

TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA
Ingeniería en Mantenimiento Industrial



**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Mantenimiento Industrial**

**EVALUACIÓN Y MEJORA DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO DE LA
PLANTA DE FIBROCEMENTO PLYCEM**



EMMANUEL JIMÉNEZ SOLÍS
200861214

II Semestre 2014



Escuela Acreditada por el
Canadian Engineering Accreditation Board (CEAB)

Hoja de Información

Información del Estudiante:

Nombre: Emmanuel Antonio Jiménez Solís

Cédula: 1-1416-0746

Carné ITCR: 200861214

Dirección de residencia permanente: Río Oro, Santa Ana, San José.

Teléfonos: 2203-2162 / 8304-4650

e-mail: ejimenezs@estudiantec.cr / eantoniojs@gmail.com

Información del proyecto:

Nombre del proyecto: "Evaluación y mejora del sistema de aire comprimido de la planta de fibrocemento Plycem"

Asesor académico: Ing. Alberto Garro Zavaleta

Horario de trabajo del estudiante: Lunes a viernes, de 8 a.m. a 5:00 p.m.

Información de la empresa:

Nombre: Plycem

Zona: Paraíso, Cartago

Dirección: 5 km este de la Basílica de Nuestra Señora de los Ángeles, contiguo al restaurante Casa Vieja

Teléfono: 2575-4300

Actividad principal: Fabricación de láminas de fibrocemento

Asesor industrial: Ing. Diego Solís Calderón

Agradecimiento

A los compañeros del departamento de mantenimiento de la empresa Plycem, por su amabilidad y apoyo durante el tiempo que estuve a su lado realizando este proyecto.

A los profesores del TEC por su dedicación y compromiso en la formación de profesionales para este país, en especial al profesor Ing. Alberto Garro Zavaleta por su apoyo y guía durante la práctica.

Dedicatoria

A mis padres, pilares y guías, por su apoyo y sacrificio, sin ustedes nunca hubiese llegado hasta aquí.

A mis hermanos por su apoyo incondicional.

Evaluación sistema de aire comprimido

Contenido

Capítulo 1	Plycem.....	1
1.1	Generalidades de la empresa.....	2
1.1.1	Misión.....	2
1.1.2	Visión.....	2
1.1.3	Valores.....	2
1.1.4	Localización.....	2
1.1.5	Antecedentes.....	3
1.1.6	Organización.....	5
1.1.7	Política de calidad.....	6
1.2	Productos.....	7
1.2.1	Materia prima.....	7
1.2.2	Descripción del proceso productivo.....	8
1.2.3	Producción Primaria.....	9
1.2.4	Producción Secundaria.....	10
1.2.5	Presentaciones del fibrocemento de Plycem.....	11
Capítulo 2	Descripción del proyecto.....	15
2.1	Objetivos.....	16
2.1.1	Objetivo general.....	16
2.1.2	Objetivos específicos.....	16
2.2	Metodología.....	16
2.2.1	Recopilación de información.....	17
2.2.2	Distribución de la información obtenida.....	17
2.2.3	Análisis de la información.....	18

Evaluación sistema de aire comprimido

2.3 Alcances y limitaciones	18
Capítulo 3 Marco teórico	19
3.1 Generalidades	20
3.2 Generación de Aire Comprimido	21
3.2.1 Compresores de tornillo.....	21
3.3 Aire libre	23
3.4 Requerimiento de una red de aire comprimido	25
3.5 Distribución del aire comprimido	26
3.6 Preparación del aire	30
3.6.1 Red de aire comprimido con secador instalado a la salida del compresor, red en circuito cerrado o abierto.....	30
3.6.2 Red de aire comprimido sin secador, red en circuito abierto.	31
3.7 Dimensión de tuberías	32
3.7.1 Pérdidas por caídas de presión	33
3.7.2 Pérdidas por fugas.....	38
3.7.3 Presión de trabajo.....	38
3.7.4 Futuras ampliaciones.....	39
3.7.5 Caudales	39
3.8 Preparación del aire	41
3.8.1 Humedad absoluta.....	44
3.8.2 Humedad de saturación.....	44
3.8.3 Humedad relativa:.....	45
3.9 Procedimiento de secado.....	46
3.9.1 Secador por absorción.....	46

Evaluación sistema de aire comprimido

3.9.2	Secador refrigerativo	47
Capítulo 4	Estado actual del sistema de aire comprimido	48
4.1	Usuarios de aire comprimido.....	49
4.1.1	Descripción de los usuarios	49
4.1.2	Cálculo del requerimiento de los equipos	63
4.1.3	Estado de los paneles neumáticos de las máquinas	64
4.2	Red de distribución.....	66
4.2.1	Descripción de la red	66
4.2.2	Pérdidas de presión por fricción en las tuberías	68
4.2.3	Fugas.....	70
4.3	Descripción del cuarto de compresores	70
4.4	Problema que se presenta	75
Capítulo 5	Propuesta de solución	78
5.1	Fugas	79
5.2	Separación del sistema de transporte de polvo	79
Capítulo 6	Análisis económico	83
Capítulo 7	Conclusiones	86
7.1	Conclusiones.....	87
Bibliografía	88	
Bibliografía.....		89
Apéndices	90	
Apéndice 1.....		91
Anexos	95	
Anexo 1.....		96

Evaluación sistema de aire comprimido

Anexo 2.....	99
Anexo 3.....	100
Anexo 4.....	101
Anexo 5.....	102
Anexo 6.....	103

Tablas

Tabla 4-1. Presiones de trabajo de los equipos neumáticos	50
Tabla 4-2. Consumo en scfm del área de fibras.....	51
Tabla 4-3. Consumo en scfm de la máquina de placas 1	52
Tabla 4-4. Consumo en scfm de la Máquina de placas 2.....	54
Tabla 4-5. Consumo en scfm del horno 1	57
Tabla 4-6. Consumo en scfm del horno 2	58
Tabla 4-7. Consumo en scfm del horno 3	59
Tabla 4-8. Consumo en scfm de la sierra simple	60
Tabla 4-9. Consumo en scfm de la sierra doble	61
Tabla 4-10. Consumo en scfm de la sierra step-up.....	62
Tabla 4-11. Consumo de aire comprimido de los equipos en Plycem.....	63
Tabla 4-12. Especificación de puntos en la distribución de la red	67
Tabla 4-13. Pérdidas de presión en los tramos de tubería.....	68
Tabla 4-14. Pérdidas de presión por tuberías en las máquinas	69

Evaluación sistema de aire comprimido

Figuras

Figura 1-1. Localización de la Planta Plycem.....	3
Figura 1-2. Organigrama administrativo de Plycem	5
Figura 1-3. Organigrama del departamento de mantenimiento de Plycem	6
Figura 1-4. Diagrama de flujo del proceso productivo.	8
Figura 1-5. Posible utilización de Plydeck	12
Figura 1-6. Posible aplicación de Siding de Plycem.....	13
Figura 3-1- Funcionamiento de un compresor de tornillo	22
Figura 3-2. Secador Ingersoll Rand.....	26
Figura 3-3. Toma de aire de bajante en tubería secundaria.....	29
Figura 3-4. Red de distribución cerrada	31
Figura 3-5. Diseño de una red de aire comprimido con tratamiento convencional en circuito abierto.....	32
Figura 3-6. Nomograma para el cálculo de pérdidas de presión en tuberías	37
Figura 4-1. Panel neumático hornos 1 y 2.....	65
Figura 4-2. Regulador de presión en sistema de transporte de polvo	65
Figura 4-3. Regulador y filtro en panel neumático horno 3.....	66
Figura 4-4. Distribución general de la red de aire comprimido	67
Figura 4-5. Distribución cuarto de compresores.....	71
Figura 4-6. Compresor Ingersoll Rand 50 hp	72
Figura 4-7. Compresor Ingersoll Rand 60 hp	73
Figura 4-8. Compresor Ingersoll Rand 75 hp	74
Figura 4-9. Compresor Kaeser 125 hp.....	75
Figura 9-1. Precios vigentes de la electricidad según JASEC.....	103

Evaluación sistema de aire comprimido

Ecuaciones

Ecuación 3-1. Costo anual de operación compresores Ingersoll Rand	23
Ecuación 3-2. Actualización de caudal de aire	24
Ecuación 3-3. Diámetro de tubería	34
Ecuación 3-4. Índice de resistividad	35
Ecuación 3-5. Flujo másico	35
Ecuación 3-6. Pérdida de presión	36
Ecuación 3-7. Presión absoluta de trabajo del sistema	39
Ecuación 3-8. Caudal de diseño	40
Ecuación 3-9. Caudal para cilindros de simple efecto	40
Ecuación 3-10. Caudal para cilindros de doble efecto.	41
Ecuación 3-11. Ley de Dalton	42
Ecuación 3-12. Humedad absoluta	44
Ecuación 3-13. Humedad absoluta	44
Ecuación 3-14. Humedad de saturación	45
Ecuación 3-15. Humedad relativa	45

Resumen

El proyecto de evaluación del sistema de aire comprimido de la planta Plycem se completó con el objetivo de disminuir el consumo energético que representa este sistema para la empresa.

En todo el proceso de fabricación de láminas de fibrocemento intervienen sistemas neumáticos, por lo que el aire comprimido es de suma importancia para la empresa, pero desde aproximadamente un año atrás se presentan problemas de caída de presión y los cuatro compresores disponibles se encuentran trabajando en régimen permanente.

Para encontrar la causa del problema, primero era necesario conocer las necesidades de los equipos, dado que no se contaba con el requerimiento de la mayoría de estos, para ello se investigó con proveedores, en manuales y se practicaron las mediciones para determinar el consumo de los equipos neumáticos y de las características de la red de distribución.

Ya con la información necesaria recopilada, se calcularon las pérdidas por fricción y se determinó que están dentro de lo recomendado, por lo que no son el causante de las caídas de presión, mientras que el caudal requerido por los equipos es menor al entregado por los compresores.

Aunque los compresores entregan el caudal necesario no alcanzan la presión mínima requerida por los equipos, por otro lado se midió que el sistema pierde 184 cfm en fugas que representa un 23% del consumo real de los equipos. Una vez identificadas las causas del problema se decidió proponer la independización del sistema de transporte de polvo, equipo con el requerimiento más alto de aire comprimido, para asegurar que cuando este entre en funcionamiento no afecte a los demás equipos.

Con el diseño propuesto se proyecta un ahorro anual de hasta \$26242 de concretarse los cambios recomendados.

Abstract/Summary

The objective of the compressed air system Evaluation Project from the Plycem plant was to reduce the energy consumption that this system represented for the company.

Throughout the whole fiber cement sheets manufacturing process, the pneumatic systems intervene, so the compressed air results vital for the company. However, since a year ago, approximately, pressure drop problems have arisen, and four available compressors are working in a permanent regime.

In order to find the cause of the problem, first, it turned necessary to know the equipment needs because the majority of them lacked the requirements. For this reason, manuals were investigated with the suppliers' help and some measurements were performed to determine the pneumatic equipment consumption and the features of the distribution network.

With all the compiled information, the losses for friction were calculated, and it was determined that they are under the recommended parameters. Therefore, these losses are not the cause of the pressure drop, while the flow required by the equipment is less than the one delivered by the compressors.

Although the compressors have the needed flow, they are unable to reach the minimum pressured required by the equipment. On the other hand, it was measured that the system loses 184 cfm due to leaking, which represents 23% of the equipment real consumption. Once the causes of the problem were identified, a decision to suggest the separation of the powder transport system was made, which is an equipment with the highest compressed air required, to ensure that their functioning does not affect the other equipment.

With the proposed design, it is planned annual savings up to \$26242, if the recommended changes are made.

CAPÍTULO 1

PLYCEM

1.1 GENERALIDADES DE LA EMPRESA.

1.1.1 Misión

“Producir y comercializar rentablemente productos y soluciones para la industria de la construcción con énfasis en sistemas livianos operando en un marco de ética, eco-eficiencia y responsabilidad social.

1.1.2 Visión

“Queremos ser reconocidos como un grupo empresarial líder en Latinoamérica conformado por empresas que crean valor económico operando dentro de un marco de ética, de eco-eficiencia y de responsabilidad social, de manera que podamos contribuir a mejorar la calidad de vida de la gente.

1.1.3 Valores

Nuestros clientes.

Todos nuestros colaboradores buscan constantemente anticipar y satisfacer las necesidades cambiantes de nuestros clientes.

1.1.4 Localización

La fábrica de productos de fibrocemento Plycem se encuentra en paraíso de Cartago, 5 km al este de la Basílica de Nuestra Señora de los Ángeles.



Figura 1-1. Localización de la Planta Plycem

Fuente. Google Earth

1.1.5 Antecedentes

Hace más de 50 años se inició la operación en Latinoamérica con las compañías de ETERNIT. En Costa Rica se incursionó bajo el nombre Ricalit, treinta años más tarde: en los años ochenta se efectuó el cambio de asbesto – cemento a fibrocemento, donde varias operaciones fueron vendidas.

Evaluación sistema de aire comprimido

En noviembre de 1996, la corporación AMANCO de Costa Rica comienza sus operaciones producto de la fusión de tres empresas: Ricalit S.A.; Plásticos para la Construcción S.A. (P.P.C.) y Accesorios Plásticos Centroamericanos S.A. (A.P.C.), no obstante su consolidación no se produce inmediatamente, sino hasta el primero de junio de 1998.

En el año 1999, se crea el centro Plycem para la investigación de la tecnología de fibrocemento en Costa Rica.

En 2009, se crea ELEMENTIA, una corporación de capital mexicano, ese año Plycem pasó a ser parte de esta corporación.

Ricalit S.A.

Surge en marzo de 1962, cuando tres empresarios nacionales Sr. Jack S. Harris, Sr. Edmont Woodbridge y Sr. Daniel Ratton, se entusiasman con la idea de instalar una planta para fabricar productos de asbesto - cemento, lo que se logra el 2 de diciembre de 1964, al producirse láminas de dicho material.

Con dificultades económicas, Ricalit se desarrolló lentamente pero a paso firme en el mercado nacional, y en el año 1973, lanza un nuevo producto: el tubo de asbesto- cemento. En 1980 se inician los primeros intentos para sustituir el asbesto, lo cual se logra en el año de 1983 y de donde surge el Fibrolit 100, producto que tuvo gran aceptación en el mercado.

Rápidamente este producto fue utilizado por las empresas constructoras y el público en general para la fabricación y remodelación de viviendas; debido a que su manejabilidad, calidad y precios, se ajustaban a las necesidades de los clientes. Inicialmente las láminas se utilizaban en la construcción de paredes y exteriores, sin embargo, con el tiempo se les fue dando otros usos.

Podría decirse que su principal producto es el Fibrolit 100 para construcciones, el cual es utilizado en paredes, cielo raso, tablillas para paredes y

Evaluación sistema de aire comprimido

precintas, cielos artesanados, paredes de tablilla, tapicheles, entrepisos, puertas, estanterías y muebles, closets, segundos pisos y ampliaciones.

1.1.6 Organización

Plycem es parte de una gran organización transnacional llamada Elementia y como política de la empresa la estructura organizacional es 100% confidencial, por lo que se describe a continuación es una idea muy general de la esquematización administrativa de la empresa.

Se cuenta con una Gerencia Técnica, la cual tiene bajo su cargo la administración de todo lo que respecta a aspectos tales como producción, mantenimiento y otros.

Subordinada a ella se encuentran los diferentes departamentos principales, los cuales son: Aseguramiento de la Calidad, Mantenimiento y Proyectos y Producción Primaria y Secundaria.

Organigrama de Plycem

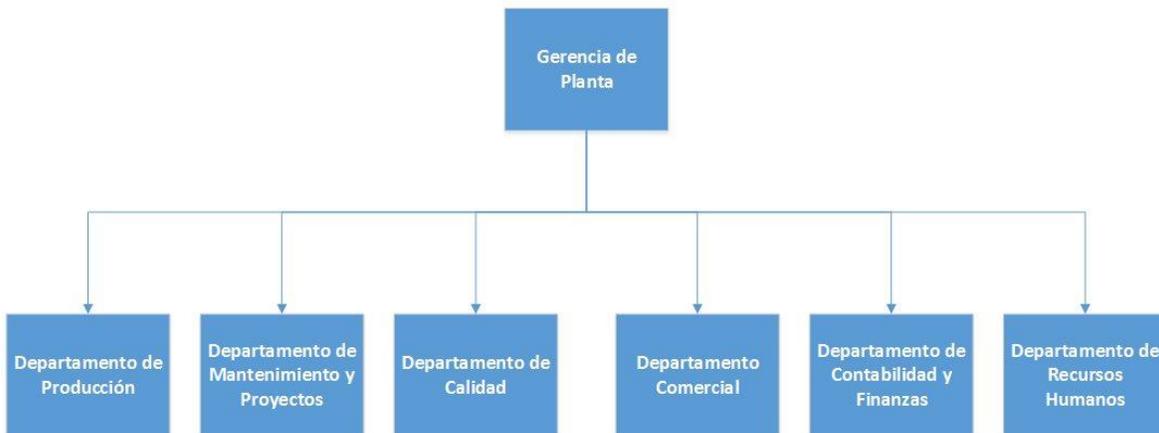


Figura 1-2. Organigrama administrativo de Plycem

Fuente: MS Visio, elaboración propia.

Evaluación sistema de aire comprimido

El jefe de mantenimiento tiene a su cargo dos supervisores de mantenimiento correctivo y uno de mantenimiento preventivo, cada uno con un equipo de técnicos eléctricos y mecánicos.

Organigrama del departamento de Mantenimiento Plycem

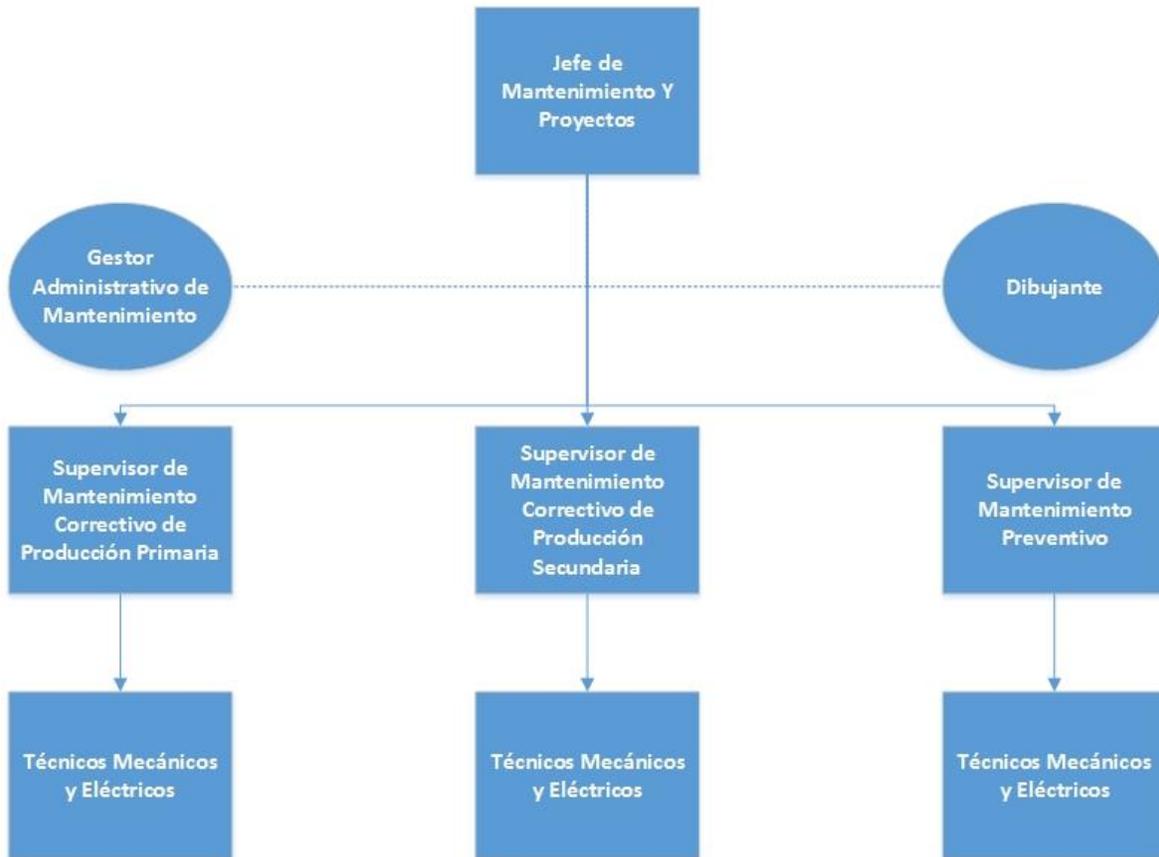


Figura 1-3. Organigrama del departamento de mantenimiento de Plycem

Fuente: MS Visio, elaboración propia.

1.1.7 Política de calidad

Plycem es una empresa privada y por lo tanto tiene como objetivo esencial la creación de valor económico para sus accionistas, mediante el desarrollo de mercados, la eficiencia operativa, la innovación y el crecimiento. No obstante, sus actividades deben ser protegidas por sus valores fundamentales, orientadas por su visión e impulsadas por su misión y por el siguiente enunciado:

Evaluación sistema de aire comprimido

“Nuestro trabajo hace énfasis en aumentar la competitividad de la compañía a través de:

- Mejoras en el nivel de servicio que ofrecemos a nuestros clientes
- Mejoras en la calidad de nuestros productos
- Mejoras en la productividad
- La reducción de contingencias futuras relacionadas con el medio ambiente y la sociedad civil.”

1.2 PRODUCTOS

1.2.1 Materia prima

El Plycem requiere para su fabricación de diferentes materiales, como lo son: cartón, papel periódico, sulfato de aluminio, cemento y caliza. Los proveedores de estos componentes son:

- Industria Nacional de Cemento INCSA, ubicada en Agua Caliente de Cartago, la cual distribuye cemento a granel y en saco. El cemento que se utiliza en el proceso es diferente al de uso convencional.
- Corrugados del Guarco, ubicada en el Parque Industrial de Cartago, distribuye cartón.
- Envaco, ubicada en Limón, distribuye cartón.
- Sr. Erick Jiménez, que se encarga de suministrar periódico a la empresa.
- Carboazul, ubicada en Turrialba, la cual suministra carbonato de calcio en saco y a granel.
- Metal-química, empresa ubicada en Panamá, distribuye sulfato de aluminio
- El periódico también se recibe por medio de campañas de reciclaje y de diferentes proveedores nacionales.

1.2.2 Descripción del proceso productivo.

En el proceso de manufactura del Plycem se distinguen tres áreas principales, las cuales tienen el siguiente orden: Materia Prima, Producción Primaria y Producción Secundaria.

Flujograma del proceso de fabricación de productos de fibrocemento

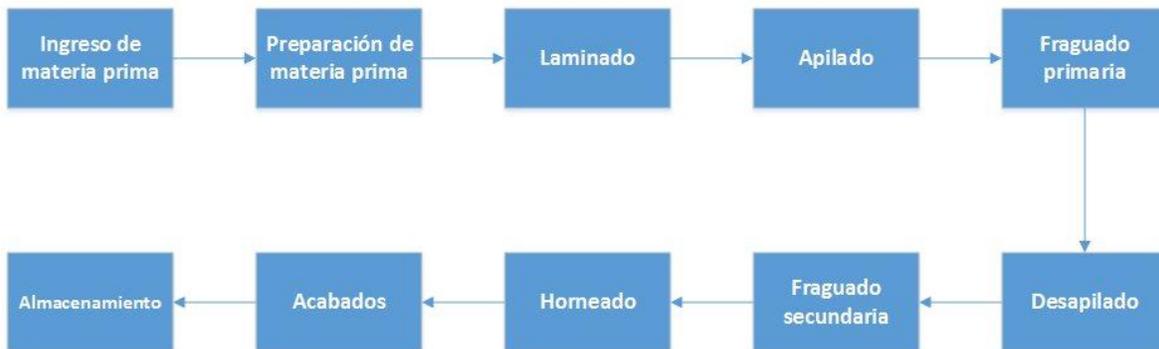


Figura 1-4. Diagrama de flujo del proceso productivo.

Fuente: MS Visio, elaboración propia.

1.2.2.1 Bodega de Materia Prima

Se encarga de recibir y almacenar los materiales necesarios para la fabricación de las láminas de fibrocemento, estos productos son: cartón, papel periódico, sulfato de aluminio, cemento y caliza. Además, se encarga del control de la descarga del cemento y la caliza a granel en los respectivos silos. A todas las materias primas se le practican las pruebas de calidad necesarias para garantizar la calidad del producto final. Si alguna de las materias primas no cumple con los estándares establecidos se procede a su devolución.

1.2.3 Producción Primaria

1.2.3.1 Área de fibras

El Área de Fibras es donde se prepara la celulosa que se va a necesitar para la fabricación de la lámina. Aquí se mezclan: cartón, periódico, agua y sulfato de aluminio. Todo el proceso es automatizado.

En esta etapa, el cartón y el papel periódico se colocan en carretas por medio de las cuales se suben hacia las puertas de un desfibrador (tanque especializado) llamado Pulper, donde caen y se les adiciona una sustancia líquida formada por agua y sedimentos provenientes del proceso. De ahí pasa, por medio de la tubería, hacia otro tanque llamado Tina 1 (son 4), que almacena temporalmente la mezcla antes de pasarla por medio de un separador de pesados que elimina cualquier pieza de aluminio o hierro que se encuentre en la mezcla (clavos, arandelas, grapas, etc.), y un separador de livianos que quita los residuos como plásticos, mecates y goma producida por cartón, de forma tal que no existan contaminantes en la mezcla.

De los separadores, pasa a la Tina 2, y espera a que las Tinas 3 y 4 requieran material. Antes que la mezcla pase a alguna de estas tinas, pasa por un refinador, al que se le llama Deflaker, de manera que se le pueda dar más fineza a la fibra. De ahí sale a los dosificadores de celulosa de cada una de las máquinas.

1.2.3.2 Área de Preparación Fraccionada

En esta parte del proceso, participa un tanque al que se le denomina IMI. A este tanque llega el cemento, caliza y agua con sedimentos en suspensión provenientes del proceso. Esta mezcla es llevada por medio de tuberías a otro tanque llamado GEMI 1, donde se le agregan otros componentes: celulosa proveniente del área de fibras, espuma de un cono diseñado para esa función (CONO 1), agua proveniente del mismo proceso (CONO 2) y pasta de recortes reprocessados (DISOLUTOR). Una vez lista la pasta, esta se pasa por un sistema

Evaluación sistema de aire comprimido

de tuberías al GEMI 2, (también llamado HOMO), donde se mantiene circulando hasta la siguiente fase.

1.2.3.3 Área de Formación de la lámina

La pasta proveniente del HOMO, es llevada hasta la caja Flow-On, donde se homogeniza antes de pasar al proceso de formación de la lámina. En el proceso de formación de la lámina, la mezcla se vierte sobre una banda de fieltro que la transporta hasta un cilindro formador al que se van adhiriendo las capas de la mezcla hasta completar el espesor que se requiera.

1.2.3.4 Área de corte

Una vez formada la lámina se deben cortar según las medidas establecidas. Al salir del formador se monta sobre una banda transportadora que la hace pasar por una sierra de corte longitudinal y luego pasa a una apiladora donde se le produce un corte transversal, una vez que las láminas se apilan por lotes en diferentes carretas pasan a la siguiente fase del proceso.

1.2.3.5 Cámara de fragua primaria

Cuando las láminas han sido apiladas por lotes en las carretas, entran en la cámara de fragua primaria, como su nombre lo indica, aquí se fragua la lámina. Cada carro tarda entre 8 y 9 horas. El calor que se utiliza en el proceso de fragua se obtiene del vapor producido por las calderas.

1.2.4 Producción Secundaria

1.2.4.1 Cámara de fragua secundaria

Cuando termina el proceso de fragua primaria, las láminas se desapilan y se introducen en la cámara de fragua secundaria, donde permanecen por lo menos siete días. La cámara trabaja con base en la humedad que se inyecta por medio de boquillas. Uno de los aspectos interesantes de esta etapa es que se

Evaluación sistema de aire comprimido

genera vapor debido a las reacciones químicas que se producen en el proceso de fragua, de ahí que esta cámara también esté cubierta con aislante térmico.

1.2.4.2 Área de Hornos

Después de la fragua sigue el proceso de secado, el cual se efectúa en hornos. Dentro de los hornos existen tres secciones:

- La sección de presecado
- La sección de secado
- La sección de post-secado

La temperatura describe una gráfica normal, teniendo su punto de mayor valor en la sección de secado. Este paso tiene dos objetivos principales: se elimina la humedad de los procesos anteriores y permite que se dé la formación del carbonato de calcio por medio de la carbonatación.

1.2.4.3 Área de acabados

Cuando las láminas salen del proceso de secado, pasan al área de sierras, aquí se les da la medida exacta, también se les practica un proceso de inspección para separar las láminas defectuosas, así como el producto que se destina para consumo nacional y exportación. Del Área de Sierras pasan a la bodega de producto terminado o al área de lijado, ranurado, moldurado y/o impregnación. Esto con el fin de producir las diferentes presentaciones del fibrocemento.

1.2.5 Presentaciones del fibrocemento de Plycem

El proceso productivo que se cumple en Plycem da como resultado una variedad de presentaciones de fibrocemento que permite la utilización de este material en pisos, paredes, techos y acabados.

A continuación una breve descripción de los productos de acuerdo con su posible utilización.

Evaluación sistema de aire comprimido

1.2.5.1 Piso

1.2.5.1.1 Plystone

Producto de alto espesor diseñado con características especiales para satisfacer los parámetros técnicos más exigentes, y proporciona un alto nivel de durabilidad y seguridad en las construcciones. Si se usa como entrepiso, puede instalarse de forma práctica cualquier tipo de piso o bien usarlo como base de techo de proyectos residenciales, industriales y comerciales.

1.2.5.1.2 Plydeck

Plydeck de Plycem le ofrece el atractivo y modularidad de la tradicional madera con los amplios beneficios del fibrocemento Plycem, y contribuye responsablemente con el medio ambiente.

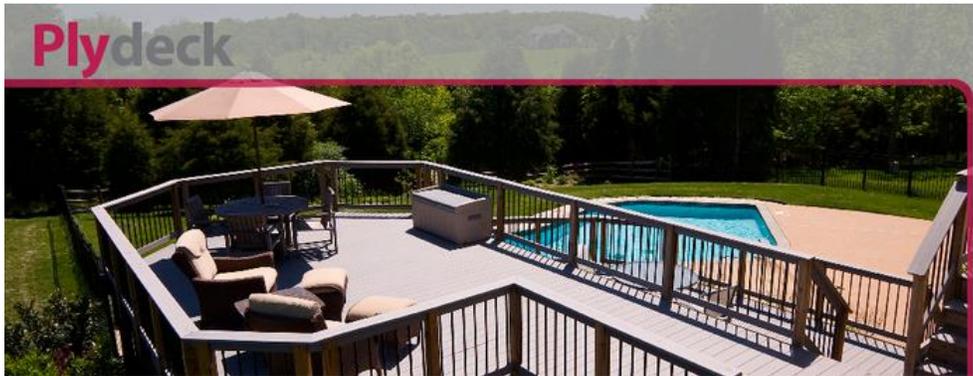


Figura 1-5. Posible utilización de Plydeck

Fuente: <http://www.plycem.com/productos/piso/plydeck-2/>

1.2.5.2 Paredes

1.2.5.2.1 Plyrock

Novedoso sistema de lámina de fibrocemento, malla y revestimiento diseñado para lograr paredes externas o internas totalmente lisas, sin fisuras y además no se deshace. Para garantizar el resultado, utilice el sistema completo

Evaluación sistema de aire comprimido

Plyrock de Plycem, incluyendo el revestimiento gris o en presentación de diversos colores.

1.2.5.2.2 Siding

Tablillas individuales de fibrocemento reforzado que cumplen con los requisitos de resistencia, seguridad y durabilidad exigidos en la construcción residencial, comercial o industrial. Son ideales para paredes internas o externas que requieren un acabado único con apariencia lisa o estilo madera.



Figura 1-6. Posible aplicación de Siding de Plycem

Fuente: <http://www.plycem.com/productos/paredes/siding-2/>

1.2.5.2.3 TablaTek

Lámina de fibrocemento con relieve tipo tablilla que brinda gran elegancia y le genera ahorro en el tiempo de instalación. Este producto ofrece el envidiable acabado de la tablilla de madera, pero que es resistente a las plagas, a la humedad, a los hongos y es incombustible.

1.2.5.3 Cielo raso

1.2.5.3.1 Fibrocel

Completa línea de cielos rasos de fibrocemento especialmente diseñados para satisfacer los gustos más variados. Por sus características técnicas pueden ser usados en aplicaciones residenciales, industriales o comerciales; y

Evaluación sistema de aire comprimido

dependiendo de la presentación, es usado como cielo raso suspendido o anclado. Producto incombustible, resistente a la humedad y a los hongos.

1.2.5.3.2 Fibrolit

Lámina multiuso que se adapta fácilmente a las necesidades constructivas de forma rápida y sin complicaciones. Ofrece alta durabilidad, es incombustible, es resistente a plagas y hongos. Se trabaja de manera sencilla y su peso la hace muy manipulable.

CAPÍTULO 2

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

2.1 OBJETIVOS

2.1.1 Objetivo general

1. Disminuir el consumo energético del sistema de aire comprimido por fugas y pérdidas por fricción en tuberías de la planta Plycem.

2.1.2 Objetivos específicos

1. Detectar y documentar los equipos de la planta que son usuarios del sistema de aire comprimido.
2. Determinar los requerimientos de funcionamiento para cada usuario.
3. Identificar las características de los compresores y demás componentes del sistema que suministra el aire comprimido.
4. Dibujar por medio de una herramienta CAD el plano de distribución del sistema de aire comprimido.
5. Calcular las pérdidas presentes en el sistema.
6. Analizar si el sistema de distribución cumple con los requerimientos técnicos necesarios para garantizar el funcionamiento óptimo de los usuarios.
7. Recomendar cambios al sistema para mejorar la conservación de la energía en el sistema.
8. Recomendar cambios al sistema para evitar daños a los usuarios debido a la calidad del aire que se les está suministrando.
9. Proyectar mediante una base de cálculo el ahorro energético y económico que se obtendrá al realizar los cambios.

2.2 METODOLOGÍA

Para llevar a cabo la evaluación de la red de aire comprimido de la planta de fibrocemento Plycem se siguió la metodología que se presenta a continuación:

2.2.1 Recopilación de información

Para elaborar un análisis adecuado del estado real de la planta en lo que a aire comprimido se refiere era necesario conocer datos como: cuántos equipos trabajan con aire comprimido, cuáles son los requerimientos de consumo de estos equipos, la calidad del aire que necesita cada equipo, el estado de la red de distribución, localización y cuantificación de fugas, el estado de los equipos del cuarto de compresores, entre otros.

Como la mayoría de usuarios del sistema están compuestos por pistones, se coordinó la medición de estos en los paros para mantenimiento preventivo con el fin de tener acceso a todos los pistones de las máquinas respetando las normas de seguridad que tiene la empresa.

En el caso del cuarto de compresores fue difícil la recopilación de información, pues no se cuenta con los manuales de los equipos y se tuvo que recurrir a mediciones que se tenían con anterioridad en la empresa.

Una vez con los datos de actuadores neumáticos se midió cantidad de veces que trabajan los equipos para posteriormente calcular el consumo de aire comprimido por máquina.

Es por estos motivos y tomando en cuenta la importancia de esta fase para la solidez y veracidad del proyecto, que esta parte de la metodología abarcó la mayor cantidad de tiempo destinado para la elaboración de la práctica.

2.2.2 Distribución de la información obtenida

Una vez completada la recopilación de la información de los equipos, se clasificó para los distintos cálculos que se necesitaron hacer por máquina, para el consumo de aire comprimido, para la determinación de los diámetros óptimos de tubería, la documentación de fugas, para la documentación de los equipos de producción de aire comprimido, etc.

2.2.3 Análisis de la información

Una vez con toda la información disponible ya clasificada se ejecutaron los cálculos para el consumo de aire comprimido por máquina y por área, se determinaron los diámetros de tubería óptimos para comparar estos resultados con los datos del sistema instalado y determinar si la red de aire comprimido está sobredimensionada, dimensionada correctamente para el requerimiento actual de la planta o sub-dimensionada.

2.3 ALCANCES Y LIMITACIONES

En este proyecto se evaluará el estado actual del sistema de aire comprimido de la planta Plycem, una vez que se tenga el conocimiento de su estado se plantearán recomendaciones para ahorrar energía en este sistema de la planta, sin embargo, esto no implica que las recomendaciones sean aplicadas por la empresa.

La mayoría de las máquinas están compuestas por pistones individuales, por lo que no se tiene el consumo de aire comprimido de cada máquina como dato de placa, por lo que los datos con los que se trabajó están dados por la estimación de la frecuencia de uso.

No se cuenta con la información del fabricante correspondiente a los equipos presentes en el cuarto de compresores, por lo que los datos utilizados para estos equipos son los normales, presentes en el mercado.

Se intentó medir el flujo de aire que entregan los compresores, pero por las exigencias de producción de la planta no se pudo disponer de los equipos para practicar las mediciones, es por esto que los datos utilizados provienen de una medición anterior con la que contaba la empresa.

CAPÍTULO 3

MARCO TEÓRICO

3.1 GENERALIDADES

El aire comprimido ha contribuido en el desarrollo de la humanidad desde mucho antes de la era industrial y tecnológica. Por ejemplo se puede decir que los pulmones son los compresores más antiguos de la historia y pueden tratar hasta 100 litros de aire por minuto, otros ejemplos, esta vez creados por el hombre son:

- Las cerbatanas, utilizadas para impulsar flechas.
- El fuelle creado mil quinientos años antes de nuestra era.

El aire comprimido se ha hecho un campo en la industria por su versatilidad, puesto que, aunque su acción no es tan rápida como la eléctrica sí es notablemente más rápida que la hidráulica.

La materia prima de los sistemas neumáticos es el aire libre, que se encuentra disponible para ser tomado y comprimido por los compresores para luego ser almacenado y transportado por medio de tuberías hasta las máquinas que transforman la energía de este aire en energía mecánica.

Algunas características del aire comprimido son:

- Costos no muy superiores con respecto a otros sistemas de energía.
- El aire no es tóxico, por lo que una fuga de aire comprimido no afecta al ambiente.
- Tiene gran capacidad de regulación y control.
- Los circuitos de aire comprimido no están expuestos a golpes de ariete como en los sistemas hidráulicos.
- Su uso se puede combinar con otras formas de energía.
- El aire no presenta riesgos de chispa ni cargas electrostáticas.
- Se puede utilizar en ambientes inflamables.
- No se necesita de tratamientos posteriores al uso para liberar el aire.

Evaluación sistema de aire comprimido

Así como cuenta con características positivas que la hacen una opción viable para el transporte de energía en la industria, la neumática también presenta algunas desventajas como lo son:

- Es difícil mantener velocidades de trabajo constantes cuando las resistencias del sistema son variables.
- Se debe dar un tratamiento adecuado en la producción de aire comprimido para evitar desgastes prematuros o fallas en los usuarios del sistema.

3.2 GENERACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO

La generación de aire comprimido se produce mediante máquinas llamadas compresores, estos toman el aire de la atmosfera y mediante procesos mecánicos le aumentan la presión.

Por lo general, los compresores están ubicados en un recinto especialmente acondicionado, debido al ruido que generan y a la ventilación que requieren. En este lugar, llamado comúnmente cuarto de compresores, también se ubica el secador y el tanque de almacenamiento principal.

Los compresores se pueden dividir en dos clases: reciprocantes y rotativos; pero independientemente de la clase, se caracterizan básicamente por dos aspectos, las presiones de trabajo y el caudal de aire que puede entregar a esa presión.

En Plycem se tienen únicamente compresores rotativos de tornillo, por lo que solo se detallará este tipo de compresores.

3.2.1 Compresores de tornillo

Son el tipo de compresor más utilizado en la actualidad para la generación de aire en redes industriales. Estos compresores son rotativos y están compuestos por dos rotores (tornillos), uno macho y el otro hembra, en engrane constante que

Evaluación sistema de aire comprimido

giran en sentido contrario uno respecto del otro, lo que genera un aumento de volumen en un extremo del sistema y una disminución del volumen hacia el otro extremo. Cuando los espacios inter-lobulares están completamente cargados de aire, en la rotación siguiente cierra la admisión e inicia el proceso de compresión.

En el lugar donde se da el aumento de volumen, también se da una disminución de la presión, lo que genera la succión del aire. Con el giro de los tornillos, el aire avanza y se comprime hasta que el valle de cada tornillo quede alineado con la salida de compresor. En el punto A de la Figura 3-1 señala el sentido de giro de los tornillos, la succión en el punto B y la salida en el punto C.

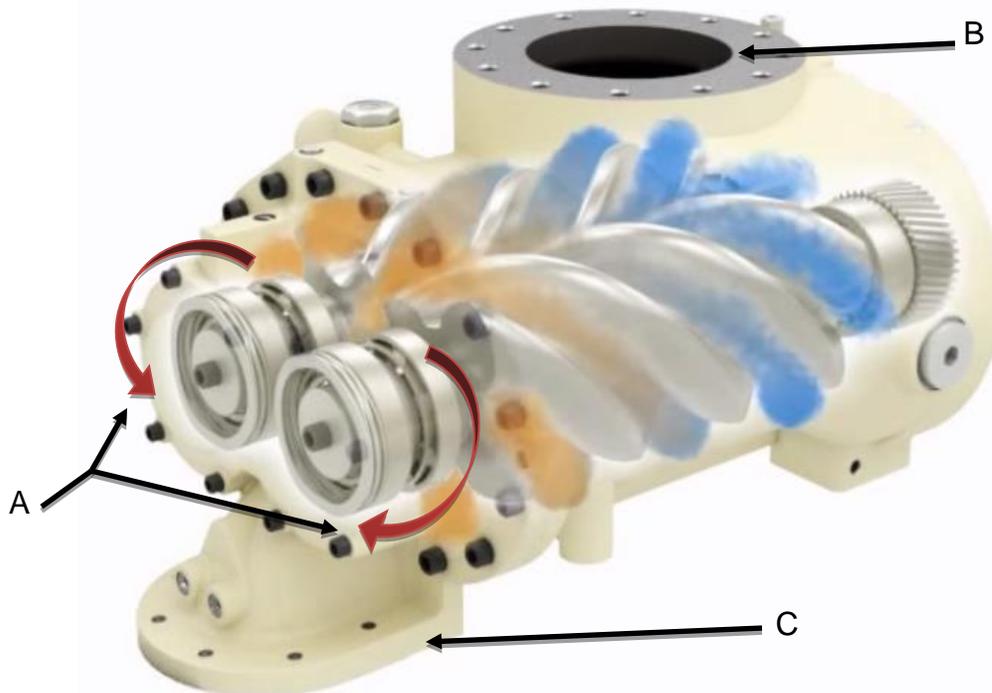


Figura 3-1- Funcionamiento de un compresor de tornillo

Fuente: https://www.youtube.com/watch?v=K2kGW_cxomk

Como el sistema de tornillos no cuenta con válvulas y no se crean fuerzas mecánicas de desequilibrio, estos compresores pueden trabajar a altas velocidades con lo que se obtienen grandes caudales para dimensiones relativamente pequeñas comparadas con las de otras clases de compresores.

Evaluación sistema de aire comprimido

Para determinar la capacidad del compresor, necesaria para alimentar una herramienta, máquina o un grupo de accionamientos neumáticos, es preciso tener en cuenta los siguientes datos:

a. Consumo específico: Se llama consumo específico de una herramienta, al consumo de aire requerido por esta, o por el útil neumático, para servicio continuo a la presión de trabajo dada por el fabricante. Se expresa en aire libre (NI/min o Nm³/min), dicho dato es obtenido por medio del manual del fabricante o el uso de tablas que indican el consumo de algunas herramientas.

b. Coeficiente de utilización: Margen de operación intermitente o factor de servicio, el cual indica el tiempo en que el componente neumático está parado.

c. Coeficiente de simultaneidad: Cuando hay en funcionamiento varias herramientas o, en general, todos los equipos que integran una industria, el promedio de los coeficientes de utilización de cada uno de ellos, dará una cifra denominada coeficiente de simultaneidad.

Según Ingersoll Rand, el consumo anual de sus compresores está dado por:

Ecuación 3-1. Costo anual de operación compresores Ingersoll Rand

$$\text{Costo anual} = \frac{(HP)(FS)(0,746)(\text{costo kWh})(\text{horas de operación})}{\text{eficiencia del motor}}$$

Donde:

- HP es la potencia del motor en hp
- FS es el factor de sobrecarga, con un valor de 1,15

3.3 AIRE LIBRE

El aire es una mezcla que está compuesta por 21% de oxígeno, 78% de nitrógeno y un 1% de otros gases. Además tiene suspendido en él partículas de diversa índole como polvo, bacterias y vapor de agua.

Evaluación sistema de aire comprimido

Las condiciones del aire libre dependen del lugar donde este se encuentre y son afectadas por factores como la altitud del lugar respecto al mar, la latitud, la temperatura, la humedad, hasta por la hora del día. Es por esta razón que los fabricantes especifican el caudal de aire que entregan los compresores en litros, cfm o metros cúbicos de aire libre en el sitio, dado que la masa de aire disponible por unidad de volumen cambia respecto al lugar.

Sin embargo, era necesario hacer un punto de referencia para poder diseñar sistemas de aire comprimido y lograr escoger un compresor que se adapte a las condiciones de trabajo del sitio del sistema, por lo que se definieron condiciones estándar del aire que sirviera de referencia.

Estas condiciones estándar son las siguientes.

- Temperatura: 25 °C
- Humedad relativa: 65%
- Presión: 1 atm.

Pero no en todos los lugares se tienen estas condiciones, por lo que se definió un factor de actualización del caudal para el aire en condiciones diferentes de las del estándar. En la ecuación 3-2 se muestra cómo se obtiene el valor actualizado de caudal de aire en cfm.

Ecuación 3-2. Actualización de caudal de aire

$$ACFM = SCFM \frac{P_{std}}{P_1 - (P_{sat} \phi)} \frac{T_1}{T_{std}}$$

Donde:

- ACFM es el caudal en condiciones del lugar (cfm)
- SCFM es el caudal en condiciones estándar (cfm)
- P_{std} es la presión en condiciones estándar en unidades absolutas
- P_1 es la presión en condiciones del lugar en unidades absolutas
- P_{sat} es la presión de saturación a la temperatura del lugar

Evaluación sistema de aire comprimido

- Φ es el porcentaje de humedad relativa del lugar
- T_1 es la temperatura del lugar en unidades absolutas
- T_{sat} es la temperatura en condiciones estándar en unidades absolutas

3.4 REQUERIMIENTO DE UNA RED DE AIRE COMPRIMIDO

El correcto funcionamiento de los usuarios de un sistema neumático depende de que la calidad del aire que se produce sea el solicitado por el fabricante, por lo que se deben controlar aspectos como la humedad, temperatura, las partículas suspendidas, la presencia de aceite en el sistema, etc.

Es por esto que después de ser comprimido el aire al pasar por algunos dispositivos para asegurar la calidad requerida, estos dispositivos son:

Depósito de almacenamiento:

El depósito es un elemento esencial de toda instalación de aire comprimido, este se ubica entre el compresor y la red de distribución.

Es de gran importancia debido a que cumple con las funciones de:

- Equilibrar pulsaciones de aire producidas por el compresor
- Acumular aire comprimido
- Hacer frente a las demandas puntuales de caudal sin que se provoquen caídas de presión
- Adaptar el caudal de salida del compresor al consumo de aire en la red
- Refrigerar el aire y recoger el aceite y el agua condensada.

Secadores: Su función es eliminar la humedad del aire obtenido de los compresores lo máximo posible. En el proceso de compresión, el aire aumenta su temperatura, por lo que aún es capaz de contener el vapor de agua presente, al disminuir la temperatura del aire comprimido pierde la capacidad de contener la humedad, esta es la función que cumple el secador. Por cada 11 °C que se

Evaluación sistema de aire comprimido

disminuya la temperatura del aire, se puede extraer el 50% de la humedad que contiene.



Figura 3-2. Secador Ingersoll Rand

Fuente:<http://www.ingersollrandproducts.com/eu-es/products/air/compressed-air-treatment>

Purgadores: Son dispositivos instalados para evacuar los condensados que se puedan producir en la red de distribución de aire comprimido, algunos fabricantes aconsejan instalar uno cada 50 metros de tubería.

Unidades de mantenimiento neumático: Es el último dispositivo de tratamiento del aire antes del útil neumático, consta de dos o tres partes según sea necesario. El filtro se encarga de asegurar que el aire que llega al usuario no lleve partículas más grandes de lo que se permite; además el regulador de presión evita que el aire que ingresa a la herramienta sobrepase su presión de trabajo; y por último se tiene el lubricado que se encarga de adicionar lubricante al aire que ingresa al usuario, sin embargo, no todas las herramientas neumáticas necesitan ser lubricadas, por lo que en ocasiones el lubricador no se incorpora en la unidad de mantenimiento.

3.5 DISTRIBUCIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO

Toda aquellas tuberías que se encargan de llevar el aire comprimido desde el depósito hasta las tomas de los consumidores individuales son las que componen la red de aire comprimido. El diseño de esta red debe asegurar que el

Evaluación sistema de aire comprimido

aire llegue al usuario en la cantidad y la presión que este necesita para trabajar de manera adecuada, es por esto que para el dimensionamiento de las tuberías se deben contemplar los siguientes criterios:

- Velocidad de circulación del aire en la tubería.
- La caída de presión en las tuberías.
- La estanqueidad de la red en conjunto.

Al ser el aire comprimido una de las maneras más utilizadas para la automatización de equipos es probable que con el crecimiento de las empresas se necesite de una mayor cantidad de aire comprimido, por lo que se debe prever las posibles ampliaciones del sistema al momento de dimensionar las tuberías para así permitir que la cantidad de usuarios del sistema crezca sin tener pérdidas de presión excesivas y evitar tener luego que incurrir en un gasto mayor reemplazando la red por completo

Todas las redes de aire comprimido son diferentes, pero siempre se pueden identificar cuatro tipos de tubería de acuerdo con la función que cumplen. Estas son:

Tubería principal: Es la línea que sale del depósito de aire comprimido y conduce la totalidad del caudal del aire.

Tubería secundaria: Toma el aire de la tubería principal y lo dirige a áreas de trabajo específicas.

Tubería de servicio: Son los que alimentan los equipos neumáticos, toman el aire de las tuberías secundarias y como la mayoría de las ocasiones se colocan de manera vertical se conocen como bajantes. Se deben evitar tuberías de diámetro inferior a ½ pulgada, porque se pueden cegar.

Tubería de interconexión: es la que lleva el aire de la salida del bajante hasta las máquinas de procesos o equipos neumáticos.

Evaluación sistema de aire comprimido

Para el diseño de la red de distribución se deben considerar aspectos como:

- Arquitectura del edificio
- Ubicación de los usuarios del sistema de aire comprimido
- Actividades dentro de la planta industrial

Se recomienda seguir los principios que se dan a continuación:

- Para reducir las pérdidas de presión en las tuberías, estas deben cumplir los recorridos más cortos y lineales posibles, y evitar los cambios bruscos de dirección y el uso de accesorios innecesarios como codos, tee o reducciones.
- Para facilitar la inspección y mantenimiento, se debe procurar que la tubería sea montada de manera aérea, a fin de evitar las instalaciones subterráneas que no son prácticas para este fin.
- En el montaje, es necesario contemplar que puedan desarrollarse variaciones de longitud producidas por dilatación térmica, sin deformaciones ni tensiones.
- Evitar que la tubería se entremezcle con conducciones eléctricas, de vapor, de gas u otras, cuando se tengan tuberías para diversos fines instaladas en paralelo, se debe seguir el código de colores para la identificación de fluidos en tuberías INTE 31-07-03-2001.
- En una red abierta se debe inclinar las tuberías un 3% en el sentido del flujo de aire o bien si no existe un buen tratamiento del aire a la salida del compresor. Para ello también se deben colocar purgas para evacuar los condensados que se producen en la línea.

Evaluación sistema de aire comprimido

- Para realizar mantenimiento de manera más fácil y segura se deben colocar válvulas de paso en los ramales principales y secundarios, así se pueden aislar secciones completas de la red.
- Las tomas de servicio o bajantes nunca deben hacerse desde la parte inferior, como en la Figura 3-3 (b), sino por la parte superior, como se muestra en la Figura 3-3 (a), para así evitar que los condensados puedan ser recogidos por la tubería y llevados a los equipos neumáticos conectados a ella.

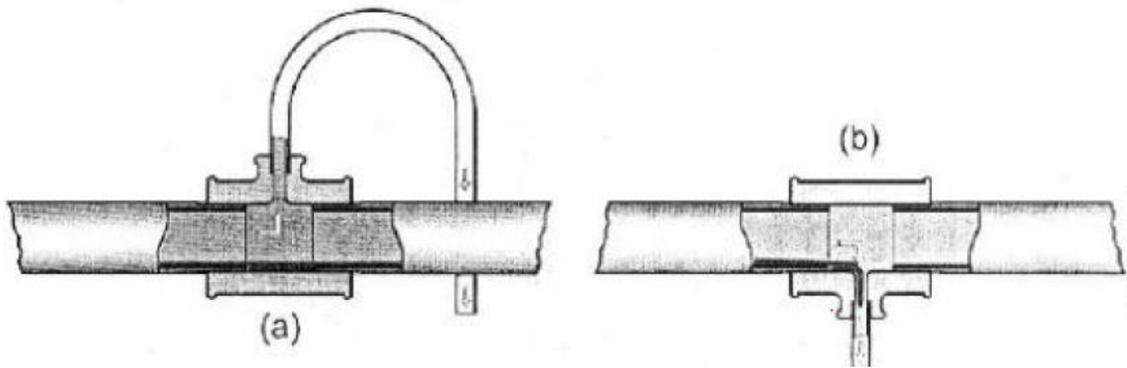


Figura 3-3. Toma de aire de bajante en tubería secundaria

Fuente: Aire Comprimido, Teoría y Cálculo de las Instalaciones, E. Carnicer Royo.

- Esta toma de aire conocida como “cuello de ganso” depende del diámetro de la tubería de servicio que alimentan.
- Atender las necesidades de tratamiento del aire y a la vez observar, si es necesario, un secado total o sólo parcial.
- Prever la utilización de filtros, reguladores y lubricadores (FRL) en las tomas de servicio.

3.6 PREPARACIÓN DEL AIRE

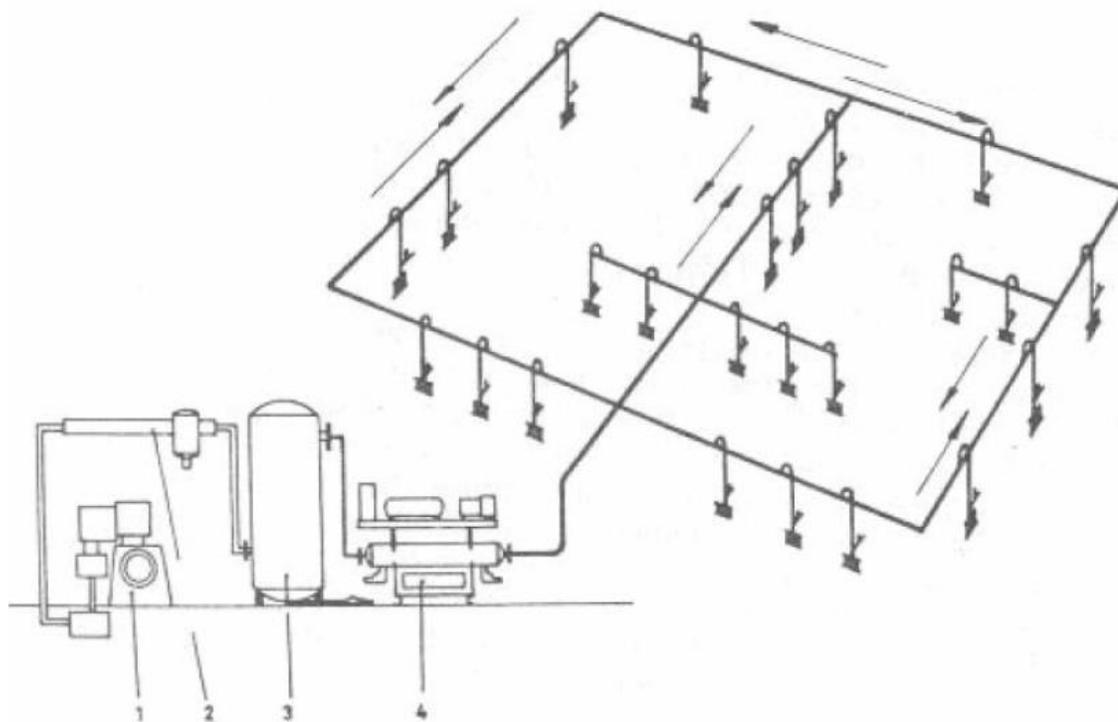
Para cumplir con los requerimientos de los usuarios del sistema y tomando en cuenta los principios que se dan en la sección anterior, la red de aire comprimido puede ser de dos maneras que se detallan a continuación.

3.6.1 Red de aire comprimido con secador instalado a la salida del compresor, red en circuito cerrado o abierto.

Si el aire lleva a la salida del compresor un equipo de secado total (ya sea refrigerativo o de absorción), la red puede hacerse en circuito cerrado, como se muestra en la Figura 3-4, pues no importa montar con pendientes las tuberías, ni cómo se efectúen las tomas, pues la ausencia de humedad en el aire comprimido hace que no aparezca agua en el lugar de trabajo. Igualmente, puede hacerse en circuito abierto, pues con un secador de humedad, no interesa la forma de montaje de la red, porque este elimina el problema de condensados en la red.

La distribución en circuito cerrado permite alimentar el aire por dos lados a un punto de consumo elevado y así minimizar la caída de presión.

Cabe mencionar que cuando el circuito es cerrado, la pendiente en los conductos es nula, puesto que es incierto el sentido de circulación, porque este dependerá de los consumos y por lo tanto la pendiente carece de sentido. Además la función de tuberías con pendientes es llevar los condensados a puntos más bajos, donde se instalan purgas para la eliminación del agua de la red. Estas purgas tienen un único sentido (entrada – salida) por lo que en redes de circuito cerrado, donde no se conoce el sentido de circulación de aire, estas purgas no cumplen con su función.



1. Compresor - 2. Refrigerador posterior - 3. Calderín - 4. Secador (absorción, frigorífico, Air ecodyer)

Figura 3-4. Red de distribución cerrada

Fuente. Aire comprimido, Teoría y cálculo de las instalaciones, E. Carnicer Royo

3.6.2 Red de aire comprimido sin secador, red en circuito abierto.

La distribución del aire con un tratamiento convencional (sin secador de aire) requiere que el circuito sea abierto, con pendientes en las tuberías y purgas que permitan evacuar los condensados del sistema. Este tipo de red se muestra en la imagen siguiente:

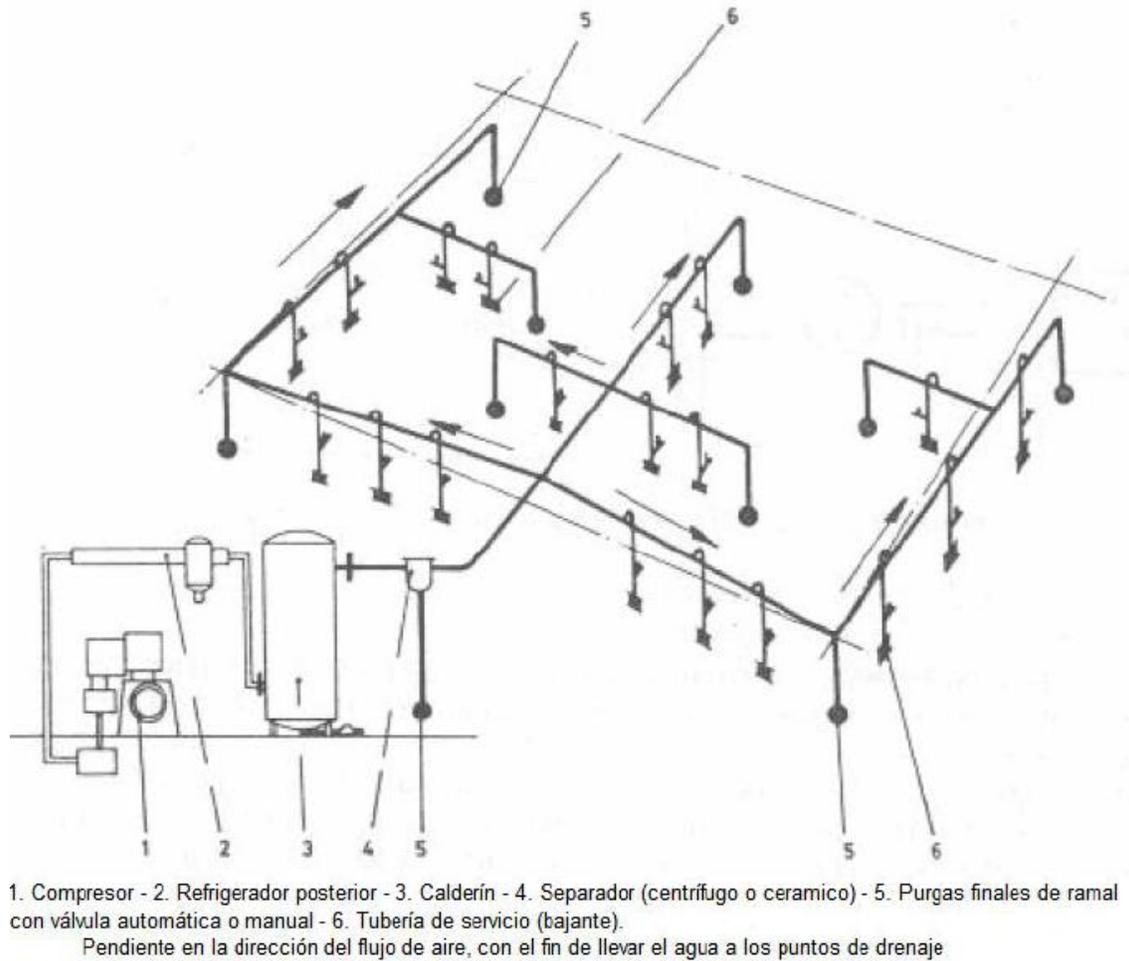


Figura 3-5. Diseño de una red de aire comprimido con tratamiento convencional en circuito abierto.

Fuente: Aire Comprimido, Teoría y Cálculo de las Instalaciones, E. Carnicer Royo.

3.7 DIMENSIÓN DE TUBERÍAS

La correcta dimensión de las tuberías es clave para asegurar que el aire comprimido se va a distribuir a los usuarios con el caudal y la presión que estos requieren. Es por esto que para dimensionar las tuberías se debe contemplar:

- Pérdidas por caídas de presión
- Pérdidas por fugas

Evaluación sistema de aire comprimido

- Presión de trabajo
- Futuras ampliaciones
- Caudales
- Material de la tubería

3.7.1 Pérdidas por caídas de presión

Por la fricción dentro de la tubería se generan pérdidas de energía que se ven reflejadas como pérdidas de presión en el sistema. Si los tramos de tubería deben abarcar largas distancias, los diámetros de las tuberías deberán ser mayores para que las pérdidas de carga en tuberías no afecten el funcionamiento de los útiles neumáticos.

Es por este motivo que no es posible mantener la presión de descarga del compresor en toda la tubería, pero sí es posible limitar las pérdidas de presión por fricción a unos valores relativamente pequeños y que sean admisibles en la práctica. Como regla se maneja que la caída de presión en las tuberías no debe sobrepasar el 2%. Por esta razón, las tuberías de aire comprimido deben estar dimensionadas con holgura, el costo de la sobredimensión de la red es insignificante en relación a cambiar toda la instalación.

Cuando los caudales de aire son grandes, al igual que las longitudes de tuberías, se puede aumentar la pérdida de presión hasta en un 5%, pues el valor económico del material por instalar puede resultar excesivamente costoso para mantener la pérdida de presión en menos de un 2%, por lo que es más rentable aumentar la pérdida de presión y ahorrar de esta forma en la inversión inicial.

Para dimensionar la tubería y mantenerse dentro del rango de pérdidas admisibles se deben evaluar los siguientes aspectos:

- a. Longitud de la tubería:

La caída de presión es directamente proporcional a la longitud de la tubería, por ello a mayor longitud de tubería, mayor será la pérdida de carga.

Evaluación sistema de aire comprimido

b. Velocidad del aire:

Cuanto mayor es la velocidad de circulación, tanto mayor es la pérdida de presión en el recorrido hasta el punto de aplicación, de manera que existe un límite de velocidad dependiendo del tipo de tubería que sea:

- Tubería principal: 8 m/s.
- Tubería secundaria: 10 m/s.
- Tubería de servicio: 15 m/s.
- Tubería interconexión: 20 a 30 m/s.

c. Presión absoluta:

Es la presión que se obtiene a la descarga del compresor, afecta de manera directa el valor de pérdidas de presión por fricción en tuberías.

d. Diámetro de tubería:

La caída de presión es inversamente proporcional al diámetro de la tubería, el diámetro de las tuberías se determina mediante la Ecuación 3-3.

$$D = \sqrt{\frac{100 Q_d}{4.71 P V}}$$

Ecuación 3-3. Diámetro de tubería

Donde:

D = Diámetro de tubería [mm]

Q_d = Caudal de diseño [l/min]

P = Presión de diseño [bar]

V = Velocidad de diseño [m/s]

Evaluación sistema de aire comprimido

e. Índice de Resistividad “ β ”.

Es el grado medio de rugosidad variable con el caudal de aire suministrado o en su defecto el flujo másico, la caída de presión es proporcional a su valor.

$$\beta = 2.8466 (\dot{m})^{-0.1468}$$

Ecuación 3-4. Índice de resistividad

$$\dot{m} = \frac{60}{1000} Q_d \rho$$

Ecuación 3-5. Flujo másico

Donde:

β = Índice de resistividad

\dot{m}° = Flujo másico [kg/h]

Q_d = Caudal de diseño [l/min]

ρ = Densidad del aire [kg/m³]

f. Temperatura

Expresada en Kelvin (K), se refiere a la temperatura absoluta y se supone igual a la ambiental. Es inversamente proporcional a la caída de presión en tuberías.

g. Pérdidas en accesorios

Dentro de una distribución de aire comprimido, normalmente se presentan codos, variaciones de diámetro, válvulas y otros. Estos representan obstáculos que también producen una caída de presión suplementaria. Si estos elementos son pocos en la instalación, puede prescindirse de calcular la pérdida de presión que producen; pero si el sistema contiene un número considerable de estos elementos, es preciso tomarlos en cuenta.

Evaluación sistema de aire comprimido

Para efectos de cálculo, y con el objeto de encontrar un resultado rápido con una aproximación aceptable, basta con añadir a la longitud propia de la tubería que se está calculando, un suplemento de longitud que corresponde a la pérdida de presión ocasionada por los accesorios.

Dicho suplemento de longitud, se refiere a la distancia en metros a que equivale la pérdida de presión en los accesorios. El valor de esta longitud equivalente puede ser encontrado por medio de tablas destinadas para este fin. Por otra parte, algunos diseñadores optan por agregar un 10% al valor de longitud de tubería, con lo cual incluyen la pérdida de presión en accesorios.

Todos los puntos anteriores se relacionan con las pérdidas de presión en las tuberías y que se calcula mediante la ecuación:

$$\Delta P = 1000 \frac{15.2 \beta Q_d^2 L}{T D^5 P}$$

Ecuación 3-6. Pérdida de presión

Donde

ΔP = Caída de presión [mbar]

β = Índice de resistividad

Q_d = Caudal de diseño [l/min]

L = Longitud de la tubería [m]

P = Presión absoluta [bar]

T = Temperatura absoluta (K)

D = Diámetro de tubería [mm]

Al conocer la presión de trabajo, el caudal de diseño, la longitud de la tubería, temperatura y el índice de resistividad se puede limitar la caída de presión

Evaluación sistema de aire comprimido

a un valor entre 2% y 5% para obtener el valor de caída de presión permisible y despejar el diámetro de la tubería de la Ecuación 3-6, de esta manera se obtendrá el tamaño de la tubería para asegurar una pérdida de presión permisible.

De manera más práctica también se cuenta con nomogramas que permiten de manera gráfica obtener el valor de las pérdidas de presión en las tuberías.

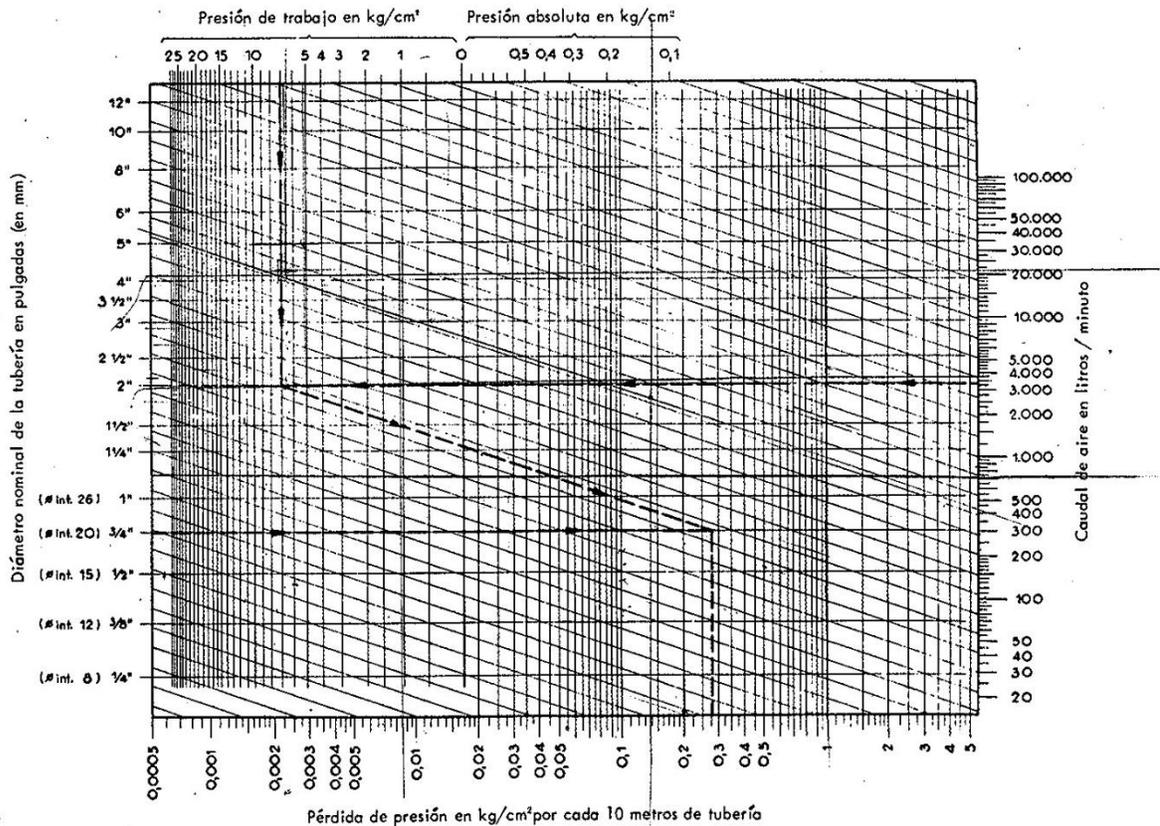


FIG. 13.1. Abaco para el cálculo de tuberías de aire comprimido (Norgren).

Figura 3-6. Nomograma para el cálculo de pérdidas de presión en tuberías

Fuente: Aire Comprimido, Teoría y Cálculo de las Instalaciones, E. Carnicer Royo

3.7.2 Pérdidas por fugas

Al ser el aire inodoro e invisible se hace muy difícil detectar las fugas de los sistemas de aire comprimido, por lo que las pérdidas en este apartado suelen ser muy grandes si no se procura el mantenimiento adecuado.

Cuando una fuga es grande, el ruido que causa la hace fácil de detectar, además de que la caída de presión que provoca hace evidente que hay un problema en el sistema y por lo tanto que se inicie la búsqueda.

Por otro lado, las fugas pequeñas suelen pasar inadvertidas al ser más difíciles de detectar en el comportamiento del sistema y en su ubicación física. Pero la suma de todas estas pequeñas fugas sí tienen un impacto en la red total de la empresa, lo que genera una pérdida importante que puede ser fácilmente controlada.

Las pérdidas por escapes en instalaciones muy antiguas o descuidadas llegan a significar entre un 25% y un 30% de la capacidad del compresor, mientras los valores admisibles se encuentran por debajo de un 5% y en casos muy extremos 10% de pérdidas por fugas. Es importante anotar que el costo de mantener las pérdidas por fugas dentro de estos valores siempre es mucho menor que lo que se perdería en una red descuidada.

3.7.3 Presión de trabajo

Esta es la presión mínima a la que debe trabajar el sistema para asegurar la presión mínima requerida en todos los usuarios del sistema de aire comprimido.

Para determinar esta presión de trabajo se debe encontrar cuál es el equipo con las condiciones más críticas de trabajo, ya sea, el que trabaja a mayor presión o el que presenta mayor caída de carga en la tubería que lo alimenta, a esta línea de tubería se le conoce como ruta crítica.

Evaluación sistema de aire comprimido

Una vez que se conoce cuál es el equipo más crítico, se debe sumar la presión de trabajo de ese equipo, las pérdidas en filtros y las pérdidas de presión en el secador; también se debe considerar la pérdida permisible por fricción en tuberías. De esta manera se obtiene la presión mínima de trabajo del sistema como se muestra en la Ecuación 3-7.

$$P_{min} = (P_{trab} + P_{atm} + P_{filtros} + P_{secador})(1 + CP)$$

Ecuación 3-7. Presión absoluta de trabajo del sistema

Donde:

P_{min} : Presión mínima requerida por el sistema [bar]

P_{trab} : Presión máxima de trabajo de los equipos [bar]

P_{atm} : Presión atmosférica [bar]

$P_{filtros}$: Caída de presión debida a filtros (si los hubiera) [bar]

$P_{secador}$: Caída de presión debido al secador (si lo hubiera) [bar]

CP: Caída de presión permitida en el sistema. [%]

3.7.4 Futuras ampliaciones

Al diseñar la tubería de aire comprimido es importante prever futuras ampliaciones de la red, para que cuando ellas se den, no afecten las condiciones favorables ya existentes. Es por eso que se toma un factor llamado de ampliación. Se debe considerar entre un 20 y 30 % de factor de ampliación, aunque se pueden tomar otros valores de acuerdo con los requerimientos de la empresa.

3.7.5 Caudales

Las tuberías deben estar diseñadas para los caudales que pasan a través de ellas, así las tuberías de servicio llevarán el caudal necesario para alimentar la máquina a la que están conectadas, las tuberías secundarias deben estar

Evaluación sistema de aire comprimido

diseñadas para transportar la suma aritmética de los caudales de las tuberías de servicio que alimentan y por último las tuberías principales deben estar diseñadas para transportar la suma aritmética de los caudales de las tuberías secundarias que alimentan.

Además de estos caudales que son los caudales máximos para cada tubería se deben evaluar los factores de aplicación y de fugas para así obtener un caudal de diseño con el cual se dimensionan las tuberías, como se expresa en la Ecuación 3-8.

$$Q_d = Q_{max}(1 + f_f + f_a)$$

Ecuación 3-8. Caudal de diseño

Donde:

Q_d = Caudal de diseño [l/min]

f_f = Factor de fugas

f_a = Factor de ampliación

Q_{max} = Caudal máximo [l/min]

El caudal específico se puede encontrar en los manuales de los equipos neumáticos, que es el requerimiento de aire libre que los fabricantes indican como necesario para el funcionamiento normal del equipo.

En aquellas máquinas que poseen cilindros neumáticos y su manual no indica el consumo específico, se puede determinar por medio de las siguientes ecuaciones:

Para cilindros de simple efecto

$$Q = s n q$$

Ecuación 3-9. Caudal para cilindros de simple efecto

Evaluación sistema de aire comprimido

Para cilindros de doble efecto

$$Q = 2 (s n q)$$

Ecuación 3-10. Caudal para cilindros de doble efecto.

Donde

Q = Consumo de aire total [NI/min]

q = Consumo de aire por centímetro de carrera [NI/min] (Ver tabla Anexo 1)

s = Carrera en centímetros

n = Número de carreras por minuto

3.8 PREPARACIÓN DEL AIRE

El aire tomado atmosféricamente contiene contaminantes que pueden dañar severamente un sistema de aire comprimido, tales como polvo, humedad, aceite, hidrocarburos y gases cáusticos, los cuales deben ser eliminados en su mayoría, para garantizar el buen funcionamiento de las máquinas y equipos neumáticos.

El aire atmosférico contiene cierta proporción de humedad, ésta es mayor o menor según el país, la localidad, las condiciones climatológicas y de acuerdo con las estaciones del año.

La aptitud del aire para retener agua vaporizada está relacionada con la temperatura y la presión, pero principalmente con la primera, admitiendo más vapor de agua cuando aumenta su temperatura. Un aire saturado (100% de humedad) puede retener más humedad si aumenta la temperatura o desciende la

Evaluación sistema de aire comprimido

presión y, por el contrario, desprende parte de su contenido de humedad, si baja la temperatura o sube la presión.

El aire es una mezcla de aire seco y vapor de agua, se tratará a este último como gas ideal, debido a que a 50°C de la presión de saturación del agua es de 12.3kPa, y a presiones por debajo de este valor, el vapor de agua puede considerarse como un gas ideal, con un error menor a 0.2%, incluso cuando es un vapor saturado.

Por tanto, el vapor del agua en el aire se comporta como si existiera solo y obedece a la relación de gas ideal $P_v = RT$. En ese caso el aire atmosférico puede tratarse como una mezcla de gases ideales cuya presión es la suma de la presión parcial del aire seco P_{atm} y la del vapor de agua P_v , tal como lo muestra la Ley de Dalton de presiones aditivas, que se expresa en la Ecuación 3-11

$$P = P_{atm} + P_v$$

Ecuación 3-11. Ley de Dalton

A la presión parcial del vapor de agua se le conoce como presión de vapor, que es la presión que el vapor de agua ejercería si existiera solo a la temperatura y volumen de la mezcla.

En el proceso de compresión, el aire aspirado por el compresor entra a la presión y temperatura ambiente o atmosféricas, con su consiguiente humedad relativa. Entonces se le comprime a una presión más alta que la atmosférica; este ciclo de compresión lleva consigo una elevación de temperatura y, como consecuencia, un calentamiento del aire hasta un grado tal, que toda la humedad contenida en éste pasará por el compresor al ser aspirado.

Con esto se puede inferir que el aire comprimido caliente que descarga el compresor y que lleva vapor de agua, al irse enfriando por radiación y convección en el depósito y tuberías de distribución, y descender su temperatura hasta igualar la temperatura ambiente, condensará la mayor parte de este vapor en forma de

Evaluación sistema de aire comprimido

gotas de agua, las cuales serán arrastradas por el mismo flujo del aire hacia los lugares de utilización.

Se debe considerar que en una red de aire comprimido, la temperatura del aire que circula corresponde a su punto de rocío, puesto que está saturado, y una variación de esta temperatura en menos producirá condensaciones. Por el contrario, una variación de temperatura en grado superior, recalentará el aire, aumentará su temperatura y mantendrá fijo el mismo punto de rocío.

En consecuencia, para que en una instalación de aire comprimido no aparezca ninguna cantidad de agua, el aire comprimido, antes de ser distribuido a la red, debe haberse secado hasta un punto de rocío que sea inferior a la temperatura del aire ambiente en donde se utiliza.

En la práctica se presentan, muy a menudo, 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 fina, 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.

Las condensaciones de vapor de agua y aceite, son causa de una serie de inconvenientes tales como:

- Corrosión de las tuberías metálicas.
- Entorpecimiento en los accionamientos neumáticos.
- Errores de medición en equipos de control.
- Obstrucción de boquillas.
- Degradación del poder lubricante de los aceites de engrase.
- Oxidación de los órganos internos de los equipos receptores.

Evaluación sistema de aire comprimido

- Aparición de escarcha en los escapes de las herramientas neumáticas.
- Bajo rendimiento de toda la instalación.

Antes de exponer los métodos usados para determinar la humedad del aire y su punto de rocío, es conveniente definir algunos términos importantes.

3.8.1 Humedad absoluta

Es el peso del vapor de agua, expresada en kg, existente en un kilogramo de aire seco, se relaciona como se muestra en la ecuación y se calcula del siguiente modo:

$$W = \frac{\text{kg vapor de agua}}{\text{kg aire seco}}$$

Ecuación 3-12. Humedad absoluta

$$W = 0,625 \frac{P_a}{P - P_a}$$

Ecuación 3-13. Humedad absoluta

Donde:

W = humedad absoluta en kg de vapor de agua por kg de aire seco

P_a = presión parcial del vapor de agua [bar]

P = presión total del sistema [bar]

P_b = presión parcial del aire seco [bar]

3.8.2 Humedad de saturación

Es el máximo peso de vapor de agua que admite un kg de aire seco a una determinada temperatura y presión.

Evaluación sistema de aire comprimido

La humedad de saturación representada por W_s , sólo dependerá de la presión y la temperatura. Su valor se calculará utilizando la Ecuación 3-14, y la presión parcial del vapor de agua por la presión de vapor de esta a la temperatura y presión consideradas.

$$W_s = 0,625 \frac{P_a}{(P - P_a)}$$

Ecuación 3-14. Humedad de saturación

Donde:

W_s = Humedad de saturación en kg de vapor de agua por kg de aire seco.

P_a = Presión del vapor de agua a la temperatura considerada, leída en la tabla correspondiente [bar]a

P = Presión total del sistema [bar]a

3.8.3 Humedad relativa:

Es la relación entre la humedad absoluta existente, W , y la humedad máxima que el sistema podría contener, es decir, la humedad de saturación W_s .

$$W_r = \frac{W}{W_s} \times 100$$

Ecuación 3-15. Humedad relativa

Una humedad relativa del 100% significa que se trata de un ambiente saturado, es decir, $W = W_s$.

En cambio, una humedad relativa del 0% indica que se trata de un ambiente de aire totalmente exento de humedad.

El porcentaje que indica la humedad relativa permite saber el grado de saturación del aire.

3.9 PROCEDIMIENTO DE SECADO

Los secadores son equipos destinados a tratar el aire o los gases comprimidos, para reducir en ellos su contenido de vapor de agua, disminuyendo el punto de rocío del aire hasta un nivel suficiente para que la humedad y el vapor de aceite queden reducidos antes de su entrada en las redes de distribución, para que así no exista condensados en los puestos de utilización.

El secador es la última etapa en el proceso de secado del aire, este posee las siguientes ventajas:

- Punto de rocío constante, independiente de la carga.
- El costo de la instalación de la red de aire comprimido se reduce en un 30%.

Existen distintos tipos de secadores, los cuales se detallan a continuación:

3.9.1 Secador por absorción

El secado por absorción es un procedimiento meramente químico. El aire comprimido pasa a través de un lecho de sustancias secantes. En cuanto el agua o vapor de agua entra en contacto con dicha sustancia, se combina químicamente con esta y se desprende como mezcla de agua y sustancia secante.

Esta mezcla tiene que ser eliminada regularmente del absorbedor. Ello se puede realizar manual o automáticamente.

Con el tiempo se consume la sustancia secante, y debe suplirse en intervalos regulares (2 a 4 veces al año).

Simultáneamente en el secador por absorción se separan vapores y partículas de aceite. No obstante, si las cantidades de aceite son grandes, influyen en el funcionamiento del secador. Por esto conviene montar un filtro fino delante de este.

3.9.2 Secador refrigerativo

Los secadores de aire comprimido por enfriamiento se basan en el principio de una reducción de la temperatura del punto de rocío.

Se entiende por temperatura del punto de rocío aquella a la que hay que enfriar un gas, para que se condense el vapor de agua contenido. El aire comprimido entra en el secador pasando primero por el llamado intercambiador de calor de aire – aire.

El aire caliente que entra en el secador se enfría mediante aire seco y frío proveniente del intercambiador de calor (vaporizador).

El condensado de aceite y agua se evacúan del intercambiador de calor, a través del separador. Este aire preenfriado pasa por el grupo frigorífico (vaporizador) y se enfría más, hasta una temperatura de unos 274,7K (1.7°C). En este proceso se eliminan por segunda vez el agua y aceite condensados.

Las caídas de presión en este tipo de secadores se encuentran entre los 3 y 5 psi.

CAPÍTULO 4
ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA DE
AIRE COMPRIMIDO

4.1 USUARIOS DE AIRE COMPRIMIDO

4.1.1 Descripción de los usuarios

La mayoría de los equipos que intervienen en el proceso de creación de láminas de fibrocemento requieren de aire comprimido para su funcionamiento, desde la preparación de la fibra hasta la obtención del producto terminado existen actuadores neumáticos que son indispensables para el correcto desarrollo del proceso.

En esta planta, el aire se utiliza en un 50% para transmitir potencia a los equipos de producción, un 45% para el transporte de polvo por medio de tuberías y tan solo un 5% para accionar herramientas neumáticas que se utiliza durante los trabajos de mantenimiento.

En la Tabla 4-1 se muestran las presiones de trabajo de los equipos en la empresa, como se observa, la mayoría de las máquinas requieren una presión de 100 psi para su funcionamiento normal, estos datos no se tienen respaldados con documentación, pero empíricamente se sabe que esta es la presión óptima de funcionamiento. Por otro lado, el área de fibras, las máquinas de placas, los hornos y las sierras no cuentan con el dato del caudal requerido de aire comprimido para trabajar de manera adecuada; para los demás equipos se consultó catálogos o directamente a los fabricantes para conocer el consumo de aire que teóricamente tiene cada equipo.

Evaluación sistema de aire comprimido

Tabla 4-1. Presiones de trabajo de los equipos neumáticos

Equipo o Área	Tramo	Presión de trabajo (psi)	Presión de trabajo (bar)
Fibras	Anillo principal	100	6,89
MP1	Anillo principal	100	6,89
MP2	Anillo principal	100	6,89
Apiladora 1	Anillo principal	100	6,89
Apiladora 2	Anillo principal	100	6,89
Desapiladora 1	Anillo principal	100	6,89
Desapiladora 2	Anillo principal	100	6,89
Horno 1	Ramal Secundaria	100	6,89
Horno 2	Ramal Secundaria	100	6,89
Horno 3	Ramal Secundaria	100	6,89
Sierra simple	Ramal Secundaria	80	5,52
Lijadora	Ramal Secundaria	80	5,52
Escuadradora	Ramal Secundaria	80	5,52
Molduradora 1	Ramal Secundaria	80	5,52
Sierra doble	Ramal Secundaria	80	5,52
Robots	Ramal Secundaria	100	6,89
Ranuradora	Ramal Secundaria	80	5,52
Molduradora 2	Ramal Secundaria	80	5,52
Sierra step-up	Ramal Secundaria	100	6,89
Poliestireno	Ramal Secundaria	100	6,89
Sistema de transporte de polvo	Ramal transporte de polvo	110	7,58

Es por esto que, para las máquinas con las que no se cuenta con la información de caudal de aire requerido, se recurrió a la revisión de cada uno de los pistones neumáticos de las máquinas para así obtener los diámetros y carreras de cada uno, cuando no se encontró el dato en las especificaciones de los pistones se realizó la medición para calcular las necesidades aplicando las ecuaciones Ecuación 3-9 y Ecuación 3-10, los valores que son tomados del Anexo 2. Los valores obtenidos se presentan de la Tabla 4-2 a la Tabla 4-10, estas tablas han sido ordenadas de acuerdo con la intervención de la máquina en el proceso de fabricación.

Evaluación sistema de aire comprimido

Tabla 4-2. Consumo en scfm del área de fibras

#	Ubicación	d (mm)	s (cm)	q (N L/min cm)	Q (N L/min)	Q (scfm)	Utilización (veces/min)	Requerimiento (scfm)
1	Mezcla de sulfato 1 a 2	80	15	0,403	6,045	0,213	1	0,213
2	Mezcla de sulfato 2 a 3	80	15	0,403	6,045	0,213	1	0,213
3	Mezcla de sulfato 3 retorno	80	15	0,403	6,045	0,213	1	0,213
4	Tina 3 a bomba	80	15	0,403	6,045	0,213	1	0,213
5	Después de bomba a tina 3	80	15	0,403	6,045	0,213	1	0,213
6	Tina 3 retorno	80	15	0,403	6,045	0,213	1	0,213
7	Tina 3 a tina 1	80	15	0,403	6,045	0,213	1	0,213
8	Tina 1 a bomba	80	15	0,403	6,045	0,213	1	0,213
9	Después de bomba a tina 1	80	15	0,403	6,045	0,213	1	0,213
10	Tina 2 a bomba	80	15	0,403	6,045	0,213	1	0,213
11	Bomba a deflakers	80	15	0,403	6,045	0,213	1	0,213
12	Deflakers a tina 4	80	15	0,403	6,045	0,213	1	0,213
13	Tina 4 a bomba	80	15	0,403	6,045	0,213	1	0,213
14	Tina 4 retorno	80	15	0,403	6,045	0,213	1	0,213
15	Tina 4 a máquinas	80	15	0,403	6,045	0,213	1	0,213
16	Tina 4 a MP1	80	15	0,403	6,045	0,213	1	0,213
17	Tina 4 a MP2	80	15	0,403	6,045	0,213	1	0,213
18	Válvula pulper	80	15	0,403	6,045	0,213	1	0,213
19	Válvula descarga pulper	220	15,24	2,99	45,5676	1,609	0,15	0,241
20	Válvulas de alimentación de agua	80	15	0,403	6,045	0,213	0,2	0,043
21	Válvulas de alimentación de agua	80	15	0,403	6,045	0,213	0,2	0,043
22	Válvulas de alimentación de agua	80	15	0,403	6,045	0,213	0,2	0,043
23	Válvulas de alimentación de agua	80	15	0,403	6,045	0,213	0,2	0,043
Totales						6,305		4,254

Evaluación sistema de aire comprimido

Tabla 4-3. Consumo en scfm de la máquina de placas 1

#	Ubicación	d (mm)	S(cm)	q (N L/min cm)	Q (N L/min)	Q (scfm)	Utilización (veces/min)	Requerimiento (cfm)
1	Válvula tolva de pesado	25	10	0,04	0,38	0,01	1	0,01
2	Cono 1 a IMI	80	15	0,40	6,05	0,21	1	0,21
3	IMI a Gemi 1	60	45	0,40	18,14	0,64	1	0,64
4	Dosificador a Gemi 1	80	15	0,40	6,05	0,21	1	0,21
5	Cono 2 a Gemi 1	80	15	0,40	6,05	0,21	1	0,21
6	Supro a Gemi 1	80	15	0,40	6,05	0,21	1	0,21
7	Gemi 1 a Gemi 2	80	15	0,40	6,05	0,21	1	0,21
8	Gemi 2 a bomba	80	15	0,40	6,05	0,21	1	0,21
9	Bomba a torres gemelas	80	15	0,40	6,05	0,21	1	0,21
10	Torres gemelas a homogenizador	80	15	0,40	6,05	0,21	1	0,21
11	Pistón de corte automático	80	15	0,40	6,05	0,21	1	0,21
12	Pistón de rodillo	80	40	0,40	16,12	0,57	1	0,57
13	Pistón de rodillo	80	40	0,40	16,12	0,57	1	0,57
14	Pistón corte longitudinal	80	11,4	0,40	4,59	0,16	1	0,16
15	Pistón corte longitudinal	80	11,4	0,40	4,59	0,16	1	0,16
16	Acomodador de moldes	100	10	0,61	6,11	0,22	1	0,22
17	Acomodador de moldes	100	10	0,61	6,11	0,22	1	0,22
18	Acomodador de moldes	100	10	0,61	6,11	0,22	1	0,22
19	Acomodador de moldes	100	10	0,61	6,11	0,22	1	0,22
20	Acomodador de moldes	100	10	0,61	6,11	0,22	1	0,22
21	Acomodador de moldes	100	10	0,61	6,11	0,22	1	0,22
22	Acomodador de moldes	100	10	0,61	6,11	0,22	1	0,22
23	Acomodador de moldes	100	10	0,61	6,11	0,22	1	0,22
24	Acomodador de moldes	100	10	0,61	6,11	0,22	1	0,22
25	Planchas	60	12	0,23	2,71	0,10	3	0,29

Evaluación sistema de aire comprimido

26	Planchas	60	12	0,23	2,71	0,10	3	0,29
27	Planchas	60	12	0,23	2,71	0,10	3	0,29
28	Planchas	60	12	0,23	2,71	0,10	3	0,29
29	Planchas	60	12	0,23	2,71	0,10	3	0,29
30	Planchas	60	12	0,23	2,71	0,10	3	0,29
31	Planchas	60	12	0,23	2,71	0,10	3	0,29
32	Corte transversal	80	10	0,40	4,03	0,14	3	0,43
33	Corte transversal	80	10	0,40	4,03	0,14	3	0,43
34	Corte transversal	80	10	0,40	4,03	0,14	3	0,43
35	Pistón de corte	80	10	0,40	4,03	0,14	1	0,14
36	Cámara de fragua entrada	60	120	0,23	27,12	0,96	1	0,96
37	Cámara de fragua entrada	60	120	0,23	27,12	0,96	1	0,96
38	Cámara de fragua entrada	60	120	0,23	27,12	0,96	1	0,96
39	Cámara de fragua entrada	60	120	0,23	27,12	0,96	1	0,96
40	Pistón de bloqueo transferidor entrada cámara fragua	90	10	0,51	5,07	0,18	1	0,18
41	Pistón de bloqueo transferidor entrada cámara fragua	90	10	0,51	5,07	0,18	1	0,18
42	Pistón de bloqueo transferidor entrada cámara fragua	90	10	0,51	5,07	0,18	1	0,18
43	Pistón de bloqueo transferidor entrada cámara fragua	90	10	0,51	5,07	0,18	1	0,18
44	Pistón de bloqueo transferidor salida Cámara fragua	90	10	0,51	5,07	0,18	1	0,18
45	Pistón de bloqueo transferidor salida Cámara fragua	90	10	0,51	5,07	0,18	1	0,18
46	Pistón plancha desapiladora	50	10	0,15	1,53	0,05	1	0,05
47	Pistón plancha desapiladora	50	10	0,15	1,53	0,05	1	0,05
48	Pistón plancha desapiladora	50	10	0,15	1,53	0,05	1	0,05
49	Pistón plancha desapiladora	50	10	0,15	1,53	0,05	1	0,05
50	Pistón plancha desapiladora	50	10	0,15	1,53	0,05	1	0,05
51	Pistón plancha desapiladora	50	10	0,15	1,53	0,05	1	0,05

Evaluación sistema de aire comprimido

52	Pistón plancha desapiladora	50	10	0,15	1,53	0,05	1	0,05
53	Pistón plancha desapiladora	50	10	0,15	1,53	0,05	1	0,05
54	Pistón plancha desapiladora	50	10	0,15	1,53	0,05	1	0,05
55	Pistón plancha desapiladora	50	10	0,15	1,53	0,05	1	0,05
56	Pistón banda corta	100	60	0,61	36,66	1,29	1	1,29
57	Pistón rodo formador	220	3	2,80	8,41	0,30	1	0,30
58	Pistón rodo formador	220	3	2,80	8,41	0,30	1	0,30
59	Flautas	-	-		2163,00	76,38	0,25	19,09
60	Sopladores fieltro	-	-			50,92	1	50,92
Totales						141,84		86,76

Tabla 4-4. Consumo en scfm de la Máquina de placas 2

#	Ubicación	d (mm)	S(c m)	q (N L/min cm)	Q (N L/min)	Q (scfm)	Utilización (veces/min)	Requerimiento (cfm)
1	Válvula tolva de pesado	25	10	0,04	0,38	0,01	1,00	0,01
2	Cono 1 a IMI	80	15	0,40	6,05	0,21	1,00	0,21
3	IMI a Gemi 1	60	45	0,40	18,14	0,64	1,00	0,64
4	Dosificador a Gemi 1	80	15	0,40	6,05	0,21	1,00	0,21
5	Cono 2 a Gemi 1	80	15	0,40	6,05	0,21	1,00	0,21
6	Supro a Gemi 1	80	15	0,40	6,05	0,21	1,00	0,21
7	Gemi 1 a Gemi 2	80	15	0,40	6,05	0,21	1,00	0,21
8	Gemi 2 a bomba	80	15	0,40	6,05	0,21	1,00	0,21
9	Bomba a torres gemelas	80	15	0,40	6,05	0,21	1,00	0,21
10	Torres gemelas a homogenizador	80	15	0,40	6,05	0,21	1,00	0,21
11	Pistón de corte automático	80	15	0,40	6,05	0,21	1,00	0,21
12	Pistón de rodillo	80	40	0,40	16,12	0,57	1,00	0,57

Evaluación sistema de aire comprimido

13	Pistón de rodillo	80	40	0,40	16,12	0,57	1,00	0,57
14	Pistón corte longitudinal	80	11,4	0,40	4,59	0,16	1,00	0,16
15	Pistón corte longitudinal	80	11,4	0,40	4,59	0,16	1,00	0,16
16	Acomodador de moldes	100	10	0,61	6,11	0,22	1,00	0,22
17	Acomodador de moldes	100	10	0,61	6,11	0,22	1,00	0,22
18	Acomodador de moldes	100	10	0,61	6,11	0,22	1,00	0,22
19	Acomodador de moldes	100	10	0,61	6,11	0,22	1,00	0,22
20	Acomodador de moldes	100	10	0,61	6,11	0,22	1,00	0,22
21	Acomodador de moldes	100	10	0,61	6,11	0,22	1,00	0,22
22	Acomodador de moldes	100	10	0,61	6,11	0,22	1,00	0,22
23	Acomodador de moldes	100	10	0,61	6,11	0,22	1,00	0,22
24	Acomodador de moldes	100	10	0,61	6,11	0,22	1,00	0,22
25	Planchas	60	12	0,23	2,71	0,10	3,00	0,29
26	Planchas	60	12	0,23	2,71	0,10	3,00	0,29
27	Planchas	60	12	0,23	2,71	0,10	3,00	0,29
28	Planchas	60	12	0,23	2,71	0,10	3,00	0,29
29	Planchas	60	12	0,23	2,71	0,10	3,00	0,29
30	Planchas	60	12	0,23	2,71	0,10	3,00	0,29
31	Planchas	60	12	0,23	2,71	0,10	3,00	0,29
32	Corte transversal	80	10	0,40	4,03	0,14	3,00	0,43
33	Corte transversal	80	10	0,40	4,03	0,14	3,00	0,43
34	Corte transversal	80	10	0,40	4,03	0,14	3,00	0,43
35	Pistón de corte	80	10	0,40	4,03	0,14	1,00	0,14
36	Cámara de fragua entrada	60	120	0,23	27,12	0,96	1,00	0,96
37	Cámara de fragua entrada	60	120	0,23	27,12	0,96	1,00	0,96
38	Cámara de fragua entrada	60	120	0,23	27,12	0,96	1,00	0,96
39	Cámara de fragua entrada	60	120	0,23	27,12	0,96	1,00	0,96
40	Pistón de bloqueo transferidor entrada	90	10	0,51	5,07	0,18	1,00	0,18

Evaluación sistema de aire comprimido

cámara fragua								
41	Pistón de bloqueo transferidor entrada cámara fragua	90	10	0,51	5,07	0,18	1,00	0,18
42	Pistón de bloqueo transferidor entrada cámara fragua	90	10	0,51	5,07	0,18	1,00	0,18
43	Pistón de bloqueo transferidor entrada cámara fragua	90	10	0,51	5,07	0,18	1,00	0,18
44	Pistón de bloqueo transferidor salida Cámara fragua	90	10	0,51	5,07	0,18	1,00	0,18
45	Pistón de bloqueo transferidor salida Cámara fragua	90	10	0,51	5,07	0,18	1,00	0,18
46	Pistón plancha desapiladora	50	10	0,15	1,53	0,05	1,00	0,05
47	Pistón plancha desapiladora	50	10	0,15	1,53	0,05	1,00	0,05
48	Pistón plancha desapiladora	50	10	0,15	1,53	0,05	1,00	0,05
49	Pistón plancha desapiladora	50	10	0,15	1,53	0,05	1,00	0,05
50	Pistón plancha desapiladora	50	10	0,15	1,53	0,05	1,00	0,05
51	Pistón plancha desapiladora	50	10	0,15	1,53	0,05	1,00	0,05
52	Pistón plancha desapiladora	50	10	0,15	1,53	0,05	1,00	0,05
53	Pistón plancha desapiladora	50	10	0,15	1,53	0,05	1,00	0,05
54	Pistón plancha desapiladora	50	10	0,15	1,53	0,05	1,00	0,05
55	Pistón plancha desapiladora	50	10	0,15	1,53	0,05	1,00	0,05
56	Pistón banda corta	100	60	0,61	36,66	1,29	1,00	1,29
57	Pistón rodo formador	220	3	2,80	8,41	0,30	1,00	0,30
58	Pistón rodo formador	220	3	2,80	8,41	0,30	1,00	0,30
59	Flautas	-	-	-	-	152,75	0,25	38,19
60	Sopladores fieltro	-	-	-	-	50,92	1,00	50,92
Totales						218,22		105,85

Evaluación sistema de aire comprimido

Tabla 4-5. Consumo en scfm del horno 1

#	Ubicación	d (mm)	s (cm)	q (N L/min cm)	Q (N L/min)	Q (scfm)	Utilización (veces/min)	Requerimiento (scfm)
1	Pistón superior	80	25	0,403	10,075	0,356	1	0,356
2	Pistón superior	80	25	0,403	10,075	0,356	1	0,356
3	Pistón superior	80	25	0,403	10,075	0,356	1	0,356
4	Pistón superior	80	25	0,403	10,075	0,356	1	0,356
5	Damper Chimenea 1	35	15	0,075	1,125	0,040	1	0,040
6	Damper Chimenea 2	35	15	0,075	1,125	0,040	1	0,040
7	Damper Chimenea 3	35	15	0,075	1,125	0,040	1	0,040
8	Damper Chimenea 4	35	15	0,075	1,125	0,040	1	0,040
9	Damper Chimenea 5	35	15	0,075	1,125	0,040	1	0,040
10	Damper Chimenea 6	35	15	0,075	1,125	0,040	1	0,040
11	Damper Chimenea 7	35	15	0,075	1,125	0,040	1	0,040
12	Damper Chimenea 8	35	15	0,075	1,125	0,040	1	0,040
13	Chimenea Quemador	80	25	0,403	10,075	0,356	1	0,356
14	Pistón lateral 1	35	15	0,075	1,125	0,040	1	0,040
15	Pistón lateral 2	35	15	0,075	1,125	0,040	1	0,040
16	Pistón lateral 3	35	15	0,075	1,125	0,040	1	0,040
17	Pistón lateral 4	35	15	0,075	1,125	0,040	1	0,040
18	Salida	60	25	0,226	5,65	0,200	1	0,200
19	Entrada	60	25	0,226	5,65	0,200	1	0,200
Totales						2,654		2,654

Evaluación sistema de aire comprimido

Tabla 4-6. Consumo en scfm del horno 2

#	Ubicación	d (mm)	s (cm)	q (N L/min cm)	Q (N L/min)	Q (scfm)	Utilización (veces/min)	Requerimiento (scfm)
1	Pistón superior	80	25	0,403	10,075	0,356	1	0,356
2	Pistón superior	80	25	0,403	10,075	0,356	1	0,356
3	Pistón superior	80	25	0,403	10,075	0,356	1	0,356
4	Pistón superior	80	25	0,403	10,075	0,356	1	0,356
5	Damper Chimenea 1	35	15	0,075	1,125	0,040	1	0,040
6	Damper Chimenea 2	35	15	0,075	1,125	0,040	1	0,040
7	Damper Chimenea 3	35	15	0,075	1,125	0,040	1	0,040
8	Damper Chimenea 4	35	15	0,075	1,125	0,040	1	0,040
9	Damper Chimenea 5	35	15	0,075	1,125	0,040	1	0,040
10	Damper Chimenea 6	35	15	0,075	1,125	0,040	1	0,040
11	Damper Chimenea 7	35	15	0,075	1,125	0,040	1	0,040
12	Damper Chimenea 8	35	15	0,075	1,125	0,040	1	0,040
13	Chimenea Quemador	80	25	0,403	10,075	0,356	1	0,356
14	Pistón lateral 1	35	15	0,075	1,125	0,040	1	0,040
15	Pistón lateral 2	35	15	0,075	1,125	0,040	1	0,040
16	Pistón lateral 3	35	15	0,075	1,125	0,040	1	0,040
17	Pistón lateral 4	35	15	0,075	1,125	0,040	1	0,040
18	Salida	60	25	0,226	5,65	0,200	1	0,200
19	Entrada	60	25	0,226	5,65	0,200	1	0,200
Totales						2,654		2,654

Evaluación sistema de aire comprimido

Tabla 4-7. Consumo en scfm del horno 3

#	Ubicación	d (mm)	s (cm)	q (N L/min cm)	Q (N L/min)	Q (scfm)	Utilización (veces/min)	Requerimiento (scfm)
1	Pistón superior	80	25	0,403	10,075	0,356	1	0,356
2	Pistón superior	80	25	0,403	10,075	0,356	1	0,356
3	Pistón superior	80	25	0,403	10,075	0,356	1	0,356
4	Pistón superior	80	25	0,403	10,075	0,356	1	0,356
5	Damper Chimenea 1	35	15	0,075	1,125	0,040	1	0,040
6	Damper Chimenea 2	35	15	0,075	1,125	0,040	1	0,040
7	Damper Chimenea 3	35	15	0,075	1,125	0,040	1	0,040
8	Damper Chimenea 4	35	15	0,075	1,125	0,040	1	0,040
9	Damper Chimenea 5	35	15	0,075	1,125	0,040	1	0,040
10	Damper Chimenea 6	35	15	0,075	1,125	0,040	1	0,040
11	Damper Chimenea 7	35	15	0,075	1,125	0,040	1	0,040
12	Damper Chimenea 8	35	15	0,075	1,125	0,040	1	0,040
13	Chimenea Quemador	80	25	0,403	10,075	0,356	1	0,356
14	Pistón lateral 1	35	15	0,075	1,125	0,040	1	0,040
15	Pistón lateral 2	35	15	0,075	1,125	0,040	1	0,040
16	Pistón lateral 3	35	15	0,075	1,125	0,040	1	0,040
17	Pistón lateral 4	35	15	0,075	1,125	0,040	1	0,040
Totales						2,255		2,255

Evaluación sistema de aire comprimido

Tabla 4-8. Consumo en scfm de la sierra simple

#	Ubicación	d (mm)	s (cm)	q (N L/min cm)	Q (N L/min)	Q (scfm)	Utilización (veces/min)	Requerimiento (scfm)
1	Salida	50	20	0,134	2,68	0,095	2	0,189
2	Salida	50	20	0,134	2,68	0,095	2	0,189
3	Salida	50	20	0,134	2,68	0,095	2	0,189
4	Salida	50	20	0,134	2,68	0,095	2	0,189
5	Salida	50	20	0,134	2,68	0,095	2	0,189
6	Salida	50	20	0,134	2,68	0,095	2	0,189
7	Uñas	40	10	0,085	0,85	0,030	2	0,060
8	Uñas	40	10	0,085	0,85	0,030	2	0,060
9	Uñas	40	10	0,085	0,85	0,030	2	0,060
10	Uñas	40	10	0,085	0,85	0,030	2	0,060
11	Uñas	40	10	0,085	0,85	0,030	2	0,060
12	Uñas	40	10	0,085	0,85	0,030	2	0,060
13	Uñas	40	10	0,085	0,85	0,030	2	0,060
14	Acomodador de láminas	100	170	0,535	90,95	3,211	0,66	2,120
15	Acomodador de láminas	100	170	0,535	90,95	3,211	0,66	2,120
16	Pistón inferior	60	8	0,198	1,584	0,056	2	0,112
17	Pistón inferior	60	8	0,198	1,584	0,056	2	0,112
18	Pistón Superior	60	4	0,198	0,792	0,028	2	0,056
Totales						7,341		6,075

Evaluación sistema de aire comprimido

Tabla 4-9. Consumo en scfm de la sierra doble

#	Ubicación	d (mm)	s (cm)	q (N L/min cm)	Q (N L/min)	Q (scfm)	Utilización (veces/min)	Requerimiento (scfm)
1	Salida corte transversal	50	20	0,134	2,68	0,095	8	0,757
2	Salida corte transversal	50	20	0,134	2,68	0,095	8	0,757
3	Salida corte transversal	50	20	0,134	2,68	0,095	8	0,757
4	Salida corte transversal	50	20	0,134	2,68	0,095	8	0,757
5	Salida corte transversal	50	20	0,134	2,68	0,095	8	0,757
6	Salida corte transversal	50	20	0,134	2,68	0,095	8	0,757
7	Uñas	40	10	0,085	0,85	0,030	2	0,060
8	Uñas	40	10	0,085	0,85	0,030	2	0,060
9	Uñas	40	10	0,085	0,85	0,030	2	0,060
10	Uñas	40	10	0,085	0,85	0,030	2	0,060
11	Uñas	40	10	0,085	0,85	0,030	2	0,060
12	Uñas	40	10	0,085	0,85	0,030	2	0,060
13	Uñas	40	10	0,085	0,85	0,030	2	0,060
14	Acomodador de láminas	60	15	0,198	2,97	0,105	4	0,419
15	Acomodador de láminas	60	15	0,198	2,97	0,105	4	0,419
16	Acomodador de láminas	60	15	0,198	2,97	0,105	4	0,419
17	Acomodador de láminas	60	15	0,198	2,97	0,105	4	0,419
18	Acomodador de láminas	60	15	0,198	2,97	0,105	4	0,419
19	Acomodador de láminas	60	15	0,198	2,97	0,105	4	0,419
20	Uñas	40	10	0,085	0,85	0,030	2	0,060
21	Uñas	40	10	0,085	0,85	0,030	2	0,060
22	Uñas	40	10	0,085	0,85	0,030	2	0,060
23	Uñas	40	10	0,085	0,85	0,030	2	0,060
24	Uñas	40	10	0,085	0,85	0,030	2	0,060
25	Uñas	40	10	0,085	0,85	0,030	2	0,060

Evaluación sistema de aire comprimido

26	Uñas	40	10	0,085	0,85	0,030	2	0,060
27	Pistón inferior	60	8	0,198	1,584	0,056	2	0,112
28	Pistón inferior	60	8	0,198	1,584	0,056	2	0,112
29	Pistón inferior	60	8	0,198	1,584	0,056	2	0,112
30	Pistón inferior	60	8	0,198	1,584	0,056	2	0,112
31	Pistón Superior	60	4	0,198	0,792	0,028	2	0,056
32	Pistón Superior	60	4	0,198	0,792	0,028	2	0,056
Totales						1,897		8,459

Tabla 4-10. Consumo en scfm de la sierra step-up

#	Ubicación	d (mm)	s (cm)	q (N L/min cm)	Q (N L/min)	Q (scfm)	Utilización (veces/min)	Requerimiento (scfm)
1	Pistón	40	10	0,085	0,85	0,030	8	0,240
2	Pistón	50	21	0,134	2,814	0,099	8	0,795
Totales						0,129		1,035

Evaluación sistema de aire comprimido

Los datos de requerimiento de los sopladores y las flautas se obtuvieron mediante la tabla del Anexo 3, estos sopladores son de 1 mm de diámetro, trabajan a 7 kg/cm².

Todos los equipos son alimentados desde el cuarto de compresores de la red principal, excepto el sistema de transporte de polvo del molino de carbonato de calcio que tiene su propio compresor de aire, por lo que este sistema no se toma en cuenta en el proyecto.

4.1.2 Cálculo del requerimiento de los equipos

Los datos presentados en la sección anterior corresponden al caudal de aire en condiciones estándar, sin embargo, estos datos son útiles únicamente para el cálculo de tuberías, pero no para la selección de compresores, es por esto que estos caudales se deben actualizar en a las condiciones de aire de Cartago, que se tomaron como:

- Temperatura: 25 °C
- Humedad Relativa: 80%
- Altura: 1400 msnm
- Presión atmosférica: 0,845 atm

Por lo que utilizando la Ecuación 3-2 se obtiene un factor de actualización de 1,2. Este valor es el que se utiliza en para actualizar todos los datos.

En la Tabla 4-11 se presentan los caudales en condiciones estándar y actualizadas que consume cada máquina.

Tabla 4-11. Consumo de aire comprimido de los equipos en Plycem

Equipo o Área	Tramo	Presión de Trabajo	Caudal (scfm)	Caudal (acfm)
Fibras	Anillo principal	100	4,254	5,105
Preparación MP1	Anillo principal	100	2,361	2,834
Preparación MP2	Anillo principal	100	2,361	2,834
MP1	Anillo principal	100	77,657	93,188

Evaluación sistema de aire comprimido

MP2	Anillo principal	100	96,537	115,844
Apiladora 1	Anillo principal	100	1,294	1,553
Apiladora 2	Anillo principal	100	1,294	1,553
Desapiladora 1	Anillo principal	100	5,445	6,534
Desapiladora 2	Anillo principal	100	5,445	6,534
Horno 1	Ramal Secundaria	100	2,654	3,185
Horno 2	Ramal Secundaria	100	2,654	3,185
Horno 3	Ramal Secundaria	100	2,255	2,707
Sierra Simple	Ramal Secundaria	80	6,075	7,289
Lijadora	Ramal Secundaria	80	10,000	12,000
Escuadradora	Ramal Secundaria	80	10,000	12,000
Molduradora 1	Ramal Secundaria	80	10,000	12,000
Sierra doble	Ramal Secundaria	80	8,459	10,151
Robots	Ramal Secundaria	100	50,000	60,000
Ranuradora	Ramal Secundaria	80	30,000	36,000
Molduradora 2	Ramal Secundaria	80	10,000	12,000
Sierra steup	Ramal Secundaria	100	1,035	1,242
Poliestireno	Ramal Secundaria	100	50,000	60,000
Sistema de transporte de polvo	Ramal transporte de polvo	110	330,000	396,000
Totales			719,782	863,738

4.1.3 Estado de los paneles neumáticos de las máquinas

Un problema grave que se encontró en Plycem es el estado de los paneles neumáticos de las máquinas. Desorden, suciedad, fugas en conexiones, manómetros dañados o inexistentes, filtros dañados y paneles abiertos sin llavín son problemas encontrados en la todos los paneles.

El mal estado de estos equipos genera:

- Indisposición.
- Retrasos en la revisión de la parte neumática de los equipos en los mantenimientos.
- Degradación progresiva del panel y los equipos en su interior.
- Falta de control de las características del aire comprimido que llega al equipo.

Evaluación sistema de aire comprimido

A continuación se muestran algunos ejemplos de estos casos.



Figura 4-1. Panel neumático hornos 1 y 2



Figura 4-2. Regulador de presión en sistema de transporte de polvo



Figura 4-3. Regulador y filtro en panel neumático horno 3.

4.2 RED DE DISTRIBUCIÓN

4.2.1 Descripción de la red

A la salida del cuarto de compresores se tienen dos tuberías principales, la primera de ellas se dirige hacia la zona de producción primaria, formando un anillo que alimenta las máquinas en esta área de producción y de donde se deriva una tubería secundaria que transporta el aire comprimido para ser utilizado en la zona de producción secundaria y la segunda tubería principal es exclusiva para el sistema de transporte de polvo del molino de recuperación que se encuentra en la parte noroeste de planta.

Con el anillo principal se alimentan las máquinas laminadoras, las máquinas apiladoras, desapiladoras, fibras y los silos de almacenamiento de polvo. De la tubería que se dirige a la zona de producción secundaria se alimentan los actuadores de los hornos, sierras, línea de maquinados, línea simple y robots. En la Figura 4-4 se muestra un croquis que ilustra de manera general la distribución de la red.

Evaluación sistema de aire comprimido

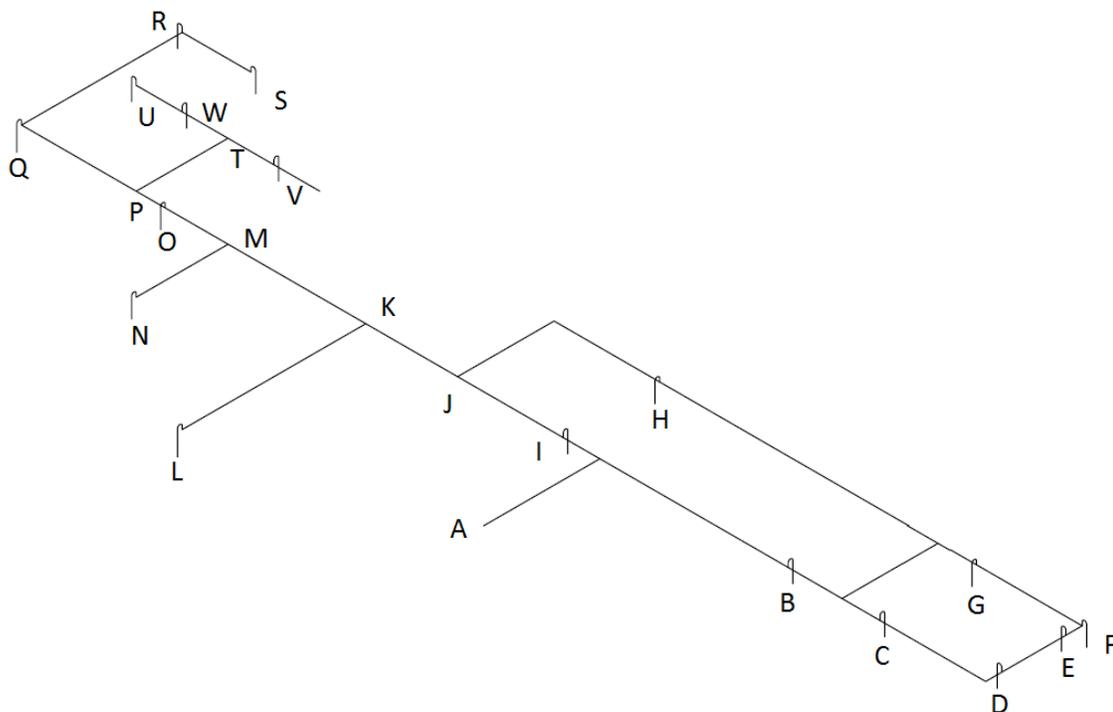


Figura 4-4. Distribución general de la red de aire comprimido

Fuente: Autodesk Autocad 2014, Elaboración Propia.

En la Tabla 4-12 se detallan los puntos representados en la Figura 4-4

Tabla 4-12. Especificación de puntos en la distribución de la red

Punto	Representación
A	Salida tanque de almacenamiento
B	Alimentación apiladora MP1
C	Alimentación MP1
D	Alimentación Preparación MP1
E	Alimentación Preparación MP2
F	Fibras
G	Alimentación MP2
H	Alimentación desapiladora MP2
I	Alimentación desapiladora MP1
J	Toma ramal secundaria
K	Toma ramal poliestireno
L	Alimentación poliestireno
M	Toma ramal línea de maquinados
N	Alimentación línea maquinados
O	Alimentación robots
P	Toma ramal hornos

Evaluación sistema de aire comprimido

Q	Alimentación sierra doble
R	Alimentación sierra steup
S	Alimentación sierra simple y línea simple
T	Bifurcación ramal
U	Alimentación hornos 1 y 2
V	Alimentación Horno 3 Panel 1
W	Alimentación Horno 3 Panel 2

Todas las tuberías principales están instaladas en 2,5 pulgadas de diámetro y son de acero galvanizado, mientras que todos los bajantes están instalados en 1 pulgada de diámetro en el mismo material.

4.2.2 Pérdidas de presión por fricción en las tuberías

Para cada equipo se calculó las pérdidas de presión por fricción, tomando en cuenta la longitud de la tubería y su diámetro desde el cuarto de compresores hasta el punto de alimentación.

En la Tabla 4-13 se presentan las características de cada tramo de tubería

Tabla 4-13. Pérdidas de presión en los tramos de tubería

Tramo	Diámetro (mm)	Longitud equivalente (m)	Caudal (scfm)	Caudal con fugas (scfm)	Pérdida de presión (psi)
A-B	68,8	45,83	183,76	209,49	$2,72 \times 10^{-01}$
B-C	68,8	23,78	103,52	118,01	$4,54 \times 10^{-02}$
C-D	68,8	32,92	6,98	7,96	$3,69 \times 10^{-04}$
D-E	68,8	10,35	4,62	5,26	$4,44 \times 10^{-05}$
E-F	68,8	10,28	2,26	2,57	$1,08 \times 10^{-05}$
B-G	68,8	46,45	78,95	90,00	$5,20 \times 10^{-02}$
A-I	68,8	11,93	204,02	232,59	$8,51 \times 10^{-02}$
I-J	68,8	26,6	198,58	226,38	$1,83 \times 10^{-01}$
J-H	68,8	46,3	5,44	6,21	$3,13 \times 10^{-04}$
J-K	68,8	25,59	193,13	220,17	$1,67 \times 10^{-01}$
K-L	41,9	32,14	50,00	57,00	$1,40 \times 10^{-01}$
K-M	68,8	33,47	143,13	163,17	$1,21 \times 10^{-01}$
M-N	41,9	19	40,00	45,60	$5,34 \times 10^{-02}$
M-O	68,8	23,78	103,13	117,57	$4,50 \times 10^{-02}$
O-P	68,8	15,35	53,13	60,57	$7,93 \times 10^{-03}$
P-Q	68,8	28,65	45,57	51,95	$1,09 \times 10^{-02}$
Q-R	68,8	40,60	37,11	42,30	$1,05 \times 10^{-02}$

Evaluación sistema de aire comprimido

R-S	68,8	18,59	36,07	41,12	$4,53 \times 10^{-03}$
P-T	68,8	22,96	7,56	8,62	$2,98 \times 10^{-04}$
T-W	68,8	12,87	6,44	7,34	$1,25 \times 10^{-04}$
W-U	68,8	13,00	5,31	6,05	$8,28 \times 10^{-05}$
T-V	68,8	11,64	1,13	1,29	$6,10 \times 10^{-06}$

Con esto se puede obtener la caída de presión para cada equipo que suma las caídas en los tramos que llevan el aire hasta él. En la tabla se muestran las caídas para cada equipo.

Tabla 4-14. Pérdidas de presión por tuberías en las máquinas

Equipo o Área	Caída de presión en tubería (psi)	Caída de presión en bajante (psi)	Diámetro de bajante (pulgadas)	Total (psi)
Fibras	0,32	0,028	0,5	0,35
Preparación MP1	0,32	0,013	0,5	0,33
Preparación MP2	0,32	0,013	0,5	0,33
MP1	0,32	0,858	1	1,18
MP2	0,32	1,32	1	1,64
Apiladora 1	0,32	0,002	0,5	0,33
Apiladora 2	0,27	0,002	0,5	0,27
Desapiladora 1	0,27	0,061	0,5	0,33
Desapiladora 2	0,09	0,061	0,5	0,15
Horno 1	0,61	0,014	0,5	0,62
Horno 2	0,61	0,014	0,5	0,62
Horno 3	0,61	0,011	0,5	0,62
Sierra simple	0,63	0,012	1	0,65
Lijadora	0,63	0,012	1	0,65
Escuadradora	0,63	0,012	1	0,65
Molduradora 1	0,63	0,012	1	0,65
Sierra doble	0,62	0,144	0,5	0,76
Robots	0,60	1,18	0,5	1,78
Ranuradora	0,61	0,76	0,5	1,37
Molduradora 2	0,61	0,76	0,5	1,37
Sierra steup	0,63	0,0013	0,5	0,63
Poliestireno	0,58	0,345	0,5	0,92
Sistema de transporte de polvo	0,11			0,11

Evaluación sistema de aire comprimido

4.2.3 Fugas

Según lo visto en el marco teórico, las fugas en los sistemas de aire comprimido son muy difíciles de identificar y controlar, es por esta razón que en instalaciones antiguas como la de Plycem se admite entre un 5% a 10% del requerimiento total del sistema como fugas.

En mayo del presente año se contrataron los servicios de identificación y cuantificación de fugas en la planta, donde se localizó un total de 92 fugas con un resultado total de 150 cfm que se producen y escapan del sistema.

En el Anexo 1 se muestra el listado de fugas encontradas en ese estudio con el valor de la pérdida que representan.

Sin embargo, para este proyecto se efectuó el procedimiento de tanque aireado para la medición del caudal que representan las fugas en el sistema. Esta medición se practicó en el tanque principal de la planta que es de 5000 litros, se presurizó el sistema a 7 bar y se desconectaron los compresores, se dejó caer la presión del sistema a 5 bar y se midió el tiempo que tardó.

El sistema tardó 1 minuto y 55 segundos en pasar de 7 bar a 5 bar, con estos datos se determinó que actualmente las fugas consumen 184 cfm, por lo que de mayo a la fecha no se atendieron las recomendaciones formuladas y el aire perdido en fugas aumentó un 21,3%.

4.3 DESCRIPCIÓN DEL CUARTO DE COMPRESORES

En el recinto destinado para la producción de aire comprimido se encuentran cuatro compresores de tornillo, tres de ellos de la marca Ingersoll Rand que oscilan entre los 15 y 25 años de trabajo y un cuarto compresor de la marca Kaeser que se instaló a mediados del año 2011.

Evaluación sistema de aire comprimido

Los compresores están instalados uno junto al otro con la admisión de aire dirigida hacia el este donde el cuarto no tiene pared sino una malla que permite que los compresores succionen aire fresco del exterior.

Estos compresores están conectados a un manifold, la tubería pasa por dos secadores antes de llegar al tanque de almacenamiento de 5000 litros de capacidad.

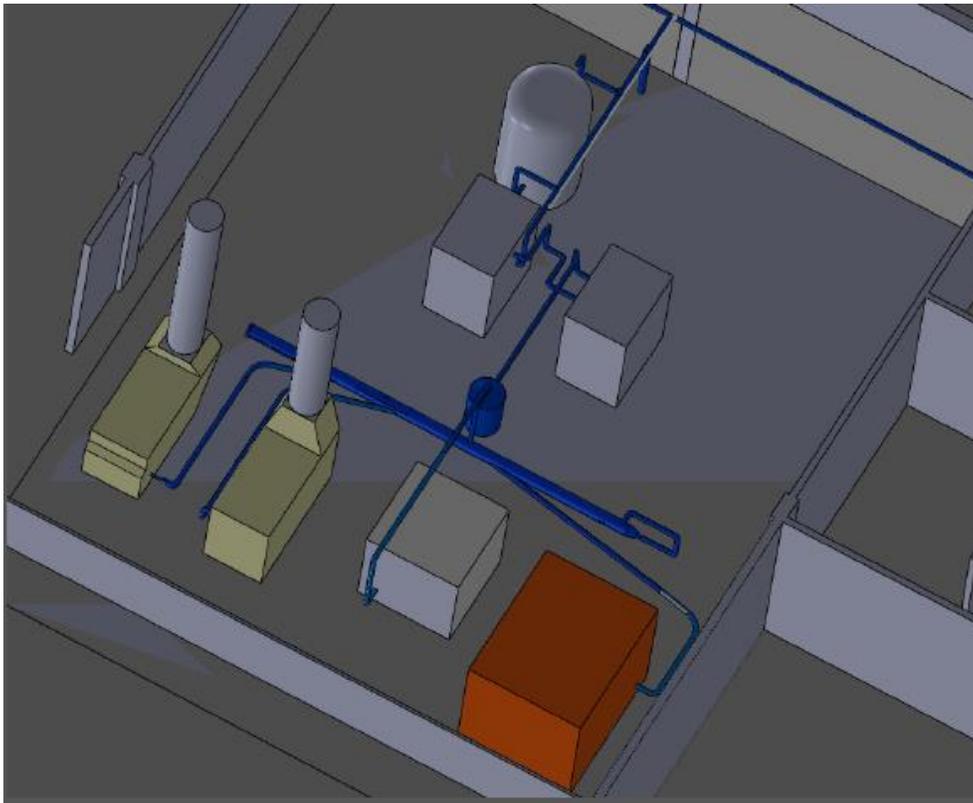


Figura 4-5. Distribución cuarto de compresores.

Fuente: Solid Works, Realizado por dibujante de Plycem

En la Figura 4-5 se muestra la distribución del cuarto de compresores y a continuación se presentan las características de cada uno de ellos.



Figura 4-6. Compresor Ingersoll Rand 50 hp

Denominado compresor 1 es el más antiguo de los compresores instalados, según los datos del fabricante es capaz de descargar 229 cfm de aire libre, sin embargo, según las mediciones hechas en mayo de este año únicamente puede descargar 190 acfm a 92 psig.



Figura 4-7. Compresor Ingersoll Rand 60 hp

El compresor 2 también es de la marca Ingersoll Rand, pero de 60 hp de potencia, según el fabricante puede entregar 269 cfm de aire libre a 100 psig, sin embargo las mediciones arrojaron que entrega 198 cfm a 95 psig.

Con este compresor se tienen problemas de sobrecalentamiento y sale de servicio continuamente por fallas que detecta su sistema de control.



Figura 4-8. Compresor Ingersoll Rand 75 hp

El compresor 3, también Ingersoll Rand, esta vez de 75 hp de potencia. Según el fabricante puede entregar 386 cfm de aire libre a 100 psi, las pruebas arrojaron que entrega 367 cfm de aire libre a 110 psig, por lo que es el compresor que tiene el desempeño más cercano a los datos dados por el fabricante, tomando en cuenta que a mayor presión de trabajo, menor caudal de aire libre puede entregar el compresor.



Figura 4-9. Compresor Kaeser 125 hp

El compresor número 4 es de marca Kaeser, de 125 hp de potencia y según el fabricante puede entregar 425 cfm de aire libre.

Compresor	Caudal de aire libre que entrega (cfm)	Presión a la que está trabajando (psi)
Compresor 1	190	95
Compresor 2	198	90
Compresor 3	367	95
Compresor 4	425	100
Total	1180	-

4.4 PROBLEMA QUE SE PRESENTA

Como se presentó en la sección 4.1, el consumo de la planta cuando están trabajando el 100% de los equipos es de 864 cfm, más los 184 cfm que existen en fugas se tiene un total de 1048 cfm, mientras que la producción máxima de aire que pueden entregar los compresores es de 1180 acfm, por lo que el cuarto de compresores sí puede suplir el caudal de aire comprimido requerido por la planta cuando trabajen todos los equipos.

Evaluación sistema de aire comprimido

El usuario que más caudal de aire requiere es el sistema de transporte de polvo que hace una descarga de dos minutos cada catorce minutos, con un caudal requerido de 330 scfm que representan 396 acfm en las condiciones del aire en Cartago.

Los cuatro compresores se mantienen encendidos permanentemente para poder satisfacer la demanda de planta cuando el sistema de transporte de polvo se activa, sin embargo, aun teniendo todos los compresores activos, la presión del sistema baja hasta los 85 psi e incluso ha llegado a bajar hasta los 70 psi de presión, lo que provoca problemas de calidad en el producto.

Una vez que el sistema de transporte de polvo genera la descarga, los cuatro compresores tardan 5 minutos en restaurar la presión del sistema, cuando la presión es restaurada, los compresores de 60 hp y 75 hp entran a trabajar en vacío mientras que los compresores de 125 hp y 50 hp siguen trabajando para suplir las necesidades del sistema.

Los fabricantes advierten que un compresor de velocidad constante cuando trabaja en vacío consume el 60% de la potencia a plena carga, por lo que estos dos compresores consumen 81 hp de potencia cuando están trabajando en vacío.

Si se contempla que los ciclos de descarga del sistema de transporte de polvo son de 12 minutos, pero solo durante 5 minutos trabajan los cuatro compresores, entonces el 50% del tiempo se tiene trabajando en vacío dos compresores únicamente a la espera de que se baje la presión del sistema para entrar en etapa de carga.

Con estos datos y sabiendo que 1 hp equivale a 746 watts, se obtiene lo siguiente:

$$81 \text{ hp} \times \frac{746 \text{ W}}{1 \text{ hp}} \times 0,5833 \text{ h} = 35246 \text{ Wh}$$

Evaluación sistema de aire comprimido

Por lo que se están desperdiciando 35,246 kWh de energía por hora de operación.

Otro problema que se encontró en la planta es que se están produciendo 185 cfm de aire comprimido únicamente para compensar las fugas del sistema, si se considera que el consumo real de la planta es de 863 acfm, las fugas representan un 23% de la demanda real estando por encima del 10% aceptable.

CAPÍTULO 5

PROPUESTA DE SOLUCIÓN

5.1 FUGAS

Como se mostró en la sección 4.2.3 en Plycem hay identificadas 92 fugas que representan 150 cfm de caudal de pérdidas, y aunque se advirtió su localización no se ha dado solución a esto. Con la medición efectuada para este proyecto se demostró que las fugas del sistema crecieron hasta los 184 cfm, por lo que aún atacando las 92 fugas identificadas no se eliminarían las pérdidas del sistema.

Sin embargo, se reduciría el porcentaje de fugas del 21,3% actual a 3,25%, y se entraría en el porcentaje ideal que aconseja la teoría de los sistemas de aire comprimido, es por esto que se elaboró un cronograma para la eliminación de las fugas identificadas.

Este cronograma de resolución de fugas se presenta en el apéndice 1

5.2 SEPARACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE POLVO

Como se mostró en la sección 4.4 el mayor problema que se presenta en la planta con el aire comprimido es el sistema de transporte de polvo neumático, pues con el ciclo de trabajo de descargar durante 2 minutos y estar en espera durante 12 minutos la red no debería sufrir pérdidas de presión significativas, pero sí las tiene.

Esta pérdida de presión ocurre porque el sistema de transporte de polvo necesita 110 psi de presión para funcionar adecuadamente, sin embargo, los compresores existentes no pueden alcanzar esta presión de trabajo exceptuando el compresor 4. Por otra parte para que no haya caídas de presión en el sistema, los compresores deben trabajar a presiones mayores que los 110 psi para lograr acumular aire en el tanque y que así se logre satisfacer la demanda instantánea de caudal requerido.

Como se sabe que los compresores disponibles no alcanzan las condiciones óptimas para el funcionamiento del equipo neumático de transporte de

Evaluación sistema de aire comprimido

polvo se procedió a calcular un equipo compresor y tanque acumulador nuevos para independizar este sistema del resto de la red y así lograr que este equipo pueda trabajar de manera efectiva y que no se afecte el funcionamiento de los demás equipos de la red neumática.

Además es recomendable hacer esta modificación, puesto que la empresa pretende mejorar la velocidad del molino al doble, por lo que el tiempo entre descargas pasará de 10 minutos a 4 minutos y el ciclo de trabajo del sistema de transporte pasará de 12 minutos a 6.

Se tiene un factor de utilización del equipo determinado por el tiempo de descarga y el tiempo que tarde un ciclo completo de trabajo, este factor de utilización no se aplicó anteriormente, porque las condiciones de trabajo del sistema no permitía acumulación de aire en el tanque, algo que sí se permitirá con este diseño.

$$f_u = \frac{2}{6} = 0,33$$

Se trabajará con un caudal de diseño de 330 scfm, dado que se pretende dejar el sistema de transporte de polvo con un sistema neumático independiente e individual, por lo que la capacidad del compresor necesario es

$$Q_{compresor} = (330)(0,33) = 110 \text{ scfm}$$

Sin embargo este caudal es el necesario con aire en condiciones estándar, se debe actualizar el requerimiento a condiciones actuales para poder escoger un compresor. El factor de actualización para las condiciones de Cartago es 20%.

$$Q_{compresor} = (110)(1,2) = 132 \text{ acfm}$$

Por lo que se requiere un compresor que entregue 132 cfm de aire libre, ahora se necesita calcular un tanque para almacenar el aire durante los cuatro minutos que el sistema no está descargando, para ello es necesario definir un rango de presiones a la cual se puede trabajar.

Evaluación sistema de aire comprimido

Según el fabricante, el sistema de transporte de polvo debe trabajar a 110 psig, sin embargo, se ha estado trabajando con 100 psig de presión y no ha dado problemas por eso se establecerá 100 psig como la presión mínima de trabajo. Se establecerá una presión de trabajo máxima de 130 psig, debido a que la masa de aire que se debe almacenar es muy grande y de escogerse un diferencial de presiones muy pequeño el tanque acumulador necesario sería muy grande y por ende costoso, por último el ciclo de tiempo de almacenamiento del tanque es de 4 minutos, porque durante los dos minutos de descarga el compresor es el que suplirá el caudal de aire necesario directamente. De este modo se tiene.

$$V_{tanque} = \frac{(0,25)(132 \text{ cfm})(14.7 \text{ psi})}{\left(\frac{1}{4 \text{ min}}\right)(30 \text{ psi})} = 64,68 \text{ pie}^3$$

Como un pie cúbico equivale a 28,31 litros entonces es necesario un tanque de al menos 1831 litros.

Si se pretende respetar las 110 psi de presión mínima que recomienda el fabricante, el diferencial de presión pasará a ser de 20 psi, por lo que se tendría.

$$V_{tanque} = \frac{(0,25)(132 \text{ cfm})(14.7 \text{ psi})}{\left(\frac{1}{4 \text{ min}}\right)(20 \text{ psi})} = 97,02 \text{ pie}^3$$

En este caso el volumen del tanque necesario para asegurar la presión mínima de trabajo del equipo es de 97,02 pie cubico, equivalente a 2746 litros.

Se consultó con el proveedor para la escogencia de un compresor que entregue 132 cfm en el sitio de trabajo al menos a 140 psig, esto tomando en cuenta que se debe colocar un secador que genera una pérdida de presión de entre 3 y 5 psi; y dos filtros que generan caídas de presión de 1 psi aproximadamente, más alguna pérdida por fricción en tuberías que no vale la pena calcular, pues, se pretende utilizar parte de la tubería de 2,5 pulgadas de diámetro para instalar el compresor a escasos 3 metros del sistema de transporte de polvo.

Evaluación sistema de aire comprimido

Con la independización de este equipo, la demanda de la red pasa de 864 acfm a 468 acfm, por lo que prácticamente el compresor Kaeser de 125 hp podría llevar la carga de la planta con la ayuda del compresor de 50 hp y quedarán disponibles los compresores de 60 hp y 75 hp como respaldo en caso de necesitar parar alguno de los compresores que quedan trabajando.

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS ECONÓMICO

Evaluación sistema de aire comprimido

Para este análisis económico se revisará la viabilidad de generar los cambios propuestos que requieren de una inversión grande de dinero para su ejecución.

La reparación de fugas no se analizará, puesto que estos repuestos se encuentran en bodega y no es necesario recurrir a una inversión directa para su ejecución sino que entra en el gasto presupuestado para mantenimiento, por otra parte la inversión más grande requerida es la de la independización de equipo de transporte de polvo para el cual sí se debe efectuar una inversión extraordinaria que no se tiene contemplada dentro del presupuesto de mantenimiento.

En el Anexo 4 se encuentra la cotización de los equipos requeridos, esto incluye la instalación. El monto asciende a los \$32736 con un tanque de 660 galones, con esta inversión se evitarán problemas en la calidad del producto y se hará posible la desconexión de dos compresores uno de 60 hp y el otro de 75 hp, mientras que se conectará otro de apenas 40 hp.

Este compresor de 40 hp estará funcionando al 100%, por lo que no habrá tiempos con el compresor en vacío, mientras que los compresores de 60 hp y 75 hp trabajan 50% a plena carga y el otro 50% en vacío que representa un 60% de la del consumo del compresor a plena carga. De este modo se obtiene lo siguiente:

$$(135 \text{ hp})(42\%) + (135 \text{ hp})(60\%)(58\%) = 104 \text{ hp}$$

Los compresores de 60 hp y 75 hp tienen un consumo de 104 hp por hora de operación en conjunto con el régimen de funcionamiento actual. Basado en la Ecuación 3-1 y tomando el valor del costo por kWh como el promedio según JASEC que se muestra en el Anexo , tomando en cuenta que en un día hay 10 horas nocturnas, 9 horas valle y 5 horas pico.

$$\text{Costo kWh} = \frac{(10)(18) + (9)(26) + (5)(54)}{24} = 28,5 \text{ colones} \times \frac{1 \$}{545 \text{ colones}} = \$0,053$$

Evaluación sistema de aire comprimido

Utilizando este valor en el cálculo del costo anual de operación se obtiene lo siguiente para los compresores de 60 hp y 75 hp:

$$\text{Costo anual} = \frac{(104 \text{ hp})(1,15)(0,746)(\$0,053)(8000 \text{ h})}{0,93}$$

$$\text{Costo anual} = \$40677,37$$

Para el compresor de 40 hp

$$\text{Costo anual} = \frac{(40 \text{ hp})(1,15)(0,746)(\$0,053)(8000 \text{ h})}{0,93}$$

$$\text{Costo anual} = \$15645,14$$

Por lo que el cambio al compresor de 40 hp implica un ahorro anual de \$25032,23.

$$\text{Recuperación de la inversión} = \frac{\$32736}{\$25032,23/\text{año}} = 1,3 \text{ años}$$

Esto implica que la inversión para la adquisición del compresor de 40 hp, el tanque, el secador y los filtros se recuperará en 1 año y 3 meses.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES

7.1 CONCLUSIONES

1. Se determinó y documentó el requerimiento de los equipos de aire comprimido de la planta.
2. Se documentó las características de los equipos del cuarto de aire comprimido.
3. Se dibujó el plano del sistema de aire comprimido.
4. Se calculó las pérdidas presentes en el sistema, tanto por fricción en tuberías como por fugas.
5. Se determinó que el dimensionamiento de tuberías es apropiado, pero que las presiones de trabajo del sistema no cumplen con lo requerido por los usuarios.
6. Se planteó la posible solución para el problema, mediante el aislamiento del equipo que requiere mayor caudal y presión de trabajo.
7. Se logró determinar el ahorro energético que se obtendría al producir el cambio.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

Atlas Copco Airpower NV. (2010). Compressed Air Manual. Bélgica.

Boge. (2004). Compressed Air Compendium. Hoppenstedt-Verlag.

Carnicer Royo, E. (1977). Aire comprimido - Teoría y cálculo de instalaciones.
Barcelona: Gustavo Gili S.A.

IMI Norgren, SA. (2006). Aire Comprimido – La guía Norgren para el Tratamiento del Aire. USA: Norgren.

APÉNDICES

Evaluación sistema de aire comprimido

APÉNDICE 1

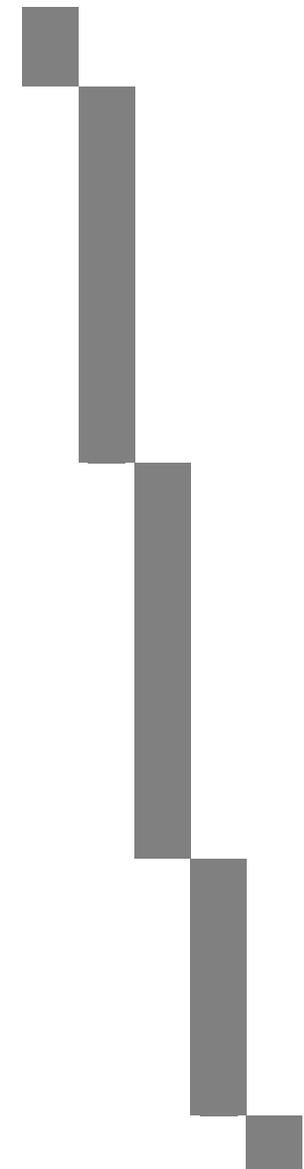
Número de fuga	Área	Lugar	Acción	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10
97	CTO COMPRESORES	LLAVE PASO KASER A MANIFOLD	TEFLÓN EN ROSCA	■									
98	CTO COMPRESORES	LLAVE SALIDA DEL MANIFOLD	CAMBIAR ASIENTO A VÁLVULA REPARAR ENFRIADOR DEL COMPRESOR	■									
99	CTO COMPRESORES	COMPRESOR DE 50 HP. VÁLVULA EN TANQUE ACUMULADOR	TEFLÓN EN ROSCA	■									
100	CTO COMPRESORES	PRINCIPAL. VÁLVULA EN DE TERMINAL SOPLADORA. LADO	TEFLÓN EN ROSCA	■									
101	TALLER DE MANTENIMIENTO	SUR. TINA 2 CELULOSA, PISTÓN DE VÁLVULA A	TEFLÓN EN ROSCA	■									
102	FIBRAS	BOMBA. LADO ESTE TUBERÍA PLÁSTICA EN RACK	CAMBIAR ACOUPLE DE 1/4" Y 6mm.	■									
103	FIBRAS	SUPERIOR	CAMBIAR ACOUPLE DE 1/4" Y 6mm.	■									
104	FIBRAS	PULPER 2 TANQUE DOSIFICADORA PISTÓN	REPARAR SELLOS DEL PISTÓN REPARAR SELLOS EN	■									
105	FIBRAS	PANEL NEUMÁTICO DOSIFICADORA LADO ESTE	ELECTROVÁLVULA	■									
106	FIBRAS	BOMBA TINA 3 MANGUERA A PISTÓN DE VÁLVULA	CAMBIAR T'E 6mm CAMBIAR ACOUPLE DE 1/2" Y 6mm.	■	■								
107	MP1	PANEL NEUMÁTICO	CAMBIAR T'E 6mm		■								
108	MP1	PISTÓN EN VÁLVULA IMI	CAMBIAR UNIÓN 6mm		■								
109	MP1	MANGUERA AL LADO IMI PISTÓN DE VÁLVULA DOSIFICADORA DE CONO	CAMBIAR MANGUERA 6mm		■								
110	MP1	1	TEFLÓN EN ROSCA		■								
111	MP1	CONO 1 TANQUE DEL PANEL NEUMÁTICO	CAMBIAR ACOUPLE DE VÁLVULA		■								
112	MP1	PANEL NEUMÁTICO CONO 1 ELECTROVÁLVULA DE PISTÓN CONO 1 ARRIBA	CAMBIAR UNIÓN 6mm		■								
113	MP1	DEL CONO	CAMBIAR MANGUERA 6mm		■								
114	MP1	TANQUE A CONO1 NIVEL MEDIO	CAMBIAR MANGUERA 6mm		■								
115	MP1	TANQUE A CONO1 AL LADO DE GEMI REGULADOR DE PRESIÓN EN PANEL DE	CAMBIAR MANGUERA 6mm		■								
116	MP1	MÁQUINA 1	TEFLÓN EN ROSCA			■							

Evaluación sistema de aire comprimido

117	MP1	ALIMENTACIÓN A SISTEMA DE CORTE LATERAL DE LÁMINAS	CAMBIAR ACOPLÉ 6mm
118	MP1	PISO DE APILADORA SISTEMA DE CARROS.	CAMBIAR ACOPLÉ DE 8mm CAMBIAR ACOPLÉ 1/4" 90° 6mm
119	MP1	PANEL NEUMÁTICO DE APLILADORA	
120	MP1	PANEL NEUMÁTICO DE APILADORA	CAMBIAR T'E 6mm
121	MP1	VÁLVULA EN CARROS DE FRAGUA. PISO.	TEFLÓN EN ROSCA
122	MP1	MECANISMOS EN DESAPILADORA 1	CAMBIAR MANGUERA 6mm
123	MP1	MECANISMOS DE DESAPILADORA 1	CAMBIAR MANGUERA 6mm CAMBIAR ACOPLÉ DE 1/4" Y 6mm.
124	MP1	TANQUE DE DIESEL PISTÓN A VÁLCULA	CAMBIAR ACOPLÉ DE 1/4" Y 6mm.
125	MP1	TANQUE DE DIESEL. ARRIBA.	
126	MP2	PISTÓN A IMI	CAMBIAR MANGUERA 1/4"
128	MP2	PISTÓN A VÁLVULA DE IMI	TEFLÓN EN ROSCA
127	MP2	PISTÓN A TANQUE RECUPERACIÓN	CAMBIAR MANGUERA 6mm
129	MP2	APILADORA MP2, SALIDA A VÁLVULA	TEFLÓN EN ROSCA CAMBIAR RACOR DE 1/2" 12MM
130	MP2	APILADORA MP2, RACOR DE 1/2" 12MM	
131	MP2	APILADORA MP2, REGULADOR LUBRICADOR.	CAMBIAR REGULADOR.
132	MP2	CARROS SALIDA DE APILADORAS CARROS SALIDA DE APILADORAS ENTRADA A FRAGUA PISTÓN	CAMBIAR MANGUERA CAMBIAR RACOR 1/4 6MM
134	MP2	PUERTA SALIDA DE FRAGUA VÁLVULA PUERTA SALIDA DE FRAGUA MECANISMOS DE CARROS	CAMBIAR RACOR 1/4 90° CMM
135	MP2	PUERTA SALIDA DE FRAGUA MECANISMOS DE CARROS	CAMBIAR MANGUERA
136	MP2	PUERTA SALIDA DE FRAGUA MECANISMOS DE CARROS	CAMBIAR MANGUERA
137	MP2	PUERTA ENTRADA FRAGUA VÁLVULA	SELLAR CON TEFLÓN
138	MP2	PUERTA ENTRADA FRAGUA PISTÓN	CAMBIAR RACOR 1/4 6MM 90°
139		DESAPILADORA TANQUE	SELLAR CON TEFLÓN
140	MP2	PANEL AL LADO DE LA DESAPILADORA	MANGUERA SUELTA RACOR 1/4" 6 MM SELLAR CON TEFLÓN
141	MP2	DESAPILADORA	

Evaluación sistema de aire comprimido

142	MP2	SILO CONO MP2 VÁLVULA	PISTONES. CAMBIAR SELLOS
143	MP2	SILO CONO MP2 VÁLVULA	CAMBIAR RACOR
144	RANURADORA	PISTÓN RANURADORA ENTRADA	MANGUERA Y RACOR FUGA PISTÓN. CAMBIAR SELLOS
145	MOLDURADORA	PISTÓN GUÍA DENTRO DE LA MÁQUINA	RACOR. SELLAR CON TEFLÓN
146	IMPREGNADORA	BOMBA DIAFRAGMA DE SELLADOR.	SELLAR CON TEFLÓN RACOR
147	MOLDURADORA	TOMA DE AIRE	CAMBIAR ACOPLÉ
148	MOLDURADORA	TOMA AIRE COMPRIMIDO REGULADOR	RACOR
149	MOLINO	VÁLVULA EN TUBERÍA.	CAMBIAR RACOR EN VÁLVULA
150	RANURADORA	MANGUERA	RACOR 1/2" 12MM
151	RANURADORA	ALIMENTACIÓN	CAMBIAR SELLOS AL PISTÓN
152	REFILADORA	SHELLING	CAMBIAR RACOR 1/4" 6MM
153	SHELLING	TANQUE ACUMULADOR	CAMBIAR RACOR
154	SHELLING	VÁLVULA DE PASO	CAMBIAR MANGUERA
155	SHELLING	SALIDA ABAJO	CAMBIAR REGULADOR.
156	SHELLING	ROBOT APILADO	CAMBIAR RACOR EN REGULADOR
157	APILADO FRENTE A HORNOS 1	ROBOT SALIDA DE LINEA	RACOR
158	Y 2	REGULADOR	MANGUERA
159	SIERRA CORTE	MANDO NEUMÁTICO	RACOR
160	SIERRA CORTE	VÁLVULAS	MANGUERA SUELTA
161	SHELLING 1	MAGUERA	CAMBIAR REGULADOR.
162	PINTURA	REGULADOR	CAMBIAR MANGUERA 12MM
163	PINTURA	ALIMENTADOR DE SOPLADOR	CAMBIAR MANGURA Y RACOR
164	SILO DEL CICLON	SILO CICLÓN DEL LADO NORTE HORNO 3	MANGUERA SUELTA
165	SILO DEL CICLON	SILO CICLÓN DEL LADO NORTE HORNO 3	CAMBIAR SELLOS AL PISTÓN
166	HORNO 2	CHIMENEA ENTRADA LADOO OESTE COMPUERTA CHIMENEA OESTE SOBRE VENTILADOR PRINCIPA	CAMBIAR SELLOS AL PISTÓN CAMBIAR RACOR 1/4" 90° 6 MM
167	HORNO 2		
168	HORNO 2	COMPUERTA CHIMENEA SALIDA OESTE.	



Evaluación sistema de aire comprimido

169	HORNO 2	COMPUERTA DUCTO ESTE -ENTRADA PISTÓN COMPUERTA NOROESTE PARTE SUPERIOR	CAMBIAR RACOR 1/4" 6MM
170	HORNO 1		CAMBIAR MANGUERA Y RACOR
171	HORNO 1	PISTÓN COMPUERTA SUPERIOR SUR ESTE	CAMBIAR SELLOS AL PISTÓN CAMBIAR G66MANGUERA 6MM Y UNIÓN
172	HORNO 1	PISTÓN CHIMENA NOROESTE	
173	HORNO 1	ENTRADA PISO MECANISMO DE CARROS	CAMBIAR MANGUERA CAMBIAR MANGUERA Y RACOR 1/4"
174	HORNO 1	PANEL NEUMÁTICO ESTE ENTRADA	
175	HORNO 1	PANEL NEUMÁTICO NORESTE	CAMBIAR RACOR
176	HORNO 1	PANEL NEUMÁTICO SALIDA	CAMBIAR RACOR
177	HORNO 3	PISTÓN MECANISMO DE SALIDA DE CARRO	CAMBIAR RACOR
178	HORNO 3	CHIMENEA NORESTE EN12	CAMBIAR RACOR 6MM
179	HORNO 3	SOBRE DUCTO OESTE PANEL NEUMÁTICO ALIMENTACIÓN SOBRE HORNO	CAMBIAR UNIÓN 6mm CAMBIAR RACOR Y MANGUERA 12 MM
180	HORNO 3	PANEL NEUMÁTICO ALIMENTACIÓN SOBRE HORNO	CAMBIAR RACOR Y MANGUERA 12 MM
181	HORNO 3		
182	HORNO 3	PISTÓN COMPUERTA NOROESTE SUPERIOR	CAMBIAR RACOR.
183	HORNO 3	COMPUERTA SURESTE SUPERIOR	CAMBIAR UNIÓN RACOR
184	HORNO 3	CHIMENEA 8B	CAMBIAR UNIÓN RACOR
185	HORNO 3	PANEL NEUMÁTICO SUR	CAMBIAR RACOR Y MANGUERA
186	HORNO 3	PISTÓN SOBRE HORNO	MANGUERA SUELTA
187	HORNO 3	MECANISMO DE ENTRADA AL HORNO	CAMBIAR RACOR Y MANGUERA
188	HORNO 3	PANEL NEUMÁTICO CENTRAL CARROS H3	SELLAR RACOR CON TEFLÓN.

ANEXOS

Evaluación sistema de aire comprimido

ANEXO 1

LISTADO DE FUGAS

numero	db	presión	factor	cfm	valor corregido	ÁREA	LUGAR
97	28	100	0,65	1,28	0,832	CTO COMPRESORES	LLAVE PASO KASER A MANIFOLD
98	45	100	0,65	2,35	1,5275	CTO COMPRESORES	LLAVE SALIDA DEL MANIFOLD
99	65	100	0,65	4,41,4	2,86	CTO COMPRESORES	COMPRESOR DE 50 HP.
100	32	100	0,65	6	0,949	CTO COMPRESORES TALLER DE MANTENIMIENTO	VÁLVULA EN TANQUE ACUMULADOR PRINCIPAL.
101	40	100	0,65	1,7	1,105	FIBRAS	VÁLVULA EN DE TERMINAL SOPLADORA. LADO SUR.
102	50	100	0,65	31,5	1,95	FIBRAS	TINA 2 CELULOSA, PISTÓN DE VÁLVULA A BOMBA.
103	35	100	0,65	5	1,0075	FIBRAS	LADO ESTE TUBERÍA PLÁSTICA EN RACK SUPERIOR
104	30	100	0,65	1,4	0,91	FIBRAS	PULPER 2 TANQUE DOSIFICADORA PISTÓN
105	70	100	0,65	5,2	3,38	FIBRAS	PANEL NEUMÁTICO DOSIFICADORA LADO ESTE
106	30	100	0,65	1,41,5	0,91	FIBRAS	BOMBA TINA 3 MANGUERA A PISTÓN DE VÁLVULA
107	35	100	0,65	5	1,0075	MP1	PANEL NEUMÁTICO
108	25	100	0,65	1,1	0,715	MP1	PISTÓN EN VÁLVULA IMI
109	25	100	0,65	1,12,3	0,715	MP1	MANGUERA AL LADO IMI
110	45	100	0,65	5	1,5275	MP1	PISTÓN DE VÁLVULA DOSIFICADORA DE CONO 1
111	40	100	0,65	1,7	1,105	MP1	CONO 1 TANQUE DEL PANEL NEUMÁTICO
112	30	100	0,65	1,4	0,91	MP1	PANEL NEUMÁTICO CONO 1
113	50	100	0,8	3	2,4	MP1	ELECTROVÁLVULA DE PISTÓN CONO 1 ARRIBA DEL CONO
114	50	100	0,65	32,3	1,95	MP1	TANQUE A CONO1 NIVEL MEDIO
115	45	100	0,65	5	1,5275	MP1	TANQUE A CONO1 AL LADO DE GEMI
116	30	100	0,65	1,4	0,91	MP1	REGULADOR DE PRESIÓN EN PANEL DE MÁQUINA 1 ALIMENTACIÓN A SISTEMA DE CORTE LATERAL DE LÁMINAS
117	40	100	0,65	1,7	1,105	MP1	
118	70	100	0,65	5,22,3	3,38	MP1	PISO DE APILADORA SISTEMA DE CARROS.
119	45	100	0,65	52,3	1,5275	MP1	PANEL NEUMÁTICO DE APLILADORA
120	45	100	0,65	5	1,5275	MP1	PANEL NEUMÁTICO DE APILADORA
121	20	100	0,65	0,81,5	0,52	MP1	VÁLVULA EN CARROS DE FRAGUA. PISO.
122	35	100	0,65	5	1,0075	MP1	MECANISMOS EN DESAPILADORA 1
123	35	100	0,65	51,5	1,0075	MP1	MECANISMOS DE DESAPILADORA 1
124	40	100	0,65	1,7	1,105	MP1	TANQUE DE DIESEL PISTÓN A VÁLVULA
125	30	100	0,65	1,4	0,91	MP1	TANQUE DE DIESEL. ARRIBA.
126	40	100	0,65	1,7	1,105	MP2	PISTÓN A IMI
128	30	100	0,65	1,42,3	0,91	MP2	PISTÓN A VÁLVULA DE IMI
127	45	100	0,65	5	1,5275	MP2	PISTÓN A TANQUE RECUPERACIÓN
129	30	100	0,65	1,4	0,91	MP2	APILADORA MP2, SALIDA A VÁLVULA
130	50	100	0,65	3	1,95	MP2	APILADORA MP2, RACOR DE 1/2" 12MM
131	40	100	0,65	1,7	1,105	MP2	APILADORA MP2, REGULADOR LUBRICADOR.

Evaluación sistema de aire comprimido

132	50	100	0,65	3	1,95	MP2	CARROS SALIDA DE APILADORAS
133	55	100	0,65	3,3	2,145	MP2	CARROS SALIDA DE APILADORAS ENTRADA A FRAGUA PISTÓN
134	40	100	0,85	1,7	1,445	MP2	PUERTA SALIDA DE FRAGUA VÁLVULA
135	40	100	0,65	1,7	1,105	MP2	PUERTA SALIDA DE FRAGUA MECANISMOS DE CARROS
136	60	100	0,65	3,6	2,34	MP2	PUERTA SALIDA DE FRAGUA MECANISMOS DE CARROS
137	40	100	0,65	1,7	1,105	MP2	PUERTA ENTRADA FRAGUA VÁLVULA
138	60	100	0,65	3,6	2,34	MP2	PUERTA ENTRADA FRAGUA PISTÓN
139	35	100	0,65	5	1,0075		DESAPILADORA TANQUE
140	35	100	0,65	5	1,0075	MP2	PANEL AL LADO DE LA DESAPILADORA
141	35	100	0,65	5	1,0075	MP2	DESAPILADORA
142	60	100	0,65	3,6	2,34	MP2	SILO CONO MP2 VÁLVULA
143	40	100	0,65	1,7	1,105	MP2	SILO CONO MP2 VÁLVULA
144	60	100	0,65	3,6	2,34	RANURADORA	PISTÓN RANURADORA ENTRADA
145	65	100	0,65	4,4	2,86	MOLDURADORA	PISTÓN GUÍA DENTRO DE LA MÁQUINA
146	50	100	0,65	3	1,95	IMPREGNADORA	BOMBA DIAFRAGMA DE SELLADOR.
147	40	100	0,65	1,7	1,105	MOLDURADORA	TOMA DE AIRE
148	30	100	0,65	1,4	0,91	MOLDURADORA	TOMA AIRE COMPRIMIDO REGULADOR
149	40	100	0,65	1,7	1,105	MOLINO	VÁLVULA EN TUBERÍA.
150	30	100	0,65	1,4	0,91	RANURADORA	MANGUERA
151	30	100	0,65	1,4	0,91	RANURADORA	ALIMENTACIÓN
152	35	100	0,65	5	1,0075	REFILADORA	SCHELLING
153	35	100	0,65	5	1,0075	SCHELLING	TANQUE ACUMULADOR
154	50	100	0,65	3	1,95	SCHELLING	VÁLVULA DE PASO
155	80	100	0,65	7,7	5,005	SCHELLING	SALIDA ABAJO
156	40	100	0,65	1,7	1,105	SCHELLING	ROBOT APILADO
157	25	100	0,65	1,1	0,715	APILADO	ROBOT SALIDA DE LINEA
158	65	100	0,65	4,4	2,86	FRENTE A HORNOS 1 Y 2	REGULADOR
159	85	100	0,65	5	5,2325	SIERRA CORTE	MANDO NEUMÁTICO
160	30	100	0,65	1,4	0,91	SIERRA CORTE	VÁLVULAS
161	70	100	0,65	5,2	3,38	SCHELLING 1	MAGUERA
162	40	100	0,65	1,7	1,105	PINTURA	REGULADOR
163	60	100	0,65	3,6	2,34	PINTURA	ALIMENTADOR DE SOPLADOR
164	50	100	0,65	3	1,95	SILO DEL CICLÓN	SILO CICLÓN DEL LADO NORTE HORNO 3
165	40	100	0,65	1,7	1,105	SILO DEL CICLÓN	SILO CICLÓN DEL LADO NORTE HORNO 3
166	60	100	0,65	3,6	2,34	HORNO 2	CHIMENEA ENTRADA LADO OESTE COMPUERTA CHIMENEA OESTE SOBRE VENTILADOR PRINCIPAL
167	40	100	0,65	1,7	1,105	HORNO 2	
168	50	100	0,65	3	1,95	HORNO 2	COMPUERTA CHIMENEA SALIDA OESTE.
169	50	100	0,65	3	1,95	HORNO 2	COMPUERTA DUCTO ESTE -ENTRADA
170	80	100	0,65	7,7	5,005	HORNO 1	PISTÓN COMPUERTA NOROESTE PARTE SUPERIOR
171	50	100	0,65	3	1,95	HORNO 1	PISTÓN COMPUERTA SUPERIOR SUR ESTE
172	60	100	0,65	3,6	2,34	HORNO 1	PISTÓN CHIMENA NOROESTE

Evaluación sistema de aire comprimido

173	40	100	0,65	1,7 1,5	1,105	HORNO 1	ENTRADA PISO MECANISMO DE CARROS
174	35	100	0,65	5	1,0075	HORNO 1	PANEL NEUMÁTICO ESTE ENTRADA
175	25	100	0,65	1,1	0,715	HORNO 1	PANEL NEUMÁTICO NORESTE
176	60	100	0,65	3,6	2,34	HORNO 1	PANEL NEUMÁTICO SALIDA
177	40	100	0,65	1,7	1,105	HORNO 3	PISTÓN MECANISMO DE SALIDA DE CARRO
178	40	100	0,65	1,7	1,105	HORNO 3	CHIMENEA NORESTE EN12
179	40	100	0,65	1,7	1,105	HORNO 3	SOBRE DUCTO OESTE
180	50	100	0,65	3	1,95	HORNO 3	PANEL NEUMÁTICO ALIMENTACIÓN SOBRE HORNO
181	50	100	0,65	3	1,95	HORNO 3	PANEL NEUMÁTICO ALIMENTACIÓN SOBRE HORNO
182	70	100	0,65	5,2	3,38	HORNO 3	PISTÓN COMPUERTA NOROESTE SUPERIOR
183	40	100	0,65	1,7	1,105	HORNO 3	COMPUERTA SURESTE SUPERIOR
184	40	100	0,65	1,7	1,105	HORNO 3	CHIMENEA 8B
185	60	100	0,65	3,6	2,34	HORNO 3	PANEL NEUMÁTICO SUR
186	60	100	0,65	3,6	2,34	HORNO 3	PISTÓN SOBRE HORNO
187	55	100	0,65	3,3	2,145	HORNO 3	MECANISMO DE ENTRADA AL HORNO
188	40	100	0,65	1,7	1,105	HORNO 3	PANEL NEUMÁTICO CENTRAL CARROS H3

Evaluación sistema de aire comprimido

ANEXO 2

Diámetro cilindro, mm	Presión de trabajo en atmósferas														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	q = consumo de aire en litros por cm de carrera del cilindro														
6	0.0005	0.0008	0.0011	0.0014	0.0016	0.0019	0.0022	0.0025	0.0027	0.003	0.0033	0.0036	0.0038	0.0041	0.0044
12	0.002	0.003	0.004	0.006	0.007	0.008	0.009	0.01	0.011	0.012	0.013	0.014	0.015	0.016	0.018
16	0.004	0.006	0.008	0.01	0.011	0.014	0.016	0.018	0.020	0.022	0.024	0.026	0.028	0.029	0.032
25	0.01	0.014	0.019	0.024	0.029	0.033	0.038	0.043	0.048	0.052	0.057	0.062	0.067	0.070	0.076
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	0.131	0.140	0.149
40	0.025	0.037	0.049	0.061	0.073	0.085	0.097	0.11	0.122	0.135	0.146	0.157	0.171	0.183	0.195
50	0.039	0.058	0.077	0.096	0.115	0.134	0.153	0.172	0.191	0.210	0.229	0.248	0.267	0.286	0.305
70	0.076	0.113	0.15	0.187	0.225	0.262	0.299	0.335	0.374	0.411	0.443	0.485	0.523	0.560	0.597
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	1.067	1.143	1.219
140	0.303	0.452	0.601	0.75	0.899	1.048	1.197	1.346	1.495	1.644	1.793	1.942	2.091	2.240	2.389
200	0.618	0.923	1.227	1.531	1.835	2.139	2.443	2.747	3.052	3.356	3.660	3.964	4.268	4.572	4.876
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	6.668	7.144	7.619

ANEXO 3

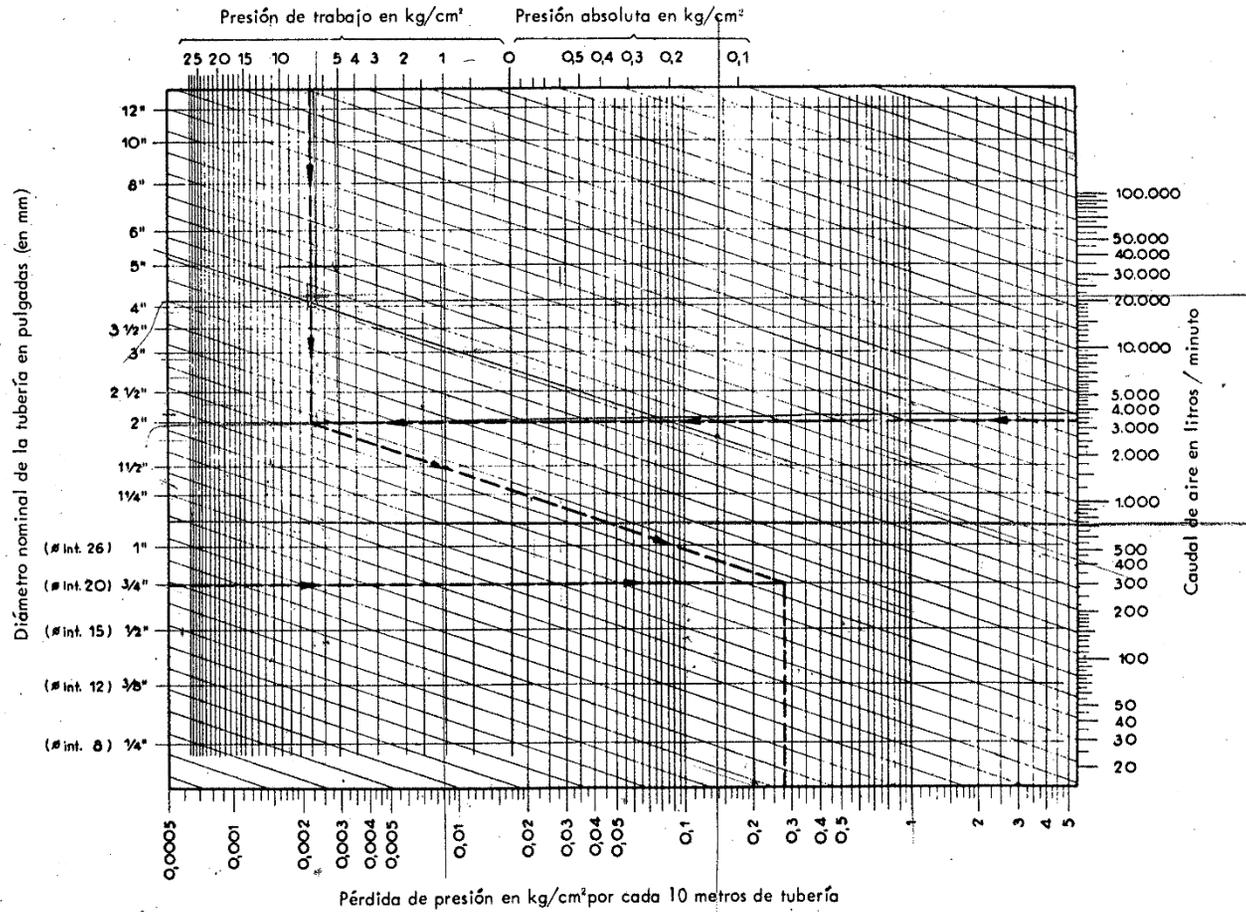


FIG. 13.1. Ábaco para el cálculo de tuberías de aire comprimido (Norgren).

ANEXO 4



Centroamérica



CONDICIONES GENERALES
OFERTA ECONOMICA

ITEM	CANT	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL \$
1	1	Compresor IR, Modeló SSR-UP6-40-125 40 HP-lubricado, Enfriado por aire, A 125 PSIG	\$17,850.00	\$17,850.00
2	1	Secador No Cíclico Modeló D300IN	\$3,800.00	\$3,800.00
3	1	Tanque Vertical 660 GLS/150 PSI, Pintura Externa Anticorrosiva Kit de Accesorios	\$6,250.00	\$6,250.00
4	1	Tanque Vertical 1060 GLS/150 PSI, Pintura Externa Anticorrosiva Kit de Accesorios	\$7,500.00	\$7,500.00
5	1	Filtro de Línea FA400IG Carácter General IG	\$535,00	\$535,00
6	1	Filtro de Línea FA400IH Alta Eficiencia IH	\$535,00	\$535,00
TOTAL DE LA OFERTA				\$36,470.00

PRECIO NO INCLUYE IMPUESTO DE VENTAS
PRECIO ESPECIAL

Evaluación sistema de aire comprimido

ANEXO 5

ENGINEERING MANUAL

SSR UP SERIES



CCN: 23753544
Rev.: F ECO: 82766
Ref.: 9905
Page: 104
Date: 01st May 2014
Cancels: 05th February 2014

Confidential Information

Points of Manufacture - Campbellsville Facility, Kentucky & SIRC, Shanghai, PRC.
SSR UP6-40-115, UP6-40-125, UP6-40-150, UP6-40-200
60 HERTZ ENGINEERING DATA

Model		40-115	40-125	40-150	40-200
GENERAL COMPRESSOR DATA					
Capacity (Ref. Intake Cond.) FAD (1)	cfm (m ³ /min)	183 (5.18)	177 (5.01)	163 (4.62)	138 (3.91)
Maximum Operating Pressure	psig (barg)	115 (8.0)	125 (8.5)	150 (10.3)	200 (13.8)
Minimum Operating Pressure	psig (barg)	65 (4.5)	65 (4.5)	65 (4.5)	65 (4.5)
Maximum Operating Temperature	°F (°C)	104 (40)	104 (40)	104 (40)	104 (40)
Minimum Operating Temperature	°F (°C)	36 (2)	36 (2)	36 (2)	36 (2)

SOUND LEVEL (2)

Base mounted Enclosed	dB(A)	69	69	69	69
-----------------------	-------	----	----	----	----

COOLING DATA

Air-cooled (Ambient Temperature 40°C/105°F)

Evaluación sistema de aire comprimido

ANEXO 6

T-MT	TMT	Servicio con consumos iguales o mayores a 240 000KWh/año, servidos en media tensión.	Tarifa opcional para clientes servidos en media tensión, con una vigencia mínima de un año, prorrogable por periodos anuales, debiendo comprometerse los clientes a consumir como mínimo 240 000KWh por año. Si dicho mínimo no se ha cumplido, por el abonado, en la facturación del doceavo mes se agregaran los KWh necesarios para completar dicho mínimo, a los que se les aplicará el precio de la energía en el periodo punta. Adicionalmente no se permite a los usuarios incluidos en esta tarifa, la utilización de plantas térmicas en el periodo punta.	Punta, 10 a 12:30 horas y 17:30 a 20 horas, ¢/KWh o ¢/KW	54.00	9,424.00
				Valle, 06 a 10 horas y 12:30 a 17:30 horas, ¢/KWh o ¢/KW	26.00	6,760.00
				Nocturno, 20 a 06 horas, ¢/KWh o ¢/KW	18.00	4,624.00

Figura 0-1. Precios vigentes de la electricidad según JASEC