



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

**DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE COMPRESORES Y LÍNEA NEUMÁTICA
SEGÚN LA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DE LA PRODUCCIÓN, PARA INHSA, MOLINOS
MODERNOS**

Carlos Eduardo Salvatierra Portocarrero
Asesorado por el Ing. José Manuel Prado Abularach

Guatemala, agosto de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE COMPRESORES Y LÍNEA NEUMÁTICA
SEGÚN LA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DE LA PRODUCCIÓN, PARA INHSA, MOLINOS
MODERNOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CARLOS EDUARDO SALVATIERRA PORTOCARRERO
ASESORADO POR EL ING. JOSÉ MANUEL PRADO ABULARACH

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, AGOSTO DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Cristhian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Juan José Peralta Dardón
EXAMINADORA	Inga. Sigrid Alitza Calderón de León
EXAMINADORA	Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE COMPRESORES Y LÍNEA NEUMÁTICA SEGÚN LA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DE LA PRODUCCIÓN, PARA INHSA, MOLINOS MODERNOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, en noviembre 2009.

Carlos Eduardo Salvatierra Portocarrero

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por ser todo para mí, llenarme de su amor, aceptarme como hijo y darme nueva vida, ser mi refugio en momentos difíciles, ser fiel a sus promesas colmándome de sabiduría para alcanzar tantas victorias para su gloria.

Mis padres

Carlos Salvatierra y Consuelo Portocarrero, por su gran esfuerzo y ejemplo, su apoyo incondicional desde el momento que nací, esforzándose para darme siempre lo que necesité, por demostrarme su amor y apoyo en cada momento de mi vida.

Mi esposa

Sindy Andrea Alvarez Argueta, mi ayuda idónea a través de todas sus virtudes, por su amor y ternura, por ser la bendición más grande que Dios me dio.

Mis hijos

Luis Alejandro y Carlos Benjamín Salvatierra Alvarez, los tesoros que Dios me dio, motivo de lucha e inspiración que me impulsan a ser cada día mejor.

Mis hermanos

Luis Alberto, Heyner Alejandro Salvatierra Portocarrero y Juan Carlos Salvatierra Santos, los mejores compañeros y amigos de mi vida, fuente de ejemplo y admiración.

Mis primos hermanos

Geany, Sonia y Yubitza Caal Portocarrero; Oswaldo, Elvira, Deivi y Heidi Sagastume Portocarrero; por estar a mi lado en todo momento y mostrarme su buen ejemplo y apoyo.

Mis amigos

Por los que han estado conmigo desde varios años, que me han demostrado el verdadero valor de la amistad y por ayudarme a salir en diversos problemas que he atravesado. Por todos lo que me han ayudado a concluir mis estudios Universitarios.

Iglesia Monte Horeb

Por su apoyo espiritual, por presentarme a Jesucristo como señor y salvador e instruirme en sus caminos.

AGRADECIMIENTOS A:

Mi asesor

Ing. José Manuel Prado Abularach por compartir sus conocimientos, ser paciente y brindarme su ayuda desinteresadamente.

Facultad de Ingeniería

Por darme la formación académica para desarrollarme como persona y como profesional.

La Empresa

INHSA, Molinos Modernos, por su colaboración para la realización del presente trabajo, especialmente al departamento de mantenimiento dirigido por el Ing. Alberto Fishbac

	1.1.10.1.3.	Distintas secciones relacionadas con aire comprimido.....	16
1.2.		Estudios de la planeación y control de la producción e inventarios actuales.....	17
	1.2.1.	Descripción del sistema de producción continua.....	19
	1.2.2.	Capacidad actual de producción por producto en toneladas.....	21
	1.2.3.	Sistema de aprovisionamiento de materia prima.....	21
	1.2.3.1	Pronóstico de ventas	24
	1.2.4.	Planeación de la producción	28
	1.2.5.	Control de la producción.....	31
	1.2.6.	Planeación y control de inventarios de producto terminado	32
	1.2.7.	Sistema de distribución	35
2.		SITUACIÓN ACTUAL DE LA GENERACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO	37
	2.1.	Generalidades de la red de aire comprimido en INHSA.....	37
	2.2.	Compresores existentes para la generación de aire comprimido.....	38
	2.2.1.	Características técnicas de los compresores	43
	2.3.	Distintos depósitos existentes para almacenamiento de aire	44
	2.4.	Áreas de consumo y alimentación de aire comprimido	46
	2.4.1.	Distintas aplicaciones de uso de aire comprimido por áreas	47
	2.4.2.	Demanda de presión requerida a las distintas aplicaciones y horarios con demandas máximas	60
	2.5.	Evaluación del diseño actual de la red de aire comprimido.....	71
	2.5.1.	Deficiencia de la red de aire comprimido actual	73

2.5.2.	Estudio de Pareto para el análisis de causa y efecto de aire comprimido en funcionamiento deficiente	74
2.5.3.	Daños ocasionados por fallas de los compresores actuales	76
2.5.4.	Consumo de energía eléctrica	77
2.5.5.	Demanda de aire comprimido	80
2.5.6.	Tubería para la distribución de aire comprimido	81
2.5.6.1.	Accesorios de las distintas tuberías.....	84
2.5.6.2.	Longitud equivalente de la tubería	86
2.5.6.3.	Diámetro de la tubería	94
2.5.7.	Utilización de ultrasonido industrial para la inspección de fugas de aire comprimido.....	100
2.5.8.	Caudal de circulación de aire comprimido	104
2.5.9.	Pérdida de presión.....	105
2.5.10.	Puntos de estrangulación	108
2.5.11.	Tipo de mantenimiento general en los compresores	110
2.5.12.	Unidades de mantenimiento	111
2.5.12.1.	Distintos filtros de aire.....	113
2.5.12.2.	Válvulas reguladoras	114
2.5.12.3.	Lubricantes	116
2.6.	Evaluación del diseño actual de la red de aire comprimido en el molino B de la planta	118
2.6.1.	Diagrama de flujo y proceso en el área de premezclas	142
2.6.2.	Uso y aplicación de aire comprimido en labores generales de mantenimiento.....	144
2.7.	Problemas encontrados en la red de aire comprimido.....	150

3.	PROPUESTA PARA EL MOLINO B DE LA PLANTA DE HARINA.....	171
3.1.	Información necesaria para la selección de los compresores .	171
3.1.1.	Cálculo de la demanda de aire comprimido	173
3.1.2.	Capacidad de aire por producir	178
3.1.3.	Demanda de presión	183
3.1.4.	Servicio de mantenimiento necesario para eliminar pérdidas de presión	184
3.1.5.	Consumo de energía eléctrica.....	186
3.1.6.	Diseño de la instalación, consumo y aire en las distintas partes del proceso	189
3.2.	Diseño de la red de distribución	190
3.2.1.	Cálculo de la tubería para la red de distribución principal	192
3.2.1.1.	Cálculo de la longitud de la tubería	197
3.2.1.2.	Cálculo del diámetro de la tubería	198
3.2.1.3.	Cálculo del tipo de soporte y sus respectivas distancias	200
3.2.1.4.	Cálculo de la pendiente de la tubería de aire	202
3.2.2.	Cálculo del depósito de almacenamiento de aire comprimido	205
3.2.3.	Cálculo de purgas necesarias	209
3.2.4.	Cálculo de los accesorios necesarios para la instalación	212
3.3.	Selección del compresor	213
3.3.1.	Investigación de compresores a la venta en el mercado nacional	218
3.3.2.	Vida útil de los compresores	222
3.3.3.	Eficiencia de los distintos compresores	223

3.3.4.	Potencia y capacidad de los compresores.....	232
3.4.	Unidad de mantenimiento del equipo neumático	232
3.4.1.	Condensador de humedad	234
3.4.2.	Filtros de aire requeridos	238
3.4.3.	Válvula reguladora de presión necesaria para la instalación.....	242
3.4.3.1.	Selección de la válvula idónea para las distintas aplicaciones	243
3.4.4.	Manómetros de Bourdon necesarios	245
3.4.5.	Lubricantes necesarios	246
3.5.	Análisis y mejoras de la planeación y control de la producción	247
3.5.1.	Deficiencias del sistema de actual de aire comprimido, en la producción	248
3.5.2.	Efectos del nuevo sistema de aire comprimido en el proceso de producción.....	252
3.5.3.	Capacidad actual de producción versus cantidad de producto demandado	253
3.5.4.	Beneficios del nuevo sistema de aire comprimido en ventas, producción e inventarios.....	254
3.5.5.	Ahorro de energía y confiabilidad de los nuevos compresores al sistema de producción.....	255
3.6.	Análisis financiero del proyecto	257
3.6.1.	Tasa interna de retorno de la inversión.....	259
3.6.2.	Cálculo del presupuesto total del proyecto	261
3.6.2.1.	Cotización de maquinaria a instalar	264
3.6.2.2.	Costo inicial del equipo y accesorios ...	265
3.6.2.3.	Costo de mano de obra directa e indirecta	266

	3.6.2.4.	Cálculo de ahorro de energía eléctrica y factores de potencia	267
	3.6.2.5.	Costo de mantenimiento.....	269
	3.6.2.6.	Ventajas de la nueva propuesta y superación de los problemas encontrados.....	272
4.		MONTAJE E INSTALACIÓN DE COMPRESORES Y LÍNEA DE AIRE COMPRIMIDO	273
4.1.		Realizar un plano de la instalación, para el acomodamiento óptimo de los distintos equipos	273
	4.1.1.	Posición idónea de la línea neumática por instalar	274
	4.1.2.	Ubicar en un plano la tubería e instalación de aire comprimido	277
4.2.		Instalación del compresor seleccionado.....	278
	4.2.1.	Selección de la ubicación de los compresores y su respectivo depósito de almacenamiento	280
	4.2.2.	Cimentación	285
	4.2.3.	Colocación de anti vibratorios en el montaje del compresor	288
4.3.		Instalar los distintos accesorios para las tuberías	291
	4.3.1.	Identificación de las piezas y los elementos	293
	4.3.2.	Verificar la calidad de los accesorios	294
	4.3.3.	Instalación.....	294
4.4.		Recursos disponibles para la instalación de equipos	297
4.5.		Programa de mantenimiento general de los compresores	299
	4.5.1.	Mantenimiento diario	300
	4.5.2.	Mantenimiento semanal	301
	4.5.3.	Mantenimiento mensual	302

4.5.4.	Mantenimiento anual.....	305
4.5.5.	Mantenimiento de accesorios utilizados	308
4.5.5.1.	Mantenimiento de las tuberías de la red de aire comprimido	310
4.5.5.2.	Mantenimiento de válvulas y accesorios.....	310
4.6.	Localización de fugas y fallas en el sistema de aire comprimido	311
5.	SEGUIMIENTO, MEJORA CONTINUA.....	323
5.1.	Responsabilidad social de la empresa	323
5.1.1.	Propósito	324
5.1.2.	Alcance	324
5.1.3.	Responsabilidad con la sociedad dentro de la empresa.....	326
5.2.	Plan de seguridad e higiene industrial, en las aplicaciones de aire comprimido	326
5.2.1.	Acto y condición insegura en las instalaciones de aire.....	332
5.2.2.	Inspección de todos los componentes y equipos antes y después del arranque.....	335
5.3.	Programa de capacitación al personal encargado del cuidado y mantenimiento de los compresores y aire comprimido	336
5.3.1.	Misión, visión y valores para los trabajadores	337
5.3.1.1.	Cumplimiento del código de conducta o de ética	340
5.3.2.	Cultura de trabajo bien realizado, puntualidad y cuidado de equipo.....	342

CONCLUSIONES..... 343
RECOMENDACIONES 345
BIBLIOGRAFÍA..... 347

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación actual de la planta INHSA, Molinos Modernos	3
2.	Estructura organizacional de Molinos Modernos	9
3.	Estructura organizacional del departamento de mantenimiento	13
4.	Flujo de procesos de molienda de trigo	20
5.	Ingreso de trigo a puertos guatemaltecos.....	22
6.	Almacenamiento de trigo a través de silos	22
7.	Sistema de transporte de trigo.....	23
8.	Sistema de descarga de trigo	23
9.	Maquinaria de producción que utiliza aire comprimido	38
10.	Compresores de INHSA, Molinos Modernos	39
11.	Secadores de aire de INHSA, Molinos Modernos.....	40
12.	Cuarto de compresores INHSA	41
13.	Tanque de almacenamiento instalado de INHSA.....	45
14.	Cilindros neumáticos	48
15.	Válvula desviadora MAYH, de INHSA	49
16.	Características de válvula desviadora MAYH.....	50
17.	Báscula de harina	51
18.	Bancos de molienda de trigo de INHSA	52
19.	Extractor de muestras.....	53
20.	Dosificador de trigo.....	54
21.	Dosificador de vitaminas, de IHNSA.....	55
22.	Regulador automático de humedad, de IHNSA.....	55

23.	Línea de envasado Intalpack de premezclas	56
24.	Línea de sellado de bolsas Bosch SVB2510	57
25.	Tubería de aire comprimido para el molino B.....	59
26.	Circuito de generación de aire comprimido en cuarto de compresores.....	72
27.	Estudio causa y efecto de deficiencias en la red de aire comprimido.....	75
28.	Resumen gráfico del consumo de aire comprimido	80
29.	Nomenclatura de tubería de aire comprimido.....	88
30.	Nomenclatura de tubería de aire comprimido (tubería principal)	89
31.	Ultraprobe 10 000.....	101
32.	Espectro de sonido para monitoreo de equipos	102
33.	Módulo de largo alcance	103
34.	Transductor magnético.....	104
35.	Nomenclatura para monitoreo de consumos de aire comprimido.....	106
36.	Válvula de estrangulamiento con antirretorno	109
37.	Válvula de estrangulamiento con antirretorno programable	109
38.	Unidades de mantenimiento neumático	112
39.	Filtros de aire comprimido	113
40.	Regulador de presión con orificio de escape.....	115
41.	Funcionamiento de un lubricador	117
42.	Red de aire comprimido en premezclas	118
43.	Resumen de consumo de aire comprimido en premezclas.....	129
44.	Nomenclatura utilizada para cálculo de pérdida de presión	131
45.	Pérdida de presión en tuberías de conducción neumática	138
46.	Diagrama de flujo para proceso de mezclado	142
47.	Diagrama de recorrido para el proceso de mezclado.....	143

48.	Gráfica de consumo comprimido de boquillas de chorro libre.....	145
49.	Tabla de consumo de aire comprimido de boquillas de chorro libre.....	145
50.	Tubería de aire comprimido en molino en INHSA B	152
51.	Tubería de aire comprimido en molino B	153
52.	Tubería de aire comprimido en molino B, (distribución 1).....	155
53.	Tubería de aire comprimido en molino B, (distribución 2).....	156
54.	Tubería mejorada de aire comprimido sección T cinco	157
55.	Red de aire comprimido sección general INHSA B	159
56.	Red mejorada de aire comprimido sugerida	161
57.	Red mejorada de aire comprimido en sótano INHSA B.....	162
58.	Modificaciones sugeridas en la red de aire comprimido sótano y nivel uno de INHSA B	163
59.	Modificaciones en la red de aire comprimido del INHSA vista isométrica	164
60.	Circuito cerrado de aire comprimido de premezclas.....	165
61.	Circuito cerrado de aire comprimido de premezclas sección F uno	167
62.	Circuito cerrado de aire comprimido mejorado para premezclas	168
63.	Data Logger ADA (Registrador de datos ADA).....	175
64.	Kilowatímetro trifásico.....	176
65.	Transductor de presión.....	176
66.	Optoacopladores para carga/vacío.....	177
67.	Anemómetros para entrega de aire FAD	178
68.	Modelo de lectura de gráficas ADA	180
69.	Especificaciones de aire en compresor Sullair 11 - 50 H.....	180

70.	Especificaciones de aire en compresor Ingersoll Rand EP 30	181
71.	Especificaciones de aire en compresor Sullair LS 100 30 H...	182
72.	Demanda total de aire comprimido de Molinos Modernos	182
73.	Demanda de presión total de la red de aire comprimido	184
74.	Presión de trabajo de la red de aire comprimido	185
75.	Consumo energético de la red de aire comprimido	187
76.	Energía específica total de la red de aire comprimido.....	187
77.	Semana de promedio, para el cálculo de CFM y KW.....	188
78.	Red de aire comprimido de INHSA	189
79.	Sala de compresores	194
80.	Instalación de equipos en un cuarto de compresores	196
81.	Instalación de equipos en cuarto de compresores	200
82.	Estado actual de los soportes de tuberías aéreas.....	202
83.	Altura en metro de la tubería de aire comprimido de INHSA B.....	204
84.	Depósito de aire comprimido.....	208
85.	Purga automática	211
86.	Compresor de tornillo Kaeser.....	218
87.	Compresor de tornillo rotativo con inyección de aceite	219
88.	Compresores de tornillo con regulador dinámico de aspiración.....	220
89.	Compresor de tornillo CBS.....	221
90.	Compresor de tornillo Bottarini.....	222
91.	Eficiencia de compresores Kaeser	224
92.	Rendimiento específico y velocidad de la unidad de compresión.....	225
93.	Características de compresores Kaeser	226

94.	Eficiencia optimizada de compresores	228
95.	Descripción técnica del compresor ASD40s	229
96.	Compresor de tornillo AS.....	230
97.	Descripción técnica del compresor AS 20 125 PSI SCB Trivoltaje.	231
98.	Unidad de mantenimiento existente en INHSA B	233
99.	Drenaje de condensado ECO-DR. 13 115VAC Kaeser	234
100.	Drenaje de condensado ECO-DR. 13 115VAC Kaeser	236
101.	Operación del drenaje de condensado	237
102.	Filtros y separadores de alto rendimiento	238
103.	Característica y beneficios de los filtros de alto rendimiento ...	240
104.	Válvula de aire comprimido	244
105.	Usos de manómetros de Bourdon en la nueva instalación	245
106.	Consumo y presión durante todo el periodo de medición	251
107.	Consumo y presión continua durante el periodo de medición .	252
108.	Costos anuales de electricidad con compresores actuales ...	255
109.	Costos anuales de electricidad con compresores Kaeser	256
110.	Presupuesto de maquinaria	264
111.	Presupuesto de equipos y accesorios	265
112.	Costos energéticos anuales con equipos actuales	267
113.	Costos energéticos anuales con compresores nuevos.....	268
114.	Circuito para instalar en sala de compresores, INHSA B	273
115.	Tanque de almacenamiento Kaeser	274
116.	Compresores de tornillo helicoidal.....	275
117.	Secador de aire Frigorif TD 76.....	275
118.	Diseño de la instalación actual del cuarto de compresores	276
119.	Diseño mejorado del cuarto de compresores	278
120.	Instalación correcta del tanque de almacenamiento de aire Capacidad media tipo vertical.....	282

121.	Instalación correcta del tanque de almacenamiento de aire tipo horizontal	282
122.	Instalación correcta de tanque de almacenamiento de aire Con pedestal convexo	283
123.	Proceso de instalación del tanque de aire.....	284
124.	Ubicación de compresores y tanque de almacenamiento	285
125.	Detalle de esfuerzos sobre estructura de compresores	287
126.	Anti vibratorio de goma de metal.....	289
127.	Anti vibratorio de muelles estándar	290
128.	Anti vibratorio de muelles con cargas elevadas	290
129.	Accesorios y tuberías de aire comprimido.....	291
130.	Instalación de tubería de aire comprimido.....	291
131.	Diseño final del cuarto de compresores	292
132.	Tuberías y accesorios en la instalación actual	292
133.	Instalación de tuberías de aire comprimido	293
134.	Diseño final del cuarto de compresores	297
135.	Tuberías y accesorios de aire comprimido.....	298
136.	Tuberías y accesorios en la instalación actual de aire comprimido.....	298
137.	Soporte y cimientos.....	299
138.	Fuga de aire comprimido.....	313
139.	Detalle de la fuga de aire comprimido	319
140.	Descripción de fuga de aire comprimido a través de planos ...	319
141.	Descripción de fuga de aire comprimido reparadas	320
142.	Localización de fugas de aire comprimido	320
143.	Localización de fugas de aire comprimido INHSA B	321

TABLAS

I.	Descripción de productos de INHSA, según el tipo y familia	8
II.	Descripción de productos de premezclas INNHSA, según el tipo y familia.....	15
III.	Distribución de la red de aire comprimido.....	17
IV.	Guatemala: grado de participación en el mercado de las principales empresas molineras de trigo.	26
V.	Guatemala: importación de trigo por periodos anuales	26
VI.	Pronóstico de ventas para el año 2016	27
VII.	Programa semanal de producción por derivado de trigo para el primer periodo de ventas del año 2016.....	29
VIII.	Planeación de la producción proyectada para el año 2016	30
IX.	Control de la producción por turnos diarios	31
X.	Control de cambio de silos.	32
XI.	Control de procesos.....	32
XII.	Clasificación ABC según su movimiento en ventas	34
XIII.	Descripción de los distintos compresores de INHSA, Molinos Modernos.....	38
XIV.	Compresor reciprocante de mantenimiento.....	42
XV.	Maquinaria de la sala de compresores de IHNSA	43
XVI.	Tanque de almacenamiento actual.....	45
XVII.	Maquinaria que requiere aire comprimido	58
XVIII.	Tabla de demanda de aire en cilindros neumáticos.....	62
XIX.	Cálculo de consumo de aire comprimido de máquina MWEE ...	63
XX.	Cálculo de consumo de aire comprimido de máquina MWEG-2.....	64
XXI.	Cálculo de consumo de aire comprimido de máquina MWEE-2	64

XXII.	Consumo de aire comprimido de compuerta de paso	65
XXIII.	Consumo total de aire comprimido en INHSA	65
XXIV.	Consumo total de CFM en INHSA, molino B.....	65
XXV.	Consumo de aire comprimido total en INHSA, B.....	68
XXVI.	Consumo de aire comprimido considerando promedio de utilización.....	69
XXVII.	Características técnicas de compresores	77
XXVIII.	Consumo energético de compresores de funcionamiento simultáneo.....	79
XXIX.	Detalle de tuberías y accesorios instalados	82
XXX.	Cantidad de accesorios y longitud de tuberías instaladas.....	86
XXXI.	Pérdida de presión de aire	87
XXXII.	Cálculo de longitud equivalente tubería principal	90
XXXIII.	Cálculo de longitud equivalente tubería secundaria uno	91
XXXIV.	Cálculo de longitud equivalente total tubería secundaria uno ...	91
XXXV.	Longitud equivalente instalada.....	92
XXXVI.	Cálculo de pérdida de presión en tuberías.....	95
XXXVII.	Pérdida de presión de aire comprimido en el sistema.....	98
XXXVIII.	pérdida de presión total correspondiente a la tubería principal, secundaria y de servicio.....	107
XXXIX.	Consumo de aire de máquina Intalpack	121
XL.	Consumo de aire comprimido de máquina Bosch MK-2510 ...	122
XLI.	Consumo de aire comprimido de máquina EMZO MK-100.	122
XLII.	Consumo de aire comprimido de máquina mezcladora M-300	123
XLIII.	Consumo de aire comprimido de cilindros neumáticos de rechazo	123
XLIV.	Consumo de aire en labores de limpieza	124
XLV.	Consumo de aire en área de premezclas.....	124

XLVI.	Cálculo de CFM en área de premezclas.....	125
XLVII.	Consumo de aire comprimido en equipos de premezclas	126
XLVIII.	Costo de utilización de consumo de aire comprimido en equipos de premezclas	128
XLIX.	Cálculo de longitud equivalente	132
L.	Cálculo de longitud equivalente	134
LI.	Caída de presión en el área de premezclas	135
LII.	Tubería de servicio de premezclas	139
LIII.	Pérdida de presión encontrada en cada una de las tuberías de servicio de premezclas.	140
LIV.	Pérdida de presión total	141
LV.	CFM registrados con equipo ultrasónico a través de la presión y decibeles para limpieza de equipos con boquillas ...	146
LVI.	Costo de utilización de boquilla encontrado a través de Equipo ultrasónico	147
LVII.	Horario de utilización de aire comprimido para limpieza.....	148
LVIII.	Tiempo de utilización de aire comprimido para limpieza por máquina	148
LIX.	Costo total por limpieza con aire comprimido	150
LX.	Consumo de aire comprimido en las distintas áreas de distribución de INHSA B.	154
LXI.	Compresores existentes en INHSA	179
LXII.	Consumo de aire comprimido en toda la planta	190
LXIII.	Longitud equivalente de cuarto de compresores	197
LXIV.	Volumen de depósito de aire comprimido.....	206
LXV.	Accesorios necesarios para la instalación de nuevos compresores	213
LXVI.	Equipos nuevos para diseño del cuarto de compresores	223
LXVII.	Potencia y capacidad de los compresores.....	232

LXVIII.	Inversión del proyecto	258
LXIX.	Depreciación total.....	259
LXX.	Cálculo de TIR.....	260
LXXI.	Presupuesto total del proyecto.....	263
LXXII.	Costo de equipos y accesorios.....	266
LXXIII.	Costo mensual de contrato de mantenimiento	269
LXXIV.	Mantenimiento diario general de los compresores	300
LXXV.	Mantenimiento semanal general de los compresores	301
LXXVI.	Mantenimiento mensual general de los compresores	302
LXXVII.	Cambio de aceite de compresor AS 20.....	303
LXXVIII.	Mantenimiento de compresor ASD 40S	303
LXXIX.	Mantenimiento anual de compresor ASD 40S.....	304
LXXX.	Mantenimiento anual de compresor ASD 20.....	305
LXXXI.	Mantenimiento anual de compresor ASD 20.....	306
LXXXII.	Mantenimiento anual de compresor ASD 40S.....	307
LXXXIII.	Servicio de unidad de mantenimiento.	309
LXXXIV.	Servicio de mantenimiento a tuberías de aire comprimido.....	310
LXXXV.	Mantenimiento de válvulas y accesorios de aire comprimido..	311
LXXXVI.	Cálculo del costo de energía eléctrica, para producir 1000ft ³ .	312
LXXXVII.	Costo en \$ para distintas combinaciones de compresores.	312
LXXXVIII.	Descripción de fugas de aire comprimido INHSA A.	314
LXXXIX.	Descripción de fugas de aire comprimido INHSA B.	315
XC.	Descripción de fugas de aire comprimido INHSA A empaque.	317
XCI.	Descripción total de fugas de aire comprimido.....	318
XCII.	Simbología de seguridad industrial para uso de equipos de aire comprimido.....	330
XCIII.	Plan de capacitación.	336
XCIV.	Material de evaluación módulo 1	339

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
dB	Decibeles
p	Densidad
FR	Filtro regulador
FRL	Filtro regulador lubricador
°c	Grados centígrados
h	Horas
PSI	Libras por pulgadas cuadradas
m³	Metros cúbicos
Min	Minutos
CFM	Pies ³ /min
%	Porcentaje
P	Presión
Q	Quetzales
Seg.	Segundo

GLOSARIO

Aire	Mezcla de gases que constituye la atmósfera terrestre, que permanecen alrededor de la tierra por la acción de la fuerza de gravedad.
Aire comprimido	Uso del aire que ha sido sometido a presión por medio de un compresor.
Aire estándar	Aire a condiciones estándar especificadas de temperatura, presión y humedad.
Aire libre	Aire a condiciones atmosféricas en cualquier lugar específico. Dado que la altitud, presión barométrica, temperatura y humedad relativa pueden variar en diferentes lugares, de ello se desprende que un pie cúbico de aire libre será siempre un pie cúbico, pero su temperatura, densidad (peso) y composición pueden variar.
Aire seco	Aire cuyo contenido de vapor de agua es cero o despreciable.

Caudal de aire	Es un concepto fundamental en todas las instalaciones de ventilación dado que nos indica la cantidad de aire que estamos renovando en una vivienda, local, oficina, industria, entre otros.
Compresor	Es una máquina de fluido que está construida para aumentar la presión y desplazar cierto tipo de fluidos llamados compresibles, tal como los gases y los vapores.
Comprimido	Medido como volumen suministrado por el compresor por unidad de tiempo.
Neumática	Generación, almacenaje y utilización de aire comprimido para el control de máquinas y otros elementos sometidos a movimiento.
Presión	Son los efectos de una fuerza que actúa distribuida sobre una superficie, la fuerza ejercerla un sólido, un líquido o un gas.
Presión absoluta	Suma de presión atmosférica más la presión manométrica.
Presión atmosférica	La presión que ejerce la atmósfera sobre la superficie terrestre que no es constante en todos los puntos por la altitud.

**Presión
manométrica**

Presión que se registra dentro de un sistema.

Ultrasonido

Son ondas acústicas cuya frecuencia está por encima de la capacidad de audición del oído humano.

RESUMEN

El uso del aire comprimido es muy común en la industria, debido a que gran parte de las máquinas y equipos funcionan con mecanismos neumáticos. Uno de los propósitos de este estudio es realizar una reingeniería de toda la red de aire comprimido, desde el cuarto de compresores hasta el área de trabajo en las distintas máquinas, enfocado en la disminución de costos en su generación.

Para evaluar fácilmente el sistema actual se realizó un plano general de la red de aire comprimido, en el que localiza las líneas de distribución. Se calculó el consumo requerido por cada línea; por lo tanto, la suma de todas las cargas reflejó el consumo total de la red de aire comprimido. El siguiente paso es evaluar las características técnicas de las tuberías, consumo, longitud equivalente, pérdida de presión, accesorios y condiciones técnicas. Luego se evaluó el sistema de generación de aire comprimido en el cuarto de compresores, eficiencia energética, accesorio y tipo de circuito con el objetivo de proyectar las condiciones ideales que el sistema debiera tener.

Luego de revisar el diseño global del sistema, se localizaron y se repararon las fugas de aire comprimido por medio del equipo ultrasónico Ultraprobe 10 000, que ocasionaban un desperdicio de 80 pies cúbicos por minuto de aire comprimido en concepto de fugas.

Se presentaron las mejoras de la red de aire comprimido que donde se identificaban las tuberías innecesarias, puntos de estrangulación en el sistema y se describe los circuitos de aire con distribución correcta, con el diámetro de tubería adecuado tomando en cuenta que la caída de presión máxima aceptable.

Se evaluó a su vez la eficiencia de los compresores, considerando los años de uso, costos de servicios de mantenimiento elevados y continuos, a través de un diagnóstico energético basado en el sistema de análisis de la demanda de aire asistido por ordenador por Kaeser, El estudio reflejó grandes pérdidas de presión, producidas por compresores que no entregan la presión demandada a un ritmo constante y controlado. Se observa rangos de caída de presión hasta de 50 PSI, incurriendo a gastos de energía eléctrica de 6 a 10 % del consumo, en comparación a condiciones ideales del sistema, existían picos de caída de presión menores del requerimiento mínimo, que ocasionan descontrol en las distintas máquinas del molino, ya que el flujo de aire no llegaba a la presión necesaria. Esto provocaba tiempos perdidos en accionamiento de cilindros neumáticos sin la fuerza mecánica necesaria para su funcionamiento eficiente.

A través de la compra de los compresores de aire AS 20 y ASD 40S con 55,86 % y 60,78 % de carga, respectivamente, se obtiene mejor control de la presión en el sistema y ya no es necesario el accionamiento de tres compresores con servicio continuo, sino que solo dos que ofrecen una tendencia horizontal de la presión de entrega al sistema. Esta es más continua y sin mayores altibajos de presión, con un potencial de ahorro hasta del 50 % anual en consumo de energía eléctrica.

OBJETIVOS

General

Mejorar la red de aire comprimido considerando las variables generales de operación, tales como: calidad, inocuidad, estabilidad, rentabilidad y eficiencia.

Específicos

1. Realizar estudio Ishikawa causas y efectos para determinar la causa raíz de la deficiente generación y distribución de aire comprimido.
2. Realizar un estudio de la planeación, control de producción de inventarios en la planta.
3. Verificar la demanda de aire comprimido, requerida por las distintas maquinarias, para la molienda de trigo.
4. Evaluar la tubería de aire existente, en el molino B, para mejorar inconvenientes en su diseño.
5. Realizar análisis financiero del nuevo proyecto, para determinar su rentabilidad.
6. Elaborar un programa de capacitación para el personal encargado del cuidado y mantenimiento de los compresores, y aire comprimido.

7. Desarrollar un plan de seguridad e higiene industrial en las distintas aplicaciones de aire comprimido.
8. Establecer un código de ética y conducta para el departamento de mantenimiento.

INTRODUCCIÓN

La compresión de gases tiene muchas aplicaciones, debido a su adaptabilidad y facilidad de transportarlos. La compresión se realiza con el fin de satisfacer muchos propósitos, entre los que sobresalen los accionamientos neumáticos, transmisión de potencia, entre otros. El aire comprimido es fundamental, en INHSA, Molinos Modernos, ya que permite llevar a cabo varios procesos de producción.

La utilización del aire comprimido posee grandes beneficios y cualidades, algunas veces se ven reducidos, cuando existe una inadecuada obtención, distribución y preparación de este. Por tal motivo, es de suma importancia tener conocimientos teóricos y prácticos para investigar fallas, dar el adecuado mantenimiento, diseñar y realizar una eficiente instalación neumática, tomando en consideración necesidades a corto, mediano y largo plazo.

Tomando en cuenta que uno de los propósitos de este estudio es mejorar la red de aire comprimido, tanto en el suministro de aire en las distintas maquinarias como una disminución de gastos en la generación del mismo, se propone la obtención de aire a través de un nuevo compresor para complementar y distribuir el aire comprimido en toda la planta a una presión y caudal necesario para todos los procesos de producción. Se evita así el uso deficiente de los equipos. También será hará un estudio de planeación, control de productos e inventarios, para aprovechar el uso eficiente de los sistemas de aire comprimido.

1. ORGANIZACIÓN Y ADMINISTRACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

En el siguiente capítulo se detalla los aspectos generales de la empresa INHSA Molinos Modernos, su estructurada organizacional, plan estratégico y aspectos generales de la organización; se incluye también una descripción general de las gestiones que se realizan en la administración de la producción.

1.1. Descripción de la empresa

INHSA Molinos Modernos es parte de Corporación Multi-Inversiones, que es una corporación familiar multinacional integrada por más de 30 000 colaboradores, con presencia en tres continentes, particularmente en Centroamérica y el Caribe. Inicia sus operaciones hace casi noventa años en Guatemala, para llegar a convertirse hoy en uno de los grupos empresariales más importantes de América Latina.

Sus operaciones están estructuradas de acuerdo con cada una de las líneas de negocio en las que se trabaja. Hay 6 divisiones que trabajan independientemente que son: molinería, con centros de manufactura en Guatemala (integrada por tres molinos de trigo que son: Molinos Modernos, INHSA y Molino Excélsior), El Salvador, Costa Rica y República Dominicana; restaurantes de comida rápida, operaciones pecuarias (principalmente avícolas y porcícolas), proyectos de generación de energía renovable, desarrollo de proyectos de construcción y operaciones financieras.

Corporación Multi-Inversiones es una entidad coordinadora estratégica de empresas dentro de las diversas divisiones mencionadas; sin embargo, existe 100 % de independencia entre las mismas.

1.1.1. Antecedentes históricos

La empresa inicia como una inquietud de inversionistas guatemaltecos, que deciden pedir apoyo a conocedores en el área de la molienda de harina en Italia para la construcción de un molino de harina de trigo, estos no muestran interés en el proyecto, por lo que deciden pedir apoyo a empresas de los Estados Unidos de Norte América. En este país contactan a una de las más sólidas empresas, la cual se muestra interesada en el proyecto y aporta una cantidad considerable para llevarlo a cabo.

Se funda la empresa bajo supervisión directa de los inversionistas estadounidenses quienes colocan a técnicos colegiados especialistas en molinería al frente de la producción.

Al fundar la empresa crean dos divisiones: la de harinas de trigo y la de premezclas. Dado el clima político de Guatemala, en los años 80 los americanos se retiran del país.

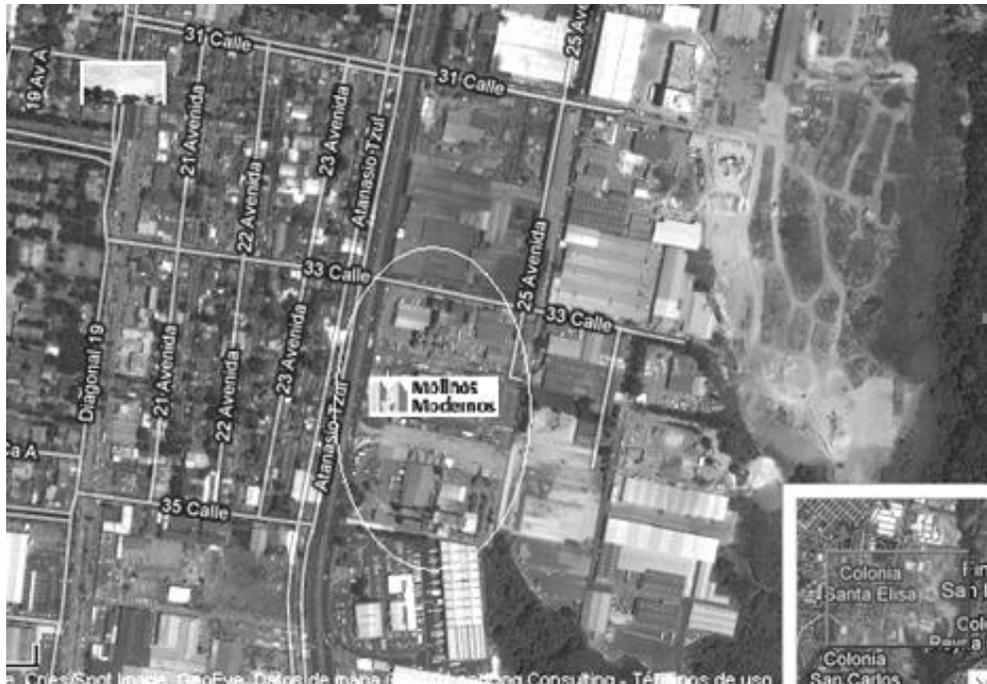
En los años 90 la empresa queda a cargo de inversionistas guatemaltecos y empieza a formar parte del grupo Molinos Modernos consolidado en el área de las harinas; luego IHNSA asegura la calidad e inocuidad las harinas a través del sistema de calidad, que se fundamenta en la aplicación de buenas prácticas de manufactura (BPM) y el programa de análisis de peligros y puntos críticos de control (HACCP), mantienen una estrecha relación de calidad con

sus clientes y proveedores, así como el compromiso de capacitar continuamente a su personal.

1.1.2. Descripción y ubicación

INHSA se enfoca en el desarrollo de la cadena de valor del trigo y cereales. A través de sus unidades de negocios producen y desarrollan marcas líderes en los mercados donde están presentes. Se han convertido en uno de los grupos molineros más importantes de Latinoamérica, INHSA Molinos Modernos Guatemala es parte de un gran grupo de empresas manufactureras de harina ubicada en la ciudad de Guatemala, en la 24 avenida 35-05 zona 12.

Figura 1. Ubicación actual de la planta INHSA, Molinos Modernos



Fuente: Google earth. *ubicación satelital*. <https://www.google.es/intl/es/earth/explore>. Consulta: junio 2017.

1.1.3. Misión

Innovar y desarrollar negocios de la cadena de valor del trigo y del maíz que satisfagan las necesidades de nuestros clientes, apoyados en el fortalecimiento de nuestras marcas y la comercialización de productos, mejorando continuamente la eficiencia y calidad de nuestros procesos, productos y servicios.

1.1.4. Visión

Ser el líder en negocios asociados a la cadena de valor del trigo, con participación significativa en harinas de maíz y aprovechando negocios complementarios, en Centroamérica, Caribe y con presencia activa en México, dentro de un marco de responsabilidad social empresarial que mejore la calidad de vida de nuestros colaboradores y cumplan con las expectativas de nuestros accionistas.

1.1.5. Código de valores

La cultura corporativa de la empresa se fundamenta en los siguientes valores, como única fuente del éxito sostenible:

- **Responsabilidad:** asumen el compromiso de ser una organización dinámica, eficaz, moderna y garante de la obligación adquirida con la visión, misión, los valores y principios de CMI. Respetan la ley de los países en que trabajan, y cumplen con sus responsabilidades ante sus accionistas, clientes, proveedores, y acreedores. Son respetuosos y solidarios con las comunidades de las que forman parte.

- **Honestidad:** la integridad es su activo más importante. Saben medir sus derechos por sus deberes. Su conducta es guiada por valores éticos universales y principios morales que son el fundamento y el compromiso para construir y preservar una Corporación respetable. En CMI profesan virtudes como la transparencia, la rectitud, la voluntad, la disciplina, la honradez y el ejemplo para promover la formación de familias fuertes, empresas prósperas, sociedades libres y naciones modernas.
- **Respeto:** el fundamento de este valor ético radica en la atención que prestan a los derechos de los demás para lograr la armonía de la colectividad. El respeto supone entender que como seres humanos todos somos iguales y merecen ser tratados con dignidad. En CMI reconocen como valores éticos del respeto, el cumplimiento de la palabra dada, la realización de los contratos firmados y la observancia de los compromisos que adquirieron.
- **Excelencia:** buscan superioridad y corrección en lo que hacen. Forjan con su trabajo resultados dignos de aprecio y admiración. Rechazan la mediocridad y la ineficiencia pues buscan la excelencia mediante el esfuerzo constante y tenaz, el trabajo en equipo y la comunión de intereses. La búsqueda de la excelencia es una actitud de vida, y en CMI es el reto permanente y un compromiso ineludible.
- **Humildad:** se esfuerzan por que la humildad sea su primera virtud. Entendida esta como el reconocimiento de sus debilidades y limitaciones, la corrección de sus errores, el respeto y empatía por sus semejantes. Son prudentes con sus éxitos y humildes en los fracasos. Son magnánimos en la victoria y sabios en la derrota.

- Reconocen la vida y el mundo que les tocó vivir como un proceso permanente de aprendizaje y de posible superación.
- Lealtad: como valor ético el objeto de este acto de fe es conservarlo virtuoso y transparente. La lealtad es una condición necesaria para formar parte de CMI y un compromiso adquirido por la Corporación y por todos y cada uno de sus integrantes en forma recíproca y solidaria. Su lealtad nace de la coincidencia de valores y principios, fortaleciéndose en la visión y misión.
- Amistad: la amistad respetuosa y responsable que comparten en CMI es la base de su comunicación y el trabajo en equipo, la razón de su éxito y un compromiso para las futuras generaciones de ejecutivos. Son un grupo de amigos que trabajan juntos y comparten un sueño, una visión y una misión.

1.1.6. Política de calidad

Diseñar, desarrollar, producir y comercializar harinas, premezclas y sémolas de trigo y maíz que cumplan con los requisitos de calidad, seguridad alimentaria, legales y reglamentos establecidos en nuestro sistema de gestión de calidad, basados en la mejora continua de nuestros procesos y en la gestión y desarrollo del recurso humano para la satisfacción de nuestros clientes.

1.1.7. Credo

- Creemos en la libertad del hombre para escoger su camino y determinar sus acciones, siempre que acepte la responsabilidad por su actuación y comportamiento.
- Creemos en la dedicación, esfuerzo y trabajo honesto como la única fuente del éxito sostenible.
- Creemos que los recursos son limitados y por lo mismo deben usarse en forma eficiente.
- Creemos en la importancia del cliente, quien contribuye a nuestro bienestar y el éxito de la empresa.
- Creemos en nuestra responsabilidad de elaborar productos y prestar servicios de calidad con sensibilidad humana, que optimicen el bienestar y satisfacción de nuestros clientes.
- Creemos que el recurso humano es lo más valioso y debemos promover activamente la oportunidad de mejorar sus vidas, fomentando unas relaciones basadas en la honestidad, ética y respeto mutuo.
- Creemos que las relaciones con nuestros proveedores deben ser a base de honestidad y responsabilidad, para lograr una relación estable de mutuo beneficio.

1.1.8. Descripción de productos

La división general de productos de INHSA Molinos Modernos es la siguiente. Todos derivados de trigo: harina de trigo; materia prima para fabricación de pan, galletas y pastas, sémolas de trigo y maíz; materia prima para producción de snacks, premezclas industriales y familiares para la fabricación de alimentos.

Tabla I. Descripción de productos de INNHSA, según el tipo y familia

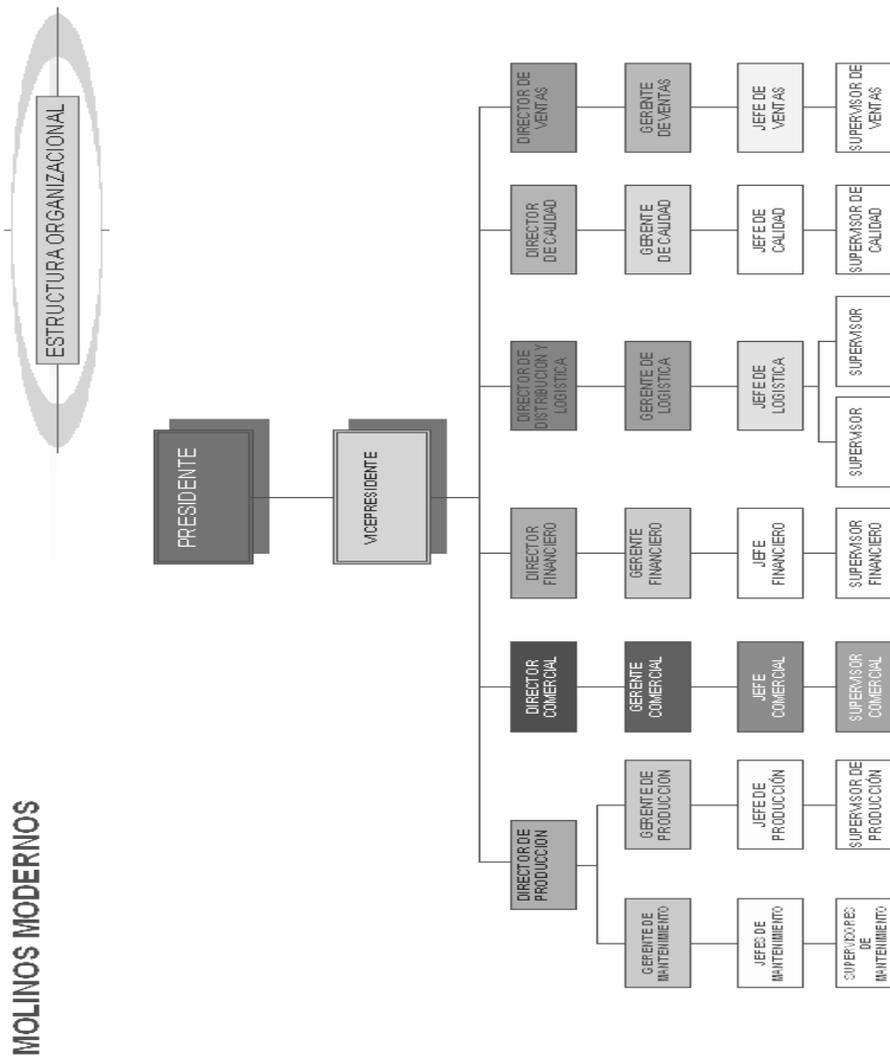
PRODUCTOS FABRICADOS EN INHSA, MOLINOS MODERNOS		
HARINAS		
DERIVADO	TIPO	FAMILIA
HARINAS	Fuertes Duras	Duras STD
		Especialidades
	SemiFuertes - Suaves	Suaves STD
		Especialidades
	Suaves-Extra Suaves	XS STD
		Especialidades
SEMOLINA	Semolina de Trigo	Consumo humano
SUBPRODUCTO	Subproducto	Consumo animal

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

1.1.9. Estructura organizacional

El organigrama de Molinos Modernos contiene información representativa de una organización hasta determinado nivel jerárquico, esta clasificación se le denomina por su ámbito organigrama general.

Figura 2. Estructura organizacional de Molinos Modernos



Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

1.1.10. Departamentos

- Producción: tiene como función planificar, controlar y requerir las operaciones de producción de harina según el volumen deseado, a través de sistemas de computación avanzada proporcionada por el proveedor de equipos, *BÜHLER* Hermanos S.A, Suiza. Controla toda la línea de producción a través de un sistema centralizado operado a través de computadoras. Registran el tiempo de realización por lote, eficiencias y desarrollo de la producción en todas las secciones productivas de la planta; además, control de inventarios de almacenes de materias primas, bodega, mantenimiento, control de calidad y requerimiento de materiales.
- Comercialización: el departamento Comercial de INHSA es el representante del cliente dentro del molino. Su función se centra en la maximización de valor para el consumidor, la satisfacción plena de este con el fin de elevar la rentabilidad de la propia empresa; por el incremento de su participación en el mercado, actualmente esta área de trabajo ha logrado un 60 % de segmento de mercado nacional.
- Control de la calidad: se encarga de realizar todos los mecanismos, acciones y herramientas para detectar la presencia de errores en el proceso de transformación de trigo. Conoce las especificaciones establecidas por la ingeniería del producto y proporciona asistencia al departamento de producción, para que alcance estas especificaciones, verifica su cumplimiento por medio de colección de muestras y análisis de grandes cantidades de datos que se presentan a diferentes departamentos para iniciar una acción correctiva adecuada.

Actualmente se asegura la calidad e inocuidad las harinas a través de sistema de calidad, que se fundamenta en la aplicación de buenas prácticas de manufactura (BPM) y el programa de análisis de peligros y puntos críticos de control (HACCP) e ISO 9 001. Mantiene una estrecha relación de calidad con sus clientes y proveedores, así como el compromiso de capacitar continuamente a su personal.

- Financiero: integra el manejo de personal encargado de realizar auditorías internas, en todos los departamentos del molino. Verifican el funcionamiento de los recursos económicos, humanos y materiales de los servicios generales, informática, finanzas y contabilidad, a través de ERP que son las siglas de *Enterprise Resource Planning* o planificación de recursos de la empresa. Básicamente es una arquitectura de software que facilita e integra la información entre las funciones de manufactura, logística, finanzas y recursos humanos del molino.
- Logística: es el encargado de organizar las rutas eficientes que deben realizar los pilotos. Deben vela por los recursos se utilicen de la mejor manera posible (transporte y consumo de combustible), con el fin de abastecer de todos los artículos pedidos por los clientes.

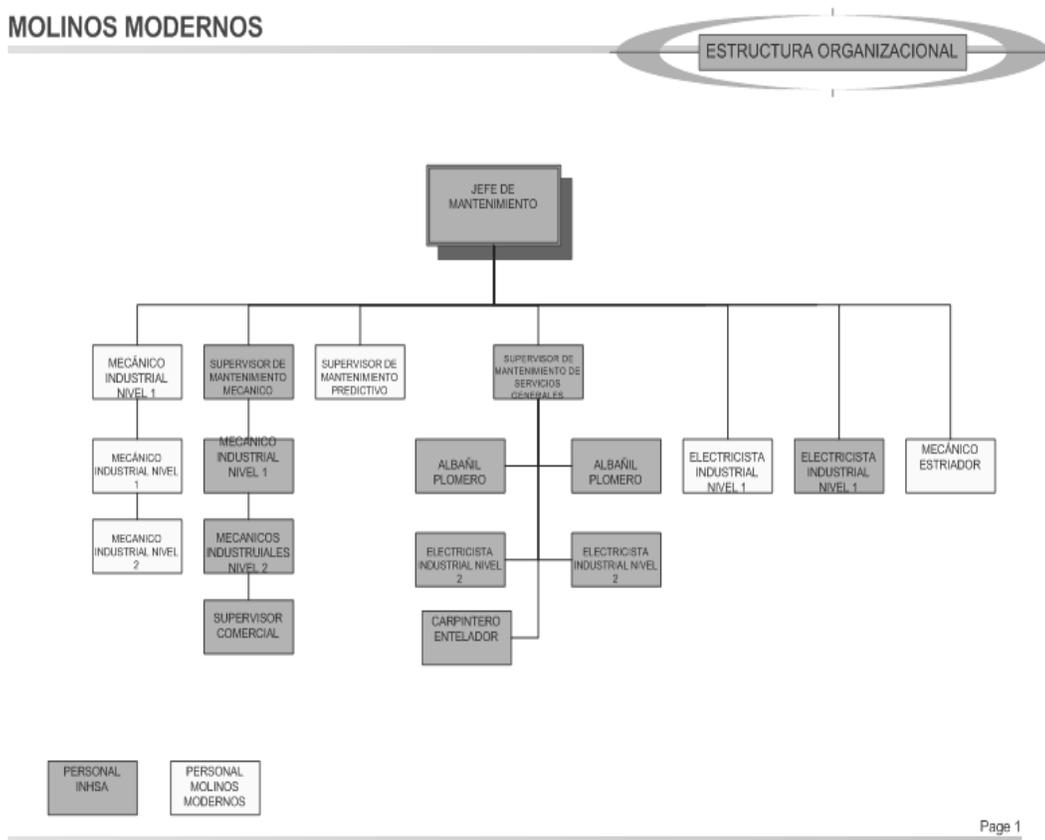
El producto se distribuye a través de transporte propio y subcontratado; con diferentes capacidades y característica de distribución. Este puede ser entregado ya sea empacado, como en granel, a través de pipas diseñadas para el transporte de harina; en el menor tiempo posible y con la calidad deseada.

- Ventas: se encarga de dirigir la oferta de los productos, actividades de marketing, prospección de mercados y publicidad; realiza investigación comercial o de mercados, planificación comercial, previsiones de la demanda de harina, respecto a los presupuestos anuales de la empresa, considerando un incremento anual aproximado del 2 %, análisis de precios, la formación de vendedores, las políticas y técnicas de promoción en ventas, la distribución, gestión de la comercialización, estudio y conocimiento de la competencia. Utiliza como base fundamental para estudio el sistema ERP, que engloba información y consolida todas las operaciones de la empresa.
- Recursos humanos: las tareas más habituales son: selección de personal, contratación de personal, recepción de nuevos trabajadores, formación del personal, valoración de tareas a través de evaluación del desempeño, sistema de remuneración del personal, expedientes del personal, administración de salarios, resolución de conflictos laborales, normas y reglamentos de régimen interior, despidos de personal y servicios complementarios (comedores, servicios médicos, recreación y motivación).

1.1.10.1. Organigrama de mantenimiento

A continuación, se presenta el organigrama del departamento del área de mantenimiento de Molinos Modernos, para tener una mejor visualización de cada uno de los puestos del departamento.

Figura 3. Estructura organizacional del departamento de mantenimiento



Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

1.1.10.1.1. Funciones del departamento de mantenimiento

La labor del departamento de mantenimiento está relacionada así estrechamente con la prevención de paros en la producción del molino, como también la prevención de accidentes y lesiones en el trabajador. Tiene la responsabilidad de mantener en buenas condiciones la maquinaria, herramienta y equipo de trabajo, todo a través de un mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo si se diera el caso. Controlando los equipos a través de un programa de mantenimiento llamado gestión de mantenimiento.

A través de este se programan rutas de trabajo y servicio de acuerdo con los manuales de las distintas máquinas, adaptados a las condiciones de trabajo actuales en el molino, como también experiencia adquirida de mantenimiento realizado por los mecánicos en tiempos pasados.

Se cuenta también, con un mantenimiento predictivo, realizado con herramientas de análisis ultrasónicas, como la pistola Ultraprobe 10 000 para aumentar la vida útil de los motores eléctricos y los distintos componentes que necesitan para su funcionamiento, lo cual permite un mejor desenvolvimiento y seguridad al evitar paros y riesgos en el área laboral.

1.1.10.1.2. Planta de pmezclas

Al fundarse INHSA se crean dos divisiones: la de harinas de trigo y la de pmezclas.

En la división premezclas en la actualidad hay cuatro líneas de empaque conformadas por las máquinas *BOSCH SVB-2 510*, *EMZO MK-100* e *ITALPACK* y las dos mezcladoras M 300. Con ellas se atiende el mercado nacional e internacional al producir premezclas de óptima calidad para la satisfacción del cliente en donde, al igual que INHSA, se mantiene la aplicación de buenas prácticas de manufactura (BPM) y el programa de análisis de peligros y puntos críticos de control (HACCP) e ISO 9 000.

Las premezclas se clasifican como: pasteles, magdalena, frostys, hot cakes, hariquick y brownies.

Tabla II. **Descripción de productos de premezclas INNHSA, según el tipo y familia**

PRODUCTOS FABRICADOS EN PREMEZCLAS INHSA, MOLINOS MODERNOS		
HARINA		
DERIVADO	TIPO	FAMILIA
MEZCLAS DE HARINA Y ADITIVOS	MAGDALENAS	Magdalena de Mantequilla
		Magdalena de Naranja
	PASTELES	Cake Mix Dorado
		Cake Mix Chocolate
		Cake Mix Blanco
		Cake Mix Vainilla
		Pastel Dorado Sabemás
		Pan Integral
		Todo Uso Flora
		Hariflor
		GM Especial Baleadas

Continuación de la tabla II.

	Panqueques	Hot Cake Mix	
		Hot Cake Industrial	
		Hot Cake Instantáneo	
			Panqueque Sabemas
	Frostys		Frosty Blanca Nieves
			Frosty Chocolate
	Brownies		Hariquick
			Brownie Mix
	Premezcla Industrial		Especial Para Churros
			Especial Para Donas
	Corazón de Trigo		Corazón de Trigo Natural
			Corazón de Trigo Vainilla

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

1.1.10.1.3. Distintas secciones relacionadas con aire comprimido

INHSA, Molinos Modernos, cuenta con maquinaria moderna y sofisticada para la fabricación de harina, con la más alta calidad en el mercado nacional. Dicha maquinaria utiliza diversos mecanismos para su funcionamiento, los cuales están estrechamente relacionados con el aire comprimido.

Este es condicionante para su funcionamiento; debido a que es necesario para accionar cilindros neumáticos, proporcionar flujo constante para abrir mecanismos y otras aplicaciones de mantenimiento, como limpieza y otras.

La distribución de aire comprimido está dividida en tres áreas, que son las partes que alimenta y distribuye el colector principal en la salida del cuarto de compresores. Dichas áreas y subáreas son las siguientes.

Tabla III. **Distribución de la red de aire comprimido**

Distribución 1			Distribución 2		Distribución 3		
INHSA, Molino B			INHSA, Molino A		MOLINO A	PREMEZCLAS	
Limpia	Molino	Empaque	Limpia	Molino	Empaque	Mezclas	Empaque

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

En este trabajo se estudiará con mayor énfasis la línea de distribución 1 y 3, debido a que son las que requieren mayor atención por la antigüedad de la instalación, y por las ampliaciones realizadas.

1.2. Estudio de la planeación y control de la producción e inventarios actuales

Molinos Modernos está compuesto 3 molinos de trigo, los cuales cumplen la demanda total de harina para cierto segmento de mercado nacional. Tiene un porcentaje de participación de 50 % INHSA, 30 % Modernos y 20 % Excélsior de la producción total.

Molinos Modernos tiene una demanda continua, con aumento de ventas en temporadas de Semana Santa y Navidad. Actualmente produce el 60 % de la demanda de harina en el mercado nacional, Es una empresa solida y líder en Guatemala. Actualmente ha alcanzado una proyección de crecimiento del 2 % anual según estudios realizados sobre datos históricos de ventas del producto. Con base en esta información podemos conocer la producción proyectada para el año 2016 considerando las ventas de años anteriores con una constante de crecimiento del 2 % y un 60 % de segmento del mercado nacional. Se investigará la resta dada entre la importación y exportación del trigo a Guatemala, para obtener el requerimiento total del producto en el país. A este valor le sacamos un 60 % correspondiente en toneladas a Molinos Modernos; el valor obtenido multiplicado por 50 % nos da como resultado el requerimiento de trigo total para INHSA para el año 2016, multiplicado por un 2 % de crecimiento anual. Con el valor en toneladas de trigo obtenido ya se puede planificar la producción de harina durante los diversos periodos de ventas estacionales anuales.

La fórmula descrita anteriormente sería:

$$\text{Producción} = \text{ventas 2015} \times 60 \% \times 50 \% \times 2 \% =$$

INHSA (importación – exportación trigo) (Producción total) (Producción total de crecimiento para 2016 Molinos
 Modernos). INHSA). (Anual).

La planificación, control de la producción e inventarios, dependen totalmente de los pronósticos de ventas descritas, ya que con este valor podemos realizar presupuestos y planificar los requerimientos de materia prima, materiales, recursos humanos y maquinaria para cumplir con la demanda prevista para periodos venideros de producción.

Se puede programar y controlar la producción anual, mensual, semanal y establecer la producción óptima considerando tiempos de demanda máxima y costos de almacenamiento de dicha mercadería, para tener una producción efectiva con el menor coste para su realización y con calidad para los pedidos realizados por los clientes.

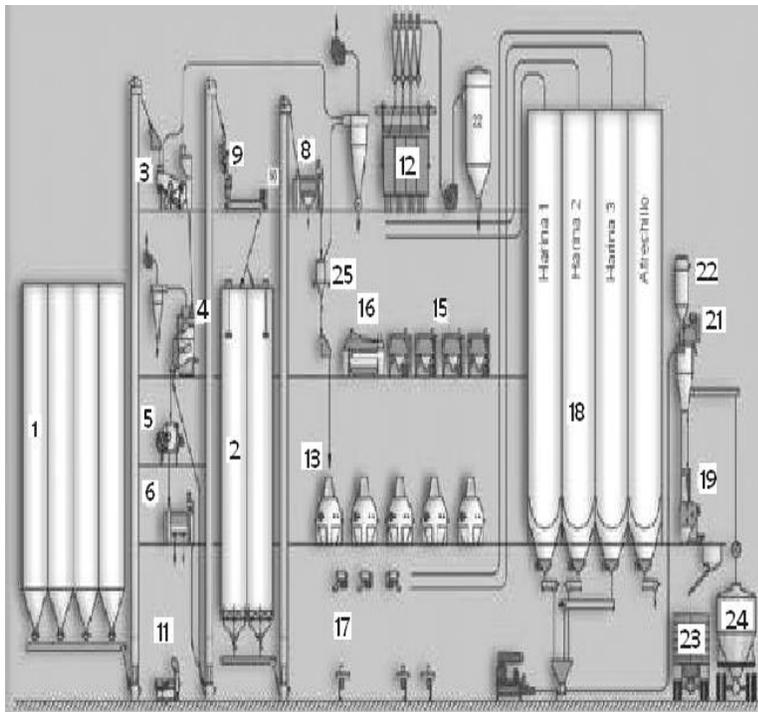
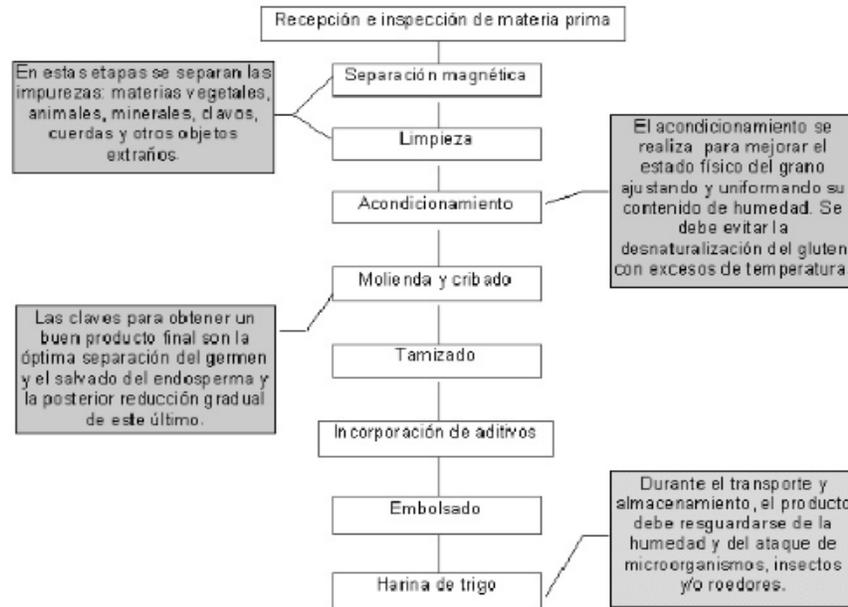
1.2.1. Descripción del sistema de producción continua

INHSA produce alimentos derivados del trigo. En Guatemala se desenvuelven dentro de un esquema de integración vertical, por lo que los molinos de trigo constituyen el primer eslabón de la cadena. Luego de procesar el grano en harina, esta es utilizada por otras empresas del mismo capital como materia prima para la industria de panificación, pastelería, galletas, producción de pastas alimenticias y conos de helados, entre otras actividades.

El proceso de producción de harina se basa en 4 partes muy importantes que son: cadenas de suministros o materia prima, proceso de molienda de trigo, empaque o almacenamiento del producto y distribución. Todas esas partes del proceso van estrechamente relacionadas, ninguno de los 4 funciona de forma individual, ya que dependen totalmente uno del otro.

Actualmente se trabajan las 24 horas del día, mantienen un flujo constante entre materia prima, producción y empaque. Se trabaja con la tecnología más avanzada en cada uno de los procesos, tanto para el abastecimiento de productos como el proceso de molienda de trigo realizado a través de mandos computarizados para el control de la producción de tipo vertical (por gravedad) en la realización del producto.

Figura 4. Flujo de proceso de molinera de trigo



Fuente: MORGAN, Garavito. *Proceso de producción de harina de trigo*. p. 3-4.

1.2.2. Capacidad actual de producción por producto en toneladas

Actualmente, INHSA Molinos Modernos tiene una capacidad de producción promedio de 15 toneladas de harina/hora, independiente del tipo que se esté procesando. INHSA está compuesto por dos molinos, INHSA A, que tiene una capacidad en toneladas de 350 toneladas/día y la otra INHSA B, 140 toneladas/día. Esto significa que INHSA, en términos generales, tiene una capacidad de producción de 490 toneladas diarias, considerando un flujo constante durante 24 horas de trabajo diarios.

1.2.3. Sistema de aprovisionamiento de materia prima

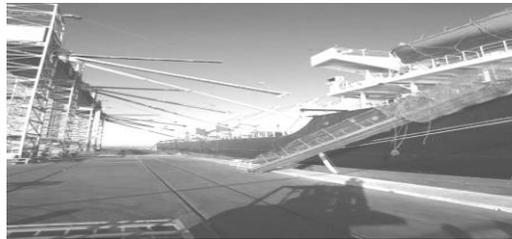
INHSA necesita como materia prima trigo de primera calidad. Su demanda actual en toneladas es mucho mayor a la que se producen actualmente en el país. En Guatemala se utiliza el trigo para usos personales o domésticos y otras aplicaciones, pero no para la producción de harina industrial. El cultivo de trigo en Guatemala únicamente abarca el 1 % de la demanda total del país.

El trigo que se utiliza en INHSA es importado desde Canadá, a través de vías de transporte acuático. Luego, este trigo es almacenado en silos ubicados en los distintos puertos. Se utiliza el método de almacenamiento primero en entrar, primero en salir (PEPS), para poder distribuir a los distintos molinos de la corporación, de acuerdo con la necesidad existente en cada uno de estos consumidores. Son transportados por vía terrestre, a través de furgones especiales para el transporte de trigo. Al momento de llegar al molino, se almacenan en silos de acuerdo con la necesidad de cada tipo de trigo. Para la producción de harina se utiliza trigo de alta, media y baja proteína.

Proceso de aprovisionamiento de materia prima, en INHSA Molinos Modernos:

- Ingreso de trigo importado desde Canadá a puertos guatemaltecos, con una capacidad aproximada de 50 000 toneladas/barco. Dicho pedido es solicitado con 3 meses de anticipación.

Figura 5. **Ingreso de trigo a puertos guatemaltecos**



Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

- El trigo es almacenado en silos para su distribución, de acuerdo con su fecha de ingreso y su tipo. Los tipos de trigo importados a Guatemala, para INHSA Molinos Modernos son: (DNS) *Dark North Spring*, (HRW) *Hard Red Winter*, (SWW) *Soft White Winter*, (SRW) *Soft Red Winter*.

Figura 6. **Almacenamiento de trigo a través de silos**



Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

- El trigo es transportado por tráileres hacia los molinos con furgones especiales, con una capacidad de 25 toneladas/tráiler.

Figura 7. **Sistema de transporte de trigo**



Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

- Luego es entregado el trigo al molino, a través de mecanismos instalados en los furgones, para la descarga del producto. Actualmente se cuentan con 6 silos de concreto y 7 silos metálicos para el almacenamiento del trigo.

Figura 8. **Sistema de descarga del trigo**



Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

1.2.3.1 Pronóstico de ventas

La producción de harina en Molinos Modernos es realizada por 3 molinos ubicados en distintas partes del país, que son: Molinos Modernos, INHSA y Molino Excélsior. El pronóstico de ventas se realiza para la demanda total de los 3 molinos de la corporación y luego se distribuyen de acuerdo con las necesidades del requerimiento del producto. Para estimar la demanda del año 2016 utilizaremos datos históricos proporcionados por el portal electrónico de las empresas molineras, Banco de Guatemala y Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.

La industria de la harina de trigo en Guatemala data de principios del siglo pasado. Como resultado de las operaciones de fusión y adquisiciones, el número de molinos productores de harina de trigo se redujeron a un total de 23 y en el año 1992 a solo 10; en la actualidad solamente 5.

La oferta de harina de trigo en el mercado doméstico para el año 2015 se estimó en 342,6 miles de toneladas métricas, lo que significó una reducción de 4 % en comparación al nivel observado en 2014. La estimación de la oferta de harina de trigo en el mercado interno se realiza a partir de la conversión de la producción, importación y exportación de trigo a harina de trigo. Una vez hecha esta conversión, se efectúa la suma del volumen de la producción y de las importaciones, cifra a la cual se le resta la cantidad de exportaciones de harina derivada de este cereal. El análisis de la información y los indicadores respectivos permiten concluir que son 4 empresas molineras las que tienen poder de dominio en el mercado doméstico de la harina de trigo, ya que en su conjunto tienen una participación del 70 %. Estas empresas se identifican para los objetivos de este análisis como A, B, C, y D.

La empresa A, la más grande que opera en el mercado nacional de harina de trigo, es producto de la fusión de 2 molinos operada en el año 2005. Tiene una capacidad de procesamiento diario de 450 toneladas métricas de trigo. Además de abastecer el mercado de Guatemala, exporta alrededor del 12 % de su producción de harina a El Salvador.

Las estimaciones revelan que esta empresa cuenta con una participación equivalente a la tercera parte del mercado. La empresa B, de origen salvadoreño, es la segunda con mayor poder de mercado en Guatemala. Además de las plantas procesadoras que operan en dicho país, esta empresa cuenta con un molino en Guatemala con capacidad de procesamiento estimada preliminarmente en 200 toneladas métricas de trigo por día.

Por su parte, la empresa C forma parte del conjunto de 4 empresas con mayor cuota de participación en el mercado de harina de trigo en Guatemala. Esta empresa, también integrada verticalmente al producir harina de trigo para sus industrias de galletas y pastas alimenticias, es filial que integra la división agroindustrial de una corporación constituida con capital de origen guatemalteco.

Dicha empresa tiene filiales en Costa Rica y República Dominicana. Las estimaciones preliminares realizadas sugieren que la empresa C dispondría de una cuota de participación en el mercado de harina de Guatemala equivalente al 8,7 %.

Tabla IV Guatemala: grado de participación en el mercado de las principales empresas molineras de trigo

CIFRAS EN TONELADAS			
Nomenclatura	Empresa	Oferta en el mercado interno	% de participación en el mercado
	Total	342 600	100 %
A	INHSA	112 400	32,8 %
B	Molinos Modernos	75 000	21,9 %
C	Molino Excélsior	29 800	8,7 %
A+B+C	Total de Corporación Multi-inversiones	517 200	63,4 %
D	Empresa D	22 600	6,6 %
	Resto de empresas	102 800	30 %

Fuente: elaboración propia, con base en la información del portal electrónico de las empresas molineras, MAGA.

La importación de trigo a Guatemala se presenta en la siguiente tabla.

Tabla V. Guatemala: importación de trigo, por períodos anuales

Importación de trigo a Guatemala							
AÑO	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Importación en toneladas	427 800	445 100	488 400	451 100	493 600	473 800	470 000

Fuente: elaboración propia, con base a la información del Banco de Guatemala y MAGA. Período 2008-2014.

Según la tabla V, actualmente se importan 470 000 toneladas de trigo a Guatemala. De esta cifra, el 33 % es utilizado para la producción de harina en INHSA, para un equivalente de requerimiento de trigo de 155 100 toneladas anuales, con una media de 12 925 toneladas/mes.

En la empresa se dan 5 periodos con variación de la demanda durante el año, con mayores ventas en épocas de Semana Santa y Navidad y con 68 % de extracción de harina del trigo importado.

Tabla VI. **Pronóstico de ventas para el año 2016**

Pronóstico de ventas para el año 2016			
Descripción		Trigo (en toneladas)	Producción de harina (en toneladas)
Periodo 1	Enero	12 500	8 500
	Febrero	12 500	8 500
Periodo 2	Mazo	18 000	12 240
	Abril	18 000	12 240
Periodo 3	Mayo	12 000	8 160
	Junio	12 000	8 160
	Julio	12 000	8 160
	Agosto	12 000	8 160
Periodo 4	Septiembre	12 500	8 500
	Octubre	12 500	8 500
Periodo 5	Noviembre	15 775	10 727
	Diciembre	15 775	10 727

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

1.2.4. Planeación de la producción

Es realizada por el departamento de manufactura, que programa el desarrollo de la producción en función de la capacidad de los molinos y los pronósticos de la producción. Del trigo que ingresa a la planta se extrae harina, afrecho, granillo, germen y desperdicio. La tabla siguiente muestra la programación semanal de producción de trigo, considerando los productos derivados y los molinos encargados de producir las demandas previstas; el valor en toneladas corresponde a la producción mensual del producto.

Dentro de los distintos tipos de harina que produce Molinos Modernos podemos mencionar:

- Harina fuerte: para la panadería tradicional, de alto volumen como: francés, pirujos, pan de manteca, entre otros.
- Harina semi fuerte: para repostería fina, como pan dulce, pan tostado, pastelería, entre otros.
- Harina suave: para la producción de galletas, waffles, entre otros.
- Harina extra suave: para la producción de galletas, entre otros.
- Harinas especiales: para la realización de pizzas, panaderías industriales, hoteles, entre otros.

Para obtener la harina deseada, se mezclan % de trigo de diversa calidad, que se utilizará para los distintos productos, dependiendo del producto por elaborar.

Tabla VII. Programa semanal de producción por derivado de trigo para el periodo de ventas del año 2016

Planeación de producción para el periodo 1 del 2016										
Toneladas de Trigo Según pronóstico	Derivados del trigo	Porcentaje	Toneladas	%	PRODUCE	PLANEACIÓN SEMANAL				
						L	M	M	J	V
12 500	Harina	68 %	8 500	50 %	INHSA					
				30 %	Modernos					
				20 %	Excélsior					
	Afrecho	21 %	2 625	50 %	INHSA					
				30 %	Modernos					
				20 %	Excélsior					
	Granillo	1 %	125	50 %	INHSA					
				30 %	Modernos					
				20 %	Excélsior					
	Germen	8 %	1 000	50 %	INHSA					
				30 %	Modernos					
				20 %	Excélsior					
	Basura y Pérdida	2 %	250	50 %	INHSA					
				30 %	Modernos					
				20 %	Excélsior					
TOTAL		100 %	12 500							

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

Tabla VIII. **Planeación de la producción proyectada para el año 2016**

PLANEACION DE LA PRODUCCION					
PERIODO	MESES	RITMO DE PRODUCCION (toneladas/hora)	DEMANDA DE HARINA MENSUAL ESTIMADA (toneladas)	TIPO DE HARINA A PRODUCIR (en toneladas)	
1	Enero	15	8 500	Alta	3 375
	Febrero			Media	2 625
				Baja	1 500
2	Marzo	15	12 240	Alta	4 860
	Abril			Media	3 780
				Baja	2 160
3	Mayo	15	8 160	Alta	3 240
	Junio				
	Julio			Media	2 520
4	Agosto	15	8 500	Baja	1 440
	Septiembre			Alta	3 375
	Octubre			Media	2 625
5		15	10 727	Baja	1 500
	Noviembre			Alta	4 260
	Diciembre			Media	3 312
				Baja	1 893

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

El porcentaje de utilización de derivados del trigo procesado, considerando un 100 % del porcentaje total y 15 toneladas/hora de producción en el molino.

1.2.5. Control de la producción

Para controlar la producción del molino se llenan registros diarios en las distintas áreas del proceso que son limpia, molienda, aditivo y empaque. En el molino se trabaja las 24 horas del día, con turnos para los encargados de molienda y manufactura de 6:00 a.m. a 14:00 p.m., de 14:00 p.m. a 21:00 p.m., de 21:00 p.m. a 06:00 a.m. Realiza inspecciones de producción cada 2 horas.

Tabla IX. Control de la producción por turnos diarios

TURNO 1	Horario de Inspección				OBSERVACIONES
	8-oct.	8-oct.	10-dic.	10-dic.	
TRIGO EN PRODUCCIÓN	8-oct.	8-oct.	10-dic.	10-dic.	
TIPO DE HARINA					
Carga en toneladas/hora	15	15	15	15	
Harina de segunda	si	si	si	si	
Rechazo de cernedor	No	no	no	No	
Olor	bueno	bueno	bueno	bueno	
Color	b	b	b	b	
Jefe de turno: JUAN PEREZ					

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

Tabla X. **Control de cambio de silos**

Fecha y Hora	CAMBIO DE SILOS	HARINAS MEZCLADAS	HARINA	LECURA DE BASCULA DE HARINA 1	TOTAL qq
		(qq)			
03/02/2015	201-202	DNS Y HRW	suave		
Nombre de responsable:					

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

Tabla XI. **Control de proceso**

MAQUINARIA A INSPERCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN											
DOSIFICADOR DE TRIGO	B	M	BASCULA DE TRIGO	B	M	FILTROS	B	M	SASORES	B	M
SISTEMAS NEUMÁTICOS	B	M	CERNEDORES	B	M	COMPRESORES	B	M	CILINDROS	B	M
OBSERVACIONES/ ACCIONES CORRECTIVAS:											
B = BUENO / M = MANTENIMIENTO.											

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

1.2.6. Planeación y control de inventarios de producto terminado

La planeación del control de inventarios se hace con base en pronósticos de ventas, analizando estadísticas históricas, según las épocas del año.

Luego se define qué cantidad de harina se va a producir y cómo distribuirla en las distintas bodegas; en cada bodega se maneja el método PEPS y se revisa los pedidos de ventas solicitados. Se procede conforme al primero que entra, primero que sale, ya que son productos alimenticios; luego se guardan todos los registros tales como fecha de producción de cada lote en su empaque, para que exista una trazabilidad del producto, hasta llevarse al cliente.

Para el acomodo del producto en las bodegas se utilizan montacargas y tarimas desarrolladas de acuerdo con las necesidades. No se tiene un estándar de tarimas, ya que depende de las condiciones exigidas por los clientes, y de las bodegas por utilizar, para el almacenamiento del producto, El tipo de estibado depende de si la bodega es en la planta o de alguna empresa distribuidora; este se utiliza para sacos, tarima, con el objetivo final de aprovechar al máximo los metros cúbicos con los que cuenta la bodega, sin entorpecer el traslado del producto a bodegas auxiliares.

Los productos son acomodados en las bodegas según el método de control de inventarios ABC (por sus siglas en ingles *Activity Based Costing*, es decir, costeo basado en actividades). Es una herramienta que permite la relación entre los productos, su precio unitario y la demanda, con el fin de determinar el valor de los artículos para priorizarlos de forma descendente. Optimiza así la administración de los recursos de inventario y logra mejorar la toma de decisiones.

El método ABC da prioridad a la cantidad de producto solicitado, para mantener en las primeras tarimas de las bodegas los productos con mayor afluencia, es decir, de mayor a menor cantidad demandada de ventas.

- A: Alto volumen de ventas, (0 - 85) de porcentaje acumulado
- B: Volumen monetario medio, (85 - 95) de porcentaje acumulado
- C: Bajo volumen de ventas, (95 - 100) de porcentaje acumulado

Tabla XII. **Clasificación ABC según su movimiento en ventas**

TIPO DE HARINA	FAMILIA	QUINTALES VENDIDOS	PORCENTAJE DE VENTA	PORCENTAJE %	PORCENTAJE % ACUMULADO	CLASIFICACIÓN
FUERTES DURAS	duras STD	8 5000	0,4	34	34	A
	especialidades	7 0000	0,28	28	62	A
	suaves STD	5 3000	0,212	21	83	A
SEMIFUERTES SUAVES	duras STD	1 3000	0.052	5	88	B
	especialidades	8 000	0.032	3	91	B
	XS STD	7 000	0.028	3	94	B
suaves extrasuaves	XS STD	6 000	0.024	2	96	C
	Especialidades	4000	0.016	2	98	C
Sémola de trigo	consumo humano	3000	0.012	1	99	C
Subproducto	consumo animal	1000	0.04	1	100	C
TOTAL		250 000		100		

Fuente: INHSA, Molinos Modernos. Los datos de ventas de los productos fueron alterados por seguridad de de la empresa.

1.2.7. Sistema de distribución

El producto se distribuye de acuerdo con su rotación, por cuidado del producto y características. Está estrechamente relacionado con la gestión de calidad, y se tiene como políticas primordiales:

- Que el producto con las características deseadas llegue al cliente.
- Que el producto sin contaminaciones llegue al cliente.
- Que el producto llegue al cliente en el momento, lugar deseado y a tiempo.
- Entregar el producto y evitar que el cliente llegue por él.

El producto se distribuye a través de transporte propio y subcontratado; con diferentes capacidades y característica de distribución. Puede ser entregado empacado, a granel o en pipas diseñadas para el transporte de harina. Cada transporte y tripulación tienen que cumplir con requisitos establecidos por las normas de buenas prácticas de manufactura (BPM), normas de seguridad industrial, tanto en seguridad e higiene como en vestimenta.

Procedimiento para recepción de pedidos:

- Recepción del pedido y facturación
- Ordenar pedido para entrega
- Asignación de vehículos
- Elaboración de hoja y ruta
- Cargar mercadería a los vehículos
- Entrega de hoja de ruta
- Realizar la entrega al cliente
- Reportar entregas al supervisor

2. SITUACIÓN ACTUAL DE LA GENERACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO

En el siguiente capítulo se detalla paso a paso la situación general de toda la red de aire comprimido, desde su generación hasta su utilización, considerando también los elementos utilizados para su transporte y tratamiento, dicho estudio nos proyecta información importante que servirá de punto de partida para encontrar posibles oportunidades de mejora en todo el sistema.

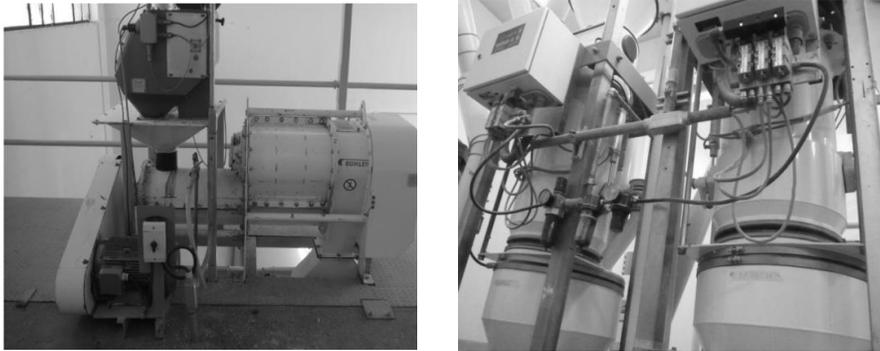
2.1. Generalidades de la red de aire comprimido en INHSA

En INHSA, Molinos modernos, se realiza una producción en serie de tipo vertical para la transformación de los insumos en producto terminado. Para dicha aplicación utilizan molinos de alta tecnología, compuestos de máquinas con diversas funciones, para llevar a cabo el proceso de molienda de trigo.

Para el proceso de transformación del producto, dentro de los mecanismos de operación de maquinaria existentes, se utilizan los accionamientos electroneumáticos, conformados por válvulas y cilindros accionados a través de aire comprimido, elemento esencial para su funcionamiento.

La demanda de presión de aire actual en la planta es de 100 PSI, que es el requerimiento mínimo para el funcionamiento eficiente en la producción de harina, y de toda la planta.

Figura 9. **Maquinaria de producción que utiliza aire comprimido**



Fuente: elaboración propia, foto tomada en Molinos Modernos.

2.2. **Compresores existentes para la generación de aire comprimido**

El compresor de aire desempeña un papel vital en el rendimiento global del sistema, ya que se encuentra conectado directamente a los equipos neumáticos; en INHSA, se utilizan los siguientes tipos de compresores:

Tabla XIII. **Descripción de los distintos compresores de INHSA, Molinos Modernos**

No.	MARCA	HP	MODELO	TIPO
1	Ingersoll	7,5	RAND 7AT2	Reciprocante 2 etapas
2	Sullair	30	LS-100	Tornillo helicoidal
3	Ingersoll rand	30	SSR-EP30SE	Tornillo helicoidal
4	Sullair	50	ES11-50H/A/SUL	Tornillo helicoidal

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

Todos los compresores están conectados en circuito paralelo como se observa en la figura 10. Cada compresor cuenta con su respectivo secador, que es el encargado de eliminar el condensado que produce el compresor al generar aire. Todas las tuberías que salen de los secadores, son dirigidas hacia un mismo colector, para su posterior almacenamiento en el tanque respectivo, para el aprovisionamiento hacia las distintas maquinas que lo requieren.

El compresor Ingersoll de tipo reciprocante se utiliza para el taller de mantenimiento, para limpieza del personal, como de equipos y otras aplicaciones y no se encuentra en el cuarto de compresores.

Figura 10. **Compresores de INHSA Molinos Modernos**



SULLAIR SSR-EP30SE

LS-10

ES11-50H/A/S

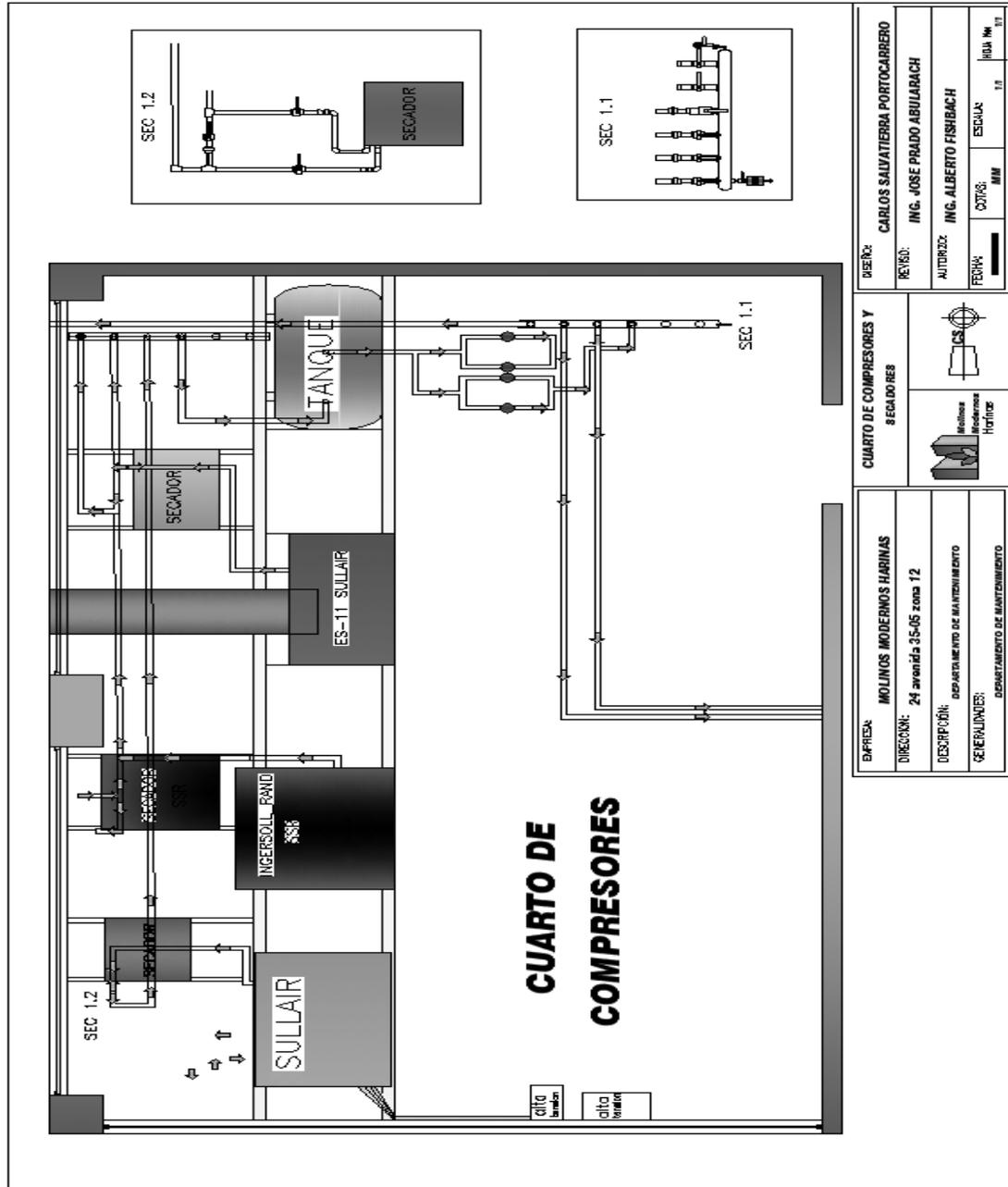
Fuente: elaboración propia, foto tomada en INHSA.

Figura 11. **Secadores de aire de INHSA Molinos Modernos**



Fuente: elaboración propia, foto tomada en INHSA.

Figura 12. Cuarto de compresores, INHSA



Fuente: elaboración propia, empleando Autocad Autodesk.

Tabla XIV. **Compresor reciprocante de mantenimiento**

Compresor ingersoll –RAND 7AT2	
Tipo:	Reciprocante
Etapas:	2 etapas
Sistema de enfriamiento:	Inter refrigeradores
Presión máxima	21 bar =304 PSI
Presión de trabajo	43,5 PSI - 116 PSI
Lubricación	SAE 5-W40
Motor eléctrico	
Hp motor	7,5 hp
Voltaje	220/440 v
Tipo	Trifásico
Sistema de protección del motor	Guarda motor
Frecuencia	60 hz
Potencia consumida	6,4 kw
Amperios	24/12
Rpm	1 745 rev/min
	44 kg/N
Tanque de almacenamiento	
Capacidad	0,5 m ³
Tipo	Horizontal
Wp	200
Temperatura	450
Shel	154
Otras especificaciones	
Pernos de anclaje: cuenta con cuatro tornillos anclados a una estructura metálica, a través de roscas, los tornillos son de 9/20" de diámetro externo.	
Ubicación: se encuentra a un costado del taller de mantenimiento mecánico, a una altura de 5,5 metros, sobre el nivel del sótano con respecto con el taller.	
Ventilación: el compresor se encuentra al aire libre, a condiciones de aspiración de temperatura y presión inicial de ambiente, cubierto con una estructura metálica, y con láminas para su protección de sol y lluvias.	
Suelo: concreto, pero el compresor se encuentra sobre el nivel del suelo.	

Fuente: elaboración propia, con datos recopilados en la plaqueta de los distintos equipos.

2.2.1. Características técnicas de los compresores

En la siguiente tabla se presentan las especificaciones técnicas de los compresores y los secadores que se encuentran en el cuarto de compresores.

Tabla XV. **Maquinaria de la sala de compresores, de IHNSA**

Sistema de compresión			
Compresor	Sullair/es -11	Ingersollrand	Sullair ls 10
Tipo	Tornillo helicoidal	Tornillo helicoidal	Tornillo helicoidal
Modelo	Es-11h/a/sul	Ssr-ep30se	02250103-449r00
Sistema de enfriamiento	Inter refrigeradores	Inter refrigeradores	Inter refrigeradores
Presión máxima	125 psi	125 psi	125 psi
Presión de trabajo	100 psi	100 psi	100 psi
CFM (PIES ³ / min)	210 ft ³ /min	117ft ³ /min	120 ft ³ /min
Motor eléctrico			
Hp motor	50hp	30 hp	30 hp
Voltaje	230v	120 v	230/46v
Tipo	Trifásico	Trifásico	Trifásico
Sistema de protección	Guarda motor	Guarda motor	Guarda motor
Frecuencia	60 phase / hz	3/60 hz	60 hz
Potencia consumida	37,3 kw	22,38 kw	22,38 kw
Secador			
Modelo	Sullair srd	Ingersoll rand dxr	Sullair sr
Ph	1	1	1
Hz	60	60	60
Lra	66,3	56	60
Hp	50	30	30

Fuente: elaboración propia, con datos recopilados en la plaqueta de los distintos equipos.

2.3. Distintos depósitos existentes para almacenamiento de aire

El aire comprimido descargado por el compresor es almacenado en un tanque hermético a una presión máxima de trabajo, con el objetivo de compensar las fluctuaciones de la presión en todos los sistemas de distribución.

Este depósito se ubica, directamente, a continuación del compresor. Debe ser una fuente constante de presión y, adicionalmente, contribuir a refrigerar el aire comprimido y a separar la condensación producida. En equipos grandes se instalan refrigeradores (pre-coolers) entre el compresor y el tanque de almacenamiento, con lo cual se limpia al aire comprimido de humedad.

El tamaño del depósito depende del consumo de aire comprimido y de la potencia del compresor, pero hay otros factores que se deben tomar en cuenta, como son la regulación del funcionamiento del compresor y la frecuencia de conexión máxima. El depósito de un compresor es el punto de alimentación central comprimido para varias salas o plantas. Los depósitos están colocados en posición horizontal o vertical, deben tener una llave de purga en la parte inferior del depósito para el condensado y la salida de aire comprimido debe estar en la parte superior para no arrastrar condensado.

En INHSA, se cuenta con un solo depósito que es el encargado de almacenar el aire comprimido producido por los tres compresores; suministra el aire a toda la planta que se encuentra en posición horizontal, con una purga en la parte inferior para eliminar condensado. Sus especificaciones técnicas se presentan en la tabla VII.

Tabla XVI. **Tanque de almacenamiento actual**

TANQUE (TIPIC S.A)			
Serie	37 - 360	Cue	Sa36esp9m
Capacidad	360 us gal = 1,44m ³	Pt	200 psi
Diámetro	37"	Pp	300 psi
Longitud	32'12"	Tara	404 kgs
Área	715 qfi	Cto	606 – 95
Cab s.a.	285 cbs ps7		

Fuente: elaboración propia, con datos recopilados en la plaqueta de los distintos equipos.

Figura 13. **Tanque de almacenamiento instalado de IHNSA**



Fuente: elaboración propia, foto tomada en Molinos Modernos.

2.4. Áreas de consumo y alimentación de aire comprimido

En INHSA, existen 3 áreas de consumo de aire comprimido, que son molino A, molino B y premezclas.

El molino A es el área más reciente de las instalaciones de la planta, tanto en maquinaria y edificio, como en funcionamiento. Para el montaje de estos equipos y procesos, se contrataron empresas internacionales altamente reconocidas, que llevaron a cabo un estudio previo y detallado para la puesta en marcha del molino. Se considera innecesario realizar un estudio completo de la red de alimentación de aire comprimido a los distintos equipos existentes.

El molino B está compuesto con la instalación y la maquinaria con mayor tiempo en uso de toda la planta; por tal motivo, se considera como el área crítica de evaluación y estudio. El objetivo es encontrar los diversos errores de instalación existentes en la instalación actual, ocasionados por ampliaciones realizadas a la red, sin ninguna base técnica para su instalación, como tuberías y máquinas.

El área de premezclado es de menor demanda de aire comprimido. Cuenta con una red de aire comprimido instalada reciente, pero basada en la experiencia de los mecánicos, con conocimientos empíricos para dicha aplicación.

Para realizar un estudio del consumo y alimentación de aire comprimido, se considera importante conocer los siguientes conceptos:

- Consumo específico: se llama consumo específico de una herramienta o equipo al consumo de aire requerido para servicio continuo a la presión de trabajo, dada por el manual del fabricante. Lo que se expresa en aire libre (lit/min, m³/seg, pie³/min).
- Consumo de utilización: es la determinación de la capacidad del compresor necesaria para alimentar una herramienta, maquinaria o un grupo de accionamientos neumáticos. Intervienen, aparte del consumo específico del aparato, el tiempo que el componente neumático está parado por la índole de su trabajo. Este margen de operación intermitente o factor de servicio se denomina coeficiente de utilización, y varía conforme el uso de cada herramienta, maquinaria o accionamiento.
- Coeficiente de simultaneidad: cuando hay en funcionamiento diversas herramientas o todos los equipos que integran una industria, el promedio de los coeficientes de utilización de cada uno de ellos nos dará una cifra denominada coeficiente de simultaneidad. Se da una cifra global para todo el conjunto de equipos de la planta de harina.

2.4.1. Distintas aplicaciones de uso de aire comprimido por áreas

El aire comprimido en la producción de harina es esencial para el proceso de transformación del producto. Dentro de sus aplicaciones están los accionamientos electroneumáticos, conformados por válvulas, y cilindros, necesarios para el funcionamiento de las distintas máquinas. Por lo que describe las distintas maquinarias utilizadas para la producción de trigo.

- Válvulas
 - Cilindros de doble efecto

La fuerza ejercida por el aire comprimido anima al émbolo a realizar un movimiento de traslación en los dos sentidos. Se dispone de una fuerza útil tanto en la ida como en el retorno. En Molinos Modernos se utilizan para abrir y cerrar compuertas de tuberías que dirigen el trigo o harina de un silo a otro.

Los cilindros de doble efecto se emplean especialmente en los casos en que el émbolo tiene que retornar a su posición inicial. En principio, la carrera de los cilindros no está limitada, pero hay que tener en cuenta el pandeo y doblado que puede sufrir el vástago salido. También en este caso, sirven de empaquetadura los labios y émbolos de las membranas.

Figura 14. **Cilindros neumáticos**



Fuente: FESTO. *Cilindros neumáticos*. <http://www.google.com/imgres?q=cilindros+neumaticos>.

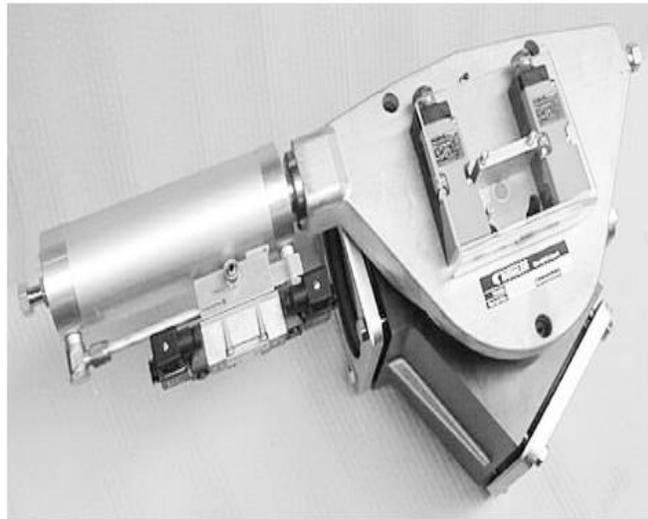
Consulta: 15 de junio 2017.

- Válvula desviadora de compuerta giratoria MAYH:

Es un elemento de distribución para instalaciones de transporte neumáticas. También puede utilizarse como elemento de recepción de productos. Se compone de la caja del distribuidor giratorio y de accionamiento neumático. El distribuidor giratorio conduce la mezcla del producto y del aire de alimentación hacia la una o la otra de las salidas.

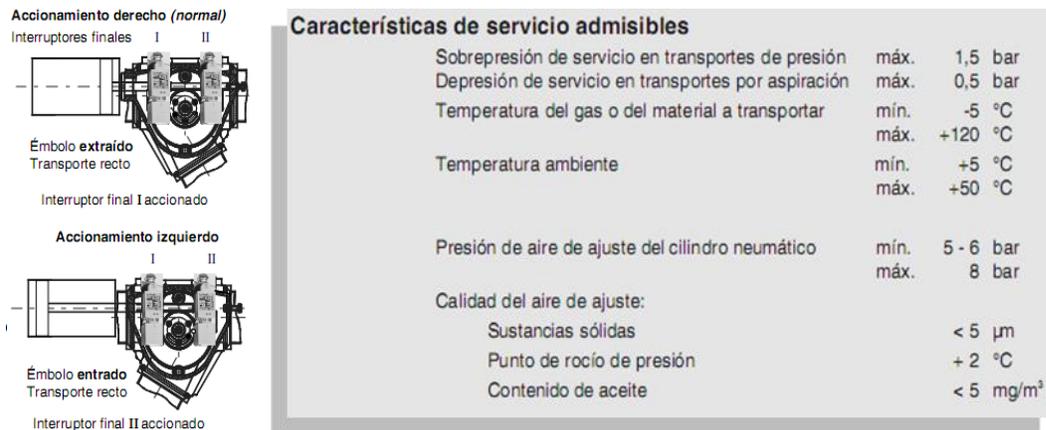
En el sentido del flujo de productos, el distribuidor giratorio está estanqueizado metálicamente frente a la caja, lo cual tiene como consecuencia un aumento del tiempo de funcionamiento. La forma del distribuidor giratorio está ejecutada de tal manera que el efecto de las juntas aumenta con la presión de alimentación.

Figura 15. **Válvula desviadora MAYH, de IHNSA**



Fuente: BÜHLER, Hermanos. *Manual de máquinas e instalaciones*. p. 30.

Figura 16. **Características de válvula desviadora MAYH**



Fuente: BÜHLER, Hermanos. *Manual de máquinas e instalaciones*. p. 31.

- Báscula de harina

Es un sistema de pesaje gravimétrico con salida continua de producto. El caudalímetro registra la capacidad efectiva y la cantidad de producto que fluye.

Para poder realizar un pesaje diferencial, se habilita en el depósito de báscula un depósito de producto con nivel constante; además, se mide el peso respectivamente después de un tiempo de rellenado fijo y se compara con el peso del último rellenado. Si el peso ha aumentado, se abre la compuerta de dosificación; en caso de caída de peso se cierra, a través de cilindros neumáticos accionados con aire.

Figura 17. **Báscula de harina**



Fuente: BÜHLER, Hermanos. *Manual de máquinas e instalaciones*. p.35.

La medición de la capacidad tiene lugar como en el modo de funcionamiento, regulación de caudal. Con la señal de entrada puede vaciarse el depósito por completo.

- Bancos de molienda de trigo

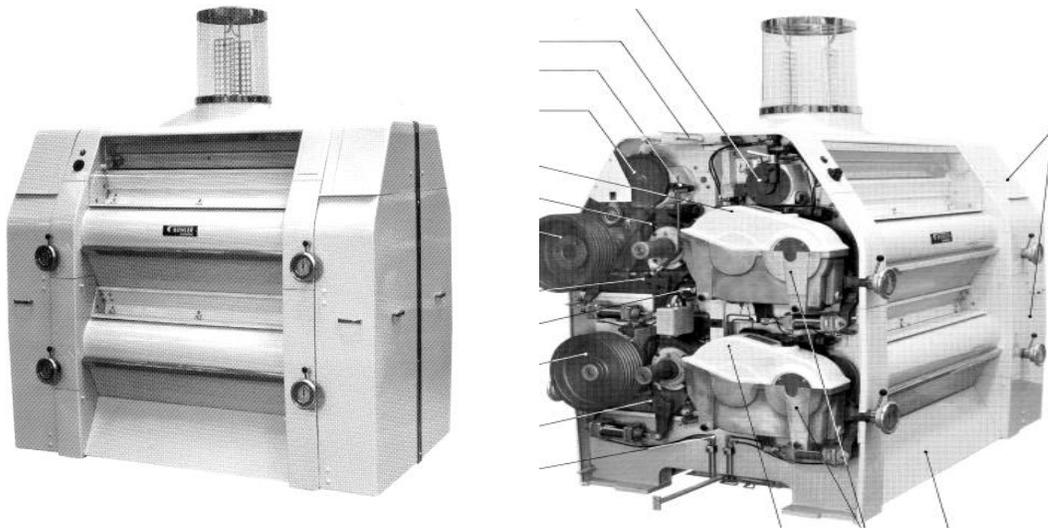
Brinda los siguientes rasgos principales:

- La disposición horizontal de los cilindros redundante en un arrastre perfecto del producto por dentro de la rejilla de molienda.
- Los paquetes de cilindros, abundantemente dimensionados y de cierre dinámico, con asientos elásticos amortiguadores de vibraciones, mantienen constante la rendija de molienda y aíslan las fuentes de ruido.

Un transmisor de impulsos de reacción sensible, puesto en la entrada de vidrio, manda automáticamente la alimentación de segmento en función del producto. El impulso, amplificado por una servorregulación neumática, sirve a la vez para el embrague y desembrague automático de los cilindros de molienda.

La aspiración del aire de la rendija de molienda permite a los cilindros lisos. Un número más alto de revoluciones y, por consiguiente, capacidades más altas.

Figura 18. Bancos de molienda de trigo de IHNSA



Fuente: BÜHLER Hermanos. *Manual de máquinas e instalaciones*. p.33.

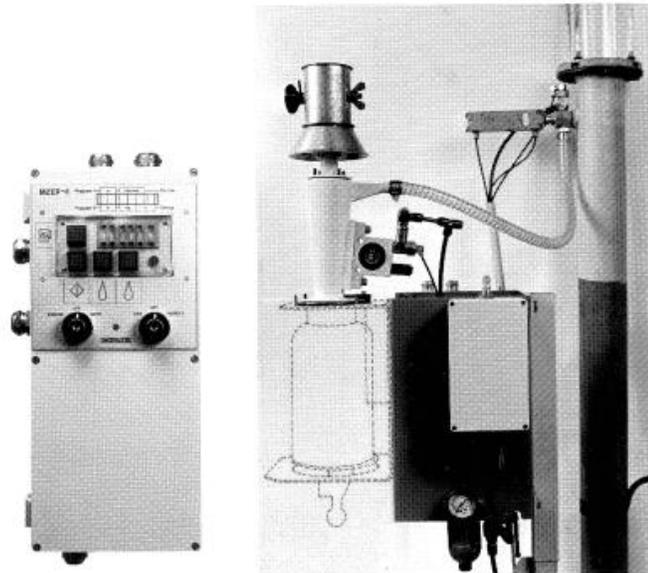
- Extractor de muestras

Puede utilizarse para la toma automática de muestras, desde el ramal de transporte del sistema neumático de presión para sémola y harina de trigo.

El extractor de muestras se instala en un ramal de transporte del sistema neumático de presión. Tiene dos ejecuciones:

- Para aire de salida en conducto de aspiración
- Para aire de salida de saco de filtro

Figura 19. **Extractor de muestras**



Fuente: BÜHLER Hermanos. *Manual de máquinas e instalaciones*. p.32.

En una tubería se ha instalado, transversalmente a la corriente de transporte, un suplemento tubular con un émbolo. Una vez abierto el émbolo mediante un cilindro de aire comprimido, el producto fluye a través del separador hasta el depósito de muestra.

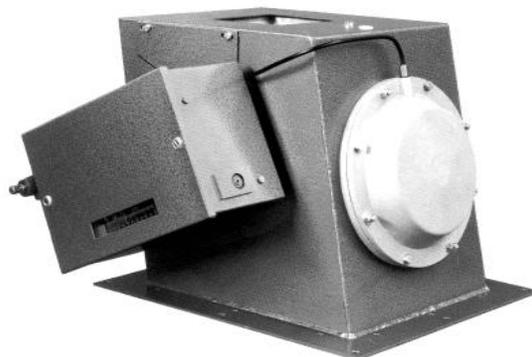
- Dosificador de producción de trigo

Permite dosificar la producción con una cantidad previamente seleccionada de producto granulado que fluye libremente a partir de un flujo pleno de producto.

Una corredera maniobrada neumáticamente dosifica el flujo del producto, el cual, recorrido de caída choca contra una placa dispuesta inclinada, por lo que se desvía en la trayectoria.

El impacto y la desviación del flujo del producto sobre la placa producen una fuerza que, teóricamente, es proporcional al flujo del producto en peso. Según sea mayor la fuerza en uno o en otro lado del brazo de la báscula, se abrirá o cerrará una tobera de aire. Con ello se ajusta de nuevo la corredera del producto neumáticamente gobernada, de forma que la viga de báscula siempre oscila alrededor del punto de equilibrio.

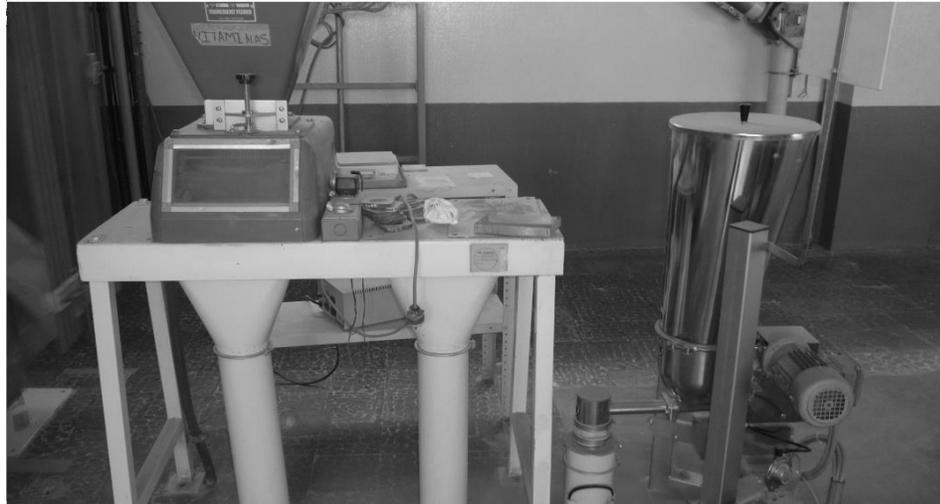
Figura 20. **Dosificador de trigo**



Fuente: BÜHLER Hermanos. *Manual de máquinas e instalaciones*. p.29

- Dosificador de vitaminas

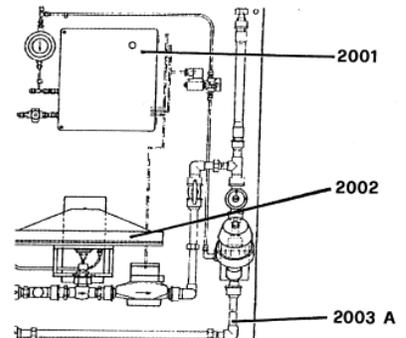
Figura 21. **Dosificador de vitaminas de IHNSA**



Fuente: BÜHLER Hermanos. *Manual de máquinas e instalaciones*. p.28.

- Detector de humedad myfa

Figura 22. **Regulador automático de humedad de IHNSA**



Fuente: BÜHLER Hermanos. *Manual de máquinas e instalaciones*. p.36.

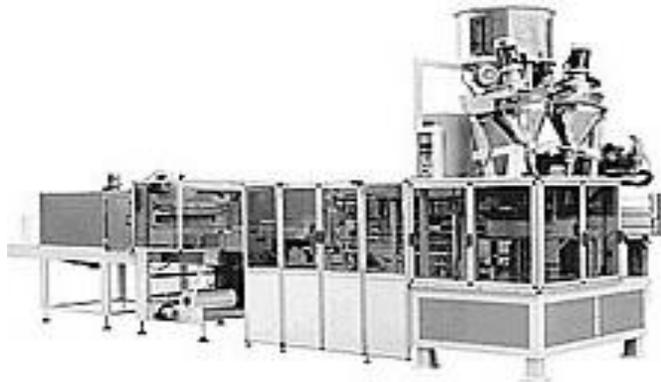
Máquinas utilizadas en el departamento de premezclas

- Italtack:

Es una línea de envasado que se utiliza para empaque de productos tales como harina, mezclas de sémola de trigo, azúcar y otros materiales pulverulentos. La línea Italtack maneja preformados en bolsas de 1 a 33 lbs (0,5 a 15 kg) que proporcionan hasta 102 a 2 lb (1 kg) de bolsas por minuto, con doble pliegue de cierre y dentro de las tolerancias de peso bien especificado.

Componentes adicionales de la línea de envasado, tales como detectores de metales, enfardadoras, pesadores de verificación, retractilado, paletizado y contenedores están disponibles y se precablean para facilitar la conexión en el campo, lo que permitirá ampliar su línea de productos como sus necesidades o presupuesto lo permite.

Figura 23. **Línea de envasado italtack de premezclas**



Fuente: RUIZ, Vinicio. *Inventario de máquinas*, Molinos Modernos. p.5.

- Bosch SVB- 25 10

Esta es una máquina con numerosas opciones de actualización de Bosch Packaging Technology, ideal para una amplia gama de alimentos y aplicaciones no alimentarias. Esta combinación permite a las máquinas intermitentes SVI la producción de bolsas con sellado de esquina y para bolsas de estilo doypack con cremallera opcional. Por la esquina de sellado, el fabricante puede actualizar el sistema con un módulo adicional.

Figura 24. **Línea de sellado de bolsas Bosh SVB2510**



Fuente: RUIZ, Vinicio. *Inventario de máquinas*, Molinos Modernos. p.5.

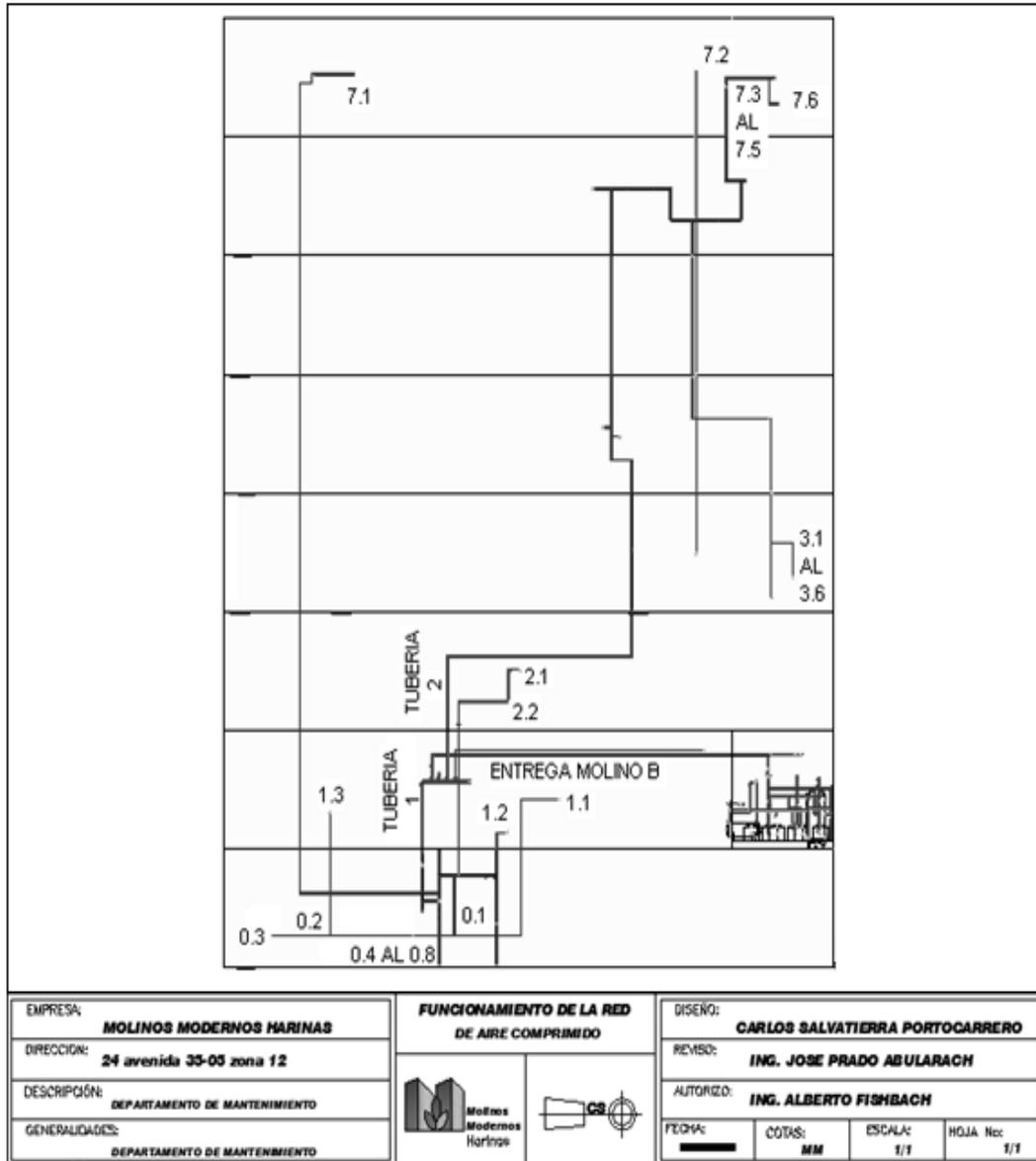
En la tabla XVII se presenta la descripción de las distintas máquinas que requieren de aire comprimido, en el molino B, las cuales están codificadas por el nivel correspondiente de cada una y la tubería que alimenta dicha aplicación.

Tabla XVII. Máquinas que requieren aire comprimido

MOLINO B, INHSA, MOLINOS MODERNOS				
No. de Máquina	Código por nivel	tubería	Nombre de la máquina	Modelo
1	0,1	1	Báscula de harina	MWEE
2	0,2	1	Báscula de granillo	MWEE
3	0,3	1	Báscula de afrecho	MWEE
4	0,4	1	Banco doble	MDDL
5	0,5	1	Banco doble	MDDL
6	0,6	1	Banco doble	MDDL
7	0,7	1	Banco	MDDK
8	0,8	1	Banco	MDDK
9	1,1	1	Báscula de impurezas	MWEG-2
10	1,2	1	Saca muestras	MZED
11	1,3	1	Báscula de impurezas	MWEE
12	2,1	1	Compuerta de paso entre silos	cilindros
13	2,2	1	Dosificador de vitaminas	MSDF205
14	7,1	1	Mascarilla	
No. de Máquina	Código por nivel	tubería	Nombre de la máquina	
14	3,1	2	Dosificador de trigo	MZAF
15	3,2	2	Dosificador de trigo	MZAF
16	3,3	2	Dosificador de trigo	MZAF
17	3,4	2	Dosificador de trigo	MZAF
18	3,5	2	Dosificador de trigo	MZAF
19	3,6	2	Dosificador de trigo	MZAF
20	7,2	2	Báscula de trigo 1 limpia	MWEG-2
21	7,3	2	Compuerta de paso entre silos	cilindros
22	7,4	2	Compuerta de paso entre silos	cilindros
23	7,5	2	Compuerta de paso entre silos	cilindros
2	7,6	2	Detector de humedad	MYFA

Fuente: elaboración propia, con datos recopilados en la plaqueta de los distintos equipos.

Figura 25. Tubería de aire comprimido para el molino B



Fuente: elaboración propia, empleando Autocad MEP 2010, Autodesk, vista frontal.

La figura 25 muestra la distribución de las tuberías correspondientes a las distintas máquinas del molino B, según el código asignado para cada una, tanto por maquinaria como por tubería de alimentación.

2.4.2. Demanda de presión requerida a las distintas aplicaciones y horarios con demandas máximas

El objeto de estudio es el molino B y el área de premezclas, por la antigüedad y las modificaciones efectuadas en su instalación; por tal motivo, únicamente se detallarán dichas aplicaciones.

Para conocer la demanda de aire comprimido, en molino B de INHSA, es importante conocer:

- La presión trabaja cada máquina
- El caudal de aire que necesita para su funcionamiento eficiente

Para conocer el valor de caudal de aire que se va a necesitar, verificaremos el consumo específico requerido para servicio continuo a la presión de trabajo, dada por el manual del fabricante, que se expresa en aire libre (lita/min, m^3 /ser, pie^3 /min). Para el cálculo del consumo en CFM, de la maquinaria que carece de consumo específico, se recurrirá al siguiente método de cálculo.

Los cilindros neumáticos son los que se utilizan para los distintos movimientos en las distintas máquinas. Para encontrar su consumo, se calcula primero la demanda o consumo de cada cilindro y este valor se multiplica por el número de cilindros iguales que tenga.

Si en la maquinaria existen cilindros de diferentes medidas, las demandas de aire será la sumatoria del consumo de los mismos. Para conocer dicha demanda se debe tener la siguiente información.

- Cálculo de ciclos por minuto
 - Características y medidas de los cilindros neumáticos:

Las dimensiones de los cilindros, si son de simple o doble efecto, pueden ser:

A = Diámetro del cilindro (mm)

B = Longitud del cilindro (mm)

C = Diámetro del embolo (mm)

S = longitud de la carrera (cm)

- Cálculo del consumo de aire en los cilindros neumáticos

Al conocer el diámetro del cilindro, la longitud de la carrera, el número de carreras o ciclos por minuto y la presión de trabajo, se hace el cálculo del consumo de aire para cada uno de los cilindros.

Para ciclos de simple efecto se debe utilizar la fórmula:

$$Q = s \times n \times q \text{ (litros/minuto)}$$

Para cilindros de doble efecto se debe utilizar la fórmula:

$$Q = 2(s \times n \times q) \text{ (litros /minuto)}$$

En donde:

Q = consumo del aire total en litros/min (demanda).

q = Consumo de aire del cilindro neumático por cada centímetro de carrera expresado en litros/cm; se obtiene de la tabla.

n = Número de carreras por minuto (ciclos/minuto).

s = Carrera en centímetros.

Tabla XVIII. **Tabla de demanda de aire en cilindros neumáticos**

PRESION DE TRABAJO EN bar y en (P.S.I)												
bar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P.S.I	14.5	29	43.5	58	72.5	87	101.5	116	130.5	145	159.5	174
Diámetro del cilindro (mm)	CONSUMO DE AIRE EN LITROS POR CENÍMETRO DE CARRERA DEL CILINDRO											
	6	12	16	25	35	40	50	70	100	140	200	250
6	0.005	0.008	0.0011	0.0014	0.0016	0.0019	0.022	0.0025	0.0027	0.0300	0.0033	0.0036
12	0.002	0.003	0.004	0.006	0.007	0.008	0.009	0.010	0.011	0.012	0.013	0.014
16	0.004	0.006	0.008	0.01	0.0011	0.0014	0.0016	0.0018	0.02	0.022	0.024	0.026
25	0.01	0.014	0.0019	0.024	0.029	0.033	0.038	0.043	0.048	0.052	0.057	0.062
35	0.019	0.028	0.038	0.047	0.056	0.066	0.075	0.084	0.093	0.103	0.112	0.121
40	0.025	0.037	0.049	0.061	0.073	0.085	0.097	0.110	0.122	0.135	0.146	0.157
50	0.039	0.058	0.077	0.096	0.115	0.134	0.153	0.172	0.191	0.21	0.229	0.248
70	0.076	0.113	0.15	0.187	0.225	0.262	0.299	0.335	0.374	0.411	0.448	0.485
100	0.155	0.231	0.307	0.383	0.459	0.535	0.611	0.687	0.763	0.839	0.915	0.991
140	0.303	0.252	0.601	0.75	0.899	1.048	1.197	1.346	1.495	1.644	1.793	1.942
200	0.618	0.923	1.227	1.531	1.835	2.139	2.443	2.747	3.052	3.356	3.66	3.964
250	0.966	1.441	1.916	2.392	2.867	3.342	3.817	4.292	4.768	5.243	5.718	6.193

Fuente: CAMICER, Enrique. *Aire comprimido p. 202.*

Consumo de utilización de aire en báscula MWEE (CODIGO 0.1).

La báscula MWEE consta de tres cilindros neumáticos, accionados a través de tres electroválvulas encargadas de abrir y cerrar las compuertas a pesos programados.

- Cálculo para el cilindro 1 y 2

El valor que se obtiene de la tabla, donde se debe buscar la intersección de los datos con presión 80 PSI y diámetro del cilindro de 40 mm, obtenemos el valor de $q = 0,085$ litros/ centímetro; entonces procedemos al cálculo correspondiente.

$$Q = 2(s \times n \times q) \text{ (litros/minuto)}$$

$$Q = 2(12,5 \times 3 \times 0,085) = 6,375 \text{ (litros/minuto)}$$

$$Q = 0,2251 \text{ pies}^3/\text{min (CFM)}$$

Cálculo para el cilindro 3:

$$Q = 2(s \times n \times q) \text{ (litros /minuto)}$$

$$Q = 2(10 \times 3 \times 0,085) = 5,1 \text{ (litros /minuto)}$$

$$\underline{Q = 0,18 \text{ pies}^3/\text{min (CFM)}}$$

Tabla XIX. **Cálculo de consumo de aire comprimido de máquina MWEE**

Báscula MWEE					
No. Cilindro	Presión (PSI)	Diámetro A (mm)	Carreras (cm)	No. de Carreras por minuto N (ciclos/minuto)	CFM calculado
1	80	40	12,5	3	0,2251
2	80	40	12,5	3	0,2251
3	80	40	10	3	0,18
Total en (CFM) de máquina					0,6302

Fuente: CAMICER, Enrique. *Aire comprimido*

Consumo de utilización de aire en báscula MWEE-2 (CODIGO 1.1).

Tabla XX. **Cálculo de consumo de aire comprimido de máquina
MWEG-2**

Báscula MWEG-2					
No. Cilindro	Presión (PSI)	Diámetro A (mm)	Carreras (cm)	No. de Carreras por minuto N (ciclos/minuto)	CFM calculado
1	80	16	10	3	0,03
2	80	32	10	3	0,14
Total en (CFM) de máquina					0,17

Fuente: CAMICER, Enrique. *Aire comprimido*
consumo de utilización de aire en báscula MWEG-2 (CODIGO 7.2).

Tabla XXI. **Cálculo de consumo de aire comprimido de máquina
MWEE-2**

Báscula MWEE-2					
No. Cilindro	Presión (PSI)	Diámetro A (mm)	Carreras (cm)	No. de Carreras por minuto N (ciclos/minuto)	CFM calculado
1	55	16	10	4	0,028
2	55	32	10	4	0,133
Total en (CFM) de máquina					0,16

Fuente: CAMICER, Enrique. *Aire comprimido*
consumo de utilización de aire de compuerta de pasos entre silos
(CODIGO 2.1).

Tabla XXII. **Consumo de aire comprimido de compuerta de paso**

Compuerta de pasos entre silos					
No. Cilindro	Presión (PSI)	Diámetro A (mm)	Carreras (cm)	No. de Carreras por minuto N (ciclos/minuto)	CFM calculado
1	100	80	10	1	0,1057
Total en (CFM) de máquina					0,1057

Fuente: CAMICER, Enrique. *Aire comprimido*
 consumo de utilización de aire de compuerta de pasos entre silos
 (CÓDIGO 7.3).

Tabla XXIII. **Consumo total de aire comprimido en INHSA**

Compuerta de pasos entre silos					
No. Cilindro	Presión (PSI)	Diámetro A (mm)	Carreras (cm)	No. de Carreras por minuto N (ciclos/minuto)	CFM calculado
1	100	40	12,5	1	0,04286
Total en (CFM) de máquina					0,04286

Fuente: CAMICER, Enrique. *Aire comprimido*.

Tabla XXIV. **Consumo total de CFM en INHSA, molino B**

Molino B, INHSA, Molinos Modernos						
No.	Código de Máquina Por nivel	Tubería de servicio	Máquina	Modelo	Consumo específico de aire en CFM	
					Teórico	Calculado
1	0,1	1	báscula de harina	MWEE		0,6302

Continuación de la tabla XXIV.

2	0,2	1	báscula de granillo	MWEE		0,6302
3	0,3	1	báscula de afrecho	MWEE		0,6302
4	0,4	1	banco doble	MDDL	1,76573	
5	0,5	1	banco doble	MDDL	1,76573	
6	0,6	1	banco doble	MDDL	1,76573	
7	0,7	1	banco	MDDK	1,177153	
8	0,8	1	Banco	MDDK	1,177153	
9	1,1	1	báscula de impurezas	MWEG-2		0,17
10	1,2	1	Saca muestras	MZED	13,24297	
11	1,3	1	báscula de impurezas	MWEE	0,6302	
12	2,1	1	compuerta de paso entre silos	cilindros	0,1057	
13	2,2	1	dosificador de vitaminas	MSDF205	0,2942	
14	7,1	1	Mascarilla			2,3
TOTAL (tubería de distribución secundaria 1)					26.885166	
14	3,1	2	Dosificador de trigo	MZAF	0,088286	
15	3,2	2	Dosificador de trigo	MZAF	0,088286	
16	3,3	2	Dosificador de trigo	MZAF	0,088286	
17	3,4	2	Dosificador de trigo	MZAF	0,088286	
18	3,5	2	Dosificador de trigo	MZAF	0,088286	
19	3,6	2	Dosificador de trigo	MZAF	0,088286	
20	7,2	2	báscula de trigo 1 limpia	MWEG-2		0,16
21	7,3	2	compuerta de paso entre silos	cilindros		0,04286
22	7,4	2	compuerta de paso entre silos	cilindros		0,04286
23	7,5	2	compuerta de paso entre silos	cilindros		0,04286
24	7,6	2	detector de Humedad MYFA			2,0
Total (tubería de distribución secundaria 2)					2, 818296	
Sumatoria total (para el molino b)					29,703462	

Fuente: CAMICER, Enrique. *Aire comprimido*
consumo de aire comprimido máximo en INHSA B 29,70 CFM.

Para que nuestros cálculos se acerquen a la realidad, realizaremos el siguiente procedimiento.

40 % pérdidas por fugas	11,88	CFM	*
10 % errores en cálculos	2,97	CFM	
10 % Aplicaciones futuras	<u>2,97</u>	<u>CFM</u>	**
Suma	47,52	CFM	(valor crítico)

La sumatoria de este caudal, es el consumo crítico o funcionamiento ambiguo de requerimiento de aire.

Se tomó para efectos de cálculos 40 % de porcentaje, porque actualmente es el promedio de fugas en INHSA, según estudio realizado en páginas posteriores; en otras industrias se mantiene un porcentaje de fugas del 20 % al 30 %.

El porcentaje de futuras aplicaciones es bajo, debido a que no se tiene previsto ampliar las instalaciones actuales e incluso se están eliminando tuberías.

Para efectos de diseño y para encontrar el diámetro de tubería recomendado, se tomará en consideración el valor crítico siguiente que equivale a 47,52 CFM, tomando en consideración la sumatoria de todos los porcentajes antes calculados.

Tabla XXV. **Consumo de aire comprimido total en INHSA, B**

INHSA, MOLINOS MODERNOS, MOLINO B		
Tubería	CFM calculado	CFM crítico
Línea de distribución 1	26,89	43,008
Línea de distribución 2	2,82	4,512
Total	29,70	47,52

Fuente: CAMICER, Enrique. *Aire comprimido*.

El consumo de aire en pies³/ min CFM, es un dato no real, debido a que cada maquinaria tiene un tiempo de inactividad, según su trabajo, al cual se le denomina coeficiente de utilización.

Para el cálculo promedio de uso, multiplicaremos este coeficiente de utilización por el consumo total de cada máquina, Nos dará como resultado el consumo real, y hallando el promedio ponderado de los coeficientes de utilización, se encontrará el coeficiente de simultaneidad de la utilización del aire comprimido en la planta.

$\% \text{ de utilización} = \text{coeficiente de utilización} = \frac{\text{tiempo de jornada}}{\text{tiempo de uso consumo promedio total de CFM en INHSA, molino B}}$

Tabla XXVI. **Consumo de aire comprimido considerando promedio de utilización**

Molino B, INHSA, MOLINOS MODERNOS					
No.	Máquina	Modelo	Consumo crítico específico CFM	Coficiente de utilización	Consumo De aire promedio en CFM
1	báscula de harina	MWEE	0,6302	100 %	0,6302
2	báscula de granillo	MWEE	0,6302	100 %	0,6302
3	báscula de afrecho	MWEE	0,6302	100 %	0,6302
4	banco doble	MDDL	2,354306	1,5 %	0,03531
5	banco doble	MDDL	2,354306	1,5%	0,03531
6	banco doble	MDDL	2,354306	1,5 %	0,03531
7	banco	MDDK	1,177153	1,5 %	0,017657
8	banco	MDDK	1,177153	1,5 %	0,017657
9	báscula de impurezas	MWEG-2	0,17	100 %	0,17
10	Saca muestras	MZED	13,242975	25 %	3,3107
11	báscula de impurezas	MWEE	0,6302	100 %	0,6302
12	compuerta paso entre silos de harina	Cilindros	0,5811	0,05%	0,00029
13	dosificador de vitaminas		0,2942	100 %	0,2942
14	Mascarilla		2,3	0,7%	0,0161
TOTAL (tubería de distribución 1)			26.885166		6,453334
14	dosificador de trigo	MZAF	0,0882865	5%	0,00441
15	dosificador de trigo	MZAF	0,0882865	33 %	0,02913
16	dosificador de trigo	MZAF	0,0882865	33 %	0,02913
17	dosificador de trigo	MZAF	0,0882865	100 %	0,088286
18	dosificador de trigo	MZAF	0,0882865	100 %	0,088286
19	dosificador de trigo	MZAF	0,0882865	100 %	0,088286
20	báscula de trigo 1 limpia	MWEG	0,16	100 %	0,16
21	compuerta de paso entre silos	Cilindros	0,04286	0,62 %	0,00026
22	compuerta de paso entre silos	Cilindros	0,04286	0,2 %	0,00026
23	compuerta de paso entre silos	Cilindros	0,04286	0,2%	0,00026
24	detector de Humedad MYFA		2	100 %	2
Total (tubería de distribución 2)			2,818296		2,4883
Total en CFM					8,941642

Fuente: CAMICER, Enrique. *Aire comprimido.*

Con la información anterior sobre el total de CFM, realizamos el siguiente procedimiento para encontrar la demanda de aire comprimido en el molino B.

A continuación, se hace el promedio de porcentajes de utilización:

$(100 \% + 100 \% + 100 \% + 1,5 \% + 1,5 \% + 1,5 \% + 1,5 \% + 1,5 \% + 100 \% + 25 \% + 100 \% + 0,05 \% + 100 \% + 0,7 \% + 5 \% + 33 \% + 33 \% + 100 \% + 100 \% + 100 \% + 0,62 \% + 0,2 \% + 0,2 \% + 100 \%) = 50,2 \%$ de coeficiente de simultaneidad.

$$8,941642 \text{ CFM} \times 0,502 = 4,49 \text{ CFM}$$

Consumo promedio de

aire comprimido en INHSA B

4,49 CFM

40 % pérdidas por fugas

11,68 CFM (dato crítico anterior)

10 % errores en cálculos

0,45 CFM

10 % aplicaciones futuras

0,45 CFM

Suma

17,07 CFM

Este valor se considera como el promedio de utilización de aire comprimido en la planta, en una jornada ordinaria de uso.

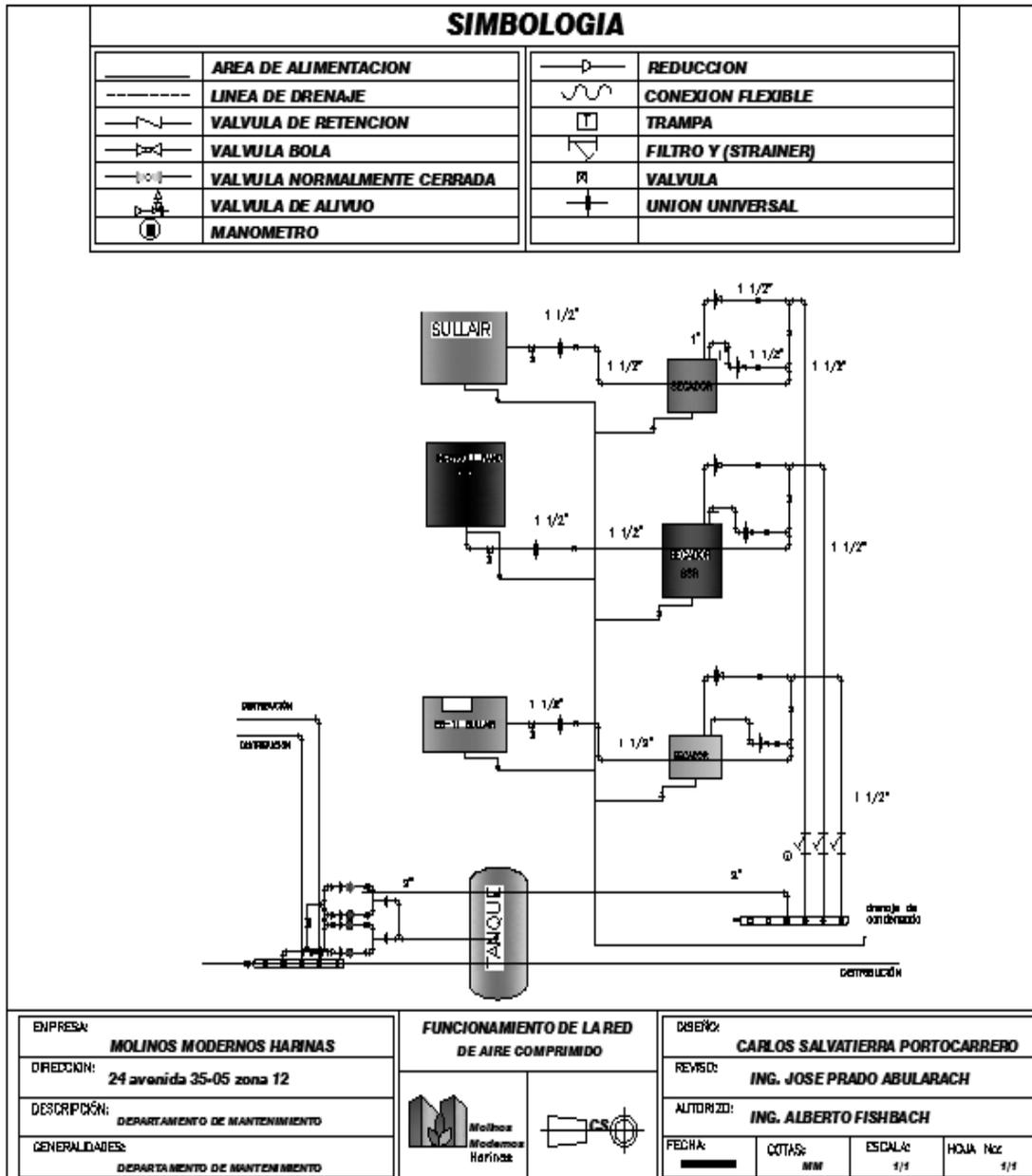
2.5. Evaluación del diseño actual de la red de aire comprimido

En INHSA, se cuenta con tres compresores, encargados de generar aire comprimido en toda la planta, tanto para el molino A, B, como la planta de premezclado; en la sala de compresores se tiene un sistema de aire comprimido de tipo paralelo, con diámetro de 1 ½” en la salida de los compresores, en la entrada y salida de los secadores y en la tubería que se dirige hacia los colectores que posteriormente se dirigen hacia un tanque de almacenamiento, que es el encargado de recolectar todo el aire que generan los distintos compresores. Luego se tiene la salida hacia otro colector, que divide el aire en las tres áreas de consumo, anteriormente mencionadas. Luego esta tubería se dirige hacia las distintas áreas de consumo, en los ocho niveles, que conforman el área de alimentación de aire comprimido del molino B, en donde alimenta los distintos cilindros neumáticos que son elementos esenciales para el funcionamiento, de las distintas maquinarias que se utilizan en la molienda de trigo.

Para hacer un análisis completo de la red y distribución de aire comprimido, es necesario evaluar y analizar, la situación actual de la instalación, tanto de la tubería como los compresores, ya que se puede mencionar que la red actual de aire comprimido tiene aproximadamente más de cuarenta años de funcionamiento, tiene algunas deficiencias como un mal diseño de instalación de tuberías, sin alguna base técnica, teniendo como consecuencias pérdidas de eficiencia en el diseño actual, ya que dichas instalaciones fueron realizadas conforme a la necesidad de aire que se vieron suscitadas.

En la figura 26 se presenta el circuito de la instalación actual, en la sala de compresores.

Figura 26. Circuito de generación de aire comprimido en cuarto de compresores



Fuente: elaboración propia, empleando Autocad MEP 2010, Autodesk.

2.5.1. Deficiencia de la red de aire comprimido actual

Luego de evaluar la red de aire comprimido en INHSA, se pudo observar diversas deficiencias. Como se había mencionado, existen tuberías que se han abandonado completamente, debido a que no existe un plan de mantenimiento de las mismas. Hay tuberías que se encuentran sin sus respectivos soportes, dañadas debidas al óxido y la corrosión que son el resultado de inexistencia de purgas manuales o automáticas.

Hay también inclinaciones para el depósito y salidas del condensado, que ocasionan daños en las válvulas y equipos neumáticos, por una mala entrega de aire, que en condiciones ideales debe ser seco y con buen tratamiento del aire.

Otro de los resultados de no contar con purgas necesaria de sacado del aire, son las condensaciones de vapores de agua y de aceite que causan de una serie de inconvenientes tales como:

- Corrosión de tuberías metálicas
- entorpecimiento de los accionamientos mecánicos
- Errores de medición en los equipos de control
- Obstrucción de boquillas en chorros de aire
- Pintado defectuoso de superficies
- Degradación del poder lubricante de los aceites de engrase
- Oxidación de los órganos internos en los equipos receptores.
- Bajo rendimiento en toda la instalación

En la sala de compresores se pudo observar, que los compresores se encuentran conectados en forma paralela uno con el otro. El fluido de salida del

aire se dirige hacia un mismo tanque de almacenamiento, después sale hacia los filtros de agua y aceite que luego se dirigen a un colector, en donde se distribuye el caudal de aire. En este caso se puede mejorar la instalación al cambiar la configuración a un circuito en serie, acomodar la instalación para evitar la excesiva formación de condensado y aceite.

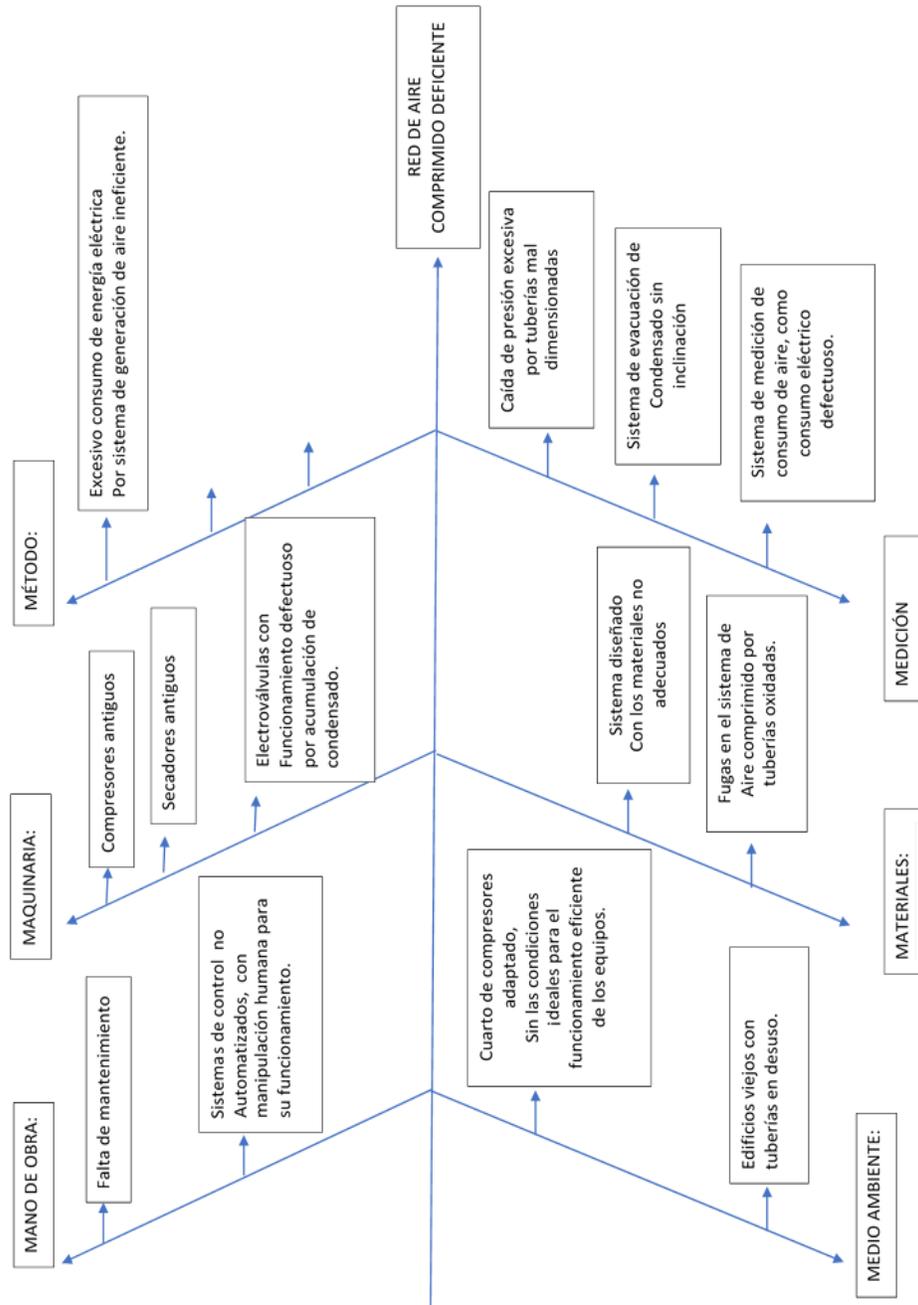
La instalación de red de aire comprimido más antigua en INHSA es la del molino B; por esa razón es de objeto de estudio. Las modificaciones en sus instalaciones al momento de eliminar maquinaria innecesaria dejan activa la tubería de aire y sin ningún uso. Ocasiona pérdidas de aire debido a fugas en las tuberías, y desperdicio de dinero en concepto de fugas por año. Se encontraron estrangulaciones, en diversas partes de la red de aire comprimido, instaladas por falta de tubería del mismo diámetro al momento de realizar modificaciones. Esto ocasiona grandes pérdidas de presión por la reducción de diámetros, de forma innecesaria.

2.5.2. Estudio de Pareto para el análisis de causa y efecto de aire comprimido en funcionamiento deficiente

Por lo general se acostumbra a tratar el efecto, pero debemos analizar las causas del resultado; en el siguiente diagrama se mencionará las causas y efectos de la red de aire comprimido actual.

Para conocer los efectos de una red de aire comprimido deficiente, se analiza las siguientes causas.

Figura 27. Estudio causa y efecto de deficiencias en la red de aire comprimido



Fuente: elaboración propia.

2.5.3. Daños ocasionados por fallas de los compresores actuales

En INHSA se cuenta con 3 compresores de tipo tornillo helicoidal, encargados de suministrar aire comprimido en toda la empresa. Están conectados en circuito de tipo paralelo, entre ellos, y en serie con cada uno de sus secadores.

Esto significa, que, si al compresor se le hiciera servicio de mantenimiento, el secador quedaría en desuso automáticamente. Hay dos compresores encargados de realizar la tarea de suministrar aire en toda la planta, trabajando en condiciones todavía aceptables, para su funcionamiento.

Esto significa que, si fallara otro compresor, tendríamos grandes pérdidas debido a que el aire comprimido es parte vital en el proceso de molienda de trigo, ya que alimenta aire comprimido a más de 50 máquinas en toda la planta. Hay paros en la producción de harina, con pérdidas de producción, monetarias de confiabilidad en el sistema de aire comprimido.

Para dicho análisis es importante considerar que la vida media de los compresores por cada año de utilización es menor, y los compresores que existen en la planta tienen un tiempo de utilización de más de 40 años. Por ende, cuentan con una eficiencia de producción de aire menor a la de las condiciones iniciales e ideales para su óptimo funcionamiento, con costos de mantenimiento y energía eléctrica más elevados.

Por lo tanto, es de suma importancia hacer un estudio completo de los compresores y secadores en la planta; su vida útil, eficiencia de maquinaria, mantenimiento, costos de mantenimiento, circuitos de su instalación, condiciones de trabajo como aire limpio y temperatura, entre otros.

2.5.4. Consumo de energía eléctrica

Dentro de los beneficios de realizar un diagnóstico en los sistemas de aire comprimido está, por un lado, el identificar los costos verdaderos de producirlo y utilizarlo; por otro lado, nos sirve para identificar oportunidades que nos pueden ayudar a obtener mayor eficiencia y productividad. Los costos asociados con la generación de aire comprimido en general se dividen en 15 % en costos de mantenimiento, 15 % en costos de equipo y 70 % en electricidad.

La planta está operando con cuatro compresores, en donde tres son los encargados del área de producción, y un pequeño para uso exclusivo del departamento de mantenimiento y limpieza. En la siguiente tabla se presentarán los datos técnicos de los tres compresores objeto de estudio.

Tabla XXVII. **Características técnicas de compresores**

No	Descripción	Descripción de compresores		Potencia KW	Capacidad en ft ³ /hr
1	Compresor # 1	Marca	SULLAIR	37,3 KW	12,600
		Modelo	ES-100		
		Potencia	50 HP		
		Capacidad	210 CFM (ft ³ /min)		

Continuación de la tabla XXVII.

2	Compresor # 2	Marca	Sullair	22,38 KW	7 200
		Modelo	LS-10		
		Potencia	30 HP		
		Capacidad	120 CFM (ft ³ /min)		
3	Compresor # 3	Marca	Ingersoll rand	22,38 KW	7 020
		Modelo	55R-EP30SE		
		Potencia	30 HP		
		Capacidad	117 CFM (ft ³ /min)		

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos en las plaquetas de los equipos.

Para realizar el cálculo de energía eléctrica, con respecto al aire comprimido por producir, se calculará el costo de generar 1 000 ft³ con la combinación de los distintos compresores existentes.

Para comprensión general, realizaremos el cálculo de la combinación compresor #1 más compresor #2.

Capacidad ft³/hr del compresor 1 + compresor 2

12 600 + 7 200 = 19 800 ft³/hr; 19 800 ft³ = 1 HORA

Potencia consumida por la combinación:

compresor #1 más compresor #2 = 60 KW/hr

En la industria guatemalteca, se tiene actualmente la cifra, en costo de energía eléctrica de 0,11 US\$/ kw/hr

60 KW/hr X 0,11 US\$/ kw/hr = US\$ 6,6

Calculando el costo para producir 1 000 ft³

$$1\ 000\ \text{ft}^3 \times 1\ \text{hora} / (19\ 800\ \text{ft}^3) \times 6,6\ \text{US\$} / 1\ \text{hora} = \text{US\$}\ 0,33$$

Tabla XXVIII. **Consumo energético de compresores de funcionamiento simultáneo**

Combinación	Capacidad en ft ³ /hr	Potencia consumida KW/hr	Costo US\$/hr	Costo \$ para producir 1 000 ft ³
#1 + #2	19,800	60	6,6	0,3333
#1 + #3	19,620	60	6,6	0,3364
#2 + #3	14,220	45	4,95	0,3481

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos en las plaquetas de los equipos.

Este mismo procedimiento se realizó por cada una de las combinaciones de compresores que existen para obtener el costo de generar 1 000 ft³.

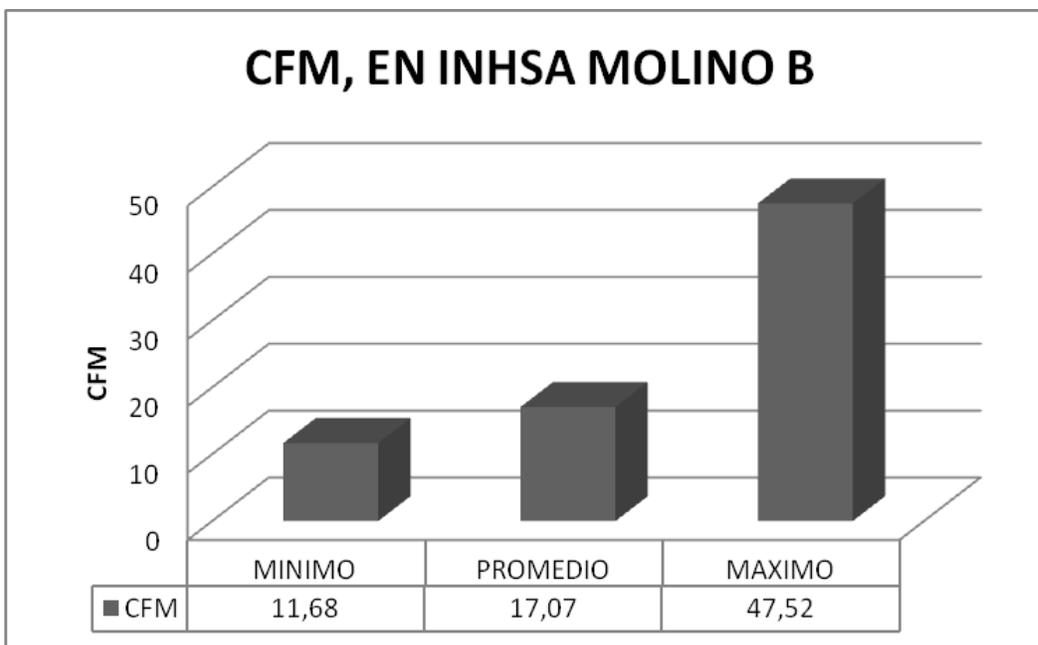
Para conocer el costo anual de generar aire comprimido en toda la planta, tenemos que conocer el consumo total, tanto para el molino A, como el B, y otras áreas de consumo. Dicho cálculo se detallará con mayor énfasis en capítulos posteriores.

Luego de tener este dato, procedemos a encontrar el tiempo de uso y utilización de los compresores, en dimensionales ft³/ año. Encontramos la relación para multiplicar el costo de generar US\$1 000 /año. Con este valor de CFM calculado, se obtuvo como resultado el costo en US\$ de generar aire comprimido en un año.

2.5.5. Demanda de aire comprimido

En la siguiente gráfica se presentan los valores de consumos de aire comprimido actuales en CFM, requeridos para el funcionamiento del molino B.

Figura 28. Resumen gráfico del consumo de aire comprimido



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos en las plaquetas de los equipos.

El CFM mínimo es igual al porcentaje de fugas de aire en el sistema, tomando en cuenta inactividad de las máquinas.

El CFM promedio es igual al aire comprimido utilizado, considerando el porcentaje de simultaneidad de utilización de este durante la jornada de trabajo. El CFM máximo, es considerando condiciones críticas, con ambigüedad de utilización de maquinaria, y con un porcentaje de utilización de cada uno del 100 %.

2.5.6. Tubería para la distribución de aire comprimido

Para el transporte de aire comprimido desde la central de compresores hasta los lugares de utilización se emplea una red de conducciones conocidas como tuberías. Hay tres tipos de tuberías:

Tubería principal: es la línea de aire que sale del depósito en la sala de compresores y canaliza la totalidad del caudal de aire. Debe tener la mayor sección posible y proveer un margen de seguridad en cuanto a posteriores crecimientos de la planta.

Tubería secundaria: es la que toma el aire de la tubería principal, la ramifica por las zonas de trabajo, de las cuales salen las tuberías de servicio. El caudal de aire que transportan será el correspondiente a la suma de los caudales parciales que de ella se derive; al mismo tiempo, es conveniente pensar en alguna futura aplicación al calcular su diámetro. La velocidad máxima del aire es de 8 m/seg.

Tubería de servicio: Es la que alimenta a las herramientas o equipos neumáticos en el punto de manipulación, llevan los acoplamientos de cierre rápido e incluyen las mangueras de aire, las unidades de servicio filtro, regulador, lubricador.

Las tuberías de servicio se requiere dimensionarlas conforme al número de salidas o tomas. Se debe evitar instalar tuberías de servicio inferiores a ½ pulgada de diámetro, ya que el aire sucio puede taparlas.

En INHSA, Molinos Modernos se tiene tuberías por molino; este consta de 8 niveles, con una red de distribución vertical. La tubería consta de un circuito abierto, con ramales de distintos diámetros en cada nivel y de distinta procedencia.

Tabla XXIX. **Detalle de tuberías y accesorios instalados**

Nivel	Tubería	Distancia de las tuberías según su diámetro en (m)						Accesorios						
		½"	¾"	1"	1½"	2"	3"	C	T	U	UU		FRL	A R
0	1		25,1					3	6	1	3	1		
0	1	41						21	2		3	2	1	
0	1			3,7				4	1		1	1	1	
0	1	12						4	2			1	2	
0	1			3,5				3			1			
Total nivel 0		53	25,1	7,2				35	11	1	8	5	4	
1	1	24						7	3	2	1	5	4	
1	1				7,4					1				
Total nivel 1		24			7,4			7	3	3	1	5	4	
2	1				4,2			4	2			2	1	
2	1	3,3												
Total nivel 2		3,3			4,2			4	2			2	1	
3	1	4,1						1		1	2			
Total nivel 3		4,1						1		1	2			
4	1	4,1						1						
Total nivel 4		4,1						1						
5	1	4,3							1					
Total nivel 5		4,3							1					
6	1	9,8						2	1			1	1	
Total nivel 6		9,8						2	1			1	1	

Continuación de la tabla XXIX.

Total tubería 1		102,6	25,1	7,2	23,2			50	18	5	11	13	10
1	2				1,5						1	1	
Total nivel 1					1,5						1	1	
2	2				7,4			3					
Total nivel 2					7,4			3					
3	2				3,2			2					
3	2		14,1					2	8	1	1		2
Total nivel 3			14,1		3,2			4	8	1	1		2
4	2			1,7				1	3	1		1	
4	2		2,79					1	1	1		1	
4	2		9					2	1				
Total nivel 4			11,8	1,7				4	5	2		2	
5	2		4,32							1			
Total nivel 5			4,32							1			
6	2		29					12	4		1	2	
Total nivel 6			29					12	4		1	2	
7	2	17,32						9	5			4	3
Total nivel 7		17,32						9	5			4	3
Total tubería 2		17,32	59,2	1,7	12,1			32	22	4	2	9	5
1	E				49			46	7		22	20	6
1	E					20,6		7	6		3	3	
1	E					3		4			1		
Total cuarto de compresores					49	3	20,6	57	13		26	23	6
Suma total		119,9	84,3	8,9	84,3	3	20,6	139	53	9	39	45	21

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

Observaciones: la nomenclatura para la tabla XXIX es la siguiente.

- Nomenclatura de los accesorios:

C= codo UC = Unión PVC = válvula compuerta o llave de paso AR:

- Válvula

Antirretorno

T= té U = Unión universal FRL= Filtro, Regulador y lubricador TR: te reductor

- Tuberías
 - Tubería E = tubería de entrega desde el cuarto de compresores hacia colector.
 - Tubería 1: primera rama de distribución de aire; desde el recolector que alimenta la TE.
 - Tubería 2: segunda rama de distribución de aire; desde el recolector que alimenta la TE.

2.5.6.1. Accesorios de las distintas tuberías

En toda instalación de tuberías es indispensable la utilización de accesorios, para adaptar la tubería a la forma del edificio y cumplir satisfactoriamente las necesidades de las máquinas neumáticas.

Entre los accesorios más utilizados están:

- Niples y uniones: sirven como enlace entre tubos del mismo diámetro. La unión posee rosca hembra mientras el niple tiene doble rosca macho.
- Adaptadores: elementos de unión que admiten el enlace de tuberías con distintas roscas.
- Reducciones: elementos que acoplan conducciones de diferentes diámetros. Sirven para aumentar o disminuir el diámetro según sea la dirección del flujo.
- Codos: acoplamiento rígido que cambia la dirección del flujo a 30, 45, 60, o 90°. Son usados cuando el espacio es limitado o cuando el diseño de la tubería lo amerite. Pueden ser iguales o desiguales.
- Tees: elemento de conducción que sirve para acoplar tres tuberías, el diámetro de estas puede ser iguales o desiguales, según las características de la tees.
- Unión universal: elemento que sirve de enlace entre tubos del mismo diámetro en donde se facilita el mantenimiento de las tuberías que se desee reparar.

Tabla XXX. **Cantidad de accesorios y longitud de tuberías instaladas**

Tubería	C	T	U	UU	VC	TR	AR
½"	45	14	4	5	13	10	0
¾"	20	20	3	5	4	3	0
1"	8	4	1	2	2	1	0
1 ½"	55	9	1	23	23	4	3
2"	4	0	0	1	0	0	0
3"	7	6	0	3	3	2	0
TOTALES	139	53	9	39	45	20	3

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

2.5.6.2. Longitud equivalente de la tubería

La resistencia al flujo de aire comprimido a través de un conducto se incrementa por la presencia de accesorios y, por lo tanto, la capacidad de conducción se ve reducida. Para expresar dichas resistencias se ha optado hacerlo de tubo recto, en longitudes de tubo recto. Las resistencias así expresadas son sumadas a la longitud real de la tubería. La suma es llamada la longitud equivalente de la tubería, esta resistencia varía dependiendo del diámetro.

Para el cálculo de la longitud equivalente, se puede utilizar dos métodos:

- Se relacionan los accesorios directamente con longitudes de tubo recto.

- Se relaciona los accesorios con la resistencia, que ocasiona un codo de 90°. Se halla así un número determinado de codos equivalentes y estos a, su vez, se convierten en una longitud recta utilizando la fórmula:

$$\text{Longitud} = \text{Número de codos equivalentes} \times \frac{(25 \times \text{diámetro de tubería})}{12} + \text{Longitud real}$$

Como una aproximación, la longitud equivalente de un circuito convencional varía de 1,5 a 2 veces la longitud real del mismo. Para relacionar los accesorios con los codos equivalentes se utiliza la siguiente tabla.

Tabla XXXI. Pérdida de presión de aire

NOMBRE DE LA PARTE	CODOS EQUIVALENTES	
	TUBO DE HIERRO	TUBO DE COBRE
Caldera	3,0	4,0
Radiador	3,0	4,0
válvula de ángulo de radiador	2,0	3,0
Válvula de globo abierta	12,0	17,0
Válvula de compuerta abierta	0,5	0,7
Te con desviación de		
100 %	1,8	1,2
50 %	4,0	4,0
33 %	9,0	11,0
25 %	16,0	20,0
codo de 90°	1,0	1,0
codo de 90° con curva grande	0,5	0,5
codo de 45°	0,7	0,7
Retorno (U) abierto	1,0	1,0
unión de reducción	0,4	0,4

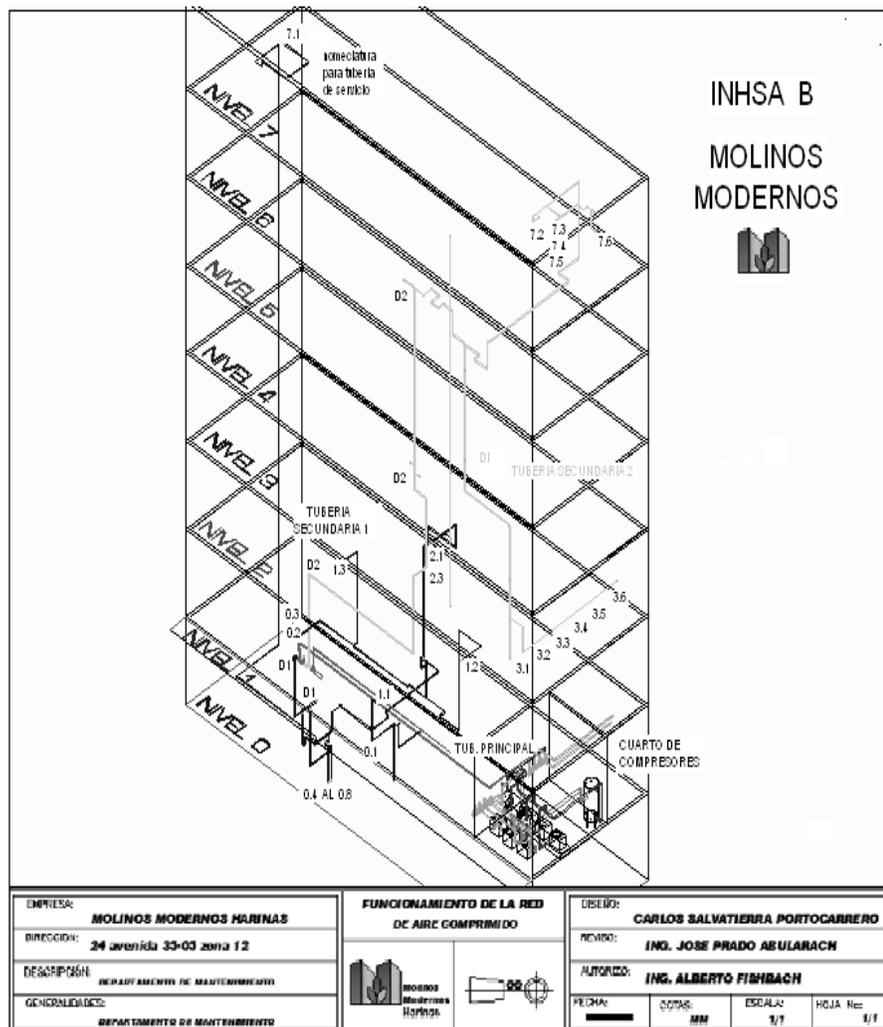
Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

Tabulado en términos de codos equivalentes

(Un codo equivalente = resistencia de un codo de 90°).

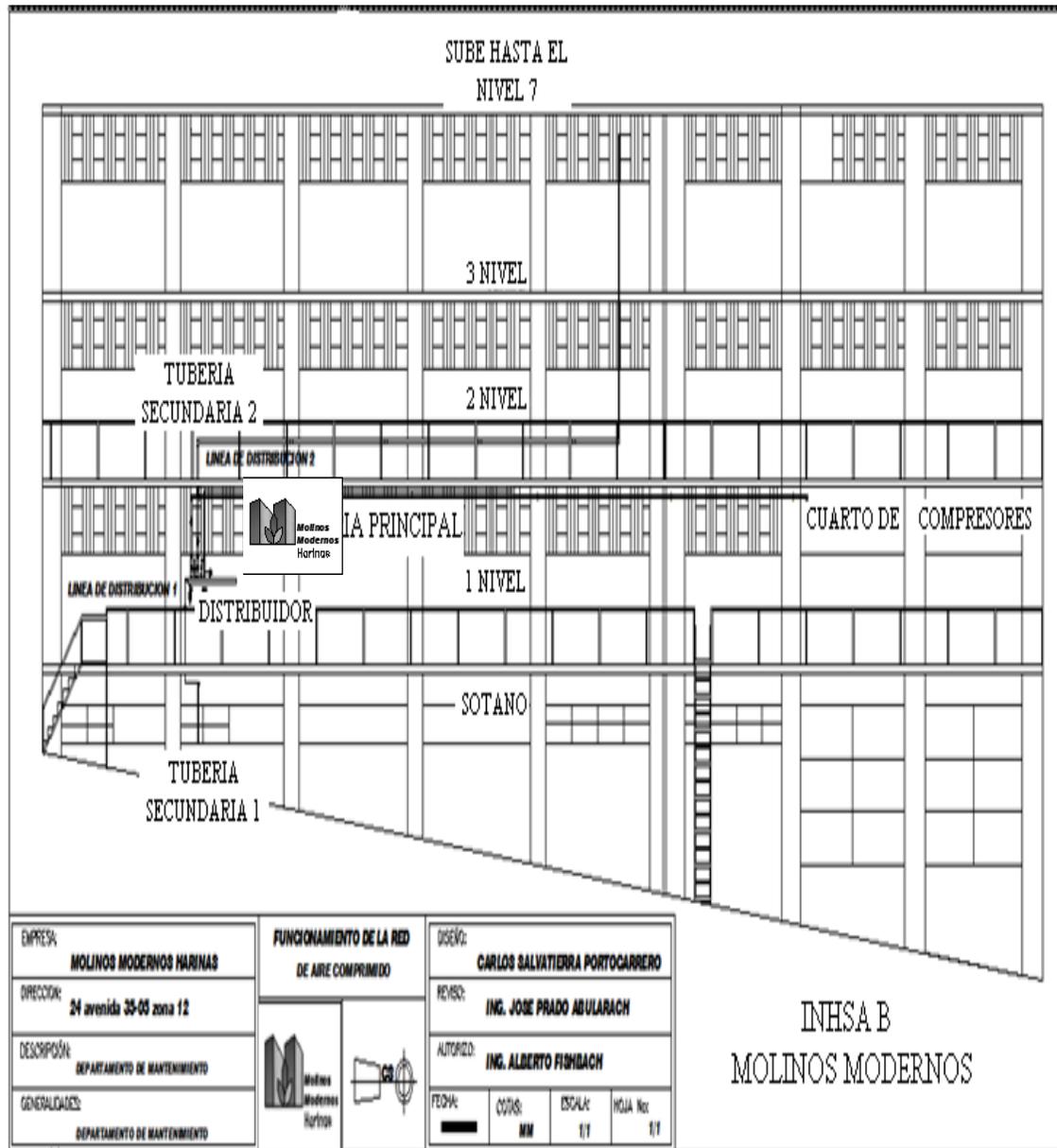
En la figura 29 se detalla las líneas de distribución, mencionadas anteriormente, y dejar igual las que se les realizará el cálculo correspondiente de longitudes equivalentes para verificar si los diámetros son los indicados.

Figura 29. **Nomenclatura de tubería de aire comprimido**



Fuente: elaboración propia, empleando Autocad MEP 2010, Autodesk.

Figura 30. **Nomenclatura de tubería de aire comprimido (tubería principal)**



Fuente: elaboración propia, empleando Autocad MEP 2010, Autodesk.

- Longitud equivalente desde el cuarto de compresores hacia el distribuidor

Con las siguientes condiciones:

Caudal = 43,008 pies³/ min

P entrega = 100 psi

Tabla XXXII. **Cálculo de longitud equivalente tubería principal**

	Metros	Pulgadas	Pies
Diámetro	0,038	1 ½	1/8
Longitud	32,2077	1 268,017149	105,668096

Accesorios	Cantidad	Codos equivalentes	Total	
Codo	15	1	15	
Te	3	1	3	
Te reductora	0	4	0	
Válvula de globo	2	12	24	
			42	Pies

Fuente: elaboración propia.

Longitud = Número de codos equivalentes x $\frac{25 \times \text{diámetro de tubería}}{12}$ + Longitud real
 Equivalentes debidos a los accesorios

Longitud equivalente = 236,92 pies

Tubería secundaria 1

Cálculo de longitud equivalente, para tramo de la tubería con diámetro (1").

Con las siguientes condiciones:

Caudal = 26,8852 pies³/ min; P entrega = 100 psi

Tabla XXXIII. **Cálculo de longitud equivalente tubería secundaria uno**

	Metros	Pulgadas	Pies
Diámetro	0,025	1	0,08
Longitud	32,2077	1 268,017149	105,67

Accesorios	Cantidad	Codos equivalentes	Total
Codo	4	1	4
Te	0	1	0
Te reductora	0	4	0
Válvula de globo	0	12	0
			4

			Pies
--	--	--	------

Fuente: elaboración propia.

Longitud = Número de codos equivalentes x (25 x diámetro de tubería) + Longitud real
 Equivalentes debidos a los accesorios 12

Longitud equivalente = 114 pies

Cálculo de longitud equivalente para tramo de la tubería con diámetro (1 ½")

Tabla XXXIV. **Cálculo de longitud equivalente total tubería secundaria uno**

	Metros	Pulgadas	Pies
Diámetro	0,038	1 1/2	0,13
Longitud	32,2077	1 268,017149	105,67

Continuación de tabla XXXIV.

Accesorios	Cantidad	Codos equivalentes	Total
Codo	8	1	8
Te	5	1	5
Te reductora	0	4	0
Valvula de globo	0	12	0
			13
			Pies

Fuente: elaboración propia.

Longitud equivalente total = 260,29 pies; Para la tubería secundaria 1

Tabla XXXV. **Longitud equivalente instalada**

No.	Tubería	Diámetro	Longitud equivalente por diámetros (pies)	Longitud equivalente total (pies)
1	Tubería principal	1 ½"	236,92	236,92
2	Tubería secundaria 1	1"	114	260,29
		1 ½"	146,29	
3	Tubería de servicio 0,1	1"	28,11	90,15
		½"	62,04	
4	Tubería de servicio 0,2	1 ½"	75,67	147,11
		½"	71,44	
5	Tubería de servicio 0,3	1 ½"	75,67	150,41
		½"	74,74	
6	Tubería de servicio 0,4	1"	48,89	48,89
7	Tubería de servicio 0,5	1"	48,89	48,89
8	Tubería de servicio 0,6	1"	48,89	48,89
9	Tubería de servicio 0,7	1"	48,89	48,89
10	Tubería de servicio 0,8	1"	48,89	48,89

Continuación de la tabla XXXV.

11	Tubería de servicio 1,1	1"	28,11	89,38
		½"	61,27	
12	Tubería de servicio 1,2	1 ½"	75,67	124,04
		½"	48,37	
13	Tubería de servicio 1,3	1 ½"	75,67	120,01
		½"	44,34	
14	Tubería de servicio 2,1	1 ½"	75,67	121
		½"	45,33	
15	Tubería de servicio 2,2	1 ½"	75,67	129,67
		½"	40	
		¼"	14	
16	Tubería de servicio 7,1	½"	139,97	139,97
17	Tubería secundaria 2	1 ½"	132,7	261,52
		¾"	36,78	
		1"	92,04	
18	Tubería de servicio 3,1	¾"	90,62	103,93
		¾"	13,31	
19	Tubería de servicio 3,2	¾"	90,62	111,62
		¾"	21	
20	Tubería de servicio 3,3	¾"	90,62	114,58
		¾"	23,96	
21	Tubería de servicio 3,4	¾"	90,62	115,22
		¾"	24,6	
22	Tubería de servicio 3,5	¾"	90,62	118,32
		¾"	27,7	
23	Tubería de servicio 3,6	¾"	90,62	120,32
		¾"	29,7	
24	Tubería de servicio 7,2	1"	96,69	154,63
		½"	37,94	
25	Tubería de servicio 7,3	1"	96,69	156,71
		½"	40,02	
26	Tubería de servicio 7,4	1"	96,69	156,71
		½"	40,02	

Continuación de la tabla XXXV.

27	Tubería de servicio 7,5	1"	96,69	156,71
		½"	40,02	
28	Tubería de servicio 7,6	1"	96,69	187,57
		½"	70,88	

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

2.5.6.3. Diámetro de la tubería

Para determinar si el diámetro de la tubería es el adecuado, se realizará el siguiente cálculo, con la ayuda de las longitudes equivalentes encontradas.

Verificar el diámetro de la tubería principal, con diámetro (1 ½"). Se calcula el porcentaje de pérdida de presión, en tubería por fricción.

- Paso 1: Factor de pérdida (F)

Factor de pérdida = CON TABLA 2,24, relacionando diámetro de la tubería y CFM

Longitud equivalente = 236,92 pies

Caudal = 47,52 pies³/ min

Diámetro = 1 ½"

Factor de pérdida = F = 17,6

- Paso 2: Factor de tubería (R)

R = $\frac{\text{Presión de trabajo} + \text{presión atmosférica}}{\text{Presión atmosférica}}$

R = $\frac{100 + 14,7}{14,7} = 7,803$

Tabla XXXVI. Cálculo de pérdida de presión en tuberías

FACTOR DE PERDIDA DE PRESION POR FRICCIÓN EN LAS TUBERÍAS

Pies cúbicos de aire libre/min	DIAMETRO NOMINAL EN PULGADAS												
	1/2	3/4	1	1 1/2	1 3/4	2	2 1/2	3	4	5	6	8	10
5	12.7	1.2	0.5										
10	50.7	7.8	2.2	0.5									
15	114	17.6	4.9	1.1									
20	202	30.4	8.7	2	0.9								
30	456	70.4	19.6	4.5	2								
40	811	125.3	34.8	8.1	3.6								
50		196	54.4	17.6	5.6	1.5							
60		282	78.3	18.2	8	2.2							
70		383	106.6	24.7	10.9	2.9	1.1						
80		503	139.2	32.3	14.3	3.8	1.5						
90		616	176.2	40.9	18.1	4.8	1.9						
100		785	217.4	50.5	22.3	6	2.3						
150			490	113.8	50.3	13.4	5.2	1.6					
200			870	202	89.4	23.9	9.3	2.9					
300				454	201	53.7	20.9	6.6					
400						94.7	37.1	11.7	2.7				
500						150	53	18.3	4.3				
600						215	83.5	26.3	6.2				
700						294	113.7	35.8	8.5	2.6			
800						382	148.4	46.7	11.1	3.3			
900						486	188	59.1	14	4.2			
1000						600	232	73	17.3	5.2	1.9		
1100						723	280.6	88.4	21	6.3	2.4		
1200						850	344	105.2	25	7.5	2.5		
1300							392	123.4	29.3	8.8	3.1		
1400									33.9	10.2	3.5		
1500									39	11.8	4.4		
1600									44.3	12.4	5.1		
1700									50.1	15.1	5.7		
1800									56.1	16.9	6.4		
1900									62.7	18.9	7.1	1.6	
2000									69.3	20.9	7.8	1.8	
2500									108.3	32.5	12.3	2.9	
3000									136	42	17.7	4.1	
4000									277	53.6	31.4	7.3	2.2
5000									433	?	49.1	11.5	4.4
6000									?	?	70.7	16.5	5
7000									?	?	96.2	22.5	6.3
8000									?	?	123.7	29.4	8.8
9000										425	159	37.2	11.2
10000											190	45.9	13.6

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

- Paso 3: Pérdida de presión en tubería por fricción (pp)

$$PP = \frac{\text{Factor de pérdida (F)} \times \text{longitud equivalente}}{\text{Factor de tubería (R)} \times 1\,000}$$

$$PP = \frac{17,6 \times 236,92 \text{ (pies)}}{7,803 \times 1\,000} = 0,53 \text{ PSI} = \text{BAR } 0,035$$

- Paso 4: Porcentaje de pérdida de presión en tubería

$$\% \text{ pérdida} = \frac{\text{Pérdida de presión} \times 100}{\text{Presión de trabajo}}$$

$$\% \text{ pérdida} = \frac{0,24 \times 100}{100} = 0,53 \%$$

$$\% \text{ pérdida tubería} = 0,53 \%$$

principal

Verificando el diámetro de la tubería secundaria 1, con diámetro (1"). Se determina el porcentaje de pérdida de presión en tubería por fricción

- Paso 1: Factor de pérdida (F)

Longitud equivalente = 114 pies

Caudal = 43,008 pies³/ min

Diámetro = 1"

Factor de pérdida = 35

- Paso 2: Factor de tubería (R)

$$R = \frac{100 + 14,7}{14,7} = 7,803$$

- Paso 3: Pérdida de presión en tubería por fricción (pp)

$$PP = \frac{35 \times 114 \text{ (pies)}}{7,803 \times 1\,000} = 0,51 \text{ PSI} = 0,034 \text{ BAR}$$

- Paso 4: Porcentaje de pérdida de presión en tubería

$$\% \text{ pérdida} = \frac{0,2425 \times 100}{100} = 0,51 \%$$

Verificando el diámetro de la tubería secundaria 1 con diámetro (1 ½")

- Paso 1

Longitud equivalente= 146,29 pies

Caudal = 43,008 pies³/ min

Diámetro = 1 ½"

F= Factor de pérdida = 8,1

- Paso 2

$$R = \frac{100 + 14,7}{14,7} = 7,803$$

- Paso 3

Pérdida de presión en tubería por fricción

$$PP = \frac{8,1 \times 146,29 \text{ (pies)}}{7,803 \times 1\,000} = 0,152 \text{ PSI} = 0,010 \text{ BAR}$$

- Paso 4

Porcentaje de pérdida de presión en tubería

$$\% \text{ pérdida tubería} = 0,662 \% \text{ Secundaria 1}$$

$$\% \text{ pérdida} = \frac{0,019 \times 100}{1} = 0,152 \%$$

Tabla XXXVII. **Pérdida de presión de aire comprimido en el sistema**

No.	Tubería	Diámetro	Caudal CFM (ft ³ /min)	Longitud equivalente por diámetros (pies)	% De pérdida de presión por diámetros	Longitud equivalente Total (pies)	% de pérdida de presión por tuberías Total
1	Tubería principal	1 ½"	47,52	236,92	0,53	236,92	0,53
2	Tubería secundaria 1	1"	43,008	114	0,51	260,29	0,662
		1 ½"		146,29	0,152		
3	Tubería de servicio 0,1	1"	1,0083	28,11	0,0018	90,15	0,0718
		½"		62,04	0,07		
4	Tubería de servicio 0,2	1 ½"	1,0083	75,67	0,0048	147,11	0,0748
		½"		71,44	0,091		
5	Tubería de servicio 0,3	1 ½"	1,0083	75,67	0,0048	150,41	0,0998
		½"		74,74	0,095		
6	Tubería de servicio 0,4	1"	2,5281	48,89	0,0002	48,89	0,0002
7	Tubería de servicio 0,5	1"	2,5281	48,89	0,0002	48,89	0,0002
8	Tubería de servicio 0,6	1"	2,5281	48,89	0,0002	48,89	0,0002

Continuación de la tabla XXXVII.

9	Tubería de servicio 0,7	1"	1 8833	48,89	0,003	48,89	0,003
10	Tubería de servicio 0,8	1"	1 8833	48,89	0,003	48,89	0,003
11	Tubería de servicio 1,1	1"	0 272	28,11	0,0018	89,38	0,0798
		½"		61,27	0,078		
12	Tubería de servicio 1,2	1 ½"	21 1886	75,67	0,02	124,04	1,27
		½"		48,37	1,25		
13	Tubería de servicio 1,3	1 ½"	1 0083	75,67	0,0048	120,01	0,0608
		½"		44,34	0,056		
14	Tubería de servicio 2,1	1 ½"	0 16912	75,67	0,0048	121	0,0608
		½"		45,33	0,056		
15	Tubería de servicio 2,2	1 ½"	0 4707	75,67	0,0048	129,67	0,0608
		½"		40	0,056		
		¼"		14			
16	Tubería de servicio 7,1	½"	3 68	139,97	0,20	139,97	0,20
17	Tubería secundaria 2	1 ½"	7,2192	132,7	0,0085	261,52	0,075
		¾"		36,78	0,037		
		1"		92,04	0,026		
18	Tubería de servicio 3,1	¾"	0,1412	103,93	0,0026	103,93	0,0026
19	Tubería de servicio 3,2	¾"	0,1412	111,62	0,0028	111,62	0,0028
20	Tubería de servicio 3,3	¾"	0,1412	114,58	0,0029	114,58	0,0029
21	Tubería de servicio 3,4	¾"	0,1412	115,22	0,003	115,22	0,003
22	Tubería de servicio 3,5	¾"	0,1412	118,32	0,0031	118,32	0,0031
23	Tubería de servicio 3,6	¾"	0,1412	120,32	0,0032	120,32	0,0032
24	Tubería de servicio 7,2	1"	0,256	96,69	0,0006	154,63	0,0067
		½"		37,94	0,0061		
25	Tubería de servicio 7,3	1"	0,06857	96,69	0,001	156,71	0,0015
		½"		40,02	0,0005		

Continuación de la tabla XXXVII.

26	Tubería de servicio 7,4	1"	0,06857	96,69	0,001	15671	0,0015
		½"		40,02	0,0005		
27	Tubería de servicio 7,5	1"	0,06857	96,69	0,001	156,71	0,0015
		½"		40,02	0,0005		
28	Tubería de servicio 7,6	1"	3,2	96,69	0,006	187,57	0,1213
		½"		70,88	0,1153		

Nota: El valor de CFM (pies³/min), utilizado para el cálculo de pérdida de presión, es el valor máximo crítico, para cada una de las aplicaciones.

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

2.5.7. Utilización de ultrasonido industrial para la inspección de fugas de aire comprimido

Las fugas de aire comprimido son un problema grave en instalaciones. Esto se agrava porque a diferencia de otros sistemas de potencia como el eléctrico, el vapor y los hidráulicos, las fugas en aire comprimido no son peligrosas, no contaminan y pasan desapercibidas.

Además, se puede trabajar con ellas presentes. En instalaciones descuidadas las pérdidas por fugas pueden ser del 20 % al 30 % y es común encontrar 10 % en cualquier sistema de aire comprimido. Un sistema bien mantenido puede reducir sus fugas al 5 % o menos, en molinos modernos actualmente se tiene una pérdida de presión del 40 %, dato muy sobrepasado al límite permisible de pérdidas de aire y dinero en fugas de aire comprimido.

Los escapes se localizan puntualmente y pueden ser pequeños, pero gran número de estos propician un efecto acumulativo apreciable.

- Método para localizar fugas

Para localizar fugas en la red de aire comprimido, utilizamos el equipo ultrasónico Ultraprobe 10 000 UE Systems, Inc. Dicha aplicación se realizará con mayor detalle en el capítulo 4 de este proyecto.

Figura 31. **Ultraprobe 10 000**



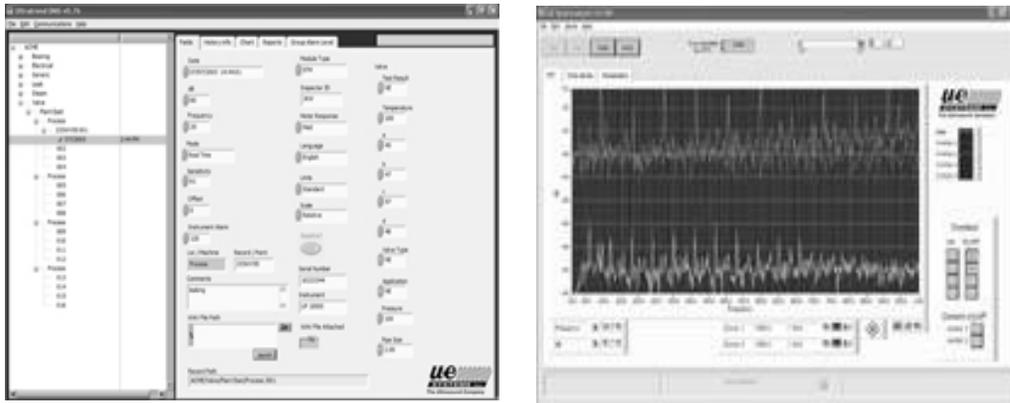
Fuente: UE SYSTEMS, *Ultraprobe*. http://www.uesystems.com/prod_espanol_up_10000.asp.

Consulta: 18 de septiembre 2017.

Es un paquete con muchas características para realizar inspecciones eficientes y fáciles para mantenimiento predictivo de motores eléctricos, aumenta la vida de elementos rodantes, electricidad y fugas de aire comprimido, entre otros, el cual permite:

- Grabar y analizar sonidos
- Desarrollar análisis de condición
- Almacenar las mediciones
- Tendencias de los resultados
- Revisar resultados de inspecciones anteriores
- Manejar datos

Figura 32. **Espectro de sonido para monitoreo de equipos**



Fuente: UE SISTEMAS, *Espectro de sonido*. http://www.uesystems.com/prod_espanol.

Consulta: 18 de septiembre 2017.

El Ultraprobe 10 000 tiene un software para cualquier aplicación específica que puede seleccionar la aplicación con campos especializados para reportes y análisis precisos.

Dentro de sus aplicaciones:

- Genérico.
- Fugas.
- Válvulas.
- Rodamientos.
- Electricidad
- Vapor

- Módulo de largo alcance

Duplicará la distancia de detección de los módulos escáner estándar y mejorará la inspección para cualquier inspección eléctrica o detección de fugas. Con un rango de 10° de detección, para ubicar el punto exacto del problema a una distancia segura sin necesidad de escaleras.

Figura 33. **Módulo de largo alcance**



Fuente: UE SYSTEMS, *Módulo de largo alcance*.

http://www.uesystems.com/prod_espanol_up_10p. Consulta: 18 de septiembre 2017.

- Sensores de acceso remoto – rasmt – transductor magnético

Viene con cable, el cual permite inspeccionar puntos difíciles de llegar. Además, entrega mejor consistencia en los resultados de la inspección, eliminan variables y ángulo de la presión del módulo de estetoscopio.

Figura 34. **Transductor magnético**



Fuente: UE SYSTEMS, *Transductor*. http://www.uesystems.com/prod_espanol_up_10p.

Consulta: 18 de septiembre 2017.

2.5.8. Caudal de circulación del aire comprimido

El caudal de aire comprimido es una magnitud que se determina según la necesidad. La velocidad de circulación y la caída de presión se hallan en relación directa, porque cuanto mayor es la velocidad de circulación, mayor es la caída de presión hasta el punto de toma de la tubería.

La velocidad de circulación puede estar comprendida entre 6 a 10 m/s (metros por segundo); se debe utilizar un valor por debajo de los 10 m/s, para así compensar de los aumentos de velocidad producidos en algunas estrangulaciones y por la demanda de grandes consumidores.

2.5.9. Pérdidas de presión

La función de una red de aire comprimido es la de ofrecer aire con una presión que dé a cada herramienta la potencia necesaria. Lamentablemente, son inevitables ciertas pérdidas en forma de caída de presión. Es importante no subdimensionar los tubos fijos. Verse obligado a cambiar para una línea principal de mayor diámetro resultará muchas veces más costoso que instalar desde el inicio una medida mayor de la que indican los cálculos de necesidades inmediatas. La caída de presión también se ve afectada por la espereza o pérdida de presión en la tubería. Calcular y compensar de modo correcto estas pérdidas es una parte importante del trabajo previo a la instalación de una red de aire comprimido.

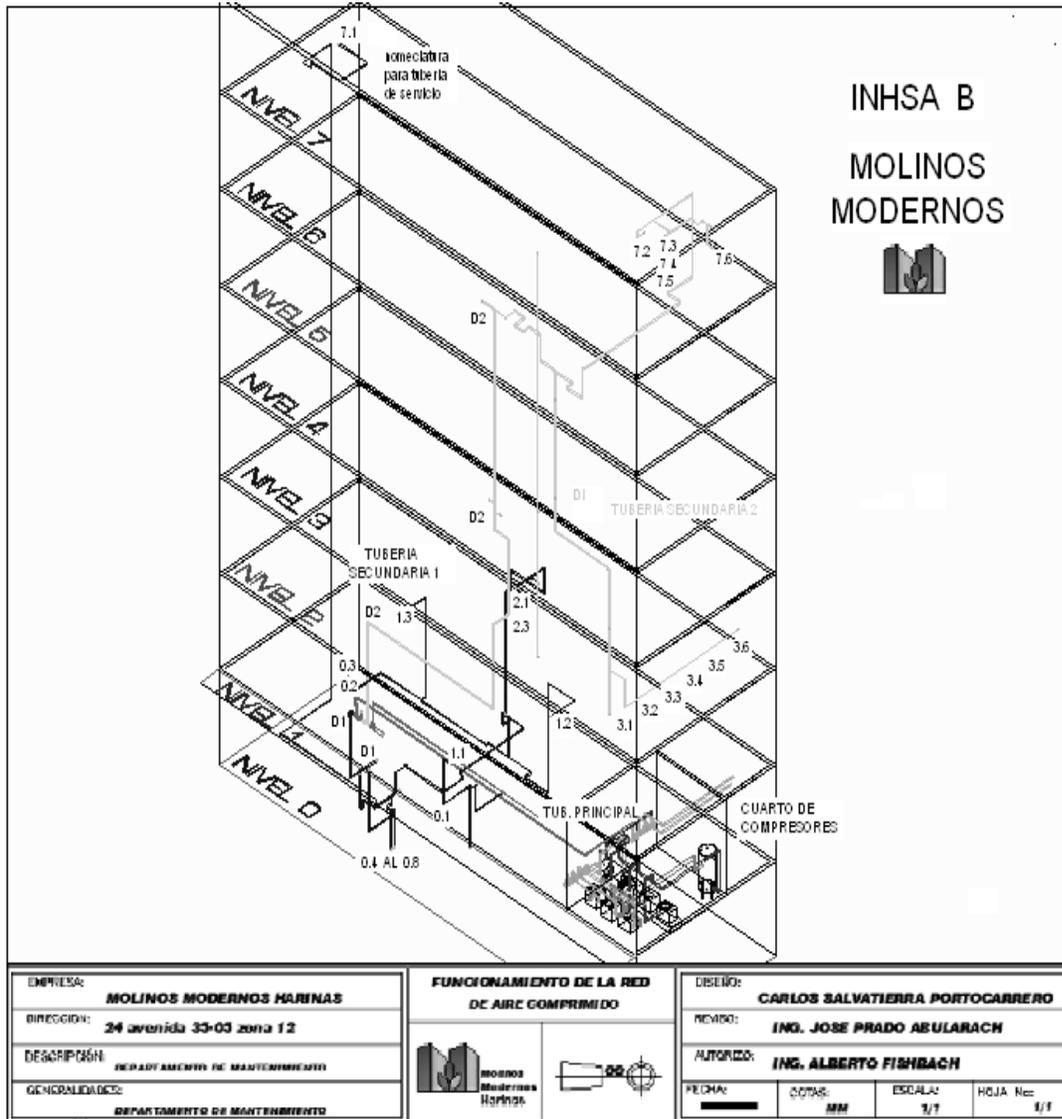
La caída de presión depende de:

- Área de la sección transversal
- Velocidad de flujo
- Longitud de tubería
- La rugosidad en la superficie interior del tubo

Cada bar adicional en incremento de presión representa un incremento de energía de 6 % al 10 % en una red de distribución a 8 bar.

La regla es la caída de presión en instalaciones fijas no debe sobrepasar 0,1 bar = 1,5 PSI desde la instalación del compresor hasta la llave de servicio que queda a mayor distancia del sistema. De esta caída de presión, la línea de servicio responde con 0,03 bar. La forma como los restantes 0,07 bar son distribuidos depende del modo de instalación.

Figura 35. **Nomenclatura para monitoreo de consumos de aire comprimido**



EMPRESA: MOLINOS MODERNOS HARINAS	FUNCIONAMIENTO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO	DISEÑO: CARLOS SALVATIERRA PORTOCARRERO
DIRECCION: 24 avenida 33-03 zona 12		REVISOR: ING. JOSE PRADO ABULARACH
DESCRIPCION: DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO		AUTORIZADO: ING. ALBERTO FISHBACH
GENERALIDADES: DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO		FECHA:
		COTAS: MM
		ESCALA: 1/1
		HOJA No.: 1/1

Fuente: elaboración propia, empleando Autocad MEP 2010, Autodesk.

Tabla XXXVIII. Pérdida de presión total correspondiente a la tubería principal, secundaria y de servicio

No.	Tubería	Máquina	% pérdida de presión total hasta lugar de servicio
1	Tubería de servicio 0,1	báscula de harina	1,2638
2	Tubería de servicio 0,2	báscula de granillo	1,2668
3	Tubería de servicio 0,3	báscula de afrecho	1,2918
4	Tubería de servicio 0,4	banco doble	1,1922
5	Tubería de servicio 0,5	banco doble	1,1922
6	Tubería de servicio 0,6	banco doble	1,1922
7	Tubería de servicio 0,7	banco	1,195
8	Tubería de servicio 0,8	banco	1,195
9	Tubería de servicio 1,1	báscula de impurezas	1,2718
10	Tubería de servicio 1,2	Saca muestras	2,462
11	Tubería de servicio 1,3	báscula de impurezas	1,2528
12	Tubería de servicio 2,1	Compuerta de paso entre silos	1,2528
13	Tubería de servicio 2,2	Dosificador de vitaminas	1,2528
14	Tubería de servicio 7,1	Mascarilla	1,392
15	Tubería de servicio 3,1	Dosificador de trigo	0,6076
16	Tubería de servicio 3,2	Dosificador de trigo	0,6078
17	Tubería de servicio 3,3	Dosificador de trigo	0,6079
18	Tubería de servicio 3,4	Dosificador de trigo	0,608
19	Tubería de servicio 3,5	Dosificador de trigo	0,6081
20	Tubería de servicio 3,6	Dosificador de trigo	0,6082
21	Tubería de servicio 7,2	báscula de trigo 1 limpia	0,6117
22	Tubería de servicio 7,3	Compuerta de paso entre silos	0,6065
23	Tubería de servicio 7,4	Compuerta de paso entre silos	0,6065
24	Tubería de servicio 7,5	Compuerta de paso entre silos	0,6065
25	Tubería de servicio 7,6	Detector de Humedad MYFA	0,7263

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

La caída de presión máxima aceptable en una red de aire comprimido debe ser < 1,5 % de la presión de trabajo.

Actualmente se está trabajando a una presión de trabajo de 100 PSI y los compresores servicio generan una presión aproximada de 100 – 110 PSI, pero existen momentos que la presión se mantiene en el límite inferior de la generación de aire; por lo consiguiente, utilizaremos como 1,5 PSI la pérdida de presión aceptable para cada uno de los consumos.

En la tabla XXXVIII observamos que la tubería No. 10, correspondiente al consumo requerido por la máquina de sacamuestras, cuenta con una pérdida de presión del 2,462 PSI. Se concluye que dicha tubería sobrepasa el límite de permisibilidad de caída de presión, por tal motivo será tema de análisis para mejorar la red de aire comprimido en la planta.

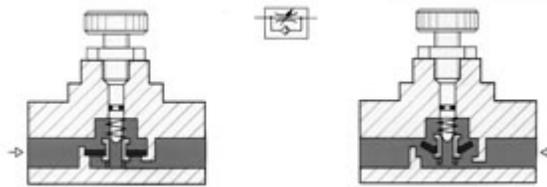
2.5.10. Puntos de estrangulación

En INHSA, Molinos modernos, se cuenta con válvulas de estrangulación, ubicadas en los distintos cilindros neumáticos, las cuales tienen los siguientes funcionamientos.

- Válvula de estrangulamiento con antirretorno

Estas válvulas con antirretorno y estrangulación regulable franquean el aire comprimido solo en una dirección. La sección transversal de paso puede variar de cero hasta el diámetro nominal de la válvula. En dirección contraria, la membrana se levanta de su asiento y el aire comprimido tiene paso libre.

Figura 36. **Válvula de estrangulamiento con antirretorno**



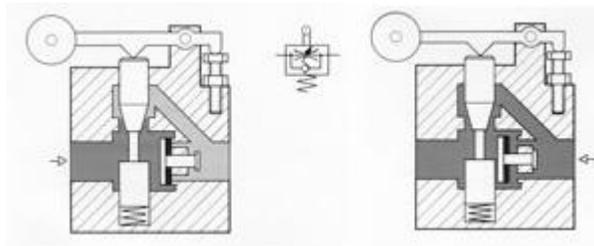
Fuente: WIKIPEDIA.ORG, *Válvula de estrangulamiento*.

<http://www.google.com/imgres?qla+de+estrangulamiento>. Consulta: 18 de septiembre 2017.

- Válvula de estrangulamiento con antirretorno programable

Se diferencia en el funcionamiento de la válvula anterior en que el ajuste no es efectuado por un tornillo sino por una palanca con rodillo. El émbolo de mando es accionado hacia abajo y la sección transversal de paso disminuye. En dirección contraria el disco se levanta de su asiento y el aire comprimido puede pasar libremente, Es accionado por el cilindro, varía la velocidad en función de la forma de la leva.

Figura 37. **Válvula de estrangulamiento con antirretorno programable**



Fuente: WIKIPEDIA.ORG, *Válvula de estrangulamiento con antirretorno*.

<http://www.google.com/imgres=Válvula+de+estrangulamiento>. Consulta: 18 de septiembre 2017.

2.5.11. Tipo de mantenimiento general en los compresores

En IHNSA, Molinos Modernos, es una política mantener sus equipos en buen estado, bajo las condiciones óptimas de servicio, a través de un mantenimiento preventivo y predictivo. Debido a que se tiene una producción continua es sumamente peligrosa la falla de cualquier equipo, porque un fallo detendría completamente la producción de harina en todo el molino, lo cual implica altos costos de pérdida económica de oportunidad muy elevados.

Dicho trabajo de control, inspección y programación de mantenimiento es dirigido por el ingeniero de mantenimiento, quienes con el apoyo de un programa de cómputo llamado “Gestión de Mantenimiento”, programa rutinas de inspección y mantenimiento de los distintos equipos, en este caso, los compresores, dependiendo de las marcas y las recomendaciones de los fabricantes. En sus actividades principales permanecen iguales por ser compresores de tornillo y sus principios de funcionamiento similares.

El mantenimiento preventivo a los compresores se debe programar con base en las horas de servicio. Los compresores traen incorporado un horómetro mediante el cual lleva un registro de horas de servicio.

Se tienen programadas las rutinas de mantenimiento para el cumplimiento de 500 a 1 000 horas de servicio, según la marca y el modelo del compresor. El mantenimiento incluye desde revisión de válvulas, filtros, separadores de aceite, sistemas de enfriamiento, reguladores de presión, intercambiadores y limpieza, hasta calibraciones o cambios completos de piezas.

2.5.12. Unidades de mantenimiento

Evidentemente, el aire que es succionado por el compresor no se encuentra limpio, debido a la presencia de diversos tipos de contaminantes de la atmósfera. Es más, el aire que se alimenta al sistema desde el compresor se contamina todavía más, en virtud de la generación de contaminantes. También es un hecho que la presión del aire rara vez permanece estable debido a la posibilidad de fluctuaciones en la línea.

Por consiguiente, para poder suministrar aire comprimido limpio puro y sin contaminación, es necesario filtrar el aire. El rendimiento y exactitud del sistema depende en gran parte de la estabilidad de la presión de suministro de aire.

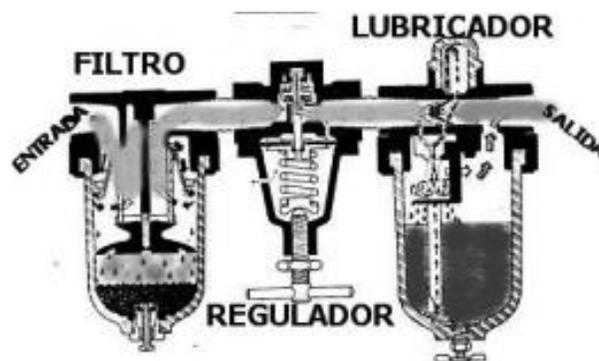
Por lo tanto, un filtro de aire y un regulador de presión en la línea ocupan un lugar importante en el sistema neumático, junto con un tercer componente, un lubricador de la línea de aire.

La función principal del lubricador es proporcionar al aire una película lubricante de aceite. Estas tres unidades en conjunto se conocen como unidad de servicio o unidad de filtro, regulador lubricador FRL, de donde tres elementos principales son el filtro de aire, regulador, lubricador.

El aire comprimido tiene diversos tipos de contaminantes: sólidos, líquidos y gaseosos, como polvo, suciedad, humedad y otras diversas partículas que desgastan el compresor. El aire de la atmósfera contiene humedad en una cantidad variable que depende de las condiciones atmosféricas prevaletientes en un lugar o momento particulares.

La cantidad de vapor de agua que se encuentra presente en el aire atmosférico depende de la humedad relativa (HR) del aire, que se encuentra con la división de cantidad de agua presente en el aire, dividido entre la cantidad de agua presente en el aire saturado multiplicado por 100, para darnos el valor del % de humedad.

Figura 38. **Unidades de mantenimiento neumático**



Fuente: WIKIPEDIA.ORG, *Unidad de mantenimiento*.

<http://www.goole.com/imgres?q=filtrosdeairecomprimido>. Consulta: 18 de septiembre 2017.

- **Funcionamiento**

Los 3 elementos se conectan uno a continuación del otro. Algunas construcciones disponen de la válvula reguladora de presión encima del filtro, y forma con él una sola unidad.

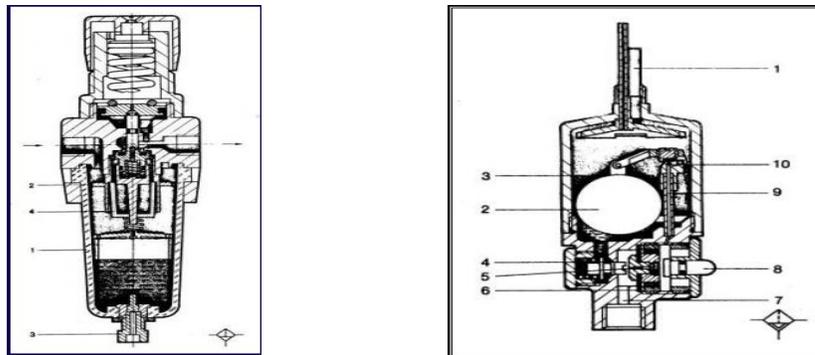
El aire es depurado en el filtro y atraviesa la válvula reguladora de presión, donde la presión es reducida a un valor constante.

Aplicación: la unidad de mantenimiento se encuentra a la entrada de toda instalación neumática. A continuación de toda unidad de mantenimiento hay que prever una válvula distribuidora para conectar y desconectar rápidamente la tubería de alimentación.

2.5.12.1. Distintos filtros de aire

El filtro tiene la misión de extraer del aire comprimido circulante todas las impurezas y el agua condensada. En el dispositivo los componentes líquidos y las partículas grandes de suciedad se desprenden por el efecto de la fuerza centrífuga y se acumulan en la parte inferior del recipiente. La condensación acumulada en la parte inferior del recipiente (1) se deberá vaciar antes de que alcance la altura máxima admisible, a través del tornillo de purga (3). Si la cantidad que se condensa es grande, conviene montar una purga automática de agua, que dispondrá de un flotador que detectará el nivel de agua acumulada y descargará de forma automática el depósito. La purga puede realizarse también de forma manual con el perno (8).

Figura 39. Filtros de aire comprimido



Fuente: WIKIPEDIA.ORG, *Filtros de aire*.

<http://www.google.com/imgres?q=filtrosdeairecomprimido>. Consulta: 18 de septiembre 2017.

En aquellos ramos en que se necesita aire finísimamente filtrado (por ejemplo: en las industrias alimenticias, químicas y farmacéuticas), se utiliza un filtro especial de aire comprimido que, a diferencia del filtro normal, atraviesa el cartucho filtrante de adentro hacia afuera. La separación de partículas finísimas hasta 0,01 micrón es posible debido a la finura extraordinaria del tejido filtrante.

2.5.12.2. Válvulas reguladoras

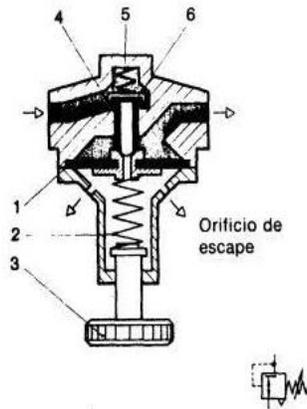
- Regulación de presión con orificio de escape

El regulador tiene la misión de mantener la presión de trabajo (secundaria) lo más constante posible, independientemente de las variaciones que sufra la presión de red (primaria) y del consumo de aire. La presión primaria siempre ha de ser mayor que la secundaria. Es regulada por la membrana (1), que es sometida, por un lado, a la presión de trabajo, y por el otro, a la fuerza de un resorte (2), ajustable por medio de un tornillo (3).

Al tomar aire, la presión de trabajo disminuye y el muelle abre la válvula. La regulación de la presión de salida ajustada consiste, entonces, en la apertura y cierre constantes de la válvula. Con el fin de evitar oscilaciones, encima del platillo de válvula (6) hay dispuesto un amortiguador neumático o de muelle (5). La presión de trabajo se visualiza en un manómetro.

Cuando la presión secundaria aumenta demasiado, la membrana es empujada contra el muelle. Entonces se abre el orificio de escape en la parte central de la membrana y el aire puede salir a la atmósfera por los orificios de escape existentes en la caja.

Figura 40. **Regulador de presión con orificio de escape**



Fuente: WIKIPEDIA.ORG, *Regulador de presión*.

<http://www.google.com/imgres?q=filtrosdeairecomprimido>. Consulta 18 de septiembre 2017.

- Regulador de presión sin orificio de escape

En el comercio se encuentran válvulas de regulación de presión sin orificio de escape. Con estas no es posible evacuar el aire comprimido que se encuentra en las tuberías.

- Funcionamiento

Por medio del tornillo de ajuste (2) se pretensa el muelle (8) solidario a la membrana (3). Según el ajuste del muelle (8), se abre más o menos el paso del lado primario al secundario. El vástago (6) con la membrana (5) se separa más o menos del asiento de junta.

Si no se toma aire comprimido del lado secundario, la presión aumenta y empuja la membrana (3) y vence la fuerza del muelle (8). El muelle (7) empuja el vástago hacia abajo, y en el asiento se cierra el paso de aire. Solo después de haber tomado aire del lado secundario, puede fluir de nuevo aire comprimido del lado primario.

2.5.12.3. Lubricantes

El lubricador debe enriquecer el aire con una fina niebla de aceite para asegurar la lubricación de las piezas deslizantes de los elementos neumáticos.

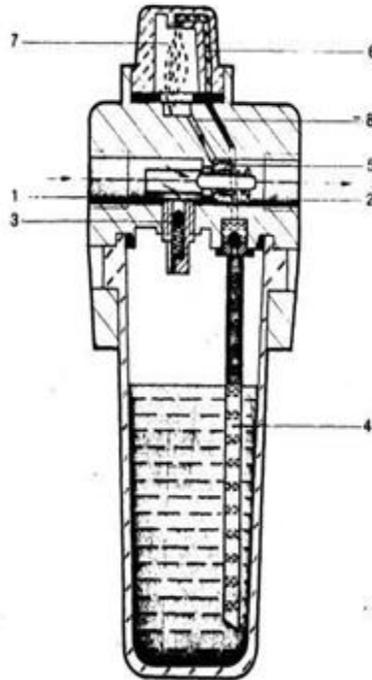
- Construcción

A pesar de que existen diversas marcas de lubricadores con pequeñas diferencias en su funcionamiento, en general, las partes más importantes de un lubricador son: cuerpo, vaso de lubricador, tubo de subida, tornillo estrangulador, cubierta de la cámara de goteo, bola de retención, ranura anular, orificio para el aceite.

El lubricador tiene la misión de lubricar los elementos neumáticos en medida suficiente; el lubricante previene un desgaste prematuro de las piezas móviles, reduce el rozamiento y protege los elementos contra la corrosión.

Los lubricadores trabajan generalmente según el principio Venturi. La diferencia de presión Δp (caída de presión) entre la presión reinante antes de la tobera y la presión en el lugar más estrecho de esta se emplea para aspirar líquido (aceite) de un depósito y mezclarlo con el aire.

Figura 41. **Funcionamiento de un lubricador**



Fuente: WIKIPEDIA.ORG, *Lubricador de aire*.

<http://www.google.com/imgres?q=filtrosdeairecomprimido>. Consulta: 18 de septiembre 2017.

- El lubricador mostrado en este lugar trabaja según el principio Venturi.

El aire comprimido atraviesa el aceite 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. Estas llegan a través de la cámara de goteo (7) y del canal (8) hasta el aire comprimido, que fluye hacia la salida (2). Las gotas de aceite son pulverizadas por el aire comprimido y llegan en este estado hasta el consumidor.

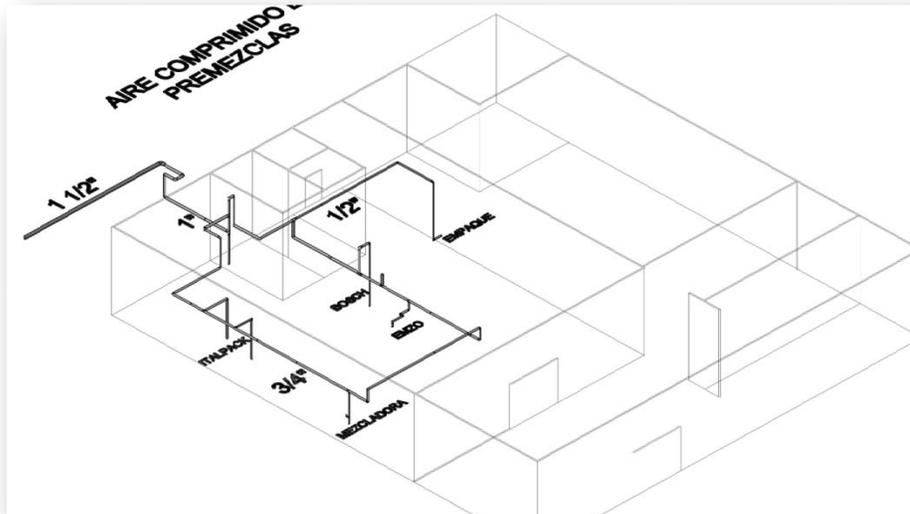
La sección de flujo varía según la cantidad de aire que pasa y varía la caída de presión, o sea, varía la cantidad de aceite. En la parte superior del tubo elevador (4) se puede realizar otro ajuste de la cantidad de aceite, por medio de un tornillo.

2.6. Evaluación del diseño actual de la red de aire comprimido en el molino B de la planta

- Situación actual

La red de aire comprimido, del área de premezclas está representada en la siguiente figura. Está compuesta de las siguientes tuberías.

Figura 42. Red de aire comprimido en premezclas



Fuente: elaboración propia, empleando Autocad MEP 2010, Autodesk.

- Tubería principal

Se denomina tubería principal, a la línea de aire comprimido, que sale del depósito de aire, que se encuentra en la sala de compresores y canaliza la totalidad del caudal de aire; esta debe tener la mayor sección posible y proveer un margen de seguridad en cuanto a posteriores crecimientos de la planta. La tubería principal de aire comprimido en premezclas tiene un diámetro de (1 ½”).

- Tubería secundaria

Son las que toman el aire de la tubería principal, ramificándose por las zonas de trabajo, y de las cuales salen las tuberías de servicio. En premezclas se considera como tubería secundaria, a la responsable de alimentar la red de aire comprimido de circuito cerrado, como también el anillo de distribución de aire que conforma dicho circuito.

El caudal de aire que transportan es el correspondiente a la suma de los caudales parciales, que de ella se derivan; al mismo tiempo, es conveniente pensar en alguna futura aplicación al calcular su diámetro. Las tuberías secundarias de aire comprimido en premezclas tienen diámetros de ($\varnothing = 1''$) Y ($\varnothing = 3/4''$).

- Tubería de servicio

Son las que alimentan a las herramientas o equipos neumáticos en el punto de manipulación, llevan los acoplamientos de cierre rápido e incluyen las mangueras de aire, las unidades de servicio filtro, regulador, lubricador.

Las tuberías de servicio se requiere dimensionarlas conforme al número de salidas o tomas. Se debe evitar instalar tuberías de servicio fijas inferiores a 1/2" pulgada de diámetro, ya que el aire sucio puede tapanlas ($\varnothing = 3/4"$). Las tuberías de servicio de aire comprimido en premezclas tienen diámetros de ($\varnothing = 1/2"$) y ($\varnothing = 3/4"$).

- Consumo en CFM requerido por maquinaria

El cálculo para todas las máquinas es el correspondiente a cilindros de doble efecto.

- Cálculo del consumo aire del cilindro No.1 de la máquina ITALPACK.

Datos:

Presión de trabajo = 100 psi
Diámetro del cilindro (A) = 40 mm
Longitud de carrera (s) = 10 cm
No. de carreras por minuto (n) = 3 ciclos/minuto

- Paso 1

Cálculo del consumo de aire del cilindro neumático (q) en litros/cm. Con la ayuda de la tabla XL, se intercepta el valor del diámetro del cilindro neumático 1, con el valor de presión de trabajo de la máquina Italpack; para obtener el consumo deseado en litros/ cm.

Presión de trabajo = 100 psi
Diámetro del cilindro (A) = 40 mm
Consumo = 0,097 litros/ cm

- Paso 2

Cálculo del consumo del aire total (Q), en litros/min. Lo encontramos a través de la siguiente fórmula: $Q = 2 (s \times n \times q)$ (litros/minuto)

$$Q = 2 (10 \text{ cm} \times 3 \text{ ciclos/minuto} \times 0,097 \text{ litros/cm})$$

$$Q = 5,82 \text{ litros /minuto}$$

- Paso 3

Convertir el consumo de aire total a ft^3/min (CFM)

$$5,82 \text{ litros /minuto} \times 1 \text{ metro}^3/1 \text{ 000 litros} \times 35,3146 \text{ pie}^3/1 \text{ metro}^3 = 0,2055 \text{ CFM}$$

$$Q = 0,2055 \text{ ft}^3/\text{min} \text{ (CFM)}$$

Tabla XXXIX. **Consumo de aire de máquina Italtapack**

Italtapack							
No. cilindro	Presión (psi)	Diámetro A (mm)	Carrera S (cm)	Carrera/min (n) (ciclos/minuto)	Consumo Q(litros/cm)	Demanda Litros/min	Demanda (q) CFM Ft^3/min
1	100	40	10	3	0,097	5,82	0,2055
2	100	50	30	3	0,153	27,54	0,9726
3	100	40	45	3	0,097	26,19	0,9250
4	100	40	3	10	0,097	5,82	0,2055
5	100	50	4	10	0,153	12,24	0,4322
6	100	40	6	10	0,097	11,64	0,4111
7	100	40	6	20	0,097	23,28	0,8222
8	100	40	6	20	0,097	23,28	0,8222
9	100	50	6	20	0,153	36,72	1,2967
10	100	70	4	20	0,299	47,84	1,6895
11	100	40	6	20	0,097	23,28	0,8222
12	100	40	6	20	0,097	23,28	0,8222
13	100	16	6	18	0,0016	0,3456	0,0122
14	100	25	8	18	0,038	10,944	0,3865
Sumatoria total en (CFM) de máquina							9,82

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

El mismo procedimiento se utilizó para conocer el consumo de aire para todas las máquinas.

Tabla XL. **Consumo de aire comprimido de máquina Bosch MK-2510**

Bosch SVB-2510					
No. Cilindro	Presión (psi)	Diámetro A (mm)	Carrera S (cm)	Carrera/min (n) (ciclos/minuto)	Demanda (q) CFM Ft ³ /min
1	100	10	1.5	55	0,05244
2	100	63	2	50	2,1195
3	100	16	6	50	0,0339
4	100	16	6	50	0,0339
5	100	50	1	50	0,5403
6	100	50	1	50	0,5403
7	100	40	5	1	0,03425
Sumatoria total en (CFM) de máquina					3,3546

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

Tabla XLI. **Consumo de aire comprimido de máquina EMZO MK-100**

Emzo MK-100					
No. cilindro	Presión (psi)	Diámetro A (mm)	Carrera S (cm)	No. Carreras por minuto N (ciclos/minuto)	Demanda (q) CFM Ft ³ /min
1	100	25	2.5	30	0,2013
Total en (CFM) de máquina					0,2013

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

Tabla XLII. **Consumo de aire comprimido de máquina mezcladora M-300**

Mezcladora M-300					
No. cilindro	Presion (psi)	Diametro A (mm)	Carrera S (cm)	No. Carreras por minuto N (ciclos/minuto)	Demanda (q) CFM Ft ³ /min
1	100	75	49	1	1,0352
Total en (CFM) de máquina					1,0352

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

Tabla XLIII. **Consumo de aire comprimido de cilindros neumáticos de rechazo**

Cilindro para rechazo de cajas					
No. cilindro	Presión (psi)	Diámetro A (mm)	Carrera S (cm)	No. Carreras por minuto N (ciclos/minuto)	Demanda (q) CFM Ft ³ /min
1	100	40	4	1	0,0274
Total en (CFM) de máquina					0,0274

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

Para este análisis se consideró de suma importancia la utilización de aire comprimido en trabajos de limpieza, tanto de máquinas como en las áreas de trabajo, para tener datos puntuales del consumo global en la planta de premezclas.

Para dicha información se observó la utilización de aire comprimido, en una semana completa durante la jornada de trabajo.

Tabla XLIV. **consumo de aire en labores de limpieza**

Limpieza con aire comprimido por día					
Usos	Tiempos de uso de aire, por jornada (min)				
	Italpack	Emzo	Bosch	Mezcladora	
En operación	0	5	5	10	
Para limpieza	20	10	16	60	
Total	20	15	21	70	126 min
CFM	8,4 CFM				8,4 CFM

Nota: El valor en CFM, en labores de limpieza, fue encontrado con la ayuda de una herramienta de análisis predictiva como la es, una pistola ultrasónica Ultraprobe 10 000

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

Tabla XLV. **consumo de aire en área de premezclas**

Premezclas, INHSA. Molinos Modernos				
No. Tubería	Ø tubería Principal	Ø tubería de servicio	Limpieza de máquina	Consumo de aire Comprimido específico para limpieza en cfm
6	1"	1/2"	Bosch	8,4
7	3/4"	1/2"	Emzo	8,4
8	1"	3/4"	Italpack	8,4
9	3/4"	1/2"	Mezcladora	8,4
Suma total de aire comprimido en limpieza				33,6

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

Tabla XLVI. **Cálculo de CFM en área de premezclas**

Premezclas, INHSA. Molinos modernos		
No.	Aplicación	Consumo de aire comprimido en (CFM)
1	Funcionamiento de máquinas	13,7958
2	Limpieza con aire comprimido	33,6
Consumo total de aire comprimido en premezclas		47,3958

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

Consumo total de aire comprimido

Del área de premezclas	47,3958	CFM
10 % pérdidas por fugas	4,7396	CFM
10 % errores en cálculos	4,7396	CFM
30 % aplicaciones futuras	<u>14,2187</u>	<u>CFM</u>
Suma	71,000	CFM

La sumatoria de este caudal, es el consumo crítico máximo, suponiendo que todos los consumidores de aire comprimido funcionan al mismo tiempo.

El 10 % en pérdidas de aire en fugas se utilizó para efectos de cálculo, es un porcentaje aceptable en la industria, considerando que se pretende disminuir el 35 % existente, a través de la reparación de todas ellas.

Con el 30 % de aplicación futura, se pretende instalar una nueva línea neumática empacadora de cajas.

Para encontrar el diámetro de tubería recomendado y para efectos de diseño de la red de aire comprimido, se tomará en consideración el valor crítico de 71 pies³/min (CFM), obtenido de la sumatoria de todos los valores encontrados, en la multiplicación de los porcentajes calculados y el consumo de aire total. El dato anterior de consumo de aire en pies³/ min, es un dato irreal, debido a que cada maquinaria tiene un tiempo de inactividad, según su trabajo, al cual se le denomina coeficiente de utilización.

Para calcular el uso promedio de aire comprimido en el área de premezclas, se debe de multiplicar el consumo total de aire en cada máquina, por un coeficiente de utilización. Se obtiene como resultado el consumo real, en las distintas aplicaciones. Luego encontramos el promedio ponderado, de la sumatoria de los coeficientes de utilización, Para encontrar el coeficiente de simultaneidad de la utilización del aire comprimido en la planta de premezclas.
 Coeficiente de utilización = % Utilización= tiempo de jornada/tiempo de uso.

Tabla XLVII. **Consumo de aire comprimido en equipos de premezclas**

Premezclas, INHSA Molinos Modernos				
No.	Máquina	Consumo crítico de aire comprimido por máquina y limpieza en CFM	Coeficiente de utilización	Consumo promedio de aire comprimido Por utilización en CFM
1	Bosch	5,03314	95 %	4,7814
2	Emzo	8,4	97 %	0,01952
3	Italpack	0,2013	80 %	7,3418

Continuación de la tabla XLVII.

4	Mezcladora	8,4	0,37 %	0,0038
5	Cilindro rechazo de cajas	9,1773	0,028 %	0,0007
6	Toma de aire bosch	8,4	4 %	0,336
7	Toma de aire emzo	1,0352	2,6%	0,2184
8	Toma de aire italpack	8,4	3,5%	0,294
9	Toma de aire mezcladora	0,0274	12,3 %	1,0332
Total			295 %	14,0288

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

Con el valor en CFM promedio total anterior, encontraremos la demanda de aire comprimido en premezclas. Al hacer el promedio de porcentajes de utilización:

Coeficiente de simultaneidad = $\frac{\sum \text{coeficientes de utilización}}{\sum \# \text{ total de aplicaciones de aire comprimido}}$

Coeficiente de simultaneidad = $295 \% / 9 = 32,77 \%$

$$\text{Consumo promedio real en premezclas} = \frac{\text{consumo promedio de aire comprimido por maquina en CFM}}{\text{Coeficiente de simultaneidad}} \times$$

Consumo promedio real = $14,0288 \text{ CFM} \times 0,3277 = 4,59 \text{ CFM}$

Consumo de aire comprimido real	4,59 CFM
10 % perdidas por fugas	4,73 CFM
10 % errores en cálculos	0,46 CFM
30 % Aplicaciones futuras	<u>4,208 CFM</u>
Suma	13,99 CFM

El valor real de uso de aire comprimido en CFM equivale a 13,99. Este es el valor promedio, calculado tanto para máquinas como limpieza con aire comprimido.

Tabla XLVIII. **Consumo de aire comprimido en equipos de premezclas**

PREMEZCLAS, INHSA MOLINOS MODERNOS				
No.	Máquina	Consumo crítico de aire comprimido por máquina y limpieza en CFM	Coefficiente de utilización	Consumo promedio de aire comprimido Por utilización en CFM
1	Bosch	5,03314	95 %	4,7814
2	Emzo	0,2013	97 %	0,01952
3	Italpack	9,1773	80 %	7,3418
4	Mezcladora	1,0352	0,37 %	0,0038
5	Cilindro rechazo de cajas	0,0274	0,028 %	0,0007
Total en CFM			272,40 %	12,14

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

Coeficiente de simultaneidad= $272,40 \% / 5 = 54,48 \%$

Consumo promedio real = $12,14 \text{ CFM} \times 0,5448 = 6,61 \text{ CFM}$

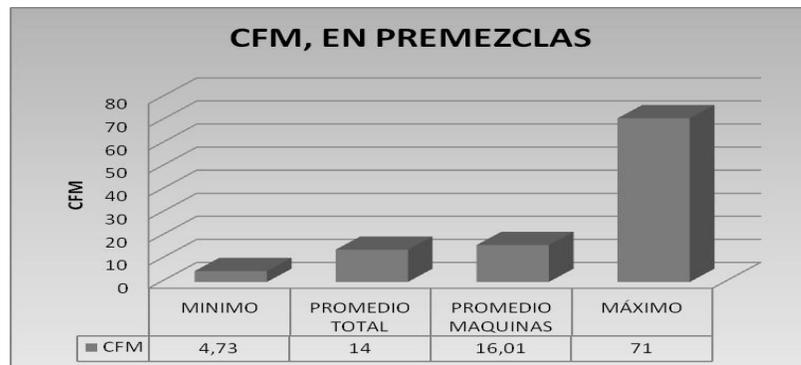
Consumo real en máquinas	6,61	CFM
10 % pérdidas por fugas	4,73	CFM
10 % errores en cálculos	0,46	CFM
30 % Aplicaciones	<u>4,208</u>	<u>CFM</u>
Suma	16,01	CFM

El valor real de uso de aire comprimido en CFM equivale a 16,01. Este es el valor promedio, calculado para máquinas.

- Demanda de aire comprimido

En la gráfica de la figura 43 se presentan los valores de consumo de aires comprimidos actuales en CFM, requeridos para el funcionamiento del área de premezclas.

Figura 43. **Resumen de consumo de aire comprimido en premezclas**



Fuente: elaboración propia.

El CFM mínimo es igual al porcentaje de fugas de aire en el sistema, tomando en la cuenta inactividad de las máquinas.

El CFM promedio total es igual al aire comprimido utilizado, considerando el porcentaje de simultaneidad de utilización de este, durante la jornada de trabajo, tanto para maquinaria como para limpieza con aire comprimido.

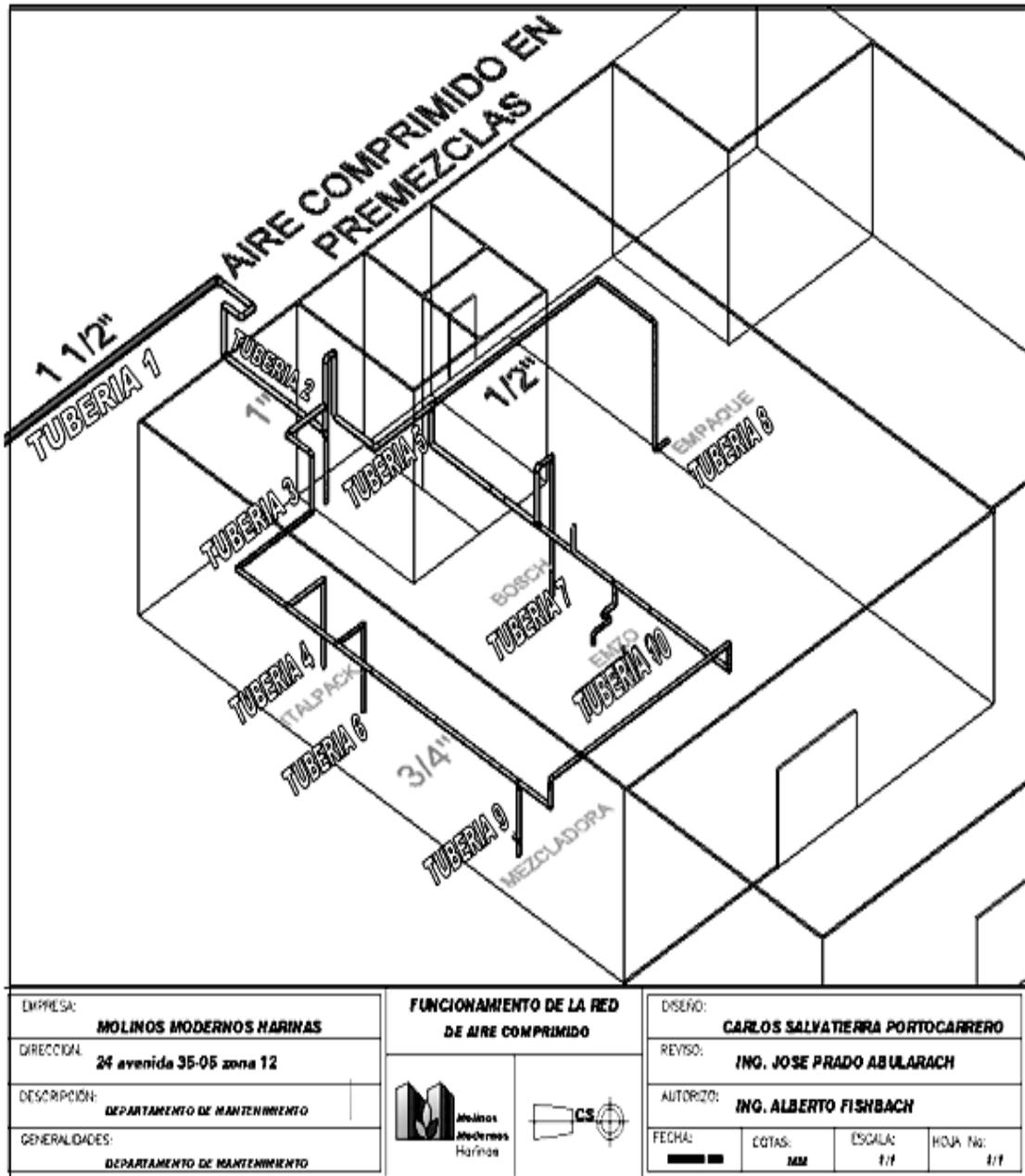
El CFM promedio de máquinas es igual al aire comprimido utilizado, considerando porcentaje de simultaneidad de utilización de este, durante la jornada de trabajo, solo durante la utilización de maquinaria.

El CFM máximo es considerando en condiciones críticas, suponiendo que todos los consumidores de aire comprimido funcionan al mismo tiempo.

- Verificar las tuberías de aire comprimido en el área de premezclas:

Para hacer el cálculo correspondiente, se dividirán las tuberías por número para verificar el diámetro correspondiente.

Figura 44. Nomenclatura utilizada para cálculo de pérdida de presión



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD MEP 2010, Autodesk.

- Tubería principal 1

Cálculo de línea de distribución principal desde colector de la sala de compresores y cálculo de longitud equivalente para la tubería diámetro (1 ½”).

Con los siguientes datos:

Caudal = 71 pies³/ min

P entrega = 100 psi

Tabla XLIX. **Cálculo de longitud equivalente.**

	Metros	Pulgadas	Pies
Diámetro	0,038	1 ½	0,13
Longitud	45,4	1787,398	148,95

Accesorios	Cantidad	Codos equivalentes	Total	
Codo	15	1	15	
Te	3	1	3	
Te reductora	1	4	4	
Válvula de globo	2	0,5	1	
			23	Pies

Fuente: elaboración propia.

Longitud = No. de codos equivalentes x 25 x diámetro tubería + Longitud
equivalente debido a accesorios 12 real(pies)

Longitud equivalente = 22,082 pies

- Verificando el diámetro de la tubería principal de diámetro (1 ½")

- Paso 1

Caudal = 71 pies³/ min

Diámetro = 1 ½"

Factor de pérdida= 24,7

- Paso 2 Factor de tubería

$$R = \frac{100 + 14,7}{14,7} = 7,803$$

- Paso 3: Pérdida de presión en tubería por fricción

$$PP = \frac{24,7 \times 220, 82 \text{ (pies)}}{7,803 \times 1\ 000} = 0, 7 \text{ PSI} = 0,047 \text{ BAR}$$

- Paso 4

Porcentaje de pérdida de presión en tubería

$$\% \text{ pérdida} = \frac{0,7 \times 100}{100} = 0,7 \%$$

- Tubería secundaria 2

Cálculo de longitud equivalente para la tubería secundaria diámetro (1")

Con los siguientes datos:

Caudal = 71 pies³/ min

P entrega = 100 psi

Tabla L. **Cálculo de longitud equivalente**

	Metros	Pulgadas	Pies
Diámetro	0,025	1	0,08
Longitud	5	196,85	16,40

Accesorios	Cantidad	Codos equivalentes	Total	
Codo	5	1	5	
Te	1	1	1	
Te reductora	1	4	4	
Válvula de globo	1	0,5	0,5	
			10,5	Pies

Fuente: elaboración propia.

Longitud = No. de codos equivalentes x 25 x diámetro tubería + Longitud
equivalente debido a accesorios 12 real(pies)

Longitud equivalente = 38,28 pies

- Verificando el diámetro de la tubería secundaria de diámetro (1")

- Paso 1:

Factor de pérdida= 106,6

- Paso 2 Factor de tubería

$$R = \frac{100 + 14,7}{14,7} = 7,803$$

- Paso 3 Pérdida de presión en tubería por fricción

$$PP = \frac{106,6 \times 38,28 \text{ (pies)}}{7,803 \times 1000} = 0,52 \text{ PSI} = 0,035 \text{ BAR}$$

- Paso 4 Porcentaje de pérdida de presión en tubería

$$\% \text{ pérdida} = \frac{0,52 \times 100}{100} = 0,52 \%$$

Tabla LI. **Caída de presión en el área de premezclas**

No.	CAÍDA DE PRESIÓN HASTA EL ANILLO DE ALIMENTACIÓN	
2.	Tubería principal 1	0,7 psi
3.	Tubería secundaria 2	0,52 psi
Total pérdida de presión		1,22 psi

Fuente elaboración propia.

La caída de presión máxima aceptable en una red de aire comprimido debe ser $< 1,5 \%$ de la presión de trabajo. Actualmente se tiene una pérdida de presión hasta la alimentación del anillo que conforma el circuito cerrado de aire comprimido, existente en premezclas, que es de $1,22 \%$, (tomando como valor de presión, de salida del compresor = 100 psi).

- Cálculo de pérdida de presión de aire comprimido hasta las tuberías de servicio.

Las pérdidas de carga en una red de aire comprimido son función de la presión estática, del caudal y del diámetro de la tubería, y en menor medida, de la densidad del aire y de la rugosidad de la tubería. Esta relación está plasmada en el gráfico general de pérdida de carga de tubo de acero en conducciones neumáticas.

- Pérdida de carga lineal
 - Con base en las indicaciones recogidas en el ejemplo adjunto al gráfico, determinaremos la pérdida de carga por cada 10 m de tubería de acero.
 - Al dividir este valor por 10 y multiplicar el resultado por la longitud total de tubería recta (en m) de un diámetro determinado, tendremos la pérdida de carga total para ese diámetro.
 - Al sumar los resultados parciales obtenidos para cada diámetro que compone la conducción de aire comprimido o ramal más desfavorable de la misma, tendremos la pérdida de carga total buscada.

- Pérdida de carga localizada

Existen ábacos y tablas que nos dan las longitudes equivalentes en metros de tubería recta para los distintos obstáculos o elementos singulares de la conducción. Sin embargo, por las razones que expondremos a continuación se hace innecesaria su utilización.

- Salvo en pequeñas instalaciones, la línea principal se suele diseñar y montar en anillo, por lo que un receptor neumático puede ser alimentado por uno u otro lado, o por ambos a la vez. Se minimiza las pérdidas de carga y las variaciones de presión de unos receptores o puntos de consumo a otros.
- Tradicionalmente suele sobredimensionarse las conducciones, en previsión de futuras ampliaciones o conexiones de nuevos receptores, hecho muy frecuente en este tipo de instalaciones.

Es decir, la pérdida de carga total en la conducción debida a los distintos obstáculos de la misma va a ser compensada por la disposición de la red en anillo y su sobredimensionado, por lo que no tiene objeto su consideración.

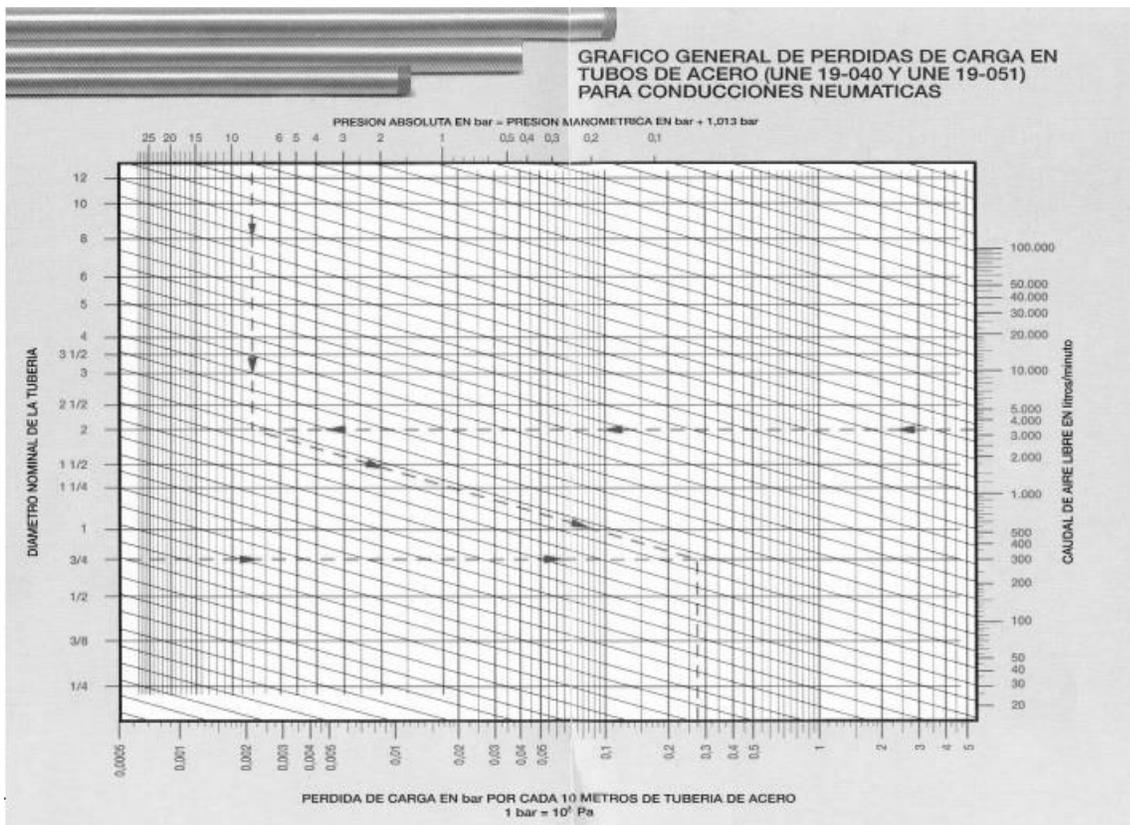
Ejemplo de utilización del gráfico:

Cálculo de la pérdida de carga de una tubería de acero de diámetro $\frac{3}{4}$ (DN 20) con el caudal de aire libre de 3,400 l/min y la presión manométrica 7 bar. A partir del caudal dado (3 400 l/min) se traza una horizontal hasta la vertical bajada de la presión absoluta ($7 + 1,013 = 8,013$)

Por el punto de intersección de ambas se traza una paralela a las líneas oblicuas del gráfico hasta que se encuentre con la horizontal trazada desde el diámetro correspondiente (3/4 DN 20).

Al bajar una vertical desde este último punto de intersección encontraremos en el eje horizontal inferior la pérdida de carga por cada 10 m de tubería (0,28 bar)

Figura 45. **Pérdida de presión en tuberías de conducción neumática**



Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

A través del uso de la gráfica anterior calcularemos la pérdida de presión total en cada una de las tuberías de aire comprimido. Para dicho análisis, utilizaremos el diámetro de las tuberías en pulgadas y un caudal de circulación de aire comprimido en litros/min.

Tabla LII. **Tubería de servicio de premezclas**

Tubería en premezclas				
No.	Tubería	Situación actual		
		∅ en pulgadas	ft ³ /min	Litros/min
1	Tubería principal 1	1 ½"	71	2,028
2	Tubería secundaria 2	1"	71	2,028
3	Tubería de servicio 3	¾"	41,28	1 179,42
	Tubería de servicio 3	½"	41,28	1 179,42
4	Tubería de servicio 4	¾"	13,77	393,43
5	Tubería de servicio 5	1"	17,97	513,42
6	Tubería de servicio 6	¾"	12,6	360
7	Tubería de servicio 7	½"	17,63	503,71
8	Tubería de servicio 8	½"	0,042	1,2
9	tubería de servicio 9	½"	14,16	404,57
10	Tubería de servicio 10	½"	12,9	369

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

Tabla LIII. **Pérdida de presión encontrada en cada una de las tuberías de servicio de premezclas**

Tubería en premezclas					
No.	Tubería	Situación actual			
		∅ en pulgadas	Litros/min	Pérdida de presión (BAR)	Pérdida de presión (PSI)
1	Tubería principal 1	1 ½"	2,028	0,04	0,7
2	Tubería secundaria 2	1"	2,028	0,035	0,52
3	Tubería de servicio 3	¾"	1 179,42	0,02	0,3
	Tubería de servicio 3	½"	1 179,42	0,125	1,89
4	Tubería de servicio 4	¾"	393,43	0,004	0,06
5	Tubería de servicio 5	1"	513,42	0,0023	0,034
6	Tubería de servicio 6	¾"	360	0,0035	0,053
7	Tubería de servicio 7	½"	503,71	0,0275	0,41
8	Tubería de servicio 8	½"	1.2	6,75E-5	0,001
9	tubería de servicio 9	½"	404,57	0,017	0,25
10	Tubería de servicio 10	½"	369	0,014	0,21

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

Tabla LIV. **Pérdida de presión total**

No.	Tubería	Porcentaje pérdida de presión total
1	Tubería de servicio 3	0,52
2	Tubería de servicio 3 con estrangulación de 1/2"	3,11
3	Tubería de servicio 4 Máquina Intalpack	1,58
4	Tubería de servicio 5	1,254
5	Tubería de servicio 6 Toma de aire	1,573
6	Tubería de servicio 7 Máquina Bosch	1,66
7	Tubería de servicio 8 Empaque	1,255
8	tubería de servicio 9 Mezcladora	1,47
9	Tubería de servicio 10 Emzo	1,46

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

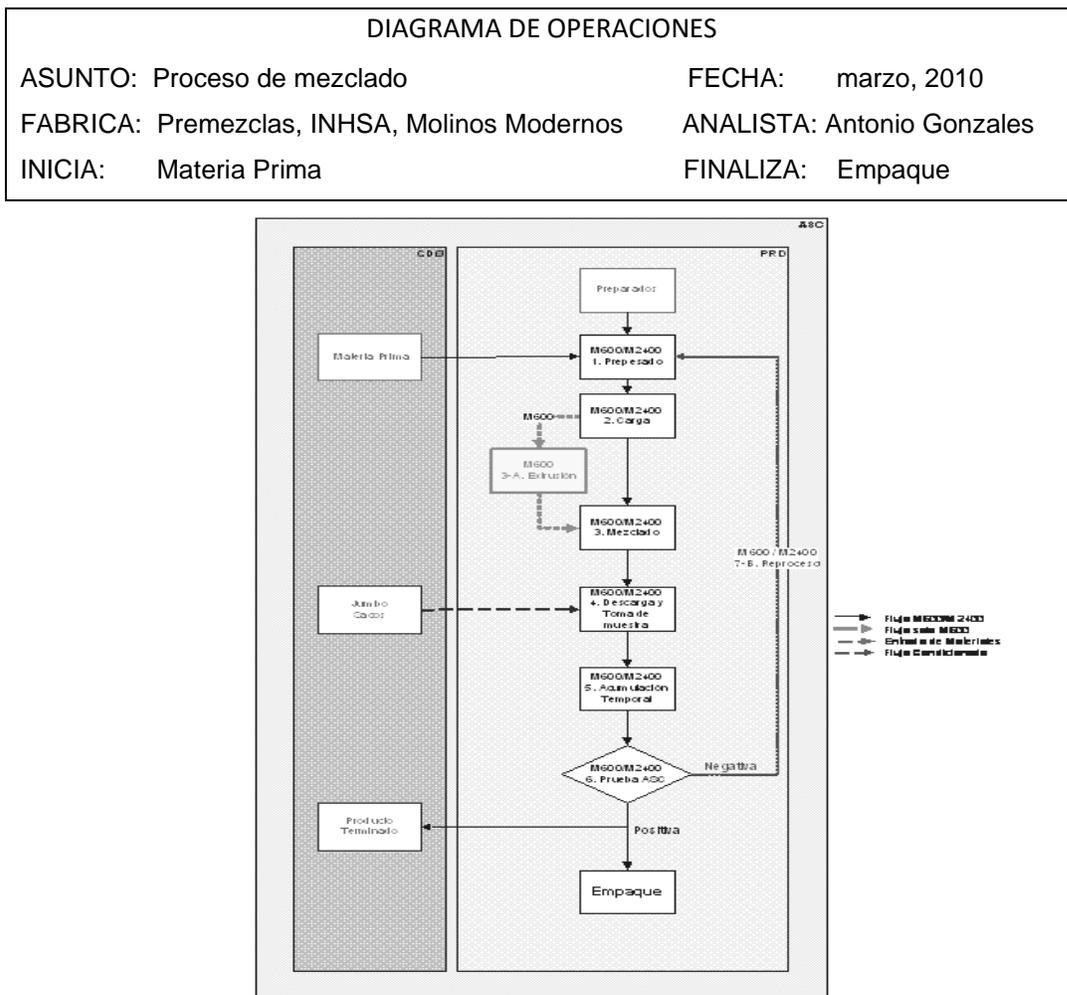
Actualmente se está trabajando a una presión de trabajo de 100 PSI y los compresores servicio generan una presión aproximada de 100 a 110 PSI, pero existen momentos que la presión se mantiene en el límite inferior de la generación de aire; por consiguiente, utilizaremos como 1,5 PSI la pérdida de presión aceptable para cada uno de los consumos.

En la tabla LV observamos que en la tubería No. 4, 6, 7 correspondiente al consumo requerido por la máquina intalpack, bosch, y en la tubería 6 utilizada para toma de aire, cuenta con una pérdida de presión del 1,585, 1,66, 1,57 PSI. Se concluye que dicha tubería sobrepasa el límite de permisibilidad de caída de presión, por tal motivo será tema de análisis para mejorar la red de aire comprimido en la planta.

2.6.1. Diagrama de flujo y de proceso en el área de premezclas

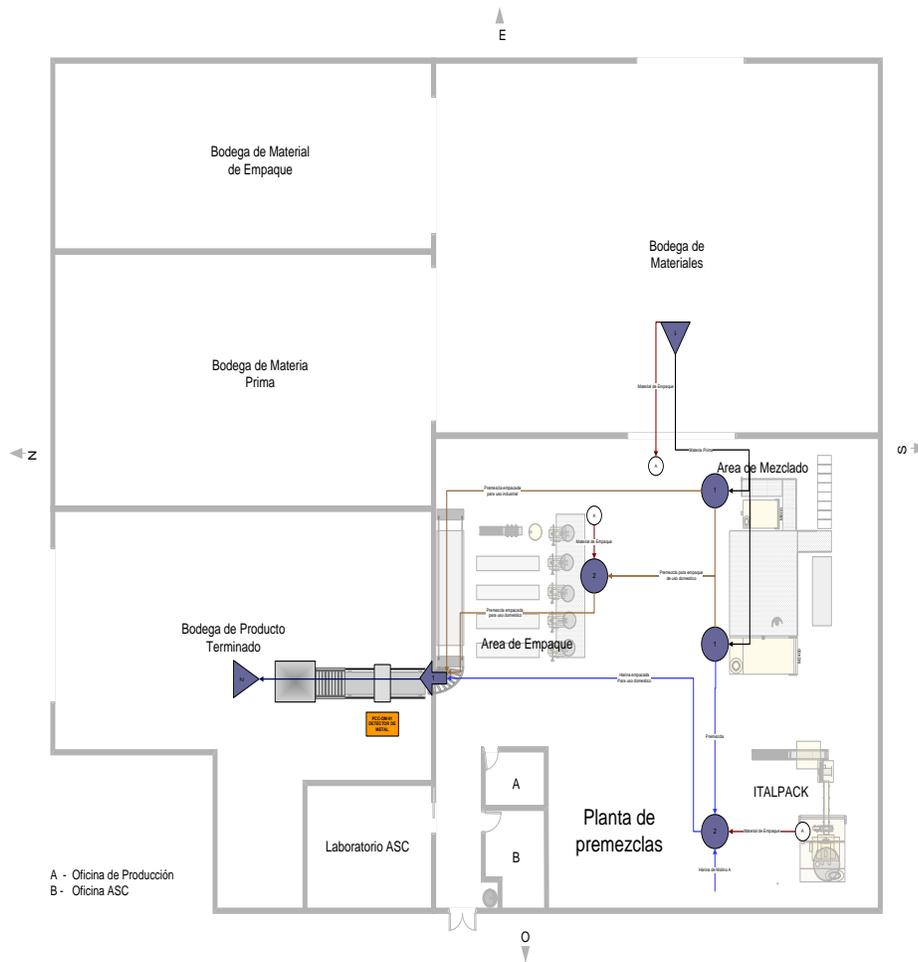
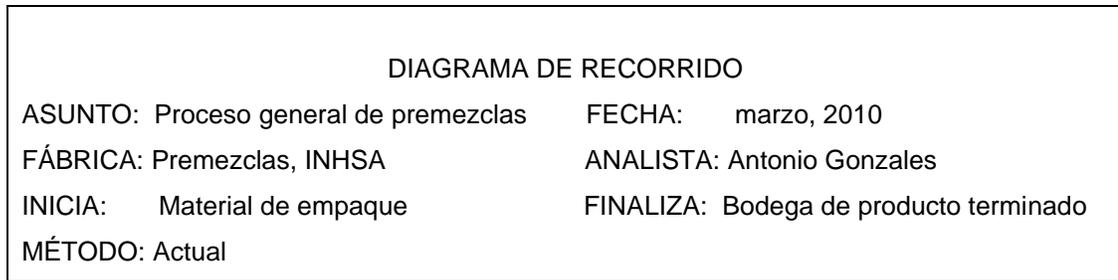
En la siguiente figura se detalla el diagrama de flujo de proceso del área de premezclado para analizar la importancia del funcionamiento de los distintos equipos en el proceso de transformación de materiales.

Figura 46. Diagrama de flujo para el proceso de mezclado



Fuente: *premezclas*, Molinos Modernos.

Figura 47. Diagrama de recorrido para el proceso de mezclado



Fuente: premezclas, Molinos Modernos.

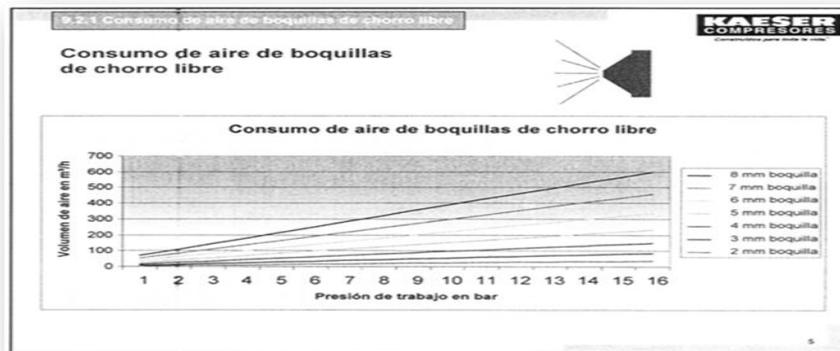
2.6.2. Uso y aplicación de aire comprimido en labores generales de mantenimiento

Las labores generales de mantenimiento, que se realizan con la utilización del aire comprimido, en INHSA, Molinos Modernos, se resumen en labores de limpieza, tanto de máquinas como de las instalaciones, paredes, piso, entre otros. Por tal motivo se realizará un estudio económico correspondiente a labores de mantenimiento en el área de premezclas, con relación a la limpieza de las instalaciones y equipos con aire comprimido.

- Consideraciones generales

En la planta de premezclas se cuenta con diversas boquillas para limpieza de harina, tanto en máquinas como instalaciones. Dichas boquillas tienen un diámetro de 2 mm en la salida. Para conocer el consumo de aire en CFM, por cada consumo, utilizaremos la tabla de la figura 49, para realizar dicho análisis.

Figura 48. **Gráfica de consumo comprimido de boquillas de chorro libre**



Fuente: KAESER, *seminario de aire comprimido Kaeser Compresores*, capítulo 9, p. 5.

Figura 49. **Tabla de consumo de aire comprimido de boquillas de chorro libre**

9.2.1 Consumo de aire de boquillas de chorro libre

KAESER COMPRESORES

Estableciendo el consumo de aire de boquillas de chorro libre

Diámetro de boquillas en mm	Área de boquillas en mm²	Presión de trabajo en bar							
		1	2	4	6	8	10	12	15
1.5	1.767	0.041	0.062	0.103	0.145	0.186	0.227	0.268	0.330
2	3.142	0.074	0.110	0.184	0.257	0.330	0.404	0.477	0.587
3	7.069	0.166	0.248	0.413	0.578	0.743	0.908	1.073	1.320
4	12.566	0.295	0.442	0.735	1.028	1.321	1.614	1.908	2.347
5	19.635	0.461	0.690	1.148	1.606	2.064	2.523	2.981	3.668
6	28.274	0.664	0.994	1.653	2.313	2.973	3.632	4.292	5.282
8	50.265	1.180	1.767	2.939	4.112	5.285	6.458	7.630	9.390
10	78.54	1.844	2.761	4.593	6.425	8.258	10.09	11.92	14.67

Para boquillas con orillas redondeadas en m³/min

Presión atmosférica : 1.013 bar Temperatura ambiente : 15 °C

Ejemplo:
Diámetro de boquillas 8 mm. Presión de trabajo 6 bar
Q = 4.112 m³/min = 247 m³/h

● Capacidad requerida del compresor: 25 KW

8 mm Ø

Fuente: KAESER. *seminario de aire comprimido Kaeser Compresores*, capítulo 9, p. 6

- Cálculo de CFM en uso de boquillas de limpieza de aire, por tablas:

Tomando en consideración los siguientes datos:

Presión atmosférica = 1,03 bar = 15 psi

Temperatura Ambiente = 15 °c

Diámetro de boquilla = 2 mm

Presión de trabajo = 90 psi = 6 bar

Se tiene un consumo de aire según figura 49 = 0,257 m³/min = 9,0 ft³/min

- Con equipo de ultrasonido

Para comprobar dicho dato utilizaremos la herramienta de análisis predictivo Ultrasónica Ultraprobe 10,00, de la siguiente forma:

Con el equipo de ultrasonido accionaremos la pistola para ver la lectura en decibeles de dicha fuga; luego lo ingresaremos al sistema para calcular el consumo total.

Tabla LV. CFM registrados con equipo ultrasónico a través de la presión y decibeles para limpieza de equipos con boquillas

Tipo de gas	Presión de trabajo	Decibeles De la aplicación	Descripción	CFM utilizados Por la aplicación
Aire	100 PSI	90 DB	Boquilla para limpieza de pmezclas	8,4 CFM

Fuente: *programa UE sistema inc.* Del equipo ultrasónico.

Se tiene un consumo de aire según Ultrasonido = 8,4 ft³/min

Observamos que dicho dato es un valor aproximado al consumo anterior calculado a través de tabla, tomando en consideración las variaciones de temperatura, presión atmosférica y presión de servicio; por lo tanto, utilizaremos el dato encontrado a través del equipo ultrasónico, para obtener en el siguiente resultado:

Tabla LVI. **Costo de utilización de boquillas encontrados a través del equipo ultrasónico**

Dato obtenido con ultrasonido, por uso de boquilla	
Consumo de aire total	8,4 CFM
Costo de utilización	US\$ 1 456,96/año

Fuente: *programa UE Systems Inc.* Del equipo ultrasónico.

Para conocer el valor real de utilizar esta aplicación, realizaremos el siguiente análisis.

- Cálculo de consumo de aire comprimido para uso de limpieza en premezclas, considerando el porcentaje de utilización de los equipos.

Para dicho análisis se observó en la primera semana de febrero completa correspondiente del 1 al 6 de febrero, para encontrar la utilización de aire comprimido en una jornada normal de trabajo.

Tabla LVII. Horario de utilización de aire comprimido para limpieza

Tiempo de uso				Fecha Febrero 2,010						Presión de trabajo	Máquina
Inicio	Fin	AM	PM	1	2	3	4	5	6		
3:10	3:25		X	X						95 psi	Italpack
4:10	4:25		X		X					95 psi	Italpack
4:10	3:25		X			X				95 psi	Emzo

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

Tabla LVIII. Tiempo de utilización de aire comprimido para limpieza por máquina

Tiempo total en minutos de utilización					
Usos	Tiempos de uso de aire, por jornada (min)				
	Italpack	Emzo	Bosch	Mezcladora	
En operación	0	5	5	10	
Para limpieza	20	10	16	60	
Total	20 min	15 min	21 min	70 min	126 min
Día de limpieza general	200 min	200 min	200 min	200 min	800 min

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

Es de suma importancia considerar que el tiempo total calculado es de una jornada efectiva, compuesta de 6 días a la semana; y el día general de limpieza se realiza una vez al mes.

- Cálculo de minutos de limpieza por año

- Paso 1

Minutos totales de limpieza por año.

Se tienen 312 días de jornada efectiva.

126 min X 312 días al año = 39 312 min / año.

Se realiza 12 limpiezas generales del área de premezclas por año.

800 min X 12 días al año = 9 600 min / año.

Minutos totales de limpieza por año = 48 912 min/año

- Paso 2

Total de minutos anuales.

1 año X (365 días/ 1 año) X (24 horas/1 día) X (60min/1 hora) =

525 600 min/año.

- Paso 3

Calculando el costo de limpieza con aire comprimido:

525 600 min/año ----- US\$ 1 456,96/año

48 912 min/año ----- X

Costo total de servicio = US\$ 135,6/año

Tabla LIX. **Costo total por limpieza con aire comprimido**

Costo de servicio				
Costos de utilización	Costo en \$/tiempo		Costo en q/tiempo	
	US\$/Año	US\$/mes	Q/año	Q/mes
Área de premezclas	US\$ 135,6	US\$ 11,3	Q.1 180,00	Q.100,00

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

2.7. Problemas encontrados en la red de aire comprimido

Luego de evaluar la red de aire comprimido en INHSA, se pudo observar diversas deficiencias, como se había mencionado anteriormente:

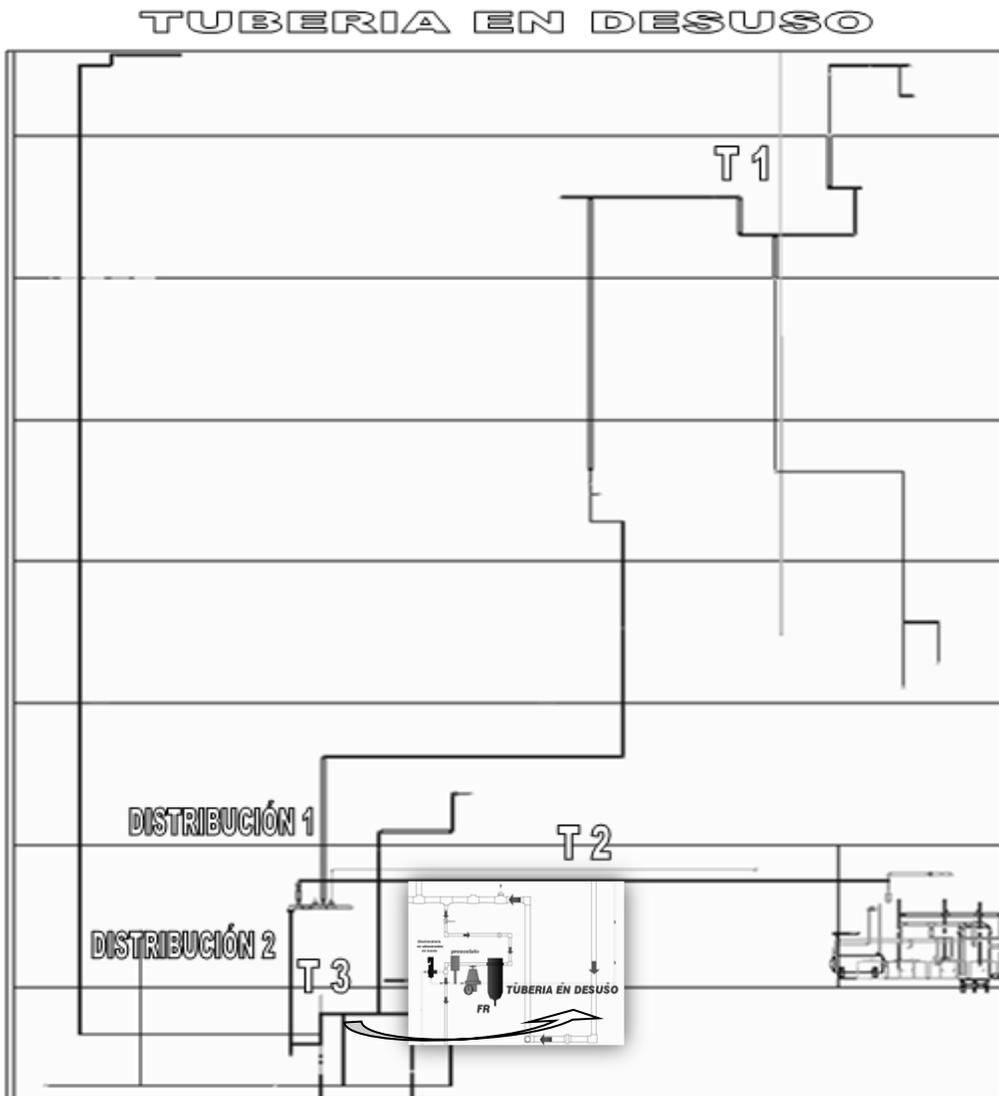
- INHSA B, Molinos Modernos
 - Existen tuberías abandonadas completamente. Debido a que no existe un plan de mantenimiento, hay tuberías que se encuentran sin sus respectivos soportes.
 - Hay tuberías dañadas debido al óxido y la corrosión que son el resultado de inexistencias de purgas manuales o automáticas.
 - Existen tuberías que se encuentran sin sus respectivas inclinaciones para conducción de condensado, lo que ocasiona daños en las válvulas y equipos neumáticos.
 - Compresores conectados en circuito paralelo uno con el otro, y el fluido de salida del aire se dirige hacia un mismo tanque de almacenamiento. Se puede cambiar esta configuración a un circuito en serie, mejorando condiciones actuales, tanto para mantenimiento, como para tratamiento de condensado.
 - Fugas de aire comprimido en las tuberías y en los equipos.

- Tuberías en desuso debido a modificaciones en sus instalaciones, al momento de eliminar maquinaria innecesaria.
 - Estrangulaciones en diversas partes de la red de aire comprimido, instaladas por falta de tubería del mismo diámetro al momento de realizar modificaciones en el sistema. Esto provocó grandes pérdidas de presión por la reducción de diámetros, de forma innecesaria.
 - En el molino B, las tuberías secundarias están mal balanceadas, lo cual provoca mayor consumo en algunas tuberías.
 - Pérdidas de presión mayor de 1,5 % en tuberías de servicio, por diámetros incorrectos.
- Premezclas
 - Estrangulaciones en la red de aire comprimido.
 - Filtros de aire mal ubicados.
 - Excedente condensado en el sistema.
 - Anillo mal diseñado.
 - Altos costos de aire comprimido por usos inadecuados en labores de limpieza.
 - Pérdidas de presión mayor es de 1,5 %, en tuberías de servicio, por diámetros incorrectos.

Se propone un plan de acción para mejorar las condiciones actuales de la red de aire comprimido. El estudio correspondiente de los incisos 1 al 5 se presenta con mayor detalle en el siguiente capítulo 3.

A continuación, se presenta las posibles mejoras para tener una red de aire comprimido eficiente.

Figura 50. Tubería de aire comprimido en molino en INHSA B

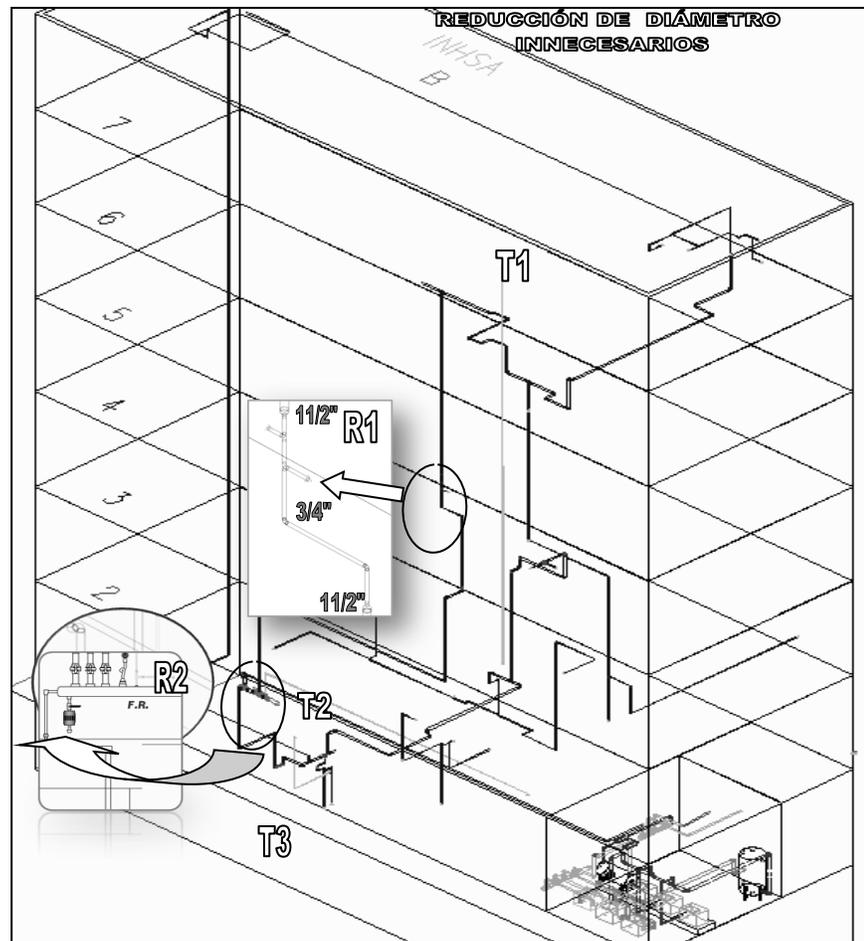


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD MEP 2010, Autodesk.

Las tuberías t1, t2 y t3, tuberías de $\frac{1}{2}$ ", que fueron localizadas en INHSA B, actualmente no tienen ninguna utilidad, por lo que se consideran innecesarias en el sistema y posibles consumidoras, en un futuro, de grandes

fugas en el sistema. También se observó que es tubería vieja y oxidada, de ocupar espacio en la planta y en la red de aire comprimido.

Figura 51. Tubería de aire comprimido en molino B



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD MEP 2010, Autodesk.

En la figura 51 se muestran las tuberías innecesarias t1, t2 y t3, descritas anteriormente en un plano isométrico; a su vez se señalan las estrangulaciones innecesarias en el sistema con la descripción R1 y R2, en donde existe una reducción de diámetros sin sentido. La razón atribuida es la falta de tubería de diámetro mayor al momento de realizar modificaciones en el sistema.

La R1 es parte de la tubería de distribución que entrega aire comprimido a la parte superior del nivel dos, a través del diámetro de alimentación de 1 ½”; luego este diámetro es bruscamente reducido por una tubería de ¾” hasta el cuarto nivel, donde aumenta nuevamente a las condiciones iniciales de 1 ½” de diámetro, Hay un cuello de botella grande en el sistema y una pérdida de presión por reducción de tubería innecesaria. De igual forma en R2, se reduce la tubería de 1” a 1 ½” de diámetro.

Es de suma importancia recalcar que ambas estrangulaciones se dan antes de suministrar aire comprimido en las distintas máquinas, por lo que se sugiere evitar este tipo de reducciones para que el aire circule adecuadamente. Actualmente, la distribución del aire comprimido de las dos tuberías de distribución es totalmente dispereja, según el análisis realizado sobre los consumos que se presentan en la tabla siguiente.

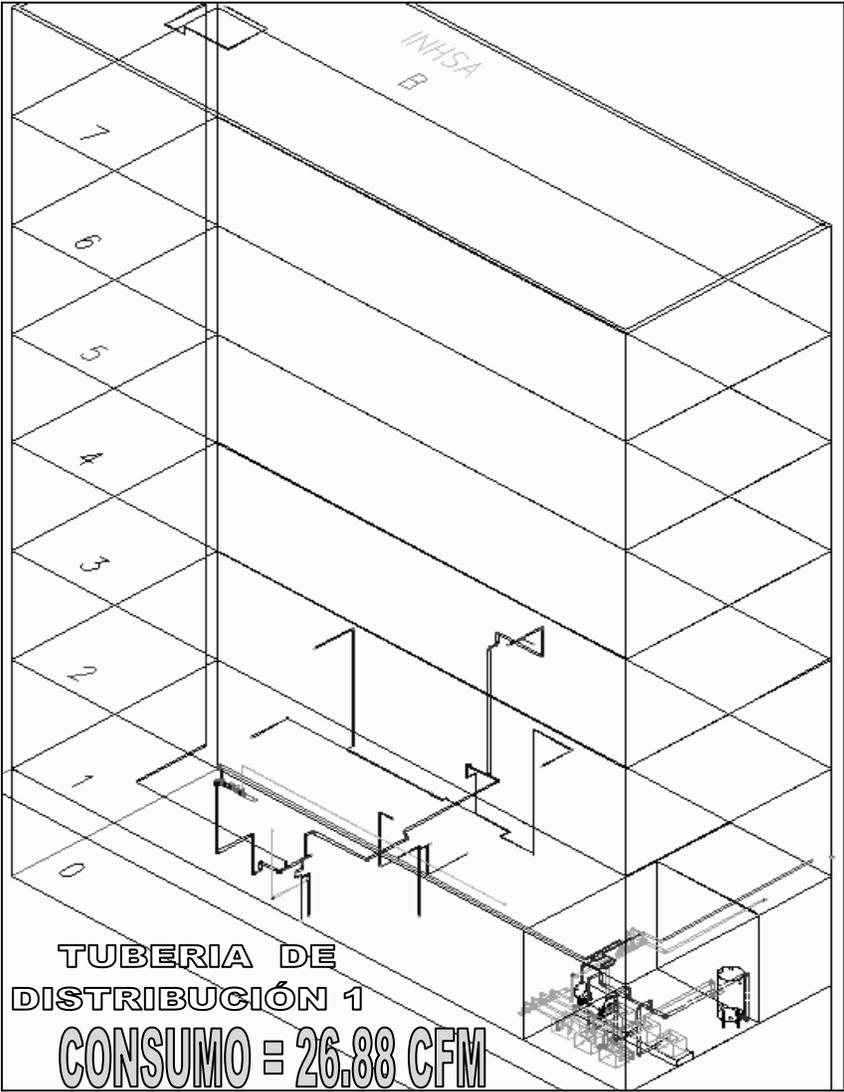
Tabla LX. Consumo de aire comprimido en las distintas áreas de distribución de INHSA B

Consumo de aire comprimido en INHSA B	
Descripción	Consumo total pies ³ /min (CFM)
tubería de distribución 1	26,885166
tubería de distribución 2	2,818296

Fuente: elaboración propia.

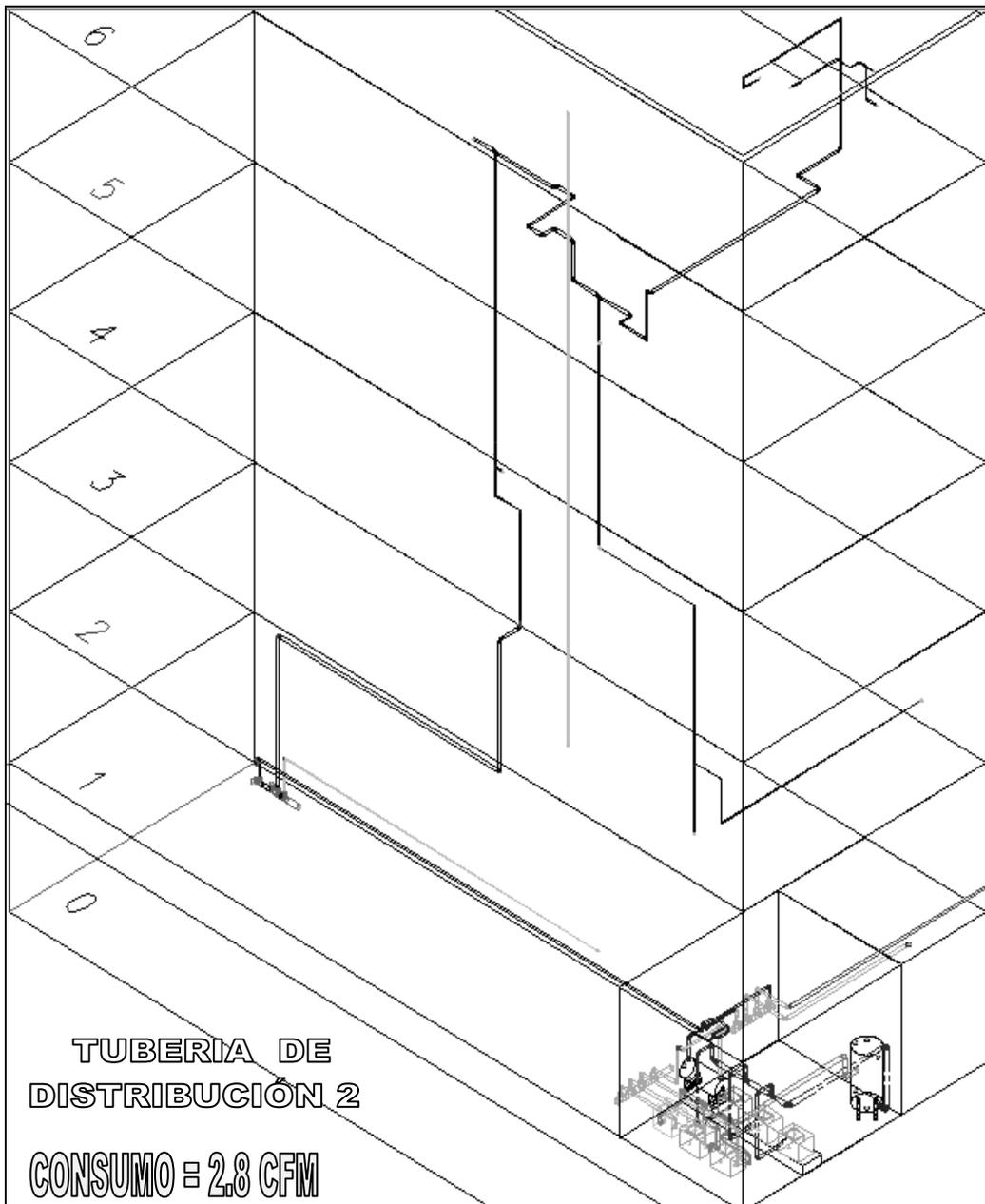
Se sugiere realizar diversas modificaciones, para balancear dichos consumos para INHSA B. Para identificar cada una de las tuberías, utilizaremos las figuras 52 y 53.

Figura 52. Tubería de aire comprimido en molino B, (distribución 1)



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD MEP 2010, Autodesk.

Figura 53. **Tubería de aire comprimido en molino B, (distribución 2)**

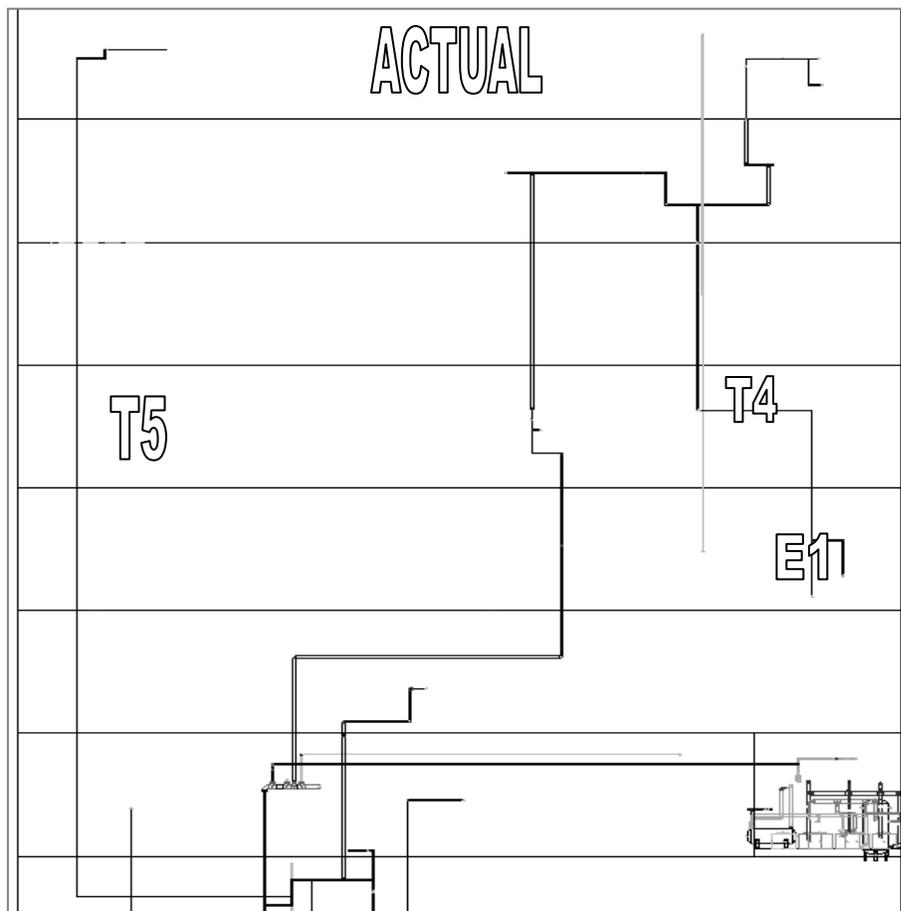


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD MEP 2010, Autodesk.

- Modificaciones en la red de aire comprimido de INHSA B
 - Eliminar tubería innecesaria.

Eliminar la tubería descrita anteriormente con la simbología, t1, t2, y t3, o bien desconectarla totalmente de la red de aire comprimido actual.

Figura 54. **Tubería mejorada de aire comprimido en INHSA B sección cinco**

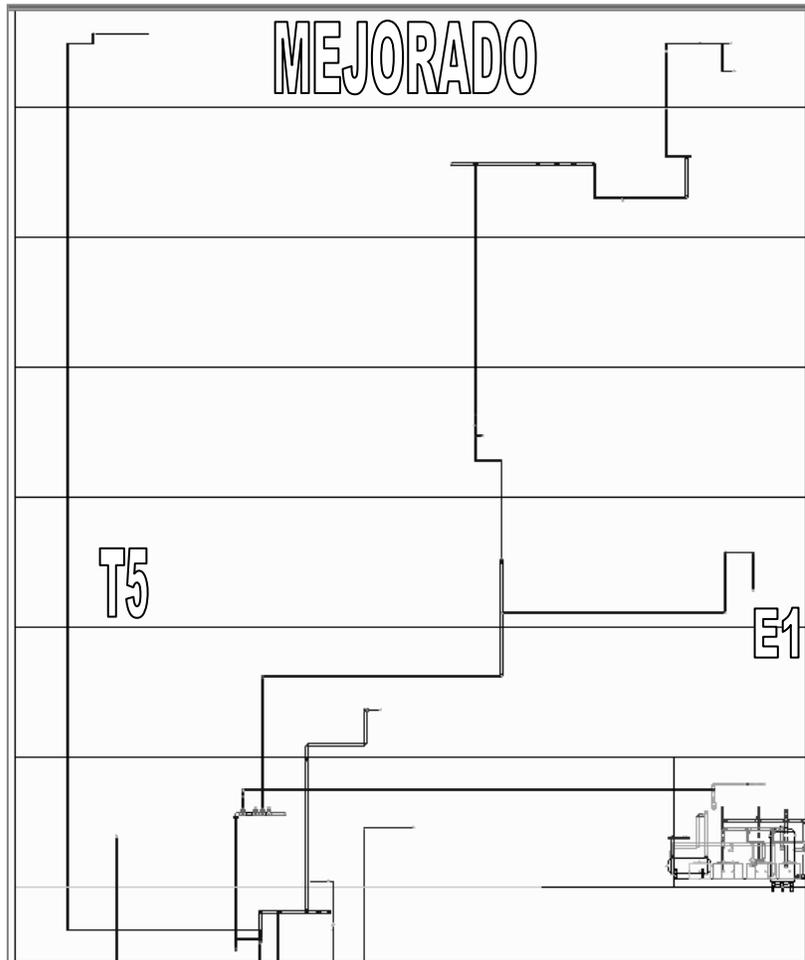


Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD MEP 2010, Autodesk.

En la figura 54 observamos que actualmente, para suministrar aire comprimido en los dosificadores de trigo (E1), la tubería de distribución 2 de diámetro de 1 ½" sube al sexto nivel, y luego distribuye los distintos ramales consumidores, en este caso E1 y retorna desde el sexto nivel al tercero para realizar dicha distribución, lo cual provoca:

- Descenso de condensado por gravedad hacia los dosificadores de trigo E1.
- Recorrido insuficiente de aire a través de las tuberías.
- Mayor pérdida de presión de aire comprimido, por distancia aparente de equipos.
- Se sugiere modificar el sistema como lo simboliza la figura 55.
- Alimentar los dosificadores de trigo E1, desde la línea de alimentación desde el tercer nivel con una tubería de ¾" de diámetro.
- Eliminar tubería innecesaria, t1, t2, t3, t4 y T5 (mascarilla).

Figura 55. Red de aire comprimido sección general INHSA B



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD MEP 2010, Autodesk.

- Eliminar puntos de estrangulación en el sistema de aire comprimido

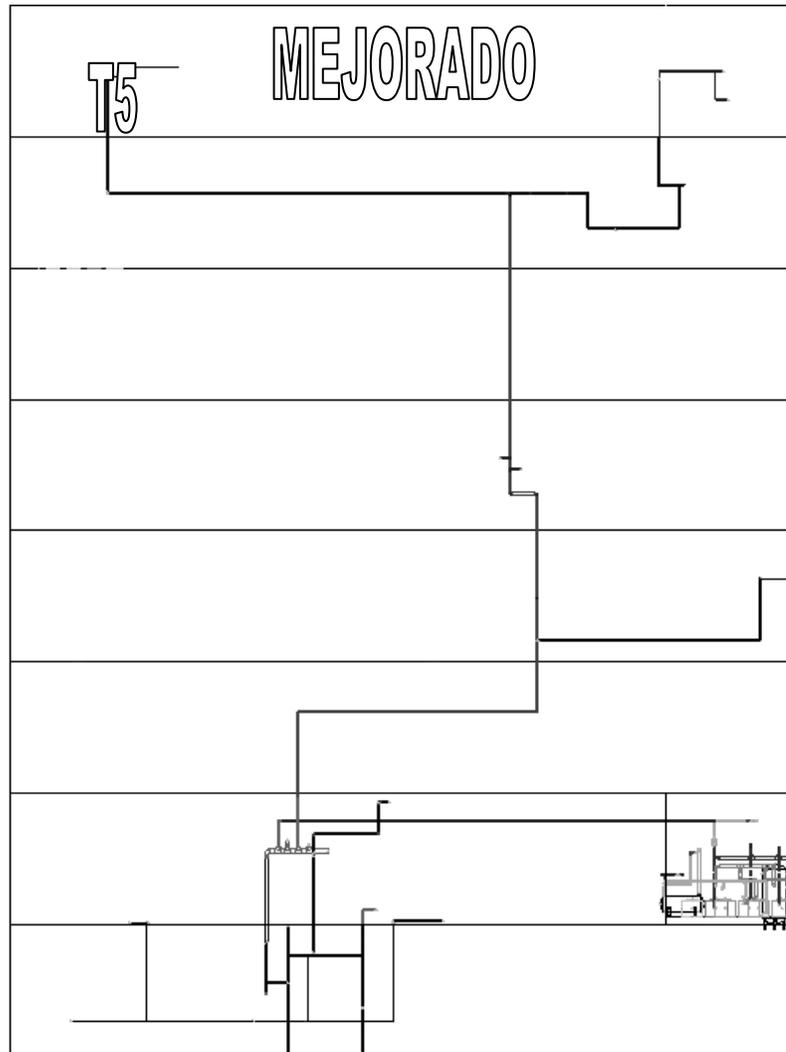
Aumentar el diámetro de las áreas r1 y r2 descritas anteriormente, porque restringen el paso del aire comprimido y producen grandes pérdidas de presión en el sistema. Se sugiere aumentar tanto R1 como R2 a un diámetro de 1 ½”.

- Balancear las líneas de distribución de aire comprimido

Actualmente existe mayor consumo en la línea de distribución 1, por lo que se sugiere eliminar la tubería T5 correspondiente a la mascarilla utilizada para cambio de cilindros y acoplarla a la tubería de distribución dos para:

- Disminuir el consumo de la línea de distribución uno.
- Mejorar la condición actual de la tubería T5 porque recorre todo el edificio, desde el sótano hasta el 7 nivel, con una tubería de $\frac{1}{2}$ " de diámetro interno. Tiene que transportar el aire comprimido una distancia muy grande y con un diámetro muy pequeño, por lo cual ocurren grandes pérdidas de presión hasta el lugar de servicio y gastos muy grandes por concepto de fugas en una tubería muy distante.
- Eliminar tubería con recorridos innecesarios en el sistema.
- Reducir el mantenimiento de tuberías muy distantes al cuarto de compresores.

Figura 56. Red mejorada de aire comprimido sugerida

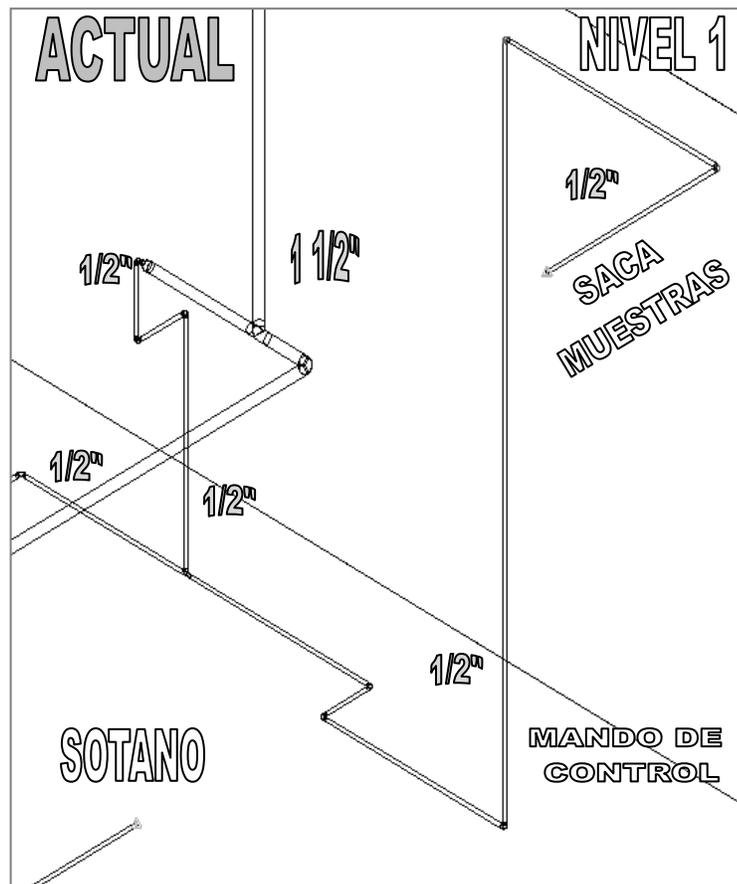


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD MEP 2010, Autodesk.

Aumentar diámetros en tuberías con pérdida de presión mayor a 1,5 %. La caída de presión máxima aceptable en una red de aire comprimido debe ser menor de 1,5 % de la presión de trabajo.

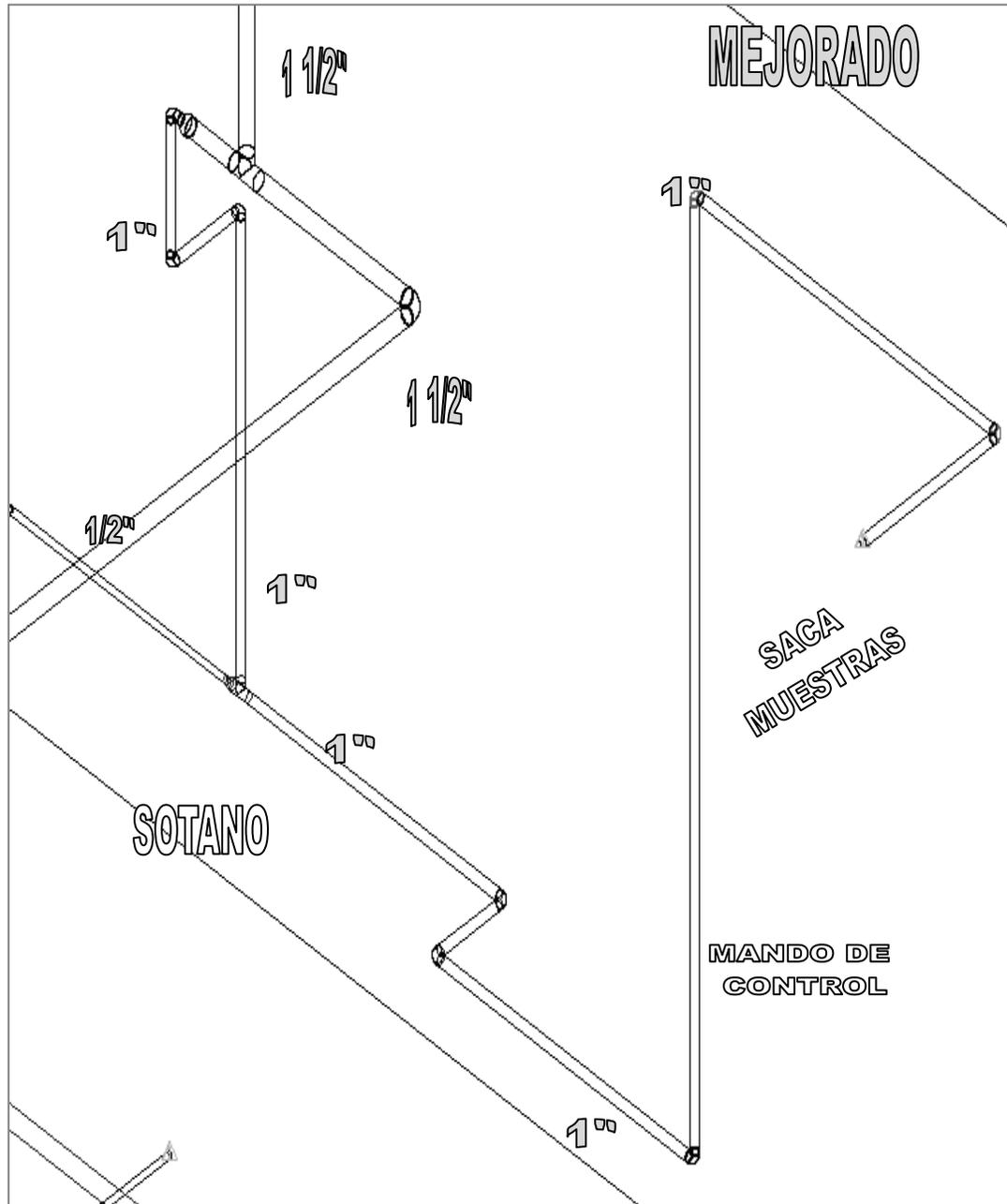
En la tabla LIII observamos que la tubería núm.10 correspondiente al consumo requerido por la máquina sacamuestras, cuenta con una pérdida de presión del 2,462 PSI. Se Concluye que dicha tubería sobrepasa el límite de permisibilidad de caída de presión, por tal motivo, se sugiere aumentar el diámetro de $\frac{1}{2}$ " a una tubería de 1" como se visualiza en la siguiente figura.

Figura 57. Red mejorada de aire comprimido en sótano INHSA B



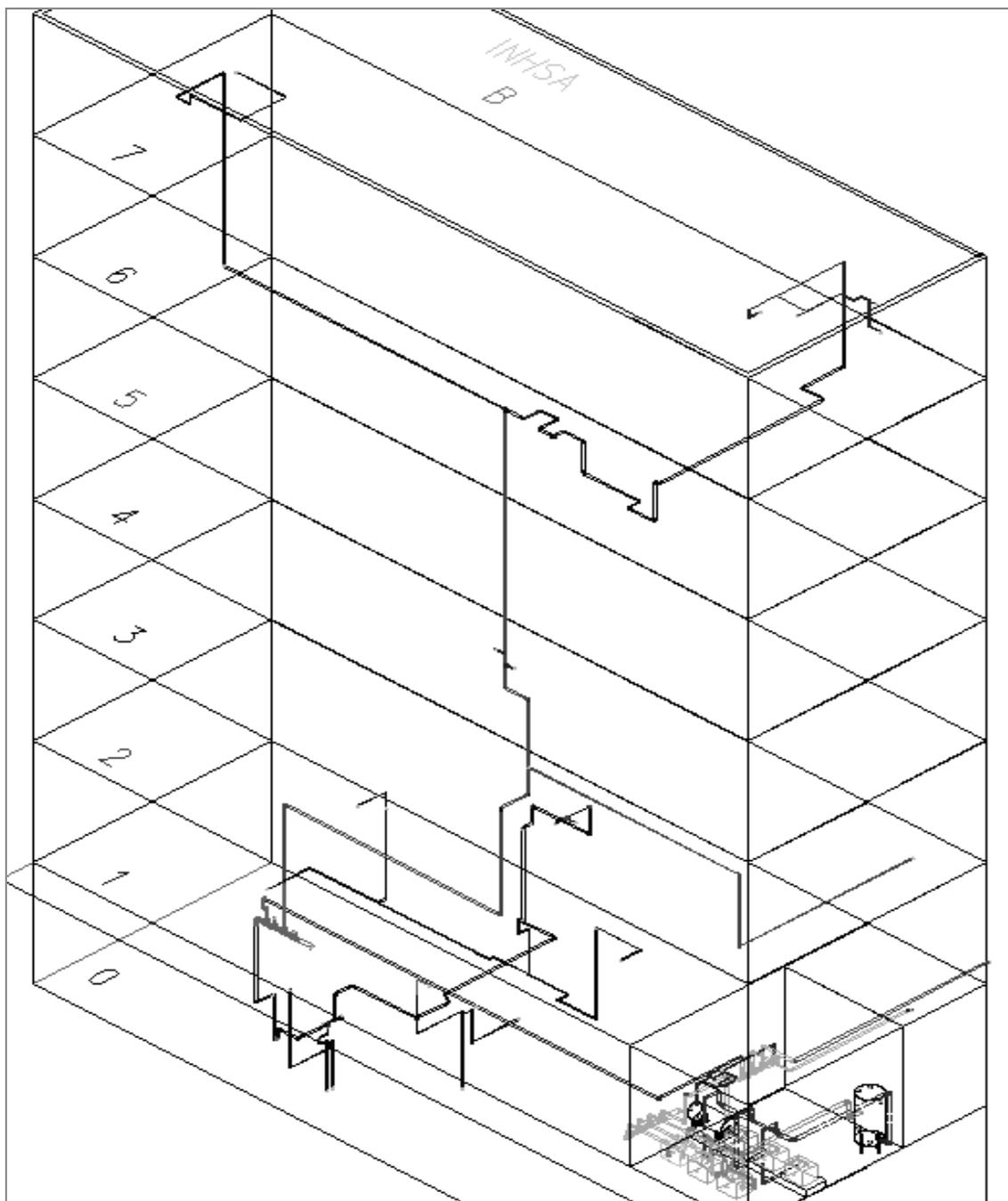
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD MEP 2010, Autodesk.

Figura 58. **Modificaciones sugeridas en la red de aire comprimido sótano y nivel 1 de INHSA B**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD MEP 2010, Autodesk.

Figura 59. **Modificaciones en la red de aire comprimido del INHSA B**



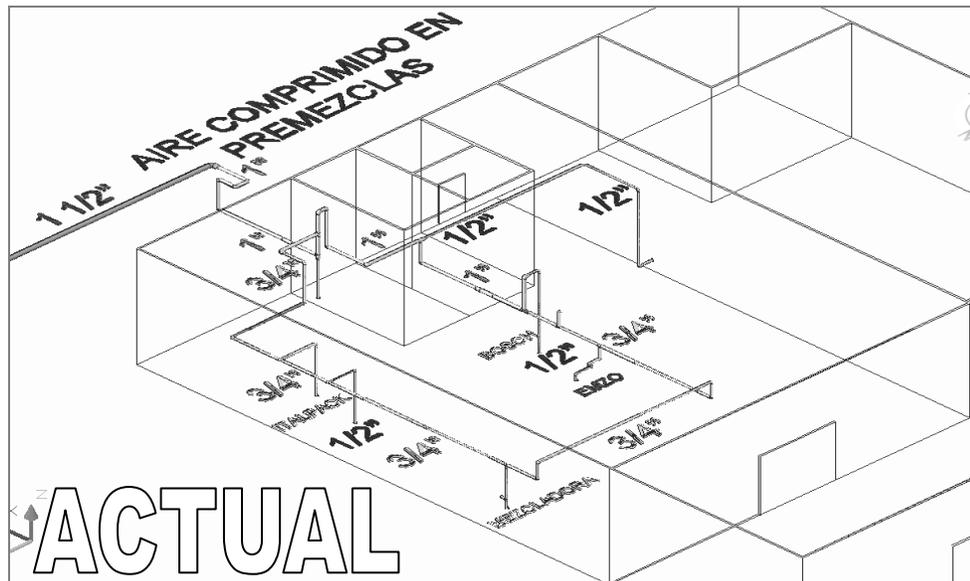
Fuente: FEMCO S.A, *Guía para instalación de sistemas neumáticos.*

- Estrangulaciones, en la red de aire comprimido:

Actualmente, en la planta de premezclas se ubicaron estrangulaciones por un diseño mal realizado, en donde pudimos observar los siguientes problemas: El diámetro de la tubería del anillo que conforma el circuito cerrado no cuenta con el mismo diámetro en su instalación, lo que provoca pérdidas de presión en el sistema y evita que el aire circule libremente en ambas direcciones, de acuerdo con la demanda de las tuberías de servicio.

Dicho anillo actualmente cuenta con diámetros de 1" y $\frac{3}{4}$ ", como se muestra en la figura 60, por lo que se propone mantener el mismo grosor en todo el anillo, el cual corresponde a 1" de diámetro interno.

Figura 60. **Circuito cerrado de aire comprimido de premezclas**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD MEP 2010, Autodesk.

- Filtros de aire mal ubicados

Los filtros de aire comprimido en circuitos cerrados deben ubicarse:

- Antes del anillo de distribución de aire comprimido, porque los filtros están diseñados para flujos, con entrada y salida, y su funcionamiento no es eficiente cuando circula aire comprimido en ambas direcciones.
- Antes de cada equipo o herramienta neumática.
- En grandes distancias de tuberías.

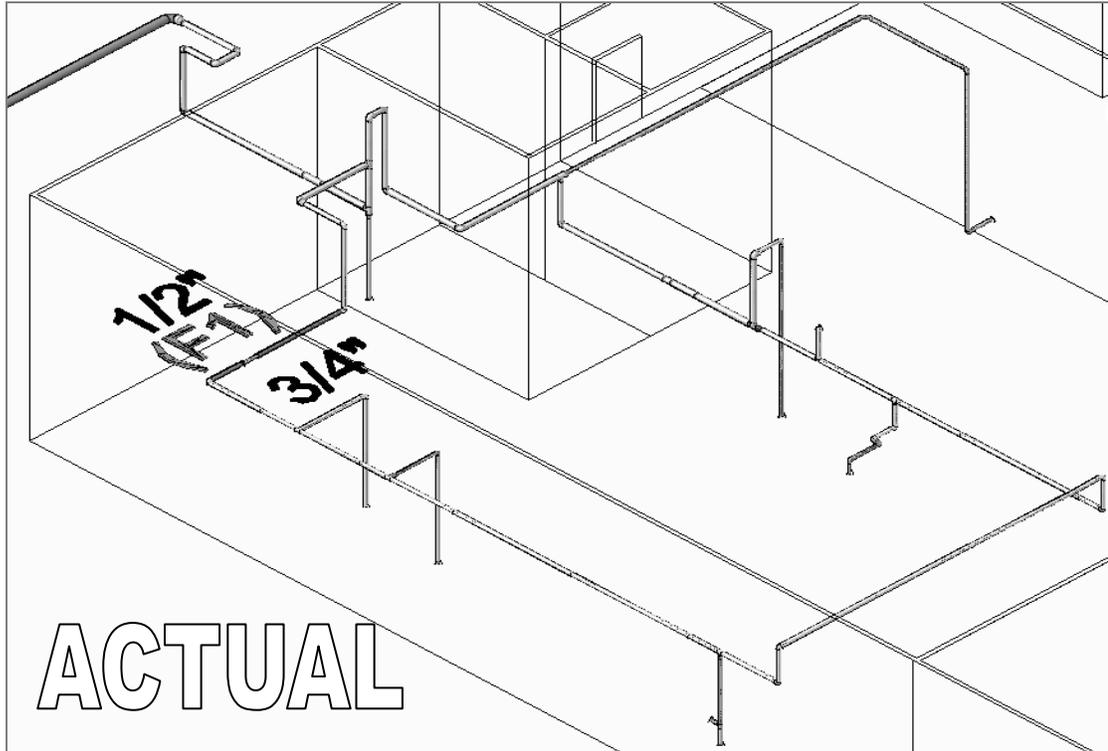
La red actual de aire comprimido está compuesta por diversos filtros de condensado, ubicados en varias partes del circuito de aire, en donde se encontraron filtros mal ubicados.

Por ejemplo, el filtro F1 está ubicado en el anillo de distribución; este es un filtro para tubería de ½" y provoca gran pérdida de presión en el sistema, porque debe ser del mismo diámetro de la tubería y, en este caso, estrangula el paso del aire hacia los distintos equipos.

Tampoco cumple con la función de eliminar condensado al 100 %, porque el aire puede circular en doble sentido en algún momento, según el detalle técnico de funcionamiento de filtros, descrito anteriormente.

Se recomienda aumentar el diámetro de la tubería a 1" y eliminar el filtro de dicha área y ubicarlo en alguna herramienta o equipo.

Figura 61. **Circuito cerrado de aire comprimido de premezclas**
sección uno



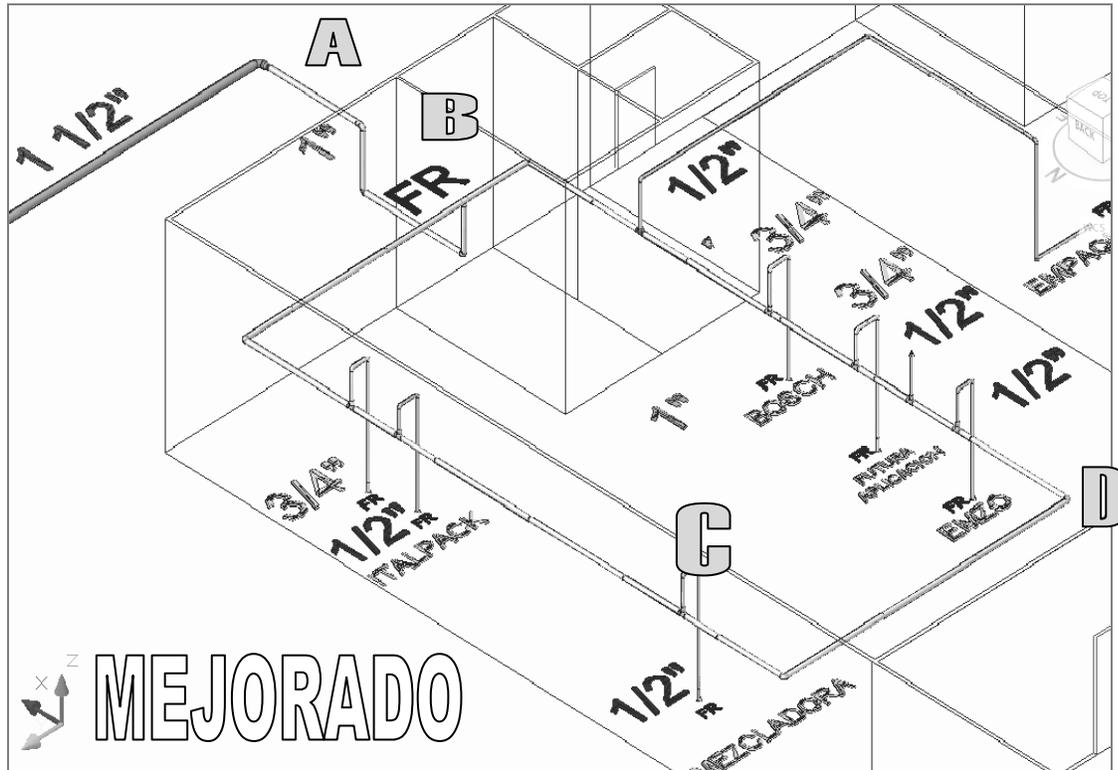
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD MEP 2010, Autodesk.

- Excedente condensado en el sistema y anillo mal diseñado

Actualmente, la red de aire comprimido presenta gran cantidad de condensado en el sistema, que se atribuye al mal diseño de la red de aire comprimido y al tratamiento del aire existente en la planta, tanto en la sala de compresores como en los filtros de condensado.

Se propone mejorar la configuración actual de la sala de compresores; este es el objeto de estudio en el siguiente capítulo, como una reingeniería en el sistema actual, por lo que se propone un modelo mejorado de dicha red.

Figura 62. **Circuito cerrado de aire comprimido mejorado para premezclas**



Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD MEP 2010, Autodesk.

- Sistema mejorado.
 - Todo cambio brusco de dirección o inclinación es un sitio de acumulación de condensados, por lo que se propone eliminar los cambios innecesarios existentes en la alimentación de la tubería de 1 1/2", correspondiente a la parte exterior del área de premezclas.

- Instalación de filtros al final de cada uno de las máquinas y equipos del sistema, con diámetros de $\frac{3}{4}$ " y $\frac{1}{2}$ ", como en la alimentación al anillo de distribución, para evitar el paso de condensado al sistema. Dicho filtro debe de ser para tubería de 1", También se acomodó la tubería en "u", para eliminar eficientemente el condensado, antes de entrar al anillo de distribución.
- Anillo de distribución de un mismo diámetro, correspondiente a 1".
- Instalación de un sistema control de condensado, llamado usualmente "cuellos de ganso", en cada una de las máquinas y en la toma de aire comprimido se evitará el traslado del condensado aún existente en el anillo de distribución, a cilindros neumáticos y electroválvulas.
- Se observó que la tubería núm. 4, 6 y 7 correspondiente al consumo requerido por la máquina Intalpack, Bosch, y en la tubería 6 utilizada para toma de aire, cuenta con una pérdida de presión del 1,585, 1,66, 1,57 PSI respectivamente. Se sobrepasa el límite de permisibilidad de caída de presión, por lo que se recomienda aumentar el diámetro de la tubería de la máquina Bosch, como se muestra en la instalación mejorada.

A una tubería de $\frac{3}{4}$ " y con los otros consumos que no exceden de 1,6 % de pérdida de presión se espera ser compensados, por el circuito cerrado mejorado a través de la alimentación de doble vía que se da de acuerdo con el consumo y necesidad del sistema.

- Evitar utilizar el aire comprimido para efectos de limpieza, porque significa costos en producción del aire.
- Por seguridad e higiene industrial, el uso de aire comprimido para efectos de limpieza es dañino para el ser humano, tanto para limpieza personal como para la planta, porque las partículas de harina solo circulan de un lugar a otro, pero no se eliminan completamente.
- Utilizar aspiradoras para eliminar la harina tanto en máquinas como en la planta.
- Actualmente se utilizan boquillas de 2 mm de diámetro en las distintas pistolas de limpieza de la planta, por lo que se recomienda evitar adaptarles diámetros mayores a la salida de aire a través de mangueras con diámetros mayores, porque aumenta el consumo, tanto de caudal como de energía eléctrica, según el análisis realizado anteriormente.

3. PROPUESTA PARA EL MOLINO B DE LA PLANTA DE HARINA

En el siguiente capítulo se presenta un sistema de generación de aire comprimido mejorado, el cual se logró encontrar a través de sistemas de medición que nos permiten considerar los aspectos técnicos esenciales para elegir los equipos que mejor se adaptan a las condiciones de servicio y trabajo en la planta de procesamiento de harina.

3.1. Información necesaria para la selección de los compresores

Antes de adquirir de un compresor es necesario familiarizarse con diversos términos de funcionamiento de una red de aire comprimido, para que el equipo sea de acuerdo con las necesidades requeridas por la planta.

El servicio intermitente se refiere al uso de aire comprimido por periodos variables. Como, por ejemplo, una pistola para limpieza, que está en servicio intermitente; la válvula se abre durante unos 30 segundos cada 15 o 30 minutos. Pero si un trabajo requiere de esta descarga de aire, digamos una vez por minuto durante 15 segundos, se aproxima a servicio continuo.

Las necesidades de aire comprimido están definidas por tres factores determinantes: calidad, Cantidad y Nivel de presión requerido por los usuarios finales en una planta.

Si determinamos cuidadosamente estas necesidades, aseguraremos que la configuración de nuestro sistema de aire comprimido será la más apropiada.

- Calidad del aire

Está determinada por la proporción de humedad y de contaminación (partículas de polvo o aceite), que permita la aplicación final del mismo. En general, se utilizan 4 niveles de calidad en función de su aplicación en la industria. Se usa alguno de los tres primeros, como enseguida se describe:

- Aire de planta: aire que puede estar relativamente sucio y húmedo. Por sus características, es empleado en herramientas neumáticas y para usos generales.
- Aire para instrumentos: aire con cantidades de humedad y suciedad moderadas, por lo que es usado en laboratorios, sistemas de aplicación de pintura por rocío o pintura en polvo, controles de climas, entre otros.
- Aire de proceso: aire con muy poca humedad y casi nula suciedad; por sus características es utilizado en industria química, alimenticia, farmacéutica y electrónica.
- Aire para respiración: aire sin humedad y totalmente libre de aceite y polvos, por lo que se usa para recargar tanques de equipos de buceo, en hospitales, consultorios dentales, entre otros.

Como vemos, la calidad del aire comprimido va desde el aire de planta hasta el de alta calidad, como el requerido en respiradores artificiales. Estas especificaciones y calidades de aire se pueden obtener a través de equipos de secado para controlar el nivel de humedad, y por filtros para controlar partículas de polvo y aceite.

Para obtener niveles más altos de calidad de aire debemos de contar con mayor costo para producirlo, porque implica equipo adicional que incrementa la inversión inicial y hace que el sistema global sea más caro de operar en términos de consumo de energía y costos de mantenimiento.

3.1.1. Cálculo de la demanda de aire comprimido

Para conocer el consumo de aire comprimido en la planta, podemos utilizar dos procedimientos, que se describen a continuación:

Con base en el consumo de aire y presión en cada uno de los equipos instalados, multiplicado por el porcentaje de utilización, luego se multiplica este valor de consumo de aire comprimido por un porcentaje de simultaneidad, se encuentra la demanda actual de la planta. Para hacer más eficiente nuestros cálculos, consideramos sumarle 10 % de errores en cálculos, 10 % de fugas en el sistema, y 30 % en futuras aplicaciones para encontrar el dato deseado de consumo de volumen de aire sobre unidad de tiempo, considerando que tenemos que suministrar el aire a tres áreas de servicio:

- INHSA, molino A
- INHSA, molino B
- INHSA, área de premezclas

El dato de consumo de aire en el molino B y el área de premezclas ya ha sido calculado en el capítulo anterior, pero resulta muy tedioso verificar en los manuales, o hacer el cálculo del número de accionamientos neumáticos por minuto, de los distintos cilindros con los que cuentan las máquinas. Para encontrar el consumo de aire; por cada una, se debe considerar que en toda la planta se cuenta con más de 50 máquinas que requieren de aire para su funcionamiento.

Por tal motivo, se realizará el cálculo, de consumo de volumen de aire a través de lecturas y gráficos encontrados mediante aparatos de medición, que se instalarán en la sala de compresores actual. Se encontrará la demanda total de las 3 áreas de consumo, así como el dato real y puntual del aire durante determinado tiempo en toda la planta.

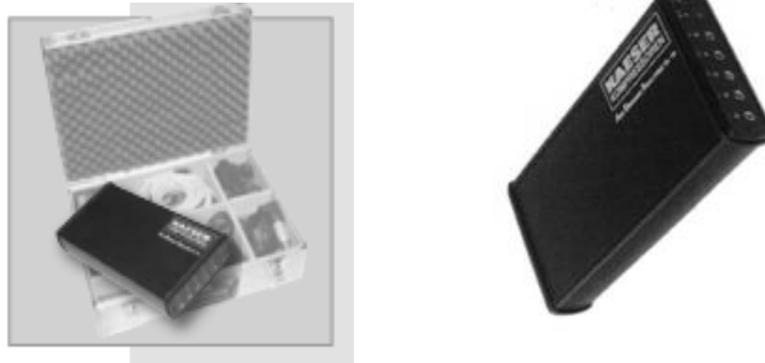
Para desarrollar un buen estudio del sistema de aire comprimido nos hemos basado en las siguientes metodologías:

- Se utilizó la recopilación de datos mediante elaboración de listas, tanto de generación y tratamiento del aire en la parte de suministro, de la maquinaria que utiliza sistemas neumáticos para su operación en la parte de la demanda, como la elaboración de diagramas del sistema de distribución de aire.
- Se llevó a cabo un diagnóstico energético basado en el sistema de análisis de la demanda de aire asistido por ordenador ADA, realizado por Kaeser, el cual permite obtener datos del sistema de aire comprimido para optimizarlo; con dichos datos se obtiene el perfil de consumo de aire comprimido, a partir del cual se puede calcular, con ayuda del sistema de

ahorro energético de Kaeser, una solución óptima para cada caso en particular. Para realizar el estudio correspondiente del análisis de demanda de aire (ADA), se utilizará los siguientes equipos de medición.

- Data Logger ADA (Registrador de datos ADA).

Figura 63. **Data Logger ADA (Registrador de datos ADA)**



Fuente: KAESER, *Data Logger*. <http://www.kaeser.com>. Consulta: 05 octubre 2017.

Data Logger ADA (Registrador de datos ADA) es un aparato de medición para 10 días laborables. El proceso de medición es apto para todos los compresores, incluso los de frecuencia regulada. Un optoacoplador transmite los datos sin interferencias al registrador de datos ADA, que memoriza los puntos de conmutación de carga y marcha en vacío de los compresores. El análisis y la evaluación se llevan a cabo con la ayuda del sistema de ahorro energético Kaeser.

- Kilowatímetro trifásico

Figura 64. **Kilowatímetro trifásico**

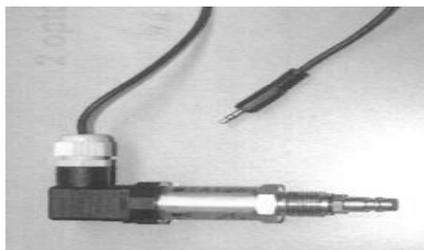


Fuente: KAESER, *kilowatímetro*. <http://www.kaeser.com>. Consulta: 05 octubre 2017.

Kilowatímetro trifásico es un instrumento basado en la medición de potencia, construido con la aplicación del método de los dos vatímetros. La suma de cada lectura se realiza automáticamente a través del eje mecánico que une ambos discos de cada vatímetro, y la velocidad de giro es proporcional a la potencia consumida por carga, y es registrada en un integrador digital directamente en kw/hora.

- Transductor de presión

Figura 65. **Transductor de Presión**



Fuente: KAESER, *transductor de presión*. <http://www.kaeser.com>. Consulta: 05 octubre 2017.

La presión deforma una membrana y dicha deformación se transforma en una señal eléctrica mediante un transductor. Este formado básicamente de dos tipos:

- Convertir la presión en desplazamientos o movimientos.
 - Convertir dichos desplazamientos en señales eléctricas a través de transductores LVDT, transductores potenciométricos.
- Optoacopladores para carga/vacío

Figura 66. **Optoacopladores para carga/vacío**

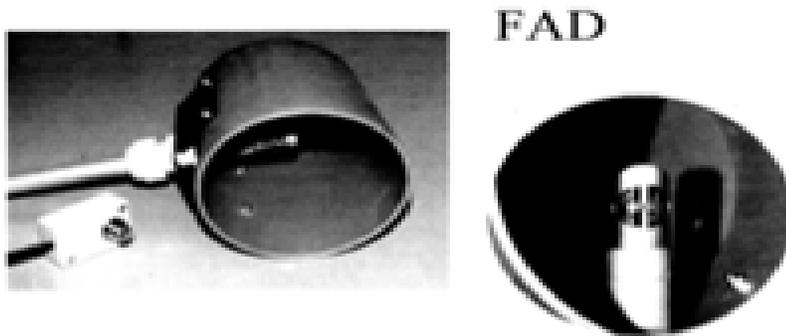


Fuente: KAESER, *Optoacopladores*. www.antury.net. Consulta 05 de octubre 2017.

Se utilizan para el manejo de potencia de cargas inductivas y resistivas, aislamiento de circuitos digitales con circuitos de potencia.

- Anemómetros para entrega de aire FAD

Figura 67. **Anemómetros para entrega de aire FAD**



Fuente: KAESER, *Anemómetro*. <http://www.kaeser.com>. Consulta: 05 octubre 2017.

Por medio de este se mide la fuerza eólica y la velocidad de circulación del aire. Los resultados de la medición de la velocidad del aire se pueden almacenar en la memoria.

3.1.2. Capacidad de aire por producir

Para conocer cuánto aire requiere la planta para su funcionamiento, se procedió a realizar las siguientes mediciones durante un de tiempo; estas fueron realizadas por una empresa externa con alta experiencia en dichas prácticas.

Los compresores en estudio, que son los encargados de generar aire comprimido en toda la planta son los que se presentan en la siguiente tabla; las características técnicas de dichos equipos se encuentran en el capítulo anterior.

Tabla LXI. **Compresores existentes en INHSA**

INHSA, Molinos Modernos	
No.	Compresores
1	Ingersoll Rand SSR EP 30
2	Sullair ES 11-50 H
3	Sullair LS 100-30 H

Fuente: elaboración propia.

Los días completos de medición fueron 13, del miércoles 17 de septiembre al lunes 29 de septiembre del 2016, para conocer el comportamiento del sistema en el arranque de la planta, la operación y el paro de la misma.

Dentro de los datos obtenidos a través del siguiente análisis de la demanda de aire comprimido se encuentran:

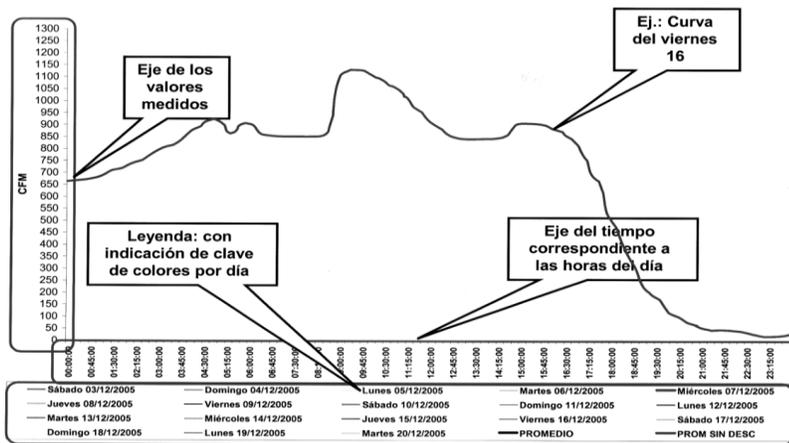
- Presión en la generación
- Presión en la red de distribución
- Pérdida de presión en la red de distribución
- Entrega de aire en los compresores
- Demanda total en la planta
- Consumo eléctrico en los compresores
- Presión y demanda en el sistema
- Demanda y consumo energético

En la siguiente gráfica se presenta la forma de interpretación de dichas gráficas.

- Ejemplo de gráfica

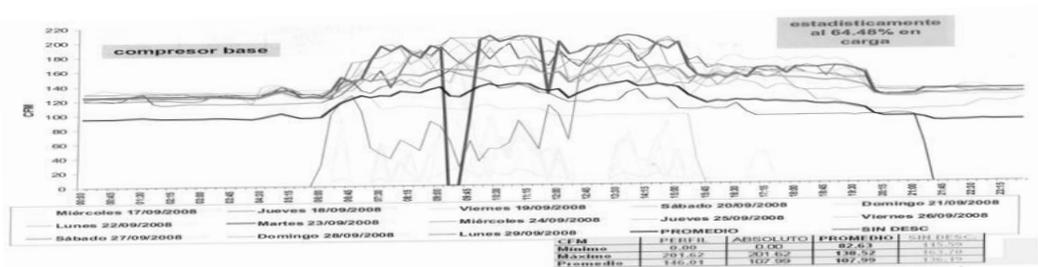
En la gráfica 68 observamos el esquema que utilizaremos como ejemplo, para identificar las partes importantes de las distintas gráficas, del estudio ADA realizado por Kaeser.

Figura 68. **Modelo de lectura de gráficas ADA**



Fuente: KAESER. *Modelo de lectura.* Kompressoren/www.kaeser.com/seite14.

Figura 69. **Especificaciones de aire en compresor Sullair 11-50 H**

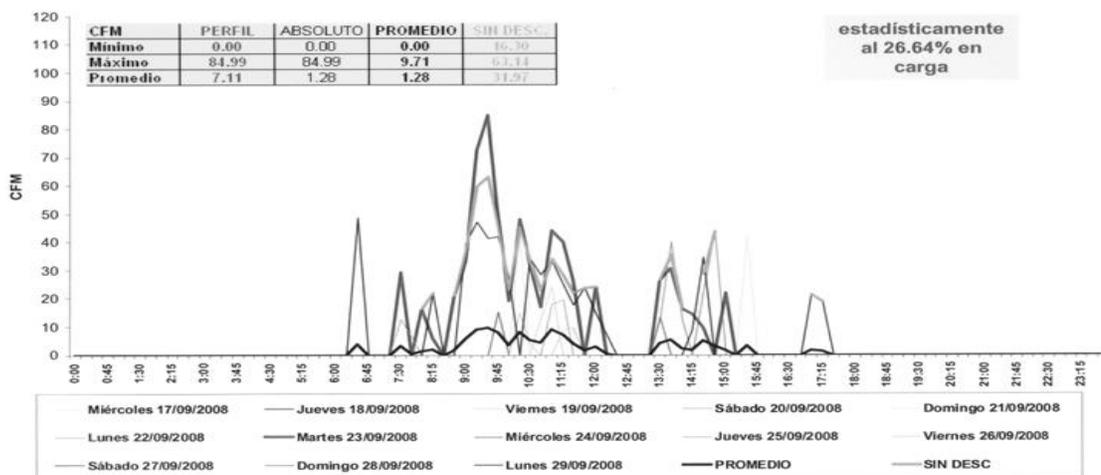


Fuente: KAESER. *Estudio del sistema de generación de aire comprimido.* p.3.

Observamos en la figura 70, que el compresor SULLAIR ES 11-50 H actualmente genera un promedio de 146,01 pies³/min (CFM) y un máximo de 201,62 pies³/min (CFM) al sistema de aire comprimido. Es de suma importancia recalcar que actualmente este compresor es el encargado de suministrar en un alto porcentaje, toda la demanda de aire comprimido actual en la planta. Dicho porcentaje es de 64,48 % de carga.

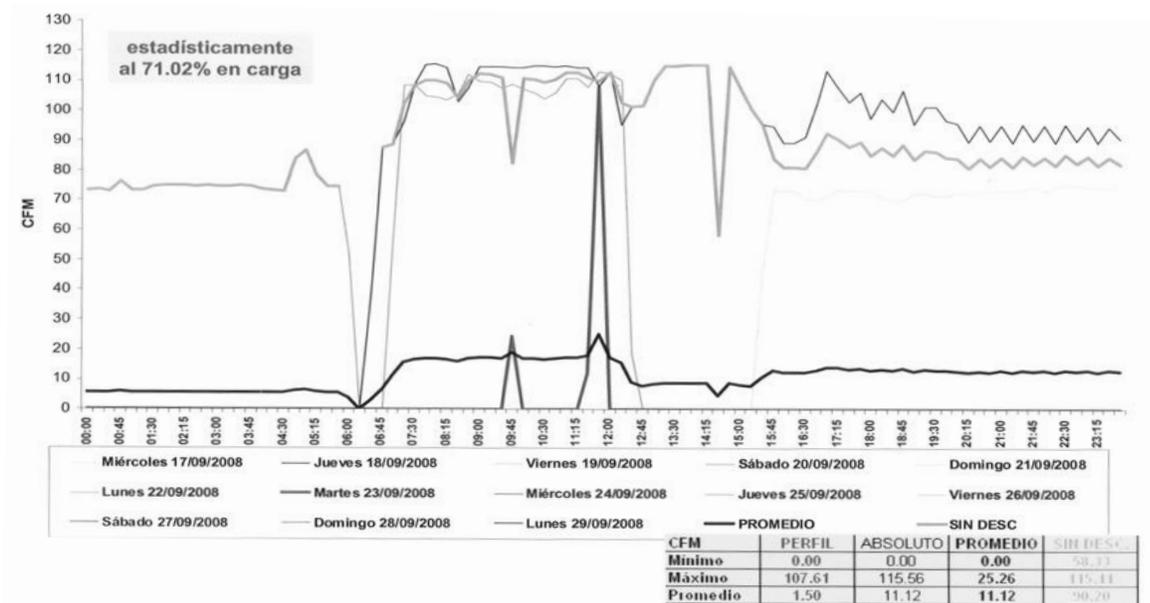
En la tabla encontramos valores adicionales al consumo real en el período de medición, que es el dato que encontramos en la columna perfil de la tabla. La columna de valores absolutos nos da un promedio absoluto de cada situación, la columna promedio nos indica el promedio de los distintos valores, de acuerdo con los ciclos que se observa en las distintas gráficas tanto en periodos de alto y bajo consumo. La última columna nos indica los valores en CFM de los periodos que el compresor se encuentra en condición sin desconectar o, en otras palabras, en funcionamiento.

Figura 70. **Especificaciones de aire en compresor Ingersoll Rand EP 30**



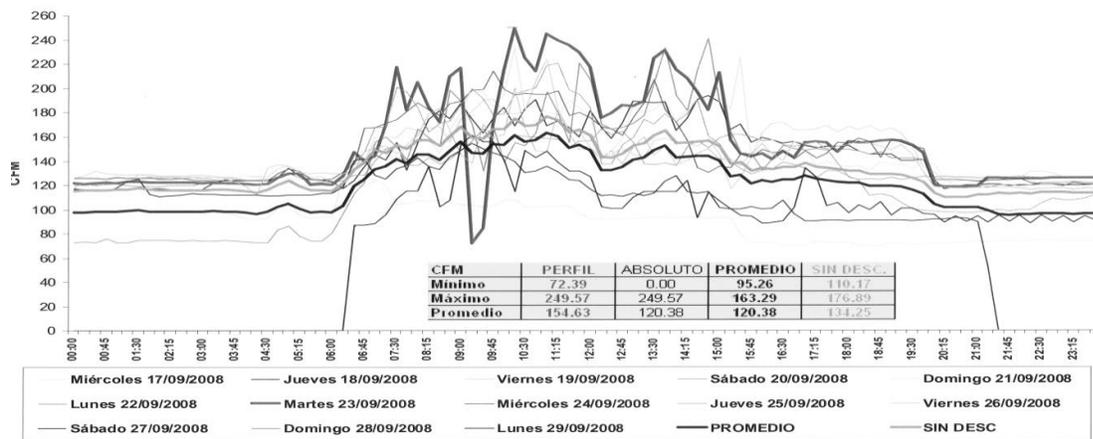
Fuente: KAESER. *Estudio del sistema de generación de aire comprimido*. p.3.

Figura 71. Especificaciones de aire en compresor Sullair LS 100 30 H



Fuente: KAESER. *Estudio del sistema de generación de aire comprimido*. p.4.

Figura 72. Demanda total de aire comprimido de Molinos Modernos



Fuente: KAESER. *Estudio del sistema de generación de aire comprimido*. p.4.

La demanda actual de aire comprimido, según el estudio realizado por Kaeser, es de un promedio de 154,63 pies³/min (CFM) y un máximo de 249,57 pies³/min (CFM), en donde se puede observar periodos cíclicos de requerimiento de aire, y establecer los siguientes rangos:

- De 00.00 a.m. a 06:00 a.m., una demanda aproximada de aire de 95 CFM.
- De 06.00 a.m. a 20:00 a.m., una demanda aproximada de 160 CFM.
- De 20.00 a.m. a 00:00 a.m., Una demanda aproximada de aire correspondiente de 95 CFM.

La explicación a dicho fenómeno es que, en el periodo diurno, se realizan trabajos con requerimiento de aire comprimido en las áreas de, empaque, subproducto y premezclas, con niveles altos de consumo del mismo.

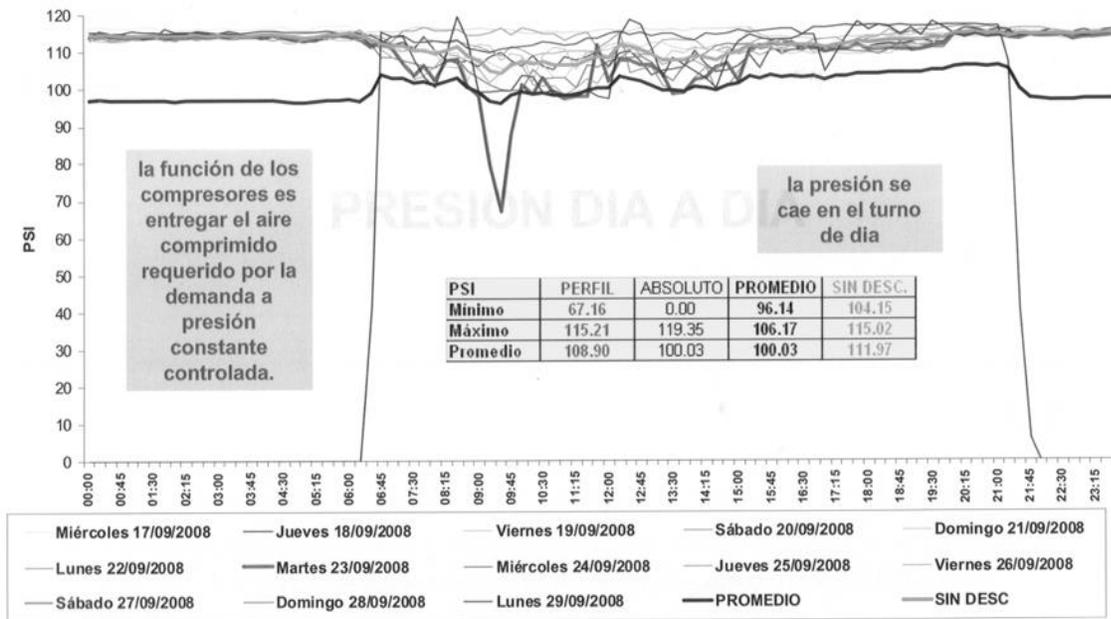
Los límites muy críticos de consumo son producidos por limpieza general que se realiza a las distintas áreas, utilizando boquillas de limpieza conectadas a través de mangueras. El resultado es mayor cantidad de aire requerido para las distintas labores de limpieza.

3.1.3. Demanda de presión

Actualmente se observa, en de la figura 73, que durante todo el periodo de medición con los compresores existentes hay grandes pérdidas de presión producidas por compresores que no entregan la presión demandada a un ritmo constante y controlado.

Se observa rangos de caída de presión hasta de 50 PSI, con gastos de energía eléctrica de 6 a 10 % del consumo, en comparación con condiciones ideales del sistema.

Figura 73. Demanda de presión total de la red de aire comprimido



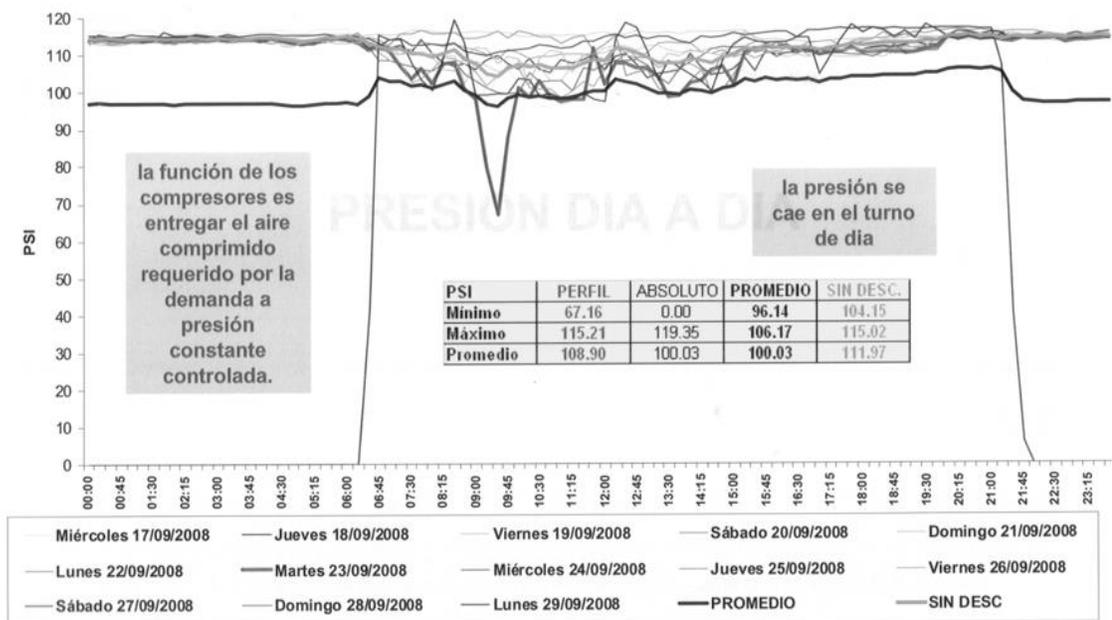
Fuente: KAESER. *Estudio del sistema de generación de aire comprimido*. p.5.

3.1.4. Servicio de mantenimiento necesario para eliminar pérdidas de presión

Actualmente se observa, en la figura 74, que durante todo el periodo de medición con los compresores existentes hay grandes pérdidas de presión producidas por compresores que no entregan la presión demandada a un ritmo constante y controlado.

Se observan rangos de caída de presión hasta de 50 PSI, con gastos de energía eléctrica de 6 a 10 % del consumo, en comparación con condiciones ideales del sistema.

Figura 74. Presión de trabajo de la red de aire comprimido



Fuente: KAESER. *Estudio del sistema de generación de aire comprimido*. p.5.

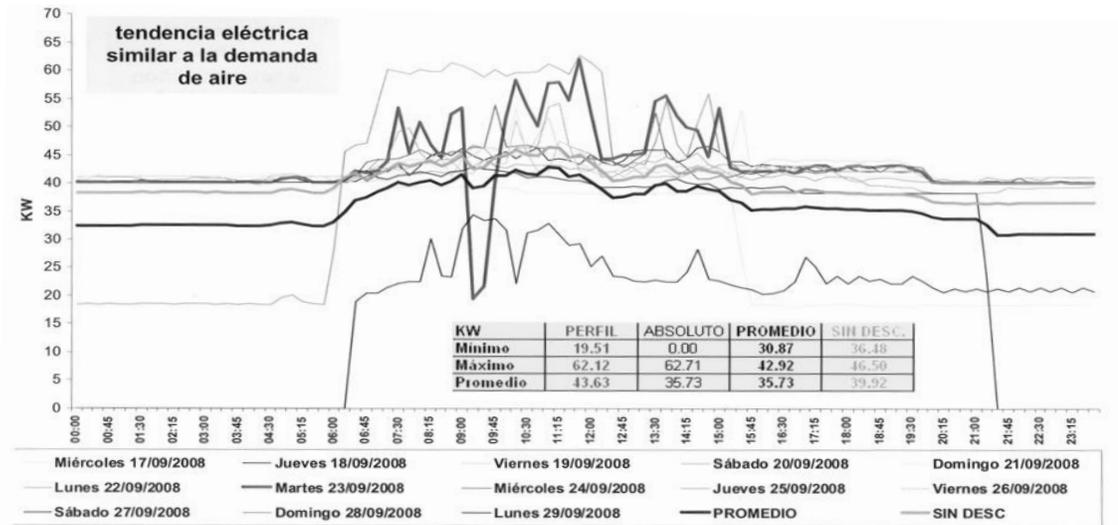
- Mantenimiento para evitar pérdidas de presión:
 - La causa más grande de caída de presión son filtros saturados. En una línea de distribución bien diseñada es aceptable una caída del 1 % de presión.
 - Se recomienda una inspección periódica del sistema para que esté siempre activo dando productividad.

- Disponer de una ficha técnica física y digital en donde se registre la fecha de revisión de todos los elementos, recomendaciones del fabricante e instalador, al igual que el registro de los fallos, sus causas, reparaciones y fechas del suceso.
- Ubicar llaves de paso en las tuberías, que permitan independizar ramales.
- 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.
- 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.

3.1.5. Consumo de energía eléctrica

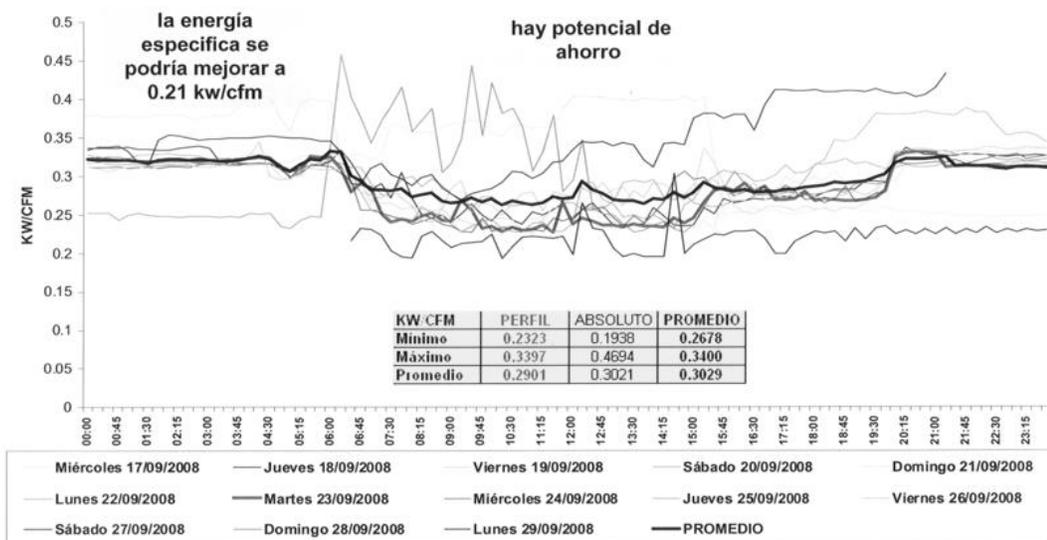
El consumo eléctrico actual en concepto de aire comprimido, según el estudio realizado por Kaeser, es un promedio de 43,63 Kw y un máximo de 62,12 KW, en donde se puede observar tendencias similares a la demanda de aire comprimido.

Figura 75. Consumo energético de la red de aire comprimido



Fuente: KAESER. Estudio del sistema de generación de aire comprimido. p.6.

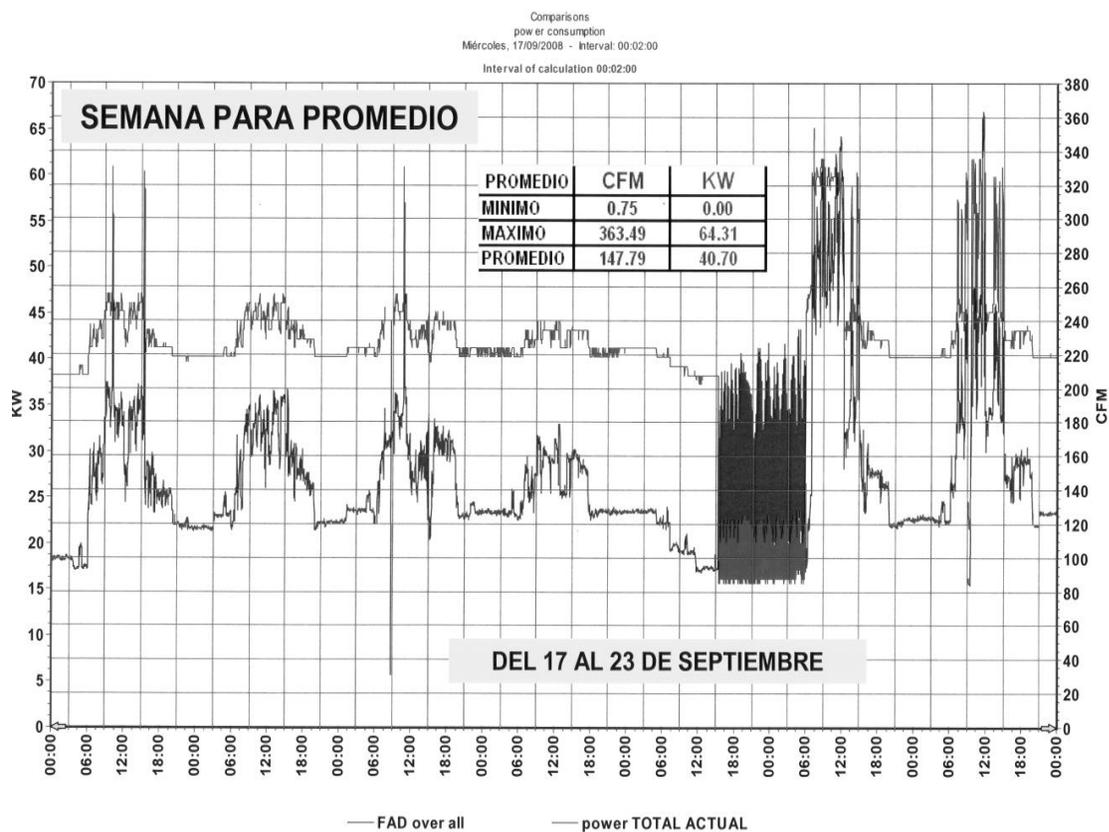
Figura 76. Energía específica total de la red de aire comprimido



Fuente: KAESER. Estudio del sistema de generación de aire comprimido. p.6.

Según el estudio realizado por Kaeser, existe un potencial de ahorro con los compresores Kaeser, en donde la energía específica se podría mejorar a 0,21 kw/CFM. Actualmente se producen 250 CFM; el ahorro energético sería considerable.

Figura 77. **Semana de promedio, para el cálculo de CFM y KW**

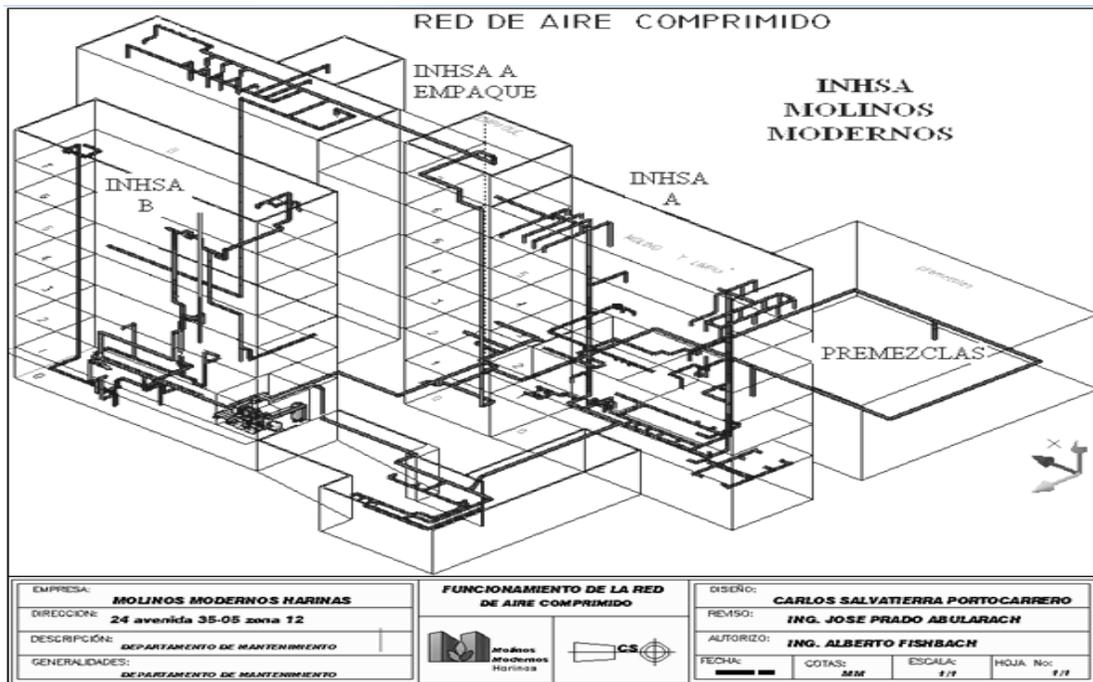


Fuente: KAESER. *Estudio del sistema de generación de aire comprimido. p.7.*

3.1.6. Diseño de la instalación, consumo y aire en las distintas partes del proceso

Para resumir el consumo total de aire comprimido en todas las áreas del proceso utilizaremos los valores encontrados con los métodos de cálculo realizados de consumos específicos. Con el análisis por medio del sistema ADA realizado por KAESER, podemos encontrar el consumo en cada parte del proceso, con valores máximos, mínimos y promedios de consumo de aire comprimido en el sistema. En la figura 78 se presenta toda la red de aire comprimido, con sus respectivos ramales de tuberías de aire comprimido.

Figura 78. Red de aire comprimido de INHSA



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD MEP 2010, Autodesk.

Tabla LXII. **Consumo de aire comprimido en toda la planta**

Consumo de aire comprimido en INHSA, Molinos Modernos					
No.	Área de consumo de aire comprimido	CFM máximo calculado	CFM promedio calculado	CFM máximo Calculado con Sistema Ada	CFM promedio con Sistema ADA
1	Toda la planta			249,57	154,63
2	INHSA A y otras áreas	130,98	123,56		
3	INHSA B	47,52	17,07		
4	Premezclas	71	14		
Consumo total		249,57	154,63	249,57	154,63

Fuente: planta INHA, Molinos Modernos.

3.2. **Diseño de la red de distribución**

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, que tenga anotado su consumo y presión requeridos. También identificar el lugar de emplazamiento del cuarto de compresores. Es importante realizar una buena labor puesto que una vez establecida la distribución. esta influirá en las futuras ampliaciones y mantenimiento de la red.

Para el diseño de la red se recomiendan las siguientes observaciones:

- Diseñar la red con base en la del edificio y los requerimientos de aire.
- Procurar que la tubería sea lo más recta posible con el fin de disminuir la longitud de tubería, número de codos, té y cambios de sección que aumentan la pérdida de presión en el sistema.
- La tubería siempre deber ir instalada aéreamente. Puede sostenerse de techos y paredes, 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.
- La tubería no debe entrar en contacto con los cables eléctricos.
- En la instalación de la red deberá tenerse en cuenta que la tubería se expanda o contraiga ante variaciones de la temperatura. Si esto no se garantiza es posible que se presente "combas" con su respectiva acumulación de agua.
- Antes de implementar extensiones o nuevas demandas de aire en la red debe verificarse que los diámetros de la tubería sí soportan el nuevo caudal.
- Un buen diámetro de la tubería principal evita problemas ante una ampliación de la red. La línea principal deberá tener una leve inclinación en el sentido de flujo del aire para instalar sitios de evacuación de condensados.

- Para el mantenimiento es esencial que se ubique llaves de paso frecuentemente en la red. Con esto se evita detener el suministro de aire en la red cuando se haga reparaciones de fugas o nuevas instalaciones.
- Todo cambio brusco de dirección o inclinación es un sitio de acumulación de condensados. Allí se debe ubicar la evacuación.
- Las conexiones de tuberías de servicio o bajantes deben hacerse desde la parte superior de la tubería secundaria para evitar el descenso de agua por gravedad hasta los equipos neumáticos y su deterioro asociado.

3.2.1. Cálculo de la tubería para la red de distribución principal

En la práctica se presentan muy a menudo los casos en que la calidad del aire comprimido desempeña un papel primordial. Las impurezas en forma de partículas de suciedad u óxido, residuos de aceite lubricante y humedad dan origen muchas veces a averías en las instalaciones neumáticas y a la destrucción de los elementos neumáticos. Mientras que la mayor separación del agua de condensación tiene lugar en el separador, después de la refrigeración, la separación final, el filtrado y otros tratamientos del aire comprimido se efectúan en el puesto de aplicación.

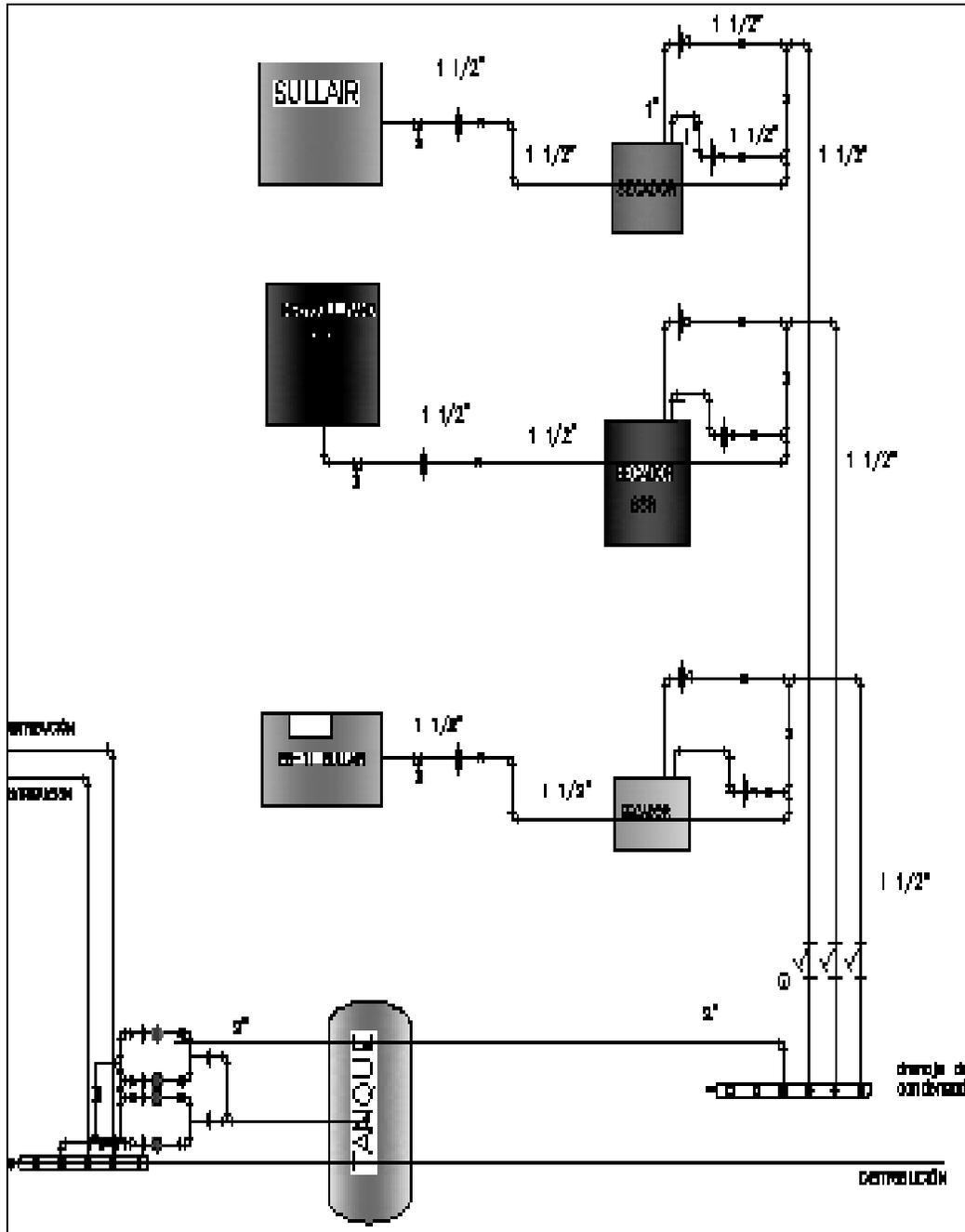
Hay que dedicar especial atención a la humedad que contiene el aire comprimido. El agua (humedad) llega al interior de la red con el aire que aspira el compresor. La cantidad de humedad depende en primer lugar de la humedad relativa del aire, que a su vez depende de la temperatura del aire y de las condiciones climatológicas. La humedad absoluta es la cantidad de agua contenida en un m³ de aire.

El circuito de aire comprimido actual, en la sala de compresores, es de tipo paralelo. Esto significa que los compresores están conectados directamente a sus respectivos secadores de aire. El caudal de aire seco se dirige hacia un colector, que es el encargado de recibir la totalidad de aire de los compresores que estén en funcionamiento, a través de una tubería de 1 ½" en cada uno de los circuitos. Luego con una tubería de 2" de diámetro, se alimenta el tanque de almacenamiento de aire comprimido, que distribuye el aire de acuerdo con la demanda que existe en el proceso de producción de harina, de la siguiente manera.

Dicha instalación no se considera ideal porque si el compresor o secador fallara o esté en mantenimiento, quedan inhabilitados los 2 equipos porque son totalmente dependientes, tanto para generar aire como para que esté sin impurezas.

Por tanto, se debe cambiar la configuración actual a un circuito en serie; esto significa conectar la salida de aire comprimido de los tres compresores que se encuentran en el circuito, a una misma tubería, que será la encargada de recoger todo el aire comprimido generado por los compresores que estén en funcionamiento. Luego conducirá el caudal de aire a un tanque de almacenamiento húmedo o pre-coolers, por la parte inferior del mismo, para drenar todo condensado producido en los compresores por gravedad, al momento de generar aire comprimido.

Figura 79. Sala de compresores



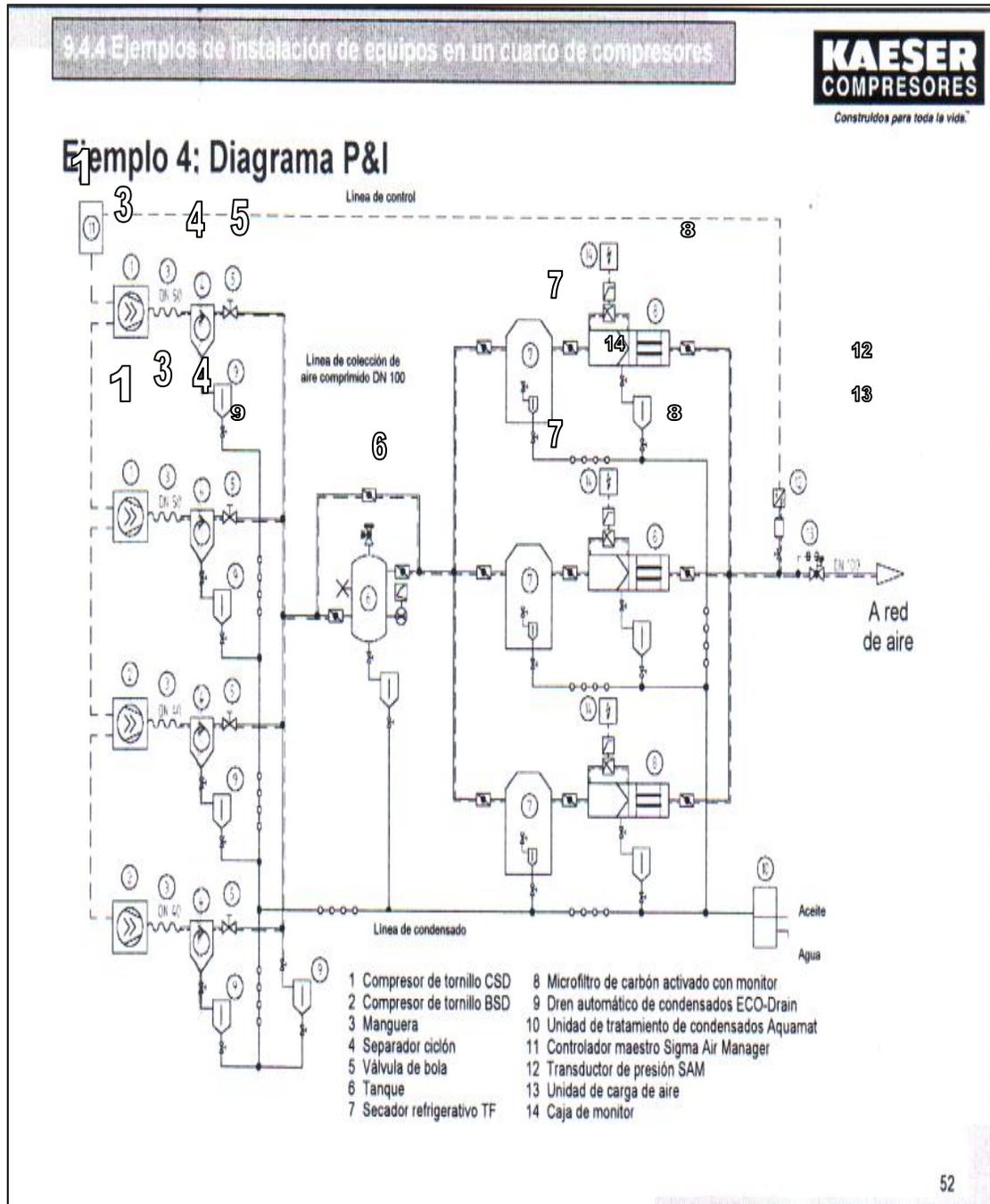
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD MEP 2010, Autodesk.

Luego, por la parte superior del tanque de almacenamiento de aire comprimido, se procede a extraer el aire comprimido almacenado y sin condensado, a través de una tubería del mismo diámetro que la tubería de alimentación al tanque, Se dirigirá hacia los secadores, que extraerán el aire comprimido de esta tubería principal y se ramificaran a cada uno de los secadores para eliminar completamente las impurezas todavía existentes del aire se obtendrá aire completamente seco y sin impurezas.

Hasta este punto ya se tendría la configuración en serie deseada; ya solo se procede a conducir el caudal de aire comprimido hacia un colector que es el encargado de enviar el aire comprimido hacia un tanque de almacenamiento seco. Este distribuye el aire de acuerdo con la demanda que exista en el proceso de producción de harina por medio del colector final del circuito.

La configuración del circuito de aire comprimido en serie que se desea en el cuarto de compresores de INHSA, es similar al siguiente modelo presentado.

Figura 80. **Instalación de equipos en un cuarto de compresores**



Fuente: KAESER. *seminario de aire comprimido Kaeser compresores*, p. 52.

3.2.1.1. Cálculo de longitud de la tubería

Por el análisis realizado, se pretende cambiar el circuito paralelo actual en la sala de compresores, a un circuito en serie.

Para encontrar el diámetro de la tubería necesaria y la longitud equivalente de la tubería, se considerará las siguientes condiciones:

- La demanda de aire comprimido máxima, encontrada en la semana promedio de medición, equivale a una demanda de 363,49 CFM que equivale a 10,24 m³/min.
- Al consumo anterior le multiplicaremos un 30 % de futuras aplicaciones, considerando el crecimiento futuro de la empresa, en los sistemas productivos existentes.

$$10,24 \text{ m}^3/\text{min} * 30 \% = 13,312 \text{ m}^3/\text{min} = 472,53 \text{ CFM}$$

Se iniciará el cálculo correspondiente, para una tubería de 3”.

Tabla LXIII. Longitud equivalente de cuarto de compresores

	Metros	Pulgadas	Pies
Diámetro	0,076	3”	0,25
Longitud	19,0319	749,285903	62,44

Continuación de la tabla LXIII.

Accesorios	Cantidad	Codos equivalentes	Total
Codo	8	1	8
Te	1	1	1
Te reductora	4	4	16
Válvula de globo	2	12	24
			49
			Pies

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Longitud equivalente} = \text{Núm. de codos equivalentes debido a accesorios} \times \frac{(25 \times \text{diam. tubería})}{12} + \text{Longitud real(pies)}$$

$$\text{Longitud equivalente} = 368,69 \text{ PIES}$$

$$\text{Longitud Equivalente} = 368,69 \text{ pies} = 112,38 \text{ metros}$$

3.2.1.2. Cálculo del diámetro de la tubería

Cálculo de pérdida de presión con una tubería de 3" calculada anteriormente.

Paso 1 Factor de pérdida (F)

$$F = 18,3$$

Paso 2 Factor de tubería (R)

$$R = 7,803$$

Paso 3 Pérdida de presión en tubería (PP)

$$PP = 0,864670896$$

Paso 4 Porcentaje de pérdida de presión tubería

$$\text{Porcentaje de pérdida de presión tubería} = 0,864670896 \%$$

Según el análisis realizado, podemos concluir que la tubería seleccionada es la correcta, porque tenemos una pérdida de presión total de 0,86 PSI.

Para realizar dicho análisis utilizaremos la tabla de la imagen 80, en donde encontraremos el diámetro mínimo de tuberías de aire comprimido con el consumo actual máximo de aire, $13,312 \text{ m}^3/\text{min} = 472,53 \text{ CFM}$ con una longitud de 113 metros.

Al relacionar los valores de consumo con la longitud de la tubería, obtenemos un valor de diámetro de tubería equivalente, de $2 \frac{1}{2}$ ", pero este diámetro sería el requerimiento mínimo para su funcionamiento. Se concluye utilizar un diámetro de 3" para que el sistema de aire comprimido funcione en condiciones ideales.

Figura 81. **Instalación de equipos en un cuarto de compresores**

5.4 Dimensionado de tubería. **KAESER**
KOMPRESSOREN

Diámetros mínimos de tuberías de aire comprimido.

Entrega [m ³ /min]	Presión de Trabajo 7.5 bar			
	hasta 50 m	Longitud Tubería hasta 100 m	hasta 200 m	mas de 200 m
hasta 0.5	3/4"	1"	1 1/4"	Ver el nomograma
hasta 1.0	1"	1"	1 1/4"	
hasta 1.5	1"	1 1/4"	1 1/2"	
hasta 2.0	1 1/4"	1 1/2"	2"	
hasta 3.0	1 1/4"	1 1/2"	2"	
hasta 5.0	1 1/2"	2"	2"	
hasta 7.5	2"	2"	2"	
hasta 10.0	2"	2 1/2"	2 1/2"	Ver el nomograma
hasta 12.5	2 1/2"	2 1/2"	3"	
hasta 15.0	2 1/2"	2 1/2"	3"	
hasta 17.5	2 1/2"	3"	DN 100	
hasta 20	3"	3"	DN 100	
hasta 25	3"	DN 100	DN 100	
hasta 30	3"	DN 100	DN 100	
hasta 40	DN 100	DN 100	DN 125	

13

Fuente: KAESER. seminario de aire comprimido Kaeser compresores, p13.

3.2.1.3. Cálculo del tipo de soporte y sus respectivas distancias

Para los distintos soportes en las tuberías de aire comprimido, se debe considerar las siguientes condiciones:

- Las tuberías tienen que estar sostenidas entre los puntos de unión, por soportes con abrazaderas.

- Para establecer el espacio entre soportes de cada tubería, se considera el tubo como una viga apoyada con una carga uniforme distribuida, la cual estará formada por el propio peso del tubo y su contenido, en nuestro caso, el aire.
- La tubería de aire debe soportarse a intervalos adecuados, para evitar flexiones que acumularían condensado, que pueden provocar una reducción de drenado en los puntos más bajos.
- La distancia que exista entre los soportes va a depender, en algunos casos, de las condiciones del edificio.
- El tipo de soportes por utilizar tiene una forma de escuadras con su respectivo refuerzo. Deben ser fabricados con angular de 1" y una abrazadera que sujeta el tubo.

En INHSA B, Molinos Modernos se observó tuberías que no cuentan con sus respectivos soportes; tal es el caso de la tubería secundaria 2 con diámetro de 1 ½", que se encuentra ubicada en la parte trasera del edificio B, en la terraza del segundo nivel. La tubería tiene inclinaciones, por lo que se debe reparar para tratar el condensado correctamente.

Figura 82. **Estado actual de los soportes de tuberías aéreas**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD MEP 2010, Autodesk.

3.2.1.4. Cálculo de la pendiente de la tubería de aire

Como norma se debe colocar una inclinación en la tubería aproximadamente de 1 centímetro por cada 2 metros de tubería en el sentido del flujo del aire.

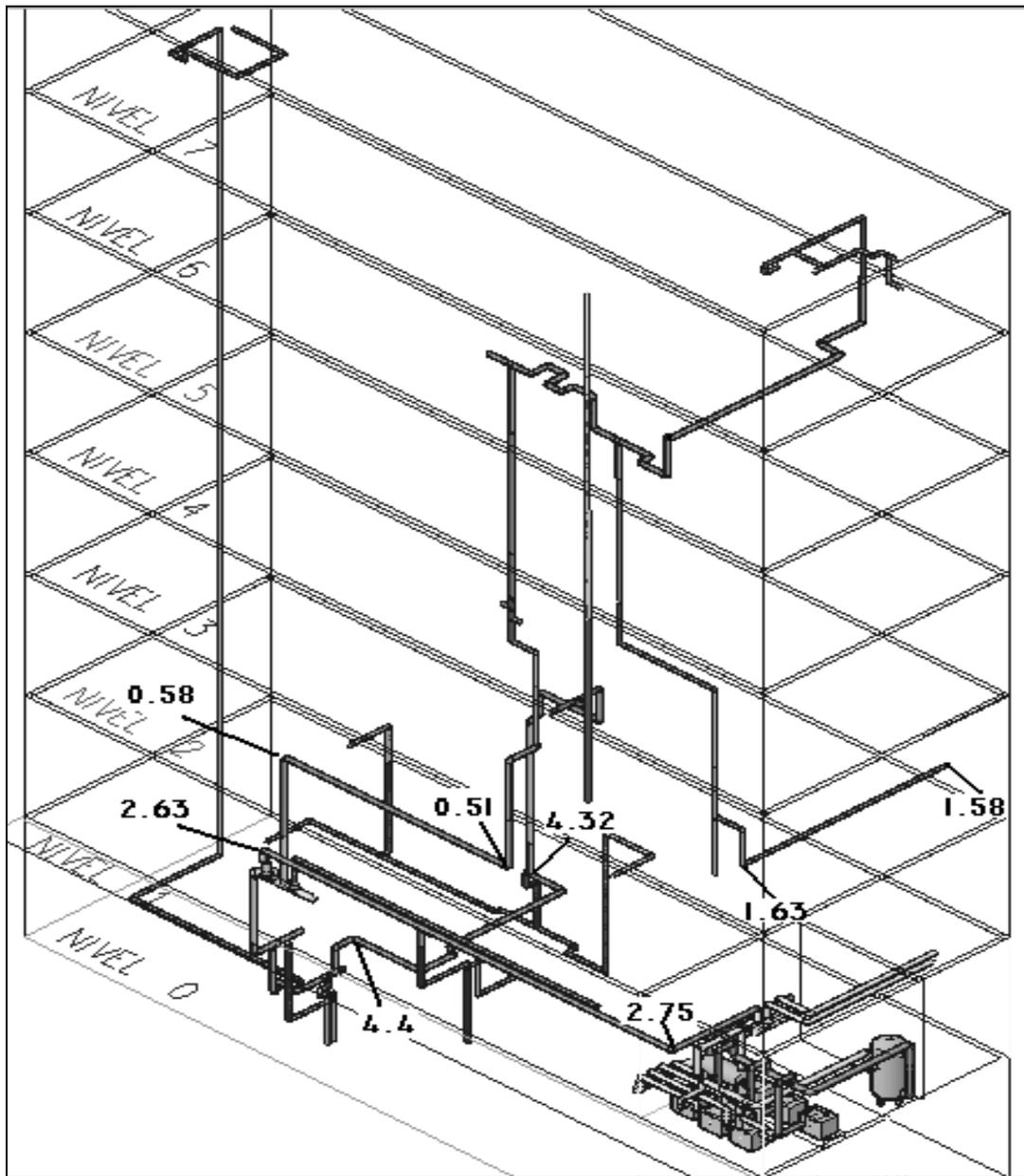
- Las tuberías principales deben ser ampliamente dimensionadas para atender la demanda de aire sin pérdida excesiva de presión y estar ligeramente inclinadas, Para que el agua que se condense drene en la misma dirección del aire comprimido. Se coloca en el extremo de la tubería un ramal de bajada provisto de una purga manual o automática para evacuar el agua acumulada.

- Las tomas o conexiones de aire comprimido para los servicios, deben hacerse por la parte superior de la tubería de distribución, con el propósito de extraer el aire seco (sin condensado) y evitar posibles acumulaciones del agua en los equipos y por lo tanto, daños a los sistemas (incluyendo equipos), reducción de la vida útil de los mismos y aumento de los costos de mantenimiento.

En INHSA, Molinos modernos, se observaron tuberías que no cuentan con inclinaciones, para el transporte del condensado formado en la generación de aire comprimido, según las normas expuestas anteriormente; por tal motivo se muestra en la siguiente gráfica las alturas respectivas en metros, a las que deben estar colocadas cada una de las tuberías, que se encuentran sin dicha condición.

Las alturas correspondientes descritas en la figura 83 están escritas en unidades métricas y es la correspondiente desde el suelo. Dicha altura aumenta un centímetro por cada metro de longitud de tubería, con respecto a la dirección del fluido.

Figura 83. Altura en metro de la tubería de aire comprimido de INHSA B



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD MEP 2010, Autodesk.

3.2.2. Cálculo del depósito de almacenamiento de aire comprimido

El aire comprimido es quizá, la única forma de energía fácilmente almacenable. Suelen utilizarse para este propósito tanques o depósitos de muy variados tamaños. Si la demanda de aire fuera constante y contáramos con un compresor que satisfaga de forma continua esta demanda, no tendríamos necesidad de almacenar energía, a excepción que se le adicione volumen de aire a la instalación.

En las instalaciones centralizadas, el gasto de aire comprimido se realiza en varios puntos y por lo general, de forma intermitente y no uniforme, dependiendo de las necesidades de utilización.

Sucede que en un determinado momento se necesita una gran cantidad de aire comprimido a la presión normal de distribución. Normalmente, sería necesario poner en marcha el compresor y esperara que la red de distribución esté completamente a la presión demandada. Para evitar este inconveniente se instala un depósito a la salida del compresor que debe estar dimensionado de acuerdo con el máximo caudal instantáneo de la instalación.

Los depósitos son fabricados de chapa de acero y están regulados según la norma ASME (American Society of Mecánica Engineers), para recipientes a presión. Pueden situarse en puntos cercanos a los compresores, o instalarse al aire libre para facilitar el enfriamiento del aire antes de su paso a las tuberías principales de distribución. El depósito más perfecto y mejor situado es el que enfría el aire a temperatura ambiente.

- Ventajas al instalar un depósito de aire:

Reduce los efectos de pulsación en los compresores recíprocos, con lo que regulariza el trabajo de las máquinas accionadas con aire comprimido.

Se tiene la capacidad adecuada, atiende con rapidez las demandas extraordinarias de aire que suelen hacerse momentáneamente. Proporcionan al aire comprimido la oportunidad de tranquilizarse para que el agua, polvo y aceite puedan separarse. Enfrían el aire antes de que pase a las tuberías, y se condensa en ellas la mayor parte de la humedad.

Permite que los motores de los compresores trabajen de forma intermitente, alternan el trabajo de cada compresor y de esta forma, ahorran energía eléctrica y alargan sus horas de funcionamiento.

El volumen que un depósito debe tener depende principalmente del flujo de aire. El volumen puede elegirse en la tabla LXV.

Tabla LXIV. **Volumen de depósitos de aire comprimido**

Caudal lit/min	Caudal m³/min	Volumen depósito m³
1,6 - 4,0	0,1 - 0,25	0,15
4,0 - 8,0	0,25 - 0,5	0,25
8 - 16,5	0,5 - 1,0	0,375
16,5 - 50,0	1,0 - 3,0	0,5
50,0 - 270	3,0 - 16,0	1
270 - 500	16,0 - 30,0	2
50 - 1 000	30,0 - 60,0	4
100	60	6

Fuente: *fundamentos de aire comprimido*, Atlas Copco, p. 92.

Actualmente en INHSA, Molinos Modernos, se tiene una demanda de aire comprimido máxima de 13,312 m³/min, según la tabla LXIV, nos situamos en el rango de 3,0 a 16,0 m³/min lo que da un depósito de 1 m³, En la planta se tiene un depósito con un volumen de 1,36 m³; es más grande de lo necesario, pero a la vez es mejor, ya que su función principal es almacenar aire comprimido y con un tamaño mayor se prevé futuras ampliaciones.

Debe tenerse en cuenta que los depósitos de aire están sujetos a determinadas normas, muy estrictas y que deberían inspeccionarse regularmente:

- Los depósitos de aire están provistos de una válvula de seguridad, que debe inspeccionarse también, haciéndola funcionar
- Cuentan con una válvula de drenaje para el condensado que, igualmente, debe probarse a diario.
- Los depósitos deben instalarse de tal modo que puedan inspeccionarse desde cualquier posición. Pueden instalarse vertical u horizontalmente.

Figura 84. Depósito de aire comprimido



Fuente: depósitos de aire comprimido. www.kaeser.com. Consulta: 10 de octubre 2017.

Donde:

- 1 es la válvula de seguridad
- 2 es la salida del aire hacia la red
- 3 es la entrada de aire del compresor
- 4 es la salida del condensado al drenaje

Un tanque grande de almacenamiento para la planta permitirá que se use un compresor más pequeño en el momento de requerimientos pico de aire intermitente y de corta duración.

A través del tanque de almacenamiento de aire adecuadamente dimensionado se puede:

- Prevenir cargar y descargar frecuentemente al compresor, por lo tanto, reducir mantenimiento y reparación de componente de control.
- Recolectar condensado, para eliminarlo del sistema antes de tratamiento.
- Proveer radiación suficiente para enfriamiento con el fin de reducir contenido de humedad y carga para el secado de aire, si está localizado en un lugar fresco e instalado antes del secador.
- Proveer “amortiguamiento” de pulsaciones de presión de compresores reciprocantes.
- Ayudar a estabilizar la presión del sistema y prevenir arranque de compresores innecesarios.

En general, el almacenamiento da la verdadera capacidad de ahorro energético de un sistema; entre más almacenamiento, mejor como regla de 4 a 5 galones por CFM.

3.2.3. Cálculo de purgas necesarias

Los purgadores automáticos están instalados en las partes más bajas de los reservorios, para la evacuación de condensado en una instalación de aire comprimido.

En el mercado se encuentran surtidos de diferentes modelos y para la elección se debe tomar en cuenta que cumplan con las siguientes observaciones:

- Purgadores adecuados para eliminar condensados donde la mezcla de agua y aceite, y suciedad sea muy espesa.
- Purgadores para una mezcla agua y aceite más líquido.

La eliminación del condensado en el aire comprimido es una de las tareas más difíciles del tratamiento del aire. Dentro de la operación de la separación del aire y el agua las purgas, que también son conocidas como trampas, tienen una participación muy importante ya que este equipo se encarga de desalojar el condensado, en la red de tuberías, cuando estén llenas de este.

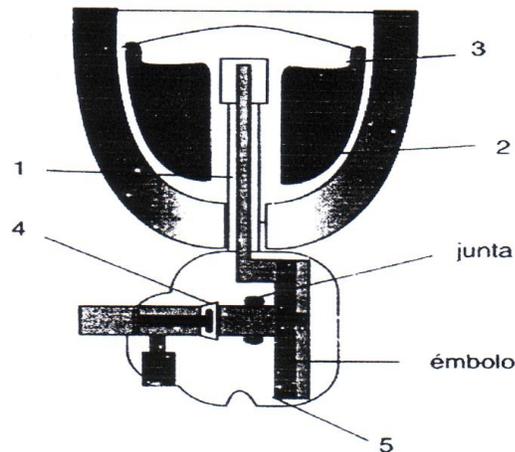
Las purgas deben estar instaladas a una distancia de 30 metros en los puntos más bajos de la red de distribución de aire o en la parte inferior de un depósito de aire comprimido.

La función principal de una purga es permitir una salida del condensado cuando este llegue a un nivel determinado; por lo tanto, la purga se abre, con lo cual deja pasar solamente el condensado y se cierra cuando percibe la presencia de aire.

- Purga automática

Cuando las condensaciones pasan a la cámara de purga entre los discos de estanqueidad a través de un orificio, al aumentar el condensado sube el flotador, llega al máximo nivel y abre la tobera. El aire comprimido pasa por el taladro central y empuja el émbolo hacia la derecha; el disco de estanqueidad abre el paso de condensaciones a la atmósfera. El aire escapa lentamente por el orificio de la parte inferior en el tiempo necesario para que se efectúe la evacuación del condensado.

Figura 85. **Purga automática**



Fuente: KAESER, *Manual de aire comprimido*, p. 8.

Donde:

- 1 es la cámara de purga
- 2 es el flotador
- 3 es la tobera
- 4 es el disco de estanqueidad.
- 5 es el orificio de escape de aire.

En INHSA, Molinos Modernos, se tiene un buen tratamiento de condensado a través de purgas en los depósitos de almacenamiento y en las distintas máquinas, por lo que se considera como aceptable la configuración actual de la misma, Únicamente se debe cambiar las alturas de las tuberías, para que el condensado circule de los puntos más altos hasta el lugar de drenado de agua.

3.2.4. Cálculo de los accesorios necesarios para la instalación

Actualmente se quiere instalar una nueva tubería en la sala de compresores, que será la encargada de convertir la configuración actual del circuito de los compresores a un circuito en serie. Dicha tubería tendrá un diámetro de 3"; por lo tanto, para que funcione con eficiencia es necesario adquirir productos de calidad:

- Tuberías, que garanticen una completa seguridad en la instalación.
- Los accesorios y válvulas deben tener una baja caída de presión para garantizar una máxima eficiencia en la maquinaria y equipo neumático.

Una buena elección en materiales y accesorios puede evitar gastos mayores en el futuro, debido a que se evitan los daños en el equipo neumático y, por ende, reduce las altas pérdidas de presión.

Tabla LXV. **Accesorios necesarios para la instalación de nuevos compresores**

Accesorios	Cantidad	Diámetro
Codos a 90°	6	3"
Unión Universal	2	3"
Tés	1	3"
Tés con reducción	4	3" a 1 ½"
Llave de paso	2	3"
Reductores	2	3" a 2"
Válvulas antirretorno	3	3"

Fuente: elaboración propia.

Los datos de la cantidad de accesorios por utilizar fueron obtenidos del plano de nuevo diseño de la red de aire comprimido que se presentara en capítulos anteriores, en el cual se tiene un total de todos los materiales y accesorios.

3.3. Selección del compresor

Actualmente, en INHSA se desea instalar compresores que ofrezcan mejores condiciones a los existentes. Para conocer cuál de todos los compresores existentes en el mercado se acopla mejor a las condiciones actuales de la planta, estudiaremos las siguientes condiciones.

Los compresores son máquinas que aspiran el aire ambiente a presión atmosférica, reducen su volumen y con ello elevan su presión.

Se obtiene así un aire comprimido capaz de accionar equipos o herramientas neumáticas.

Antes de comprar un compresor, debemos estudiar cuál es el que se adapta más a las condiciones reales de la empresa, Se debe considerar, además, los siguientes factores:

- Costo inicial
- Presión de trabajo
- Eficiencia
- Costo de operación
- Costo de mantenimiento
- Duración del equipo
- Consumo de energía eléctrica

Es difícil dar una regla fija para seleccionar el compresor correcto. Hay demasiadas variaciones en las condiciones de operación. Además, hay muchas discusiones en cuanto equipo para uso intermitente o continuo. En muchos casos un tanque de mayor capacidad contrarresta la demanda periódica excesiva de aire comprimido. Esto permite que en la planta consuma por periodos cortos, el aire almacenado con más rapidez que la capacidad real del compresor.

Por ejemplo, la capacidad de salida de un compresor puede ser de 20 CFM durante periodos de 2 o 3 minutos; si hay suficiente aire almacenado enviado a través de una válvula reductora, a una presión mayor a la necesaria, la planta podría consumir 30 CFM. Esto solo funciona cuando el uso máximo es solo 3 o 5 veces por hora.

Los compresores son del tipo dinámico o de desplazamiento positivo. Los dinámicos incluyen centrífugos de flujo radial y axial y, en menor grado, los de emisión parcial para bajo flujo. Los tipos de desplazamiento positivo son de dos categorías básicas: reciprocantes y rotatorios.

El compresor recíproco tiene uno o más cilindros en los cuales hay un pistón o émbolo de movimiento alternativo, que desplaza un volumen positivo con cada carrera. Los rotatorios incluyen los tipos de lóbulos, espiral, aspas o paletas y anillo de líquido, cada uno con una carcasa, con uno o más elementos rotatorios que se acoplan entre sí, como los lóbulos o las espirales, o desplazan un volumen en cada rotación.

Para seleccionar un compresor hay que tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Para alta presión arriba de 250 PSI se utilizan compresores reciprocantes.
- Según el tipo de trabajo:
 - Para trabajo pesado se utilizan compresores reciprocantes.
 - Para trabajo medio se utilizan los centrífugos o los de tornillo.

Los compresores rotativos tipo tornillo y los reciprocantes libres de aceite, usualmente tienen un alto costo inicial y de mantenimiento, en comparación a los lubricados por inyección; sin embargo, el equipo adicional de separación y filtración que estos últimos requieren, pueden causar una reducción en su eficiencia, especialmente a los que no se les da su respectivo mantenimiento.

Antes de seleccionar un compresor libre de aceite o uno lubricado por inyección, se deberá de considerar cuidadosamente las necesidades del proceso y de los equipos, estos en cuanto al nivel de aceite permitido en el aire, incluyendo el riesgo y el costo asociado de terminar con un producto contaminado.

La capacidad del sistema de aire comprimido se determina al sumar el consumo promedio requerido por cada una de las herramientas y por la operación de cada proceso en toda la planta, tomando en cuenta factores de carga de cada uno de estos. Todo sistema puede presentar picos de demanda que se pueden satisfacer a través de tanques de almacenamiento o tanques pulmón; estos serán más efectivos si se localizan lo más cerca posible de donde se requieran estas altas demandas.

El sobredimensionar los compresores de aire es extremadamente ineficiente, porque la mayoría de los sistemas, si operan a carga parcial, consumen más energía por unidad de volumen de aire producido. Es preferible comprar varios compresores pequeños con un control secuenciador de arranque, que permiten una operación más eficiente cuando la demanda es menor que la demanda pico.

Si a pesar de que el sistema fue diseñado apropiadamente y recibe un mantenimiento adecuado, sigue experimentando problemas de capacidad, una alternativa antes de añadir otro compresor es volver a analizar el uso del aire comprimido en cada una de las áreas de aplicación, ya que tal vez pueda utilizar, de manera más efectiva, sopladores o herramientas eléctricas o tal vez, simplemente pueda detectar usos inapropiados.

Otra forma efectiva de diseñar y operar apropiadamente un sistema de aire comprimido es evaluar su perfil de carga. Las variaciones de demanda durante el tiempo total de uso del aire comprimido es una de las principales consideraciones cuando se diseña un sistema de esta índole.

Las plantas con grandes variaciones de demanda necesitarán de un sistema que opere eficientemente bajo carga parcial; en tales casos, el uso de compresores múltiples con controles secuenciales de arranque puede operar el sistema de forma más económica. En cambio, en plantas con un perfil de carga con pocas o nulas variaciones, se pueden utilizar estrategias de control simples.

Por otro caso los usos inapropiados dan lugar a una demanda artificial, ya que requieren de un exceso en el volumen de aire y, por consecuencia, una mayor presión que la requerida por las propias aplicaciones. El uso de controladores de flujo puede ayudar a minimizar esta demanda artificial.

El nivel de presión del sistema debe ser definido a través de los requerimientos de presión de cada una de las herramientas que normalmente han sido probadas por sus fabricantes a dichas presiones.

En cambio, las presiones requeridas por los diferentes procesos deben ser especificadas por el ingeniero. Con ambos requerimientos se puede definir el nivel de presión del sistema, sin olvidar que a mayor nivel de presión el sistema será más costoso, desde el punto de vista energético y de mantenimiento.

3.3.1. Investigación de compresores a la venta en el mercado nacional

En el mercado nacional existen diversas marcas de compresores, dentro de los más comunes están:

- Kaeser

El líder mundial en la fabricación de compresores de tornillo, los cuales actualmente cubren la mayoría de la demanda de aire comprimido en todos los sectores.

Figura 86. **Compresor de tornillo Kaeser**



Fuente: KAESER, *Compresor Kaeser*. www.kaeser.com. Consulta: 15 de octubre 2017.

- Atlas Copco

La gama de compresores de tornillo con inyección de aceite GA 200-500 de Atlas Copco se embala inteligentemente, formando un paquete que incorpora todas las opciones y accesorios imprescindibles para la instalación del compresor de aire en una caja compacta.

Figura 87. **Compresor de tornillo rotativo con inyección de aceite**



Fuente: ATLAS COPCO, *Compresor*. www.atlascopco.com. Consulta: 15 de octubre 2017.

- Irimac

Todos los compresores de tornillo de la Serie S de Boge, empresa comercializada por Irimac, aspiran el aire atmosférico a través del sistema de filtrado del aire de alimentación de la caja del compresor pasando por el filtro de aspiración con cartucho de microfiltro de papel.

Estos compresores están divididos de forma clara en 3 zonas. En la zona de accionamiento y del sistema eléctrico, la parte fría de la instalación, se

encuentra el motor, el armario eléctrico y el filtro de aspiración. La zona de compresión cuenta con el separador de aceite horizontal en el punto más bajo, el módulo de compresión directamente sobre el depósito de aceite y el regulador de aspiración multifuncional.

En la zona de refrigeración, una unidad independiente, se encuentra la pequeña zona de salida de aire caliente de la instalación.

Figura 88. **Compresores de tornillo con regulador dinámico de aspiración**



Fuente: IRIMAC, *Compresor*. www.irimac.com. Consulta 16 de octubre 2017.

- CBS

Es un compresor de tornillo rotativo, asimétrico y lubricado, de baja velocidad (RPM). El acoplamiento de los compresores de tornillo es directo, no es por bandas o engranes. El equipo CBS cuenta con una cantidad reducida de tuberías lo que produce que haya menos fugas de aceite.

Los compresores de tornillo rotativo disminuyen el espacio ocupado por gases. La línea de compresores de tornillo CBS comprende desde los 15 HP hasta los 60 HP, en modelos sobre gabinete acústico y sobre base. En los modelos de 15 a 25 HP se cuenta con la modalidad sobre tanque.

Figura 89. **Compresor de tornillo CBS**



Fuente: CBS, *Compresor*. www.cbs.com. Consulta: 17 de octubre 2017.

- Bottarini

Dentro de su amplia gama de maquinaria de aire comprimido, Bottarini / Gardner Denver fabrica compresores de aire comprimido de tipo tornillo desde 4 a 500 kW, además de compresores de aire comprimido de velocidad variable con un gran ahorro energético en potencias desde 10 a 250 KW.

Figura 90. **Compresor de tornillo bottarini**



Fuente: BOTTARINI, *Compresor*. www.bottarini.com. Consulta: 17 de octubre 2017.

3.3.2. Vida útil de los compresores

Se entiende por vida útil al tiempo proyectado de operación normal de un equipo, que cumple sus funciones de diseño sin presentar riesgo.

La vida útil depende de muchas variables, pero una de ellas, quizás la más importante, es el mantenimiento que recibió durante su vida.

Económicamente, la vida útil suele tomarse en dirección de la empresa, cuando los gastos de reparación son mayores que la inversión en una nueva máquina, porque hay muchos gastos indirectos difíciles de calcular, como las paradas imprevistas por daños en el equipo, los accidentes causados por el mal funcionamiento o los problemas de calidad en el producto final.

Un compresor si tiene un correcto mantenimiento, puede tener una vida útil de 6 a 8 años y en malas condiciones de trabajo, en 2 años de operación es posible que sea más barato cambiarlo que hacerlo trabajar. La correcta elección de la marca y modelo en la compra es importante, porque nos permitirá encontrar repuestos de recambio originales y aumentar su vida útil con funcionamiento normal luego de una reparación.

3.3.3. Eficiencia de los distintos compresores

Los compresores que se ajustan mejor a las condiciones de trabajo de INHSA, Molinos Modernos son:

Tabla LXVI. **Equipos nuevos para diseño del cuarto de compresores**

Equipo	Marca	Serie	Presión Psi	Capacidad Pies ³ /min
Compresor de tornillo	Kaeser	ASD40S	125	40
Compresor de tornillo	Kaeser	AS20	125	20

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

Estos compresores fueron seleccionados por eficiencia, costo de mantenimiento, sistema de ahorro de energía eléctrica, soporte técnico.

Por lo que se presentan las características técnicas de dichos equipos.

- Compresor de tornillo Kaeser serie ASD 40S

Compresor de tornillos rotativos de accionamiento directo máxima eficiencia y confiabilidad:

Kaeser brinda un equipo con alto rendimiento energético y soluciones completas para sistemas de aire comprimido. Los compresores ASD combinan la óptima unidad de compresión con el perfil sigma y sistema sigma control con la última tecnología en accionamiento directo de relación 1:1. También incorporan diseños óptimos para reducir mantenimiento, atenuación del ruido y post enfriamiento superior. Construidos de acuerdo con estrictas normas de calidad ISO 9,001 y desempeñados para un sencillo mantenimiento, proveen un ahorro energético excepcional y años de rendimiento confiable.

Figura 91. **Eficiencia de los compresores Kaeser**



El 70% del costo a largo plazo de un compresor es electricidad

Fuente: KAESER. *Eficiencia de compresores*. www.kaeser.com. Consulta 19 de octubre 2017.

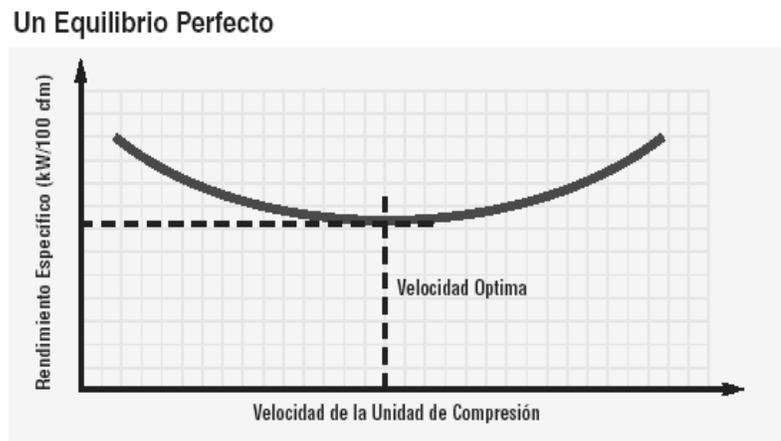
Si se analiza el costo total de un sistema de aire comprimido, se dará cuenta que el costo de energía es considerable.

En tan solo un año este podría exceder el costo del compresor. Durante 10 años, podría consumir hasta el 70 % de los costos totales del sistema de aire comprimido.

Por tal motivo, es importante tomar en cuenta la eficiencia de la energía cuando se considera la adquisición de un nuevo compresor.

El diseño de la unidad de compresión Kaeser con exclusivo perfil sigma comprime el aire eficientemente. Entrega hasta un 20 % más de aire (cfm) por HP, que las unidades con otros diseños.

Figura 92. **Rendimiento específico y velocidad de la unidad de compresión**



Fuente: KAESER. *Rendimiento de compresión*. www.kaeser.com. Consulta 19 de octubre 2017.

Figura 93. **Características de compresores Kaeser**



1 Unidad de Compresión con Perfil Sigma

Kaeser utiliza unidades de compresión recientemente diseñadas para la serie ASD. Son maquinadas a precisión para obtener tolerancias estrechas y optimizar el tamaño y perfil para equilibrar las bajas velocidades de rotación y el mejor rendimiento específico (ver gráfico Un Equilibrio Perfecto abajo).

2 Ventilador Radial

Un potente ventilador radial succiona aire fresco del ambiente a través del enfriador. Está diseñado para proveer mayor presión estática que es ideal para conductos de aire y aplicaciones con recuperación de calor. El ventilador radial es extremadamente silencioso y consume menos energía que ventiladores axiales, proveyendo ahorros energéticos adicionales.



3 Accionamiento Directo de Relación 1:1

Algunos compresores son denominados de accionamiento directo pero en realidad son unidades acopladas por engranajes. En las unidades ASD de Kaeser, el motor está directamente conectado a la unidad de compresión por medio de un acoplamiento libre de mantenimiento que provee máxima eficiencia en la transferencia de potencia. La unidad de compresión y el motor están conectados por una pieza fundida acoplada con pasadores para asegurar una alineación perfecta.





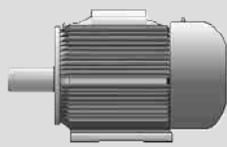
4 Sistema Separador Eficiente

Las unidades ASD poseen un sistema de separación optimizado y alta eficiencia. La mayor parte de fluido de enfriamiento es separado del aire inicialmente por medio de la fuerza centrífuga dentro del tanque. Cualquier fluido remanente es separado por un cartucho separador de dos etapas. Esta triple acción duplica la vida útil del cartucho y reduce el paso de aceite a 2 ppm y menos. El nivel de fluido es rápidamente verificado por medio de un indicador fácil de leer.



5 Motor

TEFC, de alta eficiencia, 460V, 3-fases, 60 Hz, 3600 (1800 en algunos modelos) rpm, aislamiento clase F, cumple con requisitos EPAAct. Disponible en otros voltajes. Estos motores de 12 terminales permiten cambios de voltaje en sitio.



Fuente: KAESER. *Características de compresores*. www.kaeser.com. Consulta: 22 de octubre 2017.

- Extremadamente silencioso.

Mientras el ventilador radial de bajo ruido y accionamiento directo de relación 1:1 reduce considerablemente los niveles de ruido, el nuevo diseño de “flujo de aire de enfriamiento dividido” provee una atenuación de ruido superior sin perder eficiencia de enfriamiento. Como resultado, la serie ASD es aproximadamente 10 db (A) más silenciosa que compresores convencionales de rendimiento similar con emisiones sonoras de 66 db bajo cualquier condición operacional.

- Diseño exclusivo de flujo de aire

Para incrementar la operación confiable y reducir los costos de mantenimiento, el enfriador está localizado convencionalmente en la parte exterior de la unidad. Por lo tanto, la acumulación de polvo y suciedades puede ser monitoreada y removida sin tener que movilizar el enfriador.

- Enfriamiento optimizado

El aire de enfriamiento es succionado directamente desde el ambiente, conducido a través del enfriador y evacuado por la parte superior de la unidad. El aire de enfriamiento no es precalentado, lo cual provee un enfriamiento óptimo y reduce significativamente los requerimientos del secado de aire.

El aire de enfriamiento para el motor y el resto del gabinete también es succionado directamente desde el ambiente y evacuado por la parte superior de la unidad.

El aire para la unidad de compresión ingresa por medio de dos aberturas localizadas en lados opuestos (adelante y atrás).

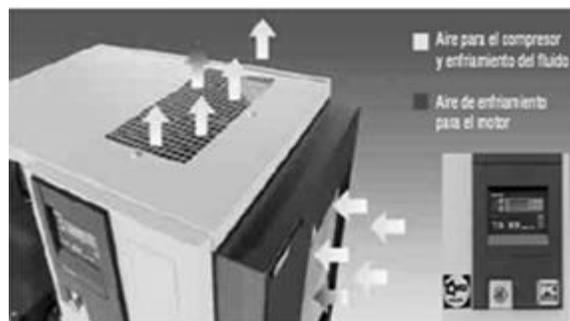
- Sigma control.

Desarrollado por Kaeser, en conjunto con sistemas AG, este control de compresor con patente pendiente se caracteriza por ser un PC industrial con procesador Intel.

Hay disponibles cinco diferentes configuraciones de control de compresor para equilibrar su rendimiento a la demanda de aire y aumentar el ahorro energético. Sistemas de aire comprimido pueden ser monitoreados y regulados desde cualquier parte del mundo con la Sigma control, y exclusivo software de Kaeser. La Sigma control también se caracteriza por su extensa capacidad para registrar tendencias de mantenimiento y seguimientos a la demanda de aire.

- Eficiencia optimizada

Figura 94. **Eficiencia optimizada de compresores**



Fuente: KAESER. *Eficiencia de compresores*. www.kaeser.com. Consulta: 23 de octubre 2017.

Figura 95. Descripción técnica del compresor ASD40s

Unidad de Compresión:	tornillo rotativo de una etapa, inyectado con aceite, con el exclusivo Perfil Sigma de ahorro de energía, entrega presiones de hasta 217 psig.
Motor eléctrico:	TEFC alta eficiencia, 230/460 V, 3 fases, 60Hz, 3600 rpm, aislamiento clase F, cumple con requisitos EPAct. Cuenta con Arrancador Magnético <i>Estrella - Delta</i>
Acoplamiento:	Acople directo de relación 1:1 por medio de un acoplamiento libre de mantenimiento que provee máxima eficiencia de transmisión.
Panel de Control:	El SIGMA CONTROL es un sistema de control compacto basado en una PC con procesador Intel® y sistema operativo de tiempo real. El control Sigma incluye el monitoreo integral de todas las funciones críticas y de control del compresor así como los puntos de mantenimiento. La memoria histórica de eventos proporciona fácil análisis de fallas y almacenaje de datos. Base de datos integrada con mensajes en idioma simple en 20 idiomas, cuenta con tres puertos de comunicación integrados (RS232, RS485 y Profibus) .
Control del Compresor:	Control Dual automático que permite operar el compresor bajo carga completa o sin carga, reduciendo drásticamente el consumo de energía en condiciones de marcha en vacío. La operación es controlada por relevador de tiempo que permite parar la marcha del compresor en caso de no haber demanda de aire.
Sistema de Enfriamiento por Aire:	Tres zonas separadas para la admisión de aire de enfriamiento para el postenfriador, compresor y motor aseguran un enfriamiento óptimo. La succión de aire del ambiente a través de los enfriadores y motor a través de zonas separadas evita el precalentamiento resultando en una menor temperatura de salida, mayor vida útil del lubricante y menor temperatura del motor.
Construcción del Gabinete:	Unidad con paneles de insonorización para menos de 67 dba, con acceso a las partes importantes del compresor por medio de puertas de servicio abatibles. El equipo esta montado sobre elementos anti-vibratorios.
Dimensiones y Peso:	Alto: 59-1/4" Largo: 53-1/8" Ancho: 36-1/4" Peso: 1,470 lb.
Conexión Descarga Aire:	1¼" NPT.

Fuente: KAESER. *Compresor ASD40s*. www.kaeser.com. Consulta: 23 de octubre 2017

- Compresor de tornillo Kaeser serie AS

Figura 96. Compresor de tornillo AS



1 Sigma Control Basic
Un panel de control simple y confiable provee control de presión y monitoreo del sistema con indicadores del estado operacional e indicadores de servicio. Los indicadores incluyen presión y temperatura de descarga, horas de carga y servicio e indicadores de fallas.



2 Unidad de Compresión con Perfil Sigma
Nuestra exclusiva unidad de compresión ahorradora de energía entrega prestaciones de hasta 217 psig. Kaeser utiliza unidades de compresión recientemente diseñadas para la serie AS. Son maquinadas a precisión para obtener tolerancias estrechas y optimizar el tamaño y perfil para equilibrar las bajas velocidades de rotación y el mejor rendimiento específico, hasta 20% menos energía que unidades de compresión comparables.



3 Motor TEFC con Arrancador de Voltaje Reducido
Motores de alta eficiencia, totalmente cerrados, enfriados por ventilador (TEFC) con aislamiento Clase F son estándar para una larga vida en ambientes severos. Voltaje dual 230/460 V, 3 fases, 60 Hz son estándar. Disponible en otros voltajes. Cumplen con requisitos EPAct. Arrancador magnético Estrella Delta asegura una baja corriente y un arranque suave.



4 Transmisión por Correas con Tensionador Automático
Aceptamiento por medio de poleas y correa única, que transfiere eficientemente la energía del motor a la unidad de compresión. Nuestro exclusivo sistema de tensionamiento automático mantiene la tensión apropiada para maximizar eficiencia, prolongar la vida de la correa y simplificar el mantenimiento rutinario.



5 Sistema Separador Eficiente
Un separador de tres etapas combina acción centrífuga y un filtro coalescente de 2 etapas para reducir el paso de fluido a 2 ppm y menos. Puntos de conexión rápida y puertos para vaciado y llenado son montados para facilitar cambios de fluido rápidos sin la necesidad de bombas. El indicador de nivel de fluido es fácil de leer y puede ser verificado sin tener que abrir o parar el compresor.



6 Enfriadores de Alta Eficiencia con Paneles Filtrantes
Localizados convenientemente en la parte exterior de la unidad, nuestros enfriadores estándar de alta eficiencia, proveen un enfriamiento superior resultando en temperaturas de aproximación de hasta 11°F para mayor separación de humedad y mejor calidad de aire. Un panel filtrante de 40 micrones simplifica el mantenimiento del enfriador. Suciedades y polvo se acumulan en la parte exterior del filtro donde se ven y son fácilmente removidos. Esto extiende la vida de servicio del enfriador e incrementa la reserva térmica para condiciones más severas.

Secador Refrigerativo Integrado Opcional
Los modelos AS 20 y 25 están disponibles con secadores refrigerativos integrados, separadores de humedad y drenajes Eco-Drain electrónicos. El secador utiliza refrigerante R134a libre de CFC y es diseñado para producir un punto de rocío de 38°F. El secador es controlado por medio del Sigma Control Basic y no requiere de una conexión eléctrica adicional.



Drenaje de Condensados
El Eco-Drain posee una robusta carcasa de aluminio y tecnología patentada de válvula piloto controlada por aire para asegurar muchos años de servicio confiable hasta bajo condiciones severas. Estos drenajes son controlados por un sensor capacitivo confiable. Estos drenajes ahorradores de energía remueven el condensado - pero no el valioso aire comprimido.



Intercambiador de Calor y Separador de Humedad
El secador se caracteriza por su intercambiador de calor tipo placa y separador de humedad, de acero inoxidable para una larga vida.



Fuente: *Compresor serie AS*. www.kaeser.com. Consulta: 27 de octubre 2017.

Figura 97. Descripción técnica del compresor AS 20 125 PSI SCB trivoltaje

Unidad de Compresión:	tornillo rotativo de una etapa, inyectado con aceite, con el exclusivo Perfil Sigma de ahorro de energía, entrega presiones de hasta 217 psig.								
Motor eléctrico:	TEFC alta eficiencia, 230/460 V, 3 fases, 60Hz, 3600 rpm, aislamiento clase F, cumple con requisitos EPA. Cuenta con Arrancador Magnético <i>Estrella - Delta</i>								
Acoplamiento:	Por medio de poleas y correa única, con sistema de tensionamiento automático								
Tablero de Control:	El SIGMA CONTROL BASIC es un panel de control simple y confiable que provee control de presión y monitoreo con indicadores del estado operacional y de servicio. Estos incluyen presión y temperatura de descarga, horas de carga y servicio e indicadores de fallas.								
Control del Compresor:	Control Dual automático que permite operar el compresor bajo carga completa o sin carga, reduciendo drásticamente el consumo de energía en condiciones de marcha en vacío. La operación es controlada por relevador de tiempo que permite parar la marcha del compresor en caso de no haber demanda de aire.								
Diseño de Flujo de Aire	El Aire es succionado a zonas de enfriamiento separadas para el motor y enfriadores, eliminando el precalentamiento, lo que incrementa la eficiencia de enfriamiento sin incrementar el consumo de energía. Menores temperaturas también contribuyen a la prolongación de la vida del lubricante y del motor. El filtrado inicia por un filtro de admisión dos etapas.								
Post-enfriador de Aire:	Reduce la temperatura del aire comprimido de salida a aprox. 8°C (11°F) arriba de la temperatura ambiente, condensando la humedad del aire comprimido entre un 50 y 80%.								
Construcción del Gabinete:	Unidad con paneles de insonorización para menos de 67dba, con acceso a las partes importantes del compresor por medio de puertas de servicio abatibles. El equipo esta montado sobre elementos anti-vibratorios.								
Dispositivos de Servicio:	Dispositivos en el tanque separador y el enfriador de aceite permiten el cambio del aceite rápida, sencilla y limpiamente. Adicionalmente tiene conexiones en el tanque separador que permiten verificar la condición del elemento filtrante.								
Dimensiones y Peso:	<table border="0"> <tr> <td>Alto:</td> <td>47 3/4"</td> </tr> <tr> <td>Largo:</td> <td>44 1/2"</td> </tr> <tr> <td>Ancho:</td> <td>32 5/8"</td> </tr> <tr> <td>Peso:</td> <td>860 lb.</td> </tr> </table>	Alto:	47 3/4"	Largo:	44 1/2"	Ancho:	32 5/8"	Peso:	860 lb.
Alto:	47 3/4"								
Largo:	44 1/2"								
Ancho:	32 5/8"								
Peso:	860 lb.								
Conexión Descarga Aire:	1 1/4" NPT.								

Fuente: KAESER. *Compresor AS 20*. www.kaeser.com. Consulta: 27 de octubre 2017.

3.3.4. Potencia y capacidad de los compresores

Los compresores que se instalarán en la sala de compresores tienen las siguientes descripciones técnicas.

Tabla LXVII. Potencia y capacidad de los compresores

Descripción	Compresor 1	Compresor 2
Modelo	ASD 40S	AS 20
Capacidad	166 CFM-FAD	92 CFM FAD
Presión	125 PSIG	125 PSIG
Motor	40 HP	20 HP
Voltaje	230/460 V – 3F – 60Hz	230/460 V – 3F – 60Hz
Enfriamiento	Por aire	Por aire

Fuente: KAESER. *Potencia y capacidad de los compresores*. www.kaeser.com.

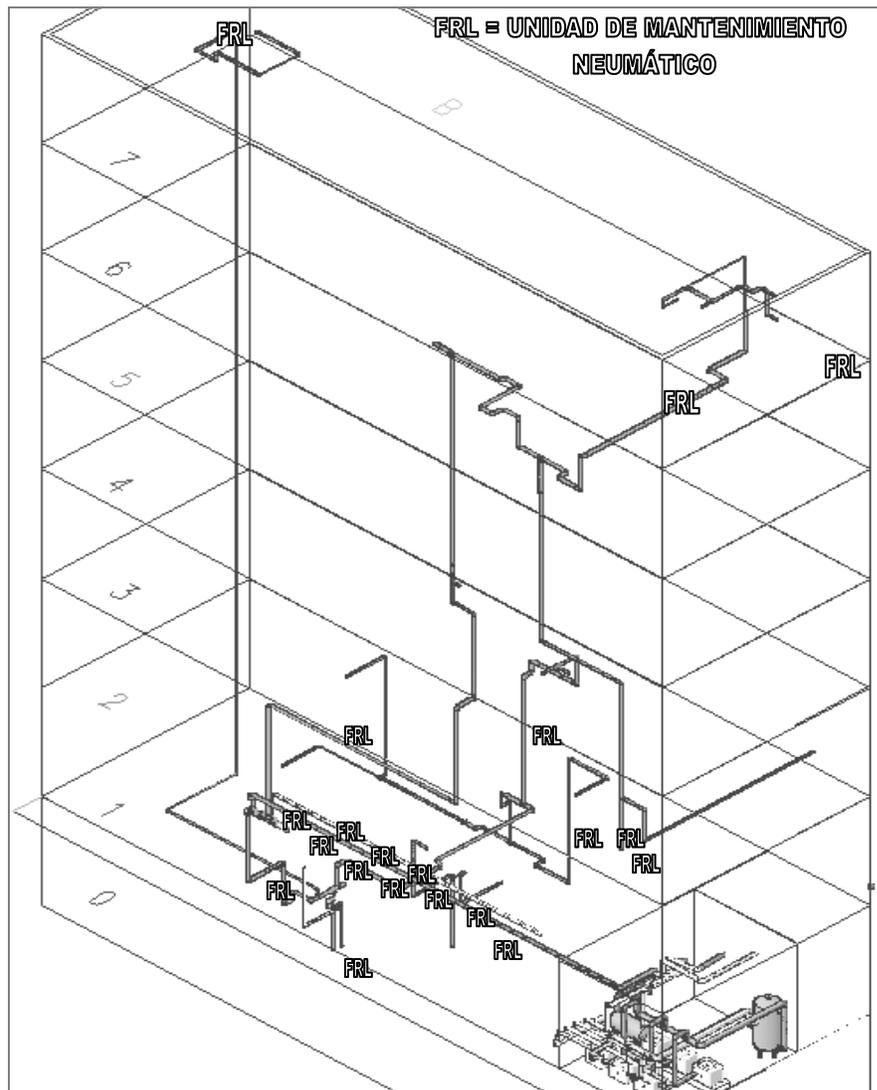
3.4. Unidad de mantenimiento del equipo neumático

La unidad de mantenimiento, filtro, regulador y lubricador se encuentra a la entrada de toda instalación neumática. A continuación de toda unidad de mantenimiento hay que prever una válvula distribuidora para conectar y desconectar rápidamente la tubería de alimentación.

En la instalación de los nuevos compresores no se utilizará unidades de mantenimiento, ya que se instalarán por separado los filtros tanto de aire como de aceite, reguladores y lubricadores.

En el INHSA B existen 21 FRL, ubicados antes de la entrega de aire, de los equipos y maquinarias neumáticos para su tratamiento. Dichos equipos se muestran en la figura 98.

Figura 98. **Unidad de mantenimiento existente en INHSA B**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD MEP 2010, Autodesk.

3.4.1. Condensador de humedad

La descripción del condensador de humedad para utilizar en la instalación actual es el siguiente:

Drenaje de condensado ECO-DR.13 115VAC Kaeser

Figura 99. **Drenaje de condensado ECO-DR.13 115VAC Kaeser**



Características Estándar:

- El sensor de capacidad solamente se activa cuando es necesario y no tiene partes móviles
- Contactos secos para señalización de la alarma son estándar
- Modalidad de alarma secuencia durante intervalos predeterminados para expulsar condensado
- La válvula diafragma incluye una gran área de sección transversal para una descarga confiable
- La válvula diafragma es controlada por aire comprimido limpio
- Se incluyen LEDs para corriente, válvula abierta y alarma
- Botón de prueba permite un chequeo funcional

Fuente: KAESER. *Eco dr13*. www.kaeser.com. Consulta: 30 de octubre 2017.

- Elimina la humedad

La serie de ECO- DRAIN de drenajes electrónicos para condensado elimina eficientemente la humedad de los sistemas de aire comprimido. Estos drenajes automáticamente eliminan la necesidad de desaguar manualmente.

Los drenajes se abren solamente cuando es necesario para no desperdiciar el valioso aire comprimido.

Los ECO- DRAIN son ideales para equipos como secadores y filtros, la robusta carcasa de aluminio y la tecnología superior en válvulas de diafragma, aseguran muchos años de servicio confiable, hasta bajo condiciones severas.

- Electrónica

La electrónica provee operación libre de preocupación y alta confiabilidad con una continua autoevaluación.

- Componentes confiables

El patentado diseño de válvula de paso de 3/2 vía asegura que los componentes funcionales, sean independientes de la cámara de condensado.

Unidades de la competencia utilizan válvulas que entran en contacto directo, con el condensado contaminado, el cual tapa las líneas de control e interrumpen el movimiento del solenoide. El sensor de capacidad provee un rendimiento confiable y durabilidad.

Figura 100. **Drenaje de condensado ECO-DR.13 115VAC Kaeser**

Especificaciones

Modelo	Capacidad Máxima* (cfm)			Presión min/max (psig)	Temp. min/max (°F)	Conexiones de Entrada NPT (pulgadas)	Descarga de Condensado (pulgadas)	Peso (lb.)
	Compresor	Secador	Filtro**					
Eco-Drain 21	180	360	1800	12/230	34/140	1/2	3/8	0.8
Eco-Drain 12	270	540	2700	12/230	34/140	1/2	1/2	1.8
Eco-Drain 13	1200	2400	12000	12/230	34/140	1/2	1/2	4.4
Eco-Drain 14	5400	10800	54000	12/230	34/140	3/4	1/2	6.4

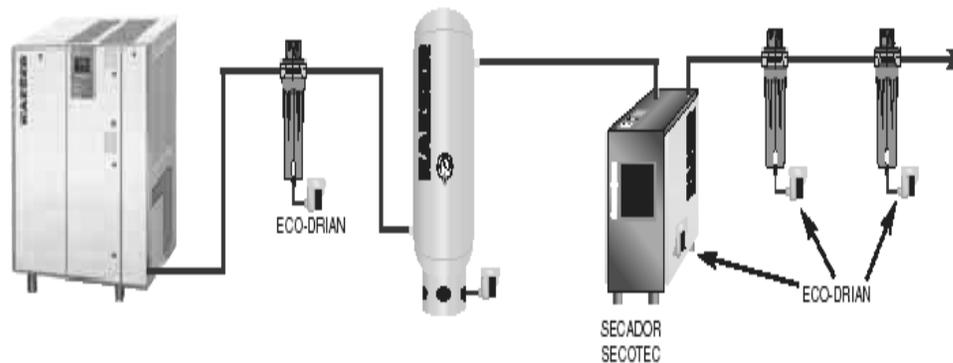
Requerimiento eléctrico: 115V / 1 Ph / 60 Hz

Especificaciones sujetas a cambios sin previo aviso.

*para climas extremos (caliente/húmedo) multiplique la capacidad por 0.83

**filtración después del secador

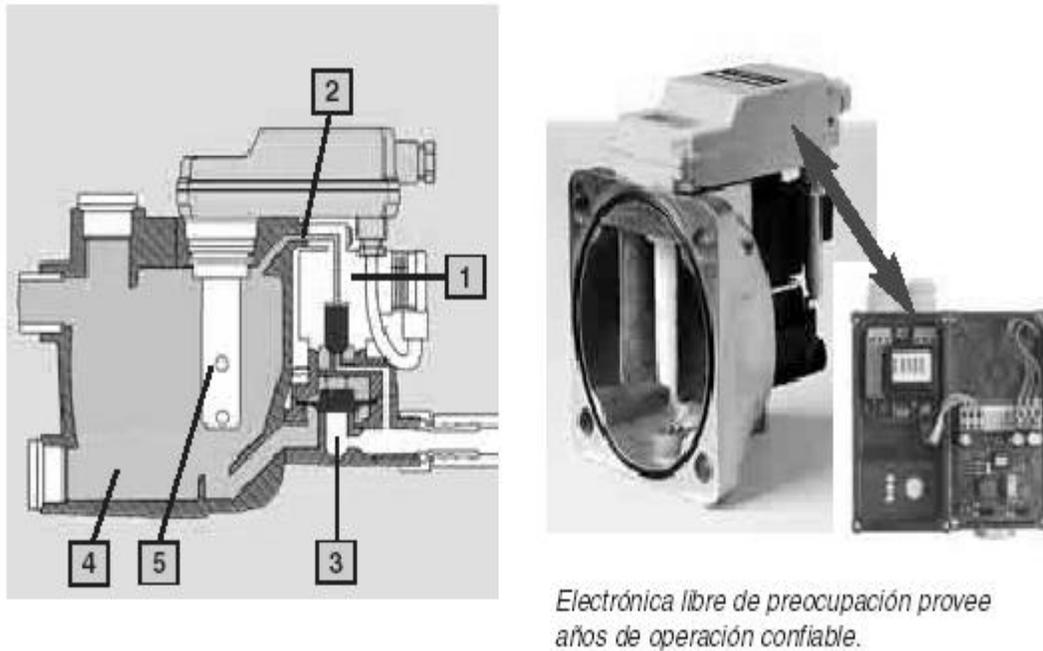
Localización del Eco-Drain



Fuente: KAESER. *Eco dr13*. www.kaeser.com. Consulta 30 de octubre 2017.

- Operación

Figura 101. **Operación del drenaje de condensado**



Fuente: KAESER. *Eco dr13*. www.kaeser.com. Consulta 30 de octubre 2017.

- Funcionamiento

La válvula solenoide (1) permite que el aire comprimido limpio (2) pase forzando la válvula diafragma (3) a la posición cerrada. Cuando la cámara de colección (4) se llena de condensado hasta el nivel máximo, el sensor de capacidad (5) señala para que la válvula solenoide se energice y permita que se ventee el aire que está encima del diafragma. El condensado es expulsado de la cámara de colección y la válvula diafragma se cierra antes que se pierda el aire.

3.4.2. Filtros de aire requeridos

La filtración es el proceso de remoción de partículas sólidas de un fluido utilizando un medio poroso. La contaminación del aire provoca daños mecánicos en los equipos, corrosión y oxidación, sedimentos e incrustaciones por la mezcla con agua o aceite.

En términos del tamaño de las partículas contaminantes en un sistema de aire comprimido típico, van de 10 a 0,01 micrones. Para comparación, el cabello humano tiene aproximadamente 60 micrones de diámetro. La eficiencia de los filtros es medida usualmente en términos de la capacidad de remover un porcentaje de partículas mayores que cierto tamaño; por ejemplo 99 % en partículas de un micrón y mayores. Para dicho trabajo, se desea instalar filtros y separadores de alto rendimiento Kaeser.

Figura 102. **Filtros y separadores de alto rendimiento Kaeser**



Fuente: KAESER. *Filtros*. www.kaeser.com. Consulta: 02 noviembre 2017.

- Filtración para incrementar productividad

El aire del ambiente contiene contaminantes que se filtran en el compresor. Estos contaminantes son concentrados durante la compresión, y salen por el sistema de aire comprimido. Un sistema típico de compresión se contamina con partículas sólidas abrasivas como polvo, residuos de tuberías y óxido, lubricantes del compresor, gotas de agua condensada, aceite y vapor de hidrocarburos.

Los sistemas de aire comprimido contaminados aumentan los costos de operación al robar energía del sistema de aire. Da como resultado reducción en eficiencia, daños a equipos operados con aire, mayor mantenimiento y costos de reparación; lo cual reduce la productividad.

La apropiada selección de los filtros Kaeser, en conjunto con el secador adecuado, removerá estos contaminantes. Esto permitirá al sistema de aire comprimido entregar la calidad de aire requerida ya sea aire para fábrica, de instrumentación o de respiración.

- Filtros y separadores de alto rendimiento

Diseñados y desarrollados con las últimas innovaciones y tecnologías de fabricación, Kaesen ofrece una nueva solución para la filtración de aire comprimido. Las carcasas de los filtros están diseñadas con áreas más amplias para asegurar una baja caída de presión y una fácil instalación, operación y mantenimiento. El resultado es un producto de alta calidad que minimiza costos de operación.

- Kaeser reduce los costos del aire comprimido

Los filtros Kaeser remueven más contaminantes con menos caída de presión. Compare la caída de presión operacional de los filtros de la competencia, por cada 2 PSI de caída de presión, los requerimientos de energía aumentan 1 %.

Con una completa selección de tipos de filtros para aplicaciones específicas, tamaños, soporte y servicio técnico, Kaeser ofrece la solución para todas las necesidades de calidad de aire comprimido.

Figura 103. **Característica y beneficios de los filtros de alto rendimiento**

Características Estándar y Beneficios



- 1 Indicador de Presión Diferencial Tipo Regleta**
Asegura una operación económica al cambiar de color cuando el elemento del filtro requiere ser reemplazado. Es estándar para filtros hasta 60 scfm (excepto KVA).
- 2 Elementos Codificados por Colores**
Permite una fácil identificación. Los elementos están diseñados usando la última innovación y tecnología de fabricación.
- 3 Drenaje Interno Automático**
Descarga eficientemente el condensado acumulado (excepto KVA y KFS250 en adelante).
- 4 Indicador de Presión Diferencial Tipo Manómetro**
Manómetro de gran superficie, y de fácil lectura que permite que la carcasa sea montada en cualquier dirección de flujo. Es estándar en filtros de 100 y mayores (excepto KVA).
- 5 Conexiones Modulares**
Diseño de ahorro de espacio que permite que las carcasas sean conectadas en serie sin la necesidad de tubería adicional.
- 6 Indicador de Nivel de Líquido**
Permite el monitoreo visual de nivel de líquidos además de verificar la operación del drenaje.

Fuente: KAESER. *Filtros*. www.kaeser.com. Consulta: 02 noviembre 2017.

- Operación eficiente

Última tecnología en filtración, dado como resultado mayor eficiente y menor presión diferencial

- Máxima temperatura de entrada de 150 °F.
- Máxima presión de operación de 250 psig, recipiente a presión de 225 psig.).
- Fácil y eficiente reemplazo de elementos.
- Filtros coalescentes con nueva fibra de estructura horizontal.
- Óptima eficiencia del filtro, aunque exista bajo flujo de aire de hasta el 5 % de flujo nominal.
- El elemento filtrante sella la carcasa.
- Soporte de acero inoxidable, collares y capas resistentes a ácidos y aceites.

3.4.3. Válvula reguladora de presión necesaria para la instalación

Las válvulas son accesorios utilizados para iniciar, detener o regular la circulación de un flujo dentro de una tubería. Las válvulas comunes empleadas en las redes de distribución de aire comprimido son la de compuerta, la de globo, la de bola y la de mariposa. Estas válvulas influyen sobre la cantidad de circulación de aire comprimido; el caudal se regula en ambos sentidos de flujo.

Hay válvulas reguladoras de caudal, de estrangulación constante:

- Válvula de estrangulación: en esta la longitud del tramo de estrangulación es de tamaño superior al diámetro.
- Válvula de restricción de turbulencia la longitud del tramo de estrangulación es de tamaño inferior al diámetro.

También hay válvulas reguladoras de caudal, de estrangulación variable:

- Válvula de estrangulación de accionamiento mecánico actúa contra la fuerza de un muelle. Resulta más conveniente incorporar las válvulas de estrangulación al cilindro.

En la instalación en la sala de compresores de INHSA, se utilizarán diversos tipos de válvulas para manipular el aire comprimido en la red de tuberías.

3.4.3.1. Selección de la válvula idónea para las distintas aplicaciones

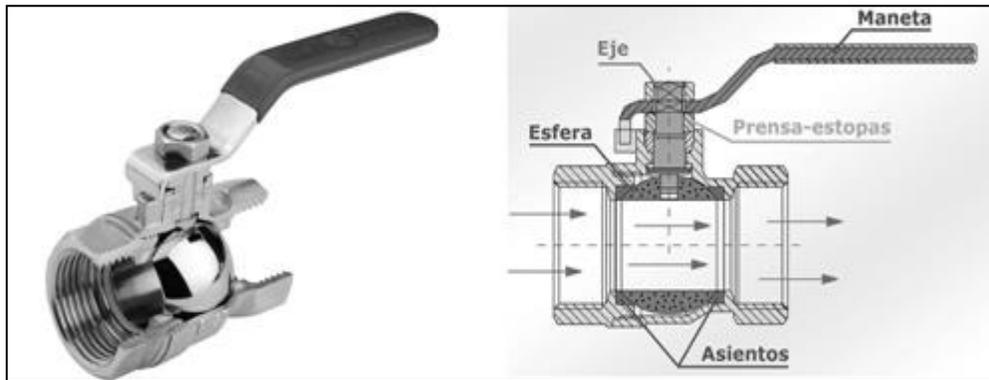
La válvula que se utilizará en la nueva instalación de la sala de compresores es la de tipo esfera, que es un mecanismo que sirve para regular el flujo de un fluido canalizado. Se caracteriza porque el mecanismo regulador situado en el interior tiene forma de esfera perforada.

Se abre mediante el giro del eje unido a la esfera o bola perforada, de tal forma que permite el paso del fluido cuando está alineada la perforación con la entrada y la salida de la válvula. Cuando la válvula está cerrada, el agujero estará perpendicular a la entrada y a la salida. La posición de la maneta de actuación indica el estado de la válvula (abierta o cerrada).

Este tipo de válvulas no ofrecen una regulación tan precisa como la de una válvula de globo al ser de $\frac{1}{4}$ de vuelta. Su ventaja es que la bola perforada permite la circulación directa en la posición abierta y corta el paso cuando se gira la bola 90° y cierra el conducto.

Las válvulas de bola manuales pueden ser cerradas rápidamente, lo que puede producir un golpe de ariete. Por ello y para evitar la acción humana pueden estar equipadas con un actuador ya sea neumático, hidráulico o motorizado. Atendiendo al número de conexiones que posee la válvula, puede ser de 2 o 3 vías.

Figura 104. **Válvula de aire comprimido**



Fuente: KAESER. *Válvula de paso*. www.kaeser.com. Consulta: 02 noviembre 2017.

Las válvulas con cuerpo de una sola pieza son siempre de pequeña dimensión y paso reducido. Este tipo de construcción hace que la válvula tenga un precio menor.

Las válvulas con cuerpo de dos piezas suelen ser de paso estándar. Este tipo de construcción permite su reparación.

Las válvulas de 3 piezas permiten desmontar fácilmente la bola, el asiento o el vástago, ya que están situados en la pieza central.

Esto facilita la limpieza de sedimentos y remplazo de partes deterioradas sin tener que desmontar los elementos que conectan con la válvula.

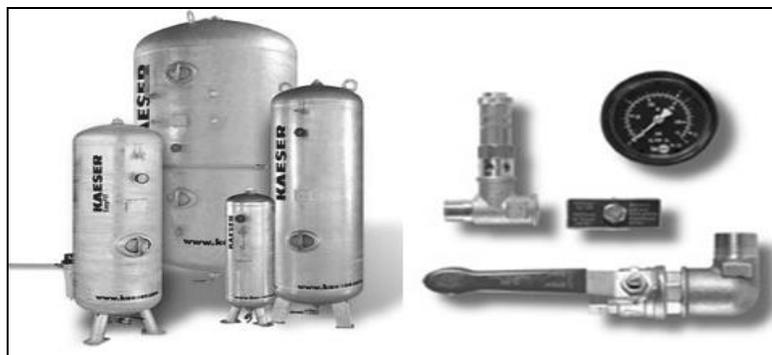
3.4.4. Manómetros de Bourdon necesarios

Es un instrumento empleado para medir la presión de los fluidos por medio de una comparación de presiones entre la presión ambiente y la del fluido como tal. Este manómetro es el que usa como elemento medidor un tubo metálico con curva o torcido, y con sección transversal plana.

Uno de los dos extremos es cerrado con un medidor y el otro se deja libre para aplicar la presión de ese lado. A medida que la presión aumenta, el tubo tiende a enderezarse y con este movimiento, el medidor registra los niveles de presión presentes.

Los manómetros por utilizar en la nueva instalación de la sala de compresores solo serán los que se utilizarán en el tanque de almacenamiento Kaeser. Se instalarán seguido de los compresores de tornillo nuevos, que serán los encargados de almacenar todo el aire que producirá la instalación en serie por instalar.

Figura 105. Usos de manómetro de Bourdon en la nueva instalación



Fuente: KAESER. *manómetro bourdon*. www.kaeser.com. Consulta: 02 noviembre 2017.

3.4.5. Lubricadores necesarios

El lubricante utilizado en un compresor de tornillos cumple 3 funciones básicas como formar sello entre los lóbulos en la operación de compresión, eliminar el calor generado por la compresión de aire y lubricar la parte en movimiento como rodamientos de bombas de aceite.

Un aspecto importante para tomar en cuenta es que el aceite tiene contacto directo con el aire; la mezcla de aire y aceite se comprimen conjuntamente y luego se separan para realizar de nuevo el ciclo. Los fabricantes de compresores de tornillos fabrican su propio aceite lubricante. Para garantizar la operación, el compresor trae incorporado un separador de aceite, con el fin de recuperar el aceite que lleva el aire y evitar que este se vaya al sistema.

El lubricador debe enriquecer el aire con una fina niebla de aceite para asegurar la lubricación de las piezas deslizantes de los elementos neumáticos.

- **Construcción**

A pesar de que existen diversas marcas de lubricadores con pequeñas diferencias en su funcionamiento, en general, las partes más importantes de un lubricador son:

- Cuerpo
- Vaso de lubricador
- Tubo de subida
- Tornillo estrangulador
- Cubierta de la cámara de goteo

- Bola de retención
- Ranura anular
- Orificio para el aceite

El lubricador tiene la misión de lubricar los elementos neumáticos en medida suficiente, previene un desgaste prematuro de las piezas móviles, reduce el rozamiento y protege los elementos contra la corrosión.

3.5. Análisis y mejoras de la planeación y control de la producción

A través de la implementación de un nuevo sistema de compresores, encargados de suministrar aire comprimido en todo el proceso de molienda de trigo, se puede obtener un sistema de producción más confiable, que ofrece a cada una de las máquinas, con requerimiento de aire para su funcionamiento, la presión y caudal de aire requerido, de acuerdo con las necesidades mecánicas de cada equipo, durante el desarrollo del proceso de producción.

Actualmente, los molinos de INHSA A e INHSA B, cumplen con la capacidad planificada de producción, de acuerdo con los pronósticos de ventas del producto. Tienen la capacidad de producir mucho más de lo demandado en el país; existe un aumento promedio del 2 % en ventas anuales del producto, por lo que es de suma importancia considerar un crecimiento en la cantidad demandada para la compra de nuevos equipos altamente costosos para la planta, considerando los distintos equipos que se pueden adquirir y las condiciones técnicas y capacidades que estos ofrecen.

El sistema actual de aire comprimido presenta diversas deficiencias, que se pretende mejorar a través de equipos y diseños, que permitan un sistema de generación de aire comprimido más confiable. Se debe considerar que la planta trabaja las 24 horas del día y el fallo de cualquiera de estos equipos ineficientes ocasionará el atraso de proyecciones de producción y pérdida significativa de capital importante. Para tener una mejor visión del problema del sistema actual y sus efectos, versus el nuevo sistema y los beneficios energéticos que ofrece, estudiaremos a detalle cada uno de estos aspectos.

3.5.1. Deficiencias del sistema de actual de aire comprimido, en la producción

Actualmente se trabaja con los compresores Sullair de 50 HP, Sullair de 30 HP e Ingersoll Rand de 30 HP. El compresor de 50 HP es capaz de mantener todos los equipos de la planta en funcionamiento. En los momentos de mayor auge de aire comprimido se acciona uno de los compresores de 30 HP; esto significa que el otro compresor de 30 HP se utiliza como backup en el sistema para momentos únicamente de mantenimiento o cuando una máquina deja de funcionar por cualquier desperfecto mecánico.

El molino actualmente trabaja las 24 horas del día y los 7 días de la semana y solo existen paros programados de producción que se dan únicamente para mantenimiento de las distintas máquinas. No es muy frecuente y realizado en forma alternada entre INHSA A y B, por lo que siempre existe demanda de aire comprimido en la planta.

Por lo tanto, para realizar el mantenimiento de los compresores, se debe utilizar el compresor de 50 HP solo, o bien la combinación de los dos compresores de 30 HP, para cumplir con la demanda de aire comprimido en la planta.

Los compresores son un poco antiguos y ya no son muy eficientes al generar aire comprimido. Requieren de servicios de mantenimiento muy continuos, que tienen como resultado costos anuales de mantenimientos muy elevados. Existe también la posibilidad de mejorar el costo de energía eléctrica, con nuevos compresores y sistema de generación de aire comprimido mejorado.

Actualmente los costos asociados con la generación de aire comprimido, según 5 años de investigación en el Instituto Drucklufteffizient de Alemania, en general son de:

- 15 % en mantenimiento
 - 15 % en el equipo
 - 70 % en electricidad
-
- Por cada cuatro grados centígrados de reducción de la temperatura del aire de entrada al compresor, hay una reducción del 1 % del consumo energético del mismo.
 - Por cada 25 mbar de presión perdida en la entrada al compresor, este sufre un 2 % de pérdida en la eficiencia.

- Si el ambiente no es limpio, se ensuciarán más fácilmente los filtros de entrada de los compresores, lo que incide directamente en la eficiencia.
- El 85 % de fallas en compresores se debe a las condiciones de trabajo: aire limpio, temperatura, entre otros.

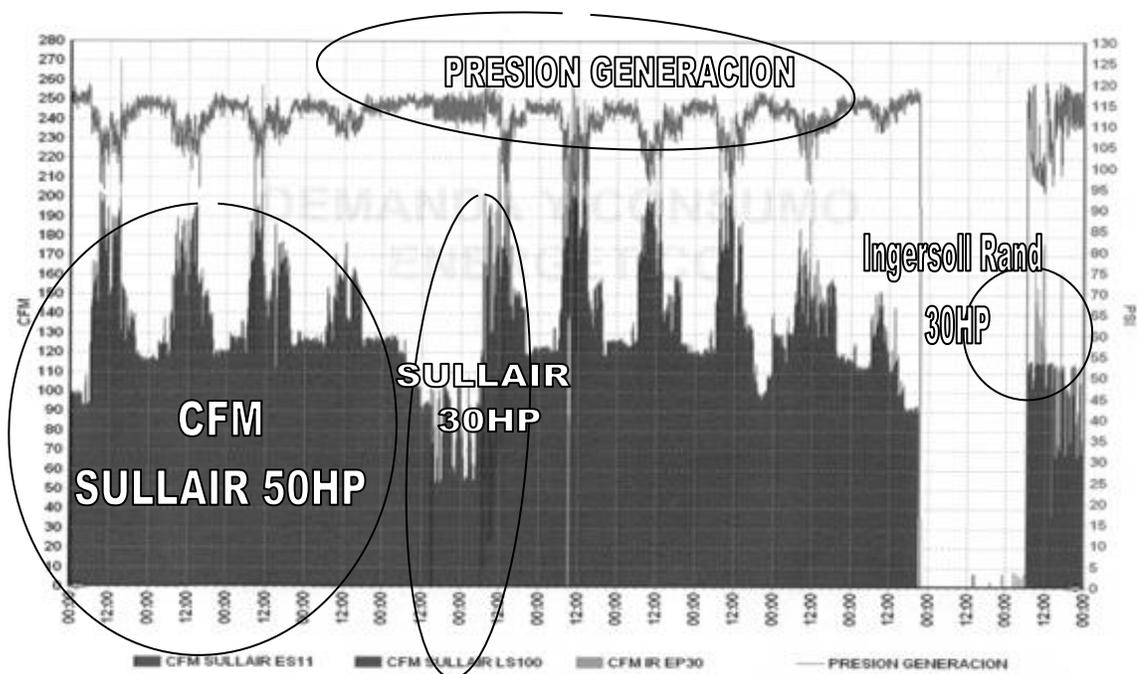
En el estudio ADA realizado por Kaeser, se determinó que la presión de entrega por los compresores actuales no es continua, estos deben entregar aire comprimido, con presión constante.

En la figura 106 se observa en el eje “y” grandes variaciones de presión. Durante un día completo de medición, la entrega de presión realizada por el compresor ocasiona caída de presión promedio de 30 PSI, incurre en gastos de energía eléctrica de 6 a 10 % del consumo, en comparación con condiciones ideales del sistema.

Existen máquinas que necesitan presión mínima de 100 PSI y el estudio ADA demuestra que existen picos de caída de presión menores del requerimiento mínimo, que ocasionan descontrol en las distintas máquinas del molino, ya que el flujo de aire no llega a la presión necesaria. Esto provoca tiempos perdidos en accionamiento de cilindros neumáticos sin la fuerza mecánica necesaria para su funcionamiento eficiente, descontrol de máquinas y paros en el molino innecesarios.

La red de aire comprimido no cumple con los requerimientos de calidad para el tratamiento de condensado, ya que el aire generado debe ser el correspondiente a una empresa alimenticia. Debe contar con la menor cantidad de impurezas en el sistema, por lo que se considera una reingeniería en el sistema actual de redes de aire comprimido.

Figura 106. **Consumo y presión durante todo el periodo de medición**



Fuente: KAESER. *Estudio del sistema de generación de aire comprimido*. p.8.

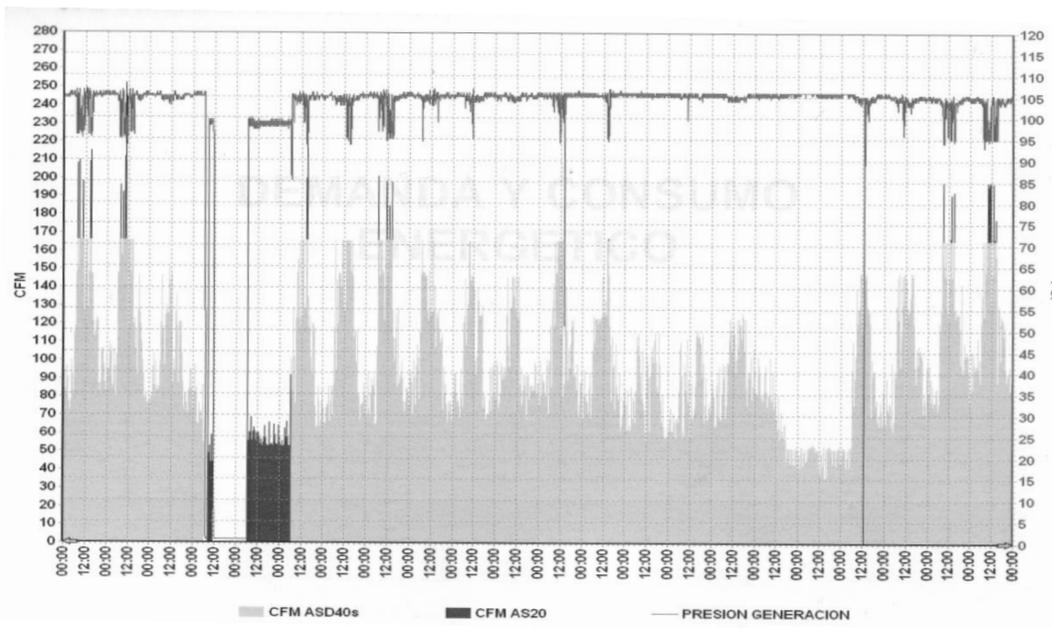
En la figura 107 observamos el uso de los distintos compresores en el sistema, donde el de mayor funcionamiento es el compresor de 50 HP y los de 30 HP se utilizan únicamente en momentos pico del sistema. Se observa periodos de gráfica en los que únicamente funcionan los compresores de 30 HP; estos son los momentos de mantenimiento del compresor de 50 HP, como se había mencionado anteriormente.

Se observa las grandes caídas de presión de la generación del aire comprimido deficiente en el sistema, en todo el proceso de medición.

3.5.2. Efectos del nuevo sistema de aire comprimido en el proceso de producción

A través de la compra de los compresores de aire KAESER AS 20 y Kaeser ASD 40 S con 55,86 % y 60,78 % de carga respectivamente, se obtiene mejor control de la presión en el sistema. Como se puede observar en la figura 107, existe una tendencia horizontal de la presión de entrega al sistema; esta es continua y sin mayores altibajos de presión, como la realizada con los compresores actuales.

Figura 107. Consumo y presión continua durante el periodo de medición



Fuente: KAESER. *Estudio del sistema de generación de aire comprimido*. p.8.

Como se muestra en la figura 107, se puede mantener la cantidad en CFM demandada, con un compresor de 40 HP y en los momentos críticos de requerimiento de aire comprimido el de 20 HP, lo cual reduce considerablemente el consumo de energía eléctrica.

Con el nuevo sistema se mejora el funcionamiento de los distintos equipos de producción; ofrece un sistema más confiable y económico, con funcionamiento eficiente de los distintos equipos, evita el descontrol de máquinas y paros en el molino innecesarios. Con la nueva configuración de la red de aire comprimido se logrará un mejor tratamiento del aire; evita impurezas en el sistema, ofrece aire puro y seco para los distintos equipos como electroválvulas, cilindros neumáticos y máquinas utilizada en procesos alimenticios, en este caso producción de harina; mejora el funcionamiento de las máquinas y aumenta su vida útil.

3.5.3. Capacidad actual de producción versus cantidad de producto demandado

La cantidad de producto producida es menor a la capacidad de producción actual de los molinos de INHSA. Se produce lo que se demanda según los pronósticos de ventas del producto.

Actualmente se demandan 18 000 toneladas de trigo en los meses de mayor auge del producto; esto significa que se debe producir un promedio de 600 toneladas de trigo por día, con los molinos A y B y 2 molinos adicionales que son parte de la misma corporación.

Para tomar una idea de la capacidad de producción por molino, actualmente el molino A tiene una capacidad de producción de 350 toneladas procesadas de trigo por día, B puede producir 140 y en los otros molinos se puede producir un promedio de 400 toneladas por día. Esto significa que solo INHSA tiene la capacidad de producir 490 toneladas procesadas de trigo por día, para un total aproximado de 900 toneladas en toda la corporación.

Si se tiene un crecimiento de la demanda del 2 % anual, se necesitarían 20 años para saturar la producción teórica de los distintos molinos, tomando en cuenta la demanda actual del segmento de mercado que abastece Molinos Modernos. Se concluye que no es necesario aumentar el número de molinos existente de INHSA, por lo que se debe adquirir un compresor de acuerdo con las necesidades actuales de producción. La única modificación importante prever en tiempos venideros, es transformar la configuración actual de la red de aire comprimido a un circuito en serie para agregar más equipos de compresión al circuito en línea mejorado.

3.5.4. Beneficios del nuevo sistema de aire comprimido en ventas, producción e inventarios

En la práctica, producción, ventas e inventarios van estrechamente de la mano. Si se tiene una mejor producción hay beneficios en ventas e inventarios, porque el sistema mejorado de producción permite ofrecer mayor cantidad de productos, con mayor calidad y menor precio, aumentar la cantidad de inventarios actual para abastecer las ventas de producto demandado.

A través del nuevo sistema de aire comprimido se tiene un sistema de producción más confiable. Con el funcionamiento de todos los equipos neumáticos en condiciones óptimas, no existe deficiencias o paros innecesarios en el molino por presión de entrega de aire; este será más limpio y sin impurezas y se eliminarán altos y frecuentes costos de mantenimiento en equipos de compresión. A la vez se podrá reducir un 50 % el costo actual de energía eléctrica por generar aire comprimido y disminuir considerablemente el costo de producción de trigo en la planta, con mayores ganancias por unidad de venta del producto, Se tiene la posibilidad de disminuir precios de ventas, para introducir productos a nuevos segmentos de mercados del país.

3.5.5. Ahorro de energía y confiabilidad de los nuevos compresores al sistema de producción

En las siguientes figuras se presentan los ahorros anuales a través del sistema de aire comprimido mejorado.

Figura 108. **Costos anuales de electricidad con compresores actuales**

COMPRESORES DE INHSA															
Septiembre						Octubre									
D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S		
37		1	2	3	4	5	6	41				1	2	3	4
38	7	8	9	10	11	12	13	42	5	6	7	8	9	10	11
39	14	15	16	17	18	19	20	43	12	13	14	15	16	17	18
40	21	22	23	24	25	26	27	44	19	20	21	22	23	24	25
41	28	29	30					45	26	27	28	29	30	31	

	PSI	PERFIL	ABSOLUTO	PROMEDIO	SIN DESC.
Mínimo	67.16		0.00	96.14	104.75
Máximo	115.24		119.35	105.17	115.02
Promedio	108.90		100.03	100.03	111.97

	CFM	PERFIL	ABSOLUTO	PROMEDIO	SIN DESC.
Mínimo	72.39		0.00	95.26	110.17
Máximo	249.57		249.57	163.29	176.89
Promedio	154.63		120.38	120.38	134.25

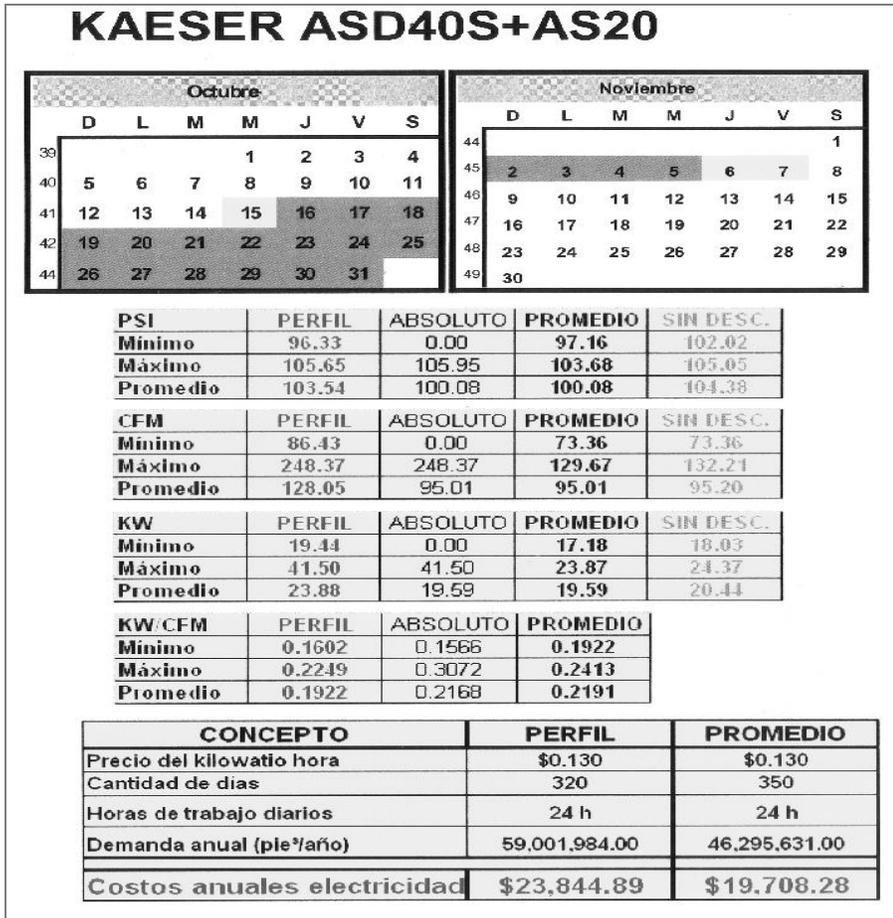
	KW	PERFIL	ABSOLUTO	PROMEDIO	SIN DESC.
Mínimo	19.51		0.00	30.87	36.48
Máximo	62.12		62.71	42.92	46.50
Promedio	43.63		35.73	35.73	39.92

	KW/CFM	PERFIL	ABSOLUTO	PROMEDIO
Mínimo	0.2323		0.1939	0.2678
Máximo	0.5397		0.4694	0.3400
Promedio	0.2901		0.3021	0.3029

CONCEPTO	PERFIL	PROMEDIO
Precio del kilowatio hora	\$0.130	\$0.130
Cantidad de días	320	350
Horas de trabajo diarios	24 h	24 h
Demanda anual (pie/año)	71,541,190.83	69,119,129.26
Costos anuales electricidad	\$46,918.28	\$44,444.83

Fuente: KAESER. *Estudio del sistema de generación de aire comprimido*. p.9.

Figura 109. Costos anuales de electricidad con compresores Kaeser



Fuente: KAESER. *Estudio del sistema de generación de aire comprimido.* p.10.

En la figura 109 se presentan los valores correspondientes de presión en PSI, demanda en CFM y KW correspondiente tanto para los compresores existentes como los compresores Kaeser. Se obtiene la demanda anual en CFM y el costo en dólares para producir dicha cantidad de aire, con el fin de conocer el costo anual de electricidad equivalente para aire comprimido.

Los ahorros anuales a través de un sistema de aire comprimido mejorado son:

Perfil US\$ 23 073,39

Promedio US\$ 24 736,55

3.6. Análisis financiero del proyecto

En este se determina la viabilidad financiera del proyecto, sus objetivos son ordenar y sistematizar la información de carácter monetario. La sistematización de la información financiera consiste en identificar y ordenar todos los aspectos de inversiones, costos e ingresos que puedan deducirse.

- Inversiones

Es todo desembolso dinerario que se efectúa en una cantidad de tiempo, en la adquisición de determinados recursos para la implementación de una nueva unidad de producción, que en el transcurso del tiempo va a generar flujos de beneficios.

El plan de inversión está estructurado por los siguientes rubros:

- Inversión fija.
- Inversión diferida.
- Capital de trabajo.

La inversión total está integrada por la inversión fija, diferida y el capital de trabajo para un año. La inversión total asciende a un monto de US\$ 77 222,00 información que se presenta en el siguiente cuadro.

Tabla LXVIII. **Inversión del proyecto**

Descripción	Subtotal (\$)	Total (\$)	%
Inversión fija		54 037	69,97
Compresores	28 636		
Secadores	7 021		
Depósitos de aire	6 494		
Equipo y otros	10 371		
Tubería y accesorios	1 515		
Inversión diferida		3,477	4,5
Repuestos	2 702		
Mano de obra indirecta para mantenimiento	775		
Capital de trabajo		19,708	25,53
Costo de energía eléctrica	19 708		
Total de inversión		77 222	100

US\$ 24 736,55

Fuente: elaboración propia.

La depreciación (método de línea recta) se considera partiendo del costo de adquisición del activo, el período de servicio y el valor de rescate, que representa el monto del activo que se recuperará al finalizar la vida útil de servicio. Los cálculos sobre depreciaciones se efectuaron con base en la ley del Impuesto Sobre la Renta, la cual fija el porcentaje que se debe de aplicar a cada uno de los activos depreciables, situación que se describe en el siguiente cuadro.

Tabla LXIX. **Depreciación total**

Depreciación	Valor original	Valor de rescate	Vida útil años	Dep. anual
Compresores	28,636	7159	10	2147.7
Secadores	7,021	1755	10	526.6
Depósitos de aire	6,494	1623.5	10	487.05
Equipos	10,371	2592.75	10	777.82
Costo Total	52,522	13,130.5		3939.175

Fuente: elaboración propia.

3.6.1. Tasa interna de retorno de la inversión

La Tasa Interna de Retorno (TIR) define un criterio para evaluar, basado en el retorno porcentual (%) que en promedio anual rinde un proyecto.

Este valioso indicador de la rentabilidad de un proyecto se utiliza como método alternativo para tomar la decisión de invertir.

Se refiere a la tasa de interés que hace que el valor presente neto del proyecto sea igual a cero. Es la tasa que iguala la suma de flujos descontados a la inversión inicial.

La tasa de rendimiento mínima aceptable (TREMA) con que se evaluó el proyecto fue de 18 %, la cual responde en la actualidad a rendimientos promedios de inflación, inestabilidad y el premio al riesgo del sistema bancario que constituye el costo de oportunidad de la inversión. Se constituyó de la siguiente manera:

$$\text{TMAR: } i + f + (i * f)$$

Donde:

i = premio al riesgo

f = inflación.

(i= 2,5, f = 4,4) la cual representa una adecuada tasa de rentabilidad para los fondos invertidos del proyecto.

Se está invirtiendo en compresores, secadores y otros equipos que tienen un costo inicial de US\$ 52 522,00 y una vida útil de 10 años, en los cuales su valor de salvamento es de US\$ 13 130,50. Los costos de operación y mantenimiento son de US\$ 3 121,56/año y se espera que los ingresos por el aprovechamiento de la máquina asciendan a US\$ 24 736,55.

Ci: US\$ 52 522,00

N = 10

Vs= US\$ 13 130,50

Cop = US\$ 3 121,56/año

Ingresos= US\$ 24 736,55/año

TIR = ?

Tabla LXX. **Cálculo de TIR**

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ci	-52,522.00											
vs												13131
Ingresos		24737	24737	24737	24737	24737	24737	24737	24737	24737	24737	24737
Egresos		-3152	-3152	-3152	-3152	-3152	-3152	-3152	-3152	-3152	-3152	-3152
FLUJO	-52,522.00	21585	34715									

Fuente: elaboración propia

$$VAN = -52\ 522 + \frac{21\ 585}{1,1} + \frac{21\ 585}{(1,1)^2} + \frac{21\ 585}{(1,1)^3} + \frac{21\ 585}{(1,1)^4} + \frac{21\ 585}{(1,1)^5} + \frac{21\ 585}{(1,1)^6} + \frac{21\ 585}{(1,1)^7}$$

$$\frac{21\,585}{(1,1)^8} + \frac{21\,585}{(1,1)^9} + \frac{21\,585}{(1,1)^{10}} + \frac{34\,715}{(1,1)^{11}} = 92\,276,04$$

$$\text{VAN} = 92\,276,04 \quad \rightarrow i = 10 \%$$

$$\text{VAN} = -96\,99,28 \quad \rightarrow i = 50 \%$$

Cálculo de TIR

$$92\,276,04 \quad \rightarrow i = 10 \%$$

$$0 \quad \rightarrow i = 50 \% \rightarrow$$

$$-96\,99,28 \quad \rightarrow i = 50 \% \quad \frac{92\,276,04 - 0}{92\,276,04 + 96\,99,28} = \frac{0,1 - x}{0,1 - 0,5} \quad X = 0,145$$

$$\text{TIR} = 14,5 \%$$

3.6.2. Cálculo del presupuesto total del proyecto

- Condiciones de la propuesta (Kaeser compresores)
 - Precios, los precios están expresados en dólares de Estados Unidos. Puede cancelarse en quetzales a la tasa de cambio del día de pago.
 - Forma de pago, 100 % contado contra entrega.
 - Flete, estos precios son válidos puestos los equipos en las bodegas del proveedor, sin embargo, se puede hacer entrega del equipo en la planta, con un cargo adicional de Q 700,00 (setecientos quetzales exactos). No se incluye montacargas; se recomienda tener preparado uno de tres toneladas para su traslado en la planta.

- Tiempo de entrega, 5 días hábiles, salvo previa venta, después de recibida la orden de compra.
- Validez de la oferta, 30 días.
- Garantía, 2 años por defectos de fabricación en tornillo, motor principal y sigma control. Un año por defectos de fabricación en el resto del equipo. Se excluye el caso de mala instalación, mala operación, daño intencional, desastres naturales y variaciones drásticas en energía eléctrica.

Adicional garantía extendida a 5 años a unidad compresora, motor eléctrico, sigma control y radiador, si se cuenta con contrato de servicio de 5 años.

El equipo se entregará con su respectivo manual original. La instalación por parte de KAESER COMPRESORES se contrata por separado, pero se incluye el arranque inicial, pruebas de funcionamiento del compresor, instrucción para la operación y la asesoría en la instalación de los equipos.

Tabla LXXI. **Presupuesto total del proyecto**

No.	Equipo	Costo en dólares (US\$)
1	Compresor ASD40S, 125 psi Trivoltaje US	\$ 16 529,00
2	Compresor AS 20 125 psi SCB Trivoltaje	\$ 12 107,00
3	Secador Frigorif. TD	\$ 7 021,00
4	Depósito de aire comprimido 3,000 litros	\$ 6 494,00
5	Filtro separador de condensado	\$ 907,00
6	Filtro para aerosoles extrafinos	\$ 937,00
7	Drenaje condensado ECO-DR.13 115VAC	\$ 1 526,00
8	Drenaje de condensado ECO-DR.13 115VAC	\$ 507,00
9	Tubería y accesorios	\$ 1 515,00
9	Total presupuesto del proyecto	\$ 47 541,00

Fuente: KAESER. *Compresores.*

Los costos totales por equipo anteriores no incluyen IVA.

3.6.2.1. Cotización de maquinaria por instalar

En la siguiente figura se presenta el presupuesto correspondiente a la maquinaria que se considera adecuada para el proyecto.

Figura 110. Presupuesto de maquinaria

KAESER COMPRESORES				
-3-				
OFERTA ECONOMICA				
8491801				
Pos.	Ctd.	Descripción Referencia	Precio Unitario	Precio Total(USD)
10	1.00	PZA ASD 40S 125 psi TriVoltage US 100624.10001		
		Tipo:	ASD 40S	
		Conexión eléctrica:	208/230/460 V / 3 Ph / 60 Hz	
		Presión servicio máx. [psi]:	125.0 psi	
		NETO Pos.	16,529.00	16,529.00
20	1.00	PZA Compresor AS 20 125 psi SCB TriVolt. 100917.00001		
		Tipo:	AS 20	
		Conexión eléctrica:	208/230/460 V / 3 Ph / 60 Hz	
		Presión servicio máx. [psi]:	125.0 psi	
		Versión sistema de control:	Sigma Control Basic	
		NETO Pos.	12,107.00	12,107.00
30	1.00	PZA Secador frigoríf. TD 76 460/3/60 1.8036.10010		
		NETO Pos.	7,021.00	7,021.00
40	1.00	PZA Depós.aire compr. 3000/11 ve. galv PED 3.5370.20040		
		NETO Pos.	6,494.00	6,494.00
		El precio contiene la posición 50		
50	1.00	PZA Juego acces. p. depósito ve. 3000/11,0 8.3050.00010		
		SUBTOTAL		42,151.00
		Descuento (%)	5.000-	2,107.55-
		Flete		83.04
		SUBTOTAL		40,126.49
		IVA	12.00 %	4,815.18
		IMPORTE TOTAL DE LA OFFERTA		44,941.67

Fuente: KAESER. Compresores.

3.6.2.2. Costo inicial del equipo y accesorios

EN la siguiente figura se presenta la propuesta correspondiente a los accesorios que se consideran adecuados para el proyecto.

Figura 111. Presupuesto de equipos y accesorios

KAESER COMPRESORES				
-3-				
OFERTA ECONOMICA				
8491803				
Pos.	Ctd.	Descripción Referencia	Precio Unitario	Precio Total(USD)
10	1.00	PZA Filtro separador de condensado KFS 375 USKFS375 NETO Pos.	907.00	907.00
20	1.00	PZA Filtro para aerosoles extrafinos KOR-375 USKOR375 NETO Pos.	937.00	937.00
30	2.00	PZA Drenaje cond. ECO-DR.13 115VAC 8.0713.00070 NETO Pos.	763.00	1,526.00
40	1.00	PZA Drenaje cond. ECO-DR.12 115VAC 8.0712.00060 NETO Pos.	507.00	507.00
SUBTOTAL				3,877.00
Descuento (%)			5.000-	193.85-
SUBTOTAL				3,683.15
IVA			12.00 %	441.98
IMPORTE TOTAL DE LA OFFERTA				4,125.13

Fuente: KAESER. Compresores.

La lista de costos de tuberías y accesorios para la instalación fue proporcionada por empresas proveedoras de equipo neumático.

Tabla LXXII. **Costo de equipos y accesorios**

Accesorios	Diámetro	Precio	Cantidad	Total
Codos HG DE 90°	3"	Q 115,00	6	Q 690
Tee hg	3"	Q 85,00	4	Q 340,00
Unión universal	3"	Q 290,00	2	Q 580,00
Llaves de paso de bronce	3"	Q 1 500,00	2	Q 3 000,00
Válvula antirretorno bronce	3"	Q 800,00	4	Q 3 200,00
Codo reductor bushin	3" a 1 1/2"	Q 200,00	2	Q 400,00
Te reductor bushin	3" a 1 1/2"	Q 175,00	4	Q 700,00
Tubería cedula 40	3"	Q 800	4	Q 3 200,00
Sumatoria total				Q 12 110,00

Fuente: *venta de tuberías y accesorio ALAISA.*

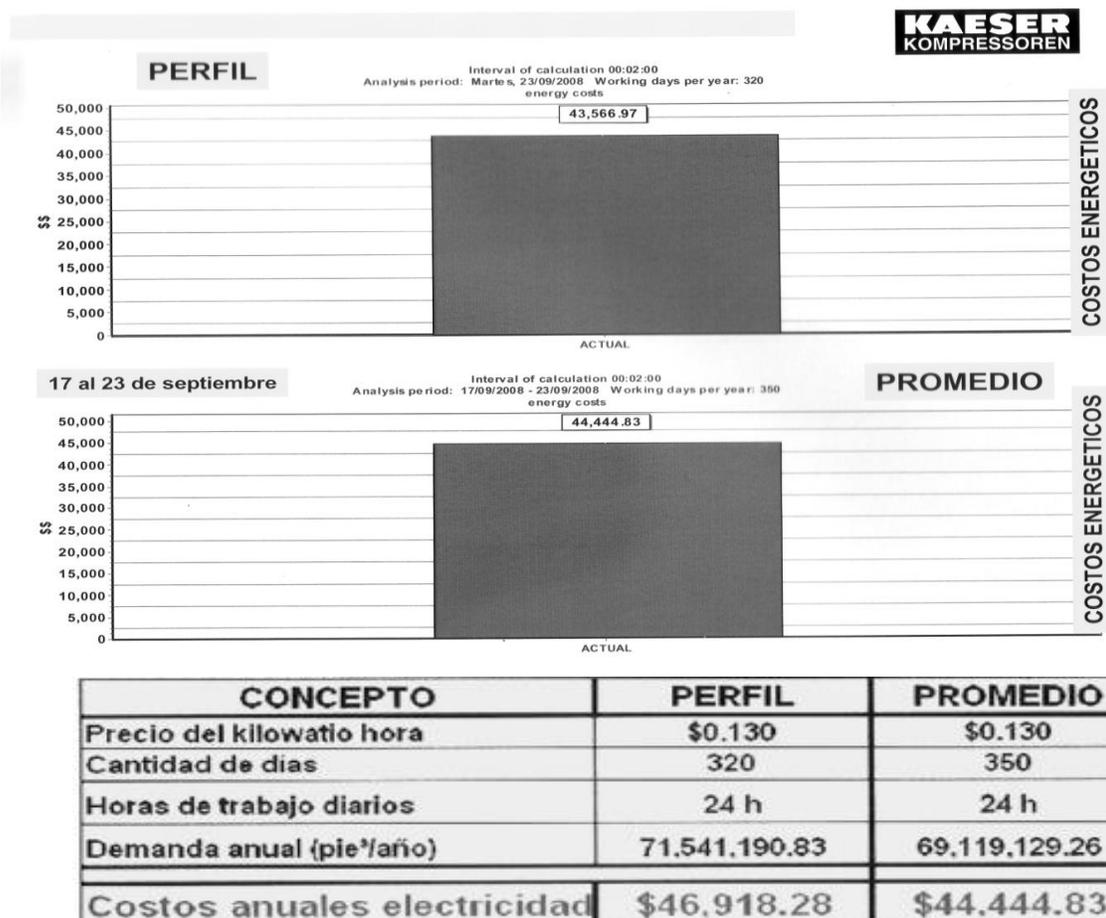
3.6.2.3. Costos de mano de obra directa e indirecta

El proyecto de la red de aire comprimido modificada se realizará en un promedio de tiempo de dos meses. La mano de obra para la instalación se puede clasificar como no pagada, debido a que será realizado por los mecánicos del taller de mantenimiento, compuesto por ayudantes, soldadores, y mecánicos eléctricos.

3.6.2.4. Cálculo de ahorro de energía eléctrica y factores de potencias

Según el análisis energético ADA de la situación actual, el perfil de demanda y el promedio de la semana del 17 al 23 de septiembre, para todos los compresores, es:

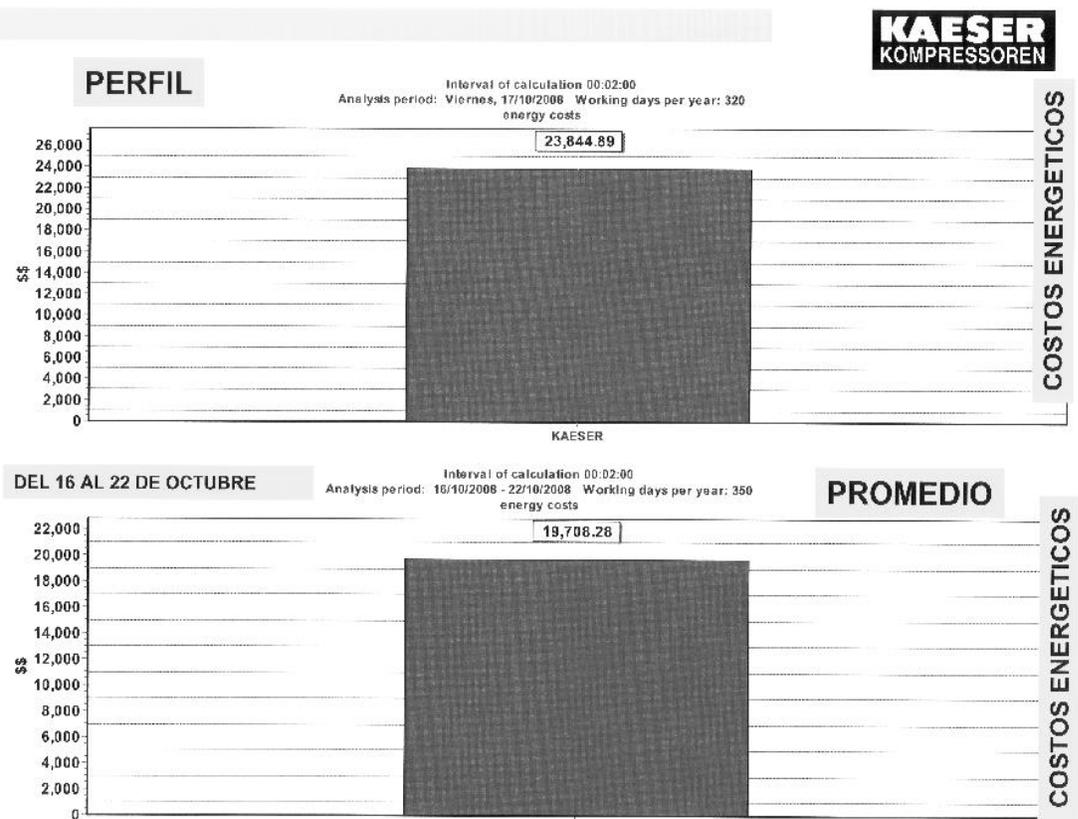
Figura 112. Costos energéticos anuales con equipos actuales



Fuente: KAESER. Compresores.

Análisis energético de la situación actual, según el perfil de demanda y el promedio de la semana del 17 al 23 de septiembre, para todos los compresores Kaeser propuestos.

Figura 113. **Costos energéticos anuales con compresores nuevos**



CONCEPTO	PERFIL	PROMEDIO
Precio del kilowatio hora	\$0.130	\$0.130
Cantidad de dias	320	350
Horas de trabajo diarios	24 h	24 h
Demanda anual (ple ³ /año)	59,001,984.00	46,295,631.00
Costos anuales electricidad	\$23,844.89	\$19,708.28

Fuente: KAESER. *Compresores.*

3.6.2.5. Costo de mantenimiento

- Convenio de mantenimiento preventivo

Durante el primer año, se realizará servicios de mantenimiento preventivo y visitas de control a los diversos equipos instalados en la planta de INHSA. El equipo que está contemplado en esta propuesta es un compresor, modelo ASD40S y AS20 con horas estimadas al año equivalentes a 7 200 y 2 000, respectivamente.

- Costo mensual del contrato:

Tabla LXXIII. Costo mensual de contrato de mantenimiento

Total, de repuestos	\$ 2 702,03
Descuento 10 %	\$ 270,20
Total, cuota anual con descuento	\$ 2 431,83
Cuota mensual de repuestos	\$ 202,65
Total, de mano de obra	\$ 775,00
Descuento 10 por ciento	\$ 77,50
Total, mano de obra anual con descuento	\$ 697,50
Cuota mensual mano de obra	\$ 58,13
Total, cuota mensual	\$ 260,13

Fuente: convenio de mantenimiento preventivo Kaeser Compresores, p. 2.

- Horario extraordinario para atención al cliente

Normalmente, cuando se requiere un servicio de mantenimiento o de emergencia en días hábiles, pero después de las 18:00 horas hasta las 8:00 horas del día siguiente, se cobra un recargo de un 35 % adicional a la tarifa normal de cobro por concepto de horas extras. En el caso de los días sábado y domingo, el recargo es de un 45 % de la tarifa a partir del sábado a las 12:00 horas hasta el lunes a las 8:00 horas. Como beneficio adicional al presente convenio, cualquier costo por horas extraordinarias o tiempo utilizado en atención de emergencias están incluidas en el presente, sin costo adicional para el cliente.

- Condiciones del convenio

Este convenio es aplicable específicamente a las unidades y equipos listados arriba. El objeto de este convenio es dar apoyo y soporte oportuno en el mantenimiento preventivo de dichos equipos.

Los intervalos de servicio sugeridos son basados en horas de operación, pero es la responsabilidad del cliente facilitar el equipo el tiempo necesario, para que reciba el mantenimiento apropiado y reparaciones de acuerdo con lo recomendado. Así mismo, el cliente asume la responsabilidad del costo que se derive por las reparaciones necesarias por no realizar el mantenimiento a tiempo.

El cliente se compromete a observar de manera rutinaria el nivel de lubricante, limpieza de filtros y prefiltros de aire y radiador, o algún otro componente que sea sugerido en los formatos correspondientes por el ingeniero de servicios en turno.

Kaeser Compresores de Guatemala y Cía. Ltda. no asume responsabilidad por el costo de reparación del equipo KAESER, pérdida de producción, lesiones, cargos de arrendamiento, o cualquier otro costo, resultado de algún fallo derivado de negligencia, imprudencia o manipulación incorrecta por parte del personal propio o cualquier otro tercero ajeno a Kaeser Compresores de Guatemala y Cía. Ltda.

Los repuestos utilizados por caso de servicios de emergencia citados en el inciso anterior no están incluidos en el convenio de mantenimiento, y en caso de necesitarse, se facturarán por separado y aparte del presente. Este convenio puede ser cancelado de mutuo acuerdo por cualquier causa, previa notificación por escrito con 30 días de anticipación.

Este convenio incluye los repuestos que se pudieran necesitar durante un año de operación normales de mantenimiento de los equipos listados, de acuerdo con las horas estimadas proporcionadas por el cliente. Si los compresores trabajaran más horas de lo estimado y se necesitaran repuestos y mano de obra adicionales, estos tendrían que cobrarse por aparte a la cuota mensual del convenio de mantenimiento al finalizar el período de vigencia del convenio.

Si al final del período de vigencia del presente convenio los compresores utilizaran menos repuestos de lo estimado, dichos repuestos y mano de obra se descontarán del plan de mantenimiento del siguiente año.

O si por cualquier motivo el cliente cayera en mora de 3 meses por los servicios prestados, se suspenderá el servicio sin perjuicio para Kaeser Compresores de Guatemala y Cía. Ltda. hasta que la deuda quede saldada y a partir de esa fecha se reanudarán los servicios.

3.6.2.6. Ventajas de la nueva propuesta y superación de los problemas encontrados

- Ahorro de energía eléctrica de un 50 % al consumo promedio actual.
- Disminuirán los costos de mantenimiento actual, en equipos de compresión.
- Existirá un proceso más eficiente de generación de aire comprimido.
 - Circuito de aire comprimido en serie, con mejor sistema para mantenimiento y tratamiento de condensado.
 - Compresores más eficientes.
 - Tanque de almacenamiento.
 - Evitar cargar y descargar frecuentemente al compresor, por lo tanto, reducir mantenimiento y reparación de componente de control.
 - Recolectar condensado, para eliminarlo del sistema antes de tratamiento.
 - Ayudar a estabilizar la presión del sistema y prevenir arranque de compresores innecesarios.
- A través del nuevo sistema de aire comprimido, se tiene un sistema de producción más confiable.
 - Presión constante de entrega a los equipos.
 - Eliminar impurezas del aire que ocasionan deterioro de equipos y electroválvulas.

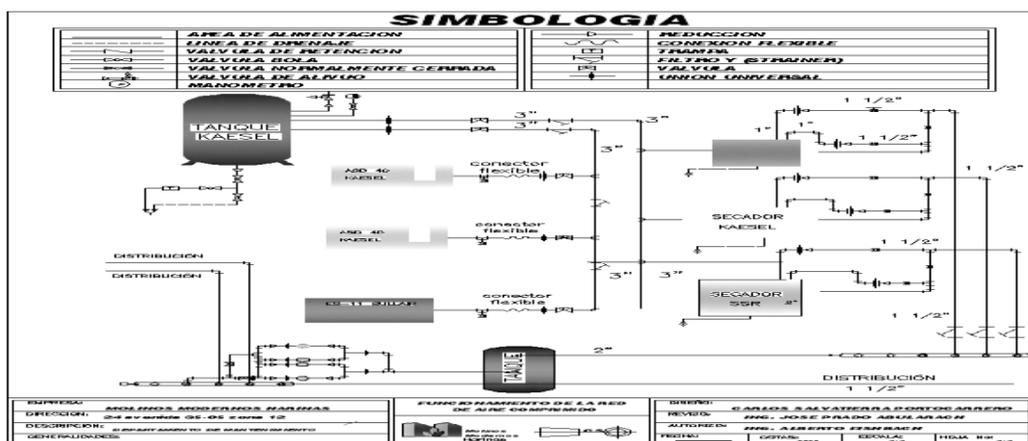
4. MONTAJE E INSTALACIÓN DE COMPRESORES Y LÍNEA DE AIRE COMPRIMIDO

En el siguiente capítulo se detalla los elementos necesarios a considerar para la instalación correcta de los equipos nuevos, desde la cimentación hasta los detalles técnicos más mínimos que se deben considerar para su correcta instalación, también se detalla el plan de mantenimiento preventivo de los equipos considerando la recomendación que establece el manual del fabricante.

4.1. Realizar un plano de la instalación, para el acomodamiento óptimo de los distintos equipos

En la siguiente figura se presenta el circuito propuesto para la instalación de todos los equipos nuevos en el cuarto de compresores.

Figura 114. Circuito para instalar en sala de compresores, INHSA B



Fuente: elaboración propia, empleando Autocad MEP 2010, Autodesk.

En la figura 115 se presenta la nomenclatura del circuito por instalar en la sala de compresores. En este se presenta la secuencia de los equipos y los accesorios por utilizar.

4.1.1. Posición idónea de la línea neumática por instalar

En las figuras del 115 al 117 se observan los nuevos equipos que se desea colocar en la sala de compresores:

- Un tanque de almacenamiento de tipo vertical.

Figura 115. **Tanque de almacenamiento Kaeser**



Fuente: *Kaeser Compresores.*

- Sustituir dos compresores de tornillo

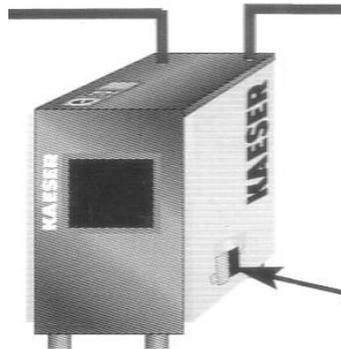
Figura 116. **Compresores de tornillo helicoidal**



Fuente: *KAESER*. Compresores.

- Sustituir un secador de aire comprimido

Figura 117. **Secador de aire Frigorif TD 76**



Fuente: *KAESER*. Compresores.

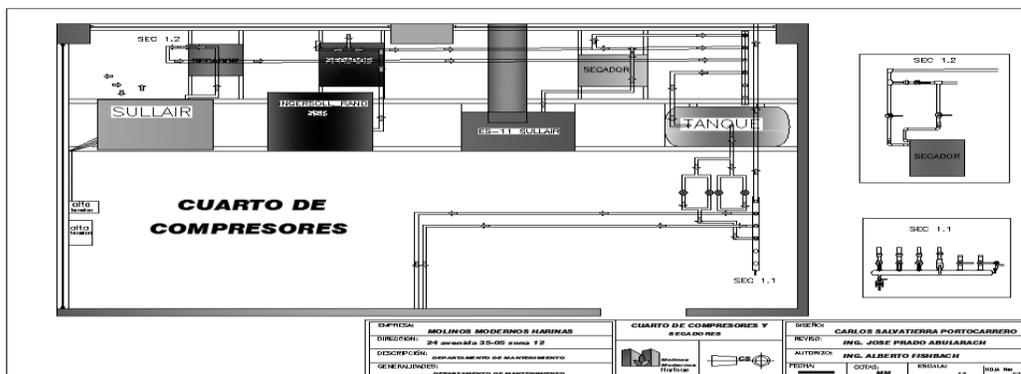
- Tubería de 3" 2" y 1 1/2"
- Accesorios de las distintas tuberías

Para dicha instalación es importante considerar los siguientes factores:

- Acomodar los accesorios y equipos nuevos en la sala de compresores.
- Colocar los equipos y accesorios en la posición más económica posible.
- Acomodar las condiciones actuales de los equipos al sistema mejorado y evitar al máximo el movimiento de los equipos.
- Cambiar las condiciones actuales de un circuito paralelo, a uno en serie.

En el siguiente gráfico se presenta la instalación actual del cuarto de compresores de INHSA, Molinos Modernos el cual utilizaremos para el acomodo de los distintos equipos nuevos.

Figura 118. **Diseño de la instalación actual del cuarto de compresores**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 119 podemos observar que tanto los compresores de tornillo como los secadores se encuentran sujetos a una misma base, que consta de dos columnas de acero que sostiene todos los equipos. Dicha base se encuentra anclada al piso y a las paredes de la sala de compresores. Los equipos están sujetos de una manera segura y confiable ya que los compresores son fabricados con la característica técnica de emitir vibración leve al momento de su funcionamiento.

Se considera una opción favorable para la instalación, únicamente desinstalar los compresores y secadores que ya no se utilizarán en el sistema, luego instalar los nuevos en la misma posición de los anteriores. El tanque de almacenamiento vertical, que será encargado de eliminar el condensado inicial por gravedad, se debe instalar cerca de los compresores, para ahorro de tubería y accesorios en la instalación. Adicional a esto se considera el área con mayor espacio, para prever mantenimiento futuro del tanque húmedo.

4.1.2. Ubicar en un plano la tubería e instalación de aire comprimido

En la figura 119 se presenta la propuesta de la instalación de los nuevos equipos de la sala de compresores, en donde tanto los compresores como secadores antiguos ya fueron sustituidos por los compresores y secador Kaeser. Estos alimentan una tubería principal de 3", que se dirige al tanque de almacenamiento Kaeser instalado en la esquina inferior izquierda de la sala de compresores, según la figura 119; luego circula el fluido de aire comprimido con una tubería de 3" hacia los distintos secadores de aire, que luego alimentan los colectores para su distribución.

Figura 119. **Diseño mejorado del cuarto de compresores**



Fuente: elaboración propia.

4.2. **Instalación del compresor seleccionado**

Los compresores y el secador que se instalarán en la sala de compresores serán puestos en la base de acero que existe actualmente, en donde se debe seguir los siguientes lineamientos para una instalación segura:

- Para su instalación
 - Siga las instrucciones de seguridad industrial.
 - Realizar la instalación con el personal de mantenimiento, especialmente los electricistas industriales nivel uno.
 - Que el molino no esté en funcionamiento ni se estén llevando a cabo procesos de producción.
 - Desconecte y bloquee el interruptor principal de desconexión y verifique que el equipo no esté energizado.
 - Verifique que los contactos del relé del flotador no estén energizados.
 - Cierre válvulas o desconecte el equipo de la red de aire, para impedir que el aire comprimido circule de regreso al compresor.

- Antes de encender el equipo
 - Asegurarse de que nadie esté trabajando en el equipo.
 - Informar a los encargados de producción del molino.
 - Tanto las puertas como los paneles de acceso deben estar cerrados y asegurados.

- Labores en los sistemas de presión
 - Cierre válvulas de corte o desconecte el equipo de la red de aire, para impedir que el aire comprimido circule de regreso al compresor.
 - Descargue por completo todas las cámaras y todos los componentes presurizados.
 - Con la ayuda de manómetros, verifique que la presión de todos los acoples de manguera del equipo sea de “0” PSI.

- No abra ni desarme las válvulas
- Labores en el sistema de transmisión
 - Desconecte y bloquee el interruptor principal de desconexión y verifique que el equipo no esté energizado.
 - No levante la cubierta mientras el equipo esté encendido.

4.2.1. Selección de la ubicación de los compresores y su respectivo depósito de almacenamiento

Como se había establecido anteriormente, para la instalación de los compresores nuevos, se utilizarán los cimientos de los compresores antiguos. Queda pendiente considerar la ubicación del tanque de almacenamiento, por lo que se establecerán recomendaciones al momento de instalar el depósito de almacenamiento de aire comprimido. Un tanque seguro está limpio por dentro y por fuera, bien instalado y conectado, con dispositivos de seguridad.

- Seguridad

Un tanque de almacenamiento de aire puede explotar cuando no está bien instalado y no tiene dispositivo de seguridad. Las causas de la explosión son:

- Corrosión del metal del tanque.
- Vibración del tanque o la tubería conectada, incitado esfuerzos de fatiga ocasionando grietas con el tiempo.
- Dispositivos de seguridad deficientes o mal instalados.
- Golpe de ariete por el agua en el tanque o tuberías.

- Instalar un separador de aceite para evitar explosiones en el tanque de almacenamiento.
- Humedad

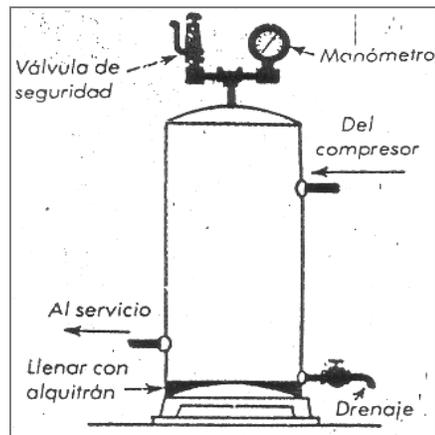
Para evitar la humedad externa de los tanques de aire deben estar ubicados en condiciones ideales para su utilización:

- En un lugar bien ventilado, fresco y seco.
- Evitar la humedad interna con separadores en el tubo que viene del compresor.
- Utilizar una válvula de drenaje en la parte más baja del tanque.
- Instalación
 - El tubo de salida al tanque debe ser del mismo diámetro o mayor que la conexión en el compresor.
 - En el tubo de salida del tanque debe existir una válvula de seguridad entre el compresor y el tanque de almacenamiento.
 - El tanque almacena el aire y sirve de pos enfriador; debe estar lo más cerca posible del compresor.

Formas correctas de instalar los tanques y conectar los dispositivos de seguridad:

- Si hay que colocar el tanque sobre el extremo cóncavo, rellene el fondo para evitar la corrosión.

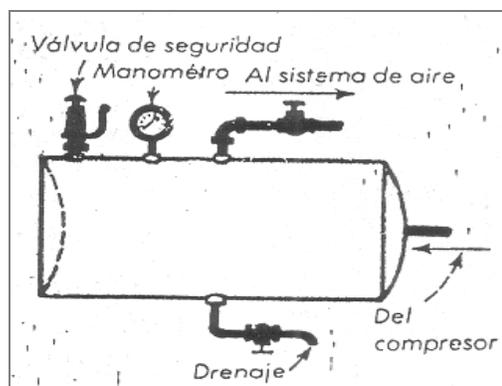
Figura 120. **Instalación correcta del tanque de almacenamiento de aire capacidad media tipo vertical**



Fuente: INGERSOLL RAND. *manual profesional de aire comprimido*. p.30.

- La forma correcta de instalar un tanque con cabeza cóncava o convexa es en posición horizontal.

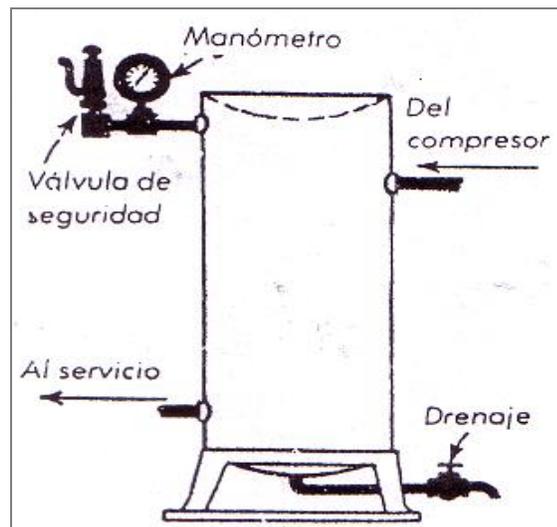
Figura 121. **Instalación correcta del tanque de almacenamiento de aire tipo horizontal**



Fuente: INGERSOLL RAND. *manual profesional de aire comprimido*. p.30.

- Si el tanque tiene que estar vertical, móntelo en un pedestal en fondo convexo.

Figura 122. **Instalación correcta de tanque de almacenamiento de aire con pedestal convexo**



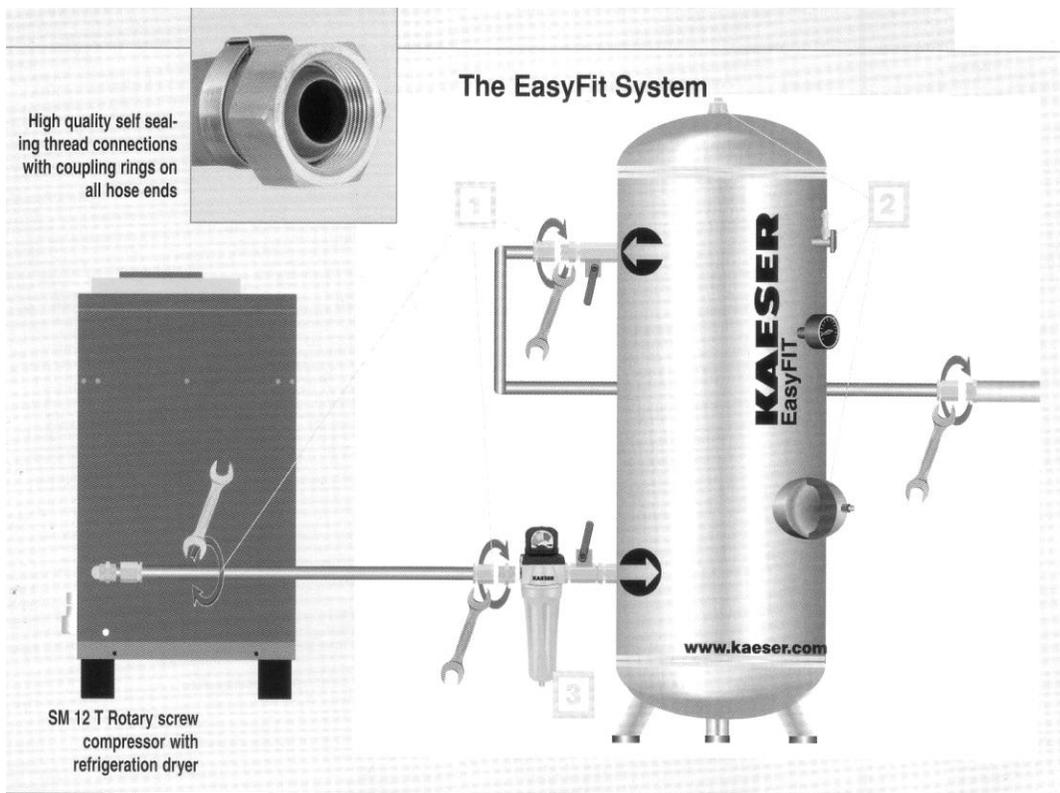
Fuente: INGERSOLL RAND. *manual profesional de aire comprimido*. p.31.

Según las condiciones de instalación establecidas anteriormente, se considera ubicar los compresores en la estructura existente de acero cimentada en el suelo; se evita invertir en nuevos anclajes y cimientos, considerando que dicha estructura es confiable para dicha aplicación.

El tanque de almacenamiento será instalado, en la esquina más cercana a los compresores, considerando que las condiciones prevalecientes de la sala de compresores son las ideales para su instalación y mantenimiento, para evitar grandes distancias de accesorios y tuberías.

El proceso de instalación del tanque, accesorios, tuberías se muestra en la figura 111.

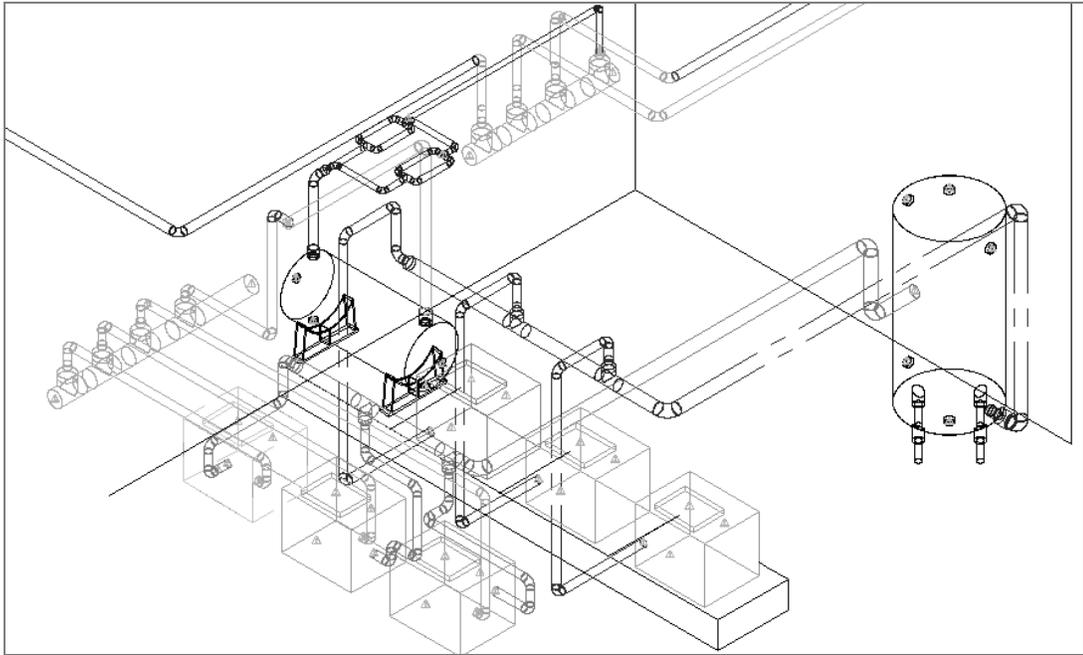
Figura 123. **Proceso de instalación del tanque de aire**



Fuente: *Kaeser Compresores.*

En la figura 124 se muestra la ubicación de los compresores y el tanque de almacenamiento Kaeser de tipo vertical, en la sala de compresores de INHSA Molinos Modernos.

Figura 124. **Ubicación de compresores y tanque de almacenamiento**



Fuente: elaboración propia.

4.2.2. Cimentación

Se denomina cimentación al conjunto de elementos estructurales cuya misión es transmitir las cargas de la edificación al suelo. Debido a que la resistencia del suelo es, generalmente, menor que los pilares o muros que soportará, el área de contacto entre el suelo y la cimentación será proporcionalmente más grande que los elementos soportados, excepto en suelos rocosos muy coherentes. La cohesión es la resistencia que oponen los átomos a separarse unos de otros.

Los cimientos son importantes ya que constituyen el grupo de elementos que soportan a la superestructura, para lo cual se utiliza la llamada zapata de cimentación. Esta divide las cargas de la edificación en partes iguales de manera que ninguna exceda a la otra.

En la mayoría de los casos de cimentación de máquinas, existen esfuerzos dinámicos que serán distintos según las características de la misma.

La sala de compresores está ubicada en el segundo nivel de INHSA, esto significa que no existe posibilidad de realizar una cimentación y se cuenta solo con la losa que conforma el suelo del dicho nivel.

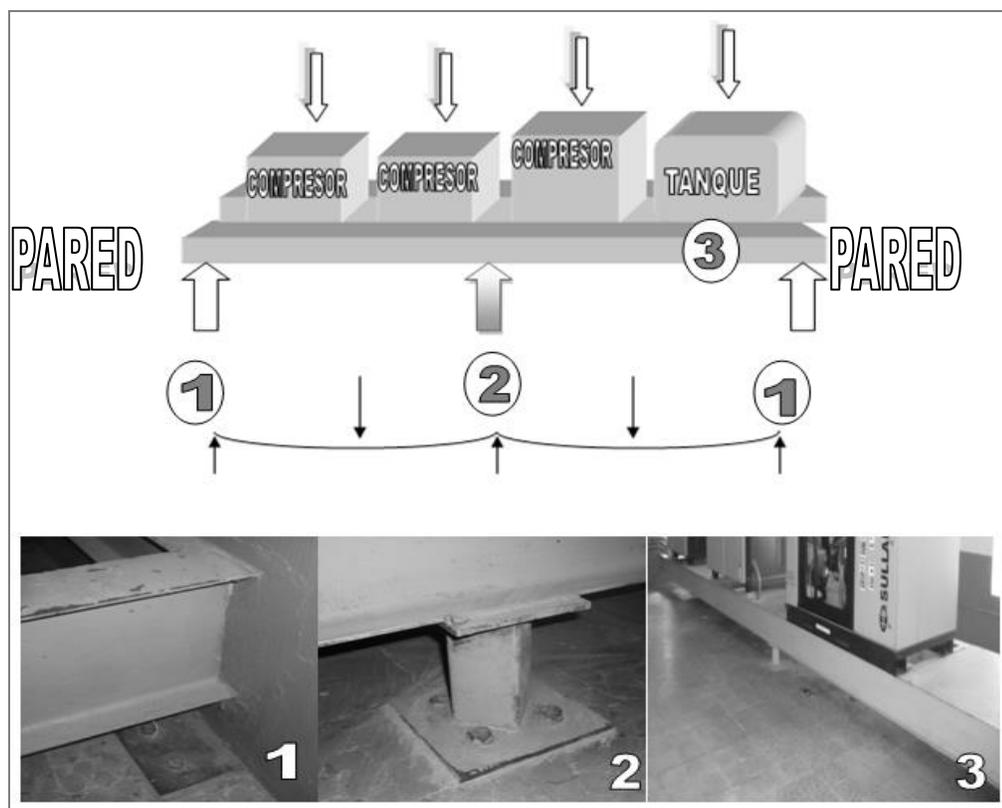
Por tal razón el ingeniero encargado pensó en instalar zapatas en las columnas de las paredes y suelo del edificio y en la parte del centro de la estructura de acero. Estas son las encargadas de distribuir uniformemente en la superficie de contacto y soportar la carga y las fuerzas oscilatorias debidas a masas en movimiento que actúan periódicamente.

Se sabe que cuando se necesite instalar máquinas en un mismo local o cuarto de máquinas, donde las distancias de separación entre ellas son similares en las dimensiones del cimiento para suelos de poca resistencia, es recomendable cimentarlas en una losa común, suficientemente fuerte y rígida, como la cimentación que soporta la viga que mantiene los equipos en una misma estructura, tiene las siguientes ventajas:

- Facilidad de organizar y acomodar el circuito de aire comprimido a través de las tuberías, disminuir el costo de suministrar tuberías en distintas posiciones y alturas.
- Cuarto de máquinas más limpio y ordenado.

- Facilidad de mantenimiento programado de los equipos.
- Protección de los equipos de contaminantes, agua, polvo, existentes en el suelo.
- Fácil montaje y desmontaje de equipos (como el cambio de compresores).

Figura 125. **Detalle de esfuerzos sobre estructura de compresores**



Fuente: elaboración propia.

Para que una máquina trabaje normalmente debe estar anclada a través de pernos cuya función principal es, asegurar los elementos estructurales a los cimientos y contrarrestar las fuerzas de volteo ejercidas por las máquinas o estructuras. El anclaje de cimentación se emplea para sujetar elementos estructurales al bloque de cimentación en el que se apoya.

4.2.3. Colocación de antivibratorios en el montaje del compresor

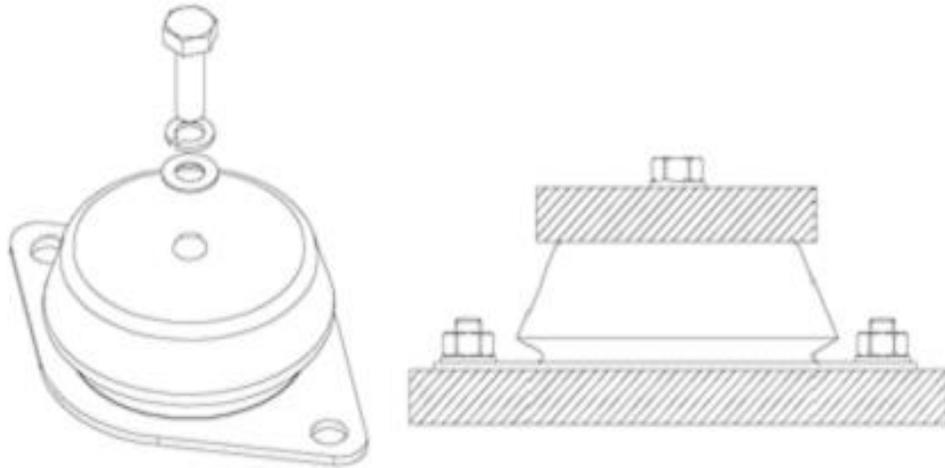
Para reducir las vibraciones transmitidas a la estructura, se recomienda instalar las máquinas sobre soportes antivibratorios de goma o de muelles suministrados como accesorio.

La operación de fijación de los soportes antivibratorio debe realizarse antes de ubicar la máquina al suelo.

- Soportes antivibratorios de goma, el soporte antivibratorio está compuesto por una campana metálica superior en donde hay un tornillo para proceder a la fijación con la base de la unidad. El soporte está fijado al zócalo mediante 2 orificios en el collar, que identifica la dureza del soporte de goma.

El esquema de las dimensiones con la huella en el suelo, que se entrega junto con la máquina, incluye la posición y la carga de cada antivibratorio.

Figura 126. **Antivibratorio de goma de metal**

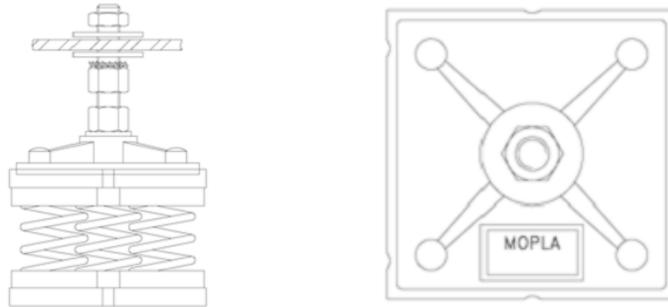


Fuente: HITECSA. manual de usuario.

- Soportes antivibratorios de muelles, los soportes antivibratorios de muelles cilíndricos son idóneos para el aislamiento de cualquier fuente de vibraciones sónicas y mecánicas. Cada antivibrador tiene un código que identifica la carga máxima permitida. Durante la fase de la instalación es muy importante respetar escrupulosamente las recomendaciones y las instrucciones de montaje.

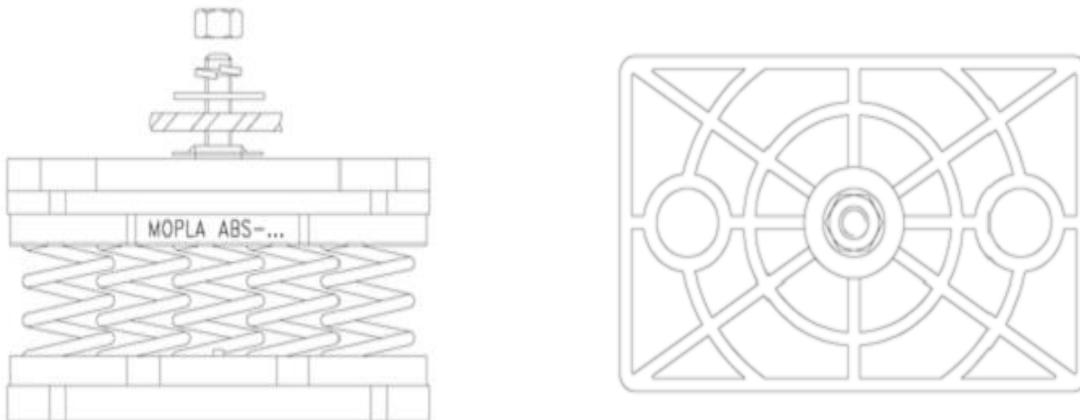
El esquema de las dimensiones con la huella en el suelo, proporcionado junto con la máquina, incluye la posición y la carga de cada antivibratorio.

Figura 127. **Antivibratorio de muelles estándar**



Fuente: HITECSA. manual de usuario.

Figura 128. **Antivibratorio de muelles con cargas elevadas**



Fuente: HITECSA. manual de usuario.

Los compresores para instalar no ejercen mayor vibración debido a que es de tipo tornillo helicoidal y tanto su ruido como movimiento son muy leves, por lo que se considera no necesarios para la instalación de los compresores. No se encuentra en el manual del fabricante ninguna recomendación sobre dicha aplicación de montaje.

4.3. Instalación de los distintos accesorios para las tuberías

- Se inspecciona la tubería y los accesorios cuidadosamente, para verificar su estado general, y encontrar algún desperfecto sufrido durante su transporte.

Figura129. **Accesorios y tuberías de aire comprimido**



Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

- Se mide las distancias de tubería en las distintas áreas de la instalación, adaptándola eficientemente a las condiciones preexistentes en la sala de compresores.

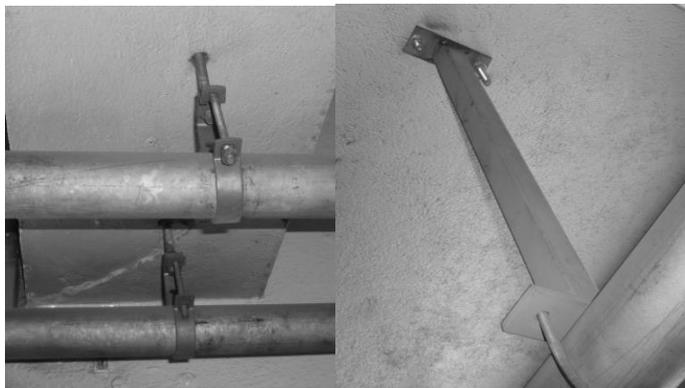
Figura 130. **Instalación de tubería de aire comprimido**



Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

- Se diseñan los soportes de tuberías, con sus abrazaderas soldadas que unen el soporte y la tubería.

Figura 131. **Diseño final del cuarto de compresores**



Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

- Se usen los accesorios con las tuberías envueltas con teflón para evitar posibles fugas en las uniones.

Figura 132. **Tuberías y accesorios en la instalación actual**



Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

- Se instala el circuito de aire comprimido a través de las tuberías en la sala de compresores. Si hay que cortar tubos se procede a limpiarlos con lima para luego hacerle las roscas con la terraja.

Figura 133. **Instalación de tuberías de aire comprimido**



Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

4.3.1. Identificación de las piezas y los elementos

Consiste en colocar un correlativo a cada pieza del mismo tipo con base en los planos proporcionados por el fabricante, como si se tratara de un rompecabezas. Esto se hace con el fin de reducir el tiempo utilizado para localizar las piezas consecutivas durante todo el proceso, facilita la búsqueda y asegura que las piezas por colocar sean las indicadas. A diferencia de un rompecabezas de mesa, el montaje no se puede llevar a cabo con el método de prueba y error. El personal encargado de esta tarea debe estar completamente seguro que transporta la pieza correcta y que la identificación de las piezas también es la adecuada, para evitar de esta forma que se coloque una pieza equivocada, lo cual ocasionaría desperdicio de recursos.

4.3.2. Verificar la calidad de los accesorios

Molinos Modernos toma muy en serio la seguridad al momento de llevar a cabo la instalación de nuevos equipos, es un aspecto crucial tanto para el fabricante como para las empresas. Ambas partes hacen su mejor esfuerzo por alcanzarla con el objetivo de evitar accidentes y para que sea una instalación confiable al momento de utilizarla. La seguridad depende del adecuado funcionamiento individual e interrelación de todos los sistemas de los que compone el equipo, por lo cual es necesario cumplir con el diseño de los cimientos, el sistema neumático de seguridad, el sistema eléctrico, la calidad de los elementos de compresión, entre otros aspectos.

Una operación en terreno muy importante que contribuye con la seguridad de los equipos es la revisión o inspección de calidad de las piezas, que debe realizarse antes de ensamblarlas o colocarlas en su lugar.

Por lo tanto, se debe revisar el equipo en busca de daños ocasionados durante el transporte, Si existiera cualquier desperfecto debe realizarse un Informe de inmediato y por escrito, tanto al transportador como al fabricante acerca de cualquier daño.

4.3.3. Instalación

Para instalar los compresores de tornillo helicoidal y el tanque de almacenamiento en la sala de compresores se debe prever las siguientes condiciones, para una correcta instalación.

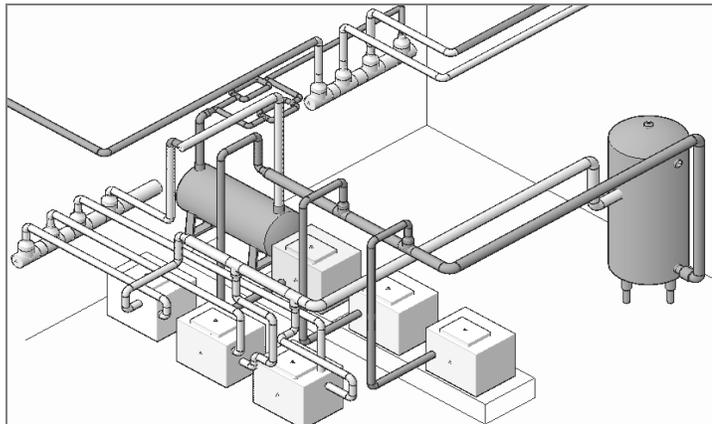
- Traslado
 - Use un equipo de elevación (grúa). En donde solo personal debidamente capacitado debe transportar el equipo.
 - Conecte el equipo de elevación a los puntos provistos para ello en el equipo.
 - Tenga en cuenta el centro de gravedad para evitar que el equipo se vuelque.
 - Desaloje el personal del molino de la zona de riesgo o peligro.

- Instalación
 - Instale el equipo en un cuarto de compresores.
 - El cuarto de compresores debe protegerlo de la congelación, los rayos directos del sol, el polvo, la lluvia y las salpicaduras de agua.
 - No opere el equipo en áreas donde se tomen medidas especiales de protección contra explosiones.
 - Asegúrese de ventilar bien el lugar.
 - Asegúrese de mantener las condiciones ambientales requeridas con relación a:
 - Temperatura ambiente y humedad.
 - Aire de admisión limpio y libre de contaminantes nocivos.
 - Aire de admisión libre de gases y vapores explosivos o químicamente inestables.
 - Aire de admisión libre de sustancias de formación ácida o alcalina, especialmente amoníaco, cloro o ácido sulfúrico.

- No instale el equipo junto a la salida de aire caliente de otras máquinas.
- Asegúrese de tener fácil acceso al equipo para trabajar cómodamente en él sin correr ningún riesgo.
- Conexión de la fuente de suministro eléctrico.
 - El equipo es trivoltaje, y puede configurarse con las siguientes conexiones.
 - 208 V
 - 230 V
 - 460 V
- El interruptor principal de desconexión eléctrica está apagado.
- El interruptor de desconexión está bloqueado en la posición de apagado.
- Se ha revisado el equipo para garantizar que esté desergenzando.
 - Pídale únicamente al personal autorizado realizar las conexiones eléctricas.
 - Tome las medidas de protección estipuladas por las normas pertinentes, así como el código de prevención de accidentes.
 - Observe las normas las normas dictadas por la empresa local de energía eléctrica.
 - En caso de avería, verifique el tiempo de desconexión de los términos de protección de sobrecorriente.

- Use conductores y fusibles de suministro eléctrico que cumplan con las normas locales.
- El usuario debe contar con un dispositivo que le permita aislar el equipo de la fuente de energía. Como, por ejemplo, un interruptor de desconexión con fusibles. Si usa un interruptor automático, este debe ajustarse a las características de arranque del motor.

Figura 134. **Diseño final del cuarto de compresores**



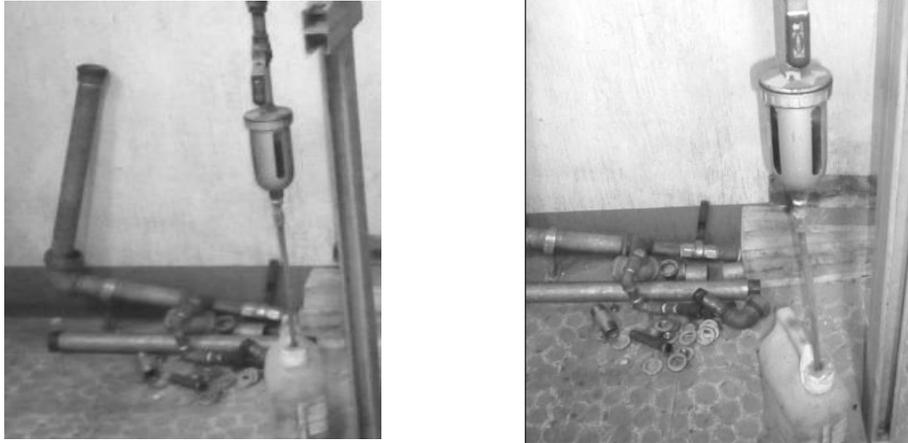
Fuente: elaboración propia.

4.4. Recursos disponibles para instalación de equipos

Para la instalación de los nuevos equipos se utilizarán recursos disponibles en la empresa, tanto herramientas como accesorios y tuberías, para aprovechar eficientemente los materiales disponibles y ofrecer una instalación más económica.

- Utilización de tuberías y accesorios de aire comprimido en buen estado existentes en la bodega de materiales.

Figura 135. **Tuberías y accesorios de aire comprimido**



Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

- Utilización de tuberías y accesorios de aire comprimido en buen estado de los equipos antiguos por sustituir.

Figura 136. **Tuberías y accesorios en la instalación actual de aire comprimido**



Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

- Utilización de pernos de anclaje, cimientos y soportes de los distintos equipos de aire comprimido por sustituir.

Figura 137. **Soporte y cimientos**



Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

4.5. Programa de mantenimiento general de los compresores

- Registro de las labores de mantenimiento

Los intervalos de mantenimiento dados corresponden a recomendaciones que se ajustan a las condiciones operativas típicas. El mantenimiento se debe realizar con mayor frecuencia cuando las condiciones operativas sean desfavorables, o cuando el equipo opere permanentemente.

- **Recomendaciones:**
 - Los intervalos de mantenimiento obedeciendo a las condiciones operativas, deben tener un registro de todas las labores de mantenimiento en particular y ajuste a las recomendaciones dadas por Kaeser.
 - Los contadores de intervalos de mantenimiento cuentan de forma regresiva las horas correspondientes a la siguiente labor de mantenimiento.
 - Se debe volver a ajustar el contador, cambiándolo al valor original luego de realizar la labor correspondiente.

4.5.1. **Mantenimiento diario**

El mantenimiento diario consiste en rutinas de inspección, de fácil control en donde se verifican aspectos importantes para el funcionamiento normal de los compresores y las distintas máquinas.

Tabla LXXIV. **Mantenimiento diario general de los compresores**

Mantenimiento general de compresores					
Labor de mantenimiento	Elemento	Ejecuta	Mantenimiento diario		
			Limpiar	Revisar	Cambiar
Nivel de aceite	Compresores	Mecánico auxiliar		X	
purga de condensado	Compresores	Mecánico auxiliar	X	X	

Continuación de la tabla LXXIV.

temperatura de descarga de aire	Compresores	Mecánico auxiliar		X	
Manómetro	Compresores	Mecánico auxiliar		X	

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

4.5.2. Mantenimiento semanal

En la siguiente tabla se detalla el plan de mantenimiento semanal de los compresores nuevos.

Tabla LXXV. **Mantenimiento semanal general de los compresores**

Mantenimiento general de compresores					
Labor de mantenimiento	Elemento	Ejecuta	Mantenimiento semanal		
			Limpiar	Revisar	Cambiar
Nivel de aceite	Refrigerante del compresor	Mecánico auxiliar		X	
Unidad de mantenimiento	Compresor	Mecánico auxiliar	X	X	
Válvula de condensado	Compresor	Mecánico Auxiliar		X	
Filtro de aceite	Compresor Secadores	Mecánico Auxiliar		X	
Revisar el manto filtrante	Tablero eléctrico	Mecánico Eléctrico		X	

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

4.5.3. Mantenimiento mensual

En la siguiente tabla se detalla el plan de mantenimiento mensual de los compresores nuevos.

Tabla LXXVI. **Mantenimiento mensual general de los compresores**

Mantenimiento de compresor AS 20						
Intervalo	Labor de mantenimiento	Elemento	Ejecuta	Mantenimiento mensual		
				Limpiar	Revisar	Cambiar
a las 1,000 horas de trabajo equivalente a 1 mes	Mantenimiento de las correas de transmisión	Compresor	Mecánico		X	X
	Revise Filtro de aire	Compresor	Mecánico		X	
	Limpiar enfriador	Compresor	Mecánico	X		
	Limpie el manto filtrante	Enfriador del Compresor	Mecánico	X		
	limpie el manto filtrante	tablero eléctrico del compresor	Mecánico Eléctrico	X		
a 3,000 horas de trabajo, equivalente a 4 meses	Cambio del elemento filtrante	Compresor	Mecánico		X	X
	Cambia el manto filtrante	Enfriador del Compresor	Mecánico		X	X
	Cambie el manto filtrante	Compresor	Mecánico		X	X
	Cambie el manto filtrante	Tablero eléctrico del Compresor	Mecánico Eléctrico		X	X

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

Tabla LXXVII. **Cambio de aceite de compresor AS 20**

Intervalo de cambio de aceite de compresor AS 20				
Descripción	Ejecuta	Lubricante sigma de kaeser	Intervalo para cambio	
			Primer cambio	Cambio posterior
Lubricante semisintético ISO 46	Mecánico	M-460	2 000 horas 3 meses	3 000 horas 4 meses
Lubricante sintético ISO 46	Mecánico	S - 460	6 000 horas 8 meses	8 000 horas 11 meses
Lubricante sintético ISO 68	Mecánico	S - 680	6 000 horas 8 meses	8 000 horas 11 meses
Aceite sintético de grado alimenticio ISO 46	Mecánico	FG - 460	2 000 horas 3 meses	3 000 horas 4 meses

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

Tabla LXXVIII. **Mantenimiento de compresor ASD 40S**

Mantenimiento de compresor ASD 40 S						
Intervalo	Labor de mantenimiento	Elemento	Ejecuta	Mantenimiento mensual		
				Limpiar	Revisar	Cambiar
a las 1,000 horas de trabajo equivalente a 1 mes	Revise Filtro de aire	Compresor	Mecánico		X	
	Limpiar enfriador	Compresor	Mecánico	X		
	Limpie el manto filtrante	Aire refrigerante Compresor	Mecánico	X		

Continuación de la tabla LXXVIII.

Indicador: Sigma Control a 3,000 horas de trabajo, equivalente a 4 meses	Revise acoples	Compresor	Mecánico		X	
	Cambie el elemento filtrante	aire de compresor	Mecánico		X	X
	Cambie el manto filtrante	aire de refrigerante del compresor	Mecánico		X	X
	Cambie el manto filtrante de aceite	Compresor	Mecánico		X	X

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

Tabla LXXIX. **Mantenimiento anual de compresor ASD 40S**

Intervalo de cambio de aceite de compresor ASD 40 S				
Descripción	Ejecuta	Lubricante sigma de kaeser	Intervalo para cambio	
			Primer cambio	Cambio posterior
Lubricante semisintético ISO 46	Mecánico	M-460	2 000 horas 3 meses	3 000 horas 4 meses
Lubricante sintético ISO 46	Mecánico	S – 460	6 000 horas 8 meses	8 000 horas 11 meses
Lubricante sintético ISO 68	Mecánico	S – 680	6 000 horas 8 meses	8 000 horas 11 meses
Aceite sintético de grado alimenticio ISO 46	Mecánico	FG – 460	2 000 horas 3 meses	3 000 horas 4 meses

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

4.5.4. Mantenimiento anual

En la siguiente tabla se presenta el plan de mantenimiento anual de los compresores nuevos.

Tabla LXXX. **Mantenimiento anual de compresor ASD 20**

Mantenimiento de compresor AS 20						
Intervalo	Labor de mantenimiento	Elemento	Ejecuta	Mantenimiento anual		
				Limpiar	Revisar	Cambiar o reparar
3,000 horas al menos cada 3 años	cambie el cartucho separador de aceite	Compresor	Mecánico		X	X
Anual	Ajuste de conexiones eléctricas	Compresor	Mecánico	X	X	
	Válvula de alivio de presión	Compresor	Mecánico		X	
	Revise la función de apagado de sobrecalentamiento	Compresor	Mecánico		X	
	Verifique que el enfriador no presente fugas	Compresor	Mecánico		X	X
	Mantenimiento del sistema de recuperación térmica	Compresor	Mecánico	X	X	X
Máxima a las 12 000 horas año y medio	Haga revisar las válvulas	Compresor	Mecánico		X	
A las 12 000 horas por lo menos cada 3 años	Haga revisar los rodamientos del motor	compresor	Mecánico		X	X
A las 36 000 horas, por lo menos cada 8años	Revise Conexiones de manguera	Compresor	Mecánico		x	X

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

Tabla LXXXI. **Mantenimiento anual de compresor ASD 20**

Mantenimiento de compresor ASD 40S						
Intervalo	Labor de mantenimiento	Elemento	Ejecuta	Mantenimiento anual		
				Limpiar	Revisar	Cambiar o reparar
Indicador: Sigma Control max. A las 6 000 hora al menos cada 3 años	Cambie el cartucho separador de aceite	Compresor	Mecánico		X	X
ANUAL	Ajuste de conexiones eléctricas	Compresor	Mecánico	X	X	
	Válvula de alivio de presión	Compresor	Mecánico		X	
	Revise la función de apagado de seguridad por sobrecalentamiento	Compresor	Mecánico		X	
	Verifique que el enfriador no presente fugas	Compresor	Mecánico		X	X
	Mantenimiento del sistema de recuperación térmica	Compresor	Mecánico	X	X	X
Máxima a las 12 000 horas año y medio	Haga revisar las válvulas	Compresor	Mecánico		X	

Continuación de la tabla LXXXI.

A las 12 000 horas por lo menos cada 3 años	Haga revisar los rodamientos del motor, tanto de accionamiento como del ventilador	compresor	Mecánico		X	
	Conexiones de manguera	Compresor	Mecánico Auxiliar		X	
A las 36,000 horas, por lo menos cada 6 años	Haga reemplazar las líneas de manguera	Compresor	Mecánico			X

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

Tabla LXXXII. **Mantenimiento anual de compresor ASD 40S**

Mantenimiento de compresor ASD 40S						
Intervalo	Labor de mantenimiento	Elemento	Ejecuta	Mantenimiento anual		
				Limpiar	Revisar	Cambiar o reparar
Indicador: Sigma Control max. A las 6 000 horas al menos cada 3 años	cambie el cartucho separador de aceite	Compresor	Mecánico		X	X

Continuación de la tabla LXXXII.

Anual	Ajuste de conexiones eléctricas	Compresor	Mecánico	X	X	
	Válvula de alivio de presión	Compresor	Mecánico		X	
	Revise la función de apagado de seguridad por sobrecalentamiento	Compresor	Mecánico		X	
	Verifique que el enfriado no presente fugas	Compresor	Mecánico		X	X
	Mantenimiento del sistema de recuperación térmica	Compresor	Mecánico	X	X	X

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

4.5.5. Mantenimiento de accesorios utilizados

Para realizar el mantenimiento preventivo de todas las máquinas y accesorios utilizados para generar aire comprimido, se debe analizar todas las áreas que involucran dicha aplicación y que presenten problemas.

Estas pueden ser:

- Líneas principales de aire.
- Unidades de mantenimiento (filtro, regulador, lubricador).
- Válvulas y electroválvulas de conexión y desconexión.

- Cilindros neumáticos.

Tabla LXXXIII. **Servicio de unidad de mantenimiento**

Servicio de la unidad de mantenimiento filtro, regulador lubricador					
Labor de mantenimiento	Diario	Semanal	Mensual	Trimestral	Anual
Detección De fugas de aire	X				
Drenar el condensado del filtro	X				
Limpieza de cartucho filtrante				X	
Verificar presión de regulador de presión			X		
Calibrar manómetros					X
Limpieza del tazón del filtro y aceitera					X
Recuperar el nivel de aceite		X			
Limpiar el paso del chorro de aceite				X	
Detección de fugas de aceite				X	
Cambio de aceite al limpiar el tazón					X

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

4.5.5.1. Mantenimiento de las tuberías de la red de aire comprimido

En la siguiente tabla se presenta el plan de mantenimiento básico para la conservación y servicio de las distintas tuberías de distribución de aire comprimido.

Tabla LXXXIV. Servicio de mantenimiento a tuberías de aire comprimido

Mantenimiento de tuberías de aire comprimido			
Labor de mantenimiento	Diario	Semanal	Mensual
Detección de fugas de aire		X	X
Inspección completa de todo el sistema de tuberías			X
Inspección de uniones, té, codos, acoplamientos			X
Toma de presión en puntos estratégicos	X		X
Trampa manual de condensado			X
Cortes en línea de aire agujeros		X	

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

4.5.5.2. Mantenimiento de válvulas y accesorios

El objetivo de las actividades de mantenimiento, para válvulas y accesorios, es mantener al máximo, el tiempo de vida de los equipos neumáticos, sin fallas y desperfectos en su funcionamiento normal, y evitar paros no programados de maquinaria.

Tabla LXXXV. **Servicio de mantenimiento de válvulas y accesorios de aire comprimido**

Mantenimiento de válvulas y accesorios			
Labor de mantenimiento	Semanal	Mensual	Anual
Fugas de aire en válvulas y accesorios de manguera		X	
Accionamiento de la manija de la válvula	X		
Fugas de aire en cilindros neumáticos		X	
Verificar la inexistencia de condensado			X
Revisar acoples de conexión rápida		X	
Cambio de válvula y cilindros neumáticos			X

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

4.6. Localización de fugas y fallas en el sistema de aire comprimido

Generalmente, todas las redes de aire comprimido comienzan a presentar fugas luego de funcionamiento. Normalmente se especifica 5 % de la capacidad de compresión para compensar estas.

En caso de haber fugas por más de dicho porcentaje, se debe revisar minuciosamente la red.

Para localizar fugas de aire comprimido, primeramente, debemos de conocer el costo en dólares de producir 1 000 ft³ de aire comprimido y luego tenemos que ingresarlo al programa UE systems, para cuantificar el monto total en fugas, tanto en dólares como en CFM.

Tabla LXXXVI. **Cálculo del costo de energía eléctrica, para producir 1 000 ft³**

No.	Nomenclatura	Descripción de compresores	Potencia kw	Capacidad en ft ³ /hr
1	Kaeser AS 20	Marca = Kaeser		
		Potencia = 20 HP	15 KW	
		Capacidad = 92 CFM		5 520
2	Kaeser ASD 40s	Marca = Kaeser		
		Potencia = 40 HP	30 KW	
		Capacidad = 166 CFM		9 960
2	Sullair Es-100	Marca = Sullair		
		Potencia = 50 HP	37,3 KW	
		Capacidad = 210 CFM		12 600

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

Tabla LXXXVII. **Costo en \$ para distintas combinaciones de compresores**

Combinación	Capacidad en ft ³ /hr	Potencia consumida kw	Costo \$/hr	Costo US\$ para producir 1 000 ft ³
AS 20	5 520	15	1,65	0,30
ASD 40 S	9 960	30	3,3	0,33
AS 20 + ASD 40	15 480	45	4,95	0,32
ES-100	12 600	37,3	4103	0,32

Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

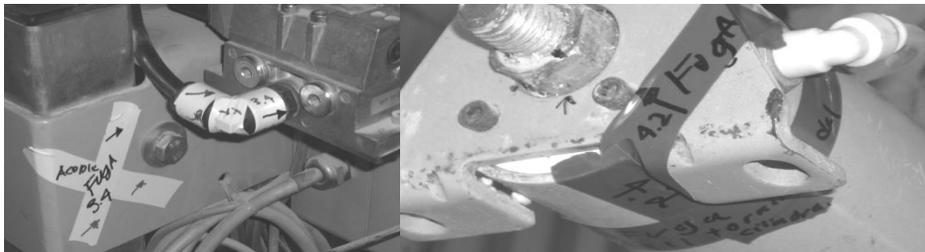
$$30 \text{ kw} \times 0,11 \text{ US\$/ (kw/hr)} = 3,3 \text{ US\$/hr}$$

$$1 \text{ 000 ft}^3 \times (1 \text{ hora} / 9 \text{ 960 ft}^3) \times (3,3 \text{ US\$} / 1 \text{ hora}) = 0,33$$

Para efectos de este estudio, se utilizará el costo = 0,33US\$ ya que es la combinación actual en la sala de compresores.

- Procedimiento para eliminar fugas de aire comprimido
 - Localizar las fugas de aire comprimido con el equipo ultrasónico Ultraprobe 10 000, a una frecuencia de 40 khz, y una distancia de la tubería a la pistola ultrasónica de 40 cm.
 - Identificar la fuga de aire comprimido con marcador y cinta aislante, describir el número de fuga localizada, la cual está codificada de acuerdo con el nivel y número de fuga.

Figura 138. Fuga de aire comprimido



Fuente: INHSA, Molinos Modernos.

- Apuntar las condiciones de la fuga; código, ubicación, sonido en decibeles, presión y otras observaciones.

B = INHSA B

A = INHSA A, área de molino y limpia

EA = INHSA A, área de empaque

EAL = INSHSA A, área de empaque, parte de lámina o metal.

Tabla LXXXVIII. Descripción de fugas de aire comprimido INHSA A

Fugas de aire comprimido INHSA, área de molino y limpia					
Código de Fuga	Presión de Aire	Lectura en Decibeles	Descripción y ubicación	Costo de Fuga en US\$	CFM Perdido
0,1 A	100	20 dB		\$ 138,76	0,8
0,2	100	40 dB		\$ 294,86	1,7
0,3	100	20 dB		\$ 138,76	0,8
0,4	75	30 dB		\$ 190,79	1,1
1,1	100	30 dB	retorno de vástago	\$ 242,83	1,4
1,2	100	20 dB		\$ 138,76	0,8
3,1	100	30 dB	En acoples	\$ 242,83	1,4
3,2	100	30 dB	regulador con fugas	\$ 242,83	1,4
3,3	100	30 dB	Reloj del FRL	\$ 242,83	1,4
3,4	100	20 dB	En acoples de electroválvula	\$ 138,76	0,8
3,5	100	40 dB	En acoples de electroválvula	\$ 294,86	1,7
3,6	75	20 dB	Acople T, antes del regulador	\$ 121,41	0,7
3,7	75	30 dB	salida de electroválvula	\$ 190,79	1,1
4,1	100	30 dB	codo de 1/2"	\$ 242,83	1,4
4,2	75	20 dB		\$ 121,41	0,7
4,3	75	30 dB	empaque del cilindro neumático	\$ 190,79	1,1
4,4	50	40 dB	tornillos de acoples de la electroválvula	\$ 190,79	1,1
4,5	50	20 dB	llave de paso	\$ 86,72	0,5
4,6	50	30 dB	en rosca de acople	\$ 138,76	0,8
5,1	100	30 dB	en rosca de acople	\$ 242,83	1,4
5,2	100	40 dB	valvulares circulares	\$ 294,86	1,7
5,3	75	30 dB	en codo que se dirige a válvula	\$ 190,79	1,1
5,4	75	30 dB	en acoples roscas rojas	\$ 190,79	1,1
5,5	75	50 dB	en acople salida del vástago	\$ 485,65	2,8
5,6	75	20 dB	final de rosca de electroválvula	\$ 121,41	0,7
5,7	75	50 dB	en unión de acople	\$ 485,65	2,8

Continuación de la tabla LXXXVIII.

5,8	75	40 dB	rosca de acople de dos mangueras, en la superior	\$ 242,83	1,4
5,9	75	20 dB	codo superior	\$ 121,41	0,7
5,1	75	30 dB	codo inferior	\$ 190,79	1,1
5,11 A	75	20 dB	Unión	\$ 121,41	0,7
Totales				\$ 6 278,79	36,2

Fuente: elaboración propia, valores encontrados de la pistola ultrasónica, Ultraprobe 10 000.

Tabla LXXXIX. **Descripción de fugas de aire comprimido INHSA B**

Fugas de aire comprimido INHSA, área de molino y limpia					
Código de Fuga	Presión de Aire	Lectura en Decibeles	Descripción y ubicación	Costo de Fuga en US\$	CFM Perdido
0,1 B	100	20 dB	Codo sobre lámpara	\$ 138,76	0,8
1,1	100	20 dB	Válvula de alivio	\$ 138,76	0,8
1,2	100	20 dB	Codo de 3 " después del tanque de almacenamiento kaeser	\$ 138,76	0,8
1,3	100	30 dB	Codo de 3 " después del tanque de almacenamiento kaeser	\$ 242,83	1,4
1,4	100	20 dB	Unión universal	\$ 138,76	0,8
1,4	100	40 dB	Codo de 3 "	\$ 294,86	1,7
1,6	100	40 dB	Codo parte superior de secador nuevo	\$ 294,86	1,7
1,7	100	10 dB	Unión de secador	\$ 86,72	0,5
1,8	100	20 dB	Unión de secador	\$ 138,76	0,8
1,9	100	40 dB	Codo inferior 3"	\$ 294,86	1,7
1,10	100	30 dB	Cheque de 1 1/2"	\$ 242,83	1,4
1,12	100	30 dB	Filtro de agua	\$ 242,83	1,4

Continuación de la tabla LXXXIX.

1,13	100	20 dB	Acoples de filtro	\$ 138,76	0,8
1,14	100	20 dB	Llave de paso que sale del colector 3	\$ 138,76	0,8
1,15	100	30 dB	Filtro regulador	\$ 242,83	1,4
2,1	100	30 dB	Entrega de aire después de filtro regulador	\$ 242,83	1,4
2,2	100	40 dB	Codo parte inferior afuera del nivel, (entre cafetería y baños)	\$ 294,86	1,7
3,1	50	40 dB	Codo parte inferior tubería después de FR, conduce a dosificadores	\$ 190,79	1,1
6,1	100	20 dB	Entrega de aire	\$ 138,76	0,8
7,1	25	50 dB	En unidad de mantenimiento y drenaje en la sala de cloro gaseoso	\$ 46,25	2
7,2	25	40 dB	En unidad de mantenimiento y drenaje en la sala de cloro gaseoso	\$ 138,76	0,8
7,3	100	40 dB	En codo atrás de equipo de cloro gaseoso	\$ 294,86	1,7
7,4 B	100	30 dB	En codo nivel 7 parte derecha	\$ 242,83	1,4
Monto total en concepto de fugas en INHSA B				\$ 4,503,83	27,7

Fuente: elaboración propia, valores encontrados de la pistola ultrasónica Ultraprobe 10 000.

1,1 B = Fuga número uno localizada en el primer nivel de INHSA B.

- Ingresar al sistema UE sistemas el valor de la fuga; tipo de gas, presión y lectura en decibeles.
- Ubicar la fuga de aire comprimido en los distintos planos realizados de la planta, para encontrarla fácilmente al momento de repararla.

Tabla XC. Descripción de fugas de aire comprimido INHSA A empaque

Fugas de aire comprimido INHSA b					
Código de Fuga	Presión de Aire	Lectura en Decibeles	Descripción y ubicación	Costo de Fuga en US\$	CFM Perdido
2,1 EA	100	50 dB		\$ 520,34	3
2,2	100	50 dB	en FRL	\$ 520,34	3
2,3	100	30 dB	en reductor de manguera	\$ 242,83	1,4
2,4	100	50 dB	en panel de control 58ip65de empacadora	\$ 520,34	3
7,1 EA	75	40 dB	en la parte inferior de FRL	\$ 242,83	1,4
1,1 EAL	100	30 dB		\$ 242,83	1,4
1, 2	100	40 dB		\$ 294,86	1,7
1,3	100	30 dB	en codo de acople que sale del FRL que está en descarga de camiones	\$ 242,83	1,4
6,1	100	20 dB	en acople rojo	\$ 138,76	0,8
6,2	125	40 dB	en cilindro de tubería del centro rosca lisa siguiente	\$ 329,55	1,9
6,3	100	30 dB	en T (quebrada)	\$ 242,83	1,4
6,4	50	20 dB	en electroválvula, escape antes de acople	\$ 86,72	0,5
6,5	100	50 dB	electroválvula escape antes de acople	\$ 520,34	3
6,6EAL	50	30 dB	en drenaje de condensado de máquina	\$ 138,76	0,8
Total				\$ 4 284,17	24,7

Fuente: elaboración propia, valores encontrados a través de la pistola ultrasónica Ultraprobe 10 000.

Tabla XCI. Descripción total de fugas de aire comprimido

Fugas de aire comprimido en INHSA		
Ubicación	CFM	US\$
INHSA A, molino y limpia	36,2	\$ 6 278,79
INHSA A, empaque	24,7	\$ 4 284,17
INHSA B, molinos limpia y empaque	27,7	\$ 4 503,83
TOTAL	88,6	\$ 15 066,79

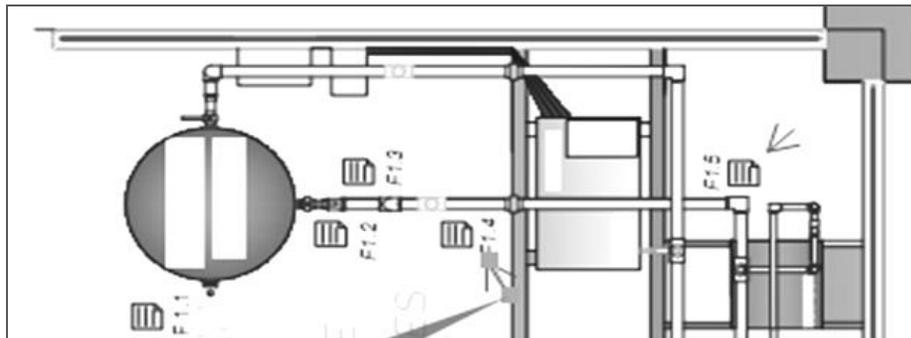
Fuente: elaboración propia, valores encontrados de la pistola ultrasónica Ultraprobe 10 000.

- Conclusión:
 - Actualmente se están desperdiciando 80 CFM de aire comprimido, en concepto de fugas, con un costo monetario anual de US\$15 066,79, equivalente a Q.10 044,00 mensuales en consumo de energía eléctrica desperdiciada.
 - Por lo que se considera de suma importancia el mantenimiento de las distintas tuberías de aire comprimido, para eliminar el número tan elevado de fugas en el sistema de aire comprimido.
- Localizar las fugas a través de planos

En este estudio se realizaron planos de toda la red de aire comprimido de INHSA. Dichos planos están a escala y se presentan en vista planta e isométrica. Las fugas de aire comprimido fueron identificadas en cada uno de los planos con las siguientes descripciones:

- Ubicación de la fuga de aire comprimido a través del símbolo  , con el código de la fuga.

Figura 139. **Detalle de la fuga de aire comprimido**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa FOPDF.

- Cada código  contiene un folder que presenta las características de las fugas.

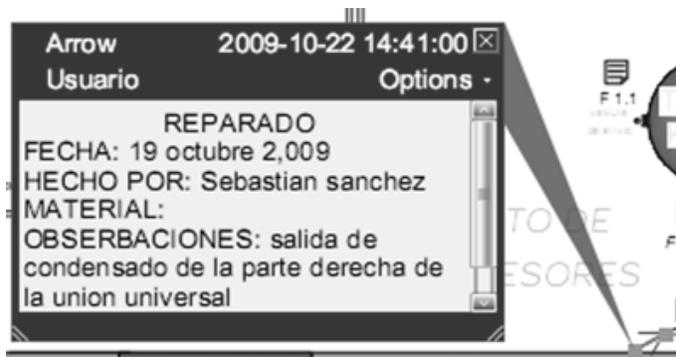
Figura 140. **Descripción de fuga de aire comprimido a través de planos**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa FOPDF.

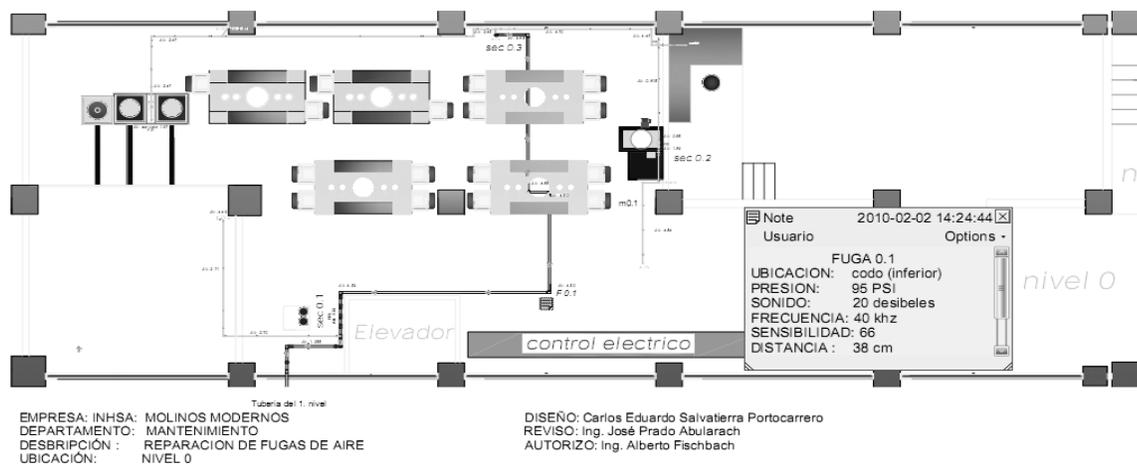
- El número de código de cada fuga contiene un hipervínculo para visualizar las fotografías de las fugas en el sistema.
- Si aparece el símbolo  significa que la fuga ya fue reparada y al ingresar en la aplicación obtenemos información de dicha acción.

Figura 141. Descripción de fuga de aire comprimido reparadas



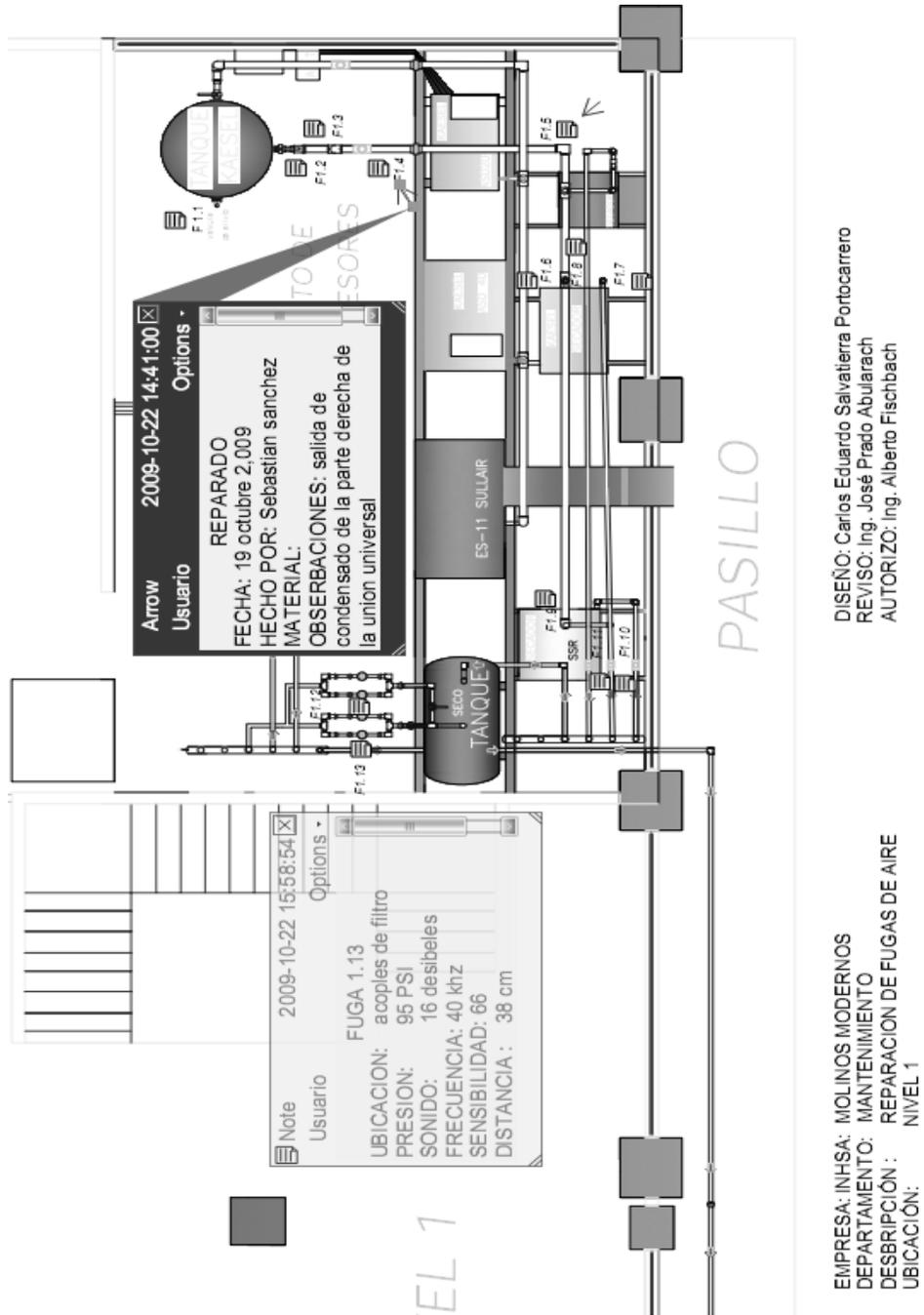
Fuente: elaboración propia, aplicación del programa FOPDF.

Figura 142. Localización de fugas de aire comprimido



Fuente: elaboración propia, empleando el programa de cómputo, AutoCAD 2,008.

Figura 143. Localización de fugas de aire comprimido INHSA B



Fuente: elaboración propia, empleando el programa de cómputo, AutoCAD 2008.

- Para el control de fugas se recomienda:
 - Un programa de mantenimiento permanente sobre las empaquetaduras de las válvulas.
 - Reemplazo de válvulas que presenten fugas por deterioro.
 - Utilizar acople de mangueras de muy buena calidad y buen estado.
 - Reducir la presión en sistemas de soplado, al mínimo satisfactorio.
 - Utilizar mangueras en buen estado para reducir quiebres y fugas.
 - Controlar la humedad en el sistema, instalado separadores de condensados y drenajes para evitar el soplado de líneas para desalojar el agua.

5. SEGUIMIENTO, MEJORA CONTINUA

En el siguiente capítulo se presenta el plan de seguridad industrial para el cuidado y el manejo de los equipos relacionados con aire comprimido, se presenta un plan de capacitaciones para el personal como parte del seguimiento y mejora continua para el proyecto presentado.

5.1. Responsabilidad social de la empresa

Fijarse objetivos económicos y de responsabilidad social es una necesidad natural de cualquier empresa y establecer los mecanismos para lograrlos es sinónimo de madurez empresarial.

La primera responsabilidad de Corporación Multi Inversiones hacia la sociedad se da operando con ganancias, generando sostenibilidad económica, produciendo y creando riquezas a la sociedad, pagando la suma total de todos los impuestos que genera directamente, cumpliendo con las leyes y reglamentos fiscales vigentes, ofreciendo beneficio, progreso y desarrollo al país; a través de fuentes de trabajo sostenible, para que el colaborador pueda lograr sus metas personales y tener una justa remuneración para su bienestar familiar.

Existe en la mente de sus colaboradores alta productividad en la función que desempeñan; a través de esfuerzo humano, mayor rendimiento y tecnología.

5.1.1. Propósito

El compromiso es con sus clientes y por eso trabajan por ellos y para ellos con entusiasmo e integridad, cumpliendo con sus valores, manteniendo una relación mutua de credibilidad y confianza en la empresa y sus productos. Ofrecer productos confiables, que no atenten contra la salud o seguridad de los consumidores, tienen una responsabilidad moral, legal y económica con sus consumidores, para que quienes adquieren sus productos tengan la confianza que son producidos por una empresa socialmente responsable.

Todas las divisiones de la empresa se basan en la cultura corporativa, que se fundamenta en valores éticos, como única fuente de éxito sostenible. Rige la conducta de los empleados a través del código ético, el cual se da a conocer a todos los empleados por medio de una instrucción formal, con una estricta vigilancia para su desarrollo y cumplimiento. Todo colaborador desde el más alto ejecutivo hasta el personal de nivel operativo de primera línea tiene la obligación de desempeñarse profesional y éticamente. Tiene confidencialidad con toda información que debe ser protegida y resguardada con responsabilidad, entregan los distintos productos a los clientes con la mejor calidad, mientras procuran los menores daños al medio ambiente.

5.1.2. Alcance

La responsabilidad social de la empresa es un acto de justicia y no de caridad, en consecuencia, la responsabilidad se tiene con la sociedad para encontrar soluciones a problemas en los cuales la empresa pueda participar.

Clientes, empleados, accionistas, inversionistas y proveedores, son esenciales para la supervivencia de la empresa y como consecuencia es un imperativo ético darles una atención primaria.

Actualmente tienen diversos programas de responsabilidad social como:

- Programa de educación para adultos

El instituto de Molinos Modernos permite que los colaboradores continúen sus estudios de nivel medio y diversificado.

- Programa de capacitación

Se establece una programación anual en temas de seguridad e higiene industrial y calidad.

- Programa para colaboradores

Tiene como propósito coordinar programas para mejorar la calidad de vida de los colaboradores en el ámbito social donde se opere.

- Programa de donaciones de producto

Esta ayuda humanitaria se programa a fin de año en época navideña, donan producto a diferentes instituciones de beneficencia.

5.1.3. Responsabilidad con la sociedad dentro de la empresa

El marco de trabajo de la responsabilidad con la sociedad dentro de la empresa está basado en el respeto a la dignidad de la persona, los derechos humanos, las instituciones gubernamentales, los competidores y proveedores, con la comunidad impactada y periférica, el medio ambiente, con los desechos sólidos y líquidos dentro y fuera de la empresa.

Los empleados deben ser honrados, cumplidos con su trabajo y respetar las leyes. En el ámbito laboral debe existir honestidad con los proveedores, clientes y empleados; estos deben cumplir con sus contratos, existiendo reciprocidad de todas las personas o grupos.

Se debe mantener una relación impregnada de valores morales con todos los grupos implícitos en la organización, cuyos valores forman parte de las políticas de la administración y planeación de los proyectos actuales y futuros.

El cumplimiento de las obligaciones legales y la práctica fundamental de valores tales como igualdad, prudencia, bien común, solidaridad y veracidad se proyecta en una sana convivencia dentro y fuera de la empresa.

5.2. Plan de seguridad e higiene industrial en las aplicaciones de aire comprimido

Para llevar a cabo cualquier proyecto, es de suma importancia considerar al ser humano como recurso primordial; por tal motivo se sugiere un plan de seguridad para proteger y prever condiciones peligrosas, que pueden estar expuestas al momento de utilizar y manipular las máquinas y equipos de compresión.

Para alcanzar dicha seguridad se debe cumplir las condiciones de seguridad, que exige el manual del fabricante, las normas de seguridad imperantes en la empresa y otros riesgos que se puedan encontrar por las circunstancias de la instalación. Además, ofrecen condiciones seguras al momento de operar las máquinas y de realizar su mantenimiento, para cumplir con el objetivo primordial de cero accidentes.

Para cumplir con la meta de cero accidentes, los empleados deben portar todos los equipos de protección personal para que puedan desarrollar su trabajo. Entre los principales componentes se encuentran:

- Botas de seguridad
- Casco aislante
- Redecillas
- Lentes de seguridad
- Guantes
- Mascarilla o respiradores
- Tapones auditivos
- Cinturones de seguridad

Antes de realizar cualquier labor con los equipos de aire comprimido se deben considerar las siguientes condiciones:

- Electricidad
 - Permítale solo a un electricista experto, o personal capacitado este bajo la supervisión de un experto, trabajar en los componentes eléctricos conforme a las normas de ingeniería eléctrica pertinentes.

- Antes de cada arranque, el usuario debe verificar las condiciones de seguridad que lo protejan de un choque eléctrico.
 - Desconecte y bloquee, el interruptor de desconexión principal y verifique que el equipo no esté energizado.
 - Desconecte todas las fuentes eléctricas externas: Estas pueden ser las conexiones a contactos auxiliares o a la calefacción eléctrica del equipo, por ejemplo.
 - Use fusibles que correspondan a la potencia del equipo.
 - Verifique con regularidad el ajuste de todas las conexiones eléctricas.
- Presión de aire comprimido
 - El aire comprimido es energía contenida. Al liberarse sin control, esta fuerza puede ocasionar lesiones graves o letales.

La siguiente información se refiere a las labores que se realizan en los componentes presurizados:

- Cierre las válvulas de corte, o desconecte el equipo del sistema de aire comprimido, para impedir el contraflujo del aire comprimido, en dirección al compresor.
- Elimine por completo todas las cámaras y todos los componentes presurizados con aire comprimido.
- No suelde, ni someta a tratamiento térmico o a modificaciones mecánicas ningún componente presurizado (tubería o tanques), ya que podría afectar su resistencia a la presión ya no podrá garantizarse la seguridad del equipo.

- Calidad del aire comprimido:
 - Nunca inhale aire comprimido directamente al equipo.
 - Someta el aire comprimido de este equipo a los sistemas adecuados de tratamiento, antes de emplearlo en aplicaciones respiratorias o en el procesamiento de alimentos.
 - Use aceite de grado alimenticio compatible cada vez que el aire comprimido pueda entrar en contacto con alimentos a procesamiento.

- Tensión del resorte
 - Los resortes tensionados o comprimidos tienen un alto grado de fuerza contenida. Al liberarse sin control, esta fuerza (energía) puede ocasionar lesiones graves o letales.
 - No abra ni desarme las válvulas.

- Componentes giratorios
 - No levante la cubierta mientras el equipo esté encendido.
 - Desconecte y bloquee el interruptor de desconexión principal y verifique que el equipo no esté energizado.
 - Vista prendas ajustadas y una malla para el cabello si es necesario.
 - Verifique que todas las cubiertas y rejillas de seguridad estén en su lugar antes de arrancar el equipo.

- Temperatura
 - Evite tocar los componentes calientes, estos pueden ser, por ejemplo; la unidad compresora o el cabezote, los circuitos de aire comprimido y de aceite, el intercambiador/postenfriador, el separador de aceite, el motor y el calentador del equipo.
 - Vista prendas de seguridad.
 - Si realiza labores de soldadura en o cerca del equipo, tome las medidas necesarias para evitar que las chispas o el calor prenda fuego al entrar en contacto con los vapores de aceite o las piezas del equipo.

- Ruido
 - Opere el equipo solo si cuenta con la debida protección acústica.
 - Use protectores para oídos si es necesario.
 - La válvula de alivio de seguridad puede producir un alto nivel de ruido al activarse.

Tabla XCII. **Simbología de seguridad industrial para uso de equipos de aire comprimido**

Artículo	Símbolo	Significado
8		<p>Riesgo de lesiones fatales al tocar componentes eléctricos energizados.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desconecte y bloquee el interruptor principal de desconexión y verifique que el equipo no esté energizado.

Continuación de la tabla XCIII.

9		<p>El equipo arranca automáticamente.</p> <p>Las piezas giratorias, el voltaje eléctrico y la presión del aire pueden ocasionar serias lesiones.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desconecte el equipo del interruptor principal y bloquéelo antes de abrir cualquier cabina o encerramiento de este.
13		<p>Cuidado, superficie caliente.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Deje enfriar/aclimatar el equipo.
10	 	<p>Tocar la correa de transmisión y las astas del ventilador puede ocasionar lesiones serias.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desconecte el equipo del interruptor principal y bloquéelo antes de abrir cualquier cabina o encerramiento de este.
11		<p>Inhalar aire comprimido puede causar trastorno e intoxicación.</p> <ul style="list-style-type: none"> • El aire generado por el compresor debe cumplir las normas OSHA 29CFR1910.134 y FDA 21CFR178.3570 en caso de emplearse en aplicaciones médico-respiratorias o en procesamiento de alimentos. Use un tratamiento de aire adecuado.
16		<p>El nivel inadecuado de aceite puede ocasionar daños al equipo o elevar el consumo de aceite (contenido de aceite para aire puro).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Revise el nivel de aceite con regularidad y aplique más aceite si es necesario.

Continuación de la tabla XCIII.

23		<p>Aflojar o abrir un componente presurizado o activado por un resorte fuertemente comprimido puede ocasionar lesiones graves o letales.</p> <ul style="list-style-type: none"> • No abra ni desarme las válvulas
24		<p>Aflojar o abrir un componente presurizado puede ocasionar lesiones graves o letales.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Asegúrese de que el equipo permanezca presurizado • Verifique que el equipo esté venteado
25		<p>Cuidado, puede sufrir daños en los oídos o quemaduras a raíz del alto ruido o de la neblina de aceite que se generan al abrir la válvula de alivio de seguridad.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Use protectores auditivos y prendas de protección. • Cierre todas las puertas de acceso y los paneles que cubren el equipo.
27		<p>Peligro de choque eléctrico:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si el interruptor se salta, revise los conductores del controlador y cámbielos si están dañados para reducir el riesgo de incendio o descarga eléctrica.
28		<p>Peligro de choque eléctrico</p> <ul style="list-style-type: none"> • Para mantener el equipo protegido de sobrecargas eléctricas, cortos circuitos o fallas de polo a tierra, es preciso graduar el interruptor tal como indica el fabricante.

Fuente: KAESER, *manual de mantenimiento de compresores* Kaeser.

5.2.1. Acto y condición insegura en las instalaciones de aire

En un accidente intervienen dos factores muy importantes el hombre y el medio en el que se desenvuelve. El hombre es el responsable de ocasionar condiciones inseguras, por diversas causas que él mismo crea, como, por ejemplo; no cumplir con el reglamento de seguridad, no seguir instrucciones, falta de seriedad, imprudencia, descuidos, entre otros.

Y el medio en que se desenvuelve el trabajador, es todo lo que lo rodea, en su micro atmósfera de trabajo, como la maquinaria, herramientas, instalaciones, ventilación, ruido, colores, entre otros ocasionando condiciones inseguras, para el trabajador.

Actos inseguros:

- Aplicaciones
 - Emplear el equipo en aplicaciones respiratorias a menos que sea tratado específicamente para ello.
 - Dirigir el aire comprimido hacia personas o animales.

- Operación
 - Usar aire comprimido en aplicaciones que entre en contacto directo con comestibles, al menos que sea tratado específicamente para este propósito.
 - Operar el equipo sin la protección acústica necesaria.
 - Operar una máquina, equipo o herramienta sin autorización.
 - fumar en los centros de trabajo.

- Violación a los reglamentos de seguridad establecidos.
 - Ignorancia en cuanto al uso de los equipos, herramientas.
 - Transgresión de instrucciones.
 - Falta de serenidad, imprudencia, descuido, distracción en el área de trabajo.
- Mantenimiento
 - Consumir alimentos mientras se esté manejando aceites y lubricantes y refrigerativos.
 - Usar repuestos inadecuados a los que el fabricante sugiere para el equipo.
 - Convertir o modificar la configuración del equipo, ya que comprometería el funcionamiento y la seguridad operativa del mismo.

Condición insegura:

- Equipo
 - Motores eléctricos trabajando en altas temperaturas.
 - Equipos o herramientas
 - Instalaciones eléctricas improvisadas.
 - Equipos sin señalización de seguridad industrial.
 - Tanques de aire comprimido sin válvulas de seguridad.
- Operación
 - Iluminación inapropiada.

- Ventilación inapropiada.
- Mal colocación y acondicionamiento de máquinas.

5.2.2. Inspección de todos los componentes y equipos antes y después del arranque

Es importante realizar la inspección de los equipos de compresión antes y después del arranque, para llevar control de su funcionamiento y evitar paros innecesarios en el proceso de producción, logrando trabajar con mayor rendimiento y confiabilidad. Todos los equipos neumáticos instalados en la planta están diseñados para trabajar a una presión mínima de 100 PSI, por lo tanto, cuando existen presión menor a estas de referencia, el equipo no puede llevar a cabo con eficiencia el trabajo para el cual fue diseñado, por lo tanto, se debe realizar una inspección visual a los distintos manó metros instalados en los equipos, antes y después del arranque.

En donde se recomienda revisar el funcionamiento de los compresores, secadores, tuberías, unidades de mantenimiento, tanques de almacenamiento, conexiones eléctricas, verificando ruidos anormales en los equipos y vibraciones. Según el manual del fabricante, el equipo ha sido fabricado conforme a los últimos estándares tecnológicos y normas de seguridad ampliamente reconocidas, no olvidando que se pueden presentar situaciones de peligro durante su operación, en donde el operario o terceras personas pueden sufrir fracturas o lesiones letales, tomando en cuenta que los compresores y otros activos pueden sufrir daños, tanto al momento de su arranque como durante el desarrollo de su trabajo mecánico.

Por lo tanto, se deben considerar como reglas básicas, luego de inspeccionar los equipos de compresión.

- Operar los compresores o equipos solo si lo encuentra en perfectas condiciones.
- Utilizar los equipos para el fin que fue diseñado.

5.3. Programa de capacitación, al personal encargado del cuidado y mantenimiento de los compresores y aire comprimido

En la tabla XCIII, se explica el programa de capacitación al personal.

Tabla XCIII. Plan de capacitación

CAPACITACION SOBRE VALORES Y CULTURA DE TRABAJO BIEN REALIZADO					
PARA:	Personal de mantenimiento				
OBJETIVO GENERAL:	garantizar que el personal de molinos modernos, cuente con los valores, conocimientos y actitudes necesarias para desempeñarse satisfactoriamente, protegiendo el patrimonio de la empresa y cumpliendo con todas las obligaciones referidas en su contrato de trabajo.				
OBJETIVOS ESPECIFICOS:	Identificar al personal con los valores y principios de la empresa. Conocer la importancia de la responsabilidad social de la empresa su propósito y alcance. Instruir a los empleados con una cultura de trabajo bien realizado, puntualidad y cuidado de los equipos. Conocer la importancia de la inspección de todos los componentes y equipos antes y después de arranque, al realizarles mantenimiento.				
MODULO 1					
TEMAS	SUBTEMAS	DURACION (HORA:MIN:SEG)	RESPONSABLE	METODOLOGIA	RECURSOS
Bienvenida	Objetivo del programa	00:25:00	Coord. RRHH	Exposición Magistral	Programa
	Integración de participantes	00:25:00	Coord. RRHH	Participación grupal	Listado de asistencia
Cultura de la organización	Descripción de la empresa, antecedentes históricos, productos	00:15:00	Coord. RRHH	Exposición Magistral	Cañonera, computadora
	Misión, visión, política de calidad, credo, BPM, HCCP	00:25:00	Coord. RRHH	Exposición participativa	Cañonera, computadora
	Identificación con la compañía, Himno.	00:05:00	Coord. RRHH	Participación grupal	Cañonera, computadora
TOTAL		01:35:00			
MODULO 2					
TEMAS	SUBTEMAS	DURACION (HORA:MIN:SEG)	RESPONSABLE	METODOLOGIA	RECURSOS
Estudio de valores	Código de ética de la empresa	00:20:00	Coord. RRHH	Exposición Magistral	Cañonera, computadora
	Cumplimiento del código de ética	00:30:00	Coord. RRHH	Participación grupal	Cañonera, computadora
Responsabilidad social	Responsabilidad social de la empresa, propósito y alcance	00:20:00	Coord. RRHH	Exposición participativa	Cañonera, computadora
	Responsabilidad de la empresa con sus colaboradores	00:15:00	Coord. RRHH	Exposición participativa	Cañonera, computadora
	Responsabilidad con la sociedad dentro de la empresa	00:15:00	Coord. RRHH	Exposición participativa	Cañonera, computadora
Responsabilidad con la empresa	Cultura de trabajo bien realizado, puntualidad y cuidado de equipos	01:00:00	Coord. RRHH	Exposición participativa	Cañonera, computadora
TOTAL		02:40:00			

Fuente: elaboración propia.

5.3.1. Misión, visión y valores para los trabajadores

A través de tener una gestión estratégica en Molinos Modernos, se pretende integrar al personal en el sistema organizacional para vincularse directamente a la estrategia empresarial, su visión, misión y valores, con el objetivo de movilizar creativamente, las capacidades y talento de los individuos y equipos, hacia el logro de objetivos de desarrollo corporativo y social.

La descripción de la visión, misión y código de valores de Molinos Modernos se presenta en el primer capítulo de este documento.

- **Visión**

Se entiende por visión, la idealización del futuro de la empresa.

Cuando hay claridad conceptual acerca de lo que se quiere construir a futuro, se puede enfocar la capacidad de dirección y ejecución hacia su logro de manera constante. Los aspectos estratégicos para alcanzar la visión se deben concentrar en tres líneas fundamentales de acción: capacitación, reingeniería de procesos y certificación de calidad.

Cuando hay visión compartida en una empresa, existe un fuerte sentimiento de identificación y compromiso en el corazón de los empleados, de manera que el camino hacia el futuro lo realizan todos, aportando y desarrollando potencial.

Es un camino que se origina en el interior de las personas, a través de la construcción de una visión personal, según la cual, no basta con aumentar las aptitudes de las personas, sino que también es necesario mejorarlas, lo cual implica capacidad y voluntad para comprender y trabajar con las fuerzas que nos rodean, con espontaneidad y alegría.

- Misión

Toda misión está fundada e inspirada en la visión de que hablamos en el apartado anterior.

Consiste en la identificación y consolidación de los propósitos, fines y límites del servicio y función que desarrolla la empresa. Es la declaración fundamental del quehacer institucional que le da carácter constitutivo a la organización y a su accionar. La misión constituye la imagen actual que proyecta la empresa.

- Valores

Los valores de la empresa son los pilares más importantes de cualquier organización. Con ellos en realidad se define a sí misma, porque los valores de una organización son los valores de sus miembros, y especialmente los de sus dirigentes.

Los valores conforman las reglas o los principios que regulan el comportamiento individual y grupal para tener una convivencia armónica y productiva. Los principios y valores definen la identidad y destino de la empresa haciéndolos parte fundamental de su cultura organizacional.

Tabla XCIV. **Material de evaluación módulo 1**

EVALUACIÓN MÓDULO 1	
I. Visión	
1.	¿Cómo se ve la empresa en el futuro?: _____ _____
2.	¿Qué quiere hacer la empresa en el futuro?: _____ _____
3.	¿Cuáles son los proyectos futuros que tengo respecto a mi vida personal, familiar, de trabajo, comunitaria y con el mundo?: _____ _____
II. Misión.	
4.	¿Quiénes somos (con la empresa)?: _____ _____
5.	¿Qué buscamos (con la empresa)?: _____ _____
6.	¿Por qué lo hacemos (con la empresa)?: _____ _____
7.	¿Para quién trabajamos?: _____ _____

Continuación de la tabla XCV.

III.	Valores.
8.	¿Cuáles son nuestros valores empresariales?: _____ _____
9.	¿Cuáles son los cinco valores principales que me han enseñado mis padres, familiares, maestros, jefes y otras personas que han influido en mí?: _____ _____
10.	¿Cuáles son los valores que estoy viviendo en mi vida personal, familiar, laboral, comunitaria y con el mundo?: _____ _____
11.	¿Cómo y a través de qué valores quiero compartir mi vida, mi misión y mi visión con los demás?: _____ _____

Fuente: elaboración propia.

5.3.1.1. Cumplimiento del código de conducta o de ética

El código de conducta es un normativo, declaración y marco de referencia común de la organización, en donde se presentan las obligaciones, reglas y criterios para lograr que los miembros de una organización actúen éticamente ante los dilemas, aspectos y situaciones diversas de la organización.

- Ética

Es la ciencia práctica de carácter filosófico que estudia los humanos buenos y malos en las acciones humanas libres.

- Moral

Es la ciencia que estudia los actos humanos buenos y malos, problemática que se plantea en la conciencia del hombre, fundamentada en el derecho natural.

Se debe inculcar a los colaboradores de que el código de ética, no solo es una declaración de valores y principios que se desean en la empresa, sino que estos deben de ser el marco de referencia para institucionalizar la ética dentro de la empresa y establecer el comportamiento de todos sus miembros, fomentando las virtudes humanas y la responsabilidad social de la empresa.

La cultura corporativa actual se fundamenta en los siguientes valores, responsabilidad, honestidad, respeto, excelencia, humildad, lealtad, amistad, como única fuente del éxito sostenible.

Por lo que se debe realizar programas publicitarios y educativos en valores y código de conducta de todos los colaboradores de la empresa, estableciendo sus límites, reglas de comportamiento, procesos de denuncia, sanciones y seguimiento de su cumplimiento, como también con todos los grupos importantes de la organización.

5.3.2. Cultura de trabajo bien realizado, puntualidad y cuidado de equipo

La responsabilidad primordial de los trabajadores con la empresa es proteger el patrimonio de esta, la cual se alcanza con el cumplimiento de todas las obligaciones contraídas en su contrato de trabajo y en todas las actividades informales de los grupos de trabajo de cualquier departamento de la empresa.

En el caso del departamento de mantenimiento, que es el personal que tiene contacto directo con la maquinaria y equipos, debe estar consciente de la responsabilidad tan grande que conllevan al momento de realizar mantenimiento y velar por el funcionamiento de los equipos, el personal debe estar consciente de que el resultado de su trabajo de mantenimiento, repercute significativamente en el funcionamiento óptimo del proceso de producción.

El personal debe cumplir con responsabilidad todas sus obligaciones, tanto de mantenimiento como inspección de los equipos, es necesario inculcar a los trabajadores a vivir la ética de las virtudes, ofreciendo fidelidad a la empresa sin importar el puesto desempeñado, actuar con veracidad y rectitud y puntualidad en las labores realizadas

CONCLUSIONES

1. En la planta INHSA, Molinos Modernos el aire comprimido es vital para el proceso de transformación del trigo, debido a que gran parte de las máquinas y equipos funcionan con mecanismos neumáticos, luego de evaluar el sistema actual de aire se observaron diversas deficiencias que ofrecen un potencial de mejora desde su raíz en el cuarto de compresores, hasta la entrega del aire en las maquinas y equipos neumáticos de la planta.
2. Las causas que provocan una instalación de aire comprimido deficiente son, tuberías sin mantenimiento que se han abandonado completamente, sin soportes ni inclinaciones de conducción de condensado, sin purgas manuales o automáticas, con fugas de aire comprimido como también tuberías en desuso que desperdician aire por dichas fugas existentes, se encontraron también estrangulaciones, en diversas partes de la red de aire comprimido, instaladas por falta de tubería del mismo diámetro al momento de realizar modificaciones en el sistema, provocando grandes pérdidas de presión por la reducción de diámetros, de forma innecesaria.
3. A través del nuevo sistema de aire comprimido, se logrará un sistema de producción más confiable, con el funcionamiento de todos los equipos neumáticos en condiciones óptimas, no existiendo deficiencias o paros innecesarios en el molino por presión de entrega de aire; este será más limpio y sin impurezas y se eliminarán altos y frecuentes costos de mantenimiento en equipos de compresión.

4. Los compresores de INHSA Molinos Modernos son un poco antiguos y no son muy eficientes al generar aire comprimido, requiere de servicios de mantenimiento muy continuos, teniendo como resultado costos anuales de mantenimientos muy elevados. A través de la compra de los compresores de aire AS 20 y ASD 40S con 55,86 % y 60,78 % de carga respectivamente, se obtiene mejor control de la presión en el sistema existe una tendencia horizontal de la presión de entrega al sistema, siendo esta más continua y sin mayores altibajos de presión, como la realizada con los compresores actuales. El sistema mejorado de aire comprimido en la planta se alcanzará con la inversión justificada de equipos que ofrece un alto porcentaje de rentabilidad, reduciendo hasta un 50 % el costo actual de energía eléctrica.
5. Se localizaron y se repararon las fugas de aire comprimido con el equipo ultrasónico Ultraprobe 10 000, que ocasionaban un desperdicio de 80 CFM de aire comprimido en concepto de fugas; se presentan también las mejoras de la red de aire comprimido identificando tuberías innecesarias, puntos de estrangulación en el sistema y se describe los circuitos de aire con distribución correcta, con el diámetro de tubería adecuado tomando en cuenta que la caída de presión máxima aceptable en una red de aire comprimido debe ser menor de 1,5 % de la presión de trabajo.
6. Se presenta también un programa de capacitación, al personal encargado del cuidado y mantenimiento de los nuevos compresores y sistemas de aire comprimido, con los temas ética y conducta para el departamento de mantenimiento, como seguridad e higiene industrial en las distintas aplicaciones de aire comprimido.

RECOMENDACIONES

1. El aire comprimido es fundamental, en INHSA, Molinos Modernos como en otras plantas, ya que permite llevar a cabo varios procesos de producción, por lo que se debe dar el adecuado mantenimiento, diseñar y realizar eficientemente las instalaciones neumáticas, tomando en consideración las necesidades tanto para corto, mediano y largo plazo.
2. Al momento de diseñar una red de aire comprimido se deben evitar puntos de estrangulación en las tuberías, las líneas de distribución que conforman las tuberías de aire comprimido deben estar bien balanceadas, se deben eliminar tuberías innecesarias en el sistema y todas las tuberías deben tener inclinación para la conducción del condensado y se deben de instalar filtros al final de cada uno de las máquinas y equipos del sistema, como en la alimentación al anillo de distribución, para evitar el paso de condensado al sistema.
3. Para el control de condensado se debe de utilizar las tuberías que usualmente son llamadas “cuellos de ganso”, en cada una de las máquinas como en la toma de aire comprimido, para evitar el traslado del condensado aun existente en el anillo de distribución, a cilindros neumáticos y electroválvulas.
4. Generalmente, todas las redes de aire comprimido comienzan a presentar fugas luego de funcionamiento. Normalmente se especifica 5 % de la capacidad de compresión para compensar estas, en caso de haber fugas por más de dicho porcentaje, se debe revisar minuciosamente la red.

5. Se deben de evitar el uso de aire comprimido para efectos de limpieza, porque significa costos en producción del aire y por seguridad e higiene industrial, el uso de aire comprimido para efectos de limpieza es dañino para el ser humano, tanto para limpieza personal, como para la planta, porque las partículas de harina solo circulan de un lugar a otro, pero no se elimina completamente.

6. Se debe evaluar el pulmón de un sistema de aire comprimido, que es el compresores de aire, se debe verificar si son muy antiguos e ineficientes al generar aire comprimido, en el caso de los compresores de INHSA necesitaban de un servicio de mantenimiento muy continuos, teniendo como resultado costos anuales de mantenimientos muy elevados, la presión de entrega por los compresores no era continua, existían picos de caída de presión menores del requerimiento mínimo, ocasionando descontrol en las distintas máquinas del molino, ya que el flujo de aire no llegaba a la presión necesaria, provocando tiempos perdidos en accionamiento de cilindros neumáticos sin la fuerza mecánica necesaria para su funcionamiento eficiente, ocasionando descontrol de máquinas y paros en el molino innecesarios estos debían de entregar aire comprimido a presión constante, ocasionando una caída de presión promedio de 30 PSI, incurriendo a gastos de energía eléctrica de 6 a 10 % del consumo, en comparación a condiciones ideales del sistema.

7. Generalmente, todas las redes de aire comprimido comienzan a presentar fugas luego de funcionamiento. Normalmente se especifica 5 % de la capacidad de compresión para compensar estas, en caso de haber fugas por más de dicho porcentaje, se debe revisar minuciosamente la red.

BIBLIOGRAFÍA

1. BARILLA JIMÉNEZ, Cesar Augusto. *Consideraciones a tomar en cuenta para un Montaje Industrial*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica Industrial. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 1976. 73 p.
2. BAUMEISTER, Thoodore. *Manual del Ingeniero Mecánico*. México: McGraw-Hill. 1988. 615 p.
3. CARNICER ROYO, Enrique. *Teoría y cálculo de las instalaciones*. Madrid: Paraninfo. 1991. 128 p.
4. CARRULLA ADMETLER, Miguel. *Circuitos Básicos de Neumática*. México: Alfaomega. 1995. 148 p.
5. CREUS SOLÉ, Antonio. *Neumática e Hidráulica*. México: S.A. Marcombo. México. 2008. 616 p.
6. FIGUEROA VILLEDA, Juan Alberto. *Mejoramiento de la instalación neumática existente en la empresa Industria técnico-farmacéutica*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 1993. 72 p.
7. HARRY L. Stewart, *Energía Hidráulica y Neumática Industrial*. España: Interciencia. 1964. 454 p.

8. LÓPEZ CORONADO, William Antonio. *Diseño, montaje y prueba en marcha de una red de aire comprimido para un taller de prensas*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 1997. 94 p.
9. MAJUMDAR, S.R. *Sistemas neumáticos, principios y mantenimiento*. México: McGraw-Hill. 1998. 299 p.
10. MÉNDEZ MARTINES, Víctor Manuel. *Mejoramiento de la red de aire comprimido en la planta de clavo y alambre de la empresa Aceros de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2005. 187 p.
11. MINERA SOTO, Rony Antonio. *Manual de Neumática aplicado al laboratorio de instalaciones mecánicas*. Guatemala. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2003. 166 p.