



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

**ANÁLISIS DE RIESGOS Y PROPUESTA DE MEJORA DEL SISTEMA DE
GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO APLICADO EN LA
INDUSTRIA DE LA ELABORACIÓN DE PREMEZCLAS PARA NUTRICIÓN
ANIMAL**

Rodolfo René Arocha Recinos

Asesorado por Ing. Byron Estuardo Ixpatá Reyes

Guatemala, marzo de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE RIESGOS Y PROPUESTA DE MEJORA DEL SISTEMA DE
GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO APLICADO EN LA
INDUSTRIA DE LA ELABORACIÓN DE PREMEZCLAS PARA NUTRICIÓN
ANIMAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERIA

POR

RODOLFO RENÉ AROCHA RECINOS

ASESORADO POR EL ING. BYRON ESTUARDO IXPATÁ REYES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, MARZO DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortíz de León
VOCAL V	P.A. José Alfredo Ortíz Herincx
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Byron Gerardo Chocoj Barrientos
EXAMINADOR	Ing. Ismael Homero Jerez González
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
SECRETARIA	Ing. Marcia Ivónne Véliz Vargas

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:

ANÁLISIS DE RIESGOS Y PROPUESTA DE MEJORA DEL SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO APLICADO EN LA INDUSTRIA DE LA ELABORACIÓN DE PREMEZCLAS PARA NUTRICIÓN ANIMAL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 23 de noviembre de 2009



Rodolfo René Arocha Recinos

Guatemala, 28 de octubre de 2010

Ingeniero:

César Ernesto Urquizú Rodas

Director de Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Facultad de Ingeniería

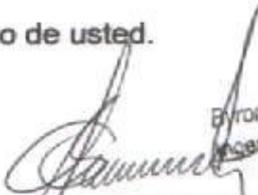
Respetable ingeniero:

Por medio de la presente le informo que he procedido a revisar el trabajo de graduación elaborado por el estudiante: Rodolfo René Arocha Recinos con carne 2006-11156 de la carrera de Ingeniería Mecánica Industrial, cuyo título es:

"ANÁLISIS DE RIESGOS Y PROPUESTA DE MEJORA DEL SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO APLICADO EN LA INDUSTRIA DE LA ELABORACIÓN DE PREMEZCLAS PARA NUTRICIÓN ANIMAL".

Considero que el trabajo presentado por la estudiante ha sido desarrollado cumpliendo con los reglamentos y siguiendo las recomendaciones de asesoría, por lo que doy mi aprobación y solicito tramite correspondiente.

Sin otro particular me suscribo de usted.


Byron Estuardo Ixpatá Reyes
Ingeniero Mecánico Industrial
Colegiado No. 6791

Ing. Byron Estuardo Ixpatá Reyes
Colegiado No. 6791

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

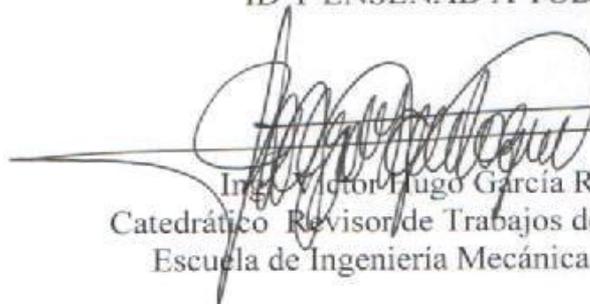


FACULTAD DE INGENIERÍA

REF.REV.EMI.005.011

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **ANÁLISIS DE RIESGOS Y PROPUESTA DE MEJORA DEL SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO APLICADO EN LA INDUSTRIA DE LA ELABORACIÓN DE PREMEZCLAS PARA NUTRICIÓN ANIMAL**, presentado por el estudiante universitario **Rodolfo René Arocha Recinos**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Victor Hugo García Roque
INGENIERO INDUSTRIAL
Colegiado No. 5133
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, enero de 2011.

/mgp

Guatemala, 26 de Enero de 2011

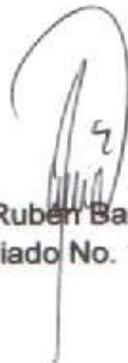
Departamento de Lingüística
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimada Ingeniera:

Adjunto envío a usted el informe final del trabajo de graduación: **"ANÁLISIS DE RIESGOS Y PROPUESTA DE MEJORA DEL SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO APLICADO EN LA INDUSTRIA DE LA ELABORACIÓN DE PREMEZCLAS PARA NUTRICIÓN ANIMAL"**, elaborado por el estudiante Rodolfo René Arocha Recinos, con carné 2006-11156, el cual he tenido a bien realizarle las correcciones pertinentes de ortografía conforme al reglamento de La Facultad de Ingeniería.

Por la atención que la misma le merezca, me suscribo de usted,

Atentamente,



Lic. Hugo Rubén Barrera Rodas
Colegiado No. 10,254





REF.DIR.EMI.036.011

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **ANÁLISIS DE RIESGOS Y PROPUESTA DE MEJORA DEL SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO APLICADO EN LA INDUSTRIA DE LA ELABORACIÓN DE PREMEZCLAS PARA NUTRICIÓN ANIMAL**, presentado por el estudiante universitario **Rodolfo René Arocha Recinos**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. Cesar Ernesto Urquizú Rodas
DIRECTOR

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, marzo de 2011.

/mgp



DTG. 087.2011.

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS DE RIESGOS Y PROPUESTA DE MEJORA DEL SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPROMIDO APLICADO EN LA INDUSTRIA DE LA ELABORACIÓN DE PREMEZCLAS PARA NUTRICIÓN ANIMAL**, presentado por el estudiante universitario **Rodolfo René Arocha Recinos**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olimpo Palz Recinos
Decano

Guatemala, 29 de marzo de 2011.

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- DIOS** Por ser mi guía, mi fuente de inspiración, mi maestro y por ayudarme a vencer todos los obstáculos en este largo camino que hoy termina.
- Mis padres** Rodolfo Arocha y Lisette de Arocha, por apoyarme incondicionalmente en cada una de las metas propuestas en mi vida.
- Mi hermano** Estuardo, por ser mi confidente y mi amigo sin condición, y por estar presente siempre en los momentos más felices y difíciles de mi vida.
- Mi sobrino** Alejandro, por darme motivación y alegría con sus pequeñas muestras de cariño y aprecio.
- Mi hermana** Paola, por ofrecerme su apoyo sin importar las circunstancias.
- Mis amigos** Derick (q.e.p.d.), Efraín, Viví, Cristina, Jenny, Susana, Oscar, Ruddy, Eddy y Analí, por brindarme su amistad, su compañía y sus consejos sin esperar nada a cambio.

Mis compañeros

En general, por estar siempre en las buenas y en las malas y por ser el soporte para la toma de mis decisiones.

Mi asesor

Ing. Byron Ixpatá, por otorgarme su tiempo para poder realizarme profesionalmente y ayudarme a culminar esta meta.

AGRADECIMIENTOS A:

- DIOS** Por ser mi razón de existir y darme la sabiduría, voluntad y tolerancia para poder culminar con éxito mi mayor meta.
- USAC** Por ser mi casa de estudios, mi alma mater y por la Universidad que me abrió las puertas para mi desarrollo personal y profesional.
- Mis padres** Por brindarme todos los recursos para el cumplimiento de esta meta cuyo valor es indescriptible.
- Mi hermano** Estuardo, por apoyarme y ser mi soporte para la finalización de este proyecto.
- TROUW NUTRITION*** Por ser la empresa que me permitió realizar en sus instalaciones el presente trabajo de graduación.

1.2.4.3.	Postenfriador.....	12
1.2.4.3.1.	Postenfriador aire-aire.....	12
1.2.4.3.2.	Postenfriador agua-agua.....	13
1.2.4.4.	Tanque de almacenamiento.....	13
1.2.4.5.	Filtro de línea	13
1.2.4.5.1.	Filtro mecánico.....	13
1.2.4.5.2.	Filtro de rejilla	14
1.2.4.5.3.	Filtro de borde	14
1.2.4.5.4.	Otros tipos de filtros	14
1.2.4.6.	Secadores.....	15
1.2.4.7.	Tuberías de aire comprimido.....	15
1.2.4.7.1.	Accesorios en las tuberías	16
1.2.4.7.2.	Normas aplicadas a las tuberías de aire comprimido.....	18
1.2.5.	Simbología neumática	19
1.2.6.	Dimensionamiento de un sistema de aire comprimido.....	19
1.2.7.	Sistema de gestión de prevención de riesgos industriales	21
1.2.7.1.	Tipos de riesgos.....	21
1.2.7.2.	Identificación y evaluación de riesgos.....	22
1.2.7.2.1.	Métodos para la evaluación de riesgos.....	24
1.2.7.3.	Política	27
1.2.7.4.	Organización.....	28
1.2.7.5.	Planificación preventiva	28
1.2.7.6.	Auditoría.....	28
1.2.8.	Análisis de ruidos.....	28
1.2.8.1.	Sistemas de control de ruidos	29
1.2.9.	Métodos para la evaluación de alternativas	32

1.2.9.1.	Valor presente neto (VPN)	32
1.2.9.2.	Tasa interna de retorno (TIR)	33
1.2.9.3.	Relación beneficio-costos (B/C)	33
1.2.10.	Seguridad industrial.....	34
2.	DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO.....	35
2.1.	Usos del aire comprimido	35
2.1.1.	Maquinaria y elementos	38
2.1.1.1.	Filtro del compresor.....	38
2.1.1.2.	Compresor.....	39
2.1.1.3.	Secador de aire	40
2.1.1.4.	Postenfriador	41
2.1.1.5.	Tuberías o líneas de distribución.....	41
2.1.1.6.	Accesorios complementarios.....	42
2.1.2.	Proceso de funcionamiento del aire comprimido.....	44
2.1.3.	Ubicación del equipo	46
2.1.3.1.	Sistema de generación.....	47
2.1.3.2.	Sistema de distribución	47
2.1.4.	Mantenimiento al sistema de generación y distribución	47
2.1.5.	Cimentación de la maquinaria	48
2.1.6.	Parámetros medidos en el sistema	50
2.2.	Identificación del sistema general de aire comprimido	50
2.2.1.	Identificación de áreas	50
2.2.2.	Identificación de equipo.....	51
2.3.	Errores cometidos en el diseño de una red de aire comprimido	51
2.4.	Riesgos más comunes del equipo	52
2.5.	Señalización industrial	55
2.6.	Pintura industrial	56
2.7.	Estudio de ruidos	56

2.7.1.	Sistemas de control de ruidos.....	56
2.7.2.	Equipo de protección personal.....	57
3.	PROPUESTA DE MEJORA PARA EL SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO	59
3.1.	Pruebas antes de arrancar el sistema	59
3.2.	Identificación de fallas	60
3.2.1.	Compresores enfriados por agua.....	60
3.2.1.1.	Síntomas y causas probables del problema	61
3.2.2.	Compresores enfriados por aire.....	63
3.2.2.1.	Síntomas y causas probables del problema	63
3.2.3.	Baja presión de aceite	66
3.3.	Elementos de seguridad	66
3.3.1.	Filtro de admisión.....	66
3.3.2.	Compresores	67
3.3.3.	Postenfriador.....	68
3.3.4.	Secador de aire.....	69
3.3.5.	Líneas de conducción	69
3.3.6.	Accesorios complementarios	71
3.4.	Codificación del sistema	72
3.4.1.	Guía para la codificación de la maquinaria y equipo.....	72
3.4.1.1.	Codificación del equipo y la maquinaria	73
3.4.1.1.1.	Generación.....	74
3.4.1.1.2.	Distribución	74
3.4.1.2.	Codificación del área.....	74
3.4.1.2.1.	Generación.....	75
3.4.1.2.2.	Distribución	75
3.5.	Supervisión periódica	76
3.5.1.	Parámetros a evaluar.....	76
3.5.2.	Formatos para realizar la inspección	76

3.6.	Diagramación del diseño del sistema de aire comprimido	78
3.6.1.	Simbología utilizada	78
3.6.2.	Plano de identificación	78
3.7.	Prevención de accidentes.....	80
3.7.1.	Análisis de riesgos	80
3.7.1.1.	Riesgos físicos	80
3.7.1.1.1.	Explosiones	81
3.7.1.1.2.	Inspeccion interna del tanque	82
3.7.1.1.3.	Inspección externa del tanque.....	84
3.7.1.1.4.	Limpieza del tanque.....	85
3.7.1.1.5.	Construcción incorrecta.....	86
3.7.1.2.	Riesgos químicos	88
3.7.1.2.1.	Humedad	88
3.7.1.2.2.	Vapores de aceite.....	88
3.7.1.2.3.	Aire de enfriamiento.....	88
3.7.1.2.4.	Aire sucio	89
3.7.1.2.5.	Aceite lubricante	90
3.8.	Estudio de ruidos	91
3.8.1.	Elementos para realizar el estudio	93
3.8.2.	Área de generación	93
3.8.3.	Área de distribución.....	95
3.8.4.	Sistemas para controlar el ruido	97
3.9.	Evaluación del área de distribución y generación	101
3.9.1.	Seguridad industrial.....	101
3.9.1.1.	Equipo de protección personal	101
3.9.1.2.	Señalización industrial	103
3.9.2.	Pintura industrial.....	104
3.9.3.	Iluminación industrial	105
3.10.	Evaluación de propuestas económicas para mejorar el sistema .	113

3.10.1.	Propuesta de mejora con medios de la empresa y servicios exteriores.....	113
3.10.2.	Propuesta de mejora únicamente con servicios exteriores	126
3.10.3.	Métodos de evaluación de alternativas.....	126
3.10.3.1.	Valor presente neto (VPN).....	127
3.10.3.2.	Tasa interna de retorno (TIR).....	130
3.10.3.3.	Relación beneficio-costos (B/C).....	132
3.11.	Manual de procedimientos	133
3.11.1.	Pruebas antes de arrancar.....	134
3.11.2.	Manejo del aire comprimido en operación	138
4.	IMPLEMENTACIÓN DE PROPUESTA DE MEJORA PARA EL SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO	143
4.1.	Funciones de los trabajadores involucrados	143
4.1.1.	Planta de producción	143
4.1.2.	Gerente de producción y mantenimiento	144
4.2.	Programas de capacitación al personal.....	144
4.2.1.	Antes de arrancar el sistema	145
4.2.2.	Operación del sistema	145
4.2.3.	Detección de fallas.....	146
4.2.3.1.	Hoja de registro de fallas	146
4.2.4.	Entrega de procedimientos documentados.....	148
4.3.	Cronograma de mantenimiento preventivo basado en el sistema de aire comprimido.....	148
4.3.1.	Guía de codificación	151
4.3.1.1.	Áreas.....	151
4.3.1.2.	Equipos y componentes.....	151
4.3.2.	Codificación del equipo y componentes involucrados.....	151

4.3.2.1.	Listado general.....	152
4.3.3.	Hoja de registro de mantenimiento correctivo y preventivo.....	154
4.4.	Esquematización del diseño del sistema de aire comprimido	155
4.4.1.	Simbología utilizada	155
4.4.2.	Plano de identificación	155
4.5.	Recomendaciones para mejorar el diseño de la red de aire comprimido	156
4.6.	Sistemas para controlar el ruido	157
4.6.1.	Área de generación	157
4.6.2.	Área de distribución.....	157
4.6.3.	Seguridad industrial.....	158
4.6.3.1.	Equipo de protección personal.....	158
4.7.	Exposición de resultados a nivel administración.....	159
4.7.1.	Importancia del aire comprimido	160
4.7.1.1.	Punto de vista de gerencia	160
4.7.2.	Propuesta factible.....	161
4.7.3.	Cronograma de actividades.....	161
4.7.4.	Plan de contingencia	163
5.	SEGUIMIENTO DEL PLAN DE MEJORA DEL SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO.....	165
5.1.	Comparación de resultados	165
5.1.1.	Punto de vista económico	165
5.1.2.	Punto de vista operativo.....	166
5.2.	Evaluaciones frecuentes al sistema.....	166
5.2.1.	Supervisiones periódicas	167
5.2.1.1.	Área de generación y distribución	167
5.2.1.1.1.	Identificación de fallas	167
5.2.1.1.2.	Hojas de registro de fallas	168

5.2.1.1.3.	Sistemas para controlar el ruido..	168
5.2.1.1.4.	Codificación de la maquinaria	168
5.3.	Actualización de procedimientos	169
5.3.1.	Archivo de registros	169
5.4.	Capacitaciones al personal responsable	170
5.4.1.	Prevención de riesgos	170
5.4.2.	Comentarios y opiniones acerca de la implementación de la mejora	170
5.4.3.	Evaluaciones acerca del manejo del sistema general de aire comprimido.....	171
CONCLUSIONES.....		173
RECOMENDACIONES.....		177
BIBLIOGRAFÍA.....		179
ANEXOS.....		183

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Mapa de ubicación <i>Trouw Nutrition</i> Guatemala	3
2.	Organigrama <i>Trouw Nutrition</i> Guatemala	6
3.	Componentes básicos de un compresor.....	11
4.	Accesorios en las tuberías de aire comprimido.....	17
5.	Diafragma o membrana de la ensacadora	35
6.	Actuadores neumáticos de simple efecto.....	36
7.	Actuadores neumáticos de doble efecto	37
8.	Unidad de soplado con unidades de mantenimiento FR.....	37
9.	Filtros de los compresores utilizados actualmente.....	38
10.	Compresor <i>Ingersoll Rand</i>	39
11.	Compresor <i>Quincy</i>	40
12.	Secador de aire <i>Olmstead</i>	40
13.	Postenfriador <i>Quincy</i>	41
14.	Funcionamiento del lubricador de las unidades de mantenimiento.....	43
15.	Distribución neumática actual	45
16.	Elementos neumáticos de las líneas de producción	46
17.	Protección auditiva actual	58
18.	Código de identificación de la maquinaria y equipo	72
19.	Registro de inspección al sistema neumático	77
20.	Propuesta para la diagramación del sistema neumático.....	79
21.	Sistema contra ruidos para el área de generación.....	98
22.	Sistema contra ruidos para cosedoras.....	99
23.	Sistema contra ruidos para actuadores de simple efecto.....	100

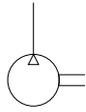
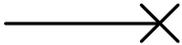
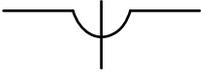
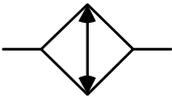
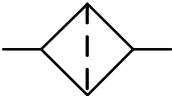
24.	Protección auditiva propuesta	102
25.	Pintura industrial en tuberías de aire comprimido.....	104
26.	Cavidades zonales para el área de generación del aire comprimido....	108
27.	Propuesta de iluminación para el área de generación del aire comprimido.....	112
28.	Funcionamiento de las unidades de soplado.....	116
29.	Flujo de efectivo para la implementación de las mejoras al sistema de aire comprimido.....	125
30.	Hoja de registro de fallas	147
31.	Cronograma de actividades para el mantenimiento preventivo	149
32.	Registro de mantenimiento correctivo y preventivo	154
33.	Cronograma para la implementación de mejoras al sistema de aire comprimido	162

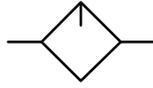
TABLAS

I.	Niveles de deficiencia para evaluación de riesgos.....	24
II.	Niveles de exposición para evaluación de riesgos.....	25
III.	Niveles de consecuencias para evaluación de riesgos	26
IV.	Determinación y significado del nivel de riesgo e intervención	27
V.	Accesorios utilizados en las tuberías de distribución actuales	42
VI.	Características del equipo de protección auditivo actual.....	57
VII.	Síntomas y causas de problemas en compresores enfriados por agua..	61
VIII.	Síntomas y causas de problemas en compresores enfriados por aire....	64
IX.	Codificación de las áreas de la empresa.....	74
X.	Análisis de riesgos: explosiones	81
XI.	Análisis de riesgos: inspección interna del tanque.....	83
XII.	Análisis de riesgos: inspección externa del tanque.....	84

XIII.	Análisis de riesgos: construcción incorrecta	87
XIV.	Análisis de riesgos químicos	90
XV.	Niveles recomendados de exposición a ruidos.....	91
XVI.	Resultados del estudio de ruidos en el área de generación	94
XVII.	Resultados del estudio de ruidos en el área de distribución.....	96
XVIII.	Costos para implementación de sistemas contra ruidos	100
XIX.	Características del equipo de protección auditivo propuesto.....	102
XX.	Costos para implementación de letreros de seguridad industrial	103
XXI.	Costos para implementación de pintura industrial en las tuberías de aire comprimido	105
XXII.	Datos para calcular la propuesta de luminaria en el área de generación del aire comprimido	105
XXIII.	Luxes necesarios para el área de generación del aire comprimido	106
XXIV.	Factores de reflexión lumínica	107
XXV.	Reflectancia efectiva de cavidad de piso o cielo	109
XXVI.	Coeficientes de utilización para el método de cavidad zonal	110
XXVII.	Costos para la implementación de iluminación en el área de generación del aire comprimido	112
XXVIII.	Costos para implementación de juntas de expansión y soportes en las tuberías de aire comprimido.....	124
XXIX.	Resumen de ahorros y costos totales para la implementación.....	124
XXX.	Listado general de equipo neumático	152

LISTA DE SÍMBOLOS

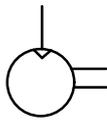
Símbolo	Significado
ASI	Agrupación de Servicios de Ingeniería
	Compresor de aire
	Conexión
	Cruce de líneas no unidas
	Dirección de flujo
	Enfriador
	Ensayadora
	Filtro
	Filtro con purga automática
	Fuente de aire comprimido
ISM	Ingeniería y Sistemas Mecánicos
	Línea de trabajo



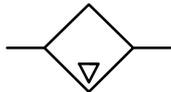
Lubricador



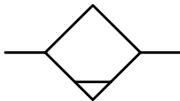
Manómetro



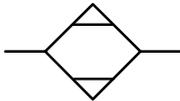
Motor



Purga automática



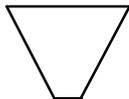
Purga manual



Secador



Tanque de almacenamiento



Tolva de descarga

GLOSARIO

Aire comprimido	Es el aire que se toma del ambiente para incrementar la presión mediante reducción de su volumen y transportarlo a través de tuberías hacia los diferentes puntos de consumo de una planta industrial. Este efecto se logra a través de máquinas llamadas compresores.
Análisis de riesgo	Es el estudio de las causas de las posibles amenazas y los daños o consecuencias que éstas producirían sobre aspectos personales y/o de procesos dentro de una instalación.
Camisa	Son revestimientos interiores de los cilindros del compresor construidos en aceros especiales para resistir los rozamientos y las elevadas temperaturas provocadas por el movimiento alternativo del pistón.
Cilindro neumático	Es un elemento accionado por aire comprimido cuyo movimiento de vaivén ejecuta una función específica, hasta que se corta la fuente de alimentación del mismo.

Cimentación	Distribuir las cargas concentradas que una máquina o equipo provoca sobre cierta área del suelo, de manera que la presión unitaria esté dentro de ciertos límites admisibles.
Decibelio	Es la unidad de medida utilizada para medir el nivel de intensidad del ruido. Resulta adecuado para valorar la percepción de los sonidos por un oyente. También conocido como decibel, se expresa como <i>dB</i> .
Presión atmosférica	Es la presión ejercida por el aire en cualquier punto de la atmósfera. Se mide con un barómetro y su valor equivale a 14.7 PSI ó 101.325 KPa.
Presión de servicio	Es la presión normal de trabajo que el equipo necesita para realizar la función para el que fue diseñado.
Presurizado	Mantener la presión atmosférica de un tanque a niveles normales para el equipo o personal que la maneja, independientemente de la presión exterior.
PSI	Unidad de presión en el sistema inglés cuyo valor equivale a 1 libra por pulgada cuadrada.

RESUMEN

El aire comprimido es la fuente de energía que un gran porcentaje de industrias aplica actualmente en su proceso de producción; utilizado generalmente para la apertura o cierre de compuertas, la activación de cilindros de simple y doble efecto y el funcionamiento de diferentes tipos de válvulas y elementos neumáticos, los cuales hacen que el proceso sea más eficiente por la no complejidad con la que éste se genera y distribuye.

Para que el sistema de aire comprimido consiga realizar las operaciones anteriores necesita estar en condiciones óptimas de funcionamiento, por lo que debe establecerse y aplicarse sobre el mismo un plan de mantenimiento preventivo efectivo que abarque desde los equipos que ayudan a generar el mismo, como los compresores, hasta los equipos en los que se distribuye, como las unidades de mantenimiento, los cilindros, válvulas neumáticas y aquellos equipos propios al proceso de producción en el que se está aplicando el mismo. Con la implementación de registros de mantenimiento (detección de fallas, supervisiones al sistema neumático, mantenimiento correctivo) que evidencien el estado en el que se encuentran los elementos que conforman el sistema de aire comprimido, se pueden minimizar tanto los paros de producción como los altos costos de acciones correctivas que la existencia de fallas imprevistas provocan.

El análisis de riesgos al sistema de aire comprimido, identifica la deficiencia en las condiciones a las que está propenso el personal operativo que maneja este tipo de energía y los efectos negativos que podrían ocasionar a éstos, como al proceso de producción sino se aplican las acciones correctivas una vez se hallan detectado las mismas. Uno de los riesgos más comunes a los que se enfrenta el personal operativo cuando el aire comprimido está en operación, es el de la propagación de explosiones en los diferentes elementos o dispositivos que integran la red de aire comprimido, esto a causa del mal mantenimiento que se les practica o a la inadecuada manipulación por parte de los responsables.

Cuando se diseña e instala una red de aire comprimido en una planta industrial, deben tomarse en cuenta además de las condiciones apropiadas de montaje, aquellas que afectarán la seguridad del personal cuando maneje el mismo, como la iluminación de las áreas en las que éste se aplica, el tipo y color de tubería que identifica la dirección del flujo de aire, el equipo de protección a utilizar, etc.; de tal manera que las actividades que se realicen con este tipo de energía no sean afectadas por la inexistencia de cualquiera de estos aspectos.

El sistema de generación y distribución de aire comprimido suele evaluarse constantemente, para determinar si existe la posibilidad de implementar alguna mejora con la que el proceso de producción sea más eficiente y se logren ahorros considerables. Cuando para estos efectos se haya detectado la necesidad de realizar alguna modificación a la red, deben tomarse en consideración los costos y los beneficios que se obtendrán con la misma, y en base a la aplicación de un análisis financiero como herramienta administrativa, determinar la factibilidad de éstas y tomar la decisión de su ejecución o no.

OBJETIVOS

GENERAL

Implementar un plan de mejora para el sistema de generación y distribución de aire comprimido en una industria de elaboración de premezclas para nutrición animal.

ESPECÍFICOS

1. Identificar las principales fallas que se provocan en los componentes que integran un sistema de aire comprimido.
2. Diseñar un plan de mantenimiento basado en el equipo y accesorios que integran un sistema de generación y distribución de aire comprimido.
3. Desarrollar formatos para llevar el control general de las condiciones y servicios del equipo que integra el sistema de generación y distribución de aire comprimido.
4. Analizar los errores más frecuentes que se cometen al diseñar un sistema de generación y distribución de aire comprimido.
5. Evaluar el diseño de la red de aire comprimido actual y proponer en base a las deficiencias detectadas uno más apropiado.

6. Efectuar un análisis para determinar las consecuencias de los riesgos y las mejores recomendaciones para reducir los mismos.
7. Realizar un estudio de ruidos en las áreas en las que se genera y distribuye el aire comprimido para determinar la necesidad de implementar un sistema de control.
8. Determinar el mejor sistema de control de ruidos de acuerdo a los resultados obtenidos e implementarlo de acuerdo a las características y limitaciones del área en que se instalarán.
9. Establecer los costos y beneficios generados para llevar a cabo un plan de mejora en el sistema de aire comprimido y, en base a un análisis financiero evaluar la factibilidad del mismo.
10. Diseñar manuales de procedimientos para las pruebas antes de arrancar el sistema, así como para el manejo del aire comprimido en operación.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad muchas de las industrias que llevan a cabo un proceso productivo, están incorporando la aplicación del aire comprimido como una herramienta eficaz, para garantizar el desempeño exitoso y efectivo de dicho proceso. Para que el aire comprimido logre tal efecto, es necesario que el sistema de distribución y generación esté bien diseñado, esto quiere decir que cuente con todos los accesorios o componentes necesarios, para que pueda llegar a los puntos de descarga en óptimas condiciones para ser utilizado por las diferentes máquinas o en algunos casos para uso de operarios de planta de producción, de tal manera que cumpla con todas las regulaciones necesarias en cuanto a seguridad ocupacional se refiere.

El sistema de aire comprimido en la industria de la elaboración de premezclas para nutrición animal, se utiliza básicamente para activar la vejiga o diafragma de la máquina ensacadora que hace que la misma al expandirse sostenga los sacos justamente en el momento en el que algún tipo de mezcla esté lista para depositarse en ellos. Dicho diafragma es sólo uno de los componentes a los que se destina el aire comprimido durante el proceso, ya que antes de que el mismo llegue a ésta, ha recorrido otra serie de elementos intermedios que dependen ampliamente del servicio y funcionan como punto de partida para lograr llegar al destino final.

Las fallas en un sistema de aire comprimido son atribuidas a una gran variedad de causas, como: fugas en las diferentes uniones que provocan pérdidas de presión, mala instalación de las tuberías, errónea elección de los diferentes tipos de éstas para armar la red de distribución, la disposición aérea o subterránea, la colocación inadecuada de soportes, la inclinación del sistema completo; deficiente instalación de los elementos auxiliares o inclusive la no existencia de éstos, acompañado del descuido que se le da a cada uno de ellos. Las consecuencias de estas fallas son los diferentes riesgos a los que se enfrenta el personal, uno de ellos son los problemas auditivos que se generan o aparecen debido a una exposición constante al ruido emitido por las altas presiones a las que el aire se maneja. El estudio de ruidos proporciona resultados con los cuáles se pueden determinar las mejoras que podrían aplicarse para reducir en un pequeño porcentaje este riesgo.

El funcionamiento de los diferentes componentes de una red de aire comprimido como el sistema en sí, depende de las condiciones del medio ambiente a las que está sometido, así como de la correcta aplicación de un adecuado plan de mantenimiento sobre todos los componentes involucrados, sin olvidar la supervisión, el control del funcionamiento y características de éstos después de un tiempo determinado, ya que, un descuido en alguno de los aspectos anteriores provocaría riesgos de diferente índole, los cuales podrían ocasionar retrasos en la producción, incrementos de los costos al momento de que haya una avería en el propio sistema y se tenga que aplicar algún tipo de acción correctiva.

Cada uno de estos puntos se analizará en la siguiente esquematización del trabajo de graduación, en los cuáles se darán recomendaciones para mejorar el sistema de generación y distribución de aire comprimido de una industria que elabora premezclas para nutrición animal, y en base a la implementación de éstas obtener un proceso más eficiente. Se tratarán puntos que son indispensables en cualquier industria como análisis de riesgos, seguridad, pintura e iluminación industrial, además de estudios correspondientes para evaluar, seleccionar y aplicar una propuesta de mejora que resulte factible para la empresa y con la cual se obtengan resultados eficientes.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. La empresa

Trouw Nutrition Guatemala es una empresa multinacional dedicada a la producción y comercialización de premezclas vitamínicas minerales para nutrición de diferentes especies animales (ganado vacuno, porcino, equino, avícola, piscícola, cunícola, etc.).

Las materias primas que se utilizan para el proceso de producción consisten en vitaminas, minerales, aminoácidos, pigmentos y otros aditivos cuya forma física es en polvo. Regularmente la presentación de éstas puede variar entre sacos de polietileno o cajas de cartón de 20 ó 25 Kg. Una premezcla es el resultado de la mezcla de varias materias primas, la cual ha sido diseñada por técnicos expertos para asegurar que las dosis aplicadas de cada una de ellas es la necesaria para contribuir a la nutrición de las diferentes especies animales.

Entre las vitaminas que se utilizan están: la vitamina A (Retinol), vitaminas del complejo B (B₁ o Tiamina, B₂ o Riboflavina, B₃ o Niacina, etc.) vitamina C (Ácido ascórbico), vitamina D (Calciferol), vitamina E (Tocoferol) y vitamina K (Fitomenadiona).

Los minerales utilizados son el magnesio, manganeso, calcio, hierro, zinc, cobre, iodo, cromo, etc.

Los aminoácidos son compuestos que forman proteínas y los más utilizados en el proceso son la metionina, lisina y treonina. Entre los pigmentos están la cantaxantina y el ester C-30; los cuales son utilizados para dar pigmentación a la yema de los huevos como a la piel de las aves.

El equipo utilizado para mezclar las materias primas con sus correspondientes capacidades son:

Mezcladora *FUCHS* (Capacidad máxima: 50 Kg.)

Mezcladora *RUBERG* (Capacidad máxima: 350 Kg.)

Mezcladora *BUHLER* (Capacidad máxima: 1 500 Kg.)

Mezcladora *HAYES & STOLZ* (Capacidad máxima: 1 500 Kg.)

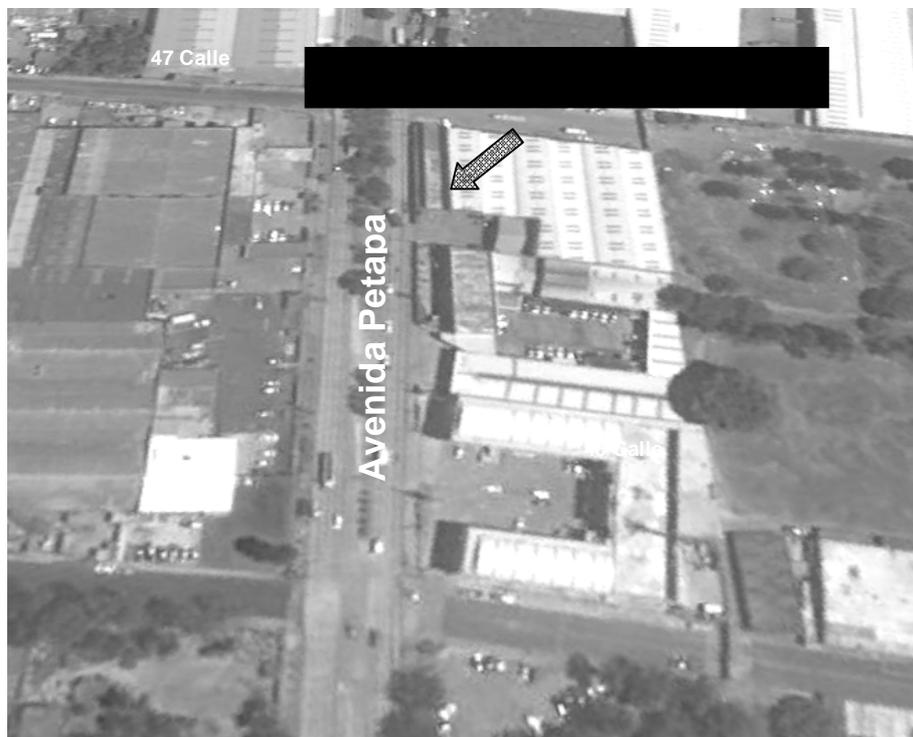
Así, dependiendo del tamaño del lote o premezcla a producir, será la mezcladora a utilizar. Una vez descargadas las materias primas por la tolva de carga se inicia con el proceso de mezclado, cuya duración es de cinco minutos; a continuación la mezcladora abre la compuerta de la parte inferior para que la premezcla se deposite en la tolva de descarga, y se pueda proceder al ensacado del producto. El producto terminado se empaca en sacos *kraft*, cuyo diseño es propio de la empresa y la presentación depende de las especificaciones del cliente, ya que puede variar entre 20 ó 25 Kg.

Trouw Nutrition Guatemala ofrece y comercializa estos productos a todos los países de Centroamérica, El Caribe y a todos los mercados ganaderos de consumo local; utilizando para la fabricación de las premezclas materias primas de alta calidad, provenientes de países del continente europeo, asiático y americano.

1.1.1. Ubicación

Trouw Nutrition Guatemala se encuentra ubicada en la Avenida Petapa 47-31 "A" Zona 12 de la Ciudad de Guatemala.

Figura 1. Mapa de ubicación *Trouw Nutrition* Guatemala



Fuente: <http://maps.google.es/maps/empw?url> (Google Earth)

1.1.2. Historia

Es una empresa de la línea de Nutreco (*Trouw Nutrition International, Skretting, Hendrix, Nanta, Landmark*) dando acceso a las facilidades de investigación, el conocimiento y la experiencia de sus empresas hermanas en todo el mundo.

Moderna tecnología de producción y métodos de análisis meticulosos garantizan la alta calidad de todos los procesos de fabricación y productos dentro de la línea *Trouw Nutrition*.

Trouw Nutrition tiene sedes en 25 países y alrededor de 2 400 empleados. Desde 1931, sus alimentos cumplen con las necesidades de los productores de alimentos, integradores, distribuidores y mezcladores de origen, así como de la industria de animales.

La posición estratégica en el mercado a través de Europa, las Américas y Asia, junto con la amplia red de distribución, les permite servir a todos los mercados de alimentos con éxito, mientras que sus empleados calificados actúan como sensores de todo el mundo para generar las utilidades esperadas.

Las empresas de Nutreco siguen conservando su propia identidad en base a la creación de fuertes vínculos con los mercados locales, factor esencial para lograr la sinergia en áreas tales como: compras, logística y de investigación. Calidad y seguridad alimentaria, tecnologías de información y comunicación y el desarrollo de la gestión son siempre de alta prioridad para las empresas de la línea de Nutreco, y *Trouw Nutrition* Guatemala sigue construyendo sobre esas bases.

1.1.3. Misión

Como empresa enfocada a la producción de premezclas para nutrición animal, su misión está planteada de la siguiente manera:

“En un mundo con recursos naturales limitados y una población creciente, desempeñar un papel fundamental en el desarrollo y suministro de la forma más eficiente y sostenible de crear soluciones alimenticias para nutrición animal.”

1.1.4. Visión

Las estrategias a corto, mediano y largo plazo de *Trouw Nutrition* Guatemala son establecerse en los diferentes mercados que abarca la nutrición animal, por lo que su visión es:

“Ser un líder global en la alimentación animal, ofreciendo alta calidad, soluciones sostenibles de alimentación y agregar valor a nuestros clientes mediante el desarrollo de las empresas y el suministro de productos y conceptos innovadores que apoyen el mejor rendimiento de los animales de granja”.

1.1.5. Valores

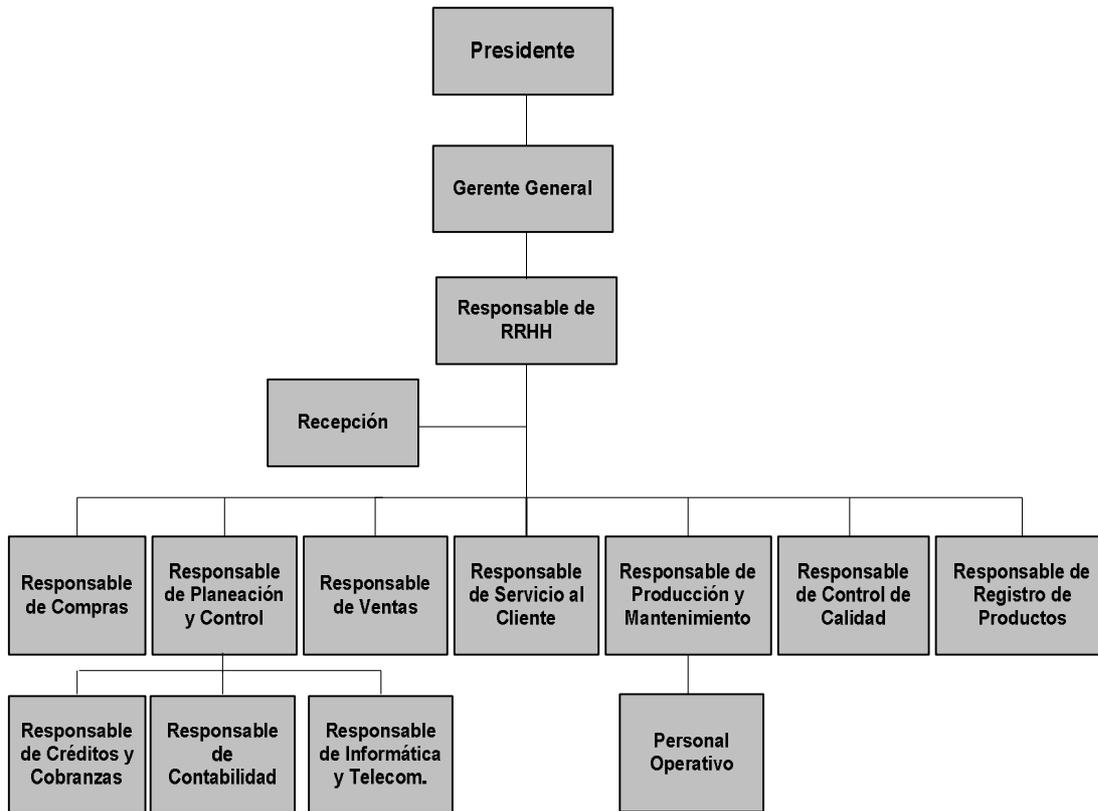
Crear en lo que se hace y cómo se hace. La forma de hacer negocios en *Trouw Nutrition* Guatemala es en base a los siguientes valores:

- a. Alianza: tanto la empresa como el cliente ganan
- b. Sostenibilidad: se respeta a la gente, el planeta y los beneficios
- c. Responsabilidad: aceptar la responsabilidad de las acciones
- d. Fiabilidad: se hace lo que se promete hacer
- e. Transparencia: se dice lo que se hace, y se hace lo que se dice

1.1.6. Estructura organizacional

La organización está esquematizada con un diseño horizontal funcional, lo cual significa que los colaboradores están agrupados en base a sus áreas de experiencia o conocimiento experto y de los recursos que utilizan para desempeñar su trabajo, como puede observarse en la figura 2.

Figura 2. Organigrama *Trouw Nutrition* Guatemala



Fuente: Departamento de Recursos Humanos *Trouw Nutrition* Guatemala

1.2. Marco teórico

Se establecen las generalidades y los conceptos que se mencionarán frecuentemente durante todo el trabajo de graduación, de tal manera que se puedan aplicar fácilmente los términos al momento de trasladarlos a la práctica o al diseño de la propuesta de mejora.

1.2.1. Historia del aire comprimido

La primera vez que se usó el aire comprimido, sería en el soplado de metales para su enfriamiento. El invento del fuelle favoreció la creación de nuevos metales al alcanzarse temperaturas más altas en los hornos. Sería sin embargo a partir del siglo XIX cuando empezaría a estudiarse el aire como sistema de transporte en energía. En la actualidad a pesar de que se producen grandes pérdidas de energía en el transporte, el aire comprimido se sigue usando para hacer funcionar máquinas neumáticas más ligeras y potentes.

1.2.2. Aplicaciones del aire comprimido

El aire comprimido tiene una infinidad de aplicaciones, debido a su adaptabilidad y facilidad de transporte en comparación con el vapor de agua. Una importante aplicación es el accionamiento de taladros, martillos, chorros de arena, controles, pulverizadoras, elevadores neumáticos, destornilladores automáticos, tornos de dentista, armas de aire comprimido, equipos de minerías, bombas, etc.

1.2.3. Métodos y propósitos de compresión

Se utilizan cuatro métodos para comprimir un gas. Dos son de flujo intermitente, y los otros dos de flujo continuo. Estos métodos consisten en:

a. Desplazamiento positivo (flujo intermitente)

- Atrapar cantidades consecutivas de gas en una cámara, reducir el volumen (incrementando así la presión) y empujar luego el gas comprimido fuera de la cámara.
- Atrapar cantidades consecutivas de gas en un espacio cerrado, trasladándolo sin cambio de volumen a la descarga de un sistema de alta presión para luego comprimirlo por contraflujo y finalmente, empujarlo fuera de la cámara.

b. Flujo continuo

- Compresores dinámicos: comprimir el gas por la acción mecánica de un impulsor o rotor con paletas en rápida rotación, el cual imparte velocidad y presión al gas que está fluyendo (la velocidad se convierte en presión en difusores estacionarios o paletas).
- Eyectores: utilizan un chorro de gas o vapor que arrastra el gas a comprimir convirtiendo la alta velocidad de la mezcla en presión en un difusor localizado corriente abajo. Los eyectores normalmente operan con una presión de admisión inferior a la atmosférica.

La compresión se realiza con diversos propósitos, entre los cuales están los siguientes:

- a. Transmisión de potencia
- b. Transporte y distribución de gas
- c. Hacer circular un gas a través de un proceso o sistema
- d. Alimentación de un proceso de combustión
- e. Obtención de condiciones más favorables en una reacción química
- f. Obtención y mantenimiento de niveles de presión reducidos mediante la remoción de gases del sistema

1.2.4. Dispositivos que integran una red de aire comprimido

Se estudian todos los elementos y accesorios que forman parte de las líneas de distribución y generación del aire comprimido.

1.2.4.1. Filtro del compresor

Este dispositivo es utilizado para eliminar las impurezas del aire antes de la compresión, con el fin de proteger al compresor y evitar el ingreso de contaminantes al sistema.

1.2.4.1.1. Factores para la selección de un filtro

Los factores que se deben tomar en cuenta para la selección de un filtro son:

- a. Tamaño de las partículas a separar: éstas dependen de la naturaleza de las válvulas y de los elementos de la maquinaria neumática;

- b. Capacidad del filtro: debe ser la mayor posible para reducir la fricción del aire al atravesarlo y para asegurar su buen funcionamiento, aunque hubiera una limpieza descuidada en su mantenimiento;
- c. Accesibilidad: asegurar el desmontaje y montaje rápido para evitar un paro muy largo. Si es empleado en un trabajo interrumpido, conviene montar dos en paralelo para que mientras se limpie o cambie el filtro, funcione el otro;
- d. Disponibilidad de repuestos: capacidad de poder contar con piezas de repuesto o filtros de recambio, si se tratan del tipo desechable;
- e. Capacidad de separar y almacenar líquidos: el filtro debe de contar con un depósito con capacidad suficiente para manejar el líquido, separarlo y almacenarlo, evitando así, la saturación con agua del elemento filtrante.

1.2.4.2. Compresor

Es el encargado de convertir la energía mecánica en energía neumática comprimiendo el aire.

Figura 3. Componentes básicos de un compresor



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos63/compresores-embolo-piston/compresoresembo-lo-piston2.shtml>

1.2.4.2.1. Compresores de flujo intermitente

Son aquellos en los cuales volúmenes sucesivos de gas son confinados dentro de un espacio cerrado y elevados a una mayor presión. Entre éstos se encuentran:

- a. Compresores recíprocos: son máquinas en las cuales el elemento que comprime y desplaza al gas es un pistón que efectúa un movimiento recíproco dentro de un cilindro.
- b. Compresores rotativos de desplazamiento positivo: son máquinas en las cuales la compresión y el desplazamiento son efectuados por la acción de desplazamiento de elementos que están en rotación. Entre éstos se mencionan:

- b.1) Compresores de paletas deslizantes
- b.2) Compresores de pistón líquido
- b.3) Compresores de lóbulo recto

1.2.4.2.2. Compresores de flujo continuo

- a. Compresores dinámicos: son máquinas rotativas en las cuales un impulsor en rápida rotación acelera el gas que pasa a través de éste, la cabeza de velocidad es convertida en presión parcialmente en el elemento rotativo y parcialmente en los difusores estacionarios o paletas.
- b. Eyectores: son aparatos que se valen de un chorro de gas o vapor a alta velocidad para arrastrar hacia su interior al gas que se quiere comprimir; un difusor localizado corriente abajo convierte la velocidad de la mezcla en presión.

1.2.4.3. Postenfriador

Es el encargado de eliminar gran parte del agua que se encuentra naturalmente dentro del aire en forma de humedad.

1.2.4.3.1. Postenfriador aire-aire

En lugares donde el aire tiene alta presencia de contaminantes, la utilización de este equipo es cuestionable, ya que aunque el fluido de trabajo es gratuito (menor costo de operación), la cantidad de mantenimiento aumenta los costos.

1.2.4.3.2. Postenfriador agua-agua

Tiene alta eficiencia, menor necesidad de espacio y mayor costo de operación por el fluido de trabajo y la instalación.

1.2.4.4. Tanque de almacenamiento

Almacena energía neumática y permite el asentamiento de partículas y humedad.

1.2.4.5. Filtro de línea

Se encarga de purificar el aire hasta una calidad adecuada para el promedio de aplicaciones conectadas a la red. Dentro de los filtros de línea se pueden mencionar los siguientes:

1.2.4.5.1. Filtro mecánico

En este tipo de filtro, el aire comprimido es conducido a imprimir un movimiento giratorio a cuatro rotores; las partículas extrañas que se encuentran en la corriente de aire se despiden hacia las paredes por efecto de la fuerza centrífuga y a continuación, hasta el fondo del aparato, en donde se recolectan en un depósito.

1.2.4.5.2. Filtro de rejilla

El aire comprimido es forzado a pasar por rejillas de diferentes calibres, a su paso las partículas extrañas se adhieren a dichas rejillas; haciendo así el filtrado del aire. La disposición de las rejillas puede ser en forma plana o cilíndrica.

1.2.4.5.3. Filtro de borde

Este filtro posee en su interior un elemento filtrante que puede ser fabricado con una resina fenólica impregnada de celulosa fundida y polimerizada para asegurar su cohesión e impermeabilización completa ante los líquidos y gases; por metal sinterizado, por una piedra porosa o por otros materiales porosos.

1.2.4.5.4. Otros tipos de filtros

Los filtros con descarga automática evacúan las partículas extrañas o el condensado automáticamente, es decir sin necesidad del operario; esta operación se realiza por medio de un orificio de descarga accionado por la presión del aire o por un flotador que lo acciona cuando la humedad recogida alcanza un nivel predeterminado.

Cuando los requerimientos de pureza son demasiado críticos se utilizan filtros de carbón activado y en las industrias en las cuales se requiere de un aire completamente estéril (industrias farmacéuticas y químicas) se utilizan filtros especiales, los cuales le incorporan al aire agentes esterilizantes.

1.2.4.6. Secadores

Se utilizan para aplicaciones que requieren un aire completamente seco.

1.2.4.7. Tuberías de aire comprimido

Las tuberías son conductos formados por tubos, las cuales transportan el aire comprimido desde el compresor hasta los lugares de servicio. Las tuberías pueden clasificarse en rígidas, semirrígidas y flexibles.

Las tuberías rígidas son aquellas que no poseen movimientos relativos, son usadas en las instalaciones permanentes a altas presiones y emplean tubos fabricados de base metálica.

Las tuberías semirrígidas poseen cierta capacidad de deformarse, lo cual es útil en su instalación y mantenimiento. Estas tuberías están fabricadas en gran parte de materiales termoplásticos como el P.V.C. y el polietileno. Pueden conducir aire a moderadas presiones, son livianas y de un costo relativamente bajo. Pueden soportar medios corrosivos y ligeros desplazamientos sin sufrir daños.

Las tuberías flexibles, conocidas como mangueras, permiten un gran campo de aplicación, debido a que pueden soportar deformaciones, vibraciones, medios corrosivos y una gran gama de presiones, según sean los materiales empleados en su fabricación. Entre los materiales más utilizados en la fabricación de mangueras se encuentran: nylon, P.V.C flexible, caucho y lona.

1.2.4.7.1. Accesorios en las tuberías

En toda la instalación de tuberías es indispensable la utilización de accesorios, éstos se utilizan para poder adaptar la tubería a la forma del edificio y para poder cumplir satisfactoriamente las necesidades de las máquinas neumáticas. Entre los accesorios más utilizados están:

a. Niples y uniones

Accesorios que sirven como enlace entre tubos del mismo diámetro. La unión posee rosca hembra mientras el niple tiene rosca doble macho.

b. Adaptadores

Elementos de unión que admiten el enlace de tuberías con distintas roscas.

c. Codos

Acoplamiento rígido que cambia la dirección del flujo a 30, 45, 60 ó 90 grados, son usados cuando el espacio es limitado o cuando el diseño de la tubería lo amerite.

d. T's

Elemento de conducción que sirve para acoplar tres tuberías; el diámetro de estas tuberías puede ser igual o desigual según sean las características de la tee.

e. Cruces

Son elementos de conexión, los cuales sirven para acoplar a cuatro tuberías en un mismo plano, son utilizadas para hacer derivaciones de una línea.

f. Tapones

Son elementos roscados que impiden el paso del fluido hacia una dirección no deseada. Se les llama tapones para tubos cuando poseen rosca hembra y simplemente tapas cuando están previstos de rosca macho.

Figura 4. Accesorios en las tuberías de aire comprimido

Codo a 90°	Codo a 45°	Codo reductor a 90°
		
T Recta	T Reductora	Cruz
		
Unión	Adaptador	Tapón

Continúa Figura 4.



Fuente: <http://www.proinsa.com.pe/Catalogo4.html>

1.2.4.7.2. Normas aplicadas a las tuberías de aire comprimido

La normalización en la industria de fabricación de tuberías es función de muchos grupos, entre los que destacan: la ASTM (*American Society of Testing Materials*), la ASA (*American Standard Association*), la AWWA (*American Water Works Association*), la ASME (*American Society of Mechanical Engineers*), entre otras.

La ASTM analiza materiales, normaliza las especificaciones y procedimientos de ensayo de los materiales entregados por los fabricantes.

La ASA trata de lo relacionado con sistemas generales, normaliza dimensiones, establece esfuerzos permisibles en función de temperaturas de funcionamiento, establece fórmulas de trabajo para determinar el espesor de paredes, especifica el carácter de la construcción de los accesorios, confecciona un código o reglamento de condiciones mínimas de seguridad y garantía de un sistema.

1.2.5. Simbología neumática

La simbología utilizada para realizar diagramas en los que se aplica el aire comprimido es la que se representó anteriormente en la lista de símbolos.

1.2.6. Dimensionamiento de un sistema de aire comprimido

La primera labor del diseño de una red de aire comprimido, es levantar u obtener un plano de la planta donde claramente se ubiquen los puntos de demanda de aire y la presión requerida. Es importante realizar una buena labor puesto que una vez establecida la distribución ésta influirá en las futuras ampliaciones y mantenimiento de la red. Para el dimensionamiento de la red se recomiendan las siguientes observaciones:

- a. Diseñar la red con base a la arquitectura del edificio y de los requerimientos de aire;
- b. Procurar que la tubería sea lo más recta posible con el fin de disminuir la longitud de la tubería, número de codos, t's, y cambios de sección que aumenten la pérdida de presión en el sistema;
- c. La tubería siempre debe ir instalada aéreamente. Puede sostenerse de techos y paredes. Ésto con el fin de facilitar la instalación de accesorios, puntos de drenaje, futuras ampliaciones, fácil inspección y accesibilidad para el mantenimiento. Una tubería enterrada no es práctica, dificulta el mantenimiento e impide la evacuación de condensados;
- d. La tubería no debe entrar en contacto con los cables eléctricos y así evitar accidentes;

- e. En la instalación de la red, deberá tenerse en cuenta cierta libertad para que la tubería se expanda o contraiga, ante variaciones de la temperatura. Si ésto no se garantiza, es posible que se presenten “combas” con su respectiva acumulación de agua;
- f. Antes de implementar extensiones o nuevas demandas de aire en la red debe verificarse que los diámetros de la tubería si soportan el nuevo caudal;
- g. Un buen diámetro de la tubería principal evita problemas ante una ampliación de la red;
- h. Para el mantenimiento es esencial que se ubiquen llaves de paso frecuentemente en la red;
- i. Todo cambio brusco de dirección o inclinación es un sitio de acumulación de condensados. Allí se deben ubicar válvulas de evacuación.

Otro factor a tomar en cuenta es la elección del tipo de sistema de aire comprimido a instalar, el cual puede ser:

- a. Red abierta. Se constituye por una sola línea principal de la cual se desprenden las secundarias y las de servicio;

- b. Red Cerrada. En esta configuración la línea principal constituye un anillo. La inversión inicial de este tipo de red es mayor que si fuera abierta. Sin embargo, con ella se facilitan las labores de mantenimiento de manera importante, puesto que ciertas partes de ella pueden ser aisladas sin afectar la producción;
- c. Red interconectada. Esta configuración es igual a la cerrada pero con la implementación de *bypass* entre las líneas principales. Con ésta, el mantenimiento del sistema se facilita, sin embargo requiere de una inversión más alta.

1.2.7. Sistema de gestión de prevención de riesgos industriales

Es parte del sistema de gestión de la organización que define las responsabilidades, las prácticas, los procedimientos, los procesos y los recursos para llevar a cabo la prevención de riesgos industriales.

1.2.7.1. Tipos de riesgos

Los riesgos se pueden clasificar en:

- a. Riesgos físicos
 - Ruido
 - Presiones
 - Temperatura
 - Iluminación
 - Vibraciones

- Radiación ionizante y no ionizante
- Temperaturas extremas (frío, calor)

b. Riesgos químicos

- Polvos
- Vapores
- Líquidos
- Disolventes

c. Riesgos biológicos

- Alergias

1.2.7.2. Identificación y evaluación de riesgos

Se debe llevar una evaluación inicial de los riesgos. Debe ser revisada constantemente especialmente cuando cambien las condiciones laborales. Estos cambios deben quedar debidamente documentados.

1.2.7.2.1. Métodos para la evaluación de riesgos

El método más común para evaluar los riesgos industriales consiste en la asignación de una valorización a los tres niveles que intervienen en la evaluación de los mismos, los cuales son: nivel de deficiencia, exposición y consecuencias.

La metodología permite cuantificar la magnitud de los riesgos existentes y en consecuencia, jerarquizar racionalmente su prioridad de corrección. Para ello se parte de la detección de las deficiencias existentes en los lugares de trabajo para, a continuación, estimar la exposición al riesgo y por último asignar las consecuencias que provocarían a nivel operativo y a nivel de proceso si el riesgo no se corrige.

El nivel de riesgo (NR) será por su parte función del nivel de deficiencia (ND), del nivel de exposición (NE) y del nivel de consecuencias (NC) y puede expresarse como:

$$NR = ND \times NE \times NC$$

En los sucesivos apartados se explican los diferentes factores contemplados en la evaluación. El proceso a seguir para la evaluación es el siguiente:

Procedimiento de actuación

- a. Consideración del riesgo a analizar
- b. Elaboración del cuestionario de chequeo sobre las condiciones inseguras
- c. Asignación del nivel de importancia para las condiciones encontradas
- d. Estimación del nivel de deficiencia para dicha condición
- e. Estimación del nivel de exposición para dicha condición
- f. Estimación del nivel de consecuencias para dicha condición
- g. Cálculo del nivel de riesgo y de intervención
- h. Contraste de los resultados y aplicación de medidas de control correctivas

Nivel de deficiencia

Se conoce como nivel de deficiencia (ND) a la magnitud de la vinculación esperable entre el conjunto de factores de riesgo considerados y su relación causal directa con el posible accidente. Los valores numéricos empleados en esta metodología y el significado de los mismos se indican en la tabla I.

Tabla I. Niveles de deficiencia para evaluación de riesgos

Nivel de Deficiencia	ND	Significado
Muy deficiente (MD)	10	Se han detectado factores de riesgo significativos que determinan como muy posible la generación de fallos. El conjunto de medidas preventivas existentes respecto al riesgo resulta ineficaz.
Deficiente (D)	6	Se ha detectado algún factor de riesgo significativo que precisa ser corregido. La eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes se ve reducida de forma apreciable.
Mejorable (M)	2	Se han detectado factores de riesgo de menor importancia. La eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes se ve reducida de forma apreciable.
Aceptable (B)	-	No se ha detectado anomalía destacable alguna. El riesgo está controlado. No se valora.

Fuente: <http://www.ingenieroambiental.com/4004/Manual%20de%20Evaluacion%20de%20Riesgos%20Laborales.pdf>

Cuando se detecte un nivel de deficiencia “aceptable”, es decir, que la condición observada no provoque ningún riesgo a lo largo del tiempo, no será necesario asignar un valor numérico a ésta, a diferencia de los otros tres niveles.

Nivel de exposición

Para un riesgo concreto, el nivel de exposición se puede estimar en función de los tiempos de permanencia en áreas de trabajo, operaciones con máquina, etc.

Los valores numéricos, como puede observarse en la tabla II, son ligeramente inferiores al valor que alcanzan los niveles de deficiencias, ya que, por ejemplo, si la situación de riesgo está controlada, una exposición alta no debería ocasionar, en principio, el mismo nivel de riesgo que una deficiencia alta con exposición baja.

Tabla II. Niveles de exposición para evaluación de riesgos

Nivel de Exposición	NE	Significado
Continuada (EC)	4	Continuamente. Varias veces en su jornada laboral con tiempo prolongado.
Frecuente (EF)	3	Varias veces en su jornada laboral, aunque sea con tiempos cortos.
Ocasional (EO)	2	Alguna vez en su jornada laboral y con período corto de tiempo.
Esporádica (EE)	1	Irregularmente.

Fuente: <http://www.ingenieroambiental.com/4004/Manual%20de%20Evaluacion%20de%20Riesgos%20Laborales.pdf>

Nivel de consecuencias

Se han considerado igualmente cuatro niveles para la clasificación de las consecuencias (NC). Se ha establecido un doble significado; por un lado, se han categorizado los daños físicos y, por otro, los daños materiales. Se ha evitado establecer una traducción monetaria de éstos últimos, dado que su importancia será relativa en función del tipo de empresa y de su tamaño. Ambos significados deben ser considerados independientemente, teniendo más peso los daños a personas que los daños materiales.

Cuando las lesiones no son importantes la consideración de los daños materiales debe ayudar a establecer prioridades con un mismo nivel de consecuencias establecido para personas.

Como puede observarse en la tabla III, la escala numérica de consecuencias es muy superior a la de probabilidad. Ello es debido a que, el factor consecuencias debe tener siempre un mayor peso en la valoración.

Tabla III. Niveles de consecuencias para evaluación de riesgos

Nivel de Probabilidad	NC	Significado	
		Daños personales	Daños Materiales
Mortal o Catastrófico (M)	100	1 muerto o más	Destrucción total del sistema (difícil renovarlo).
Muy Grave (MG)	60	Lesiones graves que pueden ser irreparables.	Destrucción parcial del sistema (compleja y costosa la reparación).
Grave (G)	25	Lesiones con incapacidad laboral transitoria.	Se requiere paro de proceso para efectuar la reparación.
Leve (L)	10	Pequeñas lesiones que no requieren hospitalización.	Reparable sin necesidad de paro del proceso.

Fuente: <http://www.ingenieroambiental.com/4004/Manual%20de%20Evaluacion%20de%20Riesgos%20Laborales.pdf>

Nivel de riesgo y nivel de intervención

La tabla IV permite determinar el nivel de riesgo y, mediante agrupación de los diferentes valores obtenidos, establecer bloques de priorización de las intervenciones, a través del establecimiento también de cuatro niveles (indicados en la tabla con números romanos).

Los niveles de intervención obtenidos tienen un valor orientativo. Para priorizar un programa de inversiones y mejoras, es imprescindible introducir la componente económica y el ámbito de influencia de la intervención. Así, ante unos resultados similares, estará más justificada una intervención prioritaria cuando el coste sea menor y la solución afecte a un colectivo de trabajadores mayor.

El nivel de riesgo viene determinado por el producto del nivel de deficiencia, el nivel de exposición y el nivel de consecuencias. La tabla IV establece la agrupación de los niveles de riesgo que originan los niveles de intervención y su significado.

Tabla IV. Determinación y significado del nivel de riesgo e intervención

Nivel de Intervención	NR	Significado
I	4000-600	Situación crítica. Corrección urgente.
II	500-150	Corregir y adoptar medidas de control.
III	120-40	Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención y su rentabilidad.
IV	20	No intervenir, salvo que un análisis más preciso lo justifique.

Fuente: <http://www.ingenieroambiental.com/4004/Manual%20de%20Evaluacion%20de%20Riesgos%20Laborales.pdf>

Contraste de los resultados obtenidos

Es conveniente, una vez se tenga una valoración del riesgo, contrastar estos resultados con datos históricos de otros estudios realizados. Además de conocer la precisión de los valores obtenidos se puede ver la evolución de los mismos y determinar si las medidas correctivas, desde que se aplicaron, han resultado eficientes.

1.2.7.3. Política

Son las directrices y objetivos generales de una organización, relativos a la prevención de riesgos laborales, expresados formalmente por la dirección.

1.2.7.4. Organización

El establecimiento de una acción de prevención de riesgos integrada en la empresa supone la implementación de un plan de prevención de riesgos que incluya la estructura organizativa, definición de funciones, prácticas, procedimientos, procesos y recursos necesarios para llevar a cabo dicha acción.

1.2.7.5. Planificación preventiva

La evaluación del control de riesgos dependerá de la evaluación inicial. La planificación preventiva determina el conjunto de actividades para la prevención de riesgos laborales, estableciendo plazos, prioridades, número de trabajadores expuestos, etc.

1.2.7.6. Auditoría

Cierra el ciclo del plan preventivo y debe permitir la evaluación del cumplimiento de la planificación, además se deberá evidenciar su existencia mediante manuales, procedimientos, especificaciones, instrucciones, registros, etc.

1.2.8. Análisis de ruidos

El término contaminación acústica hace referencia al ruido cuando éste se considera como un contaminante, es decir, un sonido molesto que puede producir efectos fisiológicos (pérdida de audición) y psicológicos (irritabilidad exagerada) nocivos para una persona o grupo de personas.

La causa principal de la contaminación acústica es la actividad humana, el transporte, la construcción de edificios y obras públicas, la industria, entre otras.

Los aparatos usados para medir la intensidad del sonido son los decibelímetros, los cuales están conformados por un micrófono, un amplificador o analizador y un dial de lectura, además cuentan con un ajustador o calibrador.

Al realizar el estudio de ruidos, el analista debe tomar en cuenta que los ruidos que debe considerar son:

- a. Ruido ambiente. En esta categoría se encuentran los niveles mínimos, cuando no hay fuentes de ruido;
- b. Ruido estable o continuo. El generado por maquinaria o aparatos con sonido constantes;
- c. Ruido intermitente. Es el ruido que varía en niveles;
- d. Ruido impulsivo. Es el ruido que tiene corta duración para niveles altos.

1.2.8.1. Sistemas de control de ruidos

El grado de pérdida de audición depende del nivel y duración del ruido. La exposición al nivel máximo de 90 decibeles es de 8 horas, si el nivel del ruido es más alto, el período de exposición diario permitido es menor; por cada incremento de 5 decibeles, el período se hace a la mitad.

El nivel máximo permitido es de 115 decibeles durante 15 minutos y no se permite la exposición por arriba de este nivel. Para controlar los ruidos en una planta industrial se tienen varios métodos, siendo los más utilizados:

a. Aislamiento de máquinas

Cuando se tienen máquinas que producen mucho ruido lo que se hace es aislar las máquinas con tabiques dotados de materiales aislantes (duroport, fibra de vidrio, etc.) alrededor de las máquinas en forma de cubículo lo suficientemente grande para que el operador que la maneja tenga el espacio suficiente para utilizarla.

La técnica de aislar las áreas o máquinas que producen demasiado ruido es una de las técnicas más usadas en el sector industrial, pues es uno de los métodos más sencillos de aplicar y de lo más económicos que existe, sin embargo, hay que tomar en cuenta que no siempre se puede aplicar esta técnica por las limitaciones que existen en las áreas de trabajo ya en la realidad, pues con frecuencia las distribuciones de maquinaria no contemplan el estudio de ruidos; ésto se hace cuando con el tiempo se quejan los trabajadores, y se tiene la necesidad de ver que soluciones se buscan al problema.

b. Colocación de paneles aéreos

La técnica utilizada en la industria para reducir los niveles de ruido en áreas donde aislar no es posible, es el colgar paneles aéreos con materiales absorbentes de las ondas sonoras. Existen muchos nombres comerciales en la industria de estos productos, sin embargo la base de estos materiales sigue siendo la fibra de vidrio y el duroport.

Las dimensiones de los paneles dependerá de la cantidad de ondas sonoras que se quiera absorber, y la altura a la cual colgarán dependerá también de las condiciones de trabajo imperantes en el área donde se colocarán.

c. Paneles verticales de cielo

Éstos son paneles gruesos, cuadrados y unidades acústicamente eficientes, diseñadas para interrumpir directamente el ruido reduciendo los niveles de éste o el reverbero de las ondas sonoras. Este tipo de paneles se usan frecuentemente donde hay restricciones de espacio y no se permite usar paredes acústicas. Estos paneles tienen una orilla frecuentemente de acero o hierro que le sirven de marco, la superficie de ambos lados son de material mineral absorbente y son finalizados con una capa de pintura blanca de vynil-latex, para que se puedan lavar con facilidad.

d. Espuma acústica

Reduce el efecto de rebote de las ondas sonoras provocadas por la máquina sin tener que estar en un cubículo cerrado, esta espuma acústica, utilizada con los otros sistemas de reducción del ruido es sumamente efectiva. Esta espuma se coloca muy cerca del punto donde se produce el ruido en la maquinaria fuente emisora del ruido, ya sea colocándola en una tabla como respaldo o simplemente pegada con algún adhesivo al punto emisor del ruido.

1.2.9. Métodos para la evaluación de alternativas

Cuando se tienen varias propuestas o varios proyectos y se requiere determinar la factibilidad de inversión que cada uno de éstos ofrecerá, resulta muy beneficioso aplicar los métodos de evaluación de alternativas que se aprecian a continuación.

1.2.9.1. Valor presente neto (VPN)

El valor presente neto (VPN) es el método más conocido a la hora de evaluar proyectos de inversión a largo plazo. El valor presente neto permite determinar si una inversión cumple con el objetivo básico financiero: maximizar la inversión.

Ese cambio en el valor estimado puede ser positivo, negativo o continuar igual. Si el valor es positivo significa que se recupera la inversión, se obtiene la rentabilidad deseada, además de un excedente igual al valor presente neto. Si el valor es igual a cero, quiere decir que se recupera la inversión y se obtiene la rentabilidad proyectada.

Si el valor es negativo, se evalúa que tan negativo es el valor y se determina la posibilidad de variar la tasa de interés que se está manejando, con el objetivo de no obtener resultados expresados con números rojos.

1.2.9.2. Tasa interna de retorno (TIR)

La tasa interna de retorno (TIR) es la tasa que iguala el valor presente neto a cero. La tasa interna de retorno también es conocida como la tasa de rentabilidad producto de la reinversión de los flujos netos de efectivo dentro de la operación propia del negocio y se expresa en porcentaje, y es aquella tasa en la que el inversionista no gana ni pierde con la implementación del proyecto.

1.2.9.3. Relación beneficio-costo (B/C)

La relación beneficio costo toma los ingresos y egresos presentes netos del estado de resultados, para determinar cuales son los beneficios por cada quetzal que se sacrifica en el proyecto.

El resultado de la relación beneficio costo se interpreta de la siguiente manera:

Si el resultado es mayor que 1, significa que los ingresos netos son superiores a los egresos netos, en otras palabras, los beneficios (ingresos) son mayores a los sacrificios (egresos) y en consecuencia, la ejecución del proyecto se considera rentable. Si el resultado es igual a 1, los beneficios igualan a los sacrificios, siendo indiferente la ejecución o no del mismo. Si el resultado es menor que 1, significa que los egresos son superiores a los ingresos y la rentabilidad del proyecto resulta incierta.

1.2.10. Seguridad industrial

Es una disciplina que establece normas preventivas para evitar accidentes y enfermedades en el lugar de trabajo, causados por diferentes factores. Trata de identificar o disminuir las causas de accidentes. Los efectos de un accidente pueden ser:

- a. Incapacidad temporal
- b. Incapacidad permanente parcial
- c. Incapacidad total permanente
- d. Muerte

Las causas de estos accidentes generalmente son atribuidas a un sinnúmero de factores, siendo los más comunes:

- a. Condición insegura. Condición física o mecánica existente en el local que posibilita la aparición del accidente, tales como: máquina, equipo o instalaciones desprotegidas o defectuosas, pisos resbaladizos, aceitosos o mojados, máquina con iluminación deficiente o inadecuada, etc.;
- b. Acto inseguro. Violación del procedimiento aceptado como seguro, como por ejemplo: dejar de usar equipo de protección individual, distraerse o conversar durante el servicio, fumar en área prohibida, lubricar o limpiar maquinaria en movimiento, etc.;
- c. Factor personal de inseguridad. Cualquier característica, deficiencia o alteración mental, psíquica o física, accidental o permanente, que permite el acto inseguro.

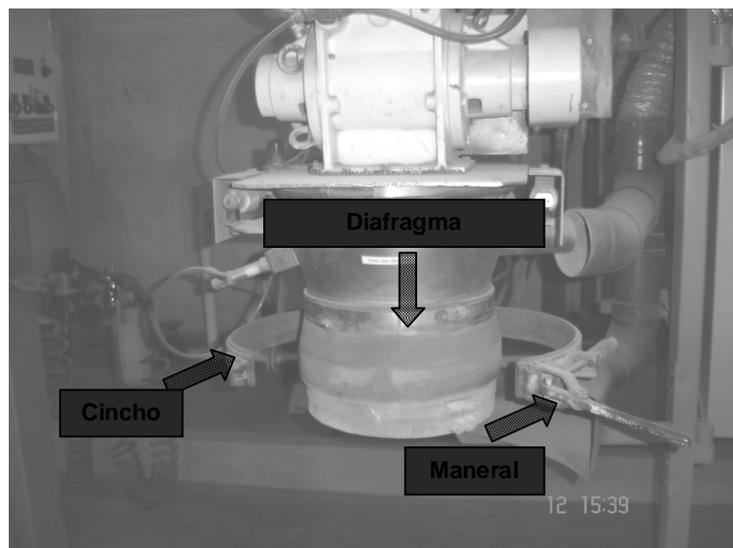
2. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO

2.1. Usos del aire comprimido

En *Trouw Nutrition* Guatemala el aire comprimido se utiliza para las siguientes aplicaciones:

- a. Activar el diafragma o membrana de las ensacadoras. Se activa cuando al colocar los sacos alrededor del diafragma y presionarlos con el conjunto cincho maneral, éste se expande hasta que ambos elementos (diafragma-saco) quedan fijados durante el tiempo de llenado de la premezcla, el cual es de alrededor 30 a 35 segundos por saco;

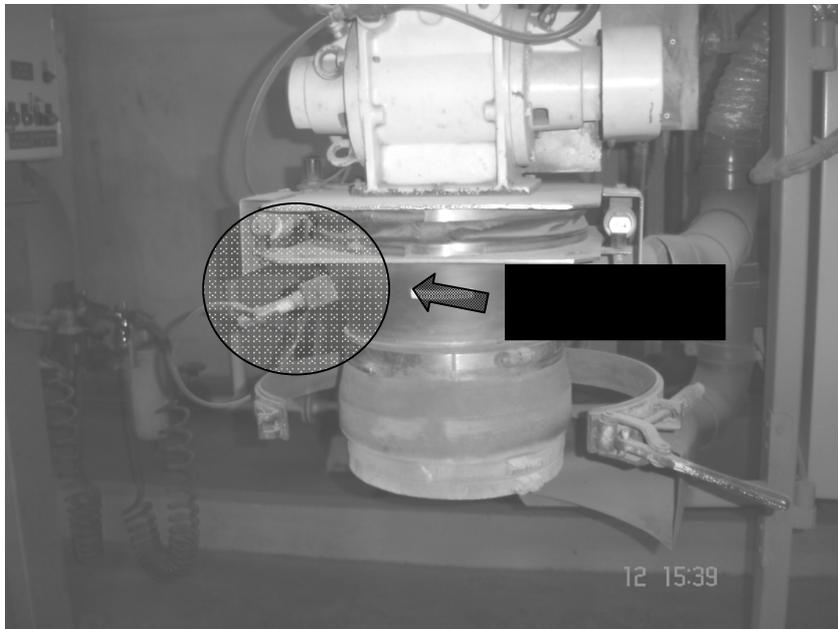
Figura 5. Diafragma o membrana de la ensacadora



Fuente: *Trouw Nutrition* Guatemala

- b. Funcionamiento de actuadores de simple efecto. Éstos son utilizados como elementos de impacto en las tolvas de descarga. Funcionan como una especie de “martillo”, el cual es utilizado para despejar de las paredes de las mismas los residuos de premezclas que no lograron caer por efectos de la gravedad;

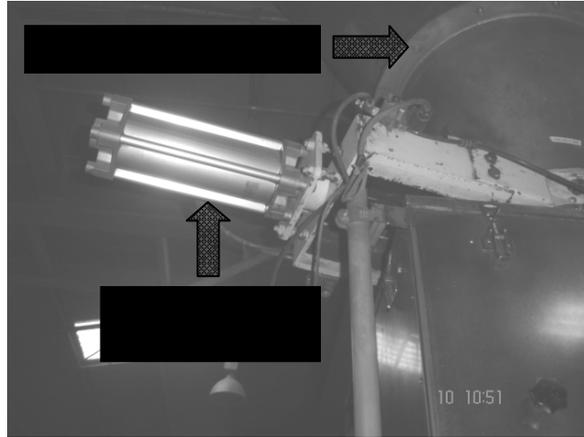
Figura 6. Actuadores neumáticos de simple efecto



Fuente: *Trouw Nutrition* Guatemala

- c. Funcionamiento de actuadores de doble efecto. Éstos se utilizan para la apertura o cierre de compuertas (compuertas deslizantes de cuchilla). Están ubicados en la parte inferior de las tolvas de descarga y ayudan a que, cuando se haya realizado una premezcla, mantengan la compuerta cerrada por la presión del aire comprimido y eviten que la misma se derrame previo a proceder con el ensacado;

Figura 7. Actuadores neumáticos de doble efecto



Fuente: *Trouw Nutrition Guatemala*

- d. En los diferentes puestos de trabajo, el aire comprimido es utilizado como recurso de limpieza mediante las unidades de soplado, ésto debido a las características de las materias primas que en algunos casos dificultan la limpieza mediante la utilización de agua. Cabe mencionar que estos accesorios están constituidos por unidades de mantenimiento filtro de aire y regulador de presión, y no es instalado el lubricador, ya que obviamente para el uso destinado, el aire podría ser inhalado por el personal operativo.

Figura 8. Unidad de soplado con unidades de mantenimiento FR



Fuente: *Trouw Nutrition Guatemala*

2.1.1. Maquinaria y elementos

Se describen las características o especificaciones que tienen los principales equipos utilizados para la generación del aire comprimido.

2.1.1.1. Filtro del compresor

El filtro que utiliza el compresor *Ingersoll Rand* es del tipo de papel plegado con 10 cm de diámetro x 6 cm de altura, protegido por una cubierta de plástico fijado por una tuerca tipo mariposa.

El filtro del compresor *Quincy* (10 cm de diámetro x 12 cm de altura) es del tipo de papel plegado, cubierto con una esponja de 6mm de espesor para evitar la penetración de las partículas que se encuentra suspendidas en el aire.

Ambos filtros presentan las características de: ser fácilmente desmontables, retener grandes cantidades de partículas y de ser accesible la obtención de los repuestos.

Figura 9. Filtros de los compresores utilizados actualmente



Fuente: *Trouw Nutrition* Guatemala

2.1.1.2. Compresor

La empresa utiliza dos compresores para llevar a cabo sus actividades en el proceso de producción:

- a. Compresor *Ingersoll Rand*: compresor de 2 etapas recíprocante, enfriado por aire, motor de 10 HP.

Figura 10. Compresor *Ingersoll Rand*



Fuente: *Trouw Nutrition Guatemala*

- b. Compresor *Quincy*: compresor de 1 etapa recíprocante, enfriado por aire, motor de 10 HP.

Entre las características que los dos compresores tiene en común, es que ambos poseen los accesorios necesarios para un eficiente funcionamiento, éstos son: presostatos, manómetros con campos de medida de 0 a 2 000 KPa, válvulas de seguridad, válvulas de descarga automática (programadas para purgar el tanque cada 10 minutos); etc.

Figura 11. Compresor Quincy



Fuente: *Trouw Nutrition* Guatemala

2.1.1.3. Secador de aire

Se utiliza un secador de aire marca *Olmstead* cuyos factores de operación y características son:

- Modelo 5Z760. No. de Serie: 244633
- Temperatura: 350 F/ 175 °C
- Presión de servicio: 250 PSI / 1 725 KPa

Figura 12. Secador de aire Olmstead



Fuente: *Trouw Nutrition* Guatemala

2.1.1.4. Postenfriador

Se utiliza un postenfriador marca *Quincy* cuyas características de funcionamiento son:

- Modelo: QITD0070 Serie No. 032/16360/11
- Max. Presión: 250 PSI
- Max. Temperatura: 140 F
- Refrigerante 134a

Figura 13. Postenfriador Quincy



Fuente: *Trouw Nutrition Guatemala*

2.1.1.5. Tuberías o líneas de distribución

Las tuberías de distribución del aire comprimido son rígidas galvanizadas con un diámetro de 2", las cuales se encuentran sujetas a la pared por medio de abrazaderas galvanizadas de un solo brazo.

En las unidades de soplado, utilizadas para la limpieza, se tienen mangueras de 0,125" de diámetro y 1,5 metros de longitud aproximadamente.

La cantidad de accesorios utilizados en las tuberías es:

Tabla V. Accesorios utilizados en las tuberías de distribución actuales

Descripción	Cantidad
Codo 90°	15
Unión	14
T`s	8

Fuente: *Trouw Nutrition* Guatemala

2.1.1.6. Accesorios complementarios

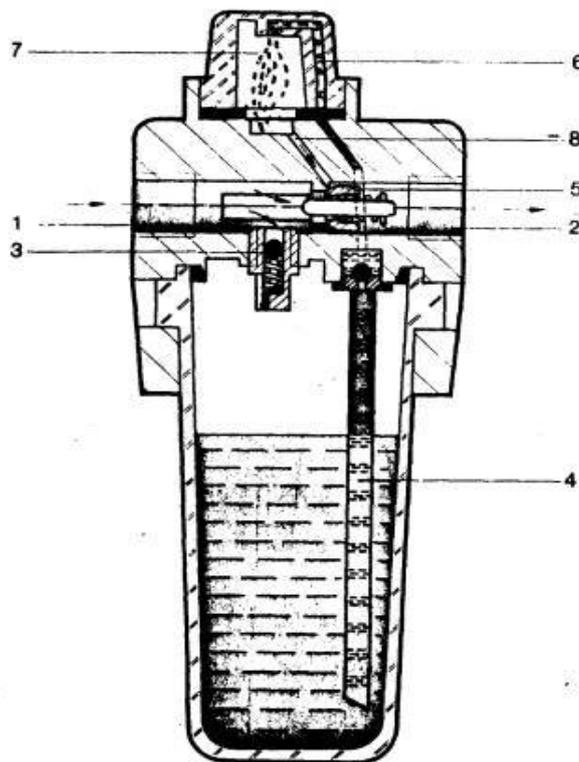
Los accesorios o elementos neumáticos que complementan el funcionamiento del aire comprimido, además del diafragma de la ensacadora, son: actuadores de simple y doble efecto, unidades de soplado y unidades de mantenimiento filtro-regulador de presión-lubricador; los cuales se encuentran en los diferentes puntos de consumo de las líneas de producción.

Los filtros retienen las partículas sólidas y las gotas de humedad contenidas en el aire para que estos efectos del condensado no puedan dañar las partes internas de los elementos neumáticos.

El regulador de presión mantiene la presión de trabajo constante en el lado del usuario, independientemente de las variaciones de presión en la red principal y de consumo.

El lubricador se utiliza en aquellos puntos cuyos elementos neumáticos necesitan estar lubricados por su constante movimiento oscilatorio, como por ejemplo: los pistones de las válvulas solenoides y los actuadores neumáticos de simple y doble efecto. El lubricador trabaja según el principio de Venturi (diferencia de presiones), y su funcionamiento se explica en base a la figura siguiente:

Figura 14. Funcionamiento del lubricador de las unidades de mantenimiento



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos13/geairdos/geairdos.shtml>

El aire comprimido atraviesa el aceitador desde la entrada (1) hasta la salida (2). Por el estrechamiento de sección en la válvula (5), se produce una caída de presión. En el canal (8) y en la cámara de goteo (7) se produce una depresión (efecto de succión). A través del canal (6) y del tubo elevador (4) se aspiran gotas de aceite. Éstas llegan, a través de la cámara de goteo (7) y del canal (8) hasta el aire comprimido, que afluye hacia la salida (2). Las gotas de aceite son pulverizadas por el aire comprimido y llegan en este estado hasta el consumidor.

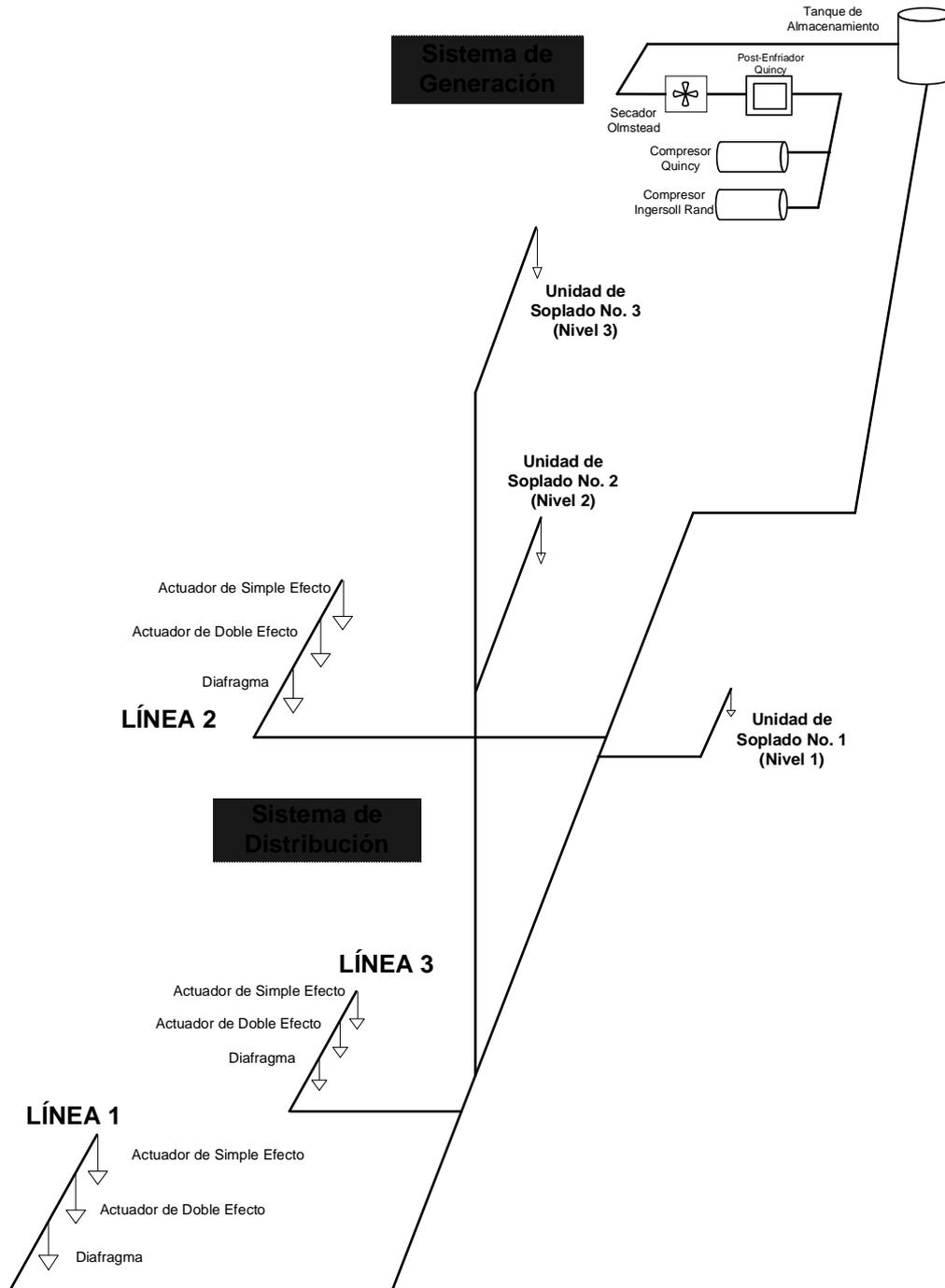
La sección de flujo varía según la cantidad de aire que pasa y varía la caída de presión, o sea, varía la cantidad de aceite. En la parte superior del tubo elevador (4) se puede realizar otro ajuste de la cantidad de aceite, por medio de un tornillo.

2.1.2. Proceso de funcionamiento del aire comprimido

El proceso se inicia en el momento en que el compresor (*Quincy* o *Ingersoll Rand*) comprime el aire y lo deposita en el propio tanque, el aire comprimido se transfiere por las tuberías hacia el postenfriador, para eliminar gran parte de la humedad que se encuentra en el mismo; a continuación entra al secador de aire, donde es secado completamente; luego se procede a almacenarlo en el tanque de acumulación de capacidad mayor (1,01 m³ aprox.) donde se va utilizando según los requerimientos en los puntos de consumo.

El proceso de funcionamiento del aire comprimido se ejemplifica en la siguiente diagramación:

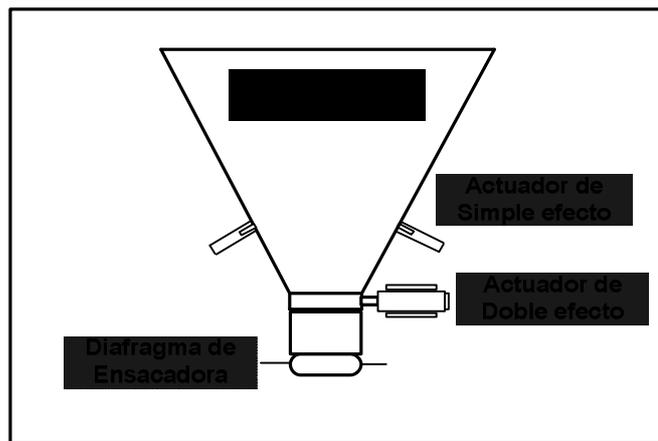
Figura 15. Distribución neumática actual



Fuente: *Trouw Nutrition Guatemala*

La forma en que cada uno de estos elementos neumáticos está acoplado a cada una de las líneas ejemplificadas en la figura anterior, es la siguiente:

Figura 16. Elementos neumáticos de las líneas de producción



Fuente: *Trouw Nutrition Guatemala*

Las funciones que cada uno de los elementos realiza, se describieron al inicio de este capítulo.

2.1.3. Ubicación del equipo

Se describe la ubicación del equipo que se utiliza para generar y distribuir el aire comprimido, incluyendo además la maquinaria involucrada en el proceso de producción.

2.1.3.1. Sistema de generación

Se denotará en todo el contenido como sistema de generación aquel en donde se lleva a cabo la creación del aire comprimido, en éste estarán ubicados el compresor *Quincy*, el compresor *Ingersoll Rand*, el secador *Olmstead*, el postenfriador *Quincy* y el acumulador de aire o tanque de almacenamiento; y como se describirá más adelante, se asignará un nombre específico para que pueda llevarse un mejor control del mismo, y lograr así una mayor eficiencia en el mantenimiento.

2.1.3.2. Sistema de distribución

Los equipos utilizados en la distribución del aire comprimido que se identificarán posteriormente serán: diafragmas de las ensacadoras, actuadores de simple y doble efecto de las tolvas de descarga, unidades de soplado y unidades de mantenimiento.

En el área de distribución también se encuentra la maquinaria que se utiliza para llevar a cabo el proceso de producción y por la cual circula el aire comprimido, como lo son: mezcladoras y sus motores, tolvas de carga y descarga, ensacadoras y diferentes filtros de aspiración de polvos.

2.1.4. Mantenimiento al sistema de generación y distribución

El mantenimiento a los equipos que se ubican en el sistema de generación se realiza por *outsourcing* (ISM) con una periodicidad semestral, por lo que no se realiza ningún tipo de servicio durante este período de tiempo.

De igual manera, al equipo neumático ubicado en el área de distribución se le realiza mantenimiento preventivo con intervalos de 1 ó 2 meses, por otra empresa *outsourcing* (ASI).

Las actividades de mantenimiento que realizan estas empresas en los compresores son: limpieza general del tanque, cambio de los filtros de aspiración, cambio de aceite y revisión de la tensión de las fajas del juego de poleas del radiador.

En el caso del mantenimiento del secador y el postenfriador, las descripciones de los servicios son: limpieza de los serpentines con químico especial, limpieza de las aspas y el ventilador y revisión de los voltajes y los amperajes.

El objetivo de implementar la mejora en el mantenimiento tanto del área de generación y distribución, es que el personal operativo pueda realizar este tipo de trabajos o revisiones; de tal forma que, al detectar algún desperfecto mecánico durante ese período de tiempo, se pueda llevar a cabo una acción correctiva y se evite cualquier generación de costos directos o indirectos no previstos, a diferencia de que se detecte hasta que la empresa encargada asista a realizar el servicio.

2.1.5. Cimentación de la maquinaria

Cada uno de los compresores se encuentra anclado en un área de concreto armado de 2 m², en un tipo de cimentación “directa”, ésto quiere decir que, el equipo descansa directamente sobre el terreno de cimentación.

El secador y el postenfriador están anclados ambos en un área de concreto armado de 2 m², pero a diferencia de los anteriores, están cimentados “directa” e “indirectamente”, ya que están sentados en una base de hierro que se encuentra anclada al piso a una altura de 60 cm.

Las deficiencias que se presentan al evaluar la cimentación de los compresores y de los otros equipos, es que no poseen mecanismos antivibratorios que ayuden a reducir los movimientos que éstos generan, vibraciones ocasionadas por el movimiento del cigüeñal, de las poleas del mecanismo de ventilación como de la propia faja, e inclusive la propia tendencia del aire comprimido cuando se almacena en el tanque de acumulación. Aunque en todos los equipos los movimientos vibratorios sean diminutos, en un período de tiempo largo podrían provocar daños no visibles e impredecibles en los componentes internos y/o externos de cada compresor, como un mal funcionamiento de las partes internas de éste, desperfectos en los instrumentos de medición, ruidos, holgura entre la unión de las tuberías conectadas a éstos; etc.

Otro de los factores que no se tomó en cuenta al momento de diseñar la cimentación de estos equipos, es que, el cimiento debe elevarse de la superficie del suelo una altura determinada para evitar que, tanto la presencia de humedad en el suelo como el agua puedan ocasionar efectos corrosivos sobre la base de los mismos y afectar su operación. El aspecto del agua se menciona ya que en el lugar donde están anclados los equipos presenta una abertura en el techo de aproximadamente 2 m², por la que al momento de presentarse una lluvia podría filtrarse el agua en las bases de éstos, causando una progresiva destrucción de las mismas.

2.1.6. Parámetros medidos en el sistema

Debido a la falta de importancia que se le da al sistema de aire comprimido por parte del personal operativo y administrativo, solamente se realizan las mediciones correspondientes cuando algún accesorio falla o cuando se realiza el mantenimiento preventivo descrito anteriormente; esto quiere decir que no se realizan supervisiones periódicas, ni pruebas antes de arrancar el sistema y durante su funcionamiento.

2.2. Identificación del sistema general de aire comprimido

Una correcta identificación de la maquinaria, del equipo y del área donde éstos se encuentran, sin duda es de amplio beneficio para *Trouw Nutrition Guatemala*, debido a que se convierte en una herramienta para facilitar el levantamiento de un inventario técnico de los mismos, así como para llevar un mejor control del mantenimiento preventivo y correctivo; ya que, a menudo es más fácil identificar las características o las próximas fechas de servicio de los equipos en base a un código que al elemento en sí.

2.2.1. Identificación de áreas

Las áreas con que cuenta *Trouw Nutrition Guatemala* no se encuentran identificadas, incluyendo aquella donde se encuentra el equipo de generación de aire comprimido, ya que, independientemente de que el personal que está acostumbrado a utilizar el equipo conozca donde están ubicados los mismos, es importante que se identifique para el demás personal de la empresa, así como para aquellas ajenas a la misma, de tal manera que, se tenga prevista como un área de acceso restringido, principalmente por las altas presiones que se manejan dentro de la misma.

2.2.2. Identificación de equipo

De la misma manera que la anterior, al hacer un recorrido e inspección de la maquinaria y equipo, se observa que no cuentan con un código propio de identificación que permita llevar un control de los mismos. La asignación de éste junto a la identificación de las áreas puede contribuir a llevar de manera programada y ordenada las labores de mantenimiento, ya que puede existir la posibilidad que se tenga un programa de mantenimiento cuya ejecución se realice por áreas o por la clasificación del equipo, la cual es una de las propuestas que se presenta más adelante.

2.3. Errores cometidos en el diseño de una red de aire comprimido

En el proceso de diseño de un sistema de aire comprimido, los errores más frecuentes a considerar son los siguientes:

- a. Diseñar la tubería enterrada o subterránea sin que sea un caso especial;
- b. Efectuar modificaciones o adiciones poco convencionales al sistema actual, con el objeto de minimizar costos, sin efectuar un correcto análisis de este sistema;
- c. Creer que se puede compensar la insuficiencia de caudal de aire de un compresor aumentando la capacidad de reserva de aire por medio de tanques. El uso de tanques solo es justificable cuando se necesita gran cantidad de aire en un período de tiempo muy corto;
- d. Elevar la presión de trabajo para suplir la falta de aire de suministro. Esta aumenta un poco la reserva de aire pero a un costo de energía (Kw) muy alto;
- e. No inspeccionar constantemente el por qué de las caídas de presión del sistema, ni verificar y ajustar los equipos del sistema de aire comprimido.

Hay que tomar en cuenta que las fugas pequeñas son imperceptibles debido a que el aire es inoloro y no es visible.

2.4. Riesgos más comunes del equipo

Filtro de admisión: aunque el filtro de admisión de aire no es generalmente un elemento potencialmente peligroso, salvo el ruido que la admisión de aire puede generar, si es un elemento de gran importancia, ya que aún el aire más limpio presenta elementos en suspensión que si no son eliminados, pueden deteriorar rápidamente los elementos internos del compresor, por ejemplo: rayando los cilindros, y causando la aparición de depósitos u obturaciones que pueden provocar riesgos de accidentes.

Compresores: independientemente del tamaño del compresor, éstos presentan una serie de riesgos comunes que vienen determinados por la posible sobrepresión alcanzada, con riesgo de explosión, que puede venir determinada por alguna de las siguientes causas:

- a. Bloqueo total o parcial del aire que sale del compresor;
- b. Fallo de los controles neumáticos combinado con bajo consumo de aire;
- c. Mal funcionamiento del compresor, sobrevelocidad;
- d. Sobrecalentamiento, que puede dar lugar a la ignición de depósitos carbonosos con el consiguiente peligro de explosión. Aunque no es frecuente, pueden iniciarse fuegos y explosiones por combustión de aceites y vapores procedentes de los utilizados para la lubricación de compresores.;
- e. Proximidad de fuego exterior con el consiguiente sobrecalentamiento y sobrepresiones;

- f. La suciedad o humedad puede ser causa de corrosiones, así como el bloqueo de válvulas;
- g. Un elemento a tomar en cuenta son las correas y arboles de transmisión entre compresor y motor de accionamiento, que pueden ser causa de graves lesiones por atrapamiento.

Postenfriador: este tipo de equipo puede presentar los siguientes riesgos específicos:

- a. Sobrecalentamiento debido a mala circulación de aire, cuando son del tipo de radiador y ventilador, debido a la existencia de obstáculos, materiales, etc., que impiden una circulación adecuada, e incluso por mala ubicación de los mismos;
- b. Sobrecalentamiento por presencia de suciedad en las superficies de intercambio térmico;
- c. Sobrecalentamiento por depósitos e incrustaciones que dificultan la transferencia de calor e incluso la obstrucción de los pasos;
- d. Vibraciones de tubos producidos por resonancia entre la frecuencia de vibración de los tubos y la frecuencia del vórtice líquido que circula por ellos, pudiendo dar lugar a la rotura de los mismos y a un elevado nivel sonoro.

Secador de aire: los sistemas de secado de aire emplean cámaras presurizadas e intercambiadores de calor, por lo que los riesgos que presentan son los de cualquier aparato a presión. Sin embargo en el caso de desecadores que utilizan calentadores para la regeneración del desecante, se puede presentar el riesgo de explosión de nieblas de aceite en el caso de alcanzarse la temperatura de ignición de la misma.

Acumulador de aire: el principal riesgo que presentan estos aparatos, al estar sometidos a presión interna, es el de explosión, que puede venir determinado por alguna de las siguientes causas:

- a. Defectos de diseño del aparato;
- b. Defectos en la fase de construcción y montaje, en los cuales deben tomarse muy en cuenta el proceso de soldadura de fondos, refuerzos, tubuladores, etc., y los efectos que el calor aportado puede tener sobre las características de los materiales del mismo;
- c. Sobrepresión en el aparato por fallo de los sistemas de seguridad;
- d. Sobrepresión por presencia de fuego exterior;
- e. Sobrepresión y riesgo de explosión por autoignición de depósitos carbonosos procedentes del aceite de lubricación del compresor;
- f. Fisuras debidas a las vibraciones transmitidas por compresores instalados sobre los propios acumuladores o por fundición del compresor inadecuada;
- g. Fatiga de materiales debido a trabajo cíclico.

Líneas de conducción: los riesgos que comúnmente presentan estos elementos son:

- a. Un mal diseño del sistema y el tamaño inadecuado puede ocasionar no disponer en los puntos de aplicación de un aire comprimido con las características que se requieren en el uso a que se destina y que ocasionaría un mal funcionamiento de los aparatos de utilización. La repetitividad en el mal funcionamiento puede ocasionar a su vez, la adopción de prácticas inseguras por los operarios para solucionar el problema, además de constituir un riesgo para el personal dedicado al mantenimiento;

- b. Una importancia particular presentan los riesgos debidos al mal mantenimiento, mala sujeción y dilataciones de las tuberías, que se traducen en esfuerzo localizados en las uniones de los recipientes;
- c. La falta o ruptura del aislamiento en conducciones, válvulas, etc., puede ser causa de sobrepresiones debidas a la acción climática;
- d. Los componentes no metálicos, empleados en filtros, trampas de vapor, separadores, engrasadores, etc., pueden perder sus características de resistencia debido a la acción de contaminantes presentes en el aire comprimido, con el consiguiente riesgo de ruptura;
- e. Hay que asegurarse que los lubricantes utilizados para rellenar los lubricadores son compatibles con el recipiente de lubricación y con los equipos a ser lubricados.

2.5. Señalización industrial

Según la norma *ASA (American Standard Association)*, las tuberías que transporten líquidos o gases debe estar identificadas con letreros que indiquen el contenido de las mismas, ya sea el nombre completo o abreviado, así como también indicando datos como presión de trabajo o temperatura de éstas, con el objetivo de enmarcar el peligro.

De la misma manera, es recomendable que se tenga identificado con algún medio visual el área donde se encuentra funcionando el equipo de generación del aire comprimido, con sus correspondientes restricciones y precauciones a su ingreso; para evitar el riesgo que personas ajenas al proceso puedan ingresar a dicha área.

2.6. Pintura industrial

La norma ASA específica que aquellas tuberías que transporten aire comprimido deben ser de color azul o celeste, pintando o estampando sobre ellas flechas de colores variables que indiquen el sentido del flujo del aire.

Las mismas deben ir espaciadas a intervalos de distancia que se consideren necesarios. Por su sencillez, éste último es lo más recomendable para una buena señalización de seguridad.

2.7. Estudio de ruidos

El objetivo de realizar un estudio de ruidos es poder determinar si la cantidad de decibeles que emiten los accesorios que componen el sistema de aire comprimido en *Trouw Nutrition* Guatemala están dentro de los límites permisibles dentro de una planta industrial. De tal manera que si la cantidad es excedida, poder evaluar todas las medidas correctivas que reduzcan el riesgo de algún padecimiento al sistema auditivo del personal operativo.

2.7.1. Sistemas de control de ruidos

En ninguna ocasión se ha realizado un estudio de ruidos dentro de las instalaciones de *Trouw Nutrition* Guatemala, por lo tanto, no se tienen instalados sistemas de control de ruidos. Con el estudio que se describirá más adelante, se podrá determinar la necesidad o no de la instalación de alguno de los dispositivos antes descritos; tomando en cuenta para esto, tanto la posición en la que deberían ser instalados, como las medidas apropiadas para lograr la eficiente atenuación del ruido.

2.7.2. Equipo de protección personal

El equipo de protección que se utiliza actualmente, son los conocidos tapones reusables de elastómero sintético color naranja con cordón, cuyas características se presentan en la tabla VI, y cuya apreciación es la de la figura 17.

Tabla VI. Características del equipo de protección auditivo actual

Su estructura de tres aletas y su superficie perfectamente lisa han sido específicamente diseñadas para adaptarse cómodamente a la mayoría de los canales auditivos.
Fabricados en material hipoalergénico.
Ayudan a una mejor higiene, ya que su superficie es resistente a la suciedad.
Color naranja fácilmente visible, por lo que la verificación de su uso resulta más sencilla.
Pueden combinarse con orejeras para protección adicional.
Pueden ser utilizadas con otros equipos de protección personal.

Fuente: <http://www.elexgt.com/15402/26520/3m/to1270.htm>

Este tipo de protección es utilizado para niveles de reducción de ruido (NRR) o nivel de atenuación de 24 dB, por lo que el objetivo principal de realizar el estudio de ruidos es, determinar si al reducir el nivel de decibeles que producen los accesorios del sistema de aire comprimido, está dentro del rango mínimo de exposición (90 dB), de manera que se considere si es necesario adquirir o brindar al personal operativo de otro equipo más eficiente.

Figura 17. Protección auditiva actual



Fuente: <http://www.elexgt.com/15402/26520/3m/to1270.htm>

3. PROPUESTA DE MEJORA PARA EL SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO

3.1. Pruebas antes de arrancar el sistema

Las pruebas periódicas, que se proponen realizar antes de arrancar el sistema de aire comprimido, son las siguientes:

Prueba de estanqueidad: consiste en presurizar una cantidad de aire comprimido a lo largo de la tubería y cerrar, tanto la válvula de paso inicial como la final, y determinar si se presentan fugas en algún punto de la misma o en los accesorios.

En los compresores: revisar el nivel y la presión de aceite, drenar el condensado del tanque probando las válvulas de descarga automática, revisar que no haya presente algún ruido, vibración o fuga, probar las válvulas de seguridad, inspeccionar el estado del filtro de aire, revisar la tensión de la correa o faja, etc.

En las unidades de mantenimiento

- Filtros: verificar que el nivel de agua del condensado no exceda del límite máximo.
- Regulador de presión: si tiene filtro no es necesario realizar ninguna inspección.
- Lubricador: verificar el nivel de aceite, y si es necesario suplirlo hasta el nivel permitido.

Además de estas pruebas, es necesario verificar el estado físico en el que se encuentran estos equipos, buscando roturas, fugas, suciedad, etc.

3.2. Identificación de fallas

La identificación de fallas a tiempo es un factor importante para reducir los altos costos de mantenimiento que éstas representan, así como los paros imprevistos en el proceso de producción.

El objetivo de identificar las fallas en los compresores, es evaluar si pueden seguirse utilizando con base en los síntomas que presentan, asesorándose internamente con el responsable de mantenimiento de *Trouw Nutrition* Guatemala o externamente con las empresas que realizan el mantenimiento a los mismos. Las fallas o síntomas que presentan los compresores se describen en las tablas siguientes; las cuales se recomiendan ser transferidas y explicadas (capacitación) al personal operativo para que, cuando alguna de las mismas se detecte, se completen los registros de mantenimiento descritos más adelante y se le informe al responsable del mismo.

3.2.1. Compresores enfriados por agua

Los compresores enfriados por agua están equipados con una camisa por la que circula el agua o están envueltos con un serpentín de cobre. El agua debe de fluir a través del circuito de enfriamiento cuando el compresor está en operación. Como ya se describió anteriormente, no se dará mayor énfasis a las fallas en este tipo de compresores, ya que los que se encuentran actualmente en *Trouw Nutrition* Guatemala son enfriados por aire, sin embargo, es prescindible conocer este tipo de equipo.

3.2.1.1. Síntomas y causas probables del problema

Los síntomas y las causas de los problemas en los compresores enfriados por agua se describen en la tabla siguiente.

Tabla VII. Síntomas y causas de problemas en compresores enfriados por agua

SÍNTOMA	PROBABLES CAUSAS
No entrega aire	Tubo de succión restringido
	Filtro de aire sucio
	Válvula con fallas
Capacidad muy baja	Tubo de succión obstruida
	Filtro de aire sucio
	Válvulas flojas
	Válvulas gastadas
	Velocidad incorrecta
	Anillos de pistón gastados
Presión muy baja	Válvulas con fallas
	Válvulas flojas
	Válvulas gastadas
	Descargadores defectuosos
	Fugas excesivas en el sistema
	Velocidad incorrecta
	Anillos de pistón gastados
Sobrecalentamiento del compresor	Válvulas gastadas
	Velocidad incorrecta
	Insuficiente volumen de agua para enfriamiento
	Temperatura muy alta del agua de enfriamiento
	Presión de entrega muy alta
	Lubricación inadecuada de cilindros
	Motor muy pequeño
	Banda muy apretada

Continúa Tabla VII.

SÍNTOMA	PROBABLES CAUSAS
Golpeteo del compresor	Válvula floja
	Presión de descarga muy alta
	Lubricación inadecuada de cilindros
	Lubricación inadecuada del mecanismo
	Volante o polea flojos
	Holgura excesiva de cojinetes
	Tuerca de biela floja
	Rotor del motor floja en el eje
Presión del interenfriador muy alta	Tira de válvula gastada o rota
	Válvula floja o gastada en el cilindro de AP
	Descargadores defectuosos
	Anillos de pistón gastados en el cilindro de AP
Presión del interenfriador muy baja	Válvulas con fallas
	Válvula floja o gastada en el cilindro de BP
	Anillos de pistón gastados
Vibración del compresor	Fugas excesivas en el sistema
	Presión de descarga muy alta
	Volante o polea flojas
	Rotor del motor flojo en el eje
	Mala cimentación
	Cuñas dejadas debajo del compresor
	Desalineación
	Tubería mal soportada
Temperatura muy alta del aire de salida Temperatura de descarga de agua de enfriamiento	Válvulas gastadas
	Descargadores defectuosos
	Temperatura muy alta del agua de enfriamiento
	Presión de entrega muy alta
	Lubricación deficiente de los cilindros
	Presión del interenfriador muy alta
	Interenfriador sucio
	Camisas de cilindros sucios
	Agua insuficiente para enfriamiento

Continúa Tabla VII.

SÍNTOMA	PROBABLES CAUSAS
El motor no arranca	Características eléctricas incorrectas
	Motor muy pequeño
	Banda muy apretada
	Voltaje muy bajo
	Relevador de sobrecarga del motor disparado
Sobrecalentamiento del motor	Velocidad incorrecta
	Presión de descarga muy alta
	Lubricación deficiente de los cilindros y/o del mecanismo
	Banda muy apretada
	Voltaje muy bajo
El motor sincrónico no arranca	Características eléctricas incorrectas
	Voltaje muy bajo
	Relevador de sobrecarga del motor

Fuente: **Manual de mantenimiento industrial**, James O. Rice, pág. 92.

3.2.2. Compresores enfriados por aire

Los compresores enfriados por aire requieren un flujo adecuado de aire sobre el cuerpo del compresor para evitar su recalentamiento, éste se lleva mediante los ventiladores que se encuentran en la parte frontal de los mismos y los cuales producen su movimiento giratorio a base de la combinación de los diferentes mecanismos que proporcionan el cigüeñal, las poleas y fajas.

3.2.2.1. Síntomas y causas probables del problema

Los síntomas y las causas de los problemas en los compresores enfriados por aire se describen en la tabla siguiente.

Tabla VIII. Síntomas y causas de problemas en compresores enfriados por aire

SINTOMA	PROBABLES CAUSAS
Presión muy baja	Fugas excesivas en tubos, conexiones y válvulas para aire
	Pistón y anillos desgastados
	Velocidad incorrecta
El compresor sobrecarga el motor	Aceite insuficiente
	Fuga por tubos de control
	Banda demasiado apretada
	Compresor o motor trabados
	Velocidad incorrecta
	Características eléctricas incorrectas
	Voltaje muy bajo
	Presión de entrega muy alta
Capacidad insuficiente	Tubo de sección obstruido; filtro sucio
	Fugas excesivas en tubos, conexiones y válvulas para aire
	Válvulas mal instaladas
	Pistón y anillos gastados
	Deslizamiento de la banda
	Velocidad incorrecta
Sobrecalentamiento del compresor	Tubo de succión obstruido; filtro sucio
	Aceite insuficiente
	Fuga por tubos de control
	Válvulas mal instaladas
	Velocidad incorrecta
	Sentido incorrecto de rotación

Continúa Tabla VIII.

SINTOMA	PROBABLES CAUSAS
Golpeteo del compresor	Válvula floja
	Aceite insuficiente
	Válvulas mal instaladas
	Rotor del motor se desplaza de un lado a otro, desalineación de las bandas o montaje desnivelado
	Sentido incorrecto de rotación
	Volante o poleas flojas
	Demasiada holgura entre pasador de pistón y buje
	Cojinetes principales necesitan ajuste
	Holgura excesiva de cojinetes de biela
Vibración del compresor	Tubos mal soportados
	Rotor del motor se desplaza de un lado a otro, por desalineación de las bandas o montaje desnivelado
	Rotor del motor desbalanceado
	La unidad no esta bien sujeta en los cimientos
	Cimentación deficiente
Se abre la válvula de seguridad del tanque	Fugas en tubo de control
	Válvula de seguridad defectuosa o mal graduada
	Diferencia muy reducida en el interruptor de presión
Se funden los fusibles	Tubo de entrega restringido
	Aceite insuficiente
	Compresor o motor trabados
	Motor defectuoso
	Fusibles de capacidad limitada
	Características eléctricas incorrectas
Consumo excesivo de aceite	Tubo de succión obstruido; filtro sucio
	Nivel de aceite muy alto
	Aceite poco viscoso
	Presión de aceite muy alta (si es de lubricación a presión)
	Pistón y anillos gastados

Fuente: **Manual de mantenimiento industrial**, James O. Rice, pág. 94.

3.2.3. Baja presión de aceite

Las causas más comunes de baja presión de aceite en un compresor son atribuidas a: bajo nivel de aceite, aceite que no fluye hacia la bomba durante el arranque, la bomba funciona muy lento como para establecer un buen flujo de aceite, aceite demasiado caliente, viscosidad muy baja, bomba de aceite desgastada, cojinetes desgastados, combustible en el aceite que reduce la viscosidad, cambio de aceite, etc.

3.3. Elementos de seguridad

Se propone que todos los equipos que integran el sistema de generación y distribución de aire comprimido cuenten con los apropiados elementos de seguridad, tanto para protección del equipo en sí, como para evitar riesgos de accidentes; de tal manera que, conforme a la inspección realizada, se pueda evaluar que dispositivo de seguridad es necesario implementar en la red de aire comprimido.

3.3.1. Filtro de admisión

En estos aparatos el mejor elemento de seguridad es un mantenimiento adecuado que mantenga el filtro en condiciones de limpieza óptima, sin embargo, la instalación de un medidor de caída de presión en el filtro para comprobar su estado de limpieza es aconsejable.

Por otra parte, cuando las circunstancias así lo requieran, se deberá disponer de un silenciador en la admisión de aire con el fin de disminuir el nivel sonoro.

3.3.2. Compresores

Con objeto de prevenir los riesgos que se detallaron anteriormente, es conveniente tener en cuenta los siguientes elementos o dispositivos de seguridad:

- a. Válvulas de seguridad: los compresores deben estar dotados de una o varias válvulas de seguridad cuyo tamaño y capacidad de descarga estarán suministrados por el caudal de aire máximo que es capaz de suministrar al compresor. Cuando se monte una válvula de interrupción entre compresor y acumulador de aire comprimido, debe instalarse una válvula de seguridad en la línea de unión de los mismos y situarse entre compresor y válvula de interrupción;
- b. Manómetros: deben ser de lectura fácil, bien visibles y contruidos apropiadamente, estando determinado su número en función del tamaño del compresor; en el caso de compresores de dos etapas se debe disponer uno en cada una de las etapas;
- c. Protección térmica: para minimizar los riesgos de sobrecalentamiento, los grandes compresores deben disponer de termostatos a la salida de la válvula de descarga de la última etapa del compresor, los cuales pondrán fuera de servicio el compresor de forma automática, cuando se exceda la temperatura considerada como peligrosa;

En compresores medianos y grandes refrigerados por aire, deben instalarse termostatos con el fin de controlar el posible sobrecalentamiento del compresor debido a un fallo en el ventilador de refrigeración o a la suciedad depositada en la superficie de refrigeración.

- d. Protección del sistema de lubricación: cuando la presión de aceite de lubricación descienda por debajo de un valor mínimo recomendado por el fabricante se deberá disponer de un sistema de seguridad, de tal forma que su actuación sea la puesta fuera de servicio del compresor, y simultáneamente el disparo de una alarma acústica y/o óptica. En el caso de que la alimentación de aceite se efectúe por gravedad, se dispondrá de un detector de bajo nivel de aceite;

Igualmente, es necesario que se ponga fuera de servicio el compresor y se dispare la alarma, cuando la temperatura del aceite de lubricación, en el cárter del cigüeñal o colector, exceda la temperatura especificada por el fabricante.

- e. Protección contra explosión: el sobrecalentamiento y/o ignición de depósitos carbonosos puede dar lugar a riesgo de explosión, por lo que se dispondrá, en compresores de tamaño mediano y grande, un tapón fusible, con una temperatura de fusión acorde con las características del compresor.

Todo compresor debe llevar adosado una placa de características en la cual deberá figurar la presión y temperatura de trabajo máxima.

3.3.3. Postenfriador

Debe estar dotado de los siguientes elementos de seguridad:

Válvulas de seguridad: cuyo número, capacidad de descarga y presión deberá estar en consonancia con el fluido a evacuar.

En el caso de compresores de tamaño mediano y grande, es recomendable que el postenfriador esté situado inmediatamente a la salida del compresor.

Como medida preventiva, debe asegurarse la adecuada limpieza de las superficies de intercambio y en los refrigerados por aire, su ubicación debe ser tal que dispongan del necesario espacio libre a su alrededor.

3.3.4. Secador de aire

Si el secador puede aislarse de la red, sus cámaras estarán construidas para soportar la máxima presión que pueda soportar el compresor, o bien, estará dotado de una válvula reductora de presión y una válvula de seguridad para evitar que se exceda la presión de seguridad en las cámaras del secador. Cuando no existan medios para aislar el secador, se colocará una válvula de seguridad.

3.3.5. Líneas de conducción

Las líneas de conducción o distribución deben ser diseñadas adecuadamente y de una forma genérica, de tal manera que se asegure que la pérdida de carga entre el acumulador de aire comprimido y la toma más lejana, no sobrepase el 5% de la presión requerida, con un máximo de 0,3 bar.

El diámetro de la conducción principal no será nunca inferior al diámetro de la tubería de salida del compresor.

Se debe disponer de suficiente espacio en calles, plataformas, etc., de forma que sea fácil el acceso, con objeto de permitir una utilización y mantenimiento adecuado de la red de aire.

Las líneas de conducción deben montarse con una ligera inclinación en la dirección del flujo, y se dispondrán válvulas de drenaje en sus puntos más bajos de modo que su descarga sea segura. En los tramos en los que las tuberías transcurran verticalmente, el drenaje se situará en el punto más bajo. Así mismo, los tramos de tubería que puedan contener agua en su interior y que estén expuestas al frío, se aislarán convenientemente.

Las tuberías deben sujetarse adecuadamente y a intervalos regulares, de tal forma que el desmontaje de parte de ella no afecte a la estabilidad del resto.

Para prevenir las dilataciones, particularmente en el tramo comprendido entre compresor y acumulador de aire comprimido, y en las partes que puedan estar expuestas a la acción solar, deben colocarse elementos tales como juntas de expansión, tuberías flexibles, etc.

Las tuberías que conectan el compresor y el acumulador de aire comprimido son de fácil limpieza, con objeto de eliminar las partículas carbonosas, que, procedentes del aceite usado en la lubricación del compresor puedan depositarse.

Las tuberías deben identificarse con el color adecuado y cuando exista peligro de conexión a líneas distintas a las del suministro de aire, la conexión se efectuará mediante elementos no intercambiables.

Dado que los mandos de las válvulas de cierre pueden moverse involuntariamente, se debe contar con un dispositivo solamente con acceso a personal autorizado, que permita mantenerlas cerradas durante las operaciones de mantenimiento, o en su caso, poder retirar la palanca de accionamiento manual durante dichas operaciones.

La limpieza de elementos no metálicos, constituyentes de filtros, trampas, etc., solo debe efectuarse con trapos completamente limpios y libres de cualquier producto, con objeto de que no se vea atacado el material del que está constituido.

Dado que en ocasiones es necesario proteger a los equipos de la sobrepresión o cuando se trabaja con equipos que necesitan una presión inferior a la suministrada por la línea, deben disponerse reguladores de presión en los que se indique expresamente la presión de salida mediante un manómetro. Si fuesen del tipo regulable, y según sea el riesgo que la sobrepresión pudiera ocasionar, deben contar con la adecuada protección frente al manejo inadecuado.

3.3.6. Accesorios complementarios

Otro equipo a tomar en cuenta y no por eso menos importante, es el acumulador de aire comprimido, cuyos elementos a destacar para su seguridad son los siguientes:

- a. Válvula de seguridad: cuya capacidad y presión de descarga sea adecuada al caudal máximo de aire comprimido capaz de suministrar el compresor en las condiciones más desfavorables;

- b. Sistema de drenaje manual o automático: en el caso de drenaje manual, las válvulas serán de paso recto y total, con objeto de minimizar los residuos que puedan quedar retenidos y llegar a inutilizar la válvula de drenaje.

En el caso de drenaje automático, tendrán la capacidad de descarga adecuada a la cantidad de líquido a eliminar, estando diseñadas para minimizar los residuos retenidos así como contar con un dispositivo manual para su comprobación.

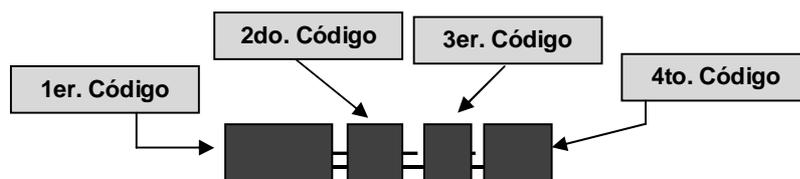
3.4. Codificación del sistema

La codificación de la maquinaria, del equipo y de los instrumentos sin duda es parte fundamental dentro de un proceso productivo; ya que la correcta identificación de los mismos beneficiará a llevar un mejor control y monitoreo del mantenimiento preventivo y correctivo.

3.4.1. Guía para la codificación de la maquinaria y equipo

La propuesta del código que identificará a la maquinaria y equipo que integra el sistema de generación y distribución de aire comprimido es el siguiente:

Figura 18. Código de identificación de la maquinaria y equipo



Fuente: diseño y elaboración propia.

Donde:

1er. Código: TNG - Trouw **N**utrition **G**uatemala

2do. Código: representará el área de la empresa en la que se encuentra la maquinaria o equipo, y se identificará con un número.

3er. Código: clasificación del equipo, representado por una letra.

4to. Código: número de serie o correlativo del equipo existente.

3.4.1.1. Codificación del equipo y la maquinaria

La clasificación para identificar a la maquinaria y el equipo será conforme la siguiente información:

- **AN** Accesorios neumáticos o activados por aire comprimido que no estén en las siguientes categorías.
- **C** Compresores (1 ó 2 etapas).
- **CN** Cilindros neumáticos de simple y doble efecto.
- **D** Diafragmas o membranas de las ensacadoras.
- **EN** Ensacadoras.
- **F** Filtros de las unidades de mantenimiento.
- **IC** Intercambiadores de calor: condensadores, enfriadores, postenfriadores, secadores, etc.
- **L** Lubricadores de las unidades de mantenimiento.
- **MZ** Mezcladoras.
- **RP** Reguladores de presión de las unidades de mantenimiento.
- **U** Unidades de soplado (boquilla, manguera, etc.)
- **T** Tolvas de carga y descarga.
- **TC** Tableros de control (activar y desactivar el sistema neumático).

3.4.1.1.1. Generación

El equipo y maquinaria a identificar en el área de generación del aire comprimido es: dos compresores, un postenfriador, un secador de aire, el acumulador de aire y si fuese necesario algún otro accesorio que requiera mayor cuidado según la experiencia de personal a cargo, se anotará en el listado general.

3.4.1.1.2. Distribución

El equipo y maquinaria a identificar en el área de distribución del aire comprimido es: tolvas de carga, mezcladoras, ensacadoras, diafragmas de ensacadoras, actuadores o cilindros neumáticos de simple y doble efecto, unidades de soplado, unidades de mantenimiento y algunos elementos que están contenidos o pertenecen a las líneas de distribución del mismo.

3.4.1.2. Codificación del área

Las áreas con las que cuenta la empresa y en el cual están integrados los elementos que componen el sistema de generación y distribución del aire comprimido son las siguientes:

Tabla IX. Codificación de las áreas de la empresa

Descripción del Área	Número
Bodega de materia prima No. 1	01
Área de empaque	02
Cuarto frío	03
Bodega de materia prima No. 2	04
Cuarto de tóxicos	05

Continúa Tabla IX.

Descripción del Área	Número
Área de producción nivel 1	06
Área de producción nivel 2	07
Área de producción nivel 3	08
Cuarto de aditivos y antibióticos	09
Cuarto de micropesaje	10
Cuarto de máquinas	11
Área de carga y descarga	12
Oficinas administrativas	13
Oficinas de producción	14

Fuente: diseño y elaboración propia.

3.4.1.2.1. Generación

El área en el que están ubicados los equipos que generan el aire comprimido es el cuarto de máquinas, por lo tanto, le corresponde el número de codificación 11.

3.4.1.2.2. Distribución

El sector en el que están ubicados los equipos que distribuyen o donde se aplica el aire comprimido es el área de producción nivel 1, nivel 2 y nivel 3, por lo tanto, les correspondería el número de codificación 06, 07 y 08 respectivamente.

3.5. Supervisión periódica

Las supervisiones que se proponen al sistema son con el objeto de realizar un mantenimiento diario, semanal o mensual según sea necesario, de tal manera que se pueda prever con anticipación alguna falla o deficiencia en alguno de los equipos del sistema de aire comprimido y evitar así, el riesgo de que alguno de éstos falle durante el proceso de producción.

3.5.1. Parámetros a evaluar

Los parámetros a evaluar en cada una de las supervisiones se mencionaron con anterioridad en el inciso de pruebas antes de arrancar el sistema.

3.5.2. Formatos para realizar la inspección

Los formatos o registros de inspección de equipo se utilizan para llevar a cabo el registro documental del buen funcionamiento del sistema, y la detección de fallas en el mismo. Esta herramienta representa un elemento clave para llevar a cabo el mantenimiento preventivo en cualquier ocasión, siendo el punto de partida para la toma de decisiones con respecto a las actividades que se deben realizar para solucionar un problema potencial o detectado.

En la figura 19 se esquematiza el formato a completar por el personal operativo al momento de realizar las revisiones correspondientes al sistema de generación y distribución del aire comprimido.

Figura 19. Registro de inspección al sistema neumático

CUARTO DE MÁQUINAS (ÁREA DE GENERACIÓN)															
Actividad a verificar				COMPRESOR INGERSOLL RAND				COMPRESOR QUINCY							
Nivel de aceite															
Presión de aceite															
Válvulas de descarga automática															
Válvulas de seguridad															
Filtro de aire															
Tensión de la faja															
Ruidos o vibraciones															
Fugas.															
Acciones Correctivas:															
Observaciones:															
POST- ENFRIADOR QUINCY						SECADOR OLMSTEAD									
Actividad a verificar			SI	NO	Actividad a Verificar				SI	NO					
Ruidos					Ruidos										
Vibraciones					Vibraciones										
Observaciones:															
TANQUE DE ALMACENAMIENTO															
Actividad a verificar			SI	NO	Actividad a Verificar				SI	NO					
Ruidos/Vibraciones					Fugas										
Otras: (Especificar):															
Observaciones:															
AREA DE DISTRIBUCIÓN															
				Línea 1				Línea 2				Línea 3			
Equipo a verificar				Fugas		E. F.		Fugas		E.F.		Fugas		E.F.	
Actuador de simple efecto				SI	NO	D	ND	SI	NO	D	ND	SI	NO	D	ND
Actuador de doble efecto				SI	NO	D	ND	SI	NO	D	ND	SI	NO	D	ND
Diafragma de la Ensacadora				SI	NO	D	ND	SI	NO	D	ND	SI	NO	D	ND
Unidades de Mantenimiento															
Filtros				SI	NO	D	ND	SI	NO	D	ND	SI	NO	D	ND
Regulador de Presión				SI	NO	D	ND	SI	NO	D	ND	SI	NO	D	ND
Lubricador				SI	NO	D	ND	SI	NO	D	ND	SI	NO	D	ND
Mangueras				SI	NO	D	ND	SI	NO	D	ND	SI	NO	D	ND
UNIDADES DE SOPLADO				Nivel 1				Nivel 2				Nivel 3			
Filtros				SI	NO	D	ND	SI	NO	D	ND	SI	NO	D	ND
Regulador de Presión				SI	NO	D	ND	SI	NO	D	ND	SI	NO	D	ND
Mangueras				SI	NO	D	ND	SI	NO	D	ND	SI	NO	D	ND
Observaciones:															
PRUEBA DE ESTANQUEIDAD															
Observaciones:															

E.F.: Estado Físico. D: Dañado. ND: No Dañado.

Responsable de la Supervisión

Fuente: diseño y elaboración propia.

3.6. Diagramación del diseño del sistema de aire comprimido

Mediante un análisis de las características técnicas de las maquinarias que intervienen en el proceso productivo de la empresa, se debe identificar qué maquinarias consumen aire comprimido, y a qué área pertenecen dentro del plano de identificación de la red de distribución de aire de la empresa.

3.6.1. Simbología utilizada

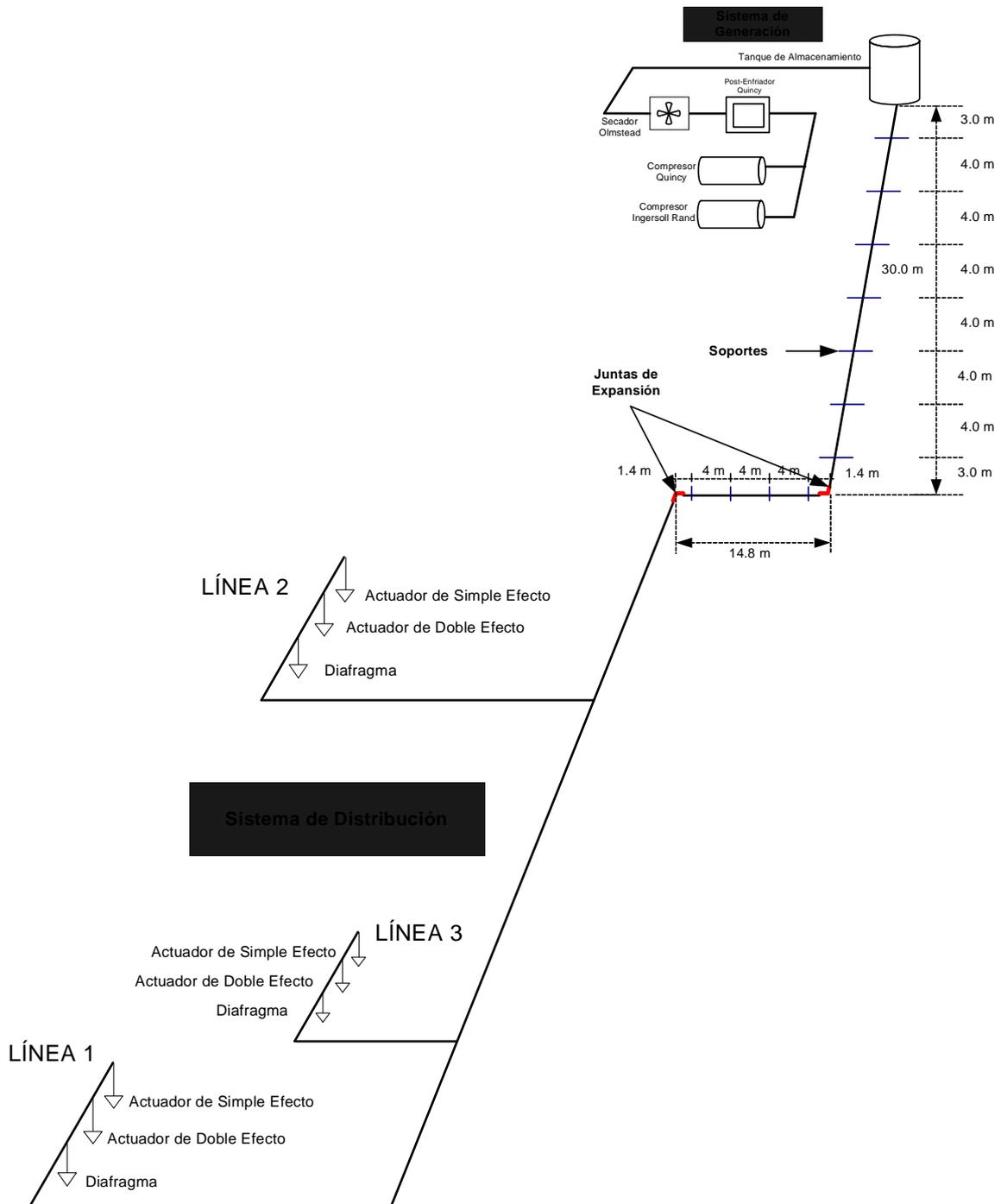
La simbología utilizada para realizar el plano de identificación de la maquinaria es tanto aquella que se describió en la lista de símbolos, como la que se observa en la figura 20, para el área de generación.

3.6.2. Plano de identificación

La primera labor de diseño de una red de aire comprimido es levantar u obtener un plano de la planta donde claramente se ubiquen los puntos de demanda de aire.

Como se detallará posteriormente, una de las propuestas al sistema de aire comprimido se concentra en las tuberías de distribución, en las cuales se instalarán abrazaderas cada cuatro metros para asegurar de mejor manera las mismas y permitir que exista una holgura en el movimiento de éstas cuando se esté efectuando el transporte del aire comprimido. Además de esto, la implementación de juntas de expansión en las secciones en donde el flujo cambia de dirección; y la propuesta de inhabilitar las unidades de soplado, cuyos detalles se describen posteriormente y pueden verse en la siguiente figura.

Figura 20. Propuesta para la diagramación del sistema neumático



Fuente: diseño y elaboración propia.

3.7. Prevención de accidentes

La forma más común de prevenir los accidentes laborales es identificar previamente los riesgos a los que se enfrenta el personal al realizar cada una de sus actividades en su puesto de trabajo, así como en el resto de las demás áreas con las que tiene participación, de tal manera que pueda aplicarse una acción preventiva que minimice la existencia del mismo.

3.7.1. Análisis de riesgos

Es el estudio de las causas de las posibles amenazas, y los daños y consecuencias que éstas puedan producir. Este tipo de análisis es ampliamente utilizado como herramienta de gestión en estudios financieros y de seguridad, tanto para identificar los riesgos (métodos cualitativos) como para evaluarlos (generalmente de naturaleza cuantitativa). El objetivo de realizar el análisis de riesgos es determinar qué áreas de la empresa están más vulnerables y son necesarias de reforzar, para proponer y ejecutar acciones que minimicen la existencia de éstos; tomando en cuenta los costos necesarios para implementarlos.

3.7.1.1. Riesgos físicos

Se refiere a todos aquellos factores ambientales que dependen de las propiedades físicas de los cuerpos, tales como: carga física, ruido, iluminación, temperatura elevada y vibración, que actúan sobre los tejidos y órganos del cuerpo del trabajador y que pueden producir efectos nocivos, de acuerdo con la intensidad y tiempo de exposición de los mismos.

3.7.1.1.1. Explosiones

Las causas principales de explosiones son: corrosión del metal del tanque, combustión espontánea, explosión de vapores de aceite en el tanque, vibración del tanque o la tubería conectada, dispositivos de seguridad deficientes o mal instalados, diseño o instalación inadecuadas y golpe de ariete por el agua en el tanque o tuberías.

Tabla X. Análisis de riesgos: explosiones

Condición insegura: las mencionadas anteriormente				
Riesgo	ND	NE	NC	NR
Explosiones	2	3	25	150

Fuente: diseño y elaboración propia.

Se determinó un nivel de deficiencia mejorable (2), ya que en base a la inspección de las condiciones mencionadas anteriormente se detectaron factores de riesgo de menor importancia (escasa corrosión del metal, inexistente vibración del tanque y tubería, etc.); un nivel de exposición frecuente (3), ya que los colaboradores a nivel operativo están sometidos a estas condiciones varias veces en su jornada laboral en tiempos cortos; y un nivel de consecuencias grave (25), debido a que si se presenta el riesgo causaría lesiones con incapacidad laboral transitoria a nivel personal y a nivel de procesos requeriría un paro del mismo para efectuar la reparación.

Según la tabla IV (Determinación y significado del nivel de riesgo e intervención), y de acuerdo a la evaluación realizada anteriormente, se observa que el riesgo de explosiones a causa de las condiciones mencionadas previamente, presenta un nivel de riesgo (NR) valuado en II, lo que significa que el riesgo puede corregirse una vez se apliquen medidas de control eficientes.

Entre las medidas de control que se pueden adoptar son las de realizar supervisiones periódicas, que tomen en consideración la inspección de los aspectos descritos con anterioridad, de manera que si se detecta alguna falla se pueda informar al responsable de mantenimiento la acción correctiva a aplicar; previniendo de esta manera la probabilidad de que se genere un accidente.

3.7.1.1.2. Inspección interna del tanque

Las inspecciones internas a un tanque de aire comprimido se realizan con el objetivo de determinar si hay factores que estén ocasionando un inadecuado almacenamiento del mismo, como: agua, aceite o polvo acumulado que no ha podido ser extraído o eliminado por algún taponamiento de las válvulas de purga o algún otro equipo.

Cuando se realice la inspección interna del tanque es necesario que se evalúe la concentración de gases como el oxígeno y el monóxido de carbono, los cuales podrían ser tóxicos o insuficientes para el caso del primero, y afectar al responsable de realizar la misma, por lo tanto, quien la lleve a cabo debe utilizar equipo de protección personal para evitar daños a las vías respiratorias, a los ojos e inclusive a la piel.

Tabla XI. Análisis de riesgos: inspección interna del tanque

Condición insegura: medidas inadecuadas al realizar la inspección				
Riesgo	ND	NE	NC	NR
Inhalación de sustancias tóxicas	2	1	25	50

Fuente: diseño y elaboración propia.

Se determinó un nivel de deficiencia mejorable (2), ya que se detectaron factores de riesgo de menor importancia; un nivel de exposición esporádica (1), ya que los colaboradores a nivel operativo están sometidos a éstas condiciones irregularmente, debido a que la inspección se realiza entre 3 ó 4 meses; y un nivel de consecuencias grave (25), debido a que si no se presentan las medidas preventivas para evitar el riesgo causarían lesiones con incapacidad laboral transitoria a nivel personal y a nivel de procesos requeriría un paro del mismo para efectuar la reparación.

Según la tabla IV (Determinación y significado del nivel de riesgo e intervención), y de acuerdo a la evaluación realizada anteriormente, se observa que el riesgo de inhalación de sustancias tóxicas, debido a las inadecuadas medidas preventivas para realizar una inspección interna del tanque, presenta un nivel de riesgo (NR) valuado en III, lo que significa que las condiciones para realizar las inspecciones pueden mejorarse una vez se justifique la intervención y la rentabilidad de las mismas.

Una de las medidas para reducir este riesgo sería el dotar del apropiado equipo completo de protección personal a aquella persona que realice esta labor esporádicamente, así como, asegurarse que ningún mecanismo conectado al tanque e interno a él esté en funcionamiento al realizar dicha inspección.

3.7.1.1.3. Inspección externa del tanque

La inspección externa del tanque de aire comprimido se realiza con el objetivo de determinar si existe algún tipo de fuga o daño en los elementos interconectados a él, como podrían ser manómetros, válvulas, tuberías, etc. Dicha inspección también logra determinar la presencia de corrosión en cada uno de estos elementos como en el propio tanque.

Los riesgos a los que se está sometido al realizar la inspección del tanque pueden ser ajenos a éste, pero pueden afectar directamente al organismo al momento de realizar la misma, las causas pueden ser una mala ventilación e iluminación del cuarto donde está ubicado el equipo, los ruidos a los que se está expuesto al momento de la descarga del aire comprimido, los golpes que se pueden tener al estar revisando cada uno de los accesorios, etc.

Tabla XII. Análisis de riesgos: inspección externa del tanque

Condición insegura: medidas inadecuadas al realizar la inspección				
Riesgo	ND	NE	NC	NR
Golpes con objetos accesorios	2	3	25	150
Accidentes causados por iluminación y/o ventilación inadecuada	2	3	25	150
Problemas auditivos	2	3	25	150

Fuente: diseño y elaboración propia.

Se determinó un nivel de deficiencia mejorable (2), ya que se detectaron factores de riesgo de menor importancia; un nivel de exposición frecuente (1), ya que los colaboradores a nivel operativo que realizarán la supervisión externa del tanque como parte del mantenimiento rutinario estarán expuestos a estos riesgos en un tiempo corto o el que dure dicha labor, y un nivel de consecuencias grave (25), debido a que si no se toman las medidas preventivas para evitar el riesgo causaría lesiones con incapacidad laboral transitoria a nivel personal y a nivel de procesos, requeriría un paro del mismo para efectuar la reparación.

Según la tabla IV (Determinación y significado del nivel de riesgo e intervención), y de acuerdo a la evaluación realizada anteriormente, se observa que los riesgos antes descritos como razón de realizar la inspección externa del tanque, presenta un nivel de riesgo (NR) valuado en II, lo que significa que el riesgo puede corregirse una vez se apliquen medidas de control eficientes.

Una de las medidas de control a tomar en cuenta sería capacitar al personal que realice las inspecciones externas del tanque, acerca de la manera en que tiene que realizar la misma, el equipo de protección que debe de utilizar y el momento más indicado para realizarla, de tal modo que se aproveche la máxima iluminación y ventilación natural.

3.7.1.1.4. Limpieza del tanque

La limpieza del tanque corresponde, o se realiza, una vez se hayan efectuado los dos aspectos antes descritos, que son la inspección interna y la inspección externa del mismo; es por esto, que los riesgos que representa la limpieza del tanque se podrían considerar como la suma de todos aquellos que se indicaron en ambas inspecciones.

Debido a lo anterior, las medidas de control que se puedan aplicar siguen siendo las de dotar a todo el personal a nivel operativo del equipo de protección adecuado, y el brindar las instrucciones necesarias para llevar a cabo esta labor de mantenimiento.

3.7.1.1.5. Construcción incorrecta

Los tanques de aire comprimido deben ser construidos bajo las especificaciones del código ASME para recipientes a presión sin fuego (Especificaciones descritas en la sección de Anexos). Dicha norma cubre el diseño, la selección de materiales, la fabricación, la inspección, las pruebas, los criterios de aprobación y la documentación resultante de las distintas etapas a cumplir para que se manufacture un tanque de aire comprimido de acuerdo a lo anterior.

Los efectos que podría generar la construcción incorrecta del tanque de aire comprimido son vibraciones, las que a su vez podrían ser causa del desprendimiento de algún componente o elemento del sistema de aire comprimido; sin embargo, el riesgo más alto al que se esta enfrentando si éste factor se presenta seria el de una previsible explosión dentro del cuarto donde se encuentra almacenado. Por tal motivo el riesgo se evalúa tomando en cuenta que si no se ha detectado la deficiencia en la construcción, éste va a estar presente o permanecer siempre.

Tabla XIII. Análisis de riesgos: construcción incorrecta

Condición insegura: construcción incorrecta				
Riesgo	ND	NE	NC	NR
Explosiones	2	4	60	200

Fuente: diseño y elaboración propia.

Se determinó un nivel de deficiencia mejorable (2), ya que se detectaron factores de riesgo de menor importancia; un nivel de exposición continuada (4), ya que independientemente de si el servicio del aire comprimido se utilice o no, el riesgo va a estar presente durante toda la jornada de trabajo y un nivel de consecuencias muy grave (60), debido a que si se presenta el riesgo causaría lesiones que pueden ser irreparables y causar destrucción parcial de toda la red de aire comprimido, la cual representaría una costosa reparación.

Según la tabla IV (Determinación y significado del nivel de riesgo e intervención), y de acuerdo a la evaluación realizada anteriormente, se aprecia que el riesgo de una explosión a causa de una construcción incorrecta del tanque de aire comprimido presenta un nivel de riesgo (NR) valuado en II, lo que significa que el riesgo puede corregirse una vez se apliquen medidas de control eficientes.

La medida de control que se puede tomar en cuenta sería: inspeccionar cuando se realicen las supervisiones, cuya propuesta se planteó anteriormente, el estado en el que se encuentra el tanque de almacenamiento; verificando por ejemplo: si los anclajes están en su posición inicial, si tienen algún defecto, o si el tanque ha sufrido algún efecto corrosivo, etc.

3.7.1.2. Riesgos químicos

Son todos aquellos elementos y sustancias que, al entrar en contacto con el organismo, bien sea por inhalación, absorción o ingestión, pueden provocar intoxicación, quemaduras o lesiones sistémicas; según el nivel de concentración y el tiempo de exposición.

3.7.1.2.1. Humedad

Para evitar la humedad externa en los tanques y en los accesorios que conforman el sistema de generación de aire comprimido, éstos deben de instalarse en un lugar bien ventilado, fresco y seco, ya que de lo contrario podrían provocar acumulación de agua que causaría desperfectos mecánicos, paros de producción, explosiones, etc.

3.7.1.2.2. Vapores de aceite

Las explosiones en los tanques de aire comprimido son producidas generalmente por la inflamación de los vapores de aceite.

3.7.1.2.3. Aire de enfriamiento

El aire que se utiliza en los diferentes puntos del proceso productivo debe mantenerse dentro de un rango de temperatura establecido (24-27 °C).

Lo anterior debido a que un cambio brusco de la misma, ya sea ascendente o descendente, puede ocasionar daños a los elementos que conforman el sistema de distribución del aire, así como daños al personal operativo en el caso de que éste tenga contacto con el organismo al momento de ser utilizado para eliminar los residuos adheridos a su ropa protectora a consecuencia de la emisión de polvo de las correspondientes materias primas utilizadas durante el proceso.

Por tanto, debe inspeccionarse la temperatura del aire, tanto en la entrada como en la salida de los diferentes equipos que conforman la red de aire comprimido, para determinar si éstos están realizando los cambios químicos correspondientes, tal es el caso del secador y el postenfriador; así mismo, debe ser medida en los puntos donde se utilice el aire comprimido.

3.7.1.2.4. Aire sucio

El aire sucio provoca que aquellas materias extrañas que circulan junto con éste obstruyan los diferentes accesorios que componen la red de aire comprimido, pudiendo provocar de esta manera que tenga que elevarse la presión de servicio en los diferentes punto de uso, así como pequeñas roturas en la tubería por la que circula el mismo a consecuencia de lo anteriormente descrito.

De la misma manera, como el aire actualmente se utiliza para eliminar el polvo adherido a la ropa protectora del personal operativo, pudiera ser que accidentalmente éste sea ingerido por los mismos y provocar daños internos al organismo dependiendo el tiempo de exposición.

3.7.1.2.5. Aceite lubricante

El aceite lubricante (aceite multigrado 20W40) puede ser arrastrado por el compresor al tanque de almacenamiento por algún desperfecto ocasionado en el primero, el cual podría provocar que éste se acumule dentro del mismo y ante algún riesgo de generación de chispa se ocasione una pequeña explosión. De la misma forma, podría ser que este aceite sea arrastrado por todo el sistema de distribución y ocasionar daños al equipo que integra el mismo, así como, ingestión o daños cutáneos al personal operativo al realizar las operaciones de limpieza que se acotaron anteriormente en los diferentes puntos de servicio, ya que hay que tomar en cuenta que no todos los organismos son iguales y uno puede reaccionar de diferente forma que otro.

Los riesgos químicos antes descritos, como ya se analizó, provocan dos tipos de riesgo: el de explosiones y el de inhalación de sustancias nocivas o tóxicas, lo cual después de un tiempo prolongado al mismo puede ocasionar enfermedades de consideración.

Tabla XIV. Análisis de riesgos químicos

Condición insegura: humedad, vapores de aceite, aire de enfriamiento, aire sucio, aceite lubricante				
Riesgo	ND	NE	NC	NR
Explosiones	2	3	25	150
Inhalación de sustancias tóxicas	2	1	25	50

Fuente: diseño y elaboración propia.

Ya se ha analizado el por qué y el cómo de la asignación de los niveles correspondientes de deficiencia, exposición y consecuencias, por lo tanto, habrá que tomar en cuenta que las medidas para reducir estos riesgos son: realizar correctamente supervisiones estrictas de todos los equipos y accesorios que integran el sistema de generación y distribución de aire comprimido, así como, el brindar al personal operativo del equipo de protección necesario para que no pueda ingerir ningún tipo de partícula dañina; dicho equipo debería ser, entre otros: una mascarilla y lentes de protección.

3.8. Estudio de ruidos

El estudio de ruidos se realiza regularmente para determinar si la cantidad de decibeles que las máquinas generan durante el proceso productivo están dentro de los límites recomendados y para establecer de qué manera el sistema auditivo del personal operativo se puede ver afectado por la exposición a éstos.

En base a los análisis descritos posteriormente se tomará la decisión de implementar o no mecanismos para controlar o reducir los niveles de ruido.

Tabla XV. Niveles recomendados de exposición a ruidos

dB	Exposición Recomendada (hrs.)
- 90	Despreciable
90	8
95	4
100	2
105	1
110	0,5
115	0,25
120	0,125
+120	Necesita protección contra el sistema auditivo

Fuente: **Ingeniería de Plantas**, Ing. Sergio Torres, pág. 114

El análisis a realizar para determinar la necesidad o no de la implementación de un mecanismo para controlar el ruido, se basa en el porcentaje de exposición a éste, y consiste en la relación existente entre la exposición real y la exposición recomendada.

La exposición real se determinará en base al tiempo que el operario está propenso directamente al ruido, y la exposición recomendada a la cantidad de tiempo que el operario puede soportar bajo los decibelios permitidos y recomendados, los cuales se obtienen realizando el estudio en el área en la que el mismo se encuentra ejerciendo sus actividades y en base a la tabla XV.

De esta manera se obtiene la siguiente ecuación, que representa el porcentaje de exposición al ruido que determinará la necesidad o no de implementar un mecanismo para controlarlo:

$$\% \text{ de exposición} = \frac{\text{Exposición real}}{\text{Exposición recomendada}}$$

Y, la interpretación de los resultados es la siguiente:

Si $\% > 2 \Rightarrow$ es necesario implementar un sistema para controlar el ruido.

Si $\% < 2 \Rightarrow$ no es necesario implementar un sistema para controlar el ruido.

Hay que tomar en cuenta que de existir la necesidad de implementar un sistema para controlar el ruido, éstos serán los descritos en los capítulos anteriores, pudiendo ser: aislamiento de máquinas, colocación de paneles aéreos, espuma acústica e inclusive equipo de protección personal auditivo más eficiente que el actual. La elección de uno de éstos dependerá de las limitaciones que se tenga en el área en el que se deba implementar.

3.8.1. Elementos para realizar el estudio

Se utilizará un decibelímetro, el cual es un aparato usado para medir la intensidad del sonido, generalmente consta de tres escalas, las cuales se relacionan con el comportamiento del oído de la siguiente manera:

- (A) = comportamiento del oído para niveles de 0 a 55 decibeles.
- (B) = comportamiento del oído para niveles de 55 a 85 decibeles.
- (C) = comportamiento del oído para niveles mayores que 85 decibeles.

Además de esto, el analista deberá completar un registro u hoja de datos en el que vaya anotando los resultados generados del estudio de ruidos, y el cual le servirá posteriormente para realizar los análisis correspondientes, para implementar o no, los mecanismos o dispositivos para controlar el ruido.

3.8.2. Área de generación

Los ruidos que se generan en el área de generación son a consecuencia del funcionamiento tanto de los diferentes dispositivos con los que cuenta los compresores (válvulas de descarga automática, válvulas de seguridad, filtro de admisión) como a los del postenfriador y el secador.

A fin de determinar la intensidad del ruido que los anteriores provocan, y poder determinar si es necesario implementar un sistema contra ruidos que pueda mantener el nivel sonoro permitido por el oído (90 dB) se realiza el siguiente análisis de ruidos.

Las mediciones de la intensidad del ruido para el área de generación del aire comprimido se realizaron de 10:00 a.m. a 11:00 a.m., a intervalos de diez minutos durante diez días consecutivos. Se tomó en cuenta el ruido provocado por todos los elementos del conjunto de compresores, y para hacer más efectivo el estudio se activó manualmente la válvula de seguridad a las 10:30 a.m., para con ésto determinar el ruido máximo que se genera en dicha área.

Tabla XVI. Resultados del estudio de ruidos en el área de generación

	10:10	10:20	10:30	10:40	10:50	11:00	Promedio
	dB	dB	dB	dB	dB	dB	Db
Día 1	108	107	118	110	109	112	111
Día 2	112	111	118	107	111	110	112
Día 3	111	109	117	110	110	108	111
Día 4	111	112	116	110	111	110	112
Día 5	109	108	115	112	112	109	111
Día 6	110	111	117	109	108	106	111
Día 7	109	112	117	110	107	109	111
Día 8	110	106	114	109	107	106	107
Día 9	109	108	115	110	108	108	110
Día 10	110	106	112	106	110	109	110
						PROMEDIO	111

Fuente: diseño y elaboración propia en base al estudio de ruidos.

Para hacer los cálculos correspondientes, y determinar si es necesario implementar algún sistema para reducir los ruidos, se tomará en cuenta que un operario está propenso a los ruidos anteriores solamente una hora en la jornada de ocho horas.

Tomando en cuenta que el tiempo permitido que el operario puede soportar la intensidad de ruido de 111 dB, según la tabla XVI, se hace el siguiente cálculo:

dB	Exposición recomendada (hrs.)
110	0,5
111	X
115	0,25

Interpolando:

$$\frac{X-0,5}{0,25-0,5} = \frac{111-110}{115-110} \Rightarrow X = 0,45\text{hrs}$$

De acuerdo a esto y la información descrita con anterioridad:

$$\% = \frac{\text{Exp. real}}{\text{Exp. recomen}} = \frac{1}{0,45} = 2,22$$

Como **2,22 > 2**, entonces es necesario implementar un sistema para controlar el ruido.

3.8.3. Área de distribución

Los ruidos que se generan en el área de distribución son atribuidos a varios factores, entre los que se encuentran: accionamiento de actuadores neumáticos de simple efecto, cosedora de las líneas de producción y los propios al sistema neumático, como la activación del diafragma y la apertura o cierre de compuertas de las mezcladoras.

Las mediciones de la intensidad del ruido para el área de distribución del aire comprimido se realizaron de 14:00 p.m. a 16:00 p.m. a intervalos de quince minutos en diez días consecutivos.

Tabla XVII. Resultados del estudio de ruidos en el área de distribución

	14:15	14:30	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	Prome- Dio
	dB								
Día 1	95	98	99	100	98	99	100	99	99
Día 2	98	96	98	99	98	100	99	98	98
Día 3	97	98	96	100	97	96	97	97	97
Día 4	96	99	98	99	97	96	98	98	98
Día 5	96	98	96	101	96	100	99	96	98
Día 6	97	98	99	99	98	96	97	98	98
Día 7	98	96	98	98	99	100	96	98	98
Día 8	97	98	99	100	96	99	98	99	98
Día 9	98	97	98	99	96	100	99	96	98
Día 10	99	96	100	100	96	97	97	96	98
PROMEDIO									98

Fuente: diseño y elaboración propia en base al estudio de ruidos.

Para hacer los cálculos correspondientes y determinar si es necesario implementar algún sistema para reducir los ruidos, se tomará en cuenta que un operario esta propenso a los ruidos anteriores en el área de distribución las ocho horas de las que consta la jornada de trabajo.

Tomando en cuenta que el tiempo permitido que el operario puede soportar la intensidad de ruido de 98 dB; según la tabla XVII, se hace el siguiente análisis:

dB	Exposición recomendada (hrs.)
95	4
98	X
100	2

Interpolando:

$$\frac{X - 4}{2 - 4} = \frac{98 - 95}{100 - 95} \Rightarrow X = 2,8\text{hrs.}$$

De acuerdo a esto, y la información descrita con anterioridad:

$$\% = \frac{\text{Exp. real}}{\text{Exp. recomen}} = \frac{8}{2,8} = 2,86$$

Como **2,86 > 2**, entonces es necesario implementar un sistema para controlar el ruido.

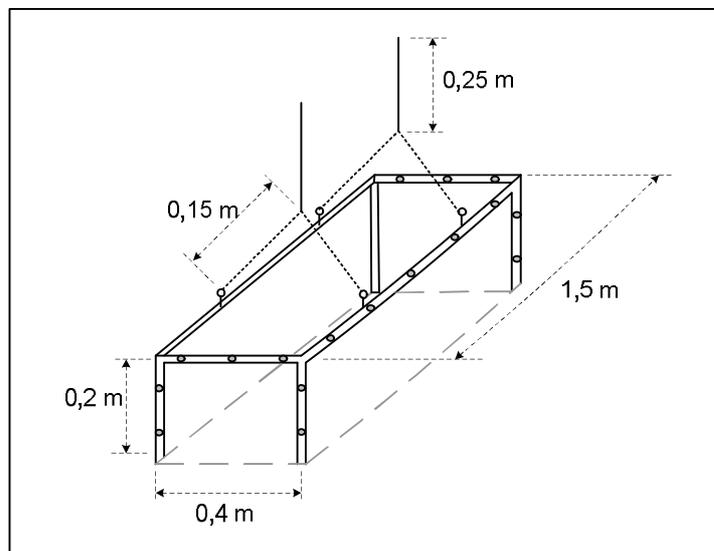
3.8.4. Sistemas para controlar el ruido

Como se describió previamente, al realizar un estudio de ruidos en el área de generación del aire comprimido, se evaluó y llegó a la conclusión de lo indispensable que es implementar un sistema para controlar el nivel de atenuación del ruido en esta área.

El que se propone para el área de generación es de la siguiente manera: constará de un marco de hierro galvanizado cuyas medidas son las descritas en la figura posterior, el cual estará sostenido al techo mediante cadenas galvanizadas de 1/4" para permitir una posible holgura en el movimiento como consecuencia de las ondas sonoras que se puedan provocar en éstos. El elemento aislador del ruido será de duroport.

Se dispondrán de dos aisladores de este tipo, los cuales estarán puestos uno entre compresor y compresor, y el otro entre compresor y el conjunto de secador – postenfriador respectivamente. Ambos serán colocados de tal forma que quede una holgura de 0,46 metros entre compresor y dispositivo.

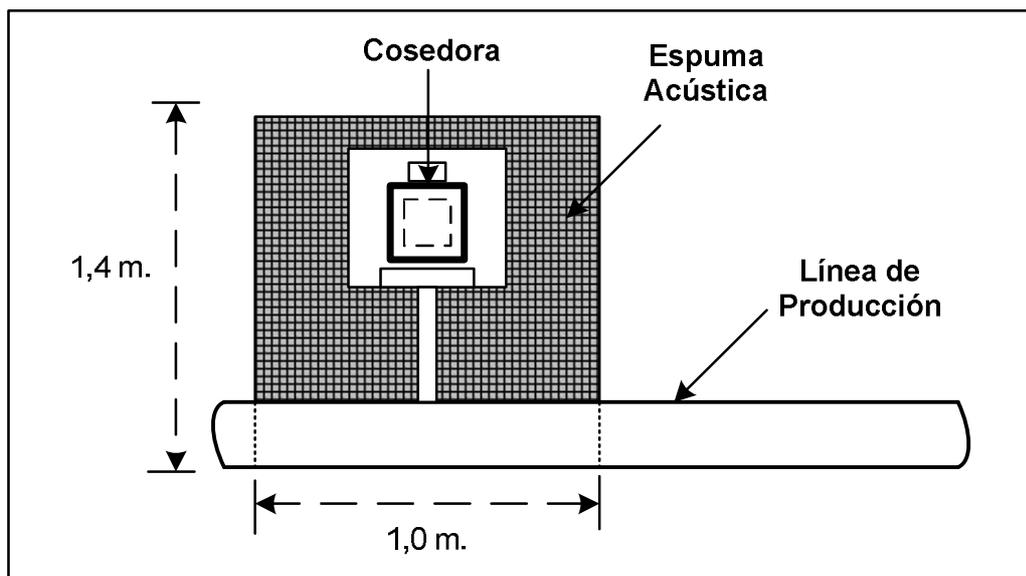
Figura 21. Sistema contra ruidos para el área de generación



Fuente: diseño y elaboración propia.

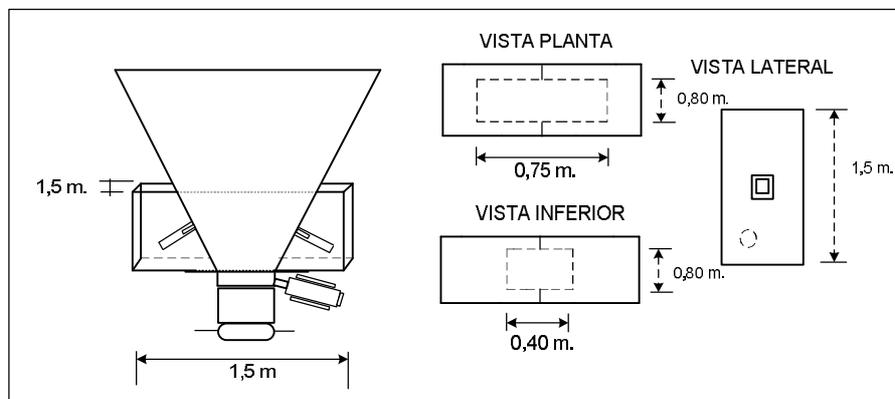
Para el área de distribución se proponen los siguientes dispositivos aisladores de ruidos: en la parte trasera de la cosedora de las líneas de producción será colocado un dispositivo tipo espuma acústica sobre una tabla de melamina como respaldo, cuyas medidas son las que se describen posteriormente; y en la tolva de descarga, donde se encuentran los actuadores de simple efecto conocidos como “martillo”, se colocará un aislamiento o recubrimiento del equipo, tomando en cuenta los espacios u orificios que habrá que dejar de por medio para que puedan ingresar las mangueras del aire comprimido.

Figura 22. Sistema contra ruidos para cosedoras



Fuente: diseño y elaboración propia.

Figura 23. Sistema contra ruidos para actuadores de simple efecto



Fuente: diseño y elaboración propia.

Los costos asociados para la implementación de estos dispositivos son:

Tabla XVIII. Costos para implementación de sistemas contra ruidos

Área de Generación				
Descripción del elemento	Unidad	Cantidad	Costo/Unidad	Total
Marco de hierro galvanizado	Unidad	2	Q. 245,00	Q. 490,00
Cadena galvanizada de ¼"	Pie	9	Q. 9,95	Q. 89,55
Plancha de duroport de 1X 0,5m y 2 cm de espesor	Unidad	8	Q. 11,50	Q. 92,00
Área de Distribución				
Descripción del elemento	Unidad	Cantidad	Costo/Unidad	Total
Tabla de melamina 1,5 X 1,6 m c/ soportes de madera barnizada	Unidad	1	Q. 235,00	Q. 235,00
Espuma acústica de poliuretano marca SISTA	Bote de 500 gr	8	Q. 118,70	Q. 949,60
Plancha de duroport de 1 X 0,5m y 2 cm de espesor	Unidad	8	Q. 11,50	Q. 92,00
Marco de hierro galvanizado	Unidad	1	Q. 255,00	Q. 255,00
MO total + instalación			Q. 450,00	Q. 450,00
COSTO TOTAL DE LA IMPLEMENTACIÓN				Q. 2 653,15

Fuente: diseño y elaboración propia en base a cotizaciones realizadas.

3.9. Evaluación del área de distribución y generación

De acuerdo a lo observado en el área de generación y distribución del aire comprimido se apreciaron algunas deficiencias cuyas mejoras puedan implementarse una vez se haya evaluado la necesidad de éstas y la inversión que las mismas requieren. Las mejoras se enfocarán al aspecto de seguridad industrial, pintura industrial e iluminación industrial.

3.9.1. Seguridad industrial

En este punto, se hace énfasis a las modificaciones que pueden implementarse en el equipo de protección auditivo que utiliza el personal operativo y los diferentes tipos de señales industriales que deben instalarse en cada una de las áreas de la empresa, tomando en cuenta la inexistencia de éstas.

3.9.1.1. Equipo de protección personal

Como se describió en los capítulos anteriores, se evidenció que el equipo de protección auditivo actual que utiliza el personal operativo, es aplicado para niveles de atenuación de ruido de 24 dB, sin embargo, por las actividades relacionadas directa e indirectamente con el aire comprimido se aprecia que, según el estudio realizado con anterioridad, los decibeles generados por éste son bastante elevados, de tal manera que, además de los sistemas implementados para controlar los ruidos en el área de generación y distribución, es necesario evaluar la posibilidad de aplicar equipo de protección personal con un nivel de reducción de ruido de mayor amplitud. De lo anterior, se propone el siguiente equipo de protección personal, cuyas ventajas sobre el que se utiliza actualmente son las siguientes:

Tabla XIX. Características del equipo de protección auditivo propuesto

Brinda una atenuación de ruido de 30 dB.
Lavable, lo que promueve la higiene del empleado, además de adaptarse a la forma ovalada del oído.
Sin necesidad de preformar o tocar el tapón durante la inserción.
Pueden combinarse con orejeras para protección personal.

Fuente: <http://www.elexgt.com/15402/26520/TOP130-.htm>

Es de apreciar que, la característica más importante de este tipo de equipo es el nivel de reducción de ruido para el que está diseñado, ya que es de 30 dB, a comparación del actual que es de 24 dB; el diseño del mismo, es como se demuestra en la siguiente figura.

Figura 24. Protección auditiva propuesta



Fuente: <http://www.elexgt.com/15402/26520/TOP130-.htm>

El costo por unidad de este equipo es Q. 4,50, a comparación del actual que es Q. 6,69. Ésto quiere decir que para la implementación de este equipo de protección, es necesario invertir Q. 54,00, tomando en cuenta que son 6 los operarios que requieren el equipo, y que para efectos de prueba de funcionamiento, se les otorgará dos pares a cada uno el primer mes.

3.9.1.2. Señalización industrial

De acuerdo a lo que se apreció, tanto en el área de generación como en la de distribución, es conveniente la implementación de letreros o rótulos de seguridad de varios tipos; de tal manera que, con una señal o imagen, el personal operativo o ajeno al uso del aire comprimido pueda interpretar de forma más efectiva las prohibiciones u obligaciones a seguir en el área en el que se esté manipulando el aire comprimido.

Los letreros de seguridad que se recomiendan implementar en las respectivas áreas y con los correspondientes costos de éstos, son los siguientes:

Tabla XX. Costos para implementación de letreros de seguridad industrial

Área de generación			
Leyenda del letrero	Cantidad	Costo/Unidad	Total
Prohibido el ingreso a personas no autorizadas	1	Q. 39,00	Q. 39,00
Uso obligatorio del equipo de protección personal	1	Q. 39,00	Q. 39,00
Precaución: aire comprimido a altas presiones	1	Q. 39,00	Q. 39,00
Área de distribución			
Leyenda del letrero	Cantidad	Costo/Unidad	Total
Uso obligatorio del equipo de protección personal	1	Q. 39,00	Q. 39,00
Precaución: aire comprimido a altas presiones	2	Q. 39,00	Q. 78,00
COSTO TOTAL DE LA IMPLEMENTACIÓN			Q. 234,00

Fuente: Departamento de Ventas ELEX GUATEMALA.

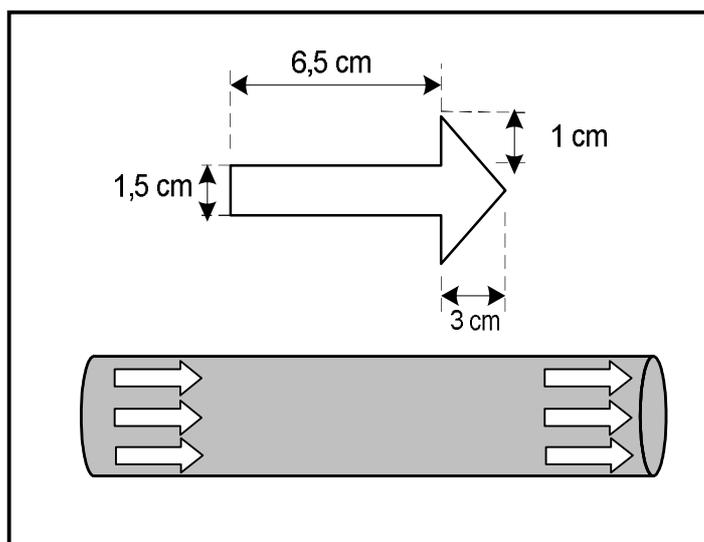
Los costos anteriores corresponden a letreros cuyas medidas son de 9" x 12", de acuerdo a lo indicado por el departamento de ventas de Elex Guatemala.

3.9.2. Pintura industrial

Como se describió anteriormente, las tuberías de aire comprimido deben ser pintadas de color azul según normas internacionales, además de identificado de cualquier forma la dirección de flujo del mismo. Es de acuerdo a lo anterior que se realizará la siguiente modificación a las mismas.

La propuesta es pintar color azul todas las tuberías que transportan el aire comprimido, desde el área de generación hasta el área de distribución, pintando sobre las mismas flechas espaciadas cada 3 metros, que indiquen la dirección del flujo. Tanto las tuberías como las flechas serán pintadas con *Galvite*, la cual es una pintura que combina las propiedades de anticorrosivo y acabado final para uso sobre hierro galvanizado y otras aplicaciones. Las especificaciones y la forma en que se realizará ésta, son como indica la figura 25.

Figura 25. Pintura industrial en tuberías de aire comprimido



Fuente: diseño y elaboración propia.

Los costos implicados para dicha implementación, se describen en la siguiente tabla:

Tabla XXI. Costos para implementación de pintura industrial en las tuberías de aire comprimido

Área de Generación				
Descripción del elemento	Unidad	Cantidad	Costo/Unidad	Total
Pintura <i>Galvite</i> color azul	Galón	1	Q. 435,90	Q. 435,90
Pintura <i>Galvite</i> color blanco	½ Galón	1	Q. 108,98	Q. 217,95
Solvente mineral R1 K 4	Botella	1	Q. 18,91	Q. 18,90
Brocha de 3"	Unidad	2	Q. 17,80	Q. 35,60
Cartón chip calibre 120	Pliego	1	Q. 23,50	Q. 23,50
Mano de obra	Pintor	1	Q. 450,00	Q. 450,00
COSTO TOTAL DE LA IMPLEMENTACIÓN				Q.1 181,85

Fuente: Departamento de Ventas Tienda SHERWIN WILLIAMS Avenida Petapa.

3.9.3. Iluminación industrial

Para iluminar el área de generación del aire comprimido se tienen los siguientes datos:

Tabla XXII. Datos para calcular la propuesta de luminaria en el área de generación del aire comprimido

Descripción del área	Colores del área
Largo = 5,00 metros	Pared = Azul
Ancho = 3,40 metros	Techo = Gris
Altura = 2,36 metros	Piso = Gris
Altura del área de trabajo (del piso al compresor) = 1,36 m.	
Lámpara a utilizar: tubo fluorescente de 40 <i>watts</i> de potencia por tubo.	
Actividad: inspección de equipo (supervisiones periódicas).	

Fuente: diseño y elaboración propia.

Utilizando el método de cavidad zonal, se procederá de la siguiente manera:

Se determinará el nivel de la luz necesaria según la actividad de inspección de equipo en el área de generación de aire comprimido en base a la tabla siguiente:

Tabla XXIII. Luxes necesarios para el área de generación del aire comprimido

A	20 – 30 – 50	Áreas públicas, alrededores oscuros.
B	50 – 75 – 100	Áreas de orientación, corta permanencia.
C	100 – 150 – 200	Trabajos de gran contraste o tamaño. Trabajos ocasionales simples.
D	200 – 300 – 500	Lectura de originales y fotocopias buenas. Trabajo sencillo de inspección o banco.
E	500 – 750 – 1000	Trabajos de contraste medio o tamaño pequeño. Lectura a lápiz, fotocopias pobres, trabajo moderadamente difícil de desmontar, inspección o en banco.
F	1 000 – 1 500 – 1 200	Trabajos de poco contraste o de muy pequeño tamaño, inspección o de banco.
G	2 000 – 3 000 – 5 000	Lo mismo durante periodos prolongados. Trabajo muy difícil de ensamblaje, inspección o de banco.
H	5 000 – 7 500 – 1 0000	Trabajos muy exigentes y prolongados.
I	10 000 – 15 000 – 20 000	Trabajos muy especiales, salas de cirugía.

Fuente: **Ingeniería de Plantas**, Ing. Sergio Torres, pág. 100

Como la actividad a realizar es la de inspección de equipo, y en el área de generación existe un contraste medio, con partes muy pequeñas a revisar, como lo son válvulas de descarga y de seguridad, se elige la variable **E**; ubicándose entonces en un nivel intermedio, es decir, **750 luxes**.

Para elegir los niveles de reflectancia de la luz en las superficies de la pared, techos y pisos, se hace según la siguiente tabla.

Tabla XXIV. Factores de reflexión lumínica

	Color	Factor de reflexión
Techo	Claro	0,5
	Medio	0,3
	Obscuro	0,1
Paredes	Claro	0,5
	Medio	0,3
	Obscuro	0,1
Suelo	Claro	0,3
	Obscuro	0,1

Fuente: **Ingeniería de Plantas**, Ing. Sergio Torres, pág. 100

Según los datos iniciales y la tabla anterior, entonces:

$$\text{Techo} = \text{Gris} = \text{Obscuro} = 0,1\% = \mathbf{P_c}$$

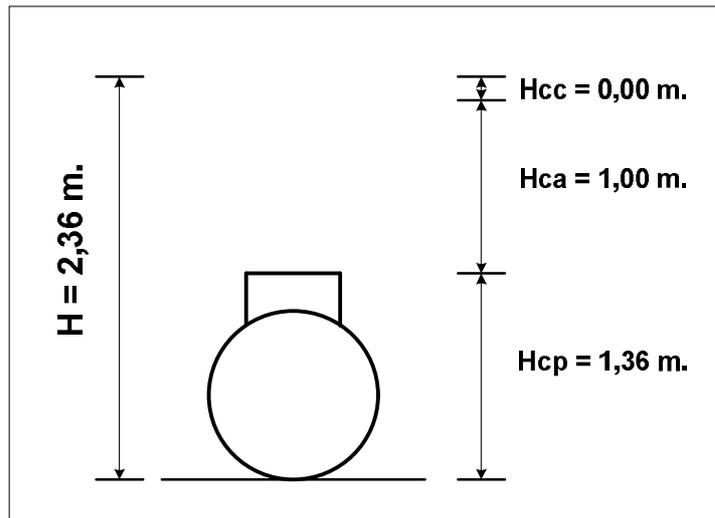
$$\text{Pared} = \text{Azul} = \text{Medio} = 0,3\% = \mathbf{P_p}$$

$$\text{Suelo} = \text{Gris} = \text{obscurο} = 0,1\% = \mathbf{P_f}$$

El factor de mantenimiento (f_m) de las lámparas, por establecerse éstas en un área en la que regularmente se mantendrá sucia, se le asignará un valor de 0,6.

Las lámparas estarán instaladas directamente en el techo, por lo que las cavidades zonales se determinan de acuerdo a la siguiente figura:

Figura 26. Cavidades zonales para el área de generación del aire comprimido



Fuente: diseño y elaboración propia.

De acuerdo a lo anterior, se establecen las relaciones de cavidad zonal:

$$R_{ca} = 5(H_{ca}) \frac{(L + A)}{(L \times A)} = 5(1) \frac{(5 + 3,40)}{(5 \times 3,40)} = 2,47$$

$$R_{cp} = 5(H_{cp}) \frac{(L + A)}{(L \times A)} = 5(1,36) \frac{(5 + 3,40)}{(5 \times 3,40)} = 3,36$$

$$R_{cc} = 5(H_{cc}) \frac{(L + A)}{(L \times A)} = 5(0) \frac{(5 + 3,40)}{(5 \times 3,40)} = 0$$

Con el valor de $R_{cp} = 3,36$, el $P_f = 0,1$ y el $P_p = 0,3$, se busca en la siguiente tabla el valor de la reflectancia efectiva de cavidad de piso.

Tabla XXV. Reflectancia efectiva de cavidad de piso o cielo

Reflectancia piso o cielo (Pf)	90				70			50			30				10		
	90	70	50	30	70	50	30	70	50	30	65	50	30	10	50	30	10
0	90	90	90	90	70	70	70	50	50	50	30	30	30	30	10	10	10
0.1	90	89	88	87	69	69	68	59	49	48	30	30	29	29	10	10	10
0.2	89	88	86	85	68	67	66	49	48	47	30	29	29	28	10	10	9
0.3	89	87	85	83	68	66	64	49	47	46	30	29	28	27	10	10	9
0.4	88	86	83	81	67	65	63	48	46	45	30	29	27	26	11	10	0
0.5	88	85	81	78	66	64	61	48	46	44	29	28	27	25	11	10	9
0.6	88	84	80	76	65	62	59	47	45	43	29	28	26	25	11	10	9
0.7	88	83	78	74	65	61	58	47	44	42	29	28	26	44	11	10	8
0.8	87	82	77	73	64	60	56	47	43	41	29	27	25	23	11	10	8
0.9	87	81	76	71	63	59	55	46	43	40	29	27	25	22	11	9	8
1.0	86	80	74	69	63	58	53	46	42	39	29	27	24	22	11	9	8
3.1	80	64	51	41	50	40	31	40	32	24	27	22	17	12	13	8	5
3.2	80	63	50	40	50	39	30	40	31	23	27	22	16	11	13	8	5
3.3	80	62	49	39	49	39	30	39	31	23	27	22	16	11	13	8	5
3.4	80	62	48	38	49	38	29	39	31	22	27	22	16	11	13	8	5
3.5	79	61	48	37	48	38	29	39	30	22	26	22	16	11	13	8	5
3.6	79	60	47	36	48	37	28	39	30	21	26	21	15	10	13	8	5
3.7	79	60	46	35	48	37	27	38	30	21	26	21	15	10	13	8	4
3.8	79	59	45	35	47	36	27	38	29	21	26	21	15	10	13	8	4
3.9	78	59	45	34	47	36	26	38	29	20	26	21	15	10	13	8	4
4.0	78	58	45	33	46	35	26	38	29	20	26	21	15	9	13	8	4

Fuente: Ingeniería de Plantas, Ing. Sergio Torres, pág. 102

Interceptando los valores en la tabla anterior, se obtiene un valor de $P_{cc} = 8$.

Con este el valor de $P_{cc} = 8$, $P_p = 30$ y $R_{ca} = 2,47$, se busca el coeficiente de utilización (K) en la tabla siguiente:

Tabla XXVI. Coeficientes de utilización para el método de cavidad zonal

Distribución Típica	Pcc	80				50			30			10		
	Pp	70	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10
	RCA	Coeficientes de utilización, método cavidad zonal.												
	1	.86	.84	.82	.79	.77	.75	.74	.73	.72	.71	.70	.69	.68
	2	.81	.77	.73	.70	.71	.69	.66	.68	.66	.64	.65	.63	.62
	3	.76	.70	.66	.62	.66	.63	.60	.63	.61	.58	.61	.59	.57
	4	.71	.64	.59	.56	.61	.57	.54	.58	.55	.52	.56	.54	.51
	5	.67	.59	.54	.50	.56	.52	.49	.54	.50	.48	.52	.49	.47
	6	.63	.55	.49	.45	.52	.47	.44	.50	.46	.44	.49	.45	.43
	7	.50	.50	.45	.41	.48	.43	.40	.46	.42	.39	.45	.41	.39
	8	.55	.46	.41	.37	.44	.40	.36	.43	.39	.36	.41	.38	.35
	9	.51	.43	.37	.34	.41	.36	.33	.40	.35	.33	.38	.35	.32
	10	.47	.38	.32	.29	.36	.31	.28	.35	.31	.28	.34	.30	.37
	1	.73	.70	.68	.66	.66	.64	.63	.63	.63	.62	.61	.60	.59
	2	.67	.63	.59	.56	.59	.57	.54	.57	.55	.53	.55	.54	.52
	3	.62	.57	.52	.49	.54	.50	.47	.52	.49	.47	.51	.48	.46
	4	.58	.51	.46	.43	.49	.45	.42	.47	.44	.41	.46	.44	.41
	5	.53	.46	.41	.37	.44	.40	.36	.43	.39	.36	.41	.38	.36
	6	.50	.42	.36	.33	.40	.35	.32	.39	.35	.32	.38	.34	.32
	7	.46	.38	.32	.29	.36	.32	.28	.35	.31	.28	.34	.31	.28
	8	.42	.34	.29	.25	.32	.28	.25	.32	.28	.25	.31	.27	.24
	9	.39	.31	.25	.22	.29	.25	.22	.29	.24	.21	.28	.24	.21
	10	.36	.28	.23	.19	.27	.22	.19	.26	.22	.19	.25	.22	.19

Fuente: **Ingeniería de Plantas**, Ing. Sergio Torres, pág. 103

Como la lámpara va empotrada al techo y son tubos fluorescentes los que se instalarán en la misma, se eligió la distribución descrita con anterioridad, obteniendo un coeficiente de utilización **$K= 0,48$**

Con todos los valores antes descritos, se calcula el flujo lumínico de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\varphi = \frac{(\text{Area})(\text{Intensidad lumínica})}{(\text{Factor de mantenimiento})(K)} = \frac{(5 \times 3,40 \times 750)}{(0,6 \times 0,48)} = 44\,270,83 \text{ lux}$$

Se determina la cantidad de lúmenes que genera la lámpara que se desea conectar.

Como se conectará una lámpara de tubo fluorescente, cuya potencia es de 40 *watts* cada uno, y tomando en cuenta que 1 *watt* equivale a 80 lúmenes, entonces se determina la potencia de la lámpara elegida:

$$\text{Potencia} = 4 \text{ lámparas} \times \frac{(40 \text{ watts})}{1 \text{ lámpara}} \times \frac{(80 \text{ lúmenes})}{1 \text{ watt}} = 12\,800 \text{ lúmenes.}$$

Para determinar el número de lámparas, entonces:

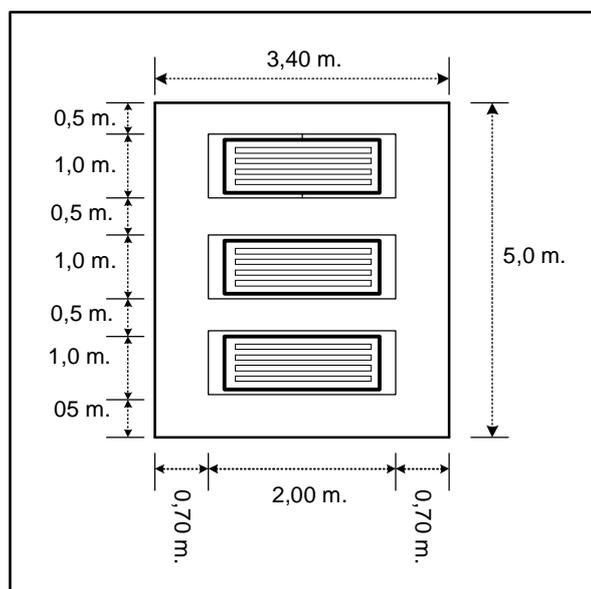
$$NL = \text{Flujo lumínico} / \text{Potencia de la lámpara elegida.}$$

$$NL = (44\,270) / (12\,800)$$

$$NL = 3,46 \cong 3$$

De acuerdo a lo anterior, y a la forma del área en donde están ubicados todos los equipos de generación de aire comprimido, la propuesta de la colocación de las lámparas, es la de la figura 27.

Figura 27. Propuesta de iluminación para el área de generación del aire comprimido



Fuente: diseño y elaboración propia.

Tabla XXVII. Costos para la implementación de iluminación en el área de generación del aire comprimido

Área de Generación				
Descripción del elemento	Unidad	Cantidad	Costo/U	Total
Base de 4x40" con protector contra humedad y polvo	Unidad	3	Q. 344,99	Q.1 034,95
Tubo fluorescente 40 watts "SYLVANIA"	Unidad	12	Q. 7,79	Q. 93,50
Poliducto 1/2"	Pie	5	Q. 0,25	Q. 1,25
Caja octagonal 1/2"x3/4"	Unidad	1	Q. 2,20	Q. 2,20
Alambre calibre #12 AWG	Metro	15	Q. 3,30	Q. 49,50
Cinta aislante	Rollo	1	Q. 5,50	Q. 5,50
Mano de obra*	Técnico	1	Q.325,00	Q. 325,00
COSTO TOTAL DE LA IMPLEMENTACIÓN				Q.1 511,90

Fuente: Departamento de Ventas Tienda CELASA Avenida Petapa.

* Este costo se toma en cuenta considerando que el cableado principal para la instalación de las mismas ya existe.

3.10. Evaluación de propuestas económicas para mejorar el sistema

Para determinar la rentabilidad de la implementación de un proyecto es común utilizar una gran variedad de herramientas administrativas, como lo es un análisis financiero, el cual tiene entre muchas de sus ventajas el permitir visualizar cómo se comportará en un futuro el proyecto de implementación, estudiándolo a cómo se pretende realizar en la actualidad, tomando como factores de decisión los costos y beneficios/ahorros que ésta generará.

3.10.1. Propuesta de mejora con medios de la empresa y servicios exteriores

Para determinar la manera en que se van a compensar los gastos necesarios para realizar la implementación de la mejora, es necesario determinar en qué forma se van a generar los beneficios que harán que la inversión para este proyecto se recupere.

Como se ha descrito durante todo el contenido de este documento, la actividad de inhabilitar las unidades de soplado de aire comprimido será la principal fuente de reembolso que se generará a consecuencia de la implementación de las mejoras al sistema; este reembolso provendrá de los ahorros obtenidos en los costos provocados por el consumo de energía eléctrica de las mismas.

La descripción de cómo funcionan las unidades de soplado, los costos que actualmente generan, y la forma en que se convertirán en ahorros al implementar las mejoras al sistema de aire comprimido, se detalla a continuación:

Partiendo de la ecuación de Bernoulli:

$$PV + \frac{1}{2}m(\text{vel})^2 + mgh = \text{Energía total del sistema}$$

Donde:

P	=	Presión
V	=	Volumen
m	=	Masa
Vel	=	Velocidad
g	=	Gravedad
h	=	Altura de referencia
PV	=	Energía de flujo
$\frac{1}{2}m(\text{vel})^2$	=	Energía cinética
mgh	=	Energía potencial

Sabiendo que la energía total del sistema debe permanecer constante desde un punto del sistema a otro, entonces:

$$P_1 V_1 + \frac{1}{2}m(\text{vel}_1)^2 + mgh_1 = P_2 V_2 + \frac{1}{2}m(\text{vel}_2)^2 + mgh_2$$

Se sabe que la masa permanece constante a lo largo de la tubería ($m_{\text{entrada}} = m_{\text{salida}}$) entonces se puede dividir toda la ecuación dentro del término mg para simplificarla aún más y así poder trabajar con una sola dimensión a lo largo de cada término de la ecuación, obteniendo la siguiente:

$$\frac{P_1 V_1}{mg} + \frac{m(\text{Vel}_1)^2}{2mg} + \frac{mgh_1}{mg} = \frac{P_2 V_2}{mg} + \frac{m(\text{Vel}_2)^2}{2mg} + \frac{mgh_2}{mg}$$

De lo anterior, se sabe que:

$$\text{densidad} = \rho = \frac{m}{V}$$

Entonces:

$$\frac{P_1}{\rho_1 g} + \frac{(\text{Vel}_1)^2}{2g} + h_1 = \frac{P_2}{\rho_2 g} + \frac{(\text{Vel}_2)^2}{2g} + h_2$$

Hay que tomar en cuenta otro tipo de energía involucrado en este proceso y en esta ecuación, que es la energía de pérdida provocada por la fricción (H_L), la cual se provoca a lo largo de toda la tubería, por lo tanto:

$$\frac{P_1}{\rho_1 g} + \frac{(\text{Vel}_1)^2}{2g} + h_1 - H_L = \frac{P_2}{\rho_2 g} + \frac{(\text{Vel}_2)^2}{2g} + h_2$$

$$H_L = f \left(\frac{L}{d} \right) \left[\frac{(\text{vel})^2}{2g} \right]$$

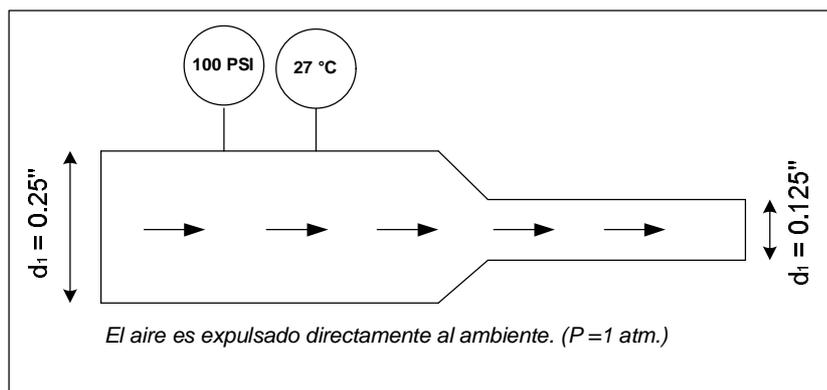
Donde:

- f = Coeficiente de fricción
- L = Largo de la tubería
- d = Diámetro de la tubería

Como se puede observar en la figura siguiente, el funcionamiento de las unidades de soplado se basa en el incremento de velocidad del aire en la salida del conducto (manguera flexible), generado por la diferencia de presiones existente entre la presión interior de la tubería y la presión atmosférica de salida.

Para esta unidad, se utiliza tubería de cobre; cuyo coeficiente de fricción es de aproximadamente 0,015.

Figura 28. Funcionamiento de las unidades de soplado.



Fuente: diseño y elaboración propia.

Integrando la energía perdida por fricción a la ecuación planteada anteriormente, se obtiene la siguiente:

$$\frac{P_1}{\rho_1 g} + \frac{(Vel_1)^2}{2g} + h_1 - f \left(\frac{L}{d} \right) \left[\frac{(vel)^2}{2g} \right] = \frac{P_2}{\rho_2 g} + \frac{(Vel_2)^2}{2g} + h_2$$

Pero ya que se está trabajando con presiones manométricas, la presión en el punto dos (1 atm) se asume automáticamente como cero. De igual manera, los puntos de referencia (h_1 y h_2) se toman también como cero, debido a que no existe ningún cambio de altura con respecto a ambos puntos, entonces:

$$\frac{P_1}{\rho_1 g} + \frac{(Vel_1)^2}{2g} - f\left(\frac{L}{d}\right)\left[\frac{(vel)^2}{2g}\right] = \frac{(Vel_2)^2}{2g}$$

El valor de la densidad utilizado se obtiene partiendo de la ecuación de gases ideales:

$$PV = mRT$$

Dividiendo ambos lados de la ecuación dentro del volumen (V), se consigue lo siguiente:

$$\frac{PV}{V} = \frac{mRT}{V}$$

$$P = \frac{m}{V}RT$$

De lo anterior, si se sabe que $\frac{m}{V} = \rho = \text{densidad}$, entonces:

$$P = \rho RT$$

Despejando el valor de la densidad:

$$\text{densidad} = \rho = \frac{P}{RT}$$

Partiendo de las condiciones del punto 1, ($P_{\text{man}} = 100 \text{ psi}$; $R = 0,3704 \frac{\text{PSI} \cdot \text{ft}^3}{\text{lbm} \cdot ^\circ \text{R}}$; $T = 27^\circ \text{C}$), se puede calcular la densidad correspondiente:

$$P_{\text{abs}} = P_{\text{man}} + P_{\text{atm}} = 100 \text{ psi} + 14,7 \text{ psi} = 114,7 \text{ psia}$$

$$T(^{\circ} \text{F}) = (^{\circ} \text{C} * 1,8) + 32 = (27 * 1,8) + 32 = 80,6^{\circ} \text{F}$$

$$T(^{\circ} \text{R}) = F + 460 = 80,6 + 460 = 540,6^{\circ} \text{R}$$

$$\rho_1 = \frac{114,7 \text{ psia}}{\left(0,3704 \frac{\text{psi} \cdot \text{ft}^3}{\text{lbm} \cdot \text{R}}\right) * 540,6 \text{ R}} = 0,5728 \frac{\text{lbm}}{\text{ft}^3} = 3,31 * 10^{-4} \frac{\text{lbm}}{\text{in}^3}$$

El largo de la tubería desde el punto 1 al punto 2 es de 150 cm. (4,9213 ft ó 50,0551 in).

Por otra parte, aplicando el fundamento de la conservación de la masa para poder obtener una relación de velocidad entre el punto 1 y el punto 2, se determina lo siguiente:

$$Q = A(\text{Vel})$$

$$A = \pi r^2$$

Donde:

Q = Caudal

A = Área

Vel = Velocidad

R = Radio

Basándose en lo anterior:

$$\begin{aligned}Q_1 &= Q_2 \\A_1(\text{Vel}_1) &= A_2(\text{Vel}_2) \\\pi(r_1)^2(\text{Vel}_1) &= \pi(r_2)^2(\text{Vel}_2)\end{aligned}$$

Factorizando la ecuación:

$$\begin{aligned}(r_1)^2(\text{Vel}_1) &= (r_2)^2(\text{Vel}_2) \\r &= d/2 \\ \left(\frac{d_1}{2}\right)^2(\text{Vel}_1) &= \left(\frac{d_2}{2}\right)^2(\text{Vel}_2) \\(d_1)^2(\text{Vel}_1) &= (d_2)^2(\text{Vel}_2)\end{aligned}$$

Despejando la velocidad del punto 2:

$$(\text{Vel}_2) = (\text{Vel}_1) * \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2$$

Sustituyendo en la ecuación de conservación de la energía y factorizando:

$$\frac{P_1}{\rho_1 g} + \frac{(\text{Vel}_1)^2}{2g} - f\left(\frac{L}{d}\right)\left[\frac{(\text{vel})^2}{2g}\right] = \frac{\left[(\text{Vel}_1)^2 * \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^4\right]}{2g}$$

Se puede eliminar el valor de g en ambos lados de la ecuación debido a que se repite en cada uno de los términos de la misma.

Despejando el valor de la velocidad en el punto 1, entonces:

$$\left(\frac{\text{Vel}_1}{2}\right)^2 * \left[1 - \left(f_1 * \frac{L}{d_1}\right) - \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^4\right] = -\frac{P_1}{\rho_1}$$

$$(\text{Vel}_1)^2 = \frac{-2P_1}{\rho_1 * \left[1 - \left(f * \frac{L}{d_1} \right) - \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^4 \right]}$$

$$\text{Vel}_1 = \sqrt{\frac{-2P_1}{\rho_1 * \left[1 - \left(f * \frac{L}{d_1} \right) - \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^4 \right]}}$$

Sustituyendo los valores en la ecuación:

$$\text{Vel}_1 = \sqrt{\frac{-2(100\text{psi})}{\left(3,31 * 10^{-4} \frac{\text{lbm}}{\text{in}^3} \right) * \left[1 - \left(0,015 * \frac{50,0551\text{in}}{0,25\text{in}} \right) - \left(\frac{0,25\text{in}}{0,125\text{in}} \right)^4 \right]}}$$

$$\text{Vel}_1 = \sqrt{\frac{-200 \text{ psi}}{-5,96 * 10^{-3}}} = 183,19 \frac{\text{in}}{\text{s}}$$

$$Q = A_1(\text{Vel}_1) = \pi(r_1)^2(\text{Vel}_1)$$

$$Q = \pi(0,125\text{in})^2 \left(183,19 \frac{\text{in}}{\text{s}} \right) = 8,9923 \frac{\text{in}^3}{\text{s}}$$

$$Q = \left(8,9923 \frac{\text{in}^3}{\text{s}} \right) * \left(\frac{1\text{ft}^3}{1728\text{in}^3} \right) * \left(\frac{60\text{s}}{1\text{min}} \right) = 0,32 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}}$$

El consumo de aire comprimido para cada una de las unidades de soplado instaladas en los diferentes niveles del área de producción es de 0,32 CFM.

Estas unidades de soplado se utilizan por el personal operativo para limpieza de su ropa protectora en los siguientes momentos: al finalizar de producir un lote o *batch*, al momento de acudir a su período tanto de refacción como de almuerzo y al momento de terminar la jornada de trabajo; esto quiere decir, de alrededor 10 veces por día, considerando una producción de 7 lotes diarios. Tomando en consideración que son seis los operarios que se encuentran trabajando directamente en el área de producción, y que éstos utilizan las unidades de soplado alrededor de 1 minuto para cada una de las actividades descritas anteriormente, entonces la cantidad de pies cúbicos de aire comprimido consumidos en total son:

$$CF_{\text{totales}} = 0,32 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}} * \left(\frac{1,0 \text{ min}}{1 \text{ ciclo}} \right) * \left(\frac{10 \text{ ciclos}}{1 \text{ día}} \right) * 6 \text{ operarios} = 19,2 \frac{\text{ft}^3}{\text{día} - 6 \text{ operarios}}$$

Para determinar el costo que genera la utilización de esta cantidad de aire comprimido, se parte de lo siguiente:

$$V_{\text{tanque del compresor}} = \pi r^2 (h)$$

Donde:

r = radio del tanque del compresor. (r = 0,45 m = 1,48 ft)

h = largo o altura del tanque del compresor. (h = 1,6 m = 5,25 ft)

Entonces:

$$V_{\text{tanque del compresor}} = \pi (1,48 \text{ ft})^2 (5,25 \text{ ft}) = 36,1271 \text{ ft}^3$$

La presión desarrollada por ambos compresores (*Quincy* o *Ingersoll Rand*) es de 120 psi y según datos proporcionados por el técnico responsable del mantenimiento de los mismos, se sabe que el tiempo necesario para alcanzar esta presión es de 10 minutos (600 s).

Si se considera una pérdida del 2% de aire debido a fugas, se obtiene que la cantidad real de aire comprimido es de:

$$\text{Cantidad real de aire comprimido} = 36,1271 \text{ ft}^3 (1,020) = 43,3525 \text{ ft}^3$$

Ahora bien, el tiempo necesario para llevar a cabo la compresión de 1 m^3 ($35,4912 \text{ ft}^3$) de aire comprimido se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Tiempo necesario} = \frac{600 \text{ s}}{43,3525 \text{ ft}^3} (35,4912 \text{ ft}^3) = 491,20 \text{ s} = 8,23 \text{ min.}$$

De acuerdo a esto, se obtiene la siguiente relación:

$$\frac{43,3525 \text{ ft}^3}{8,23 \text{ min}} = 5,24 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}} = 5,24 \text{ CFM.}$$

Esto quiere decir que con un compresor (*Quincy* o *Ingersoll Rand*) de 10 HP, se puede consumir 5,24 CFM, y de acuerdo a esto, y al consumo encontrado anteriormente para las unidades de soplado, se obtiene la siguiente relación:

$$\begin{aligned} 5,24 &= 10 \text{ HP} \\ 19,32 &= X \end{aligned}$$

Donde X representa la cantidad de HP que se consumen al día por la utilización de las unidades de soplado, entonces $X = 36,87$ HP.

Ahora, para determinar el costo que éstas generan, considerando un costo por energía eléctrica de $Q1,496432/Kwh$, y sabiendo que un HP equivale a $0,7457$ Kw, entonces:

$$\text{Costo total al día} = 36,87\text{HP} * \frac{0,7457\text{KWh}}{1\text{HP}} * \frac{Q.1,496432}{1\text{KWh}} = 41,14 \text{ Q/día}$$

Tomando como un mes estándar, aquel con 22 días hábiles, el ahorro que se tendría mensualmente en el consumo de la energía eléctrica si se inhabilitan las unidades de soplado sería de:

$$\text{Costo total al mes} = 41,15 \frac{\text{Q.}}{\text{día}} * \left(\frac{22\text{días}}{1\text{mes}} \right) = 905,08 \text{ Q./mes}$$

Además de esta propuesta, se tiene contemplado la instalación de juntas de expansión de 2" de diámetro por 25 cm de largo en las tuberías de aire comprimido y soportes especiales que permitan la holgura del movimiento que provoca el aire comprimido al distribuirse por las tuberías. Los costos de esta implementación son los siguientes:

Tabla XXVIII. Costos para implementación de juntas de expansión y soportes en las tuberías de aire comprimido

Descripción del elemento	Unidad	Cantidad	Costo/Unidad	Total
Juntas de expansión flexibles roscadas de 2X10".	Unidad	2	Q. 875,00	Q. 1 750,00
Soportes de hierro galvanizado HANGLER de 2"	Unidad	15	Q. 8,75	Q. 131,25
Set de tornillos (5) de acero de 14X1/2" RHINO.	Unidad	3	Q. 10,50	Q. 31,50
Set de tarugos (10) 12X50 RHINO	Unidad	2	Q. 9,50	Q. 19,00
MO total (instalación)	Unidad	1	Q. 750,00	Q. 750,00
COSTO TOTAL DE LA IMPLEMENTACIÓN				Q. 2 681,75

Fuente: Departamento de Ventas Grupo FHISA (Ferro Hierros Industriales S.A.) Zona 12.

De acuerdo a todos los análisis descritos anteriormente, se hace un resumen de los costos totales necesarios para la implementación de las mejoras al sistema de aire comprimido, así como los ahorros teóricos que se predicen provocarían la misma.

Tabla XXIX. Resumen de ahorros y costos totales para la implementación

Costo asociado para la implementación de:	Costo total	Ahorro percibido de la implementación en:	Ahorro Total
Sistemas contra ruidos	Q. 2 653,15	Consumo de energía eléctrica (mensual)	Q. 905,08
Equipo de protección auditivo	Q. 54,00		
Letreros de seguridad industrial	Q. 234,00		
Pintura industrial	Q.1 181,85		
Iluminación industrial	Q.1 511,90		
Juntas de expansión y soportes	Q.2 681,75		
TOTAL	Q.8 316,55	TOTAL	Q. 905,08

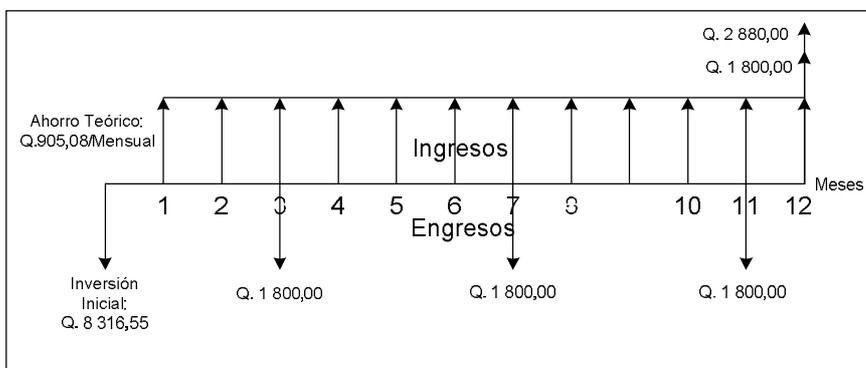
Fuente: diseño y elaboración propia en base a las tablas de costos anteriores.

El costo total descrito anteriormente se considera como la inversión inicial para la implementación de las mejoras al sistema de aire comprimido, y el ahorro teórico expuesto anteriormente, es aquel que se verá reflejado en el recibo del consumo eléctrico mes a mes, una vez se hayan implementado todas las propuestas.

Además de esto, se tiene previsto que el presupuesto anual de Q. 4 800,00 asignado para acciones correctivas de mantenimiento se reduzca en un 60% al aplicar todas las actividades de supervisión y pruebas al sistema de aire comprimido en general.

Adicionalmente a esto, las empresas *Outsourcing* cobran Q. 1 800,00 trimestralmente por realizar las actividades de mantenimiento sobre el equipo que se encuentra en el área de generación del aire comprimido, pero se prevé que con la implementación de las actividades de supervisión y pruebas en esta área por el personal operativo, este mantenimiento se realice únicamente tres veces al año, teniendo entonces un ahorro de Q. 1 800,00. De esto, entonces, el flujo de efectivo para la implementación es el siguiente:

Figura 29. Flujo de efectivo para la implementación de las mejoras al sistema de aire comprimido



Fuente: diseño y elaboración propia.

3.10.2. Propuesta de mejora únicamente con servicios exteriores

De tal manera que en la propuesta anterior ya se han establecido y analizado los costos que la mejora del sistema de generación y distribución del aire comprimido representará con medios o servicios exteriores, el proceso siguiente es realizar un análisis financiero para evaluar la factibilidad de la misma.

3.10.3. Métodos de evaluación de alternativas

Es una herramienta financiera que permite evaluar la rentabilidad de un proyecto y analizar el comportamiento de las inversiones, de los gastos y/o ahorros a lo largo del tiempo.

Para evaluar la rentabilidad del mismo los beneficios y los costos se ven afectados por una tasa de interés, en este caso la tasa mínima atractiva de rendimiento (TMAR), la cual, es el porcentaje que como mínimo desea trabajar el inversionista para un proyecto de mejora, y está compuesta por la sumatoria de una tasa pasiva, una tasa de ganancia o beneficio y una tasa de inflación.

La tasa pasiva es el porcentaje que paga una institución bancaria a quien deposita dinero mediante cualquiera de los instrumentos que para tal efecto existen, generalmente el porcentaje está entre un 2% y 6%, tomando en cuenta que para la implementación de las mejoras al sistema de aire comprimido se requiere de un préstamo de un banco independiente, ya que no se tiene aprobado el presupuesto para el mismo, se asumirá un porcentaje de tasa pasiva del 5%.

El porcentaje de beneficio representa la oportunidad que se tiene de invertir en otros proyectos, generalmente se adopta un valor de entre 10% a 15%. Para esta implementación se manejará el 12%.

El porcentaje de inflación determina la variación en el mercado de los precios de los materiales que se utilizarán para la implementación de las mejoras al sistema de aire comprimido, el cual se asumirá de un 5%.

De lo anterior, entonces la tasa de interés anual que se utilizará para evaluar la rentabilidad del proyecto será del 22%.

3.10.3.1. Valor presente neto (VPN)

Es una medida del beneficio que rinde un proyecto de Inversión a través de toda su vida útil; se define como el valor presente de su flujo de ingresos o beneficios (VPB) menos el valor presente de su flujo de costos (VPC).

De lo anterior entonces:

$$\text{VPN} = \text{VPB} - \text{VPC}$$

Para hacer el cálculo anterior en base al flujo de efectivo que describe la figura 29 se utilizan las relaciones para flujos de efectivos siguientes:

$$(1) P = A (P/A, i, n)$$

Donde:

$$(P/A, i, n) = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$$

- Y: P/A = Relación presente dado una anualidad.
 i = Porcentaje de la tasa de interés efectiva (TMAR).
 n = Tiempo en que se va a proyectar la inversión (1 año)

$$(2) P = F (P/F, i, n)$$

Donde: $(P/F, i, n) = \frac{1}{(1+i)^n}$

- Y: P/F = Relación presente dado futuro.
 i = Porcentaje de la tasa de interés efectiva (TMAR).
 n = Tiempo en que se va a proyectar la inversión (1 año)

Como la evaluación de la rentabilidad de la implementación se trabajará o proyectará mensualmente, es necesario convertir la tasa de interés anual descrita anteriormente a tasa mensual efectiva, generando entonces un porcentaje del 1,83% (razón entre 22% y 12%, a un periodo de un año).

Según el flujo de efectivo de la figura 29, entonces:

Se calcula del valor presente neto para la implementación de las mejoras al sistema de generación y distribución del aire comprimido de la siguiente manera:

Calculando el VPB:

$$VPB = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] + F \left[\frac{1}{(1+i)^n} \right] + F \left[\frac{1}{(1+i)^n} \right]$$

$$VPB = (905,08) \left[\frac{(1+0,0183)^{12} - 1}{0,0183(1+0,0183)^{12}} \right] + 1\,800,00 \left[\frac{1}{(1+0,0183)^{12}} \right] + 2\,880,00 \left[\frac{1}{(1+0,0183)^{12}} \right]$$

$$VPB = (905,08) \left(\frac{0,2431}{0,0227} \right) + 1\,800,00(0,8044) + 2\,880,00(0,8044)$$

$$VPB = 9\,692,73 + 1\,447,92 + 2\,316,67$$

$$VPB = Q.13\,457,32$$

Calculando el VPC:

$$VPC = \text{Inversión Inicial} + F(P/F, i, n) + F(P/F, i, n) + F(P/F, i, n)$$

$$VPC = \text{Inversión Inicial} + F \left[\frac{1}{(1+i)^n} \right] + F \left[\frac{1}{(1+i)^n} \right] + F \left[\frac{1}{(1+i)^n} \right]$$

$$VPC = 8\,616,55 + 1\,800,00 \left[\frac{1}{(1+0,0183)^3} \right] + 1\,800,00 \left[\frac{1}{(1+0,0183)^7} \right] + 1\,800,00 \left[\frac{1}{(1+0,0183)^{11}} \right]$$

$$VPC = 8\,616,55 + 1\,800,00(0,9470) + 1\,800,00(0,8808) + 1\,800,00(0,8192)$$

$$VPC = 8\,316,55 + 1\,704,60 + 1\,585,44 + 1\,474,56$$

$$VPC = Q.13\,081,15$$

De acuerdo a lo descrito anteriormente:

$$\begin{aligned} \text{VPN} &= \text{VPB} - \text{VPC} \\ \text{VPN} &= \text{Q. } 13\,457,32 - \text{Q. } 13\,081,15 \\ \text{VPN} &= \text{Q. } 376,17 \end{aligned}$$

Se observa que el VPN tiene un valor positivo, lo cual indica que la implementación del nuevo sistema es rentable.

3.10.3.2. Tasa interna de retorno (TIR)

También se le conoce como tasa de rendimiento, y es el interés donde el inversionista tiene equilibrio, es decir, el porcentaje de interés en el que el valor presente neto es igual a cero; no se obtienen pérdidas ni ganancias.

Para encontrar ese porcentaje, se determina el interés con el que se obtiene un valor presente neto positivo y un valor presente neto negativo, y mediante la siguiente ecuación se define aquel en el que el proyecto estará en equilibrio.

$$\text{TIR} = \frac{(\% \text{ Mayor} - \% \text{ Menor}) \times \text{VPN}(-)}{\text{VPN}(+) + |\text{VPN}(-)|} + \% \text{ Mayor}$$

Entonces, la ecuación con la que se debe de trabajar para determinar el porcentaje de interés con el que se tiene un VPN positivo y un VPN negativo es la siguiente:

$$\begin{aligned}
 \text{VPN} = & (905,08) \left[\frac{(1+i)^{12} - 1}{i(1+i)^{12}} \right] + 1\,800,00 \left[\frac{1}{(1+i)^{12}} \right] + 2\,880,00 \left[\frac{1}{(1+i)^{12}} \right] \\
 & - \left[8\,316,55 + 1\,800,00 \left[\frac{1}{(1+i)^3} \right] + 1\,800,00 \left[\frac{1}{(1+i)^7} \right] + 1\,800,00 \left[\frac{1}{(1+i)^{11}} \right] \right]
 \end{aligned}$$

Probando con $i = 1,5\%$

$$\begin{aligned}
 \text{VPN} = & (905,08) \left[\frac{(1+0,015)^{12} - 1}{0,015(1+0,015)^{12}} \right] + 1\,800,00 \left[\frac{1}{(1+0,015)^{12}} \right] + 2\,880,00 \left[\frac{1}{(1+0,015)^{12}} \right] \\
 & - \left[8\,316,55 + 1\,800,00 \left[\frac{1}{(1+0,015)^3} \right] + 1\,800,00 \left[\frac{1}{(1+0,015)^7} \right] + 1\,800,00 \left[\frac{1}{(1+0,015)^{11}} \right] \right]
 \end{aligned}$$

$$\text{VPN} = \text{Q. } 623,84$$

Probando con $i = 2,5\%$

$$\begin{aligned}
 \text{VPN} = & (905,08) \left[\frac{(1+0,025)^{12} - 1}{0,025(1+0,025)^{12}} \right] + 1\,800,00 \left[\frac{1}{(1+0,025)^{12}} \right] + 2\,880,00 \left[\frac{1}{(1+0,025)^{12}} \right] \\
 & - \left[8\,316,55 + 1\,800,00 \left[\frac{1}{(1+0,025)^3} \right] + 1\,800,00 \left[\frac{1}{(1+0,025)^7} \right] + 1\,800,00 \left[\frac{1}{(1+0,025)^{11}} \right] \right]
 \end{aligned}$$

$$\text{VPN} = \text{Q. } -103,56$$

Aplicando los valores encontrados anteriormente a la ecuación de la TIR, entonces:

$$\text{TIR} = \frac{(2,5 - 1,5) \times -103,56}{623,84 + 103,56} + 2,5 = \% 2,36$$

Este valor es el porcentaje de interés efectivo, esto quiere decir, que la tasa mínima con la que el inversionista debe trabajar para no perder ni ganar en la implementación de las mejoras al sistema de generación y distribución del aire comprimido es del 28,32%, equivalente al multiplicar el porcentaje encontrado anteriormente por 12, que sería el porcentaje de interés anual.

3.10.3.3. Relación beneficio-costo (B/C)

La relación beneficio costo indica los beneficios que se obtienen por cada quetzal que se invierte en un proyecto, en este caso, para la implementación de las mejoras al sistema de aire comprimido. Esta relación se calcula en base a la siguiente razón:

$$B/C = \frac{VPB (\text{Beneficios})}{VPC (\text{Costos})}$$

Aplicando los datos de los valores presentes de beneficios y costos respectivamente encontrados anteriormente, entonces:

$$B/C = \frac{13\,457,32}{13\,081,15} = 1,03$$

Como el resultado de la relación beneficio costo es mayor que 1, esto quiere decir que por cada quetzal que invierta en el proyecto de implementación se obtendrá un beneficio del 1,03%, en consecuencia, la ejecución del mismo es rentable.

3.11. Manual de procedimientos

Un manual de procedimientos es el documento que contiene la descripción de actividades que deben seguirse en la realización de las funciones de una unidad administrativa u operativa.

El manual debe incluir directa o indirectamente los puestos o unidades administrativas que intervienen, precisando su responsabilidad y participación.

Suelen contener información y ejemplos de formularios, autorizaciones o documentos necesarios, máquinas o equipo de oficina a utilizar, así como cualquier otro dato que pueda auxiliar al correcto desarrollo de las actividades dentro de la empresa.

En éste, se encuentra registrada y transmitida, sin distorsión, la información básica referente al funcionamiento de todas las unidades administrativas u operativas, facilita las labores de auditoria, la evaluación y control interno y su vigilancia, la conciencia en los empleados y en sus jefes de que el trabajo se está realizando o no adecuadamente.

El objetivo básico de implementar estos manuales, es que cualquier persona que vaya a utilizar el sistema de aire comprimido se auxilie de este tipo de documentos para poder llevar a cabo las diferentes actividades de pruebas antes de arrancar el sistema y del funcionamiento en operación del aire comprimido. Se tomará en cuenta al momento de realizar los manuales los lineamientos requeridos por ISO 9001 para la documentación de los mismos, de tal forma que se puedan integrar éstos a algún proceso de certificación planificado por la empresa.

3.11.1. Pruebas antes de arrancar

El procedimiento de pruebas antes de arrancar el sistema constará de lo siguiente:

a. Propósito

Describir el procedimiento de las pruebas que son necesarias antes de arrancar el sistema de aire comprimido.

b. Alcance

Este procedimiento indica los lineamientos que deben realizarse para efectuar pruebas al sistema de aire comprimido, antes de ponerlo en funcionamiento, tanto en el área de generación, como en el área de distribución.

c. Responsabilidades

- Personal Operativo (Operario de Producción): realizar todas las pruebas indicadas en los registros correspondientes antes de arrancar el sistema e indicar al responsable de mantenimiento la existencia de alguna falla, completando los registros correspondientes.
- Responsable de Mantenimiento: notificar al técnico del mantenimiento la existencia y descripción de alguna falla para la aplicación de una acción correctiva.
- Técnico de Mantenimiento: resolver cualquier problema existente en el sistema de aire comprimido y completar los registros correspondientes.

d. Descripción de actividades

El operario de producción antes de arrancar el sistema de aire comprimido debe:

- Verificar el nivel de aceite del compresor a utilizar. (*Ingersoll Rand* o *Quincy*);
- Verificar la presión de aceite, la cual debe estar entre 45 y 50 PSI;
- Verificar el funcionamiento de las válvulas de descarga automática;
- Probar y verificar las válvulas de seguridad;
- Verificar la cantidad de suciedad que tenga el filtro de aire;
- Verificar si la faja del ventilador del sistema de enfriamiento se encuentra dañada o floja;
- Determinar si previo a arrancar el sistema se presenta alguna fuga, algún ruido o alguna vibración;
- Determinar y buscar algún tipo de anomalía (ruido o vibración) en el postenfriador *Quincy*, en el secador *Olmstead* y en el tanque de almacenamiento;
- El operario de producción debe completar la primera parte del *Registro de inspección al sistema neumático*, anotando en donde corresponda las acciones correctivas realizadas o algún tipo de observación que tenga que ser comunicada al responsable de mantenimiento/producción.

Una vez realizadas todas estas actividades en el área de generación del aire comprimido, el operario de producción en cada una de las líneas de producción del área de distribución del aire comprimido debe:

- Verificar si existe alguna fuga en los actuadores de simple y doble efecto, así como en los diafragmas de las ensacadoras, verificando también el estado físico de los mismos;
- Comprobar el estado físico de los equipos anteriores, anotando si se encuentran dañados (D) o no dañados (ND) en el *Registro de inspección al sistema neumático*;
- En las unidades de mantenimiento (filtros, reguladores de presión y lubricadores) y mangueras debe verificar si existen fugas y al igual que lo anterior, inspeccionar el estado físico de los mismos, marcando si se encuentran dañados (D) o no dañados (ND);
- Debe completar la segunda parte del *Registro de inspección al sistema neumático* anotando todas las observaciones que puedan ser guías para la aplicación de alguna acción correctiva.

El operario de producción debe realizar con la ayuda de otro la prueba de estanqueidad en el sistema de aire comprimido, anotando y completando la información requerida en la tercera parte del *Registro de inspección al sistema neumático*.

El operario de producción debe entregar el *Registro de inspección al sistema neumático* al responsable de mantenimiento de *Trouw Nutrition Guatemala* para que éste lo revise y determine la aplicación, o no, de alguna acción correctiva a ser efectuada por el técnico de mantenimiento.

Nota 1. Si el operario de producción determinara alguna falla en el momento en que esté realizando la inspección, debe completar el registro de *Hoja de Registro de Fallas*, y entregar este documento junto con el anterior al responsable de mantenimiento de la empresa.

Nota 2. Si fuera necesario aplicar una acción correctiva el técnico de mantenimiento debe llevarla a cabo y completar el registro de *Hoja de Registro de mantenimiento correctivo y preventivo* y entregárselo al responsable de mantenimiento/producción para su archivo correspondiente.

e. Control de registros

NOMBRE DEL REGISTRO	RESPONSABLE DE SU ARCHIVO	MODO DE INDIZACIÓN Y ARCHIVO	ACCESO AUTORIZADO	TIEMPO CONSERVACIÓN
Registro de inspección al sistema neumático.	Responsable de Mantenimiento	Se archiva en una carpeta según correlativo por fecha.	Operario de Producción	1 año
Hoja de registro de fallas	Responsable de Mantenimiento	Se archiva en una carpeta según correlativo por fecha.	Operario de Producción	1 año
Hoja de registro de mantenimiento preventivo y correctivo.	Responsable de Mantenimiento	Se archiva en una carpeta según correlativo por fecha.	Operario de Producción Técnico de Mantenimiento.	1 año

f. Control de cambios

No. de Revisión	DESCRIPCIÓN O JUSTIFICACIÓN DEL CAMBIO	
	Fecha de Revisión: Responsable de Revisión:	Fecha de Aprobación: Responsable de Aprobación.

3.11.2. Manejo del aire comprimido en operación

El procedimiento de manejo del aire comprimido en operación se comprende de la siguiente manera:

a. Propósito

Describir el procedimiento de la forma en que debe manejarse el aire comprimido durante el proceso productivo.

b. Alcance

Este procedimiento describe la secuencia de pasos a realizar por el personal operativo para utilizar o manejar apropiadamente los elementos accionados por aire comprimido en el área de distribución del mismo.

c. Responsabilidades

- Personal Operativo (Operario de Producción): hacer uso adecuado de los elementos accionados por aire comprimido y reportar de la existencia de alguna falla que se produzca durante el proceso productivo.
- Responsable de Mantenimiento: informar al técnico de mantenimiento las fallas que se generen durante el proceso productivo en los equipos neumáticos.
- Técnico de Mantenimiento: aplicar las acciones correctivas necesarias para corregir las desviaciones existentes en el área de distribución del aire comprimido y completar los registros correspondientes.

d. Descripción de Actividades

El operario de producción al realizar todas las pruebas antes de arrancar el sistema y no haber detectado ninguna falla que retrase el proceso, activa el mismo para que el aire comprimido esté disponible en todos los puntos de consumo requeridos.

El operario de producción lleva las materias primas al tercer nivel de producción en donde procederá a vaciarlas en la tolva de carga de la línea o estación en la que se mezclará el producto.

Antes de iniciar el proceso de mezclado el operario de producción debe verificar que la compuerta que se encuentra en la parte inferior de la tolva de descarga se encuentra cerrada, para esto debe ubicarse en el tablero neumático-eléctrico identificado con el código No. TNG-06-TC-001 y posicionarse en el interruptor rojo titulado como "compta (compuerta)", verificando que la luz indicadora se encuentre apagada, esto significa que el actuador neumático de doble efecto está permitiendo que la compuerta no deje caer la premezcla sobre la ensacadora.

El operario de producción abre la tapadera de la tolva de carga cuidadosamente, momento en el cual la válvula electroneumática que se encuentra en la parte lateral de la misma hace que automáticamente por la conexión y la señal neumática dependiente existente entre ésta y la mezcladora, ésta última empiece a funcionar y a presentar el movimiento oscilatorio de las paletas que la componen en su interior.

El proceso de mezclado es automático (5 min), y cuando éste ha terminado se activa una alarma acústica que indica que la premezcla está lista para disponerse y empacarse.

El operario de producción coloca el saco alrededor del diafragma de la ensacadora y lo presiona con el conjunto cincho-maneral, momento en el cual el aire comprimido es transferido a éste a una presión aproximada de 90 PSI, haciendo que el mismo se expanda y sostenga al saco.

Mientras el saco se encuentra en esta posición el operario de producción debe activar en el tablero TNG-06-TC-001 el pulsador identificado con la leyenda "Auto", éste hará que en el momento en que el mismo presione el interruptor de dosificación colocado a un costado del diafragma la mezcla se deposite en el saco a velocidad constante y la compuerta de la mezcladora que sostiene la misma pueda estar abriéndose y cerrándose.

Una vez activado el interruptor de dosificación la mezcla empieza a depositarse sobre el saco, mientras tanto, el operario de producción debe presionar intermitentemente en el TNG-06-TC-001 el pulsador indicado con la leyenda "Martillo", el cual provocará que el actuador neumático de simple efecto tenga un movimiento vibratorio sobre las paredes de la tolva de descarga donde se encuentra la premezcla y pueda facilitar la caída por gravedad de la misma.

El proceso anterior se repite para el empaque de todos los sacos de producto terminado que componen el lote de producción.

Nota 1: Si el operario de producción detecta alguna falla en algún equipo de aire comprimido durante el proceso, debe indicárselo al responsable de mantenimiento de la empresa, completando y entregando la *Hoja de Registro de Fallas*; de tal forma que éste pueda evaluar la situación y comunicársela técnico de mantenimiento para la posible aplicación de una acción correctiva, entregando y completando la *Hoja de Registro de Mantenimiento Preventivo y Correctivo*.

Nota 2: El proceso anterior es el mismo para el funcionamiento de las tres líneas de producción, lo que cambia son los códigos de identificación de los tableros neumáticos-eléctricos, los cuales son TNG-06-TC-002 para la línea No. 2 y TNG-06-TC-003 para la línea No. 3.

e. Control de registros

NOMBRE DEL REGISTRO	RESPONSABLE DE SU ARCHIVO	MODO DE INDIZACIÓN Y ARCHIVO	ACCESO AUTORIZADO	TIEMPO CONSERVACIÓN
Hoja de registro de fallas	Responsable de Mantenimiento	Se archiva en una carpeta según correlativo por fecha.	Operario de Producción	1 año
Hoja de registro de mantenimiento preventivo y correctivo.	Responsable de Mantenimiento	Se archiva en una carpeta según correlativo por fecha.	Operario de Producción Técnico de Mantenimiento.	1 año

f. Control de cambios

No. de Revisión	DESCRIPCIÓN O JUSTIFICACIÓN DEL CAMBIO	
	Fecha de Revisión: Responsable de Revisión:	Fecha de Aprobación: Responsable de Aprobación.

4. IMPLEMENTACIÓN DE PROPUESTA DE MEJORA PARA EL SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO

4.1. Funciones de los trabajadores involucrados

Para el apropiado entendimiento de las modificaciones realizadas al sistema de aire comprimido, se debe lograr y tener una coordinación entre el responsable de administrar los cambios y los responsables de manejarlos, para que en conjunto y con una comunicación efectiva puedan evaluar, tanto los beneficios obtenidos a nivel operativo, como la eficiencia lograda al implementar las actividades de mantenimiento sobre el propio sistema.

4.1.1. Planta de producción

Las funciones del personal operativo serán las de adaptarse a los cambios que se efectúen en el sistema de aire comprimido, cumpliendo detalladamente la forma de llevar a cabo cada una de las actividades descritas en los procedimientos anteriores y completando los registros correspondientes en base a la guía de codificación propuesta para la identificación del equipo y maquinaria.

Además de esto, deberán tomar en cuenta los factores que se evaluaron con anterioridad para evitar cualquier tipo de riesgos que afecten tanto a su organismo, como al proceso de producción, cumpliendo con las supervisiones periódicas y con la utilización del equipo de protección recomendado.

Éste último, tanto para esta actividad, como para aquellas en las que el sentido auditivo se vea afectado por el funcionamiento directo e indirecto del aire comprimido.

4.1.2. Gerente de producción y mantenimiento

Coordinar las actividades de la implementación de los cambios al sistema junto con los responsables técnicos de llevarlas a cabo, en cumplimiento con la programación y los recursos establecidos previamente.

En adición a ésto, debe coordinar y programar con la empresa o persona responsable la formación al personal operativo, para que éstos utilicen y supervisen apropiadamente el sistema de aire comprimido.

Otra de las funciones que deberá de llevar a cabo, es la del cumplimiento del programa de mantenimiento preventivo del sistema neumático, completando junto con la empresa responsable de realizarlo los registros correspondientes (Registro de mantenimiento correctivo y preventivo); y no por último y menos importante, asignar todos los recursos necesarios para evitar que el personal operativo y el proceso de producción se vean afectados por la existencia de alguno de los riesgos descritos con anterioridad.

4.2. Programas de capacitación al personal

Las actividades de capacitación para la correcta manipulación de todo lo referido al sistema de aire comprimido estarán a cargo de las empresas que realizan el mantenimiento del mismo, junto con el responsable de mantenimiento de *Trouw Nutrition* Guatemala.

Las mismas deben incluir todo lo relacionado a la manera en qué se debe de manejar el aire comprimido en el área de generación y distribución.

4.2.1. Antes de arrancar el sistema

La capacitación y el adiestramiento para realizar las pruebas antes de arrancar el sistema estarán a cargo de personal de la empresa ASI. La misma será recibida tanto por el personal operativo, como por el responsable de mantenimiento, de tal manera que éste conozca el funcionamiento y la forma en qué se debe operar el sistema, para que eventualmente pueda realizar revisiones sobre la manera en que su personal está aplicando y cumpliendo los procedimientos.

4.2.2. Operación del sistema

La formación del personal en cuanto a la operación del sistema incluirá todo lo relacionado a la forma en que se empleará el aire comprimido en las áreas de distribución, esto quiere decir, desde el primer paso del proceso de producción, que consiste en el vaciado de las materias primas, hasta el proceso final del mismo, que es el ensacado del producto.

En dicho adiestramiento y capacitación se incluye la correcta utilización de los actuadores de simple y doble efecto, la correcta manipulación de los tableros controladores de los equipos auxiliares y la manera en que las unidades de soplado para limpieza quedarán inhabilitadas por efectos ahorrativos.

4.2.3. Detección de fallas

La importancia de saber identificar una falla es reportarla de manera inmediata para que se pueda aplicar una acción correctiva. Ésta podrá ser identificada al momento de estar realizando las pruebas antes de arrancar el sistema de aire comprimido o cuando éste se encuentre en funcionamiento.

Por lo anterior, el responsable de mantenimiento de *Trouw Nutrition* Guatemala deberá adiestrar al personal operativo sobre la forma en que debe de completar los registros apropiados (Hoja de registro de fallas), y así poder evidenciar la existencia de una de éstas en algún elemento del sistema de aire comprimido, y en base a los datos que refleje poder determinar la ejecución o no de una acción correctiva.

4.2.3.1. Hoja de registro de fallas

Este documento ha sido creado con el propósito de mantener o archivar evidencia del seguimiento que se le da a las fallas que se provocan en la maquinaria o equipo que integra el sistema de generación y distribución de aire comprimido.

Éste debe ser completado por el operario que identificó la falla, quien debe basarse en el listado general de equipo neumático para asignar aquel donde se produjera la misma.

El formato a completar por el personal operativo cuando se detecta una falla es el que se describe en la figura 30.

REGISTRO DE FALLAS

No.

IDENTIFICO LA FALLA: _____		Fecha: _____	Hora de Registro Falla: _____
----------------------------	--	--------------	-------------------------------

No.	CÓDIGO	MAQUINARIA/EQUIPO	PIEZA/PARTE DEFECTUOSA

No.	CARACTERÍSTICAS/DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	FECHA ÚLTIMO SERVICIO

Observaciones: _____

f: _____
 Encargado
 Producción/Mantenimiento

f: _____
 Identifico la Falla

Figura 30. Hoja de registro de fallas

Fuente: diseño y elaboración propia.

4.2.4. Entrega de procedimientos documentados

Además de las capacitaciones recibidas, el responsable del mantenimiento de *Trouw Nutrition* Guatemala, entregará al personal operativo los procedimientos documentados descritos anteriormente junto con los registros correspondientes a completar para que sirvan de guía en la correcta manipulación del sistema de aire comprimido.

4.3. Cronograma de mantenimiento preventivo basado en el sistema de aire comprimido

El cronograma de mantenimiento preventivo abarca todos aquellos equipos que forman parte del sistema de generación y distribución de aire comprimido, además de los accesorios que están conectados a ellos.

La calendarización ha sido establecida de tal manera que se logre un ahorro económico pero sin descuidar el factor mantenimiento. Éste se estableció en base a las recomendaciones de los manuales técnicos de los equipos y a la experiencia técnica de las empresas responsables de realizar esta actividad.

El cumplimiento de las fechas programadas beneficiará al proceso de producción; de tal forma que con el establecimiento de éstas se espera las posibles fallas que ocurran durante el proceso de producción no sean de mayor consideración y por lo tanto, no generen costos elevados de acciones correctivas.

Figura 31. Cronograma de actividades para el mantenimiento preventivo

ITEM	Código	No.	DESCRIPCION DE LA TAREA	INTER-VALO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOY	DIC					
1	TIIG-11-C-001 TIIG-11-C-002	1.1	Compresores de aire (Unidad en operación)																		
			Mantenimiento diario.																		
			- Verificar nivel de aceite.																		
			- Verificar funcionamiento de purgas de tanque.																		
			- Descargar las válvulas automáticas																		
			- Probar válvulas de seguridad																		
			- Inspeccionar el estado del filtro de aire																		
			- Hacer una inspección general.																		
			Mantenimiento semanal.																		
			- Limpieza y/o cambio de filtro.																		
			- Revisión de fajas.																		
			Revisión del sistema eléctrico de control																		
			Cambio de aceite.																		
			Lubricación de cojinetes del motor eléctrico.																		
			Limpieza y descarbonizado de válvulas.																		
			Mantenimiento a motor eléctrico.																		
			2	TIIG-11-IC-001	2.1	Secador de aire.															
						Revisar indicadores de filtros y separadores.															
Limpieza de Serpentin con químico especial																					
Limpieza del sistema del motor eléctrico																					
Chequeo del Voltaje y Amperaje																					
Revisión del filtro de Retorno																					
Limpieza de aspas																					
3	TIIG-11-IC-002	3.1				Post-Enfriador															
						Chequeo de Voltaje y Amperaje															
						Limpieza de Serpentin con químico especial															
						Chequeo y Limpieza del sistema eléctrico															
						Limpieza y externa de la unidad															
			Limpieza y chequeo del motor eléctrico																		
4		4.1	Red de distribución de aire comprimido.																		
			Estado general, fugas, montaje, etc..																		

Continúa Figura 31.

ITEM	Código	No.	DESCRIPCION DE LA TAREA	INTER-VALO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOY	DIC		
5	Todo aquel equipo con el código: TNG-00-TC-000	5.1.	Paneles eléctricos. Revisión, limpieza y ajuste de paneles eléctricos generales y secundarios de distribución, de compresores, líneas de mezclado, ensacado.	3m														
			LÍNEAS DE MEZCLADO Y ENSACADO.															
			TNG-00-T-000	6.1	Tolvas de carga de materia prima. Revisión de juntas flexibles.	Semanal												
6	Todo aquel equipo que tenga el siguiente código: TNG-07-MZ-000	6.5	Mezcladoras Revisión del sistema neumático. - Búsqueda de fugas. - Sellos de la compuerta de descarga. - Pistones de seguridad de compuertas de acceso. - Pistón de la compuerta de descarga e interruptores de fin de carrera. - Verificar funcionamiento de reguladores y lubricadores.	3m														
			TNG-06-EN-000	6.6	Ensacadoras Mantenimiento del sistema de descarga. - Revisión de pistones neumáticos. - Revisión y ajuste de las piezas de cierre. - Búsqueda de fugas en elementos del circuito neumático. - Inspección de la junta flexible del elemento de pesaje, etc. - Inspección del sistema prensa-sacos. - Inspección del diafragma del sistema prensa-sacos. - Inspección de la bisagra prensa-sacos. (Estado del empaque, tornillos, ajuste de la bisagra trasera, etc).	4m												
			TNG-06-FRPT-000	6.8	Unidades de Mantenimiento - Inspección de las Unidades de Mantenimiento (Búsqueda de fugas, daños físicos, etc.)	2m												

Fuente: diseño y elaboración propia junto con empresas ASI e ISM.

4.3.1. Guía de codificación

La guía de codificación debe ser transmitida tanto al personal operativo como a las empresas externas que realizan el mantenimiento, para que puedan completar de manera correcta los registros apropiados.

4.3.1.1. Áreas

Cuando se realice o se utilice dicha guía para reportar la falla o el mantenimiento en algún equipo se debe verificar que el área asignada en el código de identificación del mismo efectivamente sea la que corresponda.

4.3.1.2. Equipos y componentes

De igual manera que lo anterior, se debe verificar que el código de identificación asignado tanto para la clasificación del equipo como del correlativo estén asignados apropiadamente y no se tenga el riesgo de que exista un código repetido que pueda ocasionar malos entendidos en la interpretación del tipo de servicio que tenga que realizarse al mismo.

4.3.2. Codificación del equipo y componentes involucrados

La codificación de los equipos neumáticos se realiza en base a la guía propuesta que indica la figura 18. Esta guía cabe mencionar puede ser útil, no solo para el equipo neumático, sino para toda la maquinaria y equipo con la que cuenta *Trouw Nutrition* Guatemala.

4.3.2.1. Listado general

Este listado describe el equipo neumático involucrado en el sistema de generación y distribución del aire comprimido.

Tabla XXX. Listado general de equipo neumático

Área de generación	
Equipo	Código de Identificación
Compresor de aire <i>Ingersoll Rand</i>	TNG-11-C-001
Compresor de aire <i>Quincy</i>	TNG-11-C-002
Secador de aire <i>Olmstead</i>	TNG-11-IC-001
Postenfriador <i>Quincy</i>	TNG-11-IC-002
Área de distribución	
Línea de producción No.1	
Equipo	Código de Identificación
Tolva de carga	TNG – 08 – T – 001
Mezcladora <i>Bühler</i>	TNG – 07 – MZ – 001
Tolva de descarga	TNG – 06 – T – 002
Ensacadora <i>Vollenda</i>	TNG – 06 – EN – 001
Diafragma de ensacadora	TNG – 06 – D – 001
Actuador de simple efecto	TNG – 06 – CN – 001
Actuador de doble efecto	TNG – 06 – CN – 002
Tablero de control eléctrico-neumático	TNG – 06 – TC – 001
Filtro de la unidad de mantenimiento	TNG – 06 – F – 001
Regulador de presión de la unidad de mantenimiento	TNG – 06 – RP – 001
Lubricador de la unidad de mantenimiento	TNG – 06 – L – 001
Área de distribución	
Línea de producción No.2	
Equipo	Código de Identificación
Tolva de carga	TNG – 08 – T – 003
Mezcladora <i>Hayes & Stolz</i>	TNG – 07 – MZ – 002
Tolva de descarga	TNG – 06 – T – 004
Ensacadora <i>Vollenda</i>	TNG – 06 – EN – 002
Diafragma de ensacadora	TNG – 06 – D – 002
Actuador de simple efecto	TNG – 06 – CN – 003

Continúa Tabla XXX.

Actuador de doble efecto	TNG – 06 – CN – 004
Tablero de control eléctrico-neumático	TNG – 06 – TC – 002
Filtro de la unidad de mantenimiento	TNG – 06 – F – 002
Regulador de presión de la unidad de mantenimiento	TNG – 06 – RP – 002
Lubricador de la unidad de mantenimiento	TNG – 06 – L – 002
Área de distribución	
Línea de producción No.3	
Equipo	Código de Identificación
Tolva de carga	TNG – 08 – T – 005
Mezcladora <i>Ruberg</i>	TNG – 07 – MZ – 003
Tolva de descarga	TNG – 06 – T – 006
Ensacadora <i>Vollenda</i>	TNG – 06 – EN – 003
Diafragma de ensacadora	TNG – 06 – D – 003
Actuador de simple efecto	TNG – 06 – CN – 005
Actuador de doble efecto	TNG – 06 – CN – 006
Tablero de control eléctrico-neumático	TNG – 06 – TC – 003
Filtro de la unidad de mantenimiento	TNG – 06 – F – 003
Regulador de presión de la unidad de mantenimiento	TNG – 06 – RP – 003
Lubricador de la unidad de mantenimiento	TNG – 06 – L – 003
Unidad de soplado No.1	
Equipo	Código de Identificación
Filtro de la unidad de soplado	TNG – 06 – F – 004
Regulador de presión de la unidad de soplado	TNG – 06 – RP – 004
Manguera con boquilla	TNG – 06 – U – 001
Unidad de soplado No.2	
Equipo	Código de Identificación
Filtro de la unidad de soplado	TNG – 06 – F – 005
Regulador de presión de la unidad de soplado	TNG – 06 – RP – 004
Manguera con boquilla	TNG – 07 – U – 002
Unidad de soplado No.3	
Equipo	Código de Identificación
Filtro de la unidad de soplado	TNG – 06 – F – 006
Regulador de presión de la unidad de soplado	TNG – 06 – RP – 004
Manguera con boquilla	TNG – 08 – U – 003

Fuente: diseño y elaboración propia.

4.3.3. Hoja de registro de mantenimiento correctivo y preventivo

Este es el registro que deben completar las empresas que realicen el mantenimiento al sistema de aire comprimido.

Figura 32. Registro de mantenimiento correctivo y preventivo

ORDEN Y/O REPORTE DE TRABAJO		No.
EMPRESA/ENCARGADO SERVICIO: _____		FECHA:
TRABAJOS SOLICITADOS:		CLASIFICACIÓN
_____		PREVENTIVO P
_____		CORRECTIVO C
_____		EMERGENCIA E
_____		TECNOLÓGICO T
_____		NUEVO N
_____		OTRO O

EQUIPO (código)	C	TRABAJOS REALIZADOS

REPUESTOS/MATERIALES UTILIZADOS

f: _____
**Encargado
Producción/Mantenimiento**

f: _____
Encargado Servicio

Fuente: diseño y elaboración propia.

4.4. Esquematación del diseño del sistema de aire comprimido

El realizar un esquema o plano de la distribución del aire comprimido ayuda al responsable de mantenimiento a analizar en qué sección de la red es necesario realizar una mejora, ya sea, porque pueden existir ramales innecesarios que sólo retrasen el transporte del aire y que por ésto llegue a su punto de consumo con menor presión que la requerida, o que sea necesario colocar uno nuevo para otro punto de consumo que requiera la empresa a fin de eficientar el proceso de producción.

4.4.1. Simbología utilizada

La simbología neumática que se aplico en la realización del plano propuesto del sistema de aire comprimido es la que debería de predominar cuando se requiera volver a realizar un plano de identificación que sustituya al actual, además de aquella que se apreció en la lista de símbolos.

4.4.2. Plano de identificación

Cuando se requiera realizar una implementación o mejora sobre la red de aire comprimido, se deberá de evaluar el plano actual y esquematizar el propuesto con todos los cambios a efectuar, de tal manera que sea más fácil en un diagrama, apreciar claramente todas las alteraciones a efectuar como la estimación de los costos con los que se incurrirá para la ejecución de las mismas. Debido a que los cambios que se representan en el diagrama propuesto resultaron factibles de llevar a cabo, éste será el plano que identificará toda la red de aire comprimido actual.

4.5. Recomendaciones para mejorar el diseño de la red de aire comprimido

- a. Se recomienda una inspección periódica del sistema para asegurar su buen funcionamiento.
- b. Se debe disponer de un plano de la planta en donde se indique los elementos y accesorios de la red de aire comprimido.
- c. Se recomienda efectuar un diagnóstico periódico (semestral, anual) de todo el sistema.
- d. Es necesario evitar que en el sistema se formen partículas de impurezas como: suciedad u óxidos, residuos de aceite lubricante y humedad, ya que éstas dan origen, muchas veces, a averías en las instalaciones neumáticas y a la destrucción de los elementos neumáticos. Lo ideal es que exista la mayor separación del agua de condensación, por medio de uso de equipos adecuados al inicio del proceso para el respectivo tratamiento del aire.
- e. Se debe tomar en cuenta que la causa más grande de caída de presión son los filtros saturados.
- f. No incrementar el valor de la regulación de presión para compensar las pérdidas; en vez de ello, revisar las causas posibles del problema.
- g. Contar con un plan de mantenimiento del sistema en donde se registre la fecha de revisión de todos los elementos, recomendaciones del fabricante y/o instalador, al igual que el resumen de las fallas, sus causas, reparaciones y fechas del suceso, etc.
- h. En el tendido de las tuberías debe cuidarse, sobre todo, de que la tubería tenga un descenso en sentido de la corriente, del 1 al 2%.
- i. No dejar mangueras de los equipos en el suelo ya que los sistemas de transporte dentro de la planta pueden ocasionar averías a veces imperceptibles.

- j. Evitar fugas de aire (5 a 10%), caídas de presión a lo largo de la instalación (2% la presión del compresor) y mínima cantidad de agua en la red.

4.6. Sistemas para controlar el ruido

La eficiencia y funcionamiento de los dispositivos a instalar deberá ser verificada y monitoreada, de tal forma que se pueda determinar si el dispositivo puede estar siendo afectado después de un periodo de tiempo establecido por las condiciones en las que fuese instalado.

4.6.1. Área de generación

Al ensamblar el dispositivo seleccionado se debe de tomar en cuenta las condiciones en que será instalado, como lo son: las del medio ambiente (temperatura, humedad, etc.), que pueden estropear las bases o soportes de éste; la infestación de alguna especie de plaga que pudiera afectarlo o deteriorarlo físicamente, reduciendo la eficiencia y la vida útil del mismo.

4.6.2. Área de distribución

Las condiciones bajo las cuales se van a ensamblar los dispositivos seleccionados en el área de distribución deben ser analizadas detalladamente, debido a que hay que tomar en cuenta la forma en que el panel vertical de espuma acústica afectará el tránsito del personal en el área de producción, ya que éste para minimizar el nivel de atenuación de ruido se colocará en la parte anterior de la cosedora, siendo ésta un área donde a menudo circula el personal operativo para trasladarse de línea a línea.

De igual forma el aislamiento del actuador de simple efecto o martillo debe ser implementado de forma que no se vea afectado en su funcionamiento y en el mantenimiento del mismo.

Además de esto, es indispensable verificar como los efectos del proceso productivo pueden afectar o acelerar el desgaste de los dispositivos instalados, tomando en consideración que éstos estarán propensos a la presencia constante de emisiones de polvo, a consecuencia de la forma física, tanto de las materias primas, como del producto terminado.

4.6.3. Seguridad industrial

Esta ciencia hace énfasis en la forma en que se puede proteger al personal frente a la existencia de un tipo de riesgo determinado en su área de trabajo. A menudo es de esperarse que el riesgo cuando afecta el personal, no puede eliminarse completamente, sin embargo, puede reducirse mediante la aplicación y utilización de equipo que garantice que el mismo será minimizado.

4.6.3.1. Equipo de protección personal

Trouw Nutrition Guatemala junto con la empresa proveedora del equipo darán una inducción al personal operativo sobre las características del mismo, prevaleciendo o haciendo énfasis a la forma correcta de utilizar el equipo, el mantenimiento o las actividades de limpieza que se deberá de realizar sobre el mismo para conservar la eficiencia para el cual fuese diseñado y sobre todo el almacenaje al cual deben ser sometidos para evitar que éstos puedan tener contacto con alguna superficie que no se encuentre sanitizada, y por lo mismo, causar daños futuros al portador de éste por la adherencia al mismo de algún microorganismo existente.

4.7. Exposición de resultados a nivel administración

Es importante que para poder implementar tanto las observaciones descritas anteriormente como aquellas que se generen en el futuro, se expongan a los responsables de aprobar la misma los resultados de las evaluaciones tanto operativas como financieras, ya que como se analizó previamente, desde el punto de vista financiero, se lograría un ahorro considerable en el gasto de la energía eléctrica, y desde el punto de vista operativo, se lograrían minimizar los riesgos a los que está expuesto el recurso humano a consecuencia, no sólo del funcionamiento directo del sistema de aire comprimido, sino de las actividades indirectas que éste proporciona, como los sonidos provocados por la descarga de aire comprimido en los compresores y el efecto sonoro de los actuadores neumáticos, etc.

Para la aprobación de la implementación desde el punto de vista financiero, es necesario contar con la aprobación del responsable de finanzas y el gerente general, quienes se concentrarán en los gastos de inversión como en las relaciones beneficio costo; mientras que éstos, junto con los responsables de recursos humanos y mantenimiento, se enfocarán en los beneficios obtenidos a nivel operativo y mantenimiento, tomando en cuenta que si se implementan las mejoras para éste último, también se obtendrá un ahorro considerable.

4.7.1. Importancia del aire comprimido

El aire comprimido es el servicio del cual depende el proceso de producción y por lo tanto, es el que genera más costo para la empresa, por lo anterior, es necesario aplicar medidas correctivas y preventivas para asegurar que se está obteniendo la eficiencia esperada y evitar que se esté desperdiciando el mismo en actividades que no lo ameriten, como es el caso de las unidades de soplado para la limpieza de la ropa protectora del personal operativo, la cual puede realizarse por medios convencionales, como la asignación de un área para éste tipo de acción.

Además de esto, es indispensable que se lleven a cabo sobre el sistema de aire comprimido todas las medidas de mantenimiento preventivo como las que se describieron anteriormente para asegurar la eficiencia del sistema, y evitar de ésta manera que se provoque alguna falla que pueda afectar al proceso productivo y generar costos de mantenimiento elevados.

4.7.1.1. Punto de vista de gerencia

Tomando en cuenta que será el gerente general el que determinará la aprobación o el desacierto de la implementación, es indispensable que éste tenga una comunicación directa y efectiva con los responsables e involucrados de llevar a cabo las acciones para determinar si éstas pueden empezar a realizarse en un periodo de tiempo corto, o si es indispensable que el presupuesto sea presentado a finales de año a la casa o empresa matriz para su aprobación y se establezca la fecha en que pueden empezar a iniciarse las mismas; pero esto no quiere decir que el mencionado anteriormente no pueda aprobar aquellas actividades significativas que no generen costos elevados.

4.7.2. Propuesta factible

Para determinar la rentabilidad de un proyecto de mejora o uno nuevo deben tomarse en cuenta datos que permitan validar la implementación de éste, como lo son los gastos con los que se incurrirá para ejecutar el proyecto, como materias primas, terrenos, transportes, mano de obra, etc., además de esto, es necesario considerar el enfoque del que se obtendrán los beneficios o ahorros cuando el mismo ya esté en funcionamiento, los cuales pueden ser ahorro en el consumo de la energía eléctrica, agua, menor desperdicio de materias primas y producto terminado, e inclusive, la reducción de riesgos que afectan al personal operativo como al proceso de producción.

4.7.3. Cronograma de actividades

Refleja el tiempo necesario para llevar a cabo todas las actividades necesarias para la implementación de las mejoras al sistema de aire comprimido, tomando en cuenta como fecha de inicio el año 2011.

Figura 33. Cronograma para la implementación de mejoras al sistema de aire comprimido



Como se observa en el cronograma descrito anteriormente, es necesario aproximadamente de solamente un mes para realizar todas las propuestas de mejora al sistema de aire comprimido, tomando en cuenta el aspecto técnico, como el de las capacitaciones al personal involucrado.

4.7.4. Plan de contingencia

Generalmente cuando se quiere llevar a cabo un proyecto de implementación es predecible que algunos aspectos no sean aprobados o sea necesario aplazar su realización, sin embargo para éste caso, debe tomarse en cuenta que ante el peor escenario, es decir, que no se logre la aceptación del mismo, deben tomarse acciones que beneficiarán al sistema de aire comprimido y para las cuales no se requieran invertir, como por ejemplo, la implementación de todos los registros de mantenimiento sobre el propio sistema y el seguimiento a la forma de evitar los riesgos que el mismo genera. Caso contrario, como se describió anteriormente, si solo se otorga un pequeño porcentaje económico, es necesario cubrir los aspectos que minimicen los riesgos para el recurso humano y posteriormente al proceso productivo, como por ejemplo: la implementación de los cambios en la iluminación, la pintura industrial, los sistemas para controlar el ruido y el equipo de protección personal adecuado.

5. SEGUIMIENTO DEL PLAN DE MEJORA DEL SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO

5.1. Comparación de resultados

Se debe realizar una evaluación y comparación constante de los resultados para determinar que tan eficiente está siendo el sistema a causa de las modificaciones realizadas, tanto desde el punto de vista económico como operativo.

5.1.1. Punto de vista económico

Los beneficios esperados a consecuencia de los cambios para el nuevo sistema se pueden transferir al ahorro monetario anteriormente planteado, el cual debe estar evaluándose y comparándose mensualmente con los valores o datos que indica el registro de consumo y costos de energía eléctrica, de tal manera que, cuando se presente alguna alteración en el mismo, pueda investigarse y analizarse la causa que la esté originando y se aplique una acción correctiva factible.

5.1.2. Punto de vista operativo

Desde este punto de vista, se analizará y evaluará la reducción de riesgos de accidentes que generaron los cambios realizados, aplicando para esto indicadores de accidentes o de accidentalidad, los cuales deben ser implementados y discutidos periódicamente con el personal responsable para analizar las causas que los puedan estar alterando y estableciendo según los resultados obtenidos de los mismos mejoras a la ergonomía del operario a causa del funcionamiento del aire comprimido.

5.2. Evaluaciones frecuentes al sistema

Las evaluaciones al sistema deben de cumplir con los objetivos fijados por la empresa en la realización de éstas, de tal manera que proporcionen además de información objetiva, evidencia suficiente, competente, relevante y pertinente de las condiciones observadas. Las evaluaciones deben desarrollarse con la máxima economía, efectividad y honestidad por parte del auditor, operario o responsable de realizarlas, y apegado a la información o capacitación brindada por parte de sus superiores o responsables técnicos experimentados.

El objetivo de las evaluaciones es determinar si se está cumpliendo a cabalidad lo descrito en los procedimientos que involucren el manejo del aire comprimido, y garantizar que los resultados obtenidos se mantendrán a lo largo del tiempo.

5.2.1. Supervisiones periódicas

La implementación y seguimiento de las supervisiones es de vital importancia para el apropiado funcionamiento del sistema de aire comprimido, ya que éstas, junto con los registros respectivos, tienden a proporcionar información que beneficia a la empresa a tomar decisiones respecto a detección de fallas prematuras, reducción de costos, programación de tareas de mantenimiento y disminución de paros de producción.

5.2.1.1. Área de generación y distribución

Es indispensable que se supervisen e inspeccionen todas aquellas áreas en donde se aplica el servicio neumático, de manera que se realice un equilibrio entre la posible detección de fallas en el área de generación como en los diferentes sectores en donde se distribuye el aire comprimido.

5.2.1.1.1. Identificación de fallas

Se deben de identificar las posibles fallas que puedan provocarse no sólo en el conjunto de compresores, sino también en todos aquellos equipos que integran el sistema de generación y distribución de aire comprimido, de tal forma que se puedan estructurar listas de verificación como las descritas para el caso de los compresores enfriados por aire; y en base a éstas, facilitar las actividades de mantenimiento sobre cada uno de estos equipos, evitando así, posibles detenciones en la producción a causa del desconocimiento de las mismas.

5.2.1.1.2. Hojas de registro de fallas

La aplicación y el reporte de los registros de fallas en el sistema de aire comprimido debe de realizarse siempre que se presente alguna deficiencia o alteración en éste, y presentarse junto con la evidencia de la existencia de la misma al responsable de mantenimiento, para que éste tome la decisión de aplicar una acción preventiva o correctiva de acuerdo la gravedad de la misma y a los costos que ésta generaría si se ejecuta o no.

5.2.1.1.3. Sistemas para controlar el ruido

Los sistemas para controlar el ruido con el transcurso del tiempo tienden a deteriorarse, ya sea por el constante trabajo para el que fueron diseñados o por el medio ambiente al que están sometidos.

Es por esto que deben de revisarse periódicamente para ver que tanto han sido afectados por cualquiera de esos factores, evitando así la aparición prematura de desgaste o imperfecciones en los componentes que los integran o cualquier tipo de plagas que puedan estar estropeando la parte externa o interna de la estructura de éstos.

5.2.1.1.4. Codificación de la maquinaria

Se debe mantener continuidad en la codificación de los equipos neumáticos, tanto en los actuales, en los que sustituyan a otros y en los que se incorporen para mejorar una parte del proceso de funcionamiento del aire comprimido.

De esta manera, se seguirá llevando un mejor inventario de los equipos y se facilitarán las labores de mantenimiento, tomando en cuenta para la identificación de los mismos la guía propuesta con anterioridad.

5.3. Actualización de procedimientos

Los procedimientos de manejo del aire comprimido antes y durante su operación deben seguirse a cabalidad y ser modificados cuando la situación lo amerite, pues bien, podría ser que con que el transcurrir del tiempo sea agregada o eliminada alguna parte del proceso involucrado dentro del procedimiento, y la información tenga que ser agregada o bien descartada. Además de esto, es indispensable que el responsable de mantenimiento de *Trouw Nutrition* Guatemala esté verificando contra el mismo la efectividad con la que se está manejando el aire comprimido

5.3.1. Archivo de registros

Se deben archivar correlativamente todos los registros pertinentes que los procedimientos documentados anteriores generen, con el fin de que se muestren los resultados obtenidos o proporcionen evidencia de las actividades establecidas sobre cada uno de los equipos que éstos involucren. Es recomendable que estos registros permanezcan legibles, fácilmente identificables, puedan ser recuperables y sobre todo que sean completados correctamente.

5.4. Capacitaciones al personal responsable

Las capacitaciones en temas que describan el aire comprimido deben ser incluidas dentro del programa anual de capacitación que tenga establecido el departamento de producción, mantenimiento o calidad, ya que la información y experiencia que pueda adquirir todo aquel personal involucrado con la aplicación de este servicio beneficiará a que se tenga mayor conciencia y precaución al manejarlo.

5.4.1. Prevención de riesgos

Independientemente de la actividad que realice la empresa, siempre va a existir el riesgo de que acontezca un accidente; por lo que es indispensable se capacite al personal sobre aquellos a los que va a estar propenso cuando manipule el servicio del aire comprimido en cualquier estación de trabajo. Estos riesgos serán básicamente los que se describieron con anterioridad y para los cuales deben cumplirse las medidas preventivas establecidas a fin de lograr la reducción o minimización de estos.

5.4.2. Comentarios y opiniones acerca de la implementación de la mejora

La mejor forma de determinar que tan eficientes están siendo los cambios implementados es el de acceder a la opinión de aquellos que utilizan o manejan el aire comprimido, de manera que se pueda comprender y analizar las reacciones experimentadas a nivel personal y de procesos. Para el primer punto, analizar las mejoras que se obtuvieron en las condiciones actuales del operario, y para el segundo punto, como benefició o perjudicó la implementación a alguna fase del proceso de producción.

5.4.3. Evaluaciones acerca del manejo del sistema general de aire comprimido

A menudo se da la situación de que existe un segmento del personal operativo que no está aplicando las técnicas correctas para manejar el sistema de aire comprimido en alguna fase del proceso productivo; por lo que es indispensable se le supervise, y si es necesario, se capacite nuevamente en el área en la que presenta deficiencias o en todo el sistema en general; tomando en cuenta que este factor, según se describió anteriormente, es una de las causas de accidentes laborales, al considerarlo como un acto inseguro.

CONCLUSIONES

1. Las fallas que se presentan en el sistema de generación y distribución de aire comprimido, obligan a la empresa a ejecutar acciones correctivas; las cuales a su vez provocan: paros de producción, tiempos muertos, tiempos de ocio, reproceso de producto, entre otras. Sin embargo, con la implementación de las propuestas de mejora, se tiene previsto una reducción del 60% en las mismas, obteniendo así, un ahorro aproximado de Q. 2 880,00.
2. El cronograma de actividades de mantenimiento que se diseñó, incluye las siguientes frecuencias con que debe efectuarse: para los compresores, supervisiones mensuales, bimestrales y trimestrales; para el secador y el postenfriador, se estableció una rutina semestral; a las líneas de distribución se les asignó un servicio bimestral y una rutina trimestral en los tableros eléctricos que accionan el sistema de aire comprimido. Adicional a esto, se estableció un mantenimiento bimestral y trimestral para las tolvas de carga y descarga, mezcladoras y ensacadoras. Ambos servicios incluyen: revisión, limpieza, ajuste y búsqueda de fugas en los accesorios que están integrados a cada uno de los equipos.

3. El registro de inspección al sistema neumático se diseñó para llevar un control de las condiciones en que se encuentra el equipo que integra la red de aire comprimido antes de iniciar las operaciones. El registro de mantenimiento correctivo y preventivo se implementó para que las empresas ASI e ISM los completarán una vez terminaran el servicio para el cual fueron contactados; y el registro de fallas, se utiliza cuando durante el proceso de producción o funcionamiento del aire comprimido se genere alguna anomalía considerable que deba reportarse.
4. Como uno de los errores que se detectaron en el diseño del sistema actual de aire comprimido fue el mal anclaje de las tuberías de distribución, además de la inexistencia de mecanismos antivibratorios que eviten la rigidez de éstas al transportarse el aire comprimido; se evaluó la propuesta de incluir soportes de hierro galvanizado cada cuatro metros en las tuberías e implementar juntas de expansión flexibles en los cambios de sección, lo que genera un costo total de Q. 2 681,75; la cual de no implementarse, podría causar riesgos de explosión en las áreas en las que se aplica y/o elevar los costos de mantenimiento que se provocasen.
5. El diseño propuesto incluye la inhabilitación de las unidades de soplado, ya que la utilización de éstas no agrega valor al proceso de producción y su funcionamiento genera un costo mensual de Q 905,08; el cual puede ahorrarse para implementar las siguientes mejoras: sistemas para controlar el ruido en el área de generación y distribución (Q. 2 653,15), modificación del sistema de iluminación del área de generación (Q. 1 511,90) y señalización industrial, tanto de las áreas en que se utiliza el aire comprimido como de las tuberías por la que circula el mismo (Q. 1 181,85).

6. De acuerdo a las evaluaciones realizadas, se determinó que en la mayoría de condiciones inseguras, el nivel de riesgo que se presenta está valuado en II, lo que significa que los riesgos se pueden minimizar aplicando medidas de control eficientes. Así que, las formas que se establecieron para reducirlos son: llevar adecuadamente una supervisión periódica del mantenimiento de los equipos que integran el sistema de aire comprimido, y hacer conciencia en el personal acerca de la utilización del equipo de protección, tomando en consideración que cuentan con el mismo, pero se resisten a usarlo de forma permanente.
7. Los resultados de la evaluación al área de distribución y generación del aire comprimido reflejaron que para reducir la emisión de ruidos, es necesario implementar sistemas para controlarlos, los cuales tienen un costo total de Q. 2 653,15. Así mismo, se evaluó la posibilidad de sustituir el equipo de protección actual (Q. 6,69) por uno cuyo nivel de reducción de ruido es 30 dB; es decir; seis más que el anterior y a un costo más económico (Q. 4,50).
8. Debido a que, en el área de generación y distribución del aire comprimido se producen niveles de ruido fuera de los 90 dB permitidos; 111 dB y 98 dB respectivamente, es recomendable la implementación de mecanismos para la reducción de éstos. Se estableció para el área de generación un sistema de control de ruido de tipo panel vertical de cielo (Q. 821,55), y para el área de distribución dos tipos de dispositivos: aislamiento de los actuadores de simple efecto (Q. 497,00), y colocación de un panel de espuma acústica en la parte trasera de las líneas de producción (Q. 1 334,60).

9. El estudio financiero reflejó la factibilidad de la propuesta de mejora del sistema de generación y distribución de aire comprimido; ya que, tomando en cuenta todas las variables de decisión, se obtuvo un valor presente neto positivo (Q. 376,17) y una relación beneficio costo mayor que uno (1,03), lo que significa que por cada quetzal que se invierte, se obtendrá un beneficio del 1,03%.

10. Se elaboraron procedimientos documentados tanto para las pruebas antes de arrancar el sistema de aire comprimido como para el manejo de éste en operación. Ambos con el propósito de: primero, llevar un mejor control y seguimiento del mantenimiento o servicio a realizar en los equipos que involucran el aire comprimido; y segundo, estructurarlos para que puedan adecuarse a un sistema de gestión y así, sean aplicables al momento en que la empresa se encuentre en un proceso de certificación.

RECOMENDACIONES

1. Capacitar al personal involucrado en el funcionamiento de cada uno de los equipos del sistema de aire comprimido, para que puedan identificar la existencia de fallas que se generen en éstos, y, poder determinar así, la necesidad o no, de aplicar una acción correctiva.
2. Revisar a intervalos periódicos (trimestralmente) el cronograma de actividades de mantenimiento preventivo, para evaluar la necesidad de ampliarlo/modificarlo y comprobar que se está llevando a cabo en las fechas programadas, con las herramientas asignadas.
3. Cumplir con los lineamientos establecidos para completar los registros o formatos que involucren la supervisión al sistema de aire comprimido, de tal forma que, se le de un seguimiento a las condiciones físicas y mecánicas de cada uno de los equipos.
4. Tomar en cuenta, al realizar alguna modificación en el sistema de aire comprimido, los datos técnicos que son necesarios aplicar para la ejecución de la misma, de tal forma que, no se efectúe por una decisión subjetiva, que a largo plazo podría provocar deficiencias al mismo.
5. Evaluar periódicamente (trimestralmente) el sistema de generación y distribución de aire comprimido, para determinar si hay algún punto en el cual se puedan proponer mejoras que beneficien al transporte y utilización del aire comprimido.

6. Instruir al personal operativo acerca del uso y cuidado apropiado del equipo de protección personal y del seguimiento a los registros apropiados, para evitar cualquiera de los riesgos a los que está propenso cuando el aire comprimido está en funcionamiento.
7. Realizar estudios industriales en todas las áreas del proceso de producción para determinar la posibilidad de implementar una mejora en el mismo que beneficie tanto al propio proceso, como a la ergonomía del personal operativo.
8. Establecer una rutina de supervisión y mantenimiento al instalar los sistemas contra ruidos. Para evitar primero, o un desgaste prematuro, o la necesidad de estar sustituyendo algunos de los accesorios que forman parte de éstos.
9. Analizar todas las variables de decisión que puedan estar involucradas en un proyecto de implementación, independientemente si es al sistema de aire comprimido o no, para con base en un análisis financiero, establecer la factibilidad del mismo.
10. Realizar las actividades de pruebas antes de arrancar el sistema de aire comprimido y el manejo del mismo según lo establecido en los procedimientos, completando según la necesidad, los registros que apliquen.

BIBLIOGRAFÍA

1. BAUMEISTER, Theodore; AVALLONE, Eugene. *Manual del ingeniero mecánico*. Volumen III. México: Editorial McGraw-Hill, 1988, 2 108 p.
2. CARNICER ROYO, Enrique. *Aire comprimido*. Madrid: Editorial Paraninfo S.A., 1991, 320 p.
3. GODÍNEZ GALLO, Dinora Elizabeth. “Propuesta e implementación de un programa de análisis de riesgos y puntos críticos de control en una panificadora”. Tesis Ingeniera Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2006, 114 p.
4. GONZÁLES QUIROA, José Fernando. “Propuesta de un programa de seguridad e higiene industrial para planta de alimentos Kerns de Guatemala S.A.”. Tesis Ingeniero Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, 1998, 231 p.
5. GREENE, Richard W. *Compresores: selección, uso y mantenimiento*. 1ª Edición. México: Editorial McGraw-Hill, 1990, 298 p.
6. MAJUMDAR, S.R. *Aire comprimido: sistemas neumáticos, principios y mantenimiento*. México: Editorial McGraw-Hill, 1998, 299 p.

7. MALDONADO GÓMEZ, Marco Vinicio. "Programa de mantenimiento preventivo y correctivo para sistemas de refrigeración y aire acondicionado mecánico por compresión". Tesis Ingeniero Mecánico. Universidad de San Carlos de Guatemala, 1998, 230 p.
8. MÉNDEZ MARTÍNEZ, Víctor Manuel. "Mejoramiento de la red de aire comprimido en la planta de clavos y alambre de la empresa Aceros de Guatemala". Tesis Ingeniero Mecánico. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2005, 108 p.
9. NIEBEL, Benjamin W., FREIVALS, Andris. *Ingeniería industrial: métodos, estándares y diseño del trabajo*, 11ª edición. México: Editorial Alfaomega grupo editor S.A. de C.V., Abril 2004, 744 p.
10. RAMÍREZ CARVASSA, César. *Seguridad industrial: un enfoque integral*. 3ª edición. México: Editorial Limusa S.A. de C.V, 540 p.
11. RODRÍGUEZ GUTIÉRREZ, Ervin Joel. "Diseño de la línea de aire comprimido para herramientas neumáticas en la empresa Turbo Servicios de C.A. S.A.". Tesis Ingeniero Mecánico. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2005, 99 p.
12. ROSALER, Roberto C. *Manual de mantenimiento industrial Tomo I*. México: Editorial McGraw-Hill, 1990, 323 p.
13. SANDOVAL ESCOBEDO, Norman. "Análisis de riesgos en una fabrica dedicada a la fabricación de sopas instantáneas tipo Ramen". Tesis Ingeniero Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2003, 103 p.

14. SARAZUA DE LEÓN, Mynor Haroldo. "Análisis de costos de la fabrica de calzado Hola". Tesis Ingeniero Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2003, 74 p.

15. VIDES TOBAR, Armando. *Aire comprimido*. Editorial Piedra Santa, 1981. 151 p.

ANEXOS

ESPECIFICACIONES DEL CÓDIGO ASME PARA LA CONSTRUCCIÓN DE TANQUES A PRESIÓN.

a. GENERALIDADES

Si bien existen varias normas que son de aplicación, elaboradas por países de reconocida capacidad técnica en la materia, la norma internacionalmente más reconocida y de uso mas común, es la sección VIII Div.1 “*Pressure Vessels*” del código ASME (*American Society of Mechanical Engineers*). Esta norma, cubre el diseño, la selección de materiales, la fabricación, la inspección, las pruebas, los criterios de aprobación y la documentación resultante de las distintas etapas a cumplir.

El adquirente de un recipiente, debe informar al fabricante sus requisitos operativos (presión y temperatura) tipo y características de fluido, capacidad volumétrica, forma de sustentación, limitaciones dimensionales del lugar de emplazamiento y cualquier otra característica particular que deba ser considerada. Si se cuenta con un anteproyecto previo, podrá incluir también la especificación del material constructivo, tipo de cabezales, accesorios operativos y de inspección, nivel del control de soldaduras, terminación superficial, tolerancia por corrosión, etc.

El fabricante, que es el único responsable del cumplimiento de todos los requisitos establecidos por la norma, previo a la presupuestación, deberá verificar la viabilidad de todos los requerimientos solicitados, determinar el procedimiento y forma de realizar las soldaduras, la inspección considerada para las mismas, definir la tolerancia por corrosión aconsejable, calcular todos los espesores requeridos por las partes a presión para las condiciones de servicio y finalmente constatar la disponibilidad en el mercado de los materiales que se prevé utilizar en la construcción.

El fabricante siempre debe tratar de seleccionar materiales que puedan ser calificables bajo código ASME; deberá además, detallar tipo y forma constructiva de los cabezales, determinar el tratamiento térmico (en los casos que corresponda), las características y dimensiones requeridas para los accesorios soldados y toda otra información que pueda resultar necesaria para una correcta definición y evaluación del suministro a realizar.

Cuando el adquirente suministre la ingeniería básica, especificando los espesores requeridos, el fabricante se limitará a verificar que los espesores de cálculo, adicionada la tolerancia por corrosión, no superen los valores solicitados, ya que ésta es una responsabilidad de la que nunca podrá ser eximido, aunque los cálculos hayan sido entregados por el adquirente.

Acordada la provisión del recipiente y previo a la iniciación de su construcción, el fabricante deberá presentar al adquirente la documentación siguiente:

- Plano constructivo en formato IRAM
- Planilla de datos básicos de diseño
- Memorias de cálculo de envolvente, cabezales y demás componentes que en cada caso corresponda incluir
- Lista de materiales
- Planilla de calificación del(los) procedimiento(s) de soldadura, avalados por inspector nivelado
- Certificado de calificación de habilidad de los soldadores/operadores
- Programa de fabricación y plan de inspecciones previsto para el control de fabricación
- Documentación requerida para que, junto con los respaldos del control de fabricación, permita tramitar la aprobación del recipiente ante el ente estatal que corresponda

b. DISEÑO

La sección VIII Div1 y Div 2 del código, son parte de los denominados códigos de construcción de ASME. Los mismos contienen todo lo concerniente al diseño, la fabricación y el correspondiente control. A su vez, también hacen referencia a las fuentes de consulta sobre aspectos específicos tales como materiales, soldaduras y ensayos no destructivos, a los que se denominan códigos de referencia. Éstos son: sección II: materiales, sección V: ensayos no destructivos, sección IX: calificación de soldaduras, los que también deben ser cumplidos por los fabricantes en la medida que el código de construcción invoque determinado requerimiento y remita al código de referencia correspondiente.

Si bien, en la gran mayoría de los casos se diseña y fabrica bajo la sección VIII Div1. También se dispone de la Div 2: reglas alternativas; esta norma permite el diseño por análisis de tensiones, resultando muy necesaria para el cálculo de grandes recipientes, espesores gruesos de pared, condiciones de servicio severas, etc.

1. El criterio de diseño utilizado por la sección VIII Div 1, establece que el espesor de pared de un recipiente a presión, deberá ser tal que las tensiones generadas por la presión, no deben exceder el valor de la tensión admisible del material.
2. La tensión admisible a la tracción para cada material, resultará de dividir por 3,5 a la tensión de rotura de ese material a la temperatura de diseño.
3. No obstante que los valores de tensión de rotura que figuren en los certificados de usina o que resulten de ensayos posteriores, tengan valores por arriba del valor que para ese material y esa temperatura se establece en la Sección II, este último es a partir del cual se tomará la tensión admisible a utilizar en el cálculo.
4. La presión de trabajo máxima permitida, estará limitada por la envolvente o los cabezales y no por partes menores.
5. Los recipientes cubiertos por la sección VIII Div1, serán diseñados para las más severas condiciones coincidentes de presión y temperatura previstas para las condiciones normales de operación que le son requeridas. Consecuentemente, la presión de diseño será la máxima de trabajo admitida por el recipiente sin que se supere la tensión admisible del material en el punto más comprometido.
6. Los recipientes sometidos a presión, deberán ser diseñados para poder soportar las tensiones debidas a las cargas ejercidas por la presión interna o externa, el peso del recipiente lleno de líquido y toda otra sollicitación que agregue tensiones sobre las partes que lo componen.

7. En el caso de tanques horizontales con longitud considerable y 2 cunas de apoyo, además del peso propio y de elementos interiores, deben ser calculadas sollicitaciones generadas en los apoyos y en el centro de la luz por el peso del líquido durante la realización de la prueba hidráulica, los que suman esfuerzos de tracción en esas zonas que son las mas comprometidas.
8. En los recipientes cilíndricos verticales de altura considerable, también deberán ser verificadas las tensiones que provocan, además de la presión, otros factores tales como las cargas excéntricas, la acción del viento y las cargas sísmicas (si correspondiere); asimismo, también deben ser considerados el efecto de la temperatura si fuere el caso, la posibilidad de cargas de impacto, etc. El análisis debe concentrarse en la verificación de la condición más desfavorable, provocada por su efecto combinado. En general se acepta que los recipientes verticales de altura considerable (caso torres de destilación), deban diseñarse con espesores variables, de manera tal que bajo las condiciones de operación normales, admitan una deflexión no mayor de 6" por cada 100 pies de altura, bajo la velocidad máxima del viento tenida en cuenta para el diseño. Tolerancia por corrosión: las superficies interiores de un recipiente, al estar en contacto con el fluido, pueden estar expuestas a sufrir la pérdida de espesor por efecto de la corrosión y en el caso de movimiento de sólidos en suspensión, por erosión o abrasión mecánica. El código no permite que el espesor mínimo de la envolvente y de los cabezales (luego de conformados) de un recipiente a presión, sea menor a 1/16" (1,59 mm), excluida la tolerancia por corrosión; en todos los casos en los que se considere que ésta pudiere aparecer, se debe sumar un sobre espesor adicional al de cálculo; está establecido como recomendable, adicionar un valor del orden de 1/16", con lo cual el espesor mínimo, no debería ser menor de 1/8" (3,17 mm).

En el caso de recipientes para aire comprimido, vapor de agua o agua a presión, el espesor mínimo será de 3/32" (2,38 mm) y previéndose corrosión, no debería ser menor de 5/32" (3,97 mm). En el caso de generadores de vapor sin fuego, no será menor de 1/4" (6,35 mm) y adicionando la tolerancia por corrosión, no menor de 5/16" (7,93 mm).

9. Será responsabilidad del diseñador establecer en función del fluido y del servicio, el valor que resulte apropiado para permitir una vida útil razonable. Salvo casos especiales, los recipientes a presión deberán ser diseñados para una vida útil no menor de 15 años de operación continuada. En el caso particular de la Normativa de la Provincia de Buenos Aires, la vida útil de un recipiente habilitado, ha sido establecida en 30 años. Esto es un límite temporal válido siempre y cuando el espesor se mantenga por sobre el mínimo admisible por cálculo; cuando el valor medido resulte menor a ese mínimo, la vida útil del recipiente para operar a la presión para la que ha sido diseñado ha concluido, cualquiera sea el tiempo transcurrido desde su puesta en servicio. Como el avance real de una posible corrosión puede responder a factores que no hayan sido previstos, para no correr riesgos, la norma exige la realización del control periódico de espesores. Por lo indicado precedentemente y a los efectos de posibilitar el control periódico, los recipientes deberán contar con aberturas de inspección. Así por ejemplo, el código establece que los recipientes con diámetro interior hasta 36" deberán contar con una boca de hombre o 2 coplas de 2" c/tapón roscado. Los diámetros mayores de 36" siempre deberán contar con boca de hombre con diámetro mayor o igual a 16"; lo aconsejable es utilizar 18 ó 20". Cuando exista seguridad de que el fluido no es corrosivo, la boca de hombre podrá ser obviada.

c. FABRICACIÓN

1. Alcance del suministro: Es criterio generalizado entre los adquirentes de recipientes a presión que conocen y exigen la aplicación de normas internacionales, incluir en su requerimiento el alcance siguiente:

- Recipiente completo construido conforme a las especificaciones técnicas particulares y generales incluidas en la documentación del pedido de cotización, más aquellas cuya definición ha sido asignada al proveedor, todo lo cual constará en la oferta de éste y será aceptada por el adquirente por medio de la correspondiente orden
- El suministro, como mínimo alcanza hasta los elementos de conexión externa vinculados por soldadura al recipiente, tal como lo son las conexiones bridadas y roscadas
- Bocas de inspección o control tales como entrada de hombre, entrada de mano y cualquier otro tipo de abertura para esas finalidades. En todos los casos se entiende con las correspondientes tapas ciegas y juntas
- Aditamentos externos requeridos para la sustentación del recipiente, tales como cunas, patas, faldones bridados, etc.
- Aditamentos internos indicados en planos como soldados directamente al interior de la envolvente
- Elementos necesarios para el transporte y movimientos, tales como orejas o cáncamos de izaje, rigidizadores, etc
- Bulones y juntas adicionales para ser utilizadas en las pruebas
- Procedimientos de soldadura calificados por especialistas nivelados y soldadores con habilidad certificada y vigente

- Pruebas y ensayos requeridos por norma, tales como: prueba hidráulica, tratamiento térmico en los casos en que fuera requerido, radiografiado de soldaduras y todo otro ensayo no destructivo que hubiere sido preestablecido o que a criterio del inspector del adquirente, resultara procedente para evaluar posibles defectos de fabricación
- Placa de Identificación del recipiente, con los datos de norma y su correspondiente soporte
- Trabajos de limpieza y pintura de todas las superficies exteriores ó revestimientos interiores que se hubieren acordado
- Preparación para el transporte, carga sobre camión en el taller del fabricante y transporte hasta la planta del adquirente si así hubiere sido acordado
- Todo otro suministro que, aunque no estuviere explícitamente indicado, resulte necesario para una fabricación acorde a la norma constructiva aplicada y a las mejores reglas del arte

2. Detalles constructivos:

- El fabricante deberá desarrollar los planos constructivos necesarios a partir de la documentación de diseño
- Las envolventes deberán ser roladas con un diámetro coincidente con el de transición de los cabezales
- En recipientes con cabezales de diferente espesor que la envolvente se efectuará la transición de espesores sobre el exterior del recipiente. La longitud de transición nunca será menor que 3 veces la diferencia de espesores
- Los cordones longitudinales de las envolventes serán ubicados de manera de no ser afectados por aberturas, placas de refuerzo, cunas de apoyo, y permanecer perfectamente visibles

- Para los cordones circunferenciales son válidas las mismas consideraciones pero, si una interferencia es inevitable, el cordón será rebajado al nivel de la chapa y examinado radiográficamente previo a la colocación del refuerzo
- No se permitirá ninguna conexión roscada directamente sobre la envolvente o cabezales, cualquiera que fuese su espesor
- Toda conexión que no se prolongue hacia el interior del tanque, terminará al nivel de la cara interna y la soldadura se efectuará con penetración completa
- Los refuerzos de conexiones y entradas de hombre, deberán ser calculados conforme lo especifica el código. El material del refuerzo será el mismo tipo de acero que el utilizado en el recipiente
- Los bordes interiores de las entradas de hombre o de mano, serán amoladas con un radio mínimo de 6 mm
- Para conexiones de \varnothing 2" o menores, es recomendable la utilización de coplas o medias coplas forjadas de serie 3000 como mínimo; las de 2 1/2" y mayores deberán ser bridas de tipo SORF de Serie 150 como mínimo y para servicios de mayor presión, el tipo WNRF de la Serie que corresponda. Los cuellos de conexión para diámetros menores a 1 1/2" serán sch 80 y la conexión al cuerpo se realizará mediante accesorios socked weld
- Todos los agujeros para los bulones de bridas, quedarán a horcajadas de los ejes principales del recipiente, salvo especificación en contrario
- Los recipientes horizontales con 2 cunas de apoyo soldadas al cuerpo, deberán tener el anclaje de una de ellas con correderas para permitir la dilatación por temperatura
- Los recipientes de acero inoxidable podrán contar con medios de sustentación contruidos en acero al carbono, siempre que se suelden a placas externas del mismo material del cuerpo, soldadas previamente

- Los tanques verticales podrán ser sustentados mediante patas soldadas a refuerzos convenientemente ubicados en la envolvente o cabezal inferior o mediante faldón provisto de silletas de anclaje o brida

3. Soldaduras:

- El fabricante no podrá comenzar a soldar hasta que el procedimiento de soldadura calificado y la habilidad del soldador/operador, sean aprobados por la inspección del adquirente
- Todas las soldaduras se realizarán en un todo de acuerdo con las normas AWS (*American Welding Society*) en cuanto a los materiales de aporte utilizados y con el código ASME Sección VIII y IX en lo referente a métodos y procedimientos de soldadura
- Para la soldadura de envolvente y casquetes se utilizará la forma “a tope” de penetración y fusión completa. El procedimiento de soldadura más moderno, seguro y rápido es el de arco sumergido (S.A.W) o soldadura automática
- Una de las prácticas más comunes para soldadura de ambos lados es, con bisel en X (2/3 ext. /1/3 int.), realizando desde la cara interna la soldadura que hará de respaldo al S.A.W. Este respaldo, se realizará mediante procedimiento manual con electrodo revestido (S.M.A.W.), efectuando las pasadas necesarias s/espesor (s) o bien con semiautomática de alambre macizo (G.M.A.W.) o tubular (F.C.A.W), en ambos casos con el modo de transferencia globular. Posteriormente, repelada la raíz, se efectuarán las pasadas externas de S.A.W. que sean necesarias para completar la soldadura

- Si no es posible el acceso al interior del tanque, se utilizará bisel del tipo “V”, para soldar totalmente desde el exterior. Para este tipo de soldadura, es imprescindible utilizar un procedimiento adecuado que asegure la completa penetración; a este efecto, la raíz se efectuará preferentemente con el procedimiento TIG (G.T.A.W.) o bien con S.M.A.W, utilizando el clásico electrodo celulósico 6010. Eventualmente se podrá colocar un anillo interno de respaldo que quedará incorporado en forma permanente a la soldadura al soldar desde el exterior con el S.A.W. o con otro procedimiento. En todos los casos, los procedimientos, siempre deberán estar calificados bajo ASME IX. Las restantes uniones menores (conexiones, refuerzos, etc.) podrán realizarse con S.M.A.W o G.M.A.W., utilizando material de aporte acorde a lo especificado por A.W.S.
- Para cada forma y tipo de junta que se adopte y según sea el grado de control radiográfico que se efectúe, el código ASME establece el valor de la eficiencia de junta E que interviene en el denominador de la fórmula de cálculo del espesor de pared del recipiente. Para el mismo tipo de junta, a mayor control mayor será el E permitido y consecuentemente, menor será el espesor mínimo requerido

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos3/recip/recip.shtml>