impredecibles a la producción, la cual, en el mejor de los casos, disminuiría su ritmo considerablemente. Tampoco es factible proponer el uso de dispositivos que mitigaran el riesgo que corren los operarios y electromecánicos al realizar labores manuales en la línea, pero esta medida de control considera principalmente el diseño de la línea desde su concepción, por lo que se recomienda informar a los fabricantes de los riesgos que se desea eliminar de antemano al considerar la compra de otra línea similar en el futuro.
- **Sustitución del peligro:** consiste en el reemplazo de los componentes que puedan ser causantes de lesión por otros que impliquen menos riesgo. Para cada sección se proponen las siguientes medidas:

- Área de prensa: sustituir la escalera vertical de acceso a la plataforma por una con inclinación entre 45 y 60 grados y escalones más anchos.
 - Área de secado: sustituir los paneles aislantes fijos por otros de iguales dimensiones con manillas más grandes y recubiertas de material aislante.
 - Área de la desfiladora: sustituir los paneles de acceso de la zona de disgregación frontal por otros que cierren con llave.
- Controles de ingeniería: consisten en la instalación de dispositivos que mitiguen el peligro en las áreas de riesgo, además del rediseño de los procedimientos de operación y de mantenimiento. Para cada sección de la línea se proponen las siguientes medidas:
 - Área de prensa: colocar un recipiente debajo del área de recuperación de desperdicios para captar el producto en proceso que se desborde y depositarlo periódicamente en la banda transportadora.
 - Área de secado: revestir de material aislante las tuberías componentes de la instalación térmica.
 - Área de la desfiladora: instalar paneles removibles en la cinta de salida, la zona de disgregación frontal, la zona frontal de retorno de cañas y el paso entre la acumulación y la sierra para sean accesibles solamente cuando requieran mantenimiento.
- Controles administrativos: consisten tanto en la capacitación de los colaboradores acerca de los riesgos de la producción y sus respectivas medidas preventivas como de los controles y registros de seguridad que debe llevar el personal administrativo. Lo primero se sintetiza en las medidas de seguridad para cada área de la línea presentadas anteriormente y lo segundo consiste en llevar las estadísticas de los accidentes laborales para discernir

las causas y actuar conforme a las conclusiones alcanzadas, además de dar seguimiento a los reportes de fallos en los equipos y verificar que estos sean atendidos a la menor brevedad para evitar lesiones potenciales. Los controles administrativos también implican la señalización de las zonas de riesgo en la línea, pero debido a su diseño, no es factible la colocación de carteles estandarizados en lugares específicos de la línea, por lo que se propone la instalación de luces led con un código establecido por la empresa en las áreas de riesgo; se propone que dicho código sea rojo para quemadura, azul para corte y verde para aplastamiento/atrapamiento/enredamiento.

- Equipo de protección personal: es el nivel más básico de los controles de seguridad. Como medidas generales en planta todo el personal debe utilizar protección auditiva y los electromecánicos deben utilizar casco en todo momento, además es obligatorio el uso de arnés al realizar cualquier actividad a una altura mayor a 3 metros del suelo. Complementariamente se proponen las siguientes medidas específicas para cada sección de la línea:
 - Área de prensa: utilizar guantes al realizar cualquier acción en el bastidor, las tapas de la tina amasadora, el cabezal, los moldes, la cortadora de pasta y los circuitos térmicos, además de sujetarse de la baranda al usar la escalera, además utilizar mascarilla en el área de recuperación de desperdicios y al abrir las tapas de la tina amasadora.
 - Área de secado: emplear guantes al manipular las cañas, las puertas de acceso, los paneles aislantes fijos y las tuberías de la instalación térmica, además usar mascarilla en el área de extracción de muestras.

- Área de la desfiladora: en toda esta sección no se recomienda el uso de guantes debido a que esto incrementaría el riesgo de atrapamiento y no mitigaría el riesgo de corte, pero es necesario utilizar gafas protectoras en todo momento para evitar lesiones oculares por los residuos de pasta que se desprenden durante el corte.

Como recomendaciones generales para la seguridad, aplicables a todas las secciones de la línea, se debe mencionar que los trabajadores deben utilizar los pasajes previstos para transitar o subirse a las partes elevadas de la línea. Toda labor de mantenimiento y limpieza debe realizarse sin ningún tipo de alimentación eléctrica, térmica, hídrica o cualquier otra y toda intervención es plausible únicamente después de que todos los sistemas hayan sido completamente despresurizados. No es necesario en ningún momento durante la operación introducir las manos u otra parte corporal cerca de partes en movimiento.

El lugar de trabajo debe permanecer siempre limpio y en orden y el personal de producción debe emplear gafas protectoras, mascarilla y guantes cuando deba extraer muestras para análisis, además de utilizar el vestuario adecuado provisto por la empresa.

Las labores de limpieza y mantenimiento dentro de la línea deben efectuarse hasta después de que esta se enfríe y únicamente se debe ingresar a esta por las puertas indicadas y utilizando el sistema de bloqueo y etiquetado.

Concluyendo con las indicaciones específicas referentes a salud ocupacional, se presenta la programación de limpieza y desinfección correspondiente a los componentes de cada sección, provista por el departamento de mantenimiento de la empresa.

Tabla XLIX. Programa de limpieza y desinfección de la línea

Área de prensa		
<i>Área/Dispositivo</i>	<i>Intervalo de limpieza*</i>	<i>Intervalo de desinfección*</i>
Dosificador de agua	6 días	6 días
Tina amasadora	6 días	6 días
Tina distribuidora	6 días	6 días
Cilindro	180 días	180 días
Tornillos de compresión	180 días	180 días
Superficies externas tendedor	1 día	30 días
Superficies externas repartidor	7 días	15 días
Cizallas superiores	7 días	30 días
Cizallas inferiores	7 días	30 días
Alfombra de recuperación de desperdicios	7 días	30 días
Ventilador de transporte de desperdicios	7 días	15 días
Área de secado		
<i>Área/Dispositivo</i>	<i>Intervalo de limpieza*</i>	<i>Intervalo de desinfección*</i>
Estructura externa y paneles	7 días	30 días
Panel de fondo	7 días	30 días
Estructura interna	7 días	30 días
Área de la desfiladora		
<i>Área/Dispositivo</i>	<i>Intervalo de limpieza*</i>	<i>Intervalo de desinfección*</i>
Superficies externas	1 día	30 días
Paletas neumáticas y compensador	7 días	30 días
Discos de corte	7 días	30 días
Alfombras de transporte de pasta	7 días	30 días
Triturador de desperdicios	7 días	30 días

*Los intervalos son estimados según registros recientes, los reales varían en función de la disponibilidad de la línea.

Fuente: elaboración propia, con información de registros recientes de la empresa.

Las normas generales de seguridad industrial y salud ocupacional van orientadas a la prevención de actos inseguros y la detección y mitigación de condiciones inseguras dentro y fuera de la planta. Para ello se hacen de conocimiento de todos los colaboradores los riesgos asociados a la labor que desempeñan, consecuentes tanto de los elementos propios del trabajo como de sus condiciones resultantes.

- Riesgos biológicos: según las condiciones en las que se cultive, el trigo del cual se procesa la sémola es susceptible de contraer hongos y bacterias que pueden llegar hasta el proceso de premezcla y continuar hasta ser detectados por los controles de calidad correspondientes.
- Riesgos físicos: pueden ser de tipo ambiental, al tener que soportar temperaturas elevadas dentro de planta los colaboradores de edad avanzada pueden experimentar mareos con riesgo de desmayo. También los puede haber por equipos, referente a lo expresado anteriormente con los riesgos de daño por los elementos individuales de la línea, y por estructuras, refiriéndose a golpes y caídas que pueden ocurrir por no utilizar los pasajes adecuados al transitar por la línea e ingresar a sus secciones elevadas.
- Riesgos químicos: Afectan principalmente al personal encargado de la limpieza y desinfección de la línea, al utilizar amoniaco para ello; para prevenirlos esta labor debe hacerse con los paneles abiertos para garantizar la ventilación y utilizando guantes y mascarilla.

Para prevenir los riesgos listados anteriormente basta con utilizar el equipo de protección indicado por la empresa al realizar cualquier labor y estar consciente de los alrededores y las indicaciones de seguridad al moverse por

planta, además de tener comunicación constante con un superior respecto de cualquier malestar de salud que pueda experimentar un colaborador.

El sistema de bloqueo y etiquetado consiste en bloquear por medio de un candado rojo el acceso al dispositivo responsable de la alimentación de la energía a un equipo y colocar una etiqueta indicando la razón del bloqueo, la cual comúnmente es alguna actividad de mantenimiento.

Únicamente los colaboradores autorizados, los cuales deben pertenecer al departamento de mantenimiento, pueden realizar los bloqueos y etiquetados y solo puede haber una llave por candado. Los pasos para realizar este procedimiento son los siguientes:

- Notificar a los colaboradores que operan la máquina acerca del bloqueo y recolectar el material que sea necesario de la misma.
- Verificar que el equipo por bloquear sea el que corresponde.
- Desconectar todos los equipos energizados.
- Aislar las fuentes de energía.
- Bloquear y etiquetar el dispositivo para aislamiento de energía.
- Verificar el funcionamiento del equipo que se bloqueó.

Al finalizar el mantenimiento el electromecánico retira el candado y etiqueta y reconecta la alimentación a la máquina. En caso de extraviarse una llave se debe comunicar el incidente al departamento de mantenimiento, documentar la notificación y proceder a romper el candado.

4.6. Mantenimiento del sistema de control

A continuación se detallan los tipos de mantenimiento a los cuales se les debe dar seguimiento para garantizar el funcionamiento eficiente y constante de los componentes de la línea de producción.

4.6.1. Monitoreo y control de dispositivos

Para conocer el estado del funcionamiento de los dispositivos responsables de la producción, se realizó un análisis de la frecuencia de las fallas ocurridas en los mismos y el impacto de estas en el proceso general. Los componentes de la línea se clasificaron en sistemas según la función de cada conjunto y los resultados de dicho análisis se presentan en una matriz de criticidad.

En total se clasificaron 18 sistemas que comprenden la totalidad de los procesos de la producción, excluyendo el área de empaque por considerarse una sección aparte de la línea de pasta larga; dichos sistemas se denominan de la siguiente forma.

Tabla L. Clasificación de los sistemas de la línea

Nombre del sistema	Nombre asignado
Abastecimiento de sémola	Sistema A
Dosificación de agua	Sistema B
Mezcla de sémola y agua	Sistema C
Absorción de polvo	Sistema D
Regulación de temperatura en prensa	Sistema E
Recuperación de residuos de mezcla	Sistema F
Formación de cortinas de pasta	Sistema G
Retorno de cañas	Sistema H
Traslación de cañas en tendedor	Sistema I

Continuación de la tabla L.

Recuperación de residuos de pasta	Sistema J
Posicionamiento y ventilación de cortinas	Sistema K
Secado de pasta	Sistema L
Traslación de cañas en secador	Sistema M
Estabilización de pasta	Sistema N
Regulación de ingreso de pasta a desfiladora	Sistema O
Corte de pasta	Sistema P
Transporte de pasta	Sistema Q
Recuperación de residuos de pasta procesada	Sistema R

Fuente: elaboración propia.

Para determinar el nivel de importancia de cada sistema en la producción se establecieron 5 factores de criticidad que brindan una certera noción de las consecuencias que tendría el mal funcionamiento de cada uno en el proceso. Todos los factores se basan en las consecuencias para la producción general de los fallos en cada sistema, considerando la dificultad para corregirlos y el alcance de sus efectos. Dichos factores son los siguientes:

- Factor 1: número de componentes macro de cada sistema.
- Factor 2: naturaleza de sus componentes individuales (Simples o complejos).
- Factor 3: accesibilidad dentro de la línea para reparación o reemplazo.
- Factor 4: grado de importancia para el proceso general.
- Factor 5: importancia individual objetiva para el proceso.

Cada factor de criticidad proporciona un grado de criticidad a cada sistema, los cuales, en conjunto, determinan el nivel de consecuencia (C) de cada uno de ellos.

La magnitud de los grados de criticidad varía de 1 a 5, siendo 1 el grado más bajo y 5 el más alto. A continuación se detalla la valoración de los factores de criticidad para cada sistema.

Tabla LI. **Factores de criticidad determinados por sistema**

Sistema	Factor ①	Factor ②	Factor ③	Factor ④	Factor ⑤
A	2	2	1	3	4
B	3	3	1	2	3
C	3	2	1	4	5
D	1	2	1	1	2
E	1	3	1	3	3
F	1	2	1	1	1
G	3	2	3	3	3
H	2	2	2	4	4
I	2	2	3	4	4
J	1	2	3	1	1
K	1	3	1	2	3
L	2	5	3	5	5
M	3	2	4	4	4
N	2	5	3	4	4
O	1	2	1	2	2
P	2	2	2	3	3
Q	1	2	2	2	2
R	1	3	1	1	1

Fuente: elaboración propia.

Con los factores de criticidad establecidos para cada sistema, se procede a introducirlos en una ecuación que determina el nivel de consecuencia (C) que cada uno representa para el proceso. Utilizando la nomenclatura preestablecida para los factores de criticidad, la ecuación es la siguiente:

$$C = ① * [② + ③] * ④ + ⑤$$

A continuación se procede a calcular el nivel de consecuencia para cada sistema.

$$\text{Sistema A: } C = 2 * [2 + 1] * 3 + 4 = 22$$

$$\text{Sistema B: } C = 3 * [3 + 1] * 2 + 3 = 27$$

$$\text{Sistema C: } C = 3 * [2 + 1] * 4 + 5 = 41$$

$$\text{Sistema D: } C = 1 * [2 + 1] * 1 + 2 = 5$$

$$\text{Sistema E: } C = 1 * [3 + 1] * 3 + 3 = 15$$

$$\text{Sistema F: } C = 1 * [2 + 1] * 1 + 1 = 4$$

$$\text{Sistema G: } C = 3 * [2 + 3] * 3 + 3 = 48$$

$$\text{Sistema H: } C = 2 * [2 + 2] * 4 + 4 = 36$$

$$\text{Sistema I: } C = 2 * [2 + 3] * 4 + 4 = 44$$

$$\text{Sistema J: } C = 1 * [2 + 3] * 1 + 1 = 6$$

$$\text{Sistema K: } C = 1 * [3 + 1] * 2 + 3 = 11$$

$$\text{Sistema L: } C = 2 * [5 + 3] * 5 + 5 = 85$$

$$\text{Sistema M: } C = 3 * [2 + 4] * 4 + 4 = 76$$

$$\text{Sistema N: } C = 2 * [5 + 3] * 4 + 4 = 68$$

$$\text{Sistema O: } C = 1 * [2 + 1] * 2 + 2 = 8$$

$$\text{Sistema P: } C = 2 * [2 + 2] * 3 + 3 = 27$$

$$\text{Sistema Q: } C = 1 * [2 + 2] * 2 + 2 = 10$$

$$\text{Sistema R: } C = 1 * [3 + 1] * 1 + 1 = 5$$

Para determinar la frecuencia con la que ocurren las fallas en cada sistema, se verificaron los registros de fallas en la línea previamente tabulados y se especificaron dichas fallas según el sistema en el cual tuvieron lugar. Luego se estableció una clasificación de la ocurrencia de las fallas sucedidas en un período de 4 meses y con esta se determinó un nivel de frecuencia (F) para cada sistema. Dicha clasificación es la siguiente:

- Entre 0 y 1 fallas en 4 meses: nivel de frecuencia = 1
- Entre 2 y 9 fallas en 4 meses: nivel de frecuencia = 2
- Entre 10 y 19 fallas en 4 meses: nivel de frecuencia = 3
- 20 o más fallas en 4 meses: nivel de frecuencia = 4

A continuación se presentan los datos de la cantidad de fallas registradas en el período analizado y el nivel de frecuencia correspondiente para cada sistema.

Tabla LII. **Número de fallas por sistema**

Sistema	Número de incidencias	Nivel de frecuencia (F)
A	1	1
B	0	1
C	4	2
D	0	1
E	0	1
F	0	1
G	14	3
H	5	2
I	10	3
J	1	1
K	0	1
L	12	3
M	28	4
N	5	2
O	1	1

Continuación de la tabla LII.

P	3	2
Q	0	1
R	1	1

Fuente: elaboración propia.

Con los datos correspondientes al nivel de consecuencia (C) y el nivel de frecuencia (F) calculados, se procede a determinar la criticidad total (Ctr) de cada sistema mediante la siguiente fórmula:

$$Ctr = C * F$$

Sistema A: $Ctr = 22 * 1 = 22$ Sistema Q: $Ctr = 10 * 1 = 10$

Sistema B: $Ctr = 27 * 1 = 27$ Sistema R: $Ctr = 5 * 1 = 5$

Sistema C: $Ctr = 41 * 2 = 82$

Sistema D: $Ctr = 5 * 1 = 5$

Sistema E: $Ctr = 15 * 1 = 15$

Sistema F: $Ctr = 4 * 1 = 4$

Sistema G: $Ctr = 48 * 3 = 144$

Sistema H: $Ctr = 36 * 2 = 72$

Sistema I: $Ctr = 44 * 3 = 132$

Sistema J: $Ctr = 6 * 1 = 6$

Sistema K: $Ctr = 11 * 1 = 11$

Sistema L: $Ctr = 85 * 3 = 255$

Sistema M: $Ctr = 76 * 4 = 304$

Sistema N: $Ctr = 68 * 2 = 136$

Sistema O: $Ctr = 8 * 1 = 8$

Sistema P: $Ctr = 27 * 2 = 54$

El criterio para determinar el nivel de criticidad total, según la magnitud calculada de esta, es el siguiente:

- Criticidad baja: entre 1 y 24
- Criticidad media: entre 25 y 74
- Criticidad alta: entre 75 y 149
- Criticidad muy alta: entre 150 y 349

Con la magnitud de la criticidad total para cada sistema y el criterio para determinar el nivel establecido, se procede a realizar la matriz de criticidad para la línea de pasta larga.

Figura 51. **Matriz de criticidad para sistemas de línea de pasta larga**

NIVEL DE FRECUENCIA	NIVEL DE CONSECUENCIA																		
	0	1-4	5-9	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	70-74	75-79	80-84	85-89
4																			M: 304
3									I: 132	G: 144									L: 255
2							P: 54	H: 72	C: 82						N: 136				
1		F: 4	O: 8 J: 6 D: 5 R: 5	K: 11 Q: 10	E: 15	A: 22	B: 27												

Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Office Excel 2010.

De la matriz resultante se comprueba que los equipos más críticos para la línea son los correspondientes a los sistemas de traslación de cañas en el secador y secado de pasta. También son cruciales los de estabilización de pasta en la misma sección y la formación de cortinas de pasta al final de la prensa, así como los responsables de la mezcla de sémola y agua, por lo que a dichos

sistemas se les debe prestar especial atención durante el mantenimiento preventivo para reducir al máximo tanto el número de paros ocurridos en línea como su impacto en el proceso de producción.

4.6.2. Mantenimiento correctivo

Anteriormente se han determinado los equipos en línea responsables del mayor tiempo de paro de producción y se han sugerido soluciones para mitigar dichas suspensiones, sin embargo, al necesitar el mantenimiento correctivo de la interrupción de la producción normal y el empleo extraordinario del personal de mantenimiento para llevarlo a cabo, es necesario verificar con anterioridad si la perturbación en la producción regular se debe a un desperfecto de la línea o a alguna situación que no amerite intervención de los electromecánicos.

Para ello existe una lista de distintas situaciones que deben considerarse y analizarse de antemano para asegurar que una intervención extraordinaria es justificada; las situaciones son:

- Verificar los canales de alimentación hacia la línea: algún desperfecto en los sistemas que permiten y regulan el ingreso de la tensión eléctrica haría inoperable la línea en su totalidad, problemas en el área de silos o algún bloqueo en los canales que conectan esta área con planta evitarían el ingreso de la sémola a la sección de pre mezcla. De igual forma se debe verificar que no haya obstrucciones en las tuberías correspondientes al ingreso de agua potable y finalmente se debe revisar toda la red de aire en caso de haber complicaciones en los sistemas neumáticos por falta de aire comprimido.

- Controlar la temperatura de los equipos: el sobrecalentamiento, principalmente en los motores, puede ocurrir a raíz del uso continuo durante turnos de producción extensos o por haber obstrucciones en el sistema de ventilación, lo cual puede causar detenciones repentinas en los equipos, por lo que se debe comprobar la correcta ventilación, remover cualquier bloqueo, esperar el tiempo correcto hasta que se enfríe el equipo y ponerlo en marcha nuevamente.
- Comprobar los parámetros de funcionamiento del proceso: Una incorrecta distribución del aire caliente puede deberse a un desfase entre los valores de temperatura y humedad relativa recomendados según la velocidad de la línea y los programados por el operario, por lo que se debe verificar que dichos valores se correspondan a los requeridos por el proceso según las condiciones de la línea.

No es posible realizar un programa que liste las actividades de mantenimiento correctivo en la línea por ser este impredecible, además de poco recomendado para cualquier proceso de producción debido a su elevado costo en recursos y tiempo respecto de otros tipos de mantenimiento. Para optimizar las actividades de la línea, se favorece primordialmente el mantenimiento preventivo para mitigar al máximo las pérdidas por paros de producción.

4.6.3. Mantenimiento preventivo

Priorizar el mantenimiento preventivo es esencial para mantener el funcionamiento de la línea con los menores inconvenientes posibles. Para ello se presenta el programa ordinario de manutención que debe cumplirse para minimizar los paros en la producción en cada sección de la línea debido a desperfectos de índole mecánico o eléctrico.

Los programas de mantenimiento preventivo de las áreas de prensa, secador y desfiladora fueron provistas por el departamento de mantenimiento.

Tabla LIII. Programa de mantenimiento preventivo en prensa

Área/ Sistema	Actividad	Inicio de turno	Fin de turno	Cada 7 días	Cada 30 días	Cada 6 meses	Cada 12 meses
Dosificación de sémola	Lubricar rotor	X					
	Controlar cadena de transmisión de movimiento				X		
Dosificador de líquidos	Limpiar filtros					X	
	Verificar flujómetro					X	
Pre amasadora	Controlar correa de transmisión de movimiento				X		
	Lubricación anillos de estanque			X			
Tina amasadora	Controlar cierre de junta de conexión				X		
	Lubricación anillos de estanque			X			
Tina distribuidora	Control de empalme de conexión en motor					X	
	Lubricación anillos de estanque			X			
	Verificar tolerancia entre anillo y cilindro						X
Cabezal	Engrase de conducto al manómetro			X			
	Limpieza de cabezal		X				
	Limpieza anillos de estanque		X				
	Lavado de moldes y filtros		X				
	Limpieza de conductos-tapas y difusores inferiores				X		
Moldes	Control de cilindros de expulsión/introducción					X	
Grupo de corte	Controlar correa de transmisión de movimiento				X		
	Controlar cuchilla de corte	X					
	Controlar estanqueidad de aire en cilindro de elevación					X	
Grupo instalación de vacío	Engrase de los soportes de la bomba				X		
	Limpieza del pulmón					X	
	Limpieza del depósito de decantación				X		
	Control del filtro del depósito de decantación		X				

Continuación de la tabla LIII.

Grupo ventilación de cabezal	Control de estado de los ventiladores					X	
	Limpieza de batería de calentamiento				X		
Circuitos de termo-estación	Engrase de cojinetes de bombas					X	
	Control de prensa estopa de las válvulas neumáticas					X	
	Control y limpieza de filtros					X	
Estructura	Limpieza de la estructura			X			
Sondas y micro interruptores	Control y verificación de funcionamiento y eventual calibración o sustitución					X	
Central oleodinámica	Control de funcionamiento de electroválvulas, mandos y desviadores				X		
	Limpieza del filtro					X	
Instalación neumática	Control de nivel de aceite en el rociador				X		
	Control de funcionamiento de electroválvulas					X	
	Descarga de condensación				X		
Grupo de cinematismo	Control y tensión de las cadenas de transmisión				X		
	Control y tensión de las cadenas de transporte				X		
	Lubricación de las cadenas de transporte				X		
	Lubricación de las cadenas de transmisión				X		
Cizallas superiores	Control y afilado de cuchilla y contra cuchilla	X					
Depósito de aceite cañas	Control de nivel de aceite para lubricación	X					
Cizallas inferiores	Control y afilado de cuchilla y contra cuchilla	X					
Grupo remachador	Lubricar partes móviles				X		
	Control de la fase	X					
Recuperación desperdicios	Control y tensión de cintas de recuperación				X		
Trituración desperdicios	Control de cuchillas fijas y móviles				X		
Calentamiento de cañas	Limpieza de batería de calentamiento		X				

Continuación de la tabla LIII.

Seguridad mecánica	Control y funcionalidad de los elementos de seguridad				X		
Instalación térmica	Control de la temperatura de entrada de las baterías	X					
Fase	Control de la puesta en fase de toda la máquina				X		

Fuente: empresa.

Entre las actividades de mantenimiento preventivo no periódicas se contempla la limpieza de todo el grupo de alimentación de sémola cada 10 días de paro continuo, controlar las superficies de contacto del rotor con el estator en el dosificador de líquidos durante la limpieza y cada ocho horas controlar el nivel y temperatura del agua en el grupo de instalación al vacío.

Tabla LIV. **Programa de mantenimiento preventivo en secador**

Área/Sistema	Actividad	Inicio de turno	Fin de turno	Cada 7 días	Cada 30 días	Cada 6 meses
Cinematismo	Control de tensor de cadena					X
Ventilación	Control de ventiladores					X
Instalación térmica hídrica	Control de temperatura del agua	X				
	Control de retención de válvulas					X
	Limpieza de filtros					X
	Verificación bombas de circulación					X
Instalación de extracción de aire húmedo	Control de ventiladores de extracción					X
	Control de compuertas y palancas					X
	Control de accionadores neumáticos					X
Instalación de vapor	Control de vapores y rebajador de condensación					X
	Control y limpieza de filtros					X
	Control de generador de vapor				X	
Guarniciones	Control de instalación de inflado				X	
	Control de estado y retención				X	
Sondas de mando	Calibración, control y limpieza de las sondas					X

Fuente: empresa.

Tabla LV. **Programa de mantenimiento preventivo en desfiladora**

Área/ Sistema	Actividad	Inicio de turno	Fin de turno	Cada 7 días	Cada 30 días	Cada 6 meses
Grupo tiro y cinematismo	Control de tensionamiento cadenas de transmisión				X	
	Control de tensionamiento cadenas del descensor				X	
Cadenas de transporte de alfombras	Control del pistón neumático					X
	Descargar condensación				X	
	Controlar funcionalidad de electroválvulas neumáticas					X
Cintas de transporte	Controlar tensión de las alfombras				X	
Grupo de discos cortantes	Engrasar barra fileteada					X
	Control de presión en la pasta				X	
	Control de afilado de discos				X	
Aspiración de polvo	Control del ventilador					X
	Limpieza del ventilador				X	

Fuente: empresa.

Como norma general para todas las áreas de la línea, siempre al inicio de cada turno se debe controlar y verificar la funcionalidad de todos los elementos de seguridad instalados en la maquinaria, principalmente las protecciones fijas y móviles. Antes de realizar cualquier actividad de mantenimiento se debe desconectar toda alimentación eléctrica hacia la línea y asegurar las estaciones con el sistema de bloqueo y etiquetado. Además, se debe esperar a que se enfríe la línea en caso de ser necesario ingresar a las partes internas del área de secado.

Todas las partes móviles accesibles deben lubricarse según las indicaciones del proveedor, utilizando los aceites y grasas de grado alimenticio adecuados en cada caso.

4.6.4. Mantenimiento basado en la condición

Es el tipo de mantenimiento que conlleva la detección de anomalías en las condiciones normales de funcionamiento de la línea antes que estas continúen y devenguen en un desperfecto que requiera de acciones de mantenimiento correctivo que resulten más costosas en materia de recursos y tiempo. Basado en la metodología VOSO (ver, oír, sentir, olfatear) que consiste en la detección de anomalías en el proceso mediante el uso de los sentidos y llevado a cabo efectivamente solo por el personal con la experiencia adecuada.

Cuando el mantenimiento basado en la condición complementa al preventivo, es ideal para reducir al máximo los costos que conllevan la reparación de fallas repentinas o reemplazo de piezas no programado. Debido a su naturaleza, únicamente el personal con mayor grado de experiencia y capacitación puede listar todas las aplicaciones de este tipo de mantenimiento en la línea. Sin embargo, al ser los sistemas más importantes de la línea los de movimiento de cañas, ventilación para el calentamiento de pasta y las empacadoras, se presentan las situaciones más importantes en las cuales es aplicado.

- En la sección de la extendedora, se observa el movimiento de la cadena que transporta las cañas para verificar si esta se mueve en los intervalos correctos o existe desincronización en el recorrido de esta, de ser así, pueden haber varias causas incluyendo una tensión inadecuada de la cadena u obstrucción en alguno de los componentes mecánicos responsables de su movilización.
- Cuando la línea se encuentra en paro programado, se inspeccionan los cojinetes de los ventiladores en el área del pre secador y secador haciéndolos

girar manualmente para verificar si giran correctamente o deben ser reemplazados.

- En las empacadoras se observa si sus componentes móviles visibles están en sincronía unos con otros, de no ser así, puede deberse al aflojamiento de una correa o causas de otra índole.

4.7. Análisis financiero

Se procede a listar todos los costos que conlleva el proyecto de optimización de la línea y determinar la mejora en la producción que significaría el mismo, para posteriormente realizar un análisis y establecer si su implementación es económicamente viable o en cuánto tiempo lo sería.

4.7.1. Costos

Se presentan los costos que implica la implementación de la propuesta.

4.7.1.1. Reparación de maquinaria

Anteriormente se mencionó que, para llevar a cabo el proyecto de optimización, no es necesario reparar equipo alguno debido a que todos aquellos que presentan fallos significativos o constantes son de naturaleza menos compleja que los componentes principales tanto de la línea como de los equipos auxiliares, por lo cual resulta más viable reemplazarlos. Por lo tanto, no se consideran costos de reparación de maquinaria.

4.7.1.2. Reemplazo de maquinaria

A continuación se detalla la lista de los equipos que es necesario adquirir para llevar a cabo el proyecto de optimización.

Tabla LVI. Costo de reemplazo de maquinaria

Equipo	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Ventilador para empacadora	8	Q 3 000,00	Q 24 000,00
Empaque de hule original para balanza	12	Q 187,50	Q 2 250,00
Sensor de flujo para <i>chiller</i>	4	Q 1 350,00	Q 5 400,00
Sensor de presión para <i>chiller</i>	4	Q 1 350,00	Q 5 400,00
Tarjeta de posición de servomotor para caldera	1	Q 37 500,00	Q 37 500,00
Radiador para compresor	1	Q 9 000,00	Q 9 000,00
Válvula de purga de condensado para compresor	1	Q 1 875,00	Q 1 875,00
TOTAL DE COSTOS			Q 85 425,00

Fuente: costos aproximados del mercado local.

4.7.1.3. Personal adicional

Anteriormente se sopesó la posibilidad de adquirir dos operarios de equipos auxiliares cuya labor sería el monitorear y llevar registro de la actividad de los mismos, así como llevar a cabo tareas de limpieza y mantenimiento menor en ellos. Tomando en consideración el salario de profesiones afines en la industria, el sueldo que devengaría cada colaborador sería Q 5 000,00 mensuales, lo cual representaría un costo constante de Q 10 000,00/mes ya que dichas labores son actualmente distribuidas entre los electromecánicos, se analizará posteriormente los beneficios reales de las contrataciones según el gasto constante que estas significarían.

4.7.1.4. Capacitación de nuevo personal

Debido a que la capacitación sería dada, tanto por los programas internos de la empresa como por el mismo personal de mantenimiento, al ser los únicos con la experiencia necesaria y los conocimientos requeridos en el desempeño de las labores que corresponderían a los nuevos colaboradores, no se consideran costos por capacitación de nuevo personal.

4.7.2. Mejora en la producción

Se describen los beneficios que supondría la implementación de las medidas sugeridas en el proyecto. Como se mencionó al principio del capítulo anterior, el período de evaluación de la línea fue de cuatro meses, de los cuales la línea estuvo en operación 88 días las 24 horas; en 68 días se suscitaron paros por diversas causas y 20 días no hubo retrasos en la producción.

Es necesario mencionar que, aun cuando ocurren paros por desperfectos en la línea, estos ocurren en secciones específicas, por lo cual la alimentación eléctrica continua fluyendo y los gastos por generación de electricidad también continúan a pesar de estar detenida la producción. A continuación se detalla la optimización del proceso según los resultados esperados del proyecto.

- Al priorizar el ajuste de los *clutches* para tensar las cadenas cada vez que la línea entre en paro programado, los retrasos por desfase de cañas se reducirán en 66 %.
- Al corregir los desperfectos en las balanzas 1, 2 y 3 del área de empaque, los retrasos relacionados se reducirán en 75 %.

- Al remover constantemente, de la forma indicada, los taponamientos que impiden el movimiento del carrito repartidor, se reducirán los retrasos por atasque del mismo en 50 %
- Con los nuevos sensores de flujo y presión para el *chiller* se proyecta reducir los paros por desperfectos en dicho equipo en 33 %.
- Los empaques de hule originales, a diferencia de los utilizados actualmente que deben reemplazarse cada ocho días, tienen una durabilidad de tres meses, por lo cual se evitarán los paros constantes en el área de empaque por dicha labor. El costo a largo plazo de utilizar dichos empaques es el mismo que el actual, por lo que no se contempla variación en los costos actuales.
- Con las modificaciones propuestas para el área de empaque se evitará el reproceso de ocho paquetes de producto cada hora de producción y la pérdida de su material de empaque.

Se procede a calcular el ahorro monetario continuo en costos de producción por las mejoras propuestas, proyectado en periodos iguales al tiempo en que se evaluó la línea (4 meses).

Tabla LVII. **Ahorro en energía eléctrica**

Área de optimización	Minutos de paro actuales	Porcentaje de reducción	Minutos de paro prevenidos
Ajuste de <i>clutches</i>	371	66 %	244,86
Correcciones en balanzas	339	75 %	254,25
Reducción de atasque en carrito repartidor	249	50 %	124,50
Sensores para el <i>chiller</i>	527	33 %	173,91
TOTAL MINUTOS DE PARO PREVENIDOS			797,52

Fuente: elaboración propia.

Para calcular el beneficio por ahorro de energía eléctrica se deben tomar en cuenta los siguientes datos:

- Voltaje de la línea: 230 V.
- Amperaje de la línea: 1 913,045 A.
- Costo de energía por kilovatio: Q 1,13/ [kW/h] (valor promedio del mercado).

Primero se debe calcular la potencia (en kW) de la línea.

$$Potencia = voltaje * amperaje = 230 V * 1 913,045 A = 440 000 W = 440 kW$$

Seguidamente se calcula el costo por generación de electricidad por hora.

$$\frac{Q 1,13}{1 (kW/h)} * 440 kW = Q 497,20/h$$

Finalmente, se determina el ahorro total de energía eléctrica por prevención de paros en línea, considerando que 797,52 min equivalen a 13,3 h.

$$13,3 h * \frac{Q 497,20}{1 h} = Q 6 612,76$$

Se observa que el ahorro en generación de energía eléctrica por prevención de paros en línea corresponde a Q 6 612,76 cada cuatro meses.

Para calcular el beneficio por prevención del reproceso de ocho paquetes de pasta por cada hora de producción se deben tomar en cuenta los siguientes datos:

- Costo total de procesar la cantidad de pasta contenida en un paquete: Q 2,84*.
- Costo total del empaque empleado en cada paquete: Q 0,95*.

*Valores asumidos según condiciones del proceso.

Durante los cuatro meses que duró la evaluación de la línea, estuvo en operación 88 días las 24 horas, por lo cual se tomará esta medida de tiempo para calcular el ahorro monetario cada cuatro meses.

Primero se prosigue a calcular la cantidad de paquetes de pasta producidos en el periodo estipulado.

$$\frac{8 \text{ paquetes}}{1 \text{ hora}} * \frac{24 \text{ horas}}{1 \text{ día}} * \frac{88 \text{ días}}{4 \text{ meses}} = 16\ 896 \text{ paquetes}/4 \text{ meses}$$

El ahorro por reproceso de pasta cada cuatro meses es el siguiente:

$$16\ 896 * Q\ 2,84 = Q\ 47\ 984,64$$

El ahorro por empaque perdido cada cuatro meses es el siguiente:

$$16\ 896 * Q0,95 = Q\ 16\ 051,20$$

Finalmente, el ahorro total que implica el proyecto es el siguiente.

Tabla LVIII. **Ahorro monetario cada cuatro meses**

Ahorro por energía eléctrica	Q 6 612,76
Ahorro por reproceso de pasta	Q 47 984,64*
Ahorro por pérdida de material de empaque	Q 16 051,20*
Ahorro total	Q 70 648,60* * Valores supuestos, propensos a variar en función de los costos de producción.

Fuente: elaboración propia.

4.7.3. Análisis costo beneficio del proyecto

Se realizará primero un análisis considerando únicamente el costo de la inversión inicial por el reemplazo y compra de equipos nuevos y luego un análisis incluyendo la contratación de dos operarios para los equipos auxiliares.

El período de recuperación (tomando cada uno como un cuatrimestre) para cada caso se calcula dividiendo la inversión inicial por el ahorro constante proyectado. En el segundo caso la inversión inicial ascenderá a Q 95 425,00 considerando el primer sueldo del nuevo personal, además, tomando en consideración que cada cuatro meses se habrá devengado Q 40 000,00 como salario de los nuevos operarios, el ahorro total cada cuatro meses descenderá a Q 30 648,60.

Considerando solamente la adquisición de los equipos nuevos se tiene lo siguiente:

- Inversión inicial: Q 85 425,00.
- Ahorro total cada cuatrimestre: Q 70 648,60.
- Período de recuperación = $Q\ 85\ 425,00 / 70\ 648,60 = 1,21$ cuatrimestres → 2 cuatrimestres.

Se obtiene un período de recuperación de ocho meses. Finalmente, se calculan los beneficios a un año de implementar esta opción.

$$\text{Ahorro a un año plazo} = (3 * Q\ 70\ 648,60) - Q\ 85\ 425,00 = Q\ 126\ 520,80.$$

Considerando la contratación de los operarios de equipos auxiliares se tiene lo siguiente:

- Inversión inicial: Q 95 425,00.
- Ahorro total cada cuatrimestre: Q 30 648,60.
- Período de recuperación = $Q\ 95\ 425,00 / 30\ 648,60 = 3,11$ cuatrimestres → 4 cuatrimestres.

Se obtiene un período de recuperación de dieciséis meses, equivalente a un año y cuatro meses. Finalmente, se calculan los beneficios a dos años de implementar esta opción.

$$\text{Ahorro a dos años plazo} = (6 * Q\ 30\ 648,60) - Q\ 95\ 425,00 = Q\ 88\ 466,60.$$

Al observar los resultados de ambas opciones se hace evidente que la más atractiva es la primera, ya que la contratación de nuevo personal supondría período de recuperación mayor a un año, además de un ahorro continuo mucho menor.

Para comprobar lo anterior, se calculará la tasa interna de retorno (TIR) de cada opción hasta el cuatrimestre siguiente al período de recuperación; dicha tasa indica el porcentaje de ganancia o pérdida que supone una inversión y es equivalente a la tasa de referencia que corresponde al valor presente neto (VPN) de dicha inversión cuando este valor es 0. La fórmula para calcularla es la siguiente:

$$VPN = 0 = -P + \frac{FNE}{(1+i)^1} + \frac{FNE}{(1+i)^2} + \frac{FNE}{(1+i)^3} + \dots + \frac{FNE}{(1+i)^n}$$

Así:

- FNE: flujo neto de efectivo en cada período.
- P: inversión inicial.
- i : tasa de referencia, equivalente a la TIR.
- n : número de períodos para los cuales se calcula la TIR.

Para la primera opción se tiene $P = Q 85 425,00$; $FNE = Q 70 648,60$ y $n = 3$ cuatrimestres, por lo que la fórmula queda de la siguiente forma:

$$VPN = 0 = -85 425 + \frac{70 648,60}{(1+i)^1} + \frac{70 648,60}{(1+i)^2} + \frac{70 648,60}{(1+i)^3}$$

Al despejar i se obtiene 0,6393 por lo cual la TIR para la primera opción, al cuatrimestre siguiente al período de recuperación, es 63,93 %.

Para la segunda opción se tiene $P = Q 95 425,00$; $FNE = Q 30 648,60$ y $n = 5$ cuatrimestres, por lo que la fórmula queda de la siguiente forma:

$$VPN = 0 = -95 425 + \frac{30 648,60}{(1+i)^1} + \frac{30 648,60}{(1+i)^2} + \frac{30 648,60}{(1+i)^3} + \frac{30 648,60}{(1+i)^4} + \frac{30 648,60}{(1+i)^5}$$

Al despejar i se obtiene 0,1819 por lo cual la TIR para la segunda opción, al cuatrimestre siguiente al período de recuperación, es 18,19 %.

Al analizar el período de recuperación, los beneficios al final del período y la tasa interna de retorno para cada opción, se hace evidente que es preferible la primera, porque, al contrario de la segunda, implica un período de recuperación razonable, un ahorro significativo a un año de implementarse y los beneficios constantes continúan siendo importantes aun después de dicho plazo.

5. MEJORA CONTINUA

5.1. Programas de capacitación de personal

Se presentan los programas de capacitación continua propuestos para los colaboradores de la empresa, basados en la información expuesta en los capítulos anteriores con el fin de que esta sea aprovechada en la mayor medida posible para optimizar en conjunto las operaciones y acciones pertinentes al funcionamiento de la línea de pasta larga.

5.1.1. Capacitación técnica

Se describen los programas orientados hacia el personal responsable de la operación y manutención de la línea y los equipos auxiliares necesarios para su funcionamiento.

5.1.1.1. Operarios

Las primeras actividades que deben enseñarse al personal de reciente incorporación, con período de inducción de dos semanas son las siguientes:

- Mantener un canal de comunicación constante con el departamento de mantenimiento para informar de los fallos que involucren desperfectos en los equipos.

- Mantener un canal de comunicación constante con el operador del área de silos para informar acerca de escasez o exceso de sémola en la línea para evitar paros por ambas situaciones.
- Para cada velocidad de operación de la línea, no programar valores de humedad y temperatura fuera de los rangos propuestos en el manual de operación.

Las actividades que se sugiere realizar de manera periódica para todo el personal son las siguientes:

- Llevar un registro de los propios errores, incluyendo sus causas y soluciones y analizarlo para mantener una retroalimentación de estos que disminuya periódicamente su frecuencia hasta que esta sea casi nula. Se recomienda realizar esta actividad cada semana.
- Comprobar que operarios y colaboradores auxiliares conocen cómo cada acción específica realizada en el software de operación afecta directamente el funcionamiento de la línea. Se recomienda llevar a cabo esta evaluación cada dos meses.
- Verificar que operarios y colaboradores auxiliares conocen las posibles causas y soluciones a los problemas pertinentes a la línea expuestos anteriormente, especialmente los que ocurren con mayor frecuencia. Se recomienda evaluar cada dos meses.
- Evaluar que, tanto operarios como el personal auxiliar, cumple con el perfil del operario propuesto en este trabajo. Se recomienda llevar a cabo esta evaluación cada seis meses.

5.1.1.2. Electromecánicos

Las primeras actividades que deben enseñarse al personal de reciente incorporación son las siguientes:

- Informar acerca de las actividades de manutención que no es prudente realizar en los equipos auxiliares por corresponder a los proveedores, lo cual podría invalidar la garantía de los equipos, durante un mes.
- Emparejar al personal de mayor experiencia con los potenciales nuevos miembros del departamento durante las labores normales para llevar a cabo una capacitación práctica, durante un periodo de dos meses.

Las actividades que se sugiere realizar de manera periódica con todo el personal son las siguientes:

- Evaluar el conocimiento de todos los comandos de operación de los equipos auxiliares, así como identificar el significado de las señales de alerta. Se recomienda evaluar cada tres meses.
- Repasar las acciones sugeridas por los fabricantes en caso de fallos, así como las medidas empleadas según los fallos más comunes registrados. Se recomienda repasar las acciones sugeridas cada seis meses, mientras se realiza una retroalimentación cada mes de las medidas empleadas, según los fallos ocurridos en ese tiempo.

5.1.2. Seguridad industrial

La información presentada anteriormente respecto de la salud ocupacional y seguridad industrial en el proceso de producción se puede resumir en los siguientes puntos en los que el personal de los departamentos de mantenimiento y producción debe capacitarse al iniciar labores:

- Riesgo de lesiones y medidas por tomar al respecto en cada sección de la línea.
- Indicaciones estrictas para recorrer la línea e ingresar a ella para labores de mantenimiento.
- Medidas obligatorias al realizar actividades específicas en la línea y el estado en el que debe estar el área de trabajo.
- Riesgos posibles asociados a la naturaleza del trabajo.
- Descripción del sistema de bloqueo y etiquetado.

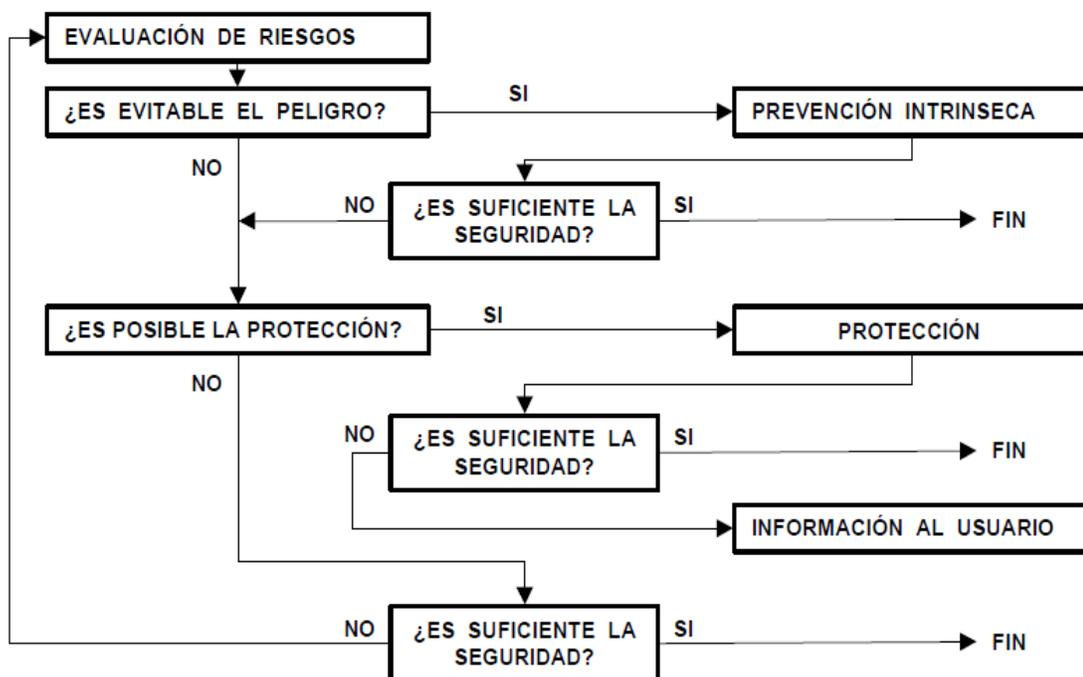
Luego de que los colaboradores conozcan y comprendan la importancia de estos cinco aspectos respecto de la seguridad se recomienda repasarlos constantemente debido a que siempre serán relevantes mientras se desarrolle el trabajo asignado.

Es necesario incorporar información nueva al programa de capacitación de seguridad industrial, aplicable no únicamente para las labores efectuadas en la línea de pasta larga sino para toda maquinaria y el ambiente general del trabajo. Se recomienda impartir estos nuevos elementos al programa de capacitación como parte de la inducción hacia los colaboradores antes de iniciar sus labores normales.

Como primer punto se debe enseñar cómo realizar una evaluación rápida acerca de todos los riesgos que conlleva trabajar con una máquina, denominado estudio de adecuación de una máquina, en el cual se deben considerar tanto los riesgos ergonómicos, al forzar al colaborador a tomar una postura corporal incómoda para realizar el trabajo, como los riesgos mecánicos propios de la maquinaria.

Dicha evaluación se presenta en forma esquemática, el primer paso es la evaluación de riesgos potenciales previo conocimiento de la naturaleza de la máquina con la cual se trabaja.

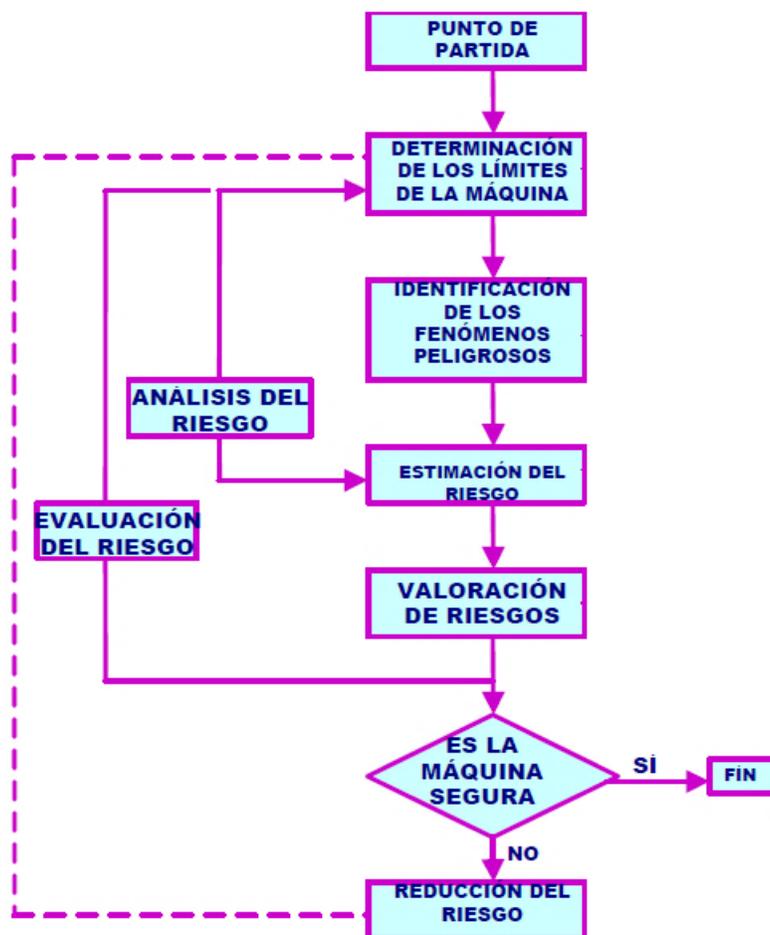
Figura 52. Estudio de adecuación de una máquina



Fuente: MUÑOZ, Antonio; RODRÍGUEZ, José; MARTÍNEZ, José. *La seguridad industrial fundamentos y aplicaciones*. p. 68.

Del estudio de adecuación de una máquina se deduce que lo más importante es considerar las medidas preventivas para evitar lesiones potenciales. En caso de no ser posible dicha prevención, se deben implementar las medidas de protección adecuadas para el colaborador, pero de no ser estas suficientes debe informársele al trabajador acerca de los riesgos de la maquinaria. Complementando la información anterior, se presenta el esquema para la reducción de riesgos en una máquina.

Figura 53. **Esquema de reducción de riesgos en maquinaria**



Fuente: MUÑOZ, Antonio; RODRÍGUEZ, José; MARTÍNEZ, José. *La seguridad industrial fundamentos y aplicaciones*. p. 420.

Del esquema anterior, los límites de la máquina se refiere al tiempo y límites de utilización, límites de espacio al trabajar con esta y el grado de formación de quienes operarán o le darán mantenimiento. Los fenómenos peligrosos pueden ser tanto de índole mecánico, térmico o eléctrico como producidos por no respetar los principios ergonómicos de cada máquina.

Tanto dentro de planta como en el área de máquinas, los trabajadores deben lidiar con altas temperaturas propias del funcionamiento de los equipos, las cuales no es posible disminuir por dicha razón. Por eso es de suma importancia que los trabajadores conozcan las consecuencias de la sobre exposición a las temperaturas elevadas por períodos prolongados de tiempo.

Figura 54. **Correlación entre rendimiento y temperatura ambiental**

20 °C	Tª confortable	Capacidad rendimiento plena
↓	Malestar	Trastornos Psíquicos
	Irritabilidad	
	Dificultad de concentración	
	Disminución rendimiento intelectual	
	Aumento fallos en trabajo	Trastornos Psicofisiológicos
	Dismu. rend. trabajos de destreza	
	Mayor nº accidentes	
	Disminu. rend. trabajos pesados	Trastornos Fisiológicos
	Perturbación metab. hidro-salino	
	Sobrecarga sist. cardiovascular.	
	Fuerte fatiga, riesgo de agotamiento	
	35-40 °C	Límite de la máxima temperatura tolerable

Fuente: MUÑOZ, Antonio; RODRÍGUEZ, José; MARTÍNEZ, José. *La seguridad industrial fundamentos y aplicaciones*. p. 425.

Los efectos aparecen luego de varias horas de exposición a temperaturas elevadas, por ello, se recomienda dosificar el trabajo para que más de un colaborador realice trabajos en dichos ambientes de forma alternada, e informar al superior inmediato acerca de malestares relacionados con dicha exposición. Los trabajadores han de identificar las señales acerca de las normas e indicaciones necesarias para evitar potenciales accidentes y lesiones.

Tabla LIX. **Señalización de seguridad industrial**

Señales de prohibición					
Imagen	Color de la figura	Color del fondo	Color del contorno	Significado	Lugares de colocación
	Negro	Blanco	Rojo	Prohibido introducir las manos	Partes de la maquinaria con aberturas grandes
	Negro	Blanco	Rojo	Prohibido el uso de calzado no reglamentario	Al ingreso de planta y sala de máquinas
	Negro	Blanco	Rojo	Prohibido obstruir la puerta	Arriba de puertas en planta y sala de máquinas
	Negro	Blanco	Rojo	Prohibido dejar objetos en los pasillos	Al ingreso de planta y en pasillos de bodega
	Negro	Blanco	Rojo	Prohibido manipular la válvula	Cerca de la sección de válvulas en planta
Señales de peligro					
Imagen	Color de la figura	Color del fondo	Color del contorno	Significado	Lugares de colocación
	Negro	Amarillo	Negro	Riesgo de atrapamiento	Partes móviles o estrechas de la maquinaria
	Negro	Amarillo	Negro	Riesgo eléctrico	Tablero de alimentación en planta y flipones

Continuación de la tabla LIX.

	Negro	Amarillo	Negro	Riesgo por caída de objetos	En bodega y área de empacadoras en planta
	Negro	Amarillo	Negro	Riesgo de atrapamiento	Partes móviles de la maquinaria
Señales de obligación					
Imagen	Color de la figura	Color del fondo	Color del contorno	Significado	Lugares de colocación
	Blanco	Azul	Azul	Uso obligatorio de tapones auditivos	Al ingreso de planta
	Blanco	Azul	Azul	Uso obligatorio de uniforme	Al ingreso de planta y taller
	Blanco	Azul	Azul	Uso obligatorio de arnés de seguridad	En todos los lugares de trabajo elevados
	Blanco	Azul	Azul	Uso obligatorio de redecilla	Al ingreso de planta
	Blanco	Azul	Azul	Uso obligatorio de casco	Al ingreso de planta y sala de máquinas y en taller
Señales de indicación					
Imagen	Color de la figura	Color del fondo	Color del contorno	Significado	Lugares de colocación
	Blanco	Verde	Ninguno	Dirección hacia la salida	En todas las rutas de evacuación
	Blanco	Rojo	Ninguno	Lugar del extintor de incendios	Arriba de los extintores en áreas con máquinas

Continuación de la tabla LIX.

	Blanco	Verde	Ninguno	Lugar del botiquín de emergencia	Arriba de los botiquines en planta y área de máquinas
	Blanco	Verde	Ninguno	Punto de reunión	En los puntos de reunión en caso de emergencia
	Blanco	Verde	Ninguno	Lavado de ojos de emergencia	Fuera del área de calderas
	Blanco	Azul	Ninguno	Punto de anclaje	En puntos donde se asegura el arnés
	Blanco	Azul	Ninguno	Sala de máquinas	En las entradas a la sala de máquinas

Fuente: elaboración propia, en base a información disponible en <https://www.carteling.com/es/>.

Consulta: mayo de 2018.

Luego de implementar estos nuevos elementos en la inducción de seguridad para los nuevos colaboradores, se recomienda que todo el personal los repase periódicamente según su disponibilidad de tiempo, debido a que nunca pierden relevancia durante el desarrollo del trabajo y, por la misma razón, es fundamental conocerlos a fondo.

Por último, se sabe que la gestión de seguridad industrial se basa en el análisis estadístico de los accidentes ocurridos, por lo cual es necesario estudiar su registro junto con todo el personal una vez cada mes para determinar las áreas que requieren mayor atención y así propiciar un ambiente de trabajo con la mayor seguridad posible para el colaborador.

5.2. Elaboración de fichas técnicas para la maquinaria

En el ámbito de la ingeniería, una ficha técnica es una hoja que resume la información pertinente a las características y capacidades de una máquina, fundamental para saber qué usos se le puede dar y qué limitaciones tiene. Sin embargo, en el ejercicio de propiciar la mejora continua de la producción, una ficha técnica puede utilizarse como un medio de verificación del buen funcionamiento de los componentes responsables del proceso productivo al usarlas como un método de detección temprana de potenciales desperfectos en la línea, a modo que estos puedan atenderse antes de convertirse en averías que ocasionen paros de producción.

5.2.1. Partes por revisar constantemente

El recopilado de información de esta ficha correspondería a un electromecánico y se realizaría una vez cada tres días de producción. El encargado de llenar la ficha recorrería toda la línea durante la producción normal en un lapso no mayor a 15 minutos, anotando la información pertinente respecto de las partes móviles de la línea que puedan examinarse sin necesidad de parar el proceso de producción. Las partes más importantes por revisar serían cadenas, fajas, cojinetes y engranes debido a que, al estar en constante movimiento, son las que tienden a desgastarse con mayor frecuencia.

Figura 55. Ficha técnica de partes por revisar constantemente

Fecha revisión anterior:		Fecha actual:					
Area	Piezas	Cantidad de piezas					
		En buen estado	En mal estado	Requieren lubricación	No requieren lubricación	Requieren reemplazo	No requieren reemplazo
Prensa	Cadenas						
	Fajas						
	Cojinetes						
	Engranés						
Pre-Secado	Cadenas						
	Fajas						
	Cojinetes						
	Engranés						
Secado	Cadenas						
	Fajas						
	Cojinetes						
	Engranés						
Acúmulo	Cadenas						
	Fajas						
	Cojinetes						
	Engranés						
Empaque	Cadenas						
	Fajas						
	Cojinetes						
	Engranés						
Observaciones: _____							

Fuente: elaboración propia.

5.2.2. Inspecciones de rutina

Esta ficha se utilizaría para inspeccionar los equipos específicos que reporten el mayor número de fallas de índole mecánico cada mes, actualizando la lista de equipos por revisar cada treinta días, según los registros. El recopilado de información para la ficha correspondería a un electromecánico y se haría una vez cada semana tanto durante la producción normal como en período de paro. A modo de ejemplo se muestran los equipos que reportaron el mayor número de fallas de tipo mecánico durante la determinación de los fallos más comunes.

Figura 56. **Ficha técnica de inspecciones de rutina**

Fecha revisión anterior:		Fecha actual:		
Equipos por inspeccionar	Partes a inspeccionar	Problemas detectados	Ajustes requeridos	Repuestos necesarios
Empacadoras				
<i>Clutch</i> del elevador				
Unidad de separación				
Bomba de vacío				
Bajadores del humidificador				

Fuente: elaboración propia.

5.2.3. Informe de maquinaria por parte de operario

El llenado de esta ficha correspondería a los operarios y colaboradores auxiliares de la línea cada vez que detecten desperfectos en uno o más equipos. Al finalizar su turno de trabajo el operador de la línea entregaría (en caso de haberla llenado) la ficha de reporte al supervisor de mantenimiento.

Al no recibir entrenamiento específico para detectar anomalías en los equipos de la línea, la detección de problemas por parte del personal de producción se basaría en la metodología VOSO (ver, oír, sentir y oler) previamente descrita, por lo cual es indispensable la experiencia de los operarios con mayor antigüedad para la correcta aplicación del método.

Figura 57. **Ficha técnica de informe de maquinaria por parte de operario**

Fecha de inicio de turno:		Horario de turno:		
Parte específica de la línea	Equipo(s) sospechado(s)	Anomalías detectadas	Afección en la producción	Hora del problema

Fuente: elaboración propia.

5.3. Realización de rutinas

Las rutinas comprenden un método ordenado de revisión y detección que se efectúa para examinar los equipos involucrados en el proceso y obtener la información necesaria para planificar un mantenimiento adecuado, previniendo fallos repentinos que escapen a las medidas de mantenimiento preventivo programado.

5.3.1. Visitas técnicas

Constituyen el primer paso para un programa de rutinas eficiente. Al requerir de alguien con probada experiencia en el campo, estas deben realizarse por un supervisor de mantenimiento una vez cada 15 días para los equipos de la línea y para los equipos auxiliares, alternando una semana entre la revisión de unos y otros. El objetivo de la visita técnica es la detección de posibles anomalías en los equipos mientras estos estén en operación sin realizar desmontaje alguno y sin detener la maquinaria, por lo cual toda inspección debe efectuarse únicamente con la metodología VOSO (ver, oír, sentir y olfatear), lo cual hace indispensable la experiencia de quien realice dicha labor.

Luego de finalizada la visita técnica, el supervisor anota los posibles fallos detectados en línea y entrega un informe al personal de mantenimiento para inspeccionar las fallas. En caso de detección de fallos en equipos auxiliares, el informe será dirigido a los técnicos de los proveedores.

5.3.2. Inspecciones

Son consecuentes de la visita técnica, efectuadas por electromecánicos para todos los equipos y por los técnicos de los proveedores para inspecciones

delicadas en los equipos auxiliares. Consisten en inspeccionar los equipos con reporte de fallo deteniéndolos y analizando el estado de sus componentes internos. Primero, se limpian las partes internas de los equipos que tienden a ensuciarse y se revisa la lubricación de las partes móviles, luego se inspeccionan las piezas en los lugares de difícil acceso, por lo cual los equipos no pueden estar trabajando al realizar la inspección. Si los fallos reportados durante la visita técnica no se consideran críticos, se debe fijar la inspección para el día más próximo con menor producción.

Durante la inspección de los equipos en línea el personal de mantenimiento debe realizar simultáneamente las reparaciones y efectuar los ajustes necesarios, de ser necesaria una intervención más compleja esta debe ser programada a la brevedad posible. De encontrarse desperfectos significativos en los equipos auxiliares se debe pedir la intervención de los proveedores en la fecha más próxima que sea posible.

5.4. Implementación de programas de mantenimiento

Los programas de mantenimiento son metodologías aplicadas por una empresa para reducir a un mínimo absoluto las averías que suponen retrasos en el proceso productivo, reduciendo de esa forma costos de mantenimiento y producción. Para alcanzar el mismo objetivo, distintos programas ofrecen métodos diferentes, los cuales, algunas veces, no es posible aplicar en su totalidad debido a la necesidad de una disponibilidad de planta muy grande o de requerir una inversión demasiado elevada.

A continuación se presentan dos propuestas de implementación, definiendo los puntos principales para ponerlos en marcha. Varias de las medidas propuestas han sido previamente incluidas, por lo que no se redundará en ellas.

5.4.1. Mantenimiento productivo total

El principal objetivo del mantenimiento productivo total MPT o TPM por su denominación en inglés *Total Productive Maintenance* es involucrar al personal de producción en tareas de manutención, logrando mayor eficiencia en las labores de mantenimiento preventivo y mantenimiento basado en la condición al pretender reducir la cantidad de fallas y averías ocurridas. La implementación del MPT sigue el proceso que se muestra a continuación.

Tabla LX. Proceso de desarrollo de un sistema MPT

Fase	Etapa	Aspectos de gestión
Preparación	1. Decisión de aplicar el MPT	La alta dirección hace público su deseo de llevar a cabo un programa MPT.
	2. Información sobre MPT	Campañas informativas a todos los niveles para la introducción del MPT.
	3. Estructura promocional de MPT	Formar comités especiales en cada nivel para promover MPT.
	4. Objetivos y políticas básicas de MPT	Analizar las condiciones existentes, establecer objetivos, prever resultados.
	5. Plan maestro de desarrollo de MPT	Preparar planes detallados con las actividades por desarrollar y los plazos de tiempo que se prevean para ello.
Introducción	6. Arranque formal de MPT	Conviene llevarlo a cabo invitando a clientes, proveedores y empresas o entidades relacionadas.
Implantación	7. Mejorar la efectividad del equipo	Seleccionar unos equipos con pérdidas crónicas y analizar causas y efectos para actuar.
	8. Desarrollar un programa de mantenimiento autónomo	Implicar en el mantenimiento diario a los operarios que utilizan el equipo, con un programa básico y la formación adecuada.
	9. Desarrollar un programa de mantenimiento planificado	Incluye mantenimiento periódico o con parada, el correctivo y el predictivo.
	10. Formación para elevar capacidades de operación y mantenimiento	Entrenar a los líderes de cada grupo que después enseñarán a los miembros del grupo correspondiente.
	11. Gestión temprana de equipos	Diseñar y fabricar equipos de alta fiabilidad y mantenibilidad.
Consolidación	12. Consolidación del MPT y elevación de metas	Mantener y mejorar los resultados obtenidos, mediante un programa de mejora continua.

Fuente: CUATRECASAS, Lluís. *TPM: Hacia la competitividad a través de la eficiencia de los equipos de producción*. p. 39.

De las etapas del desarrollo del MPT se observa que la mayoría se explican por si solas. Por su naturaleza, la fase 11 no aplica al proceso de producción y la única que debe ser explicada más ampliamente es la fase 8, por lo que posteriormente se ahondará en un programa de mantenimiento autónomo.

“Los principales factores que impiden lograr maximizar la eficiencia global se han clasificado en seis grandes grupos y son conocidos como las *Seis Grandes Pérdidas*. Están agrupadas en tres categorías según el tipo de mermas y efectos que pueden representar en el rendimiento de un sistema productivo con intervención directa o indirecta de los equipos de producción”⁹.

Tabla LXI. **Clasificación de las seis grandes pérdidas**

Tipo	Pérdidas	Características	Objetivo
Tiempos muertos y de vacío	1. Averías	Tiempos de paro del proceso por fallos, errores o averías, ocasionales o crónicas, de los equipos.	Eliminar
	2. Tiempos de preparación y ajuste de equipos	Tiempos de paro del proceso por preparación de máquinas o útiles necesarios para su puesta en marcha.	Reducir al máximo
Pérdidas de velocidad del proceso	3. Funcionamiento a velocidad reducida	Diferencia entre la velocidad actual y la de diseño del equipo según su capacidad.	Anular
	4. Tiempo en vacío y paradas cortas	Intervalos de tiempo en que el equipo está en espera para continuar. Paradas cortas por desajustes varios.	Eliminar
Productos o procesos defectuosos	5. Defectos de calidad y repetición de trabajos	Producción con defectos crónicos u ocasionales en el producto resultante y, consecuentemente, en el modo de desarrollo de sus procesos.	Eliminar productos y procesos fuera de tolerancias
	6. Puesta en marcha	Pérdidas de rendimiento durante la fase de arranque del proceso, que pueden derivar de exigencias técnicas.	Eliminar o minimizar según exigencias técnicas

Fuente: CUATRECASAS, Lluís. *TPM: Hacia la competitividad a través de la eficiencia de los equipos de producción*. p. 53.

⁹ CUATRECASAS, Lluís. *TPM: Hacia la competitividad a través de la eficiencia de los equipos de producción*. p. 52.

El mantenimiento autónomo es llevado a cabo por el personal de producción. Los operarios y colaboradores auxiliares de la línea, al asumir tareas de mantenimiento predictivo detectan fallos iniciales en los equipos antes que estos evolucionen hasta ser averías. Además, realizan labores de limpieza y remoción de residuos. Un mantenimiento autónomo efectivo cuenta, aparte del involucramiento del personal de producción, con la asistencia de los propios electromecánicos, por lo que se detallan las actividades atribuidas a ambos departamentos.

Tabla LXII. **Actividades de mantenimiento autónomo por departamento**

Producción			Mantenimiento
Evitar el deterioro	Medir el deterioro	Predecir y restaurar el deterioro	Apoyo al mantenimiento autónomo
<ul style="list-style-type: none"> - Evitar errores humanos. - Evitar defectos de calidad. - Limpieza, lubricación y apretado de pernos. - Detección de anomalías. - Llevar registros del mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Inspecciones con los cinco sentidos durante el funcionamiento del equipo. - Formar parte de la inspección general durante la parada de la planta para mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Medidas de emergencia cuando surgen las condiciones anormales y reemplazo de piezas simples. - Informe rápido y preciso de fallos y problemas. - Asistencia a la reparación de fallos inesperados. 	<ul style="list-style-type: none"> - Facilitar instrucciones en técnicas de inspección. - Facilitar información en técnicas y estándares de lubricación. - Tratar rápidamente el deterioro y tanto las pequeñas deficiencias como las que haya en las condiciones básicas del equipo. - Organizar actividades de rutina. - Crear sistemas de registro y datos de mantenimiento. - Desarrollar técnicas de análisis de fallos e implementar medidas para evitar la repetición de fallos serios.

Fuente: elaboración propia, en base a información de SUZUKI, Tokutaro et al. *TPM en industrias de proceso*. p. 90-93.

Finalmente el MPT considera la limpieza como parte fundamental de cualquier programa de mantenimiento debido a que las partículas e impurezas pueden acumularse dentro de los equipos y en las piezas más pequeñas, ocasionando deterioro acelerado, pérdidas de velocidad y fallos de todo tipo como resultado de resistencia por fricción, obstrucciones, pérdidas de precisión, entre otros. Por lo anterior se mencionan algunos puntos clave para la limpieza.

- Diariamente remover las partículas de los equipos con pequeñas hendiduras donde estas puedan introducirse y los aparatos electrónicos susceptibles de fallar por la misma causa.
- Remover la suciedad acumulada dentro de equipos cuyos paneles no hayan sido removidos en largos periodos de tiempo.
- Abrir periódicamente las tapas de los equipos accesibles para descubrir y remover la suciedad acumulada, la cual no debería ser mucha si se sigue esta práctica regularmente.
- Limpiar todos los equipos utilizados en las actividades de mantenimiento antes de ingresarlos a planta.

Como se ha expuesto, lo que pretende el mantenimiento productivo total es la minimización absoluta de los fallos en los equipos responsables de la producción, para lo cual fomenta el involucramiento del personal de producción en dichas labores y atribuye tareas específicas a todos los colaboradores para asegurar el éxito del programa. Muchos de los procedimientos propuestos por el MPT ya han sido previamente desarrollados.

No obstante, conocer los lineamientos generales y objetivos del programa permite realizar las modificaciones necesarias a los métodos actuales para alcanzar las metas planteadas de optimización de la línea de una manera más eficiente.

5.4.2. Mantenimiento centrado en la confiabilidad

De manera similar al MPT, el objetivo de mantenimiento centrado en la confiabilidad mejor conocido como MCC o RCM por su denominación en inglés *Reliability Centered Maintenance* es reducir tanto la ocurrencia de averías en los equipos hasta la menor cantidad posible como sus consecuencias. Este programa se basa en el conocimiento y análisis tanto de los equipos involucrados como de las potenciales fallas que podrían afectarlos para desarrollar planes de prevención y preparar acciones de contingencia en caso de que ocurran.

Al igual que con el programa anterior, muchas de las propuestas del MCC ya han sido presentadas, por lo cual se ahondará en los puntos que merezcan mayor exposición para ser aprovechados en la optimización de la línea. Una parte integral del MCC es la modificación o rediseño de los equipos. Este punto no aplica a ninguno de los componentes de la línea de pasta larga ni de los equipos auxiliares, por lo que no se mencionará.

Para realizar un análisis a profundidad del equipo o activo que se intenta revisar, el MCC formula siete preguntas básicas que develan la función que cumple, qué fallas padece, su causa y qué se debe hacer ante su ocurrencia.

Tabla LXIII. **Las siete preguntas básicas del MCC**

Pregunta	Explicación
¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?	Definir las funciones de cada activo en su contexto operacional, junto con los parámetros de funcionamiento deseados. Incluye las funciones primarias (el porqué de la adquisición del activo) y las funciones secundarias (expectativas relacionadas con la seguridad, control, ergonomía, entre otros).
¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?	Primero se debe identificar las circunstancias que llevaron a la falla y luego indagar en los eventos que pueden causar que el activo falle, incluyendo tanto fallas totales (incapacidad de funcionar) como fallas parciales, considerando situaciones en las que el activo no puede mantener la calidad o precisión exigida.
¿Cuál es la causa de cada falla funcional?	Identificar todos los hechos que de manera razonablemente posible puedan haber causado cada falla, incluyendo los que hayan ocurrido en equipos similares operando en el mismo contexto. Cada falla debe ser identificada con suficiente detalle.
¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?	Describir la evidencia de que la falla haya ocurrido, la manera en la cual afecta a la producción o las operaciones, los daños físicos causados por la falla y qué debe hacer para reparar la misma.
¿En qué sentido es importante cada falla?	Determinar si las consecuencias de una falla son ocultas (exponen a la empresa a fallas múltiples con serias consecuencias), para la seguridad (representan riesgo para el trabajador), operacionales (afecta la producción, incluyendo costos) o no operacionales (sólo implican el costo directo de la reparación) y dar prioridad a las que representen peligro a la integridad física del trabajador y mayor costo asociado.
¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?	Aplicar tareas proactivas (emprendidas antes de que ocurra una falla, previniéndola), basadas en el mantenimiento preventivo y, sobre todo, en el mantenimiento basado en la condición, cuyos indicadores define como <i>condiciones físicas identificables que indican que una falla funcional está por ocurrir</i> .
¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?	Realizar una búsqueda de fallas, que implica revisar las funciones ocultas de los equipos para verificar si han fallado, o simplemente no hacer ningún esfuerzo para prevenir la falla y dejar que esta ocurra para repararla posteriormente.

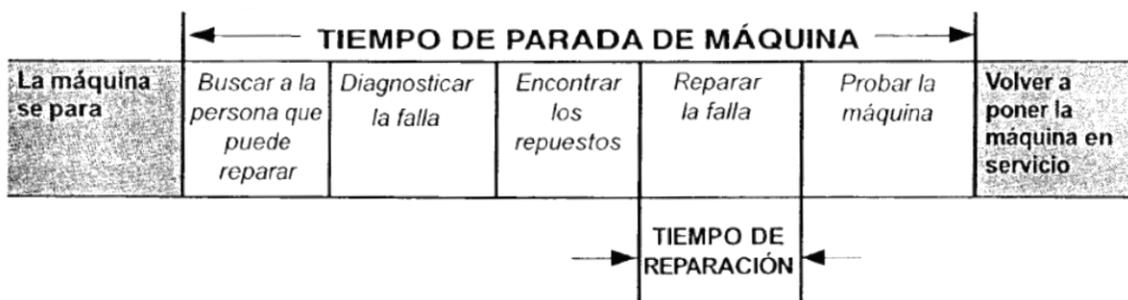
Fuente: elaboración propia, en base a información de MOUBRAY, John. *Mantenimiento centrado en confiabilidad*. p. 7-15.

Las primeras tres preguntas que se plantea el MCC se resumen en definir las funciones que debe cumplir el equipo, describir cómo dichas funciones no se cumplen a cabalidad e indagar en las causas que podrían haber ocasionado las fallas responsables de la pobre ejecución de las funciones del equipo.

Una vez identificada la falla, la cuarta y quinta pregunta exponen los efectos que la falla ha tenido, describiendo qué ha ocurrido, y sus consecuencias, exponiendo la importancia que representa para el proceso. Para describir los efectos de falla se debe recabar información acerca de su evidencia, de qué forma supone una amenaza para la seguridad, cómo afecta a la producción o a las operaciones, los daños físicos causados por la falla y qué debe hacer para repararla. Al presentar la evidencia de falla se debe aclarar si esta emite algún tipo de alerta al ocurrir o si provoca efectos físicos notorios en el equipo tales como fugas, olores extraños, humo, ruidos, entre otros.

Para definir el grado de consecuencia de la falla, primero se debe determinar el efecto que esta tiene en la producción, lo cual es crítico en los equipos que componen la línea de pasta larga ya que, al estar todas las secciones vinculadas de forma lineal y depender cada una de las que la preceden, el fallo en un equipo puede resultar crítico para todo el proceso. El mayor efecto negativo ocurre por el tiempo total en el que un equipo está en paro, lo cual se ilustra de la siguiente forma.

Figura 58. **Tiempo total de paro de una máquina por falla**



Fuente: MOUBRAY, John. *Mantenimiento centrado en confiabilidad*. p. 79.

Las medidas más efectivas para reducir el tiempo de paro de un equipo son asegurarse de que los electromecánicos estén plenamente capacitados para diagnosticar y reparar las fallas y, por parte de los supervisores de mantenimiento, mantener una adecuada gestión de repuestos para asegurar existencias en bodega ante cualquier incidente. Adicionalmente, el personal de producción debe asistir con el diagnóstico de fallas.

Además del tiempo total de paro, se deben considerar otras formas en las cuales una falla influye en el resto de operaciones del proceso, tales como posibles afecciones a la calidad del producto, interrupción de actividad en otro equipo, incremento en costos de producción, daños a la instalación, entre otros.

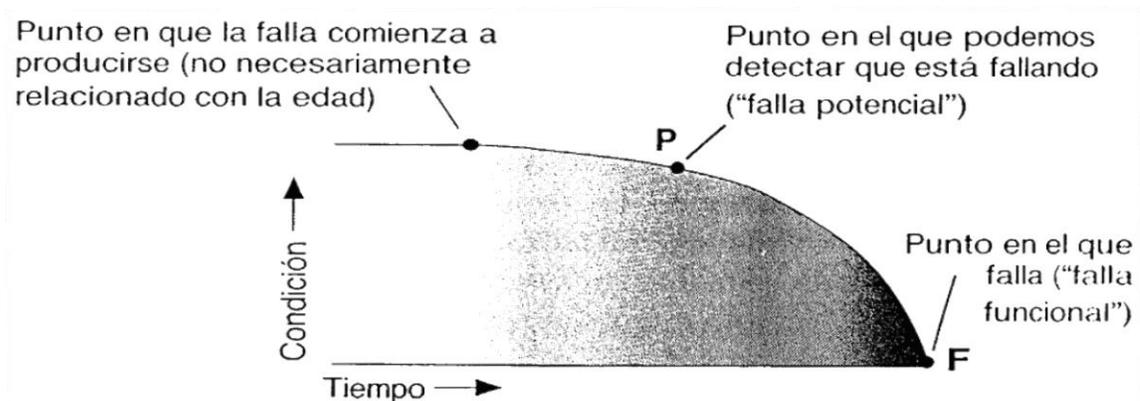
La sexta pregunta del MCC se refiere a las tareas de mantenimiento preventivo y mantenimiento basado en la condición que son llevadas a cabo para detectar y prevenir las fallas tanto como sea posible. Del mantenimiento preventivo es importante hacer la distinción de las fallas que ocurren con la edad y las que no ocurren con la edad. De las primeras se sabe que son causadas por el desgaste normal consecuente de la vida útil de cada equipo, por lo cual las tareas de mantenimiento preventivo se basan en la sustitución de piezas específicas de la maquinaria y el ajuste o reparación de ciertos componentes a intervalos fijos, independientemente de si el estado de dichas piezas y componentes aún es aceptable.

Las fallas no relacionadas con la edad corresponden la mayor parte dentro de la industria y, debido a su naturaleza, las tareas básicas del mantenimiento preventivo no son suficientes para prevenir su ocurrencia. Lo anterior se debe a que la mayoría de los equipos en algún momento se encuentran sometidos a esfuerzos variables como resultado de daños externos, circunstancias imprevistas, operación incorrecta de los equipos u otras causas. El segundo

factor que propicia esta situación es la creciente complejidad de los equipos dado que, al incorporar componentes tecnológicos cada vez más modernos, su número se hace mayor y su funcionalidad puede verse comprometida por corto circuitos, fallas en el sistema de programación u otros motivos que no pueden ser previstos.

Las tareas predictivas, propias del mantenimiento basado en la condición, son utilizadas para disminuir la ocurrencia de fallas no relacionadas con la edad, basándose en el hecho que la mayoría de estas manifiesta señales físicas detectables en los equipos justo cuando empiezan a ser un problema. Un apropiado mantenimiento predictivo permite detectar dichas fallas cuando estas aún no se han convertido en un problema serio, lo anterior se muestra en la siguiente gráfica, en la cual una falla incipiente se denomina “falla potencial” (P) y una falla que provoca una avería en el equipo se designa “falla funcional” (F).

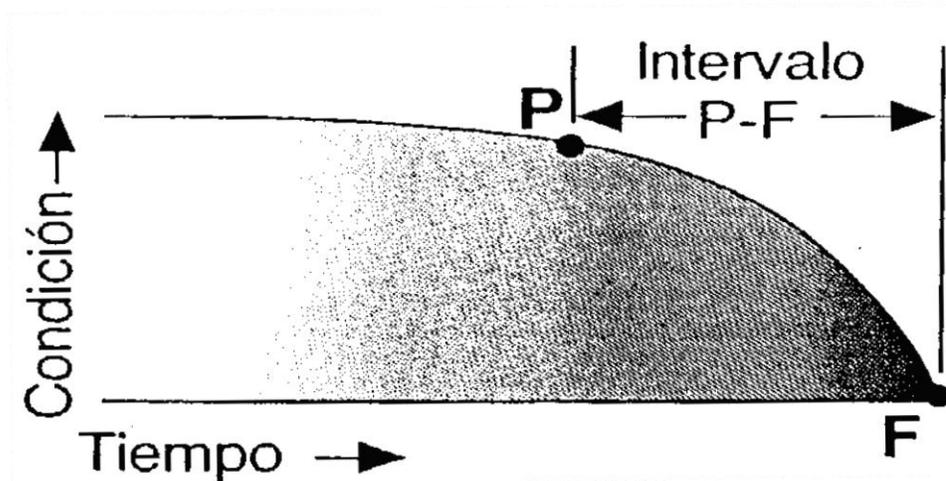
Figura 59. **Curva P - F**



Fuente: MOUBRAY, John. *Mantenimiento centrado en confiabilidad*. p. 148.

El intervalo de tiempo entre la aparición de una falla potencial y su eventual evolución hacia una falla funcional se denomina “intervalo P-F” y es el tiempo máximo con el que se cuenta para detectar y reparar dicha falla.

Figura 60. Intervalo P – F



Fuente: MOUBRAY, John. *Mantenimiento centrado en confiabilidad*. p. 149.

Es labor, tanto del personal de mantenimiento como del de producción, el detectar y tratar cualquier falla potencial en un tiempo menor al intervalo P-F, el cual será distinto para cada equipo y para cada tipo de falla que suceda en ellos, lo que hace difícil establecerlo para todas las posibilidades de falla que existan. La única manera para determinar los intervalos es hacer uso de la experiencia del personal que labore con los equipos para conocer los primeros signos de la falla y el tiempo típico entre estos y la avería.

Existen ciertas acciones que pueden llevarse a cabo para determinar de manera viable el intervalo P-F en cada situación posible, entre las cuales las tres más importantes son las siguientes:

- Hacer uso de una matriz de criticidad para conocer la frecuencia con la que cada equipo presenta averías y la severidad de sus consecuencias en cada caso.
- Llevar registros de los indicadores físicos de fallas potenciales evidenciados por los equipos, del tiempo transcurrido entre estos y una falla potencial y de la naturaleza de la falla.
- Fomentar una política de integración de labores entre el personal de mantenimiento y el de producción para compartir información acerca de los tipos de fallas y sus consecuencias para el proceso.

Aparte de hacer uso de algunos métodos previamente expuestos en este trabajo, las tareas predictivas se fundamentan en su totalidad en la metodología VOSO (ver, oír, sentir y olfatear). Por lo que esta, aunque parezca sencilla o muy simple en su percepción, engloba los métodos necesarios para disminuir en gran medida tanto las consecuencias de toda avería como los costos de mantenimiento cuando complementa al mantenimiento preventivo. Dicha metodología debe fomentarse en todos los niveles para asegurar un programa de mantenimiento con gran efectividad.

La séptima y última pregunta del MCC se refiere al curso de acción que se debe tomar cuando no es posible realizar una tarea proactiva para un equipo o falla en específico, o si realizarla supondría una inversión muy grande o un excesivo consumo de tiempo.

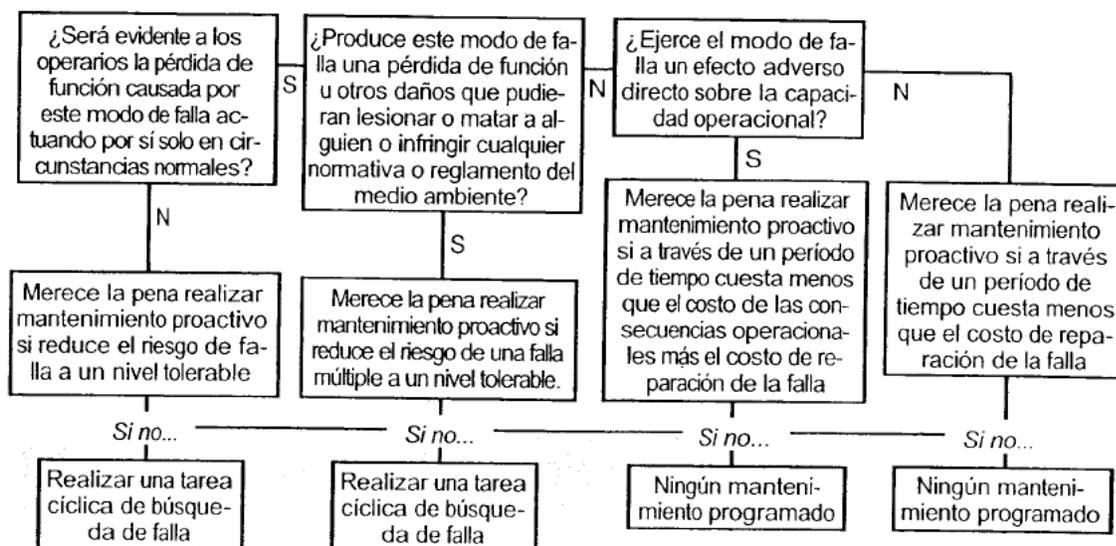
El MCC indica que, de no ser posible llevar a cabo una tarea proactiva para cierto tipo de fallas en un equipo, se debe realizar periódicamente una búsqueda de fallas. Sin embargo, si dicha búsqueda implica costos más elevados de los

que supondrían, tanto la reparación de la avería como sus efectos en la producción, se recomienda no realizar ningún tipo de mantenimiento programado y reparar la avería cuando ocurra.

Una exhaustiva búsqueda de fallas es necesaria cuando, ante la imposibilidad de realizar alguna tarea proactiva, una falla implica un riesgo para la integridad física de un trabajador, además se recomienda cuando una sola falla supone riesgo de otras consecuentes de no ser atendida.

Se conoce como modos de falla a las posibles causas de cada falla funcional en un equipo, lo cual es precisamente lo que (al desconocerse) impide llevar a cabo cualquier tarea proactiva de prevención de fallas. Con lo anterior establecido, se presenta el esquema de toma de decisiones a falta de cualquier tarea proactiva.

Figura 61. **Esquema de toma de decisiones a falta de tareas proactivas**



Fuente: MOUBRAY, John. *Mantenimiento centrado en confiabilidad*. p. 175.

CONCLUSIONES

1. Los fallos de operación que mayor incidencia tienen en el proceso consisten en la discrepancia de criterio acerca de las magnitudes de las variables térmicas que deben programarse en las áreas de presecado y secado de la línea y en la discrepancia acerca de los valores de operación que no deben variar, los cuales son los elementos del área de prensa, el humidificador, el enfriador y la humedad relativa. Por otra parte, los equipos en línea, cuyos fallos tienen mayor incidencia en el proceso, son las empacadoras, el carrito repartidor, la desincronización de la cadena que transporta las cañas, el *clutch* del elevador y la unidad de separación del presecado al secador. De los equipos auxiliares los fallos en el *chiller* causan el mayor número de paros en el proceso.
2. Para operar la línea eficientemente, el personal de producción debe ser capaz de interpretar y llenar registros, determinar los valores de operación requeridos según las circunstancias, mantener comunicación constante con los departamentos de mantenimiento y el área de silos y controlar los tiempos de llegada de materia prima y de paro en la línea. Debe ser capaz de realizar lubricación y limpieza básica a la línea, monitorear el estado de la producción en todo momento e identificar los equipos que presenten fallos cuando estos causen paros de producción. Además, debe tener conocimientos acerca de higiene e inocuidad, las normas de seguridad industrial, la función general que cumple cada equipo y los parámetros generales empleados en el proceso.

3. Para las cuatro velocidades a las que trabaja la línea, se han definido los valores de temperatura y humedad a los cuales se debe programar los *set point* en las áreas de pre secado y secado que no deben ser modificados mientras la línea continúe operando en dicha velocidad. Para lo anterior es preferible no variar la humedad relativa, que aumenta ligeramente a medida que aumenta la velocidad de la línea, y solamente modificar la temperatura, la cual será mayor a medida que la velocidad de la línea sea también mayor. También se han puntualizado los valores de trabajo del área de prensa, el humidificador y enfriador que no deben ser modificados independientemente de las condiciones del proceso.
4. Una temperatura de procesamiento inferior a la necesaria causa un producto demasiado blando y susceptible de emanar condensado en el interior del empaque. Por el contrario, una temperatura superior a la ideal resulta en pasta rígida y quebradiza. Ambas situaciones también pueden darse como consecuencia de un exceso y escasez de humedad durante el proceso.
5. Para prevenir eficientemente fallos en los equipos se deben cumplir a cabalidad los programas de mantenimiento preventivo establecidos para cada uno y complementarlos activamente con el mantenimiento basado en la condición para prevenir averías potenciales antes de las jornadas de mantenimiento programadas y evitar paros de producción repentinos.
6. Descartando la contratación de nuevo personal de mantenimiento, se prevé un ahorro monetario de Q 126 520,80 luego de un año de implementar el proyecto. Además, una tasa interna de retorno de 63,93 % al final del período, por lo que los beneficios económicos de la propuesta de optimización de la línea se consideran aceptables.

RECOMENDACIONES

1. Inculcar al personal de producción la importancia de seguir procedimientos estrictos respecto de la programación de los valores de operación de la línea y la importancia de llevar e interpretar los registros de fallos en los equipos.
2. Evaluar a cada colaborador del área de producción para determinar los aspectos en que no cumpla con los requerimientos del perfil de operario y capacitarlo específicamente en dichas áreas.
3. Programar los valores de operación determinados durante jornadas continuas variándolos según la velocidad de la línea a las magnitudes establecidas para demostrar la importancia de la estandarización y simplificación de los procesos.
4. Comparar los registros de producto descartado por mala calidad con los valores térmicos empleados durante su procesamiento para verificar cómo afecta a la pasta una inadecuada temperatura y humedad de procesamiento.
5. Documentar los ajustes y reparaciones efectuados en equipos cuyos fallos fueron detectados por indicadores no convencionales, así como registrar los propios indicadores, para tener más procedimientos concretos de detección de fallos potenciales que complementen las rutinas de mantenimiento preventivo.

6. Únicamente si las demandas de planta lo requirieran, considerar la contratación del nuevo personal de mantenimiento propuesto y elaborar otro análisis financiero tomando en consideración los beneficios que supondría para las demás líneas de producción.

BIBLIOGRAFÍA

1. ACOSTA RUEDA, Karime de los Ángeles. *Elaboración de una pasta alimentaria a partir de sémolas de diferentes variedades de cebada*. Trabajo de graduación de Químico en alimentos. Hidalgo: Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 2007. 129 p.
2. BACA URBINA, Gabriel. *Fundamentos de ingeniería económica*. 4a ed. México: McGraw-Hill, 2007. 593 p.
3. CLEAVER BROOKS. *Model ICB Packaged Boiler Operation, Service and Parts*. Estados Unidos: Cleaver Brooks, 2010. 227 p.
4. CONFORTFRESH. *Manual de instalación y Servicio unidad tipo chiller condensado por aire*. Barranquilla: Confortfresh, 2012. 103 p.
5. CUATRECASAS, Lluís. *TPM: Hacia la competitividad a través de la eficiencia de los equipos de producción*. España: Gestión 2000, 2000. 312 p.
6. GARCÍA CRIOLLO, Roberto. *Estudio del trabajo. Ingeniería de métodos y medición del trabajo*. 2a ed. México: McGraw-Hill, 2005. 458 p.
7. International Pasta Organization. *Historia de la pasta*. [en línea]. <<http://www.internationalpasta.org/index.aspx?idsub=30>>. [Consulta: 1 de octubre de 2016].

8. JARAMILLO, O. A. *Intercambiadores de calor*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2007. 33 p.
9. JOHNSON CONTROLS. *Air-cooled screw liquid chillers installation, operation, maintenance*. Estados Unidos de América: Johnson Controls, 2015. 155 p.
10. Kaeser Kompressoren. *A Guide to Cost Savings with Air System Maintenance*. [en línea]. < <http://pdf.directindustry.com/pdf/kaeser-compressors/air-system-maintenance-guide-5/68092-177033.html>>. [Consulta: junio de 2017].
11. Kaser Kompressoren. *Service Manual Sigma Control*. Alemania: Kaeser Kompressoren GmbH. 152 p.
12. MOUBRAY, John. *Mantenimiento centrado en confiabilidad*. Ellman, Sueiro y Asociados (trad.). 2a ed. Reino Unido: Aladon Ltd, 1997. 433 p. ISBN 09539603-2-3.
13. MUÑOZ, Antonio, RODRÍGUEZ, José y MARTÍNEZ, José. *La seguridad industrial fundamentos y aplicaciones*. España: Ministerio de Industria y Energía. 732 p.
14. SUZUKI, Tokutaro et al. *TPM en industrias de proceso*. España: TGP Hoshin, S.L., 1995. 385 p. ISBN 84-87022-18-9.
15. UCEDA MARTÍNEZ, Juan. *Guía básica calderas industriales eficientes*. Madrid: Consejería de Economía y Hacienda Comunidad de Madrid, 2012. 159 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Ejemplos de cálculos efectuados en el trabajo

Se muestra un ejemplo (con datos hipotéticos, no específicos al proceso) de los cálculos realizados para obtener el porcentaje de desviación de las variables del inciso 3.5.

Datos:

Porcentaje de apertura de las válvulas de agua fría (*set point*): 25 %

Primera medición (desfase por encima del *set point*): 26 %

Segunda medición (desfase por debajo del *set point*): 22 %

Fórmulas:

$$\text{(Desfase superior al } \textit{set point}\text{): } \left[\frac{X*100}{\text{S.P.}} \right] - 100 = \% \text{ de desfase}$$

$$\text{(Desfase inferior al } \textit{set point}\text{): } 100 - \left[\frac{X*100}{\text{S.P.}} \right] = \% \text{ de desfase}$$

Continuación del apéndice 1.

X es la magnitud de cada medición y S.P. el *set point* de referencia.

$$1) \left[\frac{26 \cdot 100}{25} \right] - 100 = 4 \% \text{ de desfase}$$

$$2) 100 - \left[\frac{22 \cdot 100}{25} \right] = 12 \% \text{ de desfase}$$

Los cálculos son los mismos para determinar el porcentaje de desviación de la entrada de agua caliente, aire y harina.

Se muestra un ejemplo (con datos hipotéticos, no específicos al proceso) de los cálculos realizados para determinar los valores de operación ideales de las 2 velocidades intermedias de la línea del inciso 4.2.1.1, en base a los valores ideales de operación conocidos de la velocidad más lenta y más rápida.

Datos:

Velocidad más lenta: 50 cañas/ hora; temperatura de pre secado 1: 50 °C.

Velocidad intermedia 1: 60 cañas/hora.

Velocidad intermedia 2: 85 cañas/hora.

Velocidad más rápida: 100 cañas/hora; temperatura de pre secado 1: 55 °C.

Según indicaciones del fabricante, la adaptación de los valores de operación sigue una relación lineal a la velocidad de operación de la línea, por lo cual se utilizó el polinomio de interpolación lineal de Lagrange para determinar los valores de operación de las velocidades intermedias:

Continuación del apéndice 1.

$$Y = Y_1 + \left[\left(\frac{X - X_1}{X_2 - X_1} \right) * (Y_2 - Y_1) \right]$$

Considerando la temperatura y humedad como una función de la velocidad de la línea, se tiene la siguiente nomenclatura:

X_1 = velocidad más lenta (50 cañas/hora).

X = velocidad media.

X_2 = velocidad más rápida (100 cañas/hora).

Y_1 = temperatura/humedad a la velocidad más lenta (50 °C).

Y = temperatura/humedad a velocidad media.

Y_2 = temperatura/humedad a la velocidad más rápida (55 °C).

$$1) Y = 50 \text{ } ^\circ\text{C} + \left[\left(\frac{60-50}{100-50} \right) * (55 \text{ } ^\circ\text{C} - 50 \text{ } ^\circ\text{C}) \right] = 51 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$2) Y = 50 \text{ } ^\circ\text{C} + \left[\left(\frac{85-50}{100-50} \right) * (55 \text{ } ^\circ\text{C} - 50 \text{ } ^\circ\text{C}) \right] = 53,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Los cálculos son los mismos para determinar el porcentaje humedad relativa de las velocidades intermedias.

Tomando como base el segundo dato previamente calculado (53,5 °C) se presenta el cálculo de un rango hipotético (5 %) dentro del cual se acepta la variabilidad de la temperatura de operación para el pre secado 1.

Continuación del apéndice 1.

1) Límite mínimo de temperatura = $53,5\text{ }^{\circ}\text{C} - (53,5\text{ }^{\circ}\text{C} * 0,05) = 50,83 \rightarrow 50,8\text{ }^{\circ}\text{C}$

2) Límite máximo de temperatura = $53,5\text{ }^{\circ}\text{C} + (53,5\text{ }^{\circ}\text{C} * 0,05) = 56,18 \rightarrow 56,2\text{ }^{\circ}\text{C}$

Para los valores de operación de elementos no variables dicho rango aceptable es menor, por lo cual se muestra el rango hipotético (4 %) aceptable de variabilidad para la velocidad asumida de un tornillo de amasado (15 rpm).

1) Límite mínimo de velocidad = $15\text{ rpm} - (15\text{ rpm} * 0,04) = 14,4\text{ rpm}$

2) Límite máximo de velocidad = $15\text{ rpm} + (15\text{ rpm} * 0,04) = 15,6\text{ rpm}$

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Resumen del perfil requerido para operarios de línea

Se presenta de forma sintetizada los requerimientos que debe cumplir un operario de la línea de pasta larga.

Perfil de operario de la línea

Puesto	Departamento	Ubicación	Superior inmediato
Operario de línea	Producción	Línea de pasta larga	Jefe de manufactura
Descripción general			
El operario de línea regula la velocidad y la magnitud de los valores de operación de la misma, llena e interpreta los registros de operación y realiza tareas básicas de limpieza y lubricación.			
Competencias requeridas			
Llevar registros de producto perdido y de paros de producción.			
Regular la temperatura y humedad de cada sección según la velocidad de la línea.			
Mantener comunicación constante con el área de silos y el departamento de mantenimiento.			
Controlar los tiempos de pedido de materia prima.			
Determinar la cantidad de agua de amasado requerida según el tipo de sémola.			
Definir el tiempo de paro de cada sección de la línea al detenerse la producción.			
Coordinar labores con el personal auxiliar y guiarlos en estas de ser necesario.			
Habilidades técnicas			
Colocar en su sitio las cañas que se desacoplen cuando se desajusten de la cadena.			
Lubricar las cadenas cuando la línea esté en paro.			
Limpieza a las partes accesibles de la línea.			
Identificar la ubicación de los equipos que presenten fallos durante la producción.			
Enviar a re proceso el producto sobre acumulado.			
Monitorear en todo momento el estado de la producción desde el software de control.			
Conocimientos teóricos			
Buenas prácticas de manufactura e inocuidad.			
Normativas de salud ocupacional y seguridad industrial.			
Composición de cada tipo de sémola y la cantidad de agua que requiere cada una.			
Temperatura del agua de ingreso según el tipo de sémola.			
Determinación de la temperatura y humedad ideales de cada sección según la velocidad de la línea.			
Parámetros de control de temperatura y humedad del producto al final de cada sección de secado.			
Función básica de cada equipo y detectar potenciales fallos de operación en los mismos.			
Medidas de higiene para evitar contaminación del producto.			
Requerimientos académicos			
3ro. básico (mínimo).			

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Programas de capacitación

Se presentan los programas de capacitación técnica y de seguridad industrial que debe cumplir el personal de producción y mantenimiento.

Programa de capacitación técnica inicial para operarios

Inducción	Objetivo	Métodos	Cronograma					
			S1	S2	S3	S4	S5	S6
Informar acerca de fallos potenciales en los equipos	Localizar los equipos en línea, estudiar su función y las señales que indican desperfectos	Observación del funcionamiento de los equipos en línea, estudio de las señales de fallos.	X	X				
Pedir la cantidad correcta de sémola	Coordinar con el personal de silo el pedido de sémola y su tiempo de llegada	Estudiar el tiempo de llegada de la sémola según la cantidad y el tipo que se pide, tanto desde la línea como en el área de silos.			X	X		
Programar correctamente los valores térmicos de operación	Controlar que los <i>set point</i> de las magnitudes térmicas se mantengan en su rango ideal	Estudiar los valores térmicos de operación ideales determinados según la velocidad de la línea y las consecuencias para la pasta al no utilizarlos.					X	X

Continuación del apéndice 3.

Programa de capacitación técnica continua para operarios

Capacitación	Objetivo	Métodos	Realizar cada (semanas o meses)					
			1 S	2 S	1 M	2 M	6 M	
Autoanálisis de los errores más recurrentes	Identificar las causas de los errores más frecuentes y trabajar en disminuirlas	Llevar registros personales de las causas y soluciones de los errores y analizarlo	X					
Control del <i>software</i> de operación	Identificar como la modificación de cada elemento en el programa de control afecta la línea	Evaluación por parte del jefe de manufactura a cada operario y auxiliar de línea.				X		
Conocimiento del estado de la línea en todo momento	Identificar las causas de fallos recurrentes y las posibles soluciones	Estudiar el registro general de paros de línea para detectar posibles patrones				X		
Cumplimiento del perfil de operario de línea	Verificar que el personal de producción continúe siendo adecuado para su labor	Evaluación por parte del jefe de manufactura a cada operario y auxiliar de línea.						X

Continuación del apéndice 3.

Programa de capacitación técnica inicial para electromecánicos

Inducción	Objetivo	Métodos	Cronograma	
			Mes 1	Mes 2
Limitación en actividades de mantenimiento para equipos auxiliares	Conocer hasta qué punto se puede realizar mantenimiento a los equipos auxiliares para no invalidar la garantía	Estudio del funcionamiento y partes internas de los equipos auxiliares, identificación de las partes que no deben manipularse	X	
Observación del desempeño del personal de mayor antigüedad	Que los miembros más recientes conozcan la planta, la ubicación de los equipos y las labores rutinarias de mantenimiento	Emparejar al personal de mayor experiencia con los nuevos electromecánicos durante las labores normales mientras estén en periodo de prueba	X	X

Programa de capacitación técnica continua para electromecánicos

Capacitación	Objetivo	Métodos	Realizar cada (meses)		
			1 M	3 M	6 M
Operación e identificación de las señales de los equipos auxiliares	Operar los equipos auxiliares de la forma más prudente e identificar el significado de las señales que emiten	Estudio de los manuales de los equipos, análisis del registro de fallos y evaluación en campo por parte de supervisor de mantenimiento		X	
Empleo de medidas pre establecidas	Tener presente las medidas propuestas por los fabricantes de los equipos	Repaso de los manuales de la línea y de los equipos auxiliares, contrastando con las medidas empleadas para fallos similares			X
Retroalimentación de las medidas a los fallos más recurrentes	Evaluar si las acciones tomadas hasta el momento para los fallos recurrentes han sido efectivas	Verificar en el registro general de fallos de equipos que medidas han sido utilizadas varias veces para la misma causa y evaluar la efectividad de las mismas	X		

Continuación del apéndice 3.

Programa de capacitación de seguridad industrial

Inducción	Objetivo	Métodos	Cronograma	
			Mes 1	Mes 2
Riesgo de lesiones y medidas por tomar en línea	Conocer los riesgos de cada sección de la línea y que hacer en caso de accidentes	Presentación al incorporarse a la empresa y recorrido por planta	X	
Cómo recorrer e ingresar en la línea	Identificar las rutas por las que se puede recorrer la línea y las indicaciones para ingresar a sus componentes internos	Recorrido por la línea e identificación de las rutas transitables, escaleras y las puertas de ingreso	X	
Obligaciones al realizar la manutención en la línea y estado del lugar de trabajo	Conocer las prohibiciones al realizar cualquier actividad en la línea y como se debe mantener el lugar de trabajo	Presentación al incorporarse a la empresa e inducción personalizada por miembros del personal de mantenimiento y de producción en sus respectivas áreas	X	X
Riesgos asociados al trabajo	Estar al tanto de los riesgos para la salud que conlleva el ambiente físico en planta y la acciones propias del trabajo	Presentación al incorporarse a la empresa		X
Sistema de bloqueo y etiquetado	Reconocer y saber aplicar el sistema de bloqueo y etiquetado y su importancia	Presentación al incorporarse a la empresa, práctica en campo e inducción personalizada por parte de electromecánico		X

Fuente: elaboración propia.

