

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS, INGENIERIA
INDUSTRIAL Y DE SISTEMAS**

TITULO

Propuesta de Rediseño de la red de aire comprimido para el área acabado de producto, de la Empresa Simplemente Madera S. A, en el periodo comprendido del 09 de Abril al 23 de Junio del año 2013.

Simplemente Madera Group

Tesis de graduación para optar al título de Ingeniero Industrial y de Sistema.

Br. Omar Javier Sandino Márquez



2013

ÍNDICE GENERAL

TEMA GENERAL:.....	4
DEDICATORIA.....	5
AGRADECIMIENTOS	5
RESUMEN	6
INTRODUCCIÓN	7
ANTECEDENTES.....	8
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
JUSTIFICACIÓN	10
OBJETIVOS	11
GENERALIDADES DE LA EMPRESA	12
ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA SIMPLEMENTE MADERA GROUP.	13
ORGANIGRAMA DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO.....	15
RAZÓN SOCIAL Y NOMBRE COMERCIAL.....	16
DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE PRODUCCION DE AIRE COMPRIMIDO.....	18
DIAGRAMA DE ISHIKAWA.....	20
MARCO REFENCIAL	23
HIPOTESIS	38
DISEÑO METODOLÓGICO.....	39
OPERACIONALIZACION DE LAS VARIABLES	43
UBICACIÓN DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO	45
Red de aire de la planta	46
SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO	49
LEVANTAMIENTO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO PROPUESTA	74
Análisis del consumo en cada proceso	75
ANALISIS Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS.....	80
CONCLUSIONES.....	87
RECOMENDACIONES:.....	89
BIBLIOGRAFÍA	90
ANEXO	91

Índice de Imágenes

Figura: 1 Estructura Organizacional de la empresa Simplemente Madera S.A	15
Figura: 2 Estructura Organizacional del departamento de Mantenimiento de la empresa Simplemente Madera S.A.....	17
Figura: 3 Flujograma de producción de aire comprimido	20
Figura: 4 Diagrama de causa y efecto de la eficiencia de la red de aire.....	22
Figura: 5 Diagrama de causa y efecto de funcionamiento de la sala de compresores	23
Figura: 6 Diagrama de Gantt	39
Figura: 7 Guía de verificación	46
Figura: 8 Plano del Sistema de aire comprimido actual.....	48
Figura: 9 Sistema de aire comprimido actual.....	50
Figura: 10 Nomograma para el cálculo de diámetro de tuberías.....	51
Figura: 11 Nomograma para el cálculo de pérdida de carga de tuberías.....	52
Figura: 12 Energía desperdiciada por fugas en el sistema de distribución.....	62
Figura: 13 Diagrama de Moody	71
Figura: 14 Diseño de la red de distribución propuesto	75
Figura: 15 Caudal comprimido en el día	78
Figura: 16 Fuga de aire en tuberías y accesorios.....	82

Índice de Tablas

Tabla: 1. Distribución del espacio físico de la empresa	36
Tabla: 2. Cronograma de actividades a realizar.	37
Tabla: 3. Operacionalización de variables	44
Tabla: 4. Calculo de longitud equivalente de los elementos de conexión.....	53
Tabla: 5. Calculo de caudal por ramal	55
Tabla: 6. Calculo de caída de presión en todos los ramales de tubería.	56
Tabla: 7. Capacidad de los compresores en CFM.	60
Tabla: 8. Costo de energía desperdiciada por fugas en el sistema.	61
Tabla: 9. Perdida de carga en cada zona de una instalación fija de aire.	65
Tabla: 10. Rugosidades absolutas de los materiales.	69
Tabla: 11. Volumen de depósitos de aire comprimido.....	73
Tabla: 12. Consumo en CFM de aire comprimido en la planta.	76
Tabla: 13. Presupuesto de materiales a utilizar en el nuevo diseño.	80
Tabla: 14. Capacidad del nuevo compresor a instalar.....	83

TEMA GENERAL:

Propuesta de Rediseño de la red de aire comprimido para el área acabado de producto, de la Empresa Simplemente Madera S.A, en el periodo comprendido del 09 de Abril al 23 de Junio del año 2013.

DEDICATORIA

En primer lugar agradezco a Dios, por llenarme siempre de bendiciones y permitirme alcanzar esta nueva meta en mi vida.

Para alcanzar nuestros sueños y metas no solo necesitamos la voluntad, las ganas, el empeño, la dedicación... también necesitamos el amor, el apoyo y el estímulo de nuestros seres más amados a quienes dedico este logro.

A mis padres, a quienes les debo la vida. No me alcanzará la vida para retribuirles todo el amor y el apoyo que he recibido de ustedes.

AGRADECIMIENTOS

Especialmente a mi Madre Vilma del Carmen Márquez, por ser un ser, maravilloso y especial, que ha estado siempre conmigo, aun en los tropiezos de mi vida y ha sabido escucharme y apoyarme, dándome consejos y palabras de aliento cuando más lo he necesitado.

A mi hijo Esteban Fabián Sandino A. por ser mi mayor Felicidad y motivación en la vida.

A todos los profesores del departamento de Ingeniería Industrial, de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, por tener la importante labor de enseñarnos y orientarnos. De no ser por todo lo que aprendí de ustedes, este logro no habría sido posible.

A la empresa SIMPLEMENTE MADERA S.A, por permitirme desempeñar mis pasantías en sus instalaciones y por toda su colaboración.

A todas aquellas personas que Dios puso en mi camino para darme su amor y amistad y que también forman parte de mi vida.

¡GRACIAS....!

RESUMEN

El presente estudio de seminario de graduación, realizado en la Empresa **Simplemente Madera S.A.**, ubicada en el km 13 ½ carretera nueva a León, de la gasolinera UNO Xiloa, 300 m hacia el este, parque industrial INIAXA, en el municipio de Ciudad Sandino. Perteneciente al sector madera, elaborando muebles varios y diseños de interiores de viviendas y edificios, con madera de calidad para luego ser vendidos a mercados nacional así como internacional (Europa y Norte América).

Para ello se presenta la evaluación del sistema de aire comprimido en el área de acabado de la Planta Millworks.

En el estudio efectuado, se aplicó metodología de la investigación, la cual a través de sus técnicas permitió calcular el rediseño de la instalación, la demanda de flujo de aire existente, cálculo de la tubería y todos sus accesorios. Lo que nos permitió conocer la capacidad operativa del sistema de aire comprimido, además metodologías propias de la carrera de ingeniería industrial como lo son: diseño de sistemas productivos, mantenimiento industrial, metalurgia y tecnología mecánica.

Este estudio permitió determinar que el sistema de distribución en la empresa, presenta deficiencias debido al alto grado de humedad y caídas de presión de trabajo, a consecuencia de un mal diseño de su red de distribución, el sistema de generación actual, tiene capacidad para satisfacer la demanda de aire, por lo que no será necesario invertir en un nuevo compresor.

Como resultado de este rediseño se logrará el mejoramiento de la red de aire comprimido, instalando nuevos puntos de trabajo en la planta, además eliminando deficiencias tales como exceso de condensado y fugas que dan por consiguiente caídas de presión, fallas mecánicas y aumento en el consumo energético en las maquinarias y equipos, para ello se elaboró un presupuesto de la inversión.

Se determinó que para implementar este rediseño, Simplemente Madera S.A. debe invertir **C\$ 61,312.50**, los cuales serán desembolsados del capital de la empresa.

INTRODUCCIÓN

Simplemente Madera S.A. Es una empresa de origen Francés que se dedica a la industrialización de la madera mediante la fabricación de productos y subproductos de alto valor agregado tales como muebles de primera calidad, estructuras prefabricadas, productos moldados, entre otros. Su objetivo principal es producir y comercializar muebles de forma productiva, rentable y sustentable, a través de la optimización de su proceso productivo.

La empresa requiere de un recurso importante para la optimización de sus procesos de manufactura, como lo es el aire comprimido, considerando las necesidades de la planta Millworks, de llevar a cabo el mejoramiento de la red de aire comprimido, se propone un nuevo diseño de la red de tubería de distribución y de servicio. La razón principal es instalar una red de tipo anillo cerrado en el área de acabado, para abastecer de aire comprimido veinticuatro nuevos puntos de trabajo en la planta, a una presión y caudal necesario para llevar a cabo todos los procesos de producción que demandan aire comprimido y lograr disminuir paros no programados por algún desperfecto en el equipo que utiliza aire.

Para finalizar con un buen sistema de distribución del aire comprimido, se necesita proyectar el caudal de aire a necesitar y prever futuras ampliaciones, por lo que se hace necesario realizar un estudio ordenado y planificado que involucre un ahorro de energía eléctrica por fugas en tuberías y accesorios que reflejen una mejora de la maquinaria y equipo, ya que se evitarán las caídas de presión que conlleva a una mejora en la productividad.

Esto trae como consecuencia disminución en los costos de producción de la empresa, ahorro de costos de energía, disminuir la cantidad de fallas en los equipos producto de presión baja, humedad excesiva en el aire, fugas en la tubería y accesorios.

Por tanto, esta memoria pretende entregar una solución a la problemática de la empresa la que se orientará a elaborar un diseño de Red de Aire Comprimido que mejore las condiciones de operaciones actuales.

ANTECEDENTES

Una de las formas de alcanzar las condiciones óptimas de producción, es a través del establecimiento e implantación de un rediseño de la red de aire comprimido en la planta Millworks, que garanticen la disponibilidad, confiabilidad y eficiencia en su más alto nivel operacional y productivo de las herramientas neumáticas de la empresa.

De acuerdo a la revisión documental efectuada en la empresa, se determino que solo una investigación se realizo acerca la temática en estudio, está a su vez fue realizada por la contratación de los servicios técnicos de:

La empresa Óptima industrial y Kaeser Compresores.

Esta diseño un programa de análisis de demanda de aire comprimido, para la red de suministro y la sala de Compresores de la Empresa.

En el período comprendido del 17 de agosto al 30 de Noviembre del año 2012.

Esta empresa propuso pautas para el mejoramiento y la conservación más adecuada del sistema de producción y distribución de aire comprimido, basadas en la demanda de aire comprimido de cada equipo, las caídas de presión, así como la lista de fugas en los tramos de tuberías más críticos de dichos sistema.

Esta información fue necesaria para poder aplicar las correcciones necesarias así como, el mantenimiento que necesita el sistema para funcionar durante más tiempo sin que se presenten fallas graves o deterioros prematuros.

Además servirá como parámetro para mediciones y cálculos de estudios posteriores relacionados con el tema.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para apoyar el proceso productivo y operar eficientemente, la planta requiere de un recurso como es el aire comprimido, por ello tiene instalada y en funcionamiento una red que a su vez es parte del sistema de aire comprimido en la empresa, esta red, está integrada a la sala de compresores la cual es la encargada de comprimir y almacenar el aire, y a través de redes, distribuyen el aire por tuberías principales, secundarias y de servicio a las unidades usuarias dentro de la planta, siendo estas las áreas productivas de la empresa.

La empresa ha venido incrementando su demanda de producción, por tal razón se ha visto en la necesidad de implementar nuevos putos de trabajo, para ello tiene que rediseñar el sistema de distribución de aire en la empresa, con el objetivo de suministrar el recurso con calidad, oportunidad y cantidad en cada punto de trabajo.

Debido a esta situación, en Abril del año 2013, se llevo a cabo una completa evaluación del actual diseño de la red de aire comprimido, con el fin conocer el estado y la capacidad del sistema, para determinar la demanda de flujo de aire, la humedad requerida, la presión de trabajo, y la caída de presión en la tubería y todos sus accesorios.

Posteriormente se realizo una propuesta de rediseño para adecuar el sistema de aire comprimido a la empresa, en la cual se busca implementar el servicio del suministro en el área de acabado, y colocar una nueva red central de tipo anillo cerrado, que abastezca todos los requerimientos de aire en la línea de trabajo, pese que a la fecha se han presentado ineficiencia en el cumplimiento de la producción, producto de utilizar métodos no adecuados que agravan capacidad de producción creando así cuellos de botellas en el área de lijado y pintura, elevándose los costos de producción, colocando en riesgo el cumplimiento de producción y tiempo de entrega de las unidades producidas en planta.

JUSTIFICACIÓN

El aire comprimido es un elemento muy habitual en todo tipo de instalación industrial. Normalmente se emplea para obtener trabajo mecánico lineal o rotativo, asociado al desplazamiento de un pistón o de un motor neumático. En otras ocasiones, se emplea para atomizar o aplicar espray de barnices o pinturas, que de otra forma tomaría más tiempo su aplicación.

La línea de acabado carece de una instalación de red de aire comprimido, lo cual ocasiona con frecuencia acumulación de procesos operativos, así como cuellos de botellas y paros innecesarios a las líneas subsiguientes de producción, esto ocasiona pérdidas económicas a la empresa en baja productividad, aumento de horas extras y sobre contrataciones de mano de obra, por esta razón se propondrá, un rediseño del sistema de aire comprimido que permita la mejora continua en dicho proceso industrial, detallando sus elementos básicos a utilizar y dimensionándolos en función de los consumos y características requeridas.

En la empresa, el sistema de aire comprimido es un recurso indispensable para la realización de su proceso productivo, actualmente, dicho sistema productivo presenta deficiencias, por lo cual, resulta conveniente efectuar un análisis y rediseño de la capacidad operativa del mismo, a fin de conocer el estado actual y disponibilidad de los equipos y así realizar, un estudio técnico, que conlleve a su adecuación y solución de la problemática.

Por tanto, este estudio resulta de gran ayuda para la empresa, pues le proporcionará una visión del estado del sistema de aire comprimido, lo cual se tomará como parámetro para implementar el rediseño y de esta manera se garantizara la continuidad del servicio en cantidad, calidad y oportunidad en línea de acabado.

OBJETIVOS

Objetivo General:

- ✓ Proponer la ampliación de la red de aire comprimido para el área de acabado de la Empresa Simplemente Madera S.A.

Objetivos Específicos:

1. Evaluar las condiciones actuales de funcionamiento del sistema de aire comprimido.
2. Identificar la capacidad requerida del compresor y la red de suministro.
3. Analizar la capacidad instalada de producción para el anexo de la red de distribución de aire comprimido.
4. Elaborar el rediseño de la red de distribución de aire comprimido en el área de acabado.

GENERALIDADES DE LA EMPRESA

DESCRIPCION DE LA EMPRESA

Simplemente madera group es un consorcio constituido desde marzo 2007, la planta de producción se encuentra ubicada carretera nueva a León, del empalme Xiloa 300 m el este. Su principal actividad es la transformación de la materia prima, la cual es madera en aserrados, en muebles y paneles para su posterior comercialización de acuerdo a las especificaciones de los clientes quienes principalmente son el mercado europeo y Norte Americano, entre estos tenemos hoteles, domicilios, oficinas y algunos clientes en particular, este proceso de producir muebles se realiza en plantas de procesos de manufactura. Dentro del proceso de producción de la planta industrial, existen ciertas instalaciones que desempeñan un papel fundamental en el funcionamiento de la misma, los cuales son: la Planta de Aserrío, Planta de Millworks, Planta de Agroforestal e instalaciones auxiliares como hornos y almacenes.

**ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA
SIMPLEMENTE MADERA GROUP.**

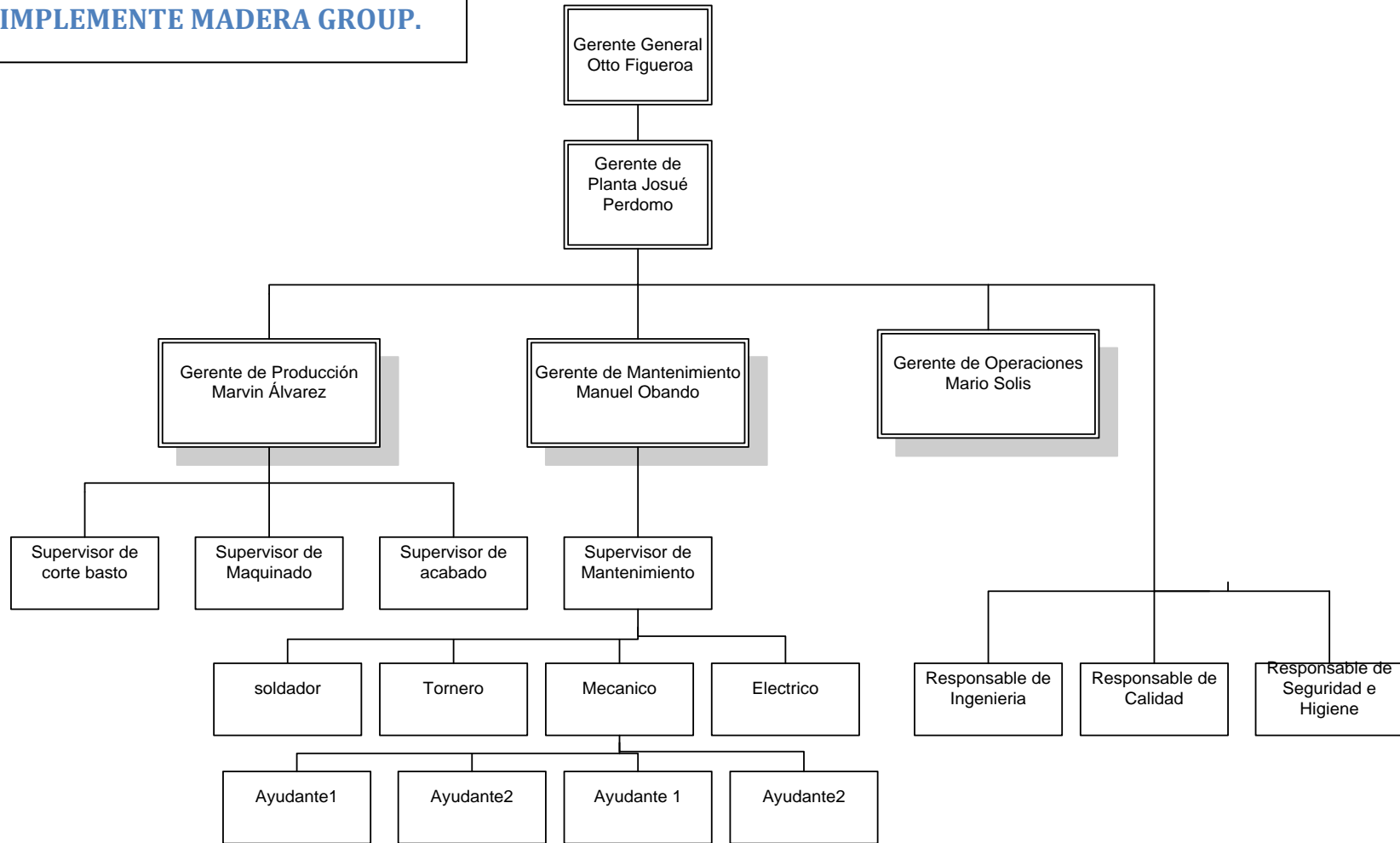


Figura: No.1 Estructura Organizacional de la empresa Simplemente Madera S.A.

ESTRUCTURA ORGANIZATIVA GENERAL

La organizativa de la Empresa Simplemente Madera S.A, es de tipo vertical, lineal y de asesoría, donde las líneas de autoridad y responsabilidad se encuentran bien definidas, fue reestructurada y aprobada por la Corporación Nicaragüense de zonas francas el 28 de Febrero del año 2002, debido a la disolución de la Industria INIAXA, sociedad que se disolvió por motivos económicos, se creó la empresa simplemente madera S.A, y está constituida por gerencias administrativas y operativas. (Ver Figura No.1).

DESCRIPCIÓN DEL DEPARTAMENTO DONDE SE REALIZÓ EL TRABAJO DE GRADO

La investigación fue realizada bajo la dirección del departamento de Mantenimiento, su estructura jerárquica es de tipo vertical, donde las órdenes de mando se toman de manera descendentes por los superiores, (Ver Figura No. 2) el proyecto asignado tendrá lugar en la planta Millworks S.A, en las tuberías principales existentes de aire comprimido y la Sala de compresores, que es donde se encuentran los equipos que generan el aire comprimido, y que son atendido por el Departamento de Mantenimiento Industrial de la empresa Simplemente Madera S.A.

ORGANIGRAMA DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO.

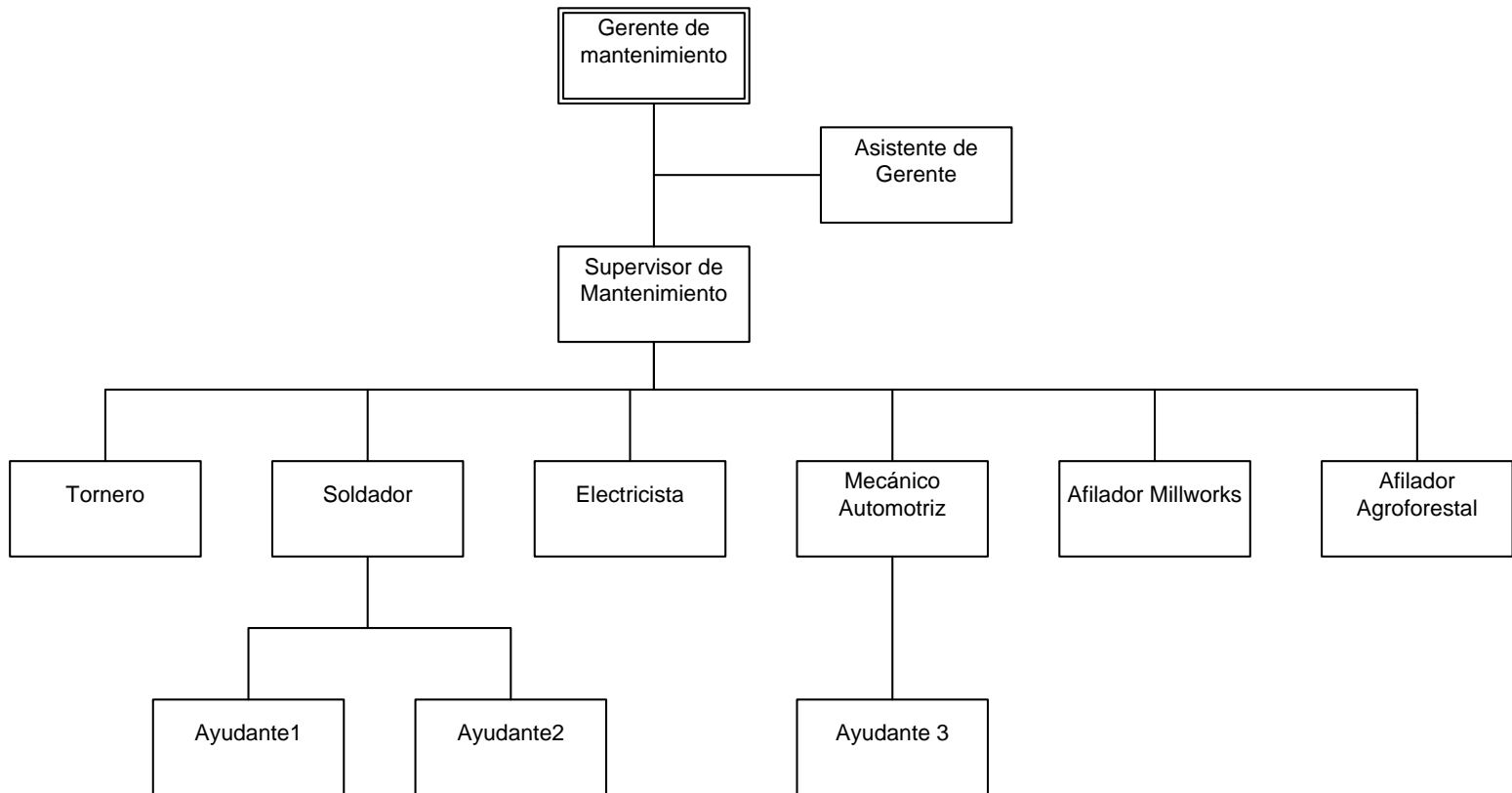


Figura: No.2 Organigrama del departamento de Mantenimiento de la empresa Simplemente Madera S.A.

RAZÓN SOCIAL Y NOMBRE COMERCIAL

La Industria Nicaragüense Simplemente Madera Group, está adscrita a la ley y régimen de Corporación de zonas Francas y al Ministerio Fomento, Industria y Comercio, el cual es el ente regulador en nuestro país, dicha empresa es de capital mixto y por su condición jurídica es una Compañía de sociedad Anónima.

Misión

Integrar una cadena de valor justa, sostenible y eficiente.

Visión

Ser el líder en Centro América en la comercialización de maderas preciosas Nicaragüenses y en la innovación, diseño y producción de muebles de alta calidad.

Valores

- Orientación a las personas.
- Pasión por la excelencia.
- Puntualidad y compromiso.
- Ética individual/ transparencia.
- Creatividad e innovación.

Políticas de calidad

Mejorar continuamente nuestra capacidad para conocer y satisfacer las necesidades y expectativas de los clientes, en base a los siguientes pilares:

- Cumplimiento de los requerimientos del cliente.
- Desarrollo de talento humano.
- Mejora continua.

INSTALACIONES

A continuación se realizará una breve reseña de las instalaciones que componen a la empresa *SIMPLEMENTE MADERA S.A.*

PLANTA MILLWORKS.

Esta planta tiene como misión garantizar la producción de Muebles la cual después pasa a ser el producto final de los proceso de la empresa, en condiciones de calidad, cantidad y oportunidad requerida en el proceso de producción por los clientes. La Planta cuenta con 4 áreas, las cuales son:

CORTE BASTO

Su objetivo principal es cortar las piezas manufacturadas, usando tecnología de maquinarias mecánicas, neumáticas e hidráulicas (existen 14 maquinas para la realización de los procesos).

MAQUINADO

En esta área las piezas provenientes de corte basto, son sometidas a un proceso de transformación especial por medio de tornos, taladros y sierras, dependiendo del modelo, con el objeto de moldear las partes de acuerdo a las especificaciones requeridas por los clientes.

ACABADO

En esta área disminuyen la rugosidad de las piezas, también se ensamblan las piezas manufacturadas, y se aplica barniz o pintura para ser debidamente almacenado, luego es trasladado a las bodegas donde se procede a desensamblar y empacar las piezas manufacturadas para empacar en cajas y posteriormente exportarlas.

ALMACEN

En esta se reciben todos los productos terminados para ser debidamente almacenados, luego se procede a desensamblar y empacar las piezas manufacturadas para empacar en cajas y almacenar para posteriormente exportarlas.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE PRODUCCION DE AIRE COMPRIMIDO

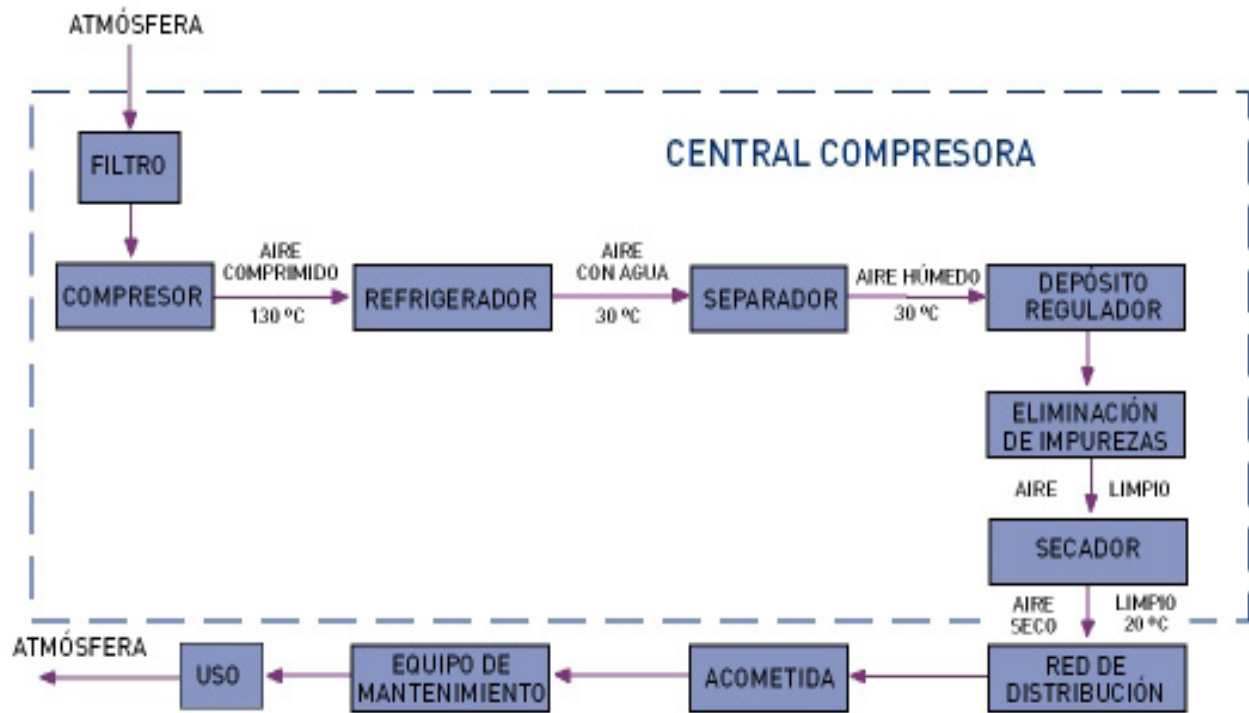


Figura: No. 3 flujograma de producción de aire comprimido.

Central compresora

En la central compresora se realiza el tratamiento del aire para obtenerlo a una determinada presión y con unos niveles determinados de limpieza y de ausencia de humedad.

Está constituida por los siguientes componentes:

1. **Compresor:** incrementa la presión del aire. Ver fig. en anexo
2. **Refrigerador-separador:** elimina el agua presente en el aire comprimido a la salida del compresor.
3. **Depósito de regulación:** almacena el aire comprimido para atender demandas puntas que excedan la capacidad del compresor. Ver fig. en anexo
4. **Filtro:** se eliminan las impurezas del aire, como el polvo y el aceite, mediante un filtrado adecuado. Ver fig. en anexo
5. **Secador:** seca el aire comprimido hasta un punto de rocío inferior a la temperatura ambiente antes de ser distribuido a la red. Ver fig. en anexo
6. **Red de distribución:** Después de haber producido y tratado convenientemente el aire comprimido, hay que distribuirlo de tal manera que llegue a todos y cada uno de los puntos de consumo. Para ello se deberán trazar a partir de la central compresora una serie de **tuberías** y de **acometidas** que constituyen la red de distribución.

DIAGRAMA DE ISHIKAWA

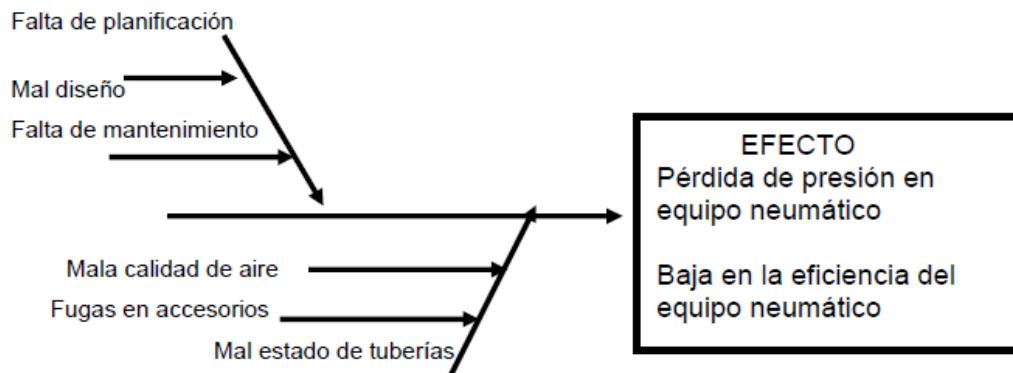


Figura: No.4 Diagrama de causa y efecto de eficiencia de la actual red de aire.

Usualmente sucede que siempre tratamos el efecto y no la causa, por lo que en este caso en particular vamos a mencionar cuales son las causas de la situación actual de la red de aire comprimido en la planta.

Podemos mencionar las causas que están afectando, una mala distribución de la red de aire comprimido, malas dimensiones de los diámetros de la tubería, sin haber tomado en cuenta cual es el caudal que se está produciendo y si estas son capaces de poderlo transportar a través de las misma tuberías, no existen inclinaciones de tubería para la acumulación de condensado en los puntos más bajos de la red, accesorios innecesarios, no existe un plan de mantenimiento preventivo para ver cuáles son las fallas tanto en la distribución de tuberías como en los compresores, mucha tubería ya es obsoleta ya que tiene varios años de haberse instalado, ya sobre pasó su vida útil.

La causa es todo lo anteriormente mencionado da como resultado un efecto, por lo tanto el efecto se manifiesta en caídas de presión con lo que se pueden aumentar los costos de generación de aire comprimido y por consiguiente puede llegar a disminuir la eficiencia de la maquinaria neumática ya que todo esto se debe a la improvisación en la instalación de algunas líneas de servicio, en la figura No. 4 se muestra un diagrama causa efecto para determinar el origen del problema y los factores que intervienen.

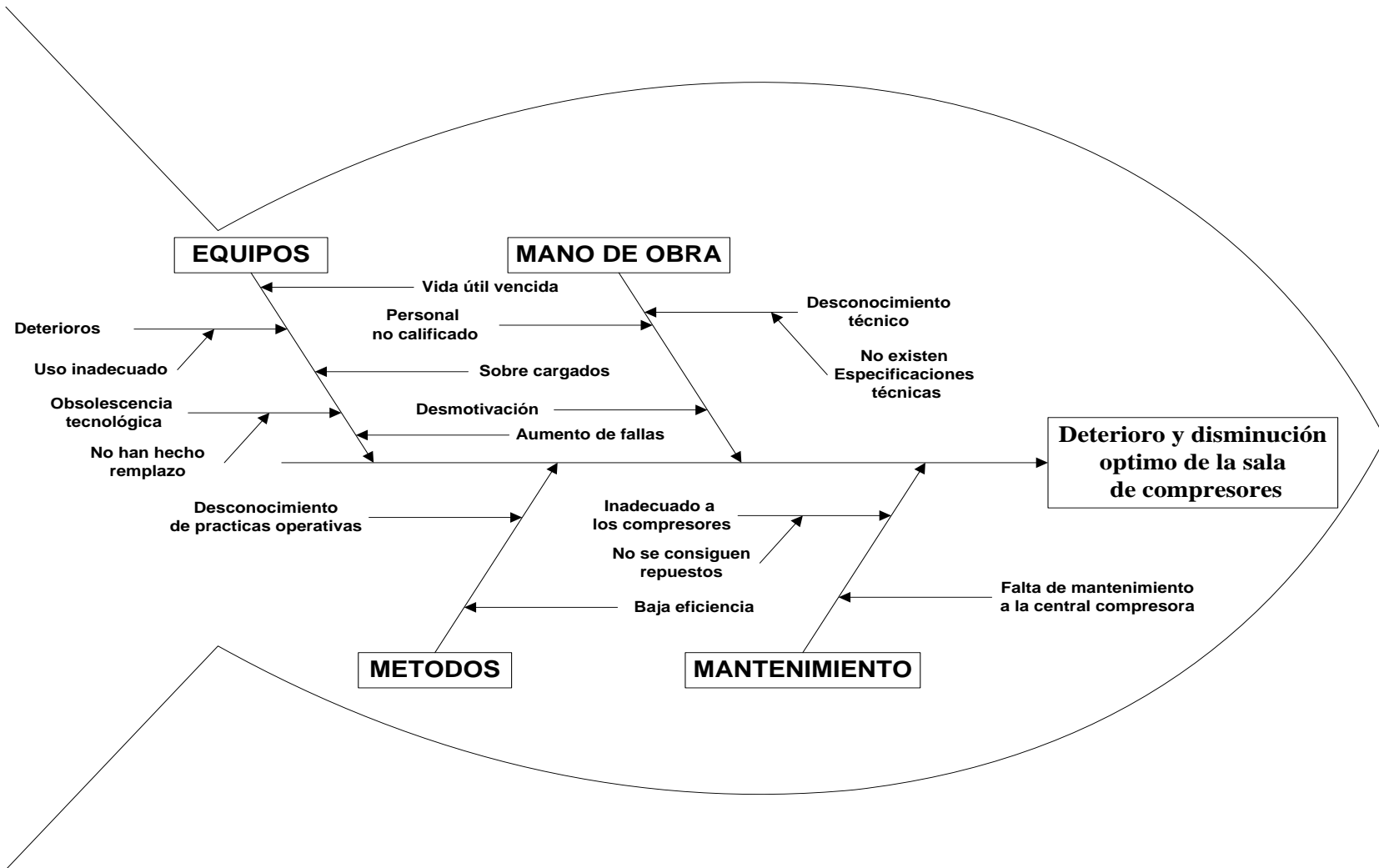


Figura: No. 5 Diagrama de causa y efecto disminución optimo del funcionamiento de la sala de compresores.

A fin de realizar el análisis de las fallas de la central compresora de aire, se permitió observar el comportamiento de los equipos y conocer la incidencia de cada uno de los tipos de fallas mostrados en el diagrama anterior, se tomaron 2 meses de muestra, comprendidos de Abril 2013 hasta junio 2013.

Esta sala fue instalada en Julio de 2007, producto de las mejoras operativas de las líneas de producción existentes en esa planta, con 2 compresores, 2 secadores y 2 tanques de depósito, posteriormente fue instalado otro compresor para compensar el aumento de requerimiento de aire.

Estas salas se han deteriorado con el tiempo, siendo la causa potencial del deterioro la ubicación de las salas en medio de dos líneas de producción, que ha llevado al desgaste y corrosión acelerado de los equipos, adicionado a otras causas asociadas al mantenimiento y la mano de obra, por tal motivo, se muestra a continuación un diagrama causa-efecto ver figura No.5

Otro de los efectos que podemos ampliar son las caídas de presión que como ya mencionamos se debe a una inexistente planificación adecuada en la instalación de redes de tubería y compresores ya que las instalaciones se han hecho sin un estudio de la red por lo que hay algunas tomas que se han puesto en lugares no adecuados y accesorios que provocan pérdidas.

Se puede mencionar que el resultado de no contar con purgas necesarias y secado del aire dan como resultado las condensaciones de vapores de agua y aceite que son causa de una serie de inconvenientes tales como:

- Corrosión de las tuberías metálicas
- Entorpecimientos en los accionamientos neumáticos
- Errores de medición en equipos de control
- Obstrucción de boquillas en chorros de aire
- Degradación del poder lubricante de los aceites de engrase
- Oxidación de los órganos internos en los equipos receptores
- Y en general bajo rendimiento de toda la instalación.

MARCO REFENCIAL

MARCO TEORICO

En este capítulo se hace una referencia general del tema en una descripción concisa que permite entenderlo más fácilmente por medio de conceptos y terminologías propiamente relacionadas con el tema de estudio, por esta razón se enfoca al análisis de teorías, investigaciones y antecedentes en general que se consideren validos para el adecuado encuadre y fundamentación del trabajo de investigación:

APLICACIÓN DE LA NEUMÁTICA

La tecnología de la neumática ha ganado una gran importancia en el campo de la racionalización y automatización del lugar de trabajo, desde las antiguas obras de madera y las minas de carbón, hasta los modernos talleres de máquinas y robots espaciales. Ciertas características del aire comprimido han hecho este medio bastante adecuado para usarlo en las modernas plantas de fabricación y producción.

Durante la guerra muchas industrias en todos los países occidentales desarrollados empezaron a cambiar para emplear cada vez más equipos y máquinas automáticas.

Muchos de estos eran accionados y retro ajustados con dispositivos y accesorios accionados neumáticamente, con fines de fabricación y otras actividades, para satisfacer la repentina necesidad de una mayor producción de artículos bélicos con la tremenda escasez de mano de obra técnica calificada.

Esta fue la época en que se inicio el concepto actual de automatización, incitando al hombre a usar aire comprimido en las plantas de producción, en la actualidad las herramientas y accesorios accionados por aire comprimido son una imagen común en cada una de las industrias y en todas ellas no solo en países tecnológicamente avanzados, sino incluso en aquellos en donde las actividades industriales se encuentran todavía en su etapa inicial. Con la introducción de la neumática en el proceso de fabricación, la industria se beneficia con un medio más barato de automatización.

Atlas Copco. “**Manual sobre aire comprimido y su aplicación en la industria**”. (1991).

PRINCIPIOS FÍSICOS

EL AIRE

El aire es invisible, incoloro, inodoro y sin sabor. Los principales constituyentes del aire, en volumen, son 78% de nitrógeno, 21% de oxígeno y 1% bióxido de carbono y otros gases, incluyendo cierta cantidad de vapor de agua.

Aunque se encuentra que todos estos componentes del aire conservan sus propiedades particulares, para todos los fines prácticos, ese aire, que es una mezcla de varios elementos químicos, cumple con las leyes de los gases, precisamente como cualquiera otro gas perfecto o ideal.

Atlas Copco. “**Manual sobre aire comprimido y su aplicación en la industria**”. (1991).

PRESIÓN ATMOSFÉRICA

El aire que rodea la tierra ejerce una presión sobre la superficie de la misma, la presión en los gases se debe a la acción y reacción de los átomos intermoleculares de ellos. Se ha observado que la actividad intermolecular empieza a disminuir hasta que se suspende por completo a la temperatura del cero absoluto, la medida de la presión atmosférica al nivel del mar es de 760 mm de mercurio (Hg). De manera común se usan diversas unidades para denotar la presión, como kg/cm², atm, psi [es decir *pounds per square inch* (libras por pulgada cuadrada), aún cuando esta unidad no se debe de usar, ya que la Nicaragua ha pasado al sistema métrico de medidas].

La presión atmosférica se mide por medio de un barómetro de tubo en U, en tanto que para medir la presión en una máquina-herramienta o un recipiente de aire, se usa un manómetro de tubo Bourdon, en épocas más recientes, han surgido las herramientas y manómetros digitales para medir la presión, en realidad la presión indicada en el manómetro es una sobre la presión atmosférica, la cual también se denomina presión barométrica y se suma a la presión manométrica para obtener la presión absoluta. Para la mayor parte de los cálculos de ingeniería relacionados con la presión, tiene que usarse el valor absoluto de la presión y, por consiguiente, es esencial que se comprenda la diferencia entre presión absoluta y presión manométrica.

Puede calcularse la presión atmosférica a partir del principio fundamental del barómetro, el cual sigue la ley de que su lectura corresponde a la presión debida a la altura del mercurio (Hg) en el tubo y su peso.

Presión atmosférica = ρgh

En donde ρ = densidad del Hg, 13.06 g/cm³

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$

h = altura de la columna de mercurio = 76 cm del nivel del mar.

Mediante el cálculo, de acuerdo con la formula anterior, la presión atmosférica es igual a 1.013 bar, pero para facilitar los cálculos, suele tomarse como igual a 1.0 bar.

Rodríguez J., **“Introducción a la termodinámica con algunas aplicaciones de ingeniería”**, Impreso en Mexico (1998).

LEY DE LOS GASES

Como se puede expresar que cuando el aire es una mezcla de varios gases, se comporta como un gas perfecto o ideal, con una desviación muy insignificante respecto de este, como consecuencia, las dos leyes de los gases conocidas como ley de Boyle y ley de Charles se aplican por igual al aire.

Rodríguez J., **“Introducción a la termodinámica con algunas aplicaciones de ingeniería”**, Impreso en Mexico (1998).

LEY DE BOYLE

La ley de Boyle afirma que, si la temperatura permanece constante, la presión de una masa confinada de gas variará inversamente con su volumen, por consiguiente si P es la presión absoluta de un gas y V es su volumen entonces, según la ley Boyle.

Ley de Boyle: $P_1 =$ Presion inicial

$P_2 =$ presión final; $V_1 =$ volumen inicial

$V_2 =$ volumen final; $P_1V_1 = P_2V_2$

$P_1 \propto 1/V$

O sea $PV =$ constante

Por lo tanto puede escribirse que

$P_1V_1 = P_2V_2 = P_3V_3 \dots P_nV_n$

Rodríguez J., **“Introducción a la termodinámica con algunas aplicaciones de ingeniería”**, Impreso en Mexico (1998).

LEY DE CHARLES

La ley de Charles afirma que si permanece la presión constante, el volumen de una masa dada de gas variará directamente según su temperatura absoluta.

Si T_1 y T_2 son las temperaturas absolutas inicial y final, respectivamente, y V_1 y V_2 son los volúmenes iniciales y final de una masa dada de gas.

Rodríguez J., **“Introducción a la termodinámica con algunas aplicaciones de ingeniería”**, Impreso en Mexico (1998).

LEY COMBINADA DE LOS GASES

Para la misma masa de gas que sigue las leyes de un gas ideal, las dos leyes antes enunciadas se pueden expresar en una forma combinada, como sigue:

$$PV/T = mR$$

en donde P = presión absoluta (kg/cm^2) (abs) u otras unidades

V = volumen (m^3)

T = temperatura absoluta (K)

m = masa del gas (kg)

R = constante de los gases

La constante de los gases (R) es la cantidad de trabajo requerida para elevar la temperatura de una masa de 1 kg del gas en un grado kelvin.

Rodríguez J., **“Introducción a la termodinámica con algunas aplicaciones de ingeniería”**, Impreso en Mexico (1998).

UNIDADES DE PRESIÓN

Aunque el Kg/cm^2 todavía se usa como unidad de presión, en realidad no es del todo correcto, al ser el kilogramo la unidad de masa, no debería usarse como unidad de fuerza (en tal caso, a menudo se escribe Kgf , para indicar que se trata del kilogramo fuerza). De acuerdo con el sistema internacional SI de unidades, la unidad de fuerza es en newton (N) y la de área es el metro cuadrado (m^2), por lo tanto, la unidad de presión, según la definición de ésta, debe ser $1 \text{ N}/\text{m}^2$.

1 N/m² se llama 1 pascal (Pa) en el sistema internacional SI, según las normas ISO 100000 Pa = 1 bar, o sea 10^5 Pa = 1 bar en donde el bar se ha aceptado como una unidad adicional de presión, para el uso industrial en el sistema internacional SI.

Rodríguez J., **“Introducción a la termodinámica con algunas aplicaciones de ingeniería”**, Impreso en Mexico (1998).

TRANSMISIÓN DE POTENCIA

El aire comprimido se usa para accionar una gran variedad de herramienta y maquinaria como lo son los taladros y los martillos neumáticos, lijadoras y atomizadores para preparar superficies, y en general para accionar todos aquellos equipos que funcionan con motores neumáticos.

Rodríguez J., **“Introducción a la termodinámica con algunas aplicaciones de ingeniería”**, Impreso en Mexico (1998).

TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN DE GASES

La manera más económica de transportar y distribuir gases por tuberías es comprimiéndolos previamente antes de introducirlos en las mismas.

Clemente Reza García. (CRANE), **“Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías”**, Editorial McGRAW-HILL. Impreso en México. (2006).

TUBERÍA PRINCIPAL

Es la línea que sale del conjunto de compresores y conduce todo el aire que consume la planta. Debe tener la mayor sección posible para evitar pérdidas de presión y prever futuras ampliaciones de la red con su consecuente aumento de caudal. La velocidad máxima del aire en la tubería principal es de 8 m/s.

Clemente Reza García. (CRANE), **“Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías”**, Editorial McGRAW-HILL. Impreso en México. (2006).

TUBERÍAS SECUNDARIAS

Se derivan de la tubería principal para conectarse con las tuberías de servicio. El caudal que por allí circula es el asociado a los elementos alimentados exclusivamente por esta tubería. También en su diseño se debe prever posibles ampliaciones en el futuro.

Clemente Reza García. (CRANE), “Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías”, Editorial McGRAW-HILL. Impreso en México. (2006).

TUBERÍAS DE SERVICIO

Son las que surten en sí los equipos neumáticos. En sus extremos tienen conectores rápidos y sobre ellas se ubican las unidades de mantenimiento. Debe procurarse no sobre pasar de tres el número de equipos alimentados por una tubería de servicio.

Clemente Reza García. (CRANE), “Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías”, Editorial McGRAW-HILL. Impreso en México. (2006).

TUBERÍAS DE INTERCONEXION

Es la que lleva el aire de la salida del bajante hasta las máquinas de procesos o equipos neumáticos.

Clemente Reza García. (CRANE), “Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías”, Editorial McGRAW-HILL. Impreso en México. (2006).

VELOCIDAD DE CIRCULACIÓN

Esta velocidad debe controlarse puesto que su aumento produce mayores pérdidas de presión. De manera que existe un límite de velocidad dependiendo de la tubería que sea.

Las velocidades máximas recomendadas en las tuberías son las siguientes:

Tubería principal = 8 m/s.

Tubería secundaria = 10 m/s.

Tubería de servicio = 15 m/s.

Tubería de interconexión = 20 m/s.

Clemente Reza García. (CRANE), “Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías”, Editorial McGRAW-HILL. Impreso en México. (2006).

RED CERRADA

En esta configuración la línea principal constituye un anillo. La inversión inicial de este tipo de red es mayor que si fuera abierta. Sin embargo con ella se facilitan las labores de mantenimiento de manera importante puesto que ciertas partes de ella pueden ser aisladas sin afectar la producción. Otra ventaja que presenta este tipo de redes son las menores caídas de presión. Una desventaja importante de este sistema es la falta de dirección constante flujo. La dirección del flujo en algún punto de la red dependerá de las demandas puntuales y por tanto el flujo de aire cambiará de dirección dependiendo del consumo. El problema de estos cambios radica en que la mayoría de accesorios de una red son diseñados con una entrada y una salida. Por tanto un cambio en el sentido de flujo los inutilizaría. Cabe anotar que otro defecto de la red cerrada es la dificultad de eliminar los condensados debido a la ausencia de inclinaciones. Esto hace necesario implementar un sistema de secado más estricto en el sistema.

Clemente Reza García. (CRANE), "Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías", Editorial McGRAW-HILL. Impreso en México. (2006).

USOS DEL AIRE COMPRIMIDO

En la mayoría de las instalaciones el "Aire Comprimido" se considera como una Fuente de Energía comparable a la electricidad, el gas y el agua. En general es utilizado Para el magneto de equipos de planta y Para instrumentación. En ambos casos la presión de la red es entre 6 y 7 bar.

Atlas Copco. "Manual sobre aire comprimido y su aplicación en la industria". (1991).

EQUIPOS DE PLANTA

El uso del aire comprimido en equipos de planta hace referencia a dispositivos robustos como taladros, pulidores, remachadoras, pistolas atomizadoras, elevadores y otros. En este caso el aire debe tener una calidad aceptable de humedad e impurezas.

Atlas Copco. "Manual sobre aire comprimido y su aplicación en la industria". (1991).

PRESIÓN

Se debe estimar la presión a la cual se desea trabajar para establecer el funcionamiento del compresor y de la red. Generalmente una red industrial de aire comprimido tiene presiones de 6 y 7 bar.

Atlas Copco. “Manual sobre aire comprimido y su aplicación en la industria”. (1991).

CAUDAL

El caudal de la red deberá ser diseñado con base en la demanda. Los dispositivos neumáticos traen en sus catálogos métodos para estimar su consumo.

Atlas Copco. “Manual sobre aire comprimido y su aplicación en la industria”. (1991).

PÉRDIDA DE PRESIÓN

Los componentes de una red de aire comprimido como codos, té's, cambios de sección, unidades de mantenimiento, y otras se oponen al flujo generando pérdidas de presión. Garantizar que las pérdidas estén en los límites permisibles es una labor esencial del diseño.

Atlas Copco. “Manual sobre aire comprimido y su aplicación en la industria”. (1991).

MARCO CONCEPTUAL

SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

El sistema de aire comprimido está integrado por la Sala de Compresores y la red de distribución, las cuales distribuyen el aire a las unidades consumidoras en planta; dicho sistema se encuentra constituido por los siguientes elementos:

Atlas Copco. **“Manual sobre aire comprimido y su aplicación en la industria”**. (1991).

FILTRO DEL COMPRESOR

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

Atlas Copco. **“Manual sobre aire comprimido y su aplicación en la industria”**. (1991).

COMPRESOR

Es el componente principal de la producción de aire comprimido, encargado de convertir la energía mecánica, en energía neumática comprimiendo el aire. Los compresores existentes en la sala son de dos tipos, de tornillo y pistón.

Atlas Copco. **“Manual sobre aire comprimido y su aplicación en la industria”**. (1991).

COMPRESORES DE TORNILLO

Son de dos etapas, con tecnología de tornillo y motor eléctrico, enfriados por agua y suministran aire libre de aceite. Los existentes en las salas son el Ingersoll Rand, y el Sullair 3700, ubicado en la Sala de compresores, con una presión de 125 psi y una capacidad de 216 CFM

Atlas Copco. **“Manual sobre aire comprimido y su aplicación en la industria”**. (1991).

POST- ENFRIADOR

Es el encargado de eliminar gran parte del agua que se encuentra naturalmente dentro del aire en forma de humedad, por tanto cada compresor tiene ajustado en la salida un intercambiador de tubos y este a su vez conectado a un colector de condensado.

Atlas Copco. “Manual sobre aire comprimido y su aplicación en la industria”. (1991).

RECEPTORES DE AIRE

Son los tanques que acumulan el aire, a una presión de 135 psi y un volumen de 1.666 gal.

Atlas Copco. “Manual sobre aire comprimido y su aplicación en la industria”. (1991).

TANQUE DE ALMACENAMIENTO

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

Atlas Copco. “Manual sobre aire comprimido y su aplicación en la industria”. (1991).

FILTROS DE LÍNEA

Se encargan de purificar el aire hasta una calidad adecuada para el promedio de aplicaciones conectadas a la red.

Atlas Copco. “Manual sobre aire comprimido y su aplicación en la industria”. (1991).

UNIDADES DE MANTENIMIENTO NEUMÁTICO

Se encarga de preparar el aire antes de su utilización en un dispositivo neumático. El aire debe ser depurado (filtro), la presión debe ajustarse a un valor determinado y constante (regulador de presión) y finalmente debe enriquecerse con una fina neblina de aceite (lubricador).

Atlas Copco. “Manual sobre aire comprimido y su aplicación en la industria”. (1991).

RED DE AIRE COMPRIMIDO

Se debe de entender por red de aire comprimido, el conjunto de todas las tuberías que parten del depósito, colocadas fijamente, unidas entre sí y que conducen el aire comprimido a los puntos de toma para los equipos consumidores individuales. Los criterios principales de una red son la velocidad de circulación y la caída de presión en las tuberías, así como la estanqueidad de la red en conjunto.

Atlas Copco. “Manual sobre aire comprimido y su aplicación en la industria”. (1991).

LONGITUD DE TUBERÍA

La caída de presión es directamente proporcional a la longitud de la tubería, de allí que a mayor longitud, mayor será la caída de presión.

Marcías Martínez M. “Calculo de tuberías y redes de gas”, Editorial Ediluz. Impreso en Maracaibo. (1993).

PRESIÓN ABSOLUTA

La presión a la cual debemos trabajar (presión efectiva) se mide mediante el manómetro industrial, este valor más el valor de la presión atmosférica es la presión absoluta, y va a afectar en forma directamente proporcional la caída de presión.

Marcías Martínez M. “Calculo de tuberías y redes de gas”, Editorial Ediluz. Impreso en Maracaibo. (1993).

DIÁMETRO DE LA TUBERÍA

La caída es inversamente proporcional al valor del diámetro de la tubería.

Marcías Martínez M. “Calculo de tuberías y redes de gas”, Editorial Ediluz. Impreso en Maracaibo. (1993).

ÍNDICE DE RESISTIVIDAD

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

Marcías Martínez M. “Calculo de tuberías y redes de gas”, Editorial Ediluz. Impreso en Maracaibo. (1993).

LA TEMPERATURA

Se supone que es aproximadamente ambiental, la caída de presión es inversamente proporcional a su valor y debe estar expresada en grados absolutos o Kelvin. Robert L. Mott **“Mecánica de Fluidos”**, 4° Edición: Pearson Prentice Hall Hispanoamericana 1996.

CONSUMO ESPECÍFICO

Se llama consumo específico de una herramienta, al consumo de aire requerido por la misma, o por el útil, para servicio continuo a la presión de trabajo dada por el fabricante. Se expresa en aire libre (litros por minuto o N m³ / min), dicho dato es obtenido por medio del manual del fabricante o el uso de tablas que indican el consumo de algunas herramientas. Atlas Copco. **“Manual sobre aire comprimido y su aplicación en la industria”**. (1991).

COEFICIENTE DE UTILIZACIÓN

Este coeficiente busca involucrar el tiempo de parada que por la índole de su trabajo tiene un equipo neumático.

Marcías Martínez M. **“Calculo de tuberías y redes de gas”**, Editorial Ediluz. Impreso en Maracaibo. (1993).

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 una de ellas, nos dará una cifra denominada coeficiente de simultaneidad. Como es laborioso determinar el coeficiente de utilización por unidad, se da una cifra global para todo el conjunto de equipos de la planta.

Marcías Martínez M. **“Calculo de tuberías y redes de gas”**, Editorial Ediluz. Impreso en Maracaibo. (1993).

MARCO ESPACIAL

2. UBICACIÓN GEOGRAFICA

Simplemente Madera S.A, está ubicada en el parque Industrial Xiloa en Ciudad Sandino, de la gasolinera UNO Xiloa 300 m hacia la laguna.

ESPACIO FÍSICO

La empresa cuenta con un área suficiente para su infraestructura actual y para desarrollar aun más su capacidad en el futuro, en el siguiente cuadro se puede observar las dimensiones de las áreas físicas que posee la empresa (Ver Tabla 1).

AREA	DIMENCIONES
Techada (Edificio Industrial)	1,200 m ²
Techada (Edificio Administrativo)	750 m ²
Áreas verdes	7,200 m ²
Dimensión total	9,150 m²

Tabla No.1 Distribución del espacio físico de la empresa

UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

Planta Millworks



Figura: No. 6 Ubicación del área de estudio.

MARCO TEMPORAL

Proyecto de Rediseño de red de aire comprimido					
TAREAS :	fecha de inicio	Duración	Fecha a terminar	Rango de grafica	
Valorar estado de sistema de aire comprimido	09/04/2013	13	22/04/2013	Inicio	Final
Identificar la capacidad requerida del compresor	24/04/2013	16	10/05/2013	08/04/2013	01/07/2013
Analizar la capacidad instalada de producción	10/05/2013	14	24/05/2013		
Rediseñar la red de distribución de aire comprimido	27/05/2013	25	21/06/2013		
Elaborar propuesta de rediseño de la red de aire comprimido	24/06/2013	7	01/07/2013		

Tabla No.2 Cronograma de actividades a realizar

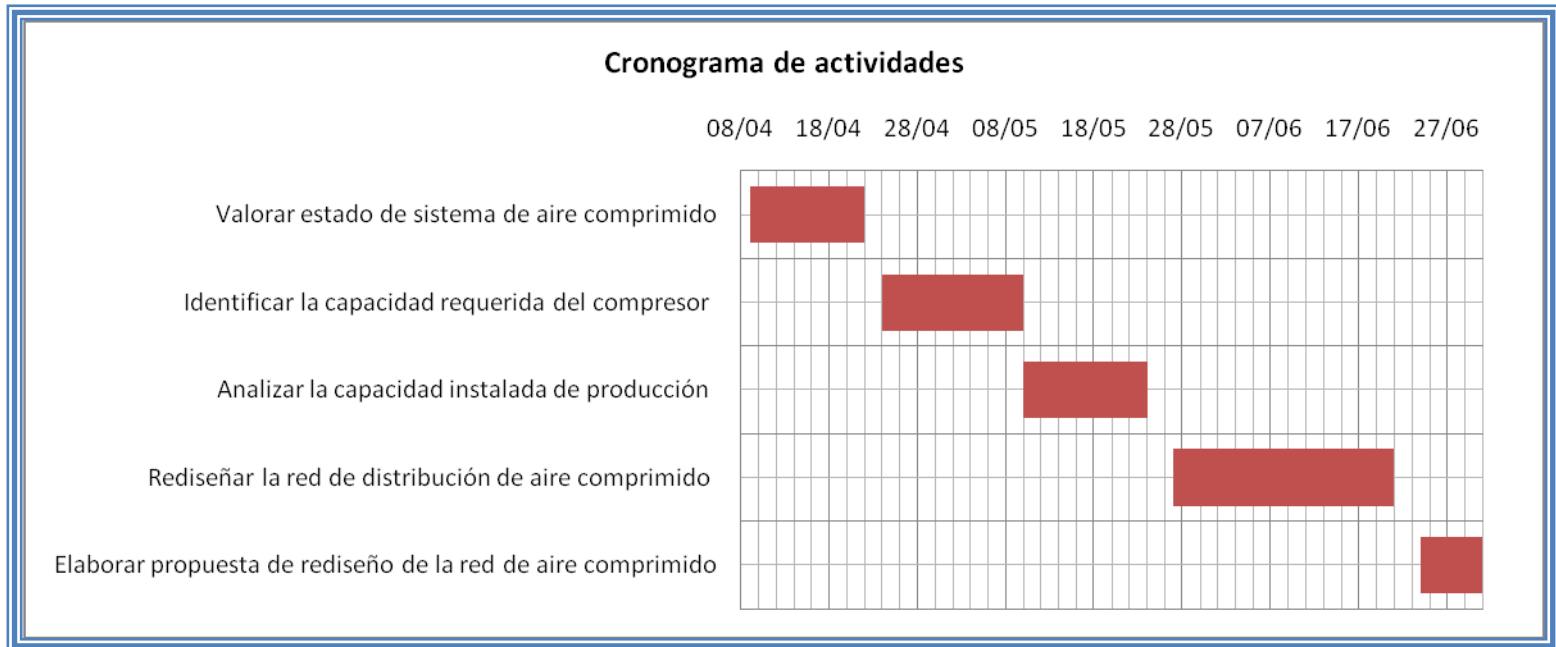


Figura: No. 6 Diagrama de Gantt

HIPOTESIS

AUMENTAR LA CAPACIDAD DE PRODUCCION POR MEDIO DE UN
REDISEÑO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO DE LA EMPRESA
SIMPLEMENTE MADERA GROUP, S.A.

DISEÑO METODOLÓGICO

1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El estudio realizado para el análisis de la capacidad operativa del sistema de aire comprimido, objetivo principal de la investigación, se enmarca en un Diseño No Experimental, puesto que a pesar de que se trabaja con variables predefinidas, tanto cuantitativas como cualitativas, estas no se manipulan deliberadamente, sino que fueron observadas y analizadas en su fuente de generación. Por tanto, los hechos se estudian tal y como se presentan en su contexto natural, sin alterar o influenciar ninguna de las variables, es decir, los datos fueron recolectados en las áreas donde se genera el aire comprimido (salas de Compresores y la planta donde se consume el aire producido por la sala de compresores y en base a ello se formularon alternativas evaluadas técnica y económicas que lleven a mejorar el sistema actual, cumpliendo con los objetivos planteados.

2. TIPO DE ENFOQUE

Esta investigación es de enfoque mixto, porque usamos la técnica cualitativa ya que se hace una descripción general de la empresa y su sistema de producción y distribución de aire comprimido, y a la vez cuantitativo porque a través de ella logramos medir diferentes parámetros para conocer la capacidad productiva de los compresores que suministran el recurso, el estado de la red de distribución y el costo de la inversión de la nueva tubería.

3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

En base a las estrategias que enmarcan el estudio y el procedimiento empleado para el desarrollo del mismo, se precisa que la investigación cumple con los siguientes tipos:

Documental-Descriptiva, debido a que se manejaron datos históricos para el análisis de fallas, al mismo tiempo que se presentó una fiel descripción y análisis de la situación actual de cada una de las redes y la sala que integran el sistema de aire comprimido, y así se determinó la capacidad de generación de aire de las mismas y el consumo de aire en la planta.

4. POBLACIÓN

En este sentido, se define como población del estudio a la Empresa Simplemente Madera S.A.

4.1 MUESTRA

En este caso se considera como muestra del estudio a la Línea de Acabado, red de distribución actual y sala de compresores. La selección de esta muestra, obedece a que esas redes y sala son las que Generan la materia prima, por la obsolescencia Tecnológica y cumplimiento de la vida útil de los equipos que la integran así como su capacidad para abastecer una futura ampliación.

5. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

De modo que las técnicas aplicadas para la obtención de datos confiables, que permitieron el desarrollo de este estudio, fueron las siguientes:

REVISIÓN DOCUMENTAL

Se consultaron todas las fuentes de información posible (materiales de referencia), tales como: libros, manuales, publicaciones en internet, consultas en línea del Sistema de información Interno), referentes al tema de investigación, al igual que se analizaron reportes técnicos, a fin de conocer los antecedentes de cada una de las instalaciones neumáticas y salas de compresores y su comportamiento.

OBSERVACIÓN DIRECTA PARTICIPANTE

Durante el estudio se efectuó observación directa, dado que es necesario acudir a cada una de las instalaciones de aire comprimido y salas de compresores, para realizar un diagnóstico de cada una de ellas, y así conocer el sistema actual de generación y distribución de aire comprimido de la empresa.

5.1 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Los instrumentos aplicados para llevar a cabo la investigación son los siguientes:

ENTREVISTAS INFORMALES

Se realizaron entrevistas informales (No estructuradas), al personal del Departamento de Mantenimiento de Sistemas Industriales, el cual es el encargado del mantenimiento de la red de distribución de aire comprimido y de los compresores que suministran el recurso; al igual que a los trabajadores de la planta Millworks,(usuarios del aire comprimido en la planta); esto con el fin de conocer la opinión de los consumidores del mismo.

HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES

Para la recolección de datos referentes al historial de fallas de los equipos desde Mayo hasta Junio de 2013 se utilizó el ADA (Análisis de demanda de aire comprimido), perteneciente a la empresa Simplemente Madera S.A. Por otro lado, en la determinación de los parámetros de mantenimiento (confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad) de los recursos se utilizó el Software ADA Versión 2001.

Además, se tuvo el uso continuo de los programas incluidos en el Paquete Office de Windows (Word y Excel), a fin de organizar y analizar los datos.

- Recursos Físicos
- Cámara Fotográfica.
- Computador e Impresora.
- Equipo de Protección Personal.

5.2 PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

Para realizar la investigación y dar cumplimiento a los objetivos, se efectuaron los siguientes pasos:

1. INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA DETALLADA

Se revisaron los fundamentos teóricos e información técnica sobre el Sistema de aire comprimido de la empresa Simplemente Madera S.A, generado por los compresores que integran la Sala, al igual que se efectuaron consultas al Centro de Información Tecnológica kaeser compresores, en manuales de inducción, trabajos e informes disponibles en Internet y documentos internos, con la finalidad de establecer los conocimientos teóricos y lineamientos necesarios para el desarrollo del estudio.

2. RECONOCIMIENTO DEL ÁREA DE ESTUDIO

Para ello se realizaron visitas a cada una de las líneas instaladas en planta, al departamento encargado de garantizar el suministro de aire y a la unidades usuarias de este servicio industrial, para la identificación del Sistema a estudiar, la recopilación de los planos de distribución aire y la observación directa del sistema, a fin de establecer la situación actual del mismo.

3. RECOPIACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN

De las fallas presentadas en las tuberías y los compresores que integran la Sala, en el periodo de mayo de 2013 hasta julio 2013.

4. ANÁLISIS DE LAS FALLAS DE LOS EQUIPOS

Para ello se elaboraron gráficos de tendencia y de Pareto, a fin de conocer los focos de atención que se presentan con mayor frecuencia, generando la mayor cantidad de problemas.

5. DETERMINACIÓN DE LOS INDICADORES DE MANTENIMIENTO

(Confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad) de los equipos que integran las salas, en función de los tiempos operativos y los tiempos de paradas, a fin de conocer la capacidad que tiene el equipo para cumplir su misión.

6. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD NOMINAL ACTUAL DE AIRE GENERADA

En planta por cada una de las salas, para ello se realizaron cálculos en Excel, basados en la capacidad de diseño del equipo y el número de equipos actualmente operativos.

7. ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE AIRE REQUERIDO EN PLANTA

Para la realización de las actividades de producción y mantenimiento, para lo cual, fueron considerados caudales de diseño, estudios previos realizados y cálculos de caudales con ecuaciones de mecánica de los fluidos.

OPERACIONALIZACION DE LAS VARIABLES

Variables	Instrumento	Fuente	Técnica	Indicador
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Describir la situación actual del sistema de aire comprimido. 	1. Entrevista. 2. Sheslick. 3. Encuesta. 4. Guías de verificación	1. Libros 2. Manuales 3. Publicaciones en internet	1. Revisión Documental. 2. Observación. Directa participante 3. Recolección de datos	Guías -Evaluar la lista completa de causas probables.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Identificar la capacidad requerida y la red del suministro. 	1. Entrevista. 2. Sheslick. 3. Encuesta.	1. Libros 2. Manuales 3. Publicaciones en internet	1. Revisión Documental. 2. Observación. Directa participante	-Identificar y describir la causa.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Analizar la demanda requerida para el anexo de la red de distribución de aire comprimido. 	1. Entrevista. 2. Sheslick. 3. Encuesta.	1. Libros 2. Manuales 3. Publicaciones en internet	1. Revisión Documental. 2. Observación. Directa participante	-Analizar los síntomas que se observen y registrarlos.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rediseñar la red de distribución de aire comprimido para garantizar este recurso en el área de acabado 	1. Entrevista. 2. Sheslick. 3. Encuesta.	1. Libros 2. Manuales 3. Publicaciones en internet	1. Revisión Documental. 2. Observación. Directa participante	-Proponer solución de acuerdo a la necesidad para la corrección del problema.

Tabla No.3 Operacionalización de variables

GUÍA DE VERIFICACIÓN

EMPRESA / CENTRO DE TRABAJO.....		<input type="checkbox"/>	TAREA.....	<input type="checkbox"/>
AREA DE TRABAJO.....				
PERSONA OBSERVADA.....			ANTIGÜEDAD EN EL PUESTO.....	<input type="checkbox"/>
OBSERVADOR/A.....			FECHA OBSERVACION.....	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
FIRMA.....			FECHA PROXIMA OBSERVACION.....	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

DESCRIPCION DE LA TAREA / ORDEN SECUENCIAL DE OPERACIONES
Procedimiento normalizado..... <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

CONDICIONES DE TRABAJO DE LA TAREA						
OPERACION		TIPO DE RIESGO		FACTOR RIESGO / CAUSA	CONSECUENCIAS (b) 1. LEVE 2. GRAVE 3. MORTAL	NIVEL DEFICIENCIA (c) 1. ACCEPT. 2. MEJOR 3. DEFIC.
Nº ORDEN	DE NOMINACION	COD. (a)	DEFINICION			

PROCEDIMIENTO DE TRABAJO NORMALIZADO <input type="checkbox"/> ND (c)	ADiestRAMIENTO EN LA TAREA <input type="checkbox"/> ND (c)
Inexistente <input type="checkbox"/> Incompleto o No actualizado <input type="checkbox"/> Incumplimiento <input type="checkbox"/>	Desconoce procedimiento <input type="checkbox"/> inexperiencia <input type="checkbox"/> Hábitos incorr. <input type="checkbox"/>
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS <input type="checkbox"/> ND (c)	EQUIPOS DE PROTECCION PERSONAL <input type="checkbox"/> ND (c)
Inadecuadas o inexistentes <input type="checkbox"/> Mal estado <input type="checkbox"/> Uso incorrecto <input type="checkbox"/>	Inadecuadas o inexistentes <input type="checkbox"/> Mal estado <input type="checkbox"/> No uso <input type="checkbox"/>
INSTALACIONES FUJAS ASOCIADAS A LA TAREA ND (c)	ENTORNO, ORDEN Y LIMPIEZA <input type="checkbox"/> ND (c)
Inadecuadas o nocivas <input type="checkbox"/> Mal estado <input type="checkbox"/> Uso incorrecto <input type="checkbox"/>	Proceso inadecuado Limitación de espacio O falta de medios <input type="checkbox"/> Por desorden <input type="checkbox"/> Uso incorrecto <input type="checkbox"/>

ACTUACIONES SINGULARES
ACTOS ENGAÑOSOS.....ACTOS DESTACABLES

MEJORAS ACORDADAS	RESPONSABLE	GRADO DE CUMPLIMENTACION (c)	FECHA
		⓪	
		⓪	
		⓪	
		⓪	
		⓪	

- Marcar cuando proceda
- Indicar código (Ver cara B)

Enterado Responsable de Area
FECHA _____ FIRMA _____

UBICACIÓN DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO

El primer paso que se realizó en el desarrollo de este estudio, ha sido conocer la distribución de la red de aire comprimido por toda la planta y determinar cuáles son las máquinas o los equipos que necesitan de esta fuente de energía para ejecutar alguna operación.

Seguidamente valorar el estado físico del sistema de aire comprimido, observar las conexiones y accesorios entre los diferentes tipos de tuberías existentes en la red de aire, los diámetros de la misma y la distribución de los puntos de purga del condensado; así como la localización de las válvulas de bloqueó en las líneas de la red.

Además se realizó el cálculo del sistema de generación y distribución del aire comprimido, para proyectar el caudal de aire a necesitar y prever futuras ampliaciones, por lo que este estudio ordenado y planificado proporcionara nuevos puntos de trabajo en la planta y un ahorro de energía eléctrica por fugas en tuberías, accesorios, ya que se evitarán las caídas de presión que conlleva a una mejora en la productividad de los productos elaborados.

Red de aire de la planta

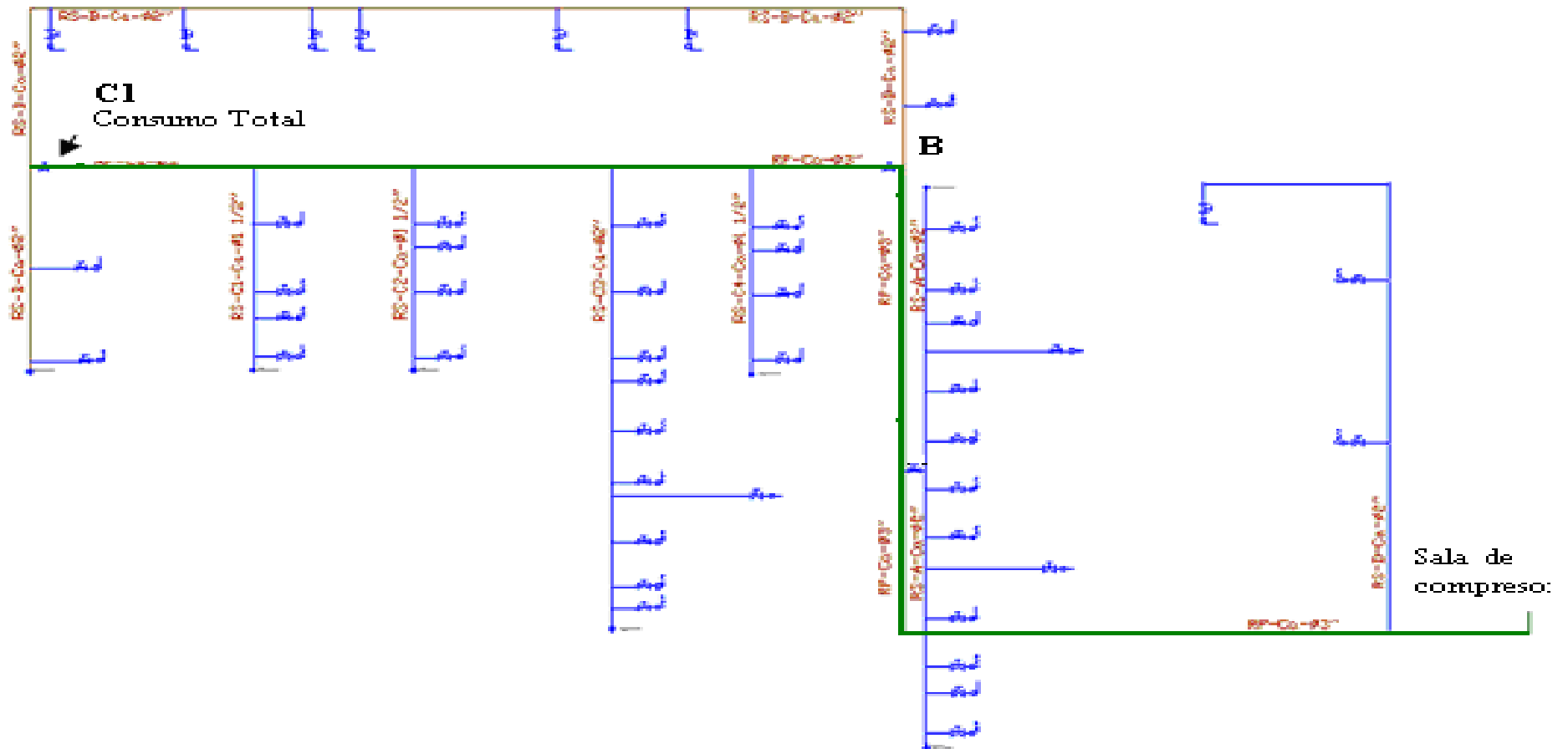


Figura No. 8 Plano del Sistema de aire comprimido actual

Descripción de la red actual

La línea No.1 de distribución principal está compuesta por tubería y accesorios en acero al carbón galvanizado de 4", cédula 40, del tipo soldable, trabaja como un sistema de distribución en circuito abierto y se encarga de la distribución del aire comprimido a las plantas Millworks, Agroforestal, Patios y Calderas, por medio de tuberías secundarias o ramales. Por otro lado la línea No.2 de distribución principal se encarga de suministrar aire comprimido a la línea de acabado y a pintura, por medio de tuberías secundarias o ramales. Esta tubería también conformada por tubería y accesorios en acero al carbón cédula 40, del tipo soldable Galvanizado de 3", sufriendo reducciones a 2 1/2", 1 1/2" y 1" en su trayectoria, trabajando como un sistema de distribución en circuito abierto.

En lo que respecta a las líneas secundarias de distribución, se deben enumerar para poder tener una mejor visión de éstas. La línea secundaria No.1.1 se encuentra trabajando como un sistema en circuito cerrado, y se encarga de enviar aire comprimido, por medio de las bajantes a la maquinaria de la planta, el material de la tubería utilizada en dicha línea es de hierro galvanizado roscado de 1 1/2", las bajantes utilizadas para la alimentación a cada máquina son de 1/2", las cuales llegan a las máquinas y se conectan a la unidad de mantenimiento correspondiente a cada una de ellas.

La línea secundaria No.1.2, se encarga de suministrar aire al departamento de Calderas, trabaja como un sistema en circuito abierto. El material de la tubería es hierro galvanizado roscado de 1 1/2", con sus bajantes en 1/2".

Dentro de la planta se encuentran ubicados dos ramales, la línea secundaria No.1.3, la cual lleva el aire necesario para alimentar a las máquinas cortadoras y las válvulas de control, trabajando como un sistema en circuito abierto, utilizando tubería de hierro galvanizado roscado de 3/4". La línea secundaria No.1.4 suministra el aire, trabaja también como un sistema en circuito abierto, utiliza tubería de hierro galvanizado roscado de 1", la cual se conecta con la maquinaria antes descrita por medio de mangueras del tipo flexible de material tygon de 1/2".

Del mismo modo que en la planta se encuentra la línea secundaria No.1.5 que se encarga de alimentar a los equipos que pertenecen a la planta, trabaja también como un sistema en circuito abierto, utiliza tubería de hierro galvanizado roscado de 2", la cual se conecta con la maquinaria antes descrita por medio de mangueras del tipo flexible de material tygon de 1/2".

La línea principal de aire comprimido actualmente finaliza en la planta, mediante dos ramales secundarios. El ramal secundario No.1.6 está compuesto por tubería y accesorios en acero al carbón de 4", cédula 40, del tipo soldable, trabaja como un sistema de distribución en circuito cerrado y se encarga de la distribución del aire comprimido a los equipos de las secciones de preparación de pasta y post-adición mediante bajantes en material de hierro galvanizado en diferentes medidas, las cuales varían desde 1/2" hasta 1".

El ramal secundario No.1.7, trabaja como un sistema en circuito abierto, llega a la planta por medio de una tubería de hierro galvanizado de 3", y tubería de hierro galvanizado de 1 1/2", para la alimentación de la maquinaria que corresponde a la sección de el transporte neumático, así como también todas las máquinas del área de empaque.

SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

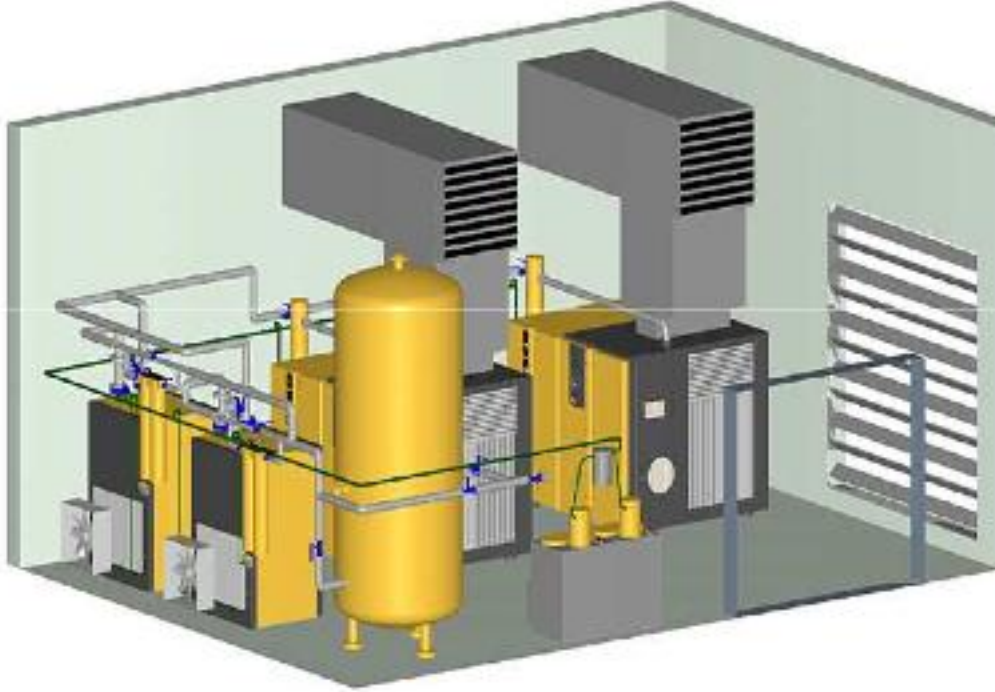


Figura No. 9 Sistema de aire comprimido de la empresa.

Descripción e identificación de los componentes del sistema actual.

El sistema de aire comprimido de la Empresa Simplemente Madera S.A. está conformado por un par de compresores, encargados de generar la energía neumática, dos tanques de almacenamiento, encargados de almacenar y entregar aire comprimido durante picos de demanda, también contribuir al enfriamiento y separación del condensado, y dos estaciones de acondicionamiento, encargadas de secar y filtrar el aire comprimido para su posterior utilización en los equipos de la planta de producción, una red de distribución; conformada por tuberías de diferentes diámetros con sus respectivas válvulas y accesorios, que conducen el aire comprimido hasta las diferentes secciones de la planta.

CÁLCULO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

A la hora de realizar el cálculo de la red de distribución se tubo muy en cuenta la pérdida de presión del aire comprimido por el rozamiento con las tuberías y al pasar por los diferentes accesorios, por esta razón se empleo el método de las longitudes equivalentes donde además de la longitud propia de la tubería, se añade a la anterior para el cálculo una longitud ficticia que produce la misma caída de presión que en los distintos accesorios.

En una tubería de 200 metros con diámetro interior estimado de la tubería es de 40 mm, Se ha previsto un caudal de 6 l/s y una presión de funcionamiento de 7 bar. Incluyendo los valores de (1) hasta (7), se obtiene en (8) la pérdida de presión $\Delta p = 0,0035$ bar.

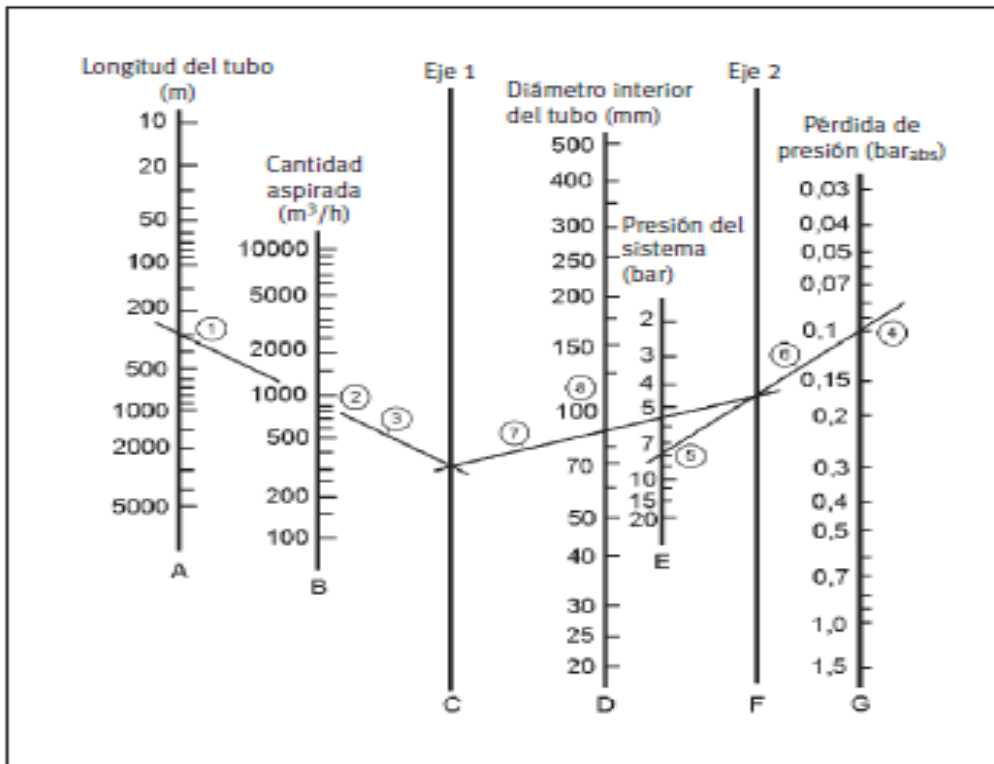


Figura No.10 Nomograma para determinar tuberías para aire comprimido

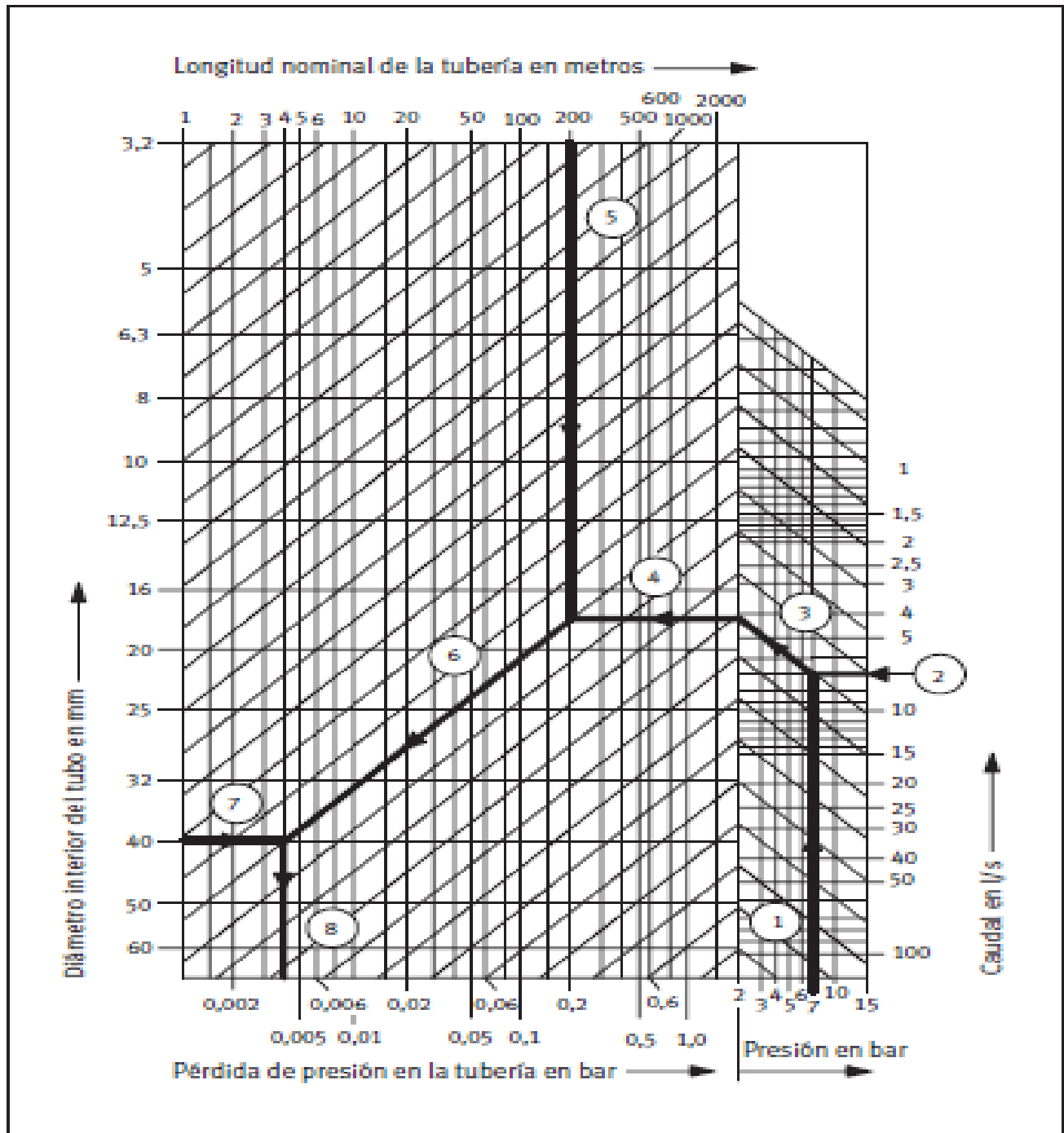


Figura No.11 Nomograma para el cálculo de pérdidas de presión en tuberías

A continuación se determino el diámetro interior de los tubos.

Para ello puede utilizarse el nomograma de la fig.No.10, incluyendo los puntos (1) hasta (7). El punto de intersección con la escala D en (8) indica el diámetro interior del tubo. Para obtener este resultado también se puede utilizar el nomograma de la fig.11.

Se sobreentiende que las válvulas, accesorios, codos y similares ofrecen una resistencia mucho mayor al caudal. Para tener en cuenta estos componentes, se calcula con una longitud equivalente (ficticia) de la tubería y el resultado se suma a la longitud real de los tubos antes de calcular o determinar gráficamente el diámetro interior necesario de los tubos. En la tabla No.4 se incluyen estas longitudes ficticias.

Las pérdidas de carga producidas en los diferentes elementos de conexión y accesorios las contabilizaremos en forma de longitud equivalente según la siguiente tabla:

<i>Longitud equivalente de elementos de conexión y accesorios (m)</i>										
<i>Tipo de accesorio</i>	<i>Diámetro nominal tuberías</i>									
	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125
Codo	0.26	0.37	0.49	0.67	0.76	1.07	1.37	1.83	2.44	3.2
Curva 90°	0.15	0.18	0.24	0.38	0.46	0.61	0.76	0.91	1.2	1.52
Curva 180°	0.46	0.61	0.76	1.07	1.2	1.68	1.98	2.6	3.66	4.88
Válvula de esfera	0.76	1.07	1.37	1.98	2.44	3.36	3.96	5.18	7.32	9.45
Válvula de compuerta	0.107	0.14	0.18	0.27	0.32	0.4	0.49	0.64	0.91	1.2
T estándar paso recto	0.12	0.18	0.24	0.38	0.4	0.52	0.67	0.85	1.2	1.52
T estándar paso angular	0.52	0.7	0.91	1.37	1.58	2.14	2.74	3.56	4.88	6.4

Tabla No. 4 para determinar Longitud equivalente de elementos de conexión y accesorios (m)

Canalización principal. Tenemos 15 T's de paso recto, 20 codos de 90°, 17 válvulas de esfera y 17 elementos de conexión entre tuberías. Con todo se tiene una longitud equivalente de:

$$L_{\text{equiv}}=15*0.67+20*0.76+17*3.96+17*0.36= 99.14 \text{ m}$$

Canalizaciones de servicio. Tenemos 78 T de paso recto, 20 válvulas de esfera, 100 elementos de conexión de tuberías y 8 unidades de mantenimiento (filtro, regulador de presión y lubricación) cuya pérdida de carga fue calculada para 120 metros de longitud equivalente. En total tenemos:

$$L_{\text{equiv}}=78*0.18+20*1.07+8*3.96 = 62.76 \text{ m}$$

$$L_{\text{total}}= 162 \text{ m}$$

Calculo de la capacidad requerida en el sistema.

La capacidad es el parámetro básico para la especificación de los compresores, y es la cantidad de aire en la unidad de tiempo que suministra el compresor entre las presiones de trabajo, se dan generalmente en los catálogos para el consumo de aire por las herramientas neumáticas o equipos, se refieren al aire libre por minutos (aire atmosférico a la presión y a la temperatura estándar o normal). Esta capacidad está directamente relacionada a la demanda existente en la planta de producción a consecuencia de una serie de equipos y maquinarias que requieren de aire para su trabajo.

Ramal secundario	Maquina o Herramienta.	No. De Maquina o Herramienta.	Consumo unitario Nm ³ /min.	Consumo sub total. Max. Nm ³ /min.	Factor de carga	Consumo total máx. Nm ³ /min.	Presión de trabajo 7 Bar.	consumo
A	Pistola Neumática	43	0.05	1.97	0.7	1.38	70-121	1.09
	Máquina Lijadora	21	0.52	11.00	0.8	8.80	90-100	
	Barreno Neumático	7	0.14	0.99	0.6	0.59	90-100	
	Pistola Clavadora	2	0.05	0.09	0.7	0.06	90-100	
	Engrapadora	2	0.05	0.09	0.7	0.06	90-100	
B	Pistola rociadora de pintura	21	0.32	6.72	0.9	6.05	40-60	0.75
	mesa elevadora	2	0.34	0.68	0.5	0.34	50-60	
	Motor de 3/4 Hp.	1	0.57	0.57	0.9	0.51	50-60	
C1	Sierra Despuntadora	4	0.04	0.16	0.80	0.13	50-60	0.05
	Prensa Encoladora	4	0.08	0.34	0.8	0.27	50-60	
	Pistola Neumática	2	0.05	0.09	0.7	0.07	50-60	
C2	Hornos	5	0.06	0.28	0.9	0.25	50-60	0.03
C3	Barrenadora	1	0.14	0.14	0.7	0.10	80-100	0.08
	Espigadora	1	0.17	0.17	0.6	0.10	80-100	
	Router	1	0.17	0.17	0.7	0.08	80-100	
	Sistema 32	1	0.20	0.20	0.6	0.12	80-100	
	Barreno Neumático	2	0.14	0.28	0.6	0.17	80-100	
C4	Pistola Neumática	1	0.05	0.05	0.7	0.04	80-100	0.01
	Pistola Clavadora	1	0.05	0.05	0.7	0.04	80-100	
	Engrapadora	1	0.05	0.05	0.7	0.04	80-100	
D	Sistema 32	1	0.08	0.08	0.8	0.04	80-100	0.04
	Sello Logotipo	1	0.03	0.03	0.6	0.02	80-100	
	Router	1	0.17	0.17	0.7	0.12	80-100	
	Barrenadora	1	0.14	0.14	0.8	0.11	80-100	
caudal a presión de servicio 7bar:								2.05
Consumo total en Nm³/min:								19.49

Tabla No. 5 Caudal por cada ramal

Presión de trabajo											7.0	Bar.		
Temperatura en el interior de la tubería.											30.0	°C		
% de pérdidas admitidas hasta la boca de consumo.											3	%		
Caída de presión admisibles en la boca de consumo.											0.21 Bar.			
Tramo de Tubería	Longitud de la Cañería en m.	Caudal en Nm ³ /min.	Caudal en m ³ /min.	Tipo de Cañería.	Velocidad sugerida en m/s.	Diámetro aproximado en minutos.	Diámetro comercial adoptado en pulg.	Diámetro interior en mm.	Long. Total (C/ accesorios.)	Pérdidas de cargas en el tramo Bar.	1	2	3	4
Principal	85	51,28	6,48	Princ.	8	131,14	3"	105,30	120,3	0,11661	x	x	x	x
Principal C	42	32,05	4,05	Princ.	8	103,67	3"	105,30	107,4	0,04356	x	x		
Ramal A	34	19,23	2,43	Sec.	12	65,57	3"	80,80	99,4	0,05880				x
Ramal B	72	12,82	1,62	Sec.	12	53,54	2 1/2"	68,80	115,6	0,07211	x		x	
Ramal C1	16	5,13	0,65	Sec.	12	33,86	1 1/2"	41,80	25,8	0,03564				
Ramal C2	16	5,13	0,65	Sec.	12	33,86	1 1/2"	41,81	25,8	0,03564		x		
Ramal C3	32	12,82	0,62	Sec.	12	53,54	2 1/2"	68,80	69,6	0,04342				
Ramal C4	16	5,13	0,65	Sec.	12	33,86	1 1/2"	41,80	25,8	0,03564				
Ramal D	41	3,21	0,41	Sec.	12	26,77	1 1/2"	41,80	50,8	0,02928				
Pérdidas de cargas en las bocas de servicio.											0,196	0,204	0,189	0,175
% de pérdida real.											2,80%	2,91%	2,70%	2,51%

Tabla No. 6 Cálculos de caída de presión en todos los ramales de tuberías

Dimensionamiento del compresor.

Al calcular un sistema de aire comprimido el dato sobre la capacidad del compresor que da el fabricante debe estar también referido el aire libre, con el objeto que exista una correspondencia entre consumo y capacidad.

La selección del tipo de compresor y de su capacidad son parámetros críticos en el diseño de una instalación de aire comprimido. Una acertada elección supone un gran ahorro energético durante el funcionamiento normal de la instalación.

Para elegir correctamente el tipo de compresor más apropiado para las necesidades de diseño, es preciso conocer el consumo total de aire comprimido. En general, el consumo total de aire comprimido se obtuvo al sumar el consumo de todos los equipos neumáticos conectados en la red de suministro del recurso.

Vc: Caudal del compresor en m³/min

VT: Volumen del Tanque m³

T: periodo de carga entre las dos presiones

Pi: Presión inicial del tanque en bar

Pf: Presión final del tanque en bar

Compresor Sullair

VT: 6.20 m³ (6,200 Lts)

T: 2 min

Pi: 8 bar

Pf: 11 bar

$V_c = \frac{6.20 (11-8)}{2*1\text{bar}} = 9.30\text{m}^3/\text{min}$

2*1bar

Compresor Ingersoll Rand

VT: 6.50 m³ (6,500 Lts)

T: 2 min

Pi: 8 bar

Pf: 11 bar

$V_c = \frac{6.50 (11-8)}{2*1\text{bar}} = 9.75\text{m}^3/\text{min}$

2*1bar

Cuando se cuantifica el costo en U\$, de mantener un sistema de producción de aire comprimido con fugas se puede apreciar mejor la cantidad de dinero que se invierte en concepto de energía eléctrica, a continuación se presenta el cálculo del gasto producido por consumo de energía eléctrica desperdiciada en fugas, teóricamente se muestra el cálculo para el compresor uno.

Potencia = 50 kW

Capacidad = 250 CFM

Hora al año de operación = 3,120 hrs

Diámetro de una fuga promedio = 1/32" (0.793 mm)

Presión de operación = 125 psi

Consumo de energía eléctrica con la actual red de aire

Costo del KWh en dólares = 0.144 U\$/Kwh.

Se puede apreciar en la tabla N° 8 que para una fuga de diámetro de 1/32 "(0.793mm) la cantidad de aire libre desperdiciado es de 15,670 m³/año.

El costo de la energía desperdiciada en una fuga para el compresor 1 se calcula utilizando la siguiente formula.

$$C.E.F.D. = \frac{A.L.D. \times Potencia \times hrs/año \times Costo Kwh}{Capacidad en CFM}$$

C.E.F.D. = Costo de energía desperdiciada en una fuga
A.L.D. = Aire libre desperdiciado

Procedemos a hacer el cálculo de una fuga para cada compresor:

Compresor uno:

$$C.E.D.F. = \frac{15,670 \text{ m}^3/\text{año} \times 55 \text{ Kw} \times 3,120 \text{ hrs/año} \times 0.144 \text{ U\$ / Kwh}}{250 \text{ pie}^3/\text{min} \times 1 \text{ m}^3/35.28 \text{ pie}^3 \times 60 \text{ min/1 hr} \times 24 \text{ hr /1 día} \times 365/1 \text{ año}}$$

$$C.E.D.F. = \text{U\$ } 2,160 / \text{año}$$

Compresor dos:

$$C.E.D.F. = \frac{15,670 \text{ m}^3/\text{año} \times 62 \text{ Kw} \times 3,120 \text{ hrs/año} \times 0.144 \text{ U\$ / Kwh}}{250 \text{ pie}^3/\text{min} \times 1 \text{ m}^3/35.28 \text{ pie}^3 \times 60 \text{ min/1 hr} \times 24 \text{ hr /1 día} \times 365/1 \text{ año}}$$

$$C.E.D.F. = \text{U\$ } 2,605 / \text{año}$$

Tenemos el resultado del costo anual que representa una fuga de 1/32” de diámetro para cada compresor instalado en la planta. Se realizó una inspección visual como física en la planta y se pudo determinar que en la distribución de tuberías hay fugas principalmente en las uniones, te´s, codos, válvulas, por lo que se llevara a cabo un promedio ponderado de 5 fugas por cada compresor.

Costo anual de operar el compresor uno con 8 fugas = CAOC

CAOC = Costo de una fuga × numero de fugas

CAOC = U\$ 2160 × 8 = U\$ 17,280.00

$\% \text{ Descarga} = \frac{(1 - \text{Horas carga})}{\text{Horas descarga}} * 100 = \frac{(1 - 1/4) * 100}{75} = 75\%$

$\% \text{ Carga} = 100 - \% \text{ Descarga} = 100 - 75 = 25\%$

$Cec = Hr * \% \text{ carga} * P * Ck = 3,120 \text{hr/año} * 0.25 * 50 \text{kw} * \0.144

Donde, $Cec = U\$ 5,616 / \text{año} * 3 \text{ compresores} = U\$ 16,848 / \text{año}$

Cec es Costo energético de carga.

Hr es Horas anuales de funcionamiento.

P es Potencia del equipo en Kw.

Ck Costo de kwh en USD.

$Ced = Hr * \% \text{ descarga} * P * Ck = 3120 \text{hr/año} * 0.75 * 50 \text{kw} * \0.144

Donde, $Ced = U\$ 16,848 / \text{año} * 2 \text{ tanques} = U\$ 33,696$

Ced es Costo energético en descarga.

Hr es Horas anuales de funcionamiento.

P es Potencia del equipos en Kw.

Ck Costo de kwh en USD.

Del último cálculo puede observar que al reducir el tiempo en descarga del equipo (o los equipos) podrá encontrar ahorros considerables.

$Lv = \frac{t_1}{T_1 + t_2} * 100 = \frac{60 \text{ min}}{60 + 90} * 100 = 40\%$

LV Pérdida de aire comprimido en porcentaje.

t1 es el tiempo necesario para recuperar la presión en la red (tiempo en carga)

t2 es el tiempo de inactividad del compresor (tiempo en descarga)

Puede obtener un aproximado del caudal fugado al multiplicar la capacidad del compresor por éste porcentaje; para esto se recomienda tomar como referencia varios ciclos carga/descarga.

Al conocer el costo anual de funcionamiento del equipo en descarga, puede obtener un aproximado del costo de sus fugas de aire de la siguiente manera:

La planta está operando con tres compresores de tornillo marca Sullair y Ingersoll Rand modelos 3707/A de 50 hp, SSR-EP50SE de 60 hp, Los compresores se encuentran operando en la planta Millworks en el rango de 110-140 psi, en la tabla No 5 se muestran los HP y Kw, que tiene cada compresor.

Tabla No. 7 Capacidad en CFM y Kw de los compresores

No. Compresores	Marca	Hp	Kw	Capacidad en CFM	horas/ año de operación
1	Ingersoll Rand	50	55	250	3,120
2	Sullair 3700	50	72	250	3,120
3	Sullair 3700	50	72	250	3,120
	total	150	199	750 CFM	3,120

Por lo tanto vamos a tener el siguiente cálculo de consumo de energía eléctrica de los dos compresores.

$$199 \text{ Kw} \cdot 9 \text{ hr} / \text{día} \cdot 26 \text{ días} / \text{mes} \cdot 12 \text{ meses} / 1 \text{ año} = 558,792 \text{ Kw} - \text{hr} / \text{año}.$$

El precio del Kw – hr para la empresa es de U\$ 0.144 centavos por lo que se tiene $558,792 \cdot \text{U}\$. 0.144 = \text{U}\$. 80,466.05$ de consumo al año.

Ø efectivo del orificio	Ø [mm]	Pérdidas de aire a 6 bar [l/seg]	Costo anual [\$]	Potencia Consumida [kW]
•	1	1,17	270	0,3
••	3	10,00	2600	3,1
•••	5	27,50	7300	11,2
••••	10	109,17	28820	44,0

Valores indicados para 6500 hrs/ año y un valor de \$ 0.144/kw

Figura No.12 energía desperdiciada por fugas en el sistema de distribución

En la tabla se muestra el costo total de fugas mensuales, en el sistema.

Área	Departamento	Cantidad de fugas	Kw de perdida por cada fuga.(1.34 CFM)	Kw, totales de Perdida	Horas de trabajo	Costo del Kw-h con subsidio (U\$)	Costos del Consumo por fugas
Millworks	Corte basto	3	0.333	0.999	9	0.144	1.294704
	Lijado	9	0.333	2.997	9	0.144	3.884112
	Maquinado	2	0.333	0.666	9	0.144	0.863136
	Acabado	6	0.333	1.998	9	0.144	2.589408
Agroforestal	Cepillo	0	0.333	0	9	0.144	0
	Corte basto	1	0.333	0.333	9	0.144	0.431568
	Finger Joint	5	0.333	1.665	9	0.144	2.15784
	Paneles	2	0.333	0.666	9	0.144	0.863136
Mantenimiento	Compresores	1	0.333	0.333	9	0.144	0.431568
						Costos Diarios (\$)	12.515472
						Costos Mensuales (\$)	300.371328

NOTA: Costo por hora de aire comprimido

C\$ 113.40

Tabla No.8 Costo de energía desperdiciada por fugas en el sistema de distribución

Puesto que todos los elementos neumáticos de una instalación no trabajan generalmente a toda su capacidad al mismo tiempo durante las 24 horas del día, es habitual definir un factor de carga

Como:

$$\text{Factor de carga} = \frac{\text{Consumo de aire en 24 horas}}{\text{Máximo consumo continuado en 24 horas}}$$

$$\text{Factor de carga} = 0.9 = \frac{813.67\text{CFM}}{904.08\text{CFM}}$$

Este factor de carga trata de tener en cuenta los consumos intermitentes de aire, para optimizar al máximo los tiempos de arranque del compresor que rellenan de aire comprimido los depósitos.

En general, se establecen cinco pasos básicos para fijar correctamente la capacidad del compresor. A saber:

1. Estimar el total de consumos de todos los dispositivos que emplean aire.
2. Determinar la presión más elevada que requieran estos elementos.
3. Revisar los ciclos de trabajo y determinar los factores de carga de los elementos.
4. Estimar un valor típico de fugas.
5. Fijar las máximas caídas de presión admitidas tanto para los diversos elementos como para las conducciones.
6. Otras consideraciones que afecten al diseño: condiciones medioambientales del entorno, altitud, etc.

Una vez conocida la longitud equivalente, se procede a determinar la pérdida de carga asociada a esa longitud. Para ello se emplea la conocida fórmula de Darcy- Weisbach:

$$\Delta P = \frac{8 * f * \rho * L * Q^2}{\Pi^2 * D^5}$$

Otra forma de calcularla es utilizando tablas que ya incorporan los cálculos que se derivan de la ecuación de Darcy-Weisbach. La figura 13. Calcula la pérdida de carga (en libras por pulgada al cuadrado) para tuberías de diversos diámetros, siendo éstas de una longitud de 100 pies, para aire suministrado a 100 psi (690 kPa, o también 6.9 bar) y 160C.

Es práctica habitual permitir que el 10% de la presión a la cual trabaje el sistema se emplee en hacer frente a las pérdidas (el resto es la energía que se descargará en los orificios de trabajo). Así, para un sistema que trabaje a 7 bar, es normal fijar un valor de pérdidas máximo de 0.7 bar a lo largo de las conducciones.

Otro criterio que se emplea es el de fijar un máximo de 6 a 10 m/s de velocidad de aire comprimido por las tuberías. Para los puntos finales de consumo, se pueden emplear los siguientes valores como característicos:

Filtros en puntos finales de consumo: 0.5 a 2 psi de pérdidas.

Conexiones rápidas: 4 psi de pérdidas.

Tubo de drenaje: 1 a 2 psi de pérdidas.

Estimación de consumos

En general, el consumo total de aire comprimido es aquel que resulta de sumar el consumo de todos los equipos neumáticos conectados en la planta, trabajando a pleno rendimiento. Este es un dato básico que permitirá la elección del tipo y dimensión del compresor (tabla No 7.). A este valor hay que sumarle el obtenido por la estimación de las posibles fugas que en un futuro se originen en la instalación. Como nota extraída de la experiencia, decir que instalaciones bien conservadas presentan normalmente fugas que rondan entre el 2 y el 5%. Instalaciones con varios años de servicio pueden llegar a tener fugas del orden del 10%. (Ver Figura No 12.)

Si además, las condiciones de mantenimiento no son del todo correctas, éstas pueden llegar a alcanzar valores del 25%. En la tabla se expone un extracto que incluye los consumos típicos de herramientas y equipos neumáticos:

Por otro lado, es habitual colocar en los puntos finales de consumo elementos como filtros y reguladores de presión que adecuen las características del aire a las especificaciones del equipo.

Cálculo de las pérdidas de carga

Las fugas de aire comprimido en una industria son generalmente de un volumen sorprendentemente alto y no fácil de descubrir debido a la propiedad del aire de ser invisible e inodoro.

Si la fuga de aire es grande no representa un grave problema, ya que el ruido que hace permite descubrirla fácilmente, la gran caída de presión en la red permite darse cuenta que una situación anormal está ocurriendo en la industria lo que hace que se busque aquella anomalía que está provocando esta caída de presión. En cambio, si la fuga de aire es pequeña ésta no suele observarse enseguida por dos razones, la dificultad para detectarla y la poca importancia que se le da debido a su tamaño, el problema de este pensamiento es que la suma de estas pequeñas fugas de aire, ubicadas en uniones de tuberías (a veces de difícil acceso para su vigilancia), válvulas, mangueras y enchufes conforman una pérdida considerable de aire comprimido.

En este tipo de instalaciones, que no son mantenidas bajo supervisión, o en instalaciones normales que estén descuidadas, los escapes significan de un 25 a un 30% de la capacidad total del compresor. Con un gasto razonable de mantenimiento, estas cifras pueden bajar hasta un 5 a 10% de la capacidad del compresor. El costo de conservar las pérdidas de aire por escape dentro de límites tolerables, es muy pequeño en comparación con las pérdidas de aire en sí. Además, cuando el abastecimiento de aire comprimido no es suficiente, baja la presión, resultando una reducción muy considerable de la potencia de las herramientas neumáticas, ya que un escape de aire queda reflejado en el manómetro. Por lo cual, la caída de presión será más rápida cuanto más grande sea la fuga de aire.

Como en la práctica es imposible eliminar la totalidad de las fugas de aire comprimido, se debe hacer una evaluación global de ellas y obtener los costos en los que se incurriría en el mantenimiento y supervisión de las mismas, ya que éstos no deben exceder las ventajas económicas que represente la ausencia de fugas en el sistema. Ver figura No 12.

Un método simple para medir el total de fugas en el sistema es emplear la capacidad del compresor y un reloj común. El procedimiento varía dependiendo del tipo de compresor. Con compresores de paletas rotativas o compresores de tornillo, se carga el sistema durante un minuto, luego se para el compresor hasta que la presión caiga 1bar (14,5 psi). El compresor se arranca nuevamente y se toma el tiempo necesario para que el sistema recupere 1bar. Se calculan entonces las fugas a partir de la capacidad del compresor.

El cálculo de fugas se realiza a partir de la siguiente ecuación:

ECUACION 3
$$L = \frac{QT}{(T+t)}$$

Donde:

L = Total de fugas del sistema en NI/s.

Q = Capacidad del compresor en NI/s.

T = Tiempo prendido en segundos.

t = Tiempo apagado en segundos

En la siguiente tabla se indican los valores recomendados de pérdida de carga en cada zona de una instalación fija de aire comprimido:

Caída de presión en ramal principal	0,02 bar
Caída de presión en tuberías de distribución	0,05 bar
Caída de presión en tuberías de servicios	0,03 bar
Caída de presión total en instalación de tuberías fijas	0,10 bar

Tabla No.9 Pérdida de carga en cada zona de una instalación fija de aire comprimido.

Pérdida de presión debida a válvulas y accesorios

Cuando un fluido se desplaza uniformemente por una tubería recta, larga y de diámetro constante, la configuración del flujo indicada por la distribución de la velocidad sobre el diámetro de la tubería adopta una forma característica.

Cualquier obstáculo en la tubería cambia la dirección de la corriente en forma total o parcial, altera la configuración característica de flujo y ocasiona turbulencia, causando una pérdida de energía mayor de la que normalmente se produce en un flujo por una tubería recta. Ya que las válvulas y accesorios en una línea de tuberías alteran la configuración del flujo, producen una pérdida de presión adicional.

La pérdida de presión total producida por una válvula o accesorio consiste en:

1. La pérdida de presión dentro de la válvula.
2. La pérdida de presión en la tubería de entrada es mayor de la que se produce normalmente si no existe válvula en la línea. Este efecto es pequeño.
3. La pérdida de presión en la tubería de salida es superior a la que se produce normalmente si no hubiera válvula en la línea. Este efecto puede ser muy grande.

Las pérdidas de presión en accesorios (válvulas, T, codos, etc.), a efectos de cálculo, y con la misión de encontrar un resultado rápido con una aproximación aceptable, basta añadir, a la longitud propia de la tubería que estamos proyectando, un suplemento de longitud de tubería que compense la pérdida de presión ocasionada por dichos elementos, como se muestra en la tabla N° 16. Longitud de tubería equivalente para elementos utilizados en conducciones.

Existe una formulación matemática, la ecuación de Darcy-Weisbach, que permite calcular la pérdida de carga en un tramo longitud de tubería mediante la siguiente expresión:

$$\Delta P = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

Donde,

Δp es la pérdida de carga medida según la altura manométrica (m.c.a.)

L es la longitud de tramo de la tubería (m)

D es el diámetro interior de la tubería (m)

v es la velocidad del aire en el interior de la tubería (m/s)

g es la aceleración de la gravedad (9,81 m/s²)

f es el factor de fricción de Darcy-Weisbach.

De la anterior expresión dos los parámetros son conocidos, salvo el factor de fricción (f). En efecto, la velocidad del aire por la tubería (v) está relacionada con el caudal o flujo de aire (Q), que es un dato conocido proveniente del consumo necesario de cada punto de suministro.

$$Q = v \cdot A$$

Donde:

Q es el caudal volumétrico o flujo de aire (m³/s)

v es la velocidad del aire en el interior de la tubería (m/s)

A es el área de la sección interna de la tubería ($\pi \cdot D^2 / 4$) (m²)

En las instalaciones de aire comprimido la velocidad máxima recomendada para la circulación del aire por las tuberías está entre los 5-10 m/s, por lo que conocido el caudal (Q) necesario para el consumo y tomando una velocidad de circulación en ese intervalo, se obtiene de la expresión anterior el diámetro interior de la tubería (D). Por lo tanto es el factor de fricción (f), la gran incógnita a calcular. El factor de fricción (f), es un parámetro a dimensional que depende del número de Reynolds (R_e) del fluido (en este caso, del aire) y de la rugosidad relativa de la tubería (ε_r)

$$f = f(R_e, \varepsilon_r)$$

Donde el número de Reynolds (R_e) viene expresado por la siguiente formulación:

$$R_e = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu}$$

Siendo:

ρ la densidad del fluido, en este caso del aire ($\rho_{aire} = 1,18 \text{ kg/m}^3$ a $25 \text{ }^\circ\text{C}$)

v es la velocidad del aire en el interior de la tubería (m/s)

D es el diámetro interior de la tubería (m)

μ es viscosidad dinámica del fluido, en este caso del aire ($\mu_{aire} = 1,76 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m}\cdot\text{s}$)

Por otro lado, la rugosidad relativa de la tubería (ε_r) viene dada en función de la rugosidad absoluta (K) del material del que está fabricada la tubería y de su diámetro interior (D) de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\varepsilon_r = \frac{K}{D}$$

RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES			
Material	K (mm)	Material	K (mm)
Plástico (PE, PVC)	0,0015	Fundición asfaltada	0,06-0,18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01	Fundición	0,12-0,60
Tubos estirados de acero	0,0024	Acero comercial y soldado	0,03-0,09
Tubos de latón o cobre	0,0015	Hierro forjado	0,03-0,09
Fundición revestida de cemento	0,0024	Hierro galvanizado	0,06-0,24
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024	Madera	0,18-0,90
Fundición centrifugada	0,003	Hormigón	0,3-3,0

Tabla No.10 Rugosidades absolutas de materiales

Por otro lado, en el transporte de fluidos por el interior de tuberías, y el aire es un fluido, existen dos régimen: laminar y turbulento. Para cada fluido, y para una sección de tubería, a una temperatura determinada, existe una velocidad crítica (v_c) por debajo de la cual el régimen es laminar. Este valor crítico que marca la transición entre los dos regímenes, el laminar y el turbulento, se corresponde con un $R_e = 2300$, aunque en la práctica, entre 2000 y 4000 la situación es bastante imprecisa. Por lo tanto, en función del valor del número de Reynolds (R_e) se tiene que:

- $R_e < 2000$: Régimen laminar.
- $2000 < R_e < 4000$: Zona crítica o de transición.
- $R_e > 4000$: Régimen turbulento.

Este concepto es importante conocerlo, porque la expresión para calcular el factor de fricción (f) es distinta según si el régimen es laminar o turbulento. Así se tiene que:

- Régimen laminar

En este caso el factor de fricción (f) depende únicamente del número de Reynolds a través de la ecuación de Poiseuille:

$$f = \frac{64}{R_e}$$

Expresión que resulta sencilla de aplicar para calcular el factor de fricción (f) en función del Reynolds (R_e).

- Régimen turbulento

Para el régimen turbulento este cálculo ya no es tan inmediato dado que el factor de fricción (f) depende tanto del número de Reynolds como de la rugosidad relativa de la tubería. En este caso existen diversas formulaciones que pueden ser utilizadas para el cálculo del factor de fricción:

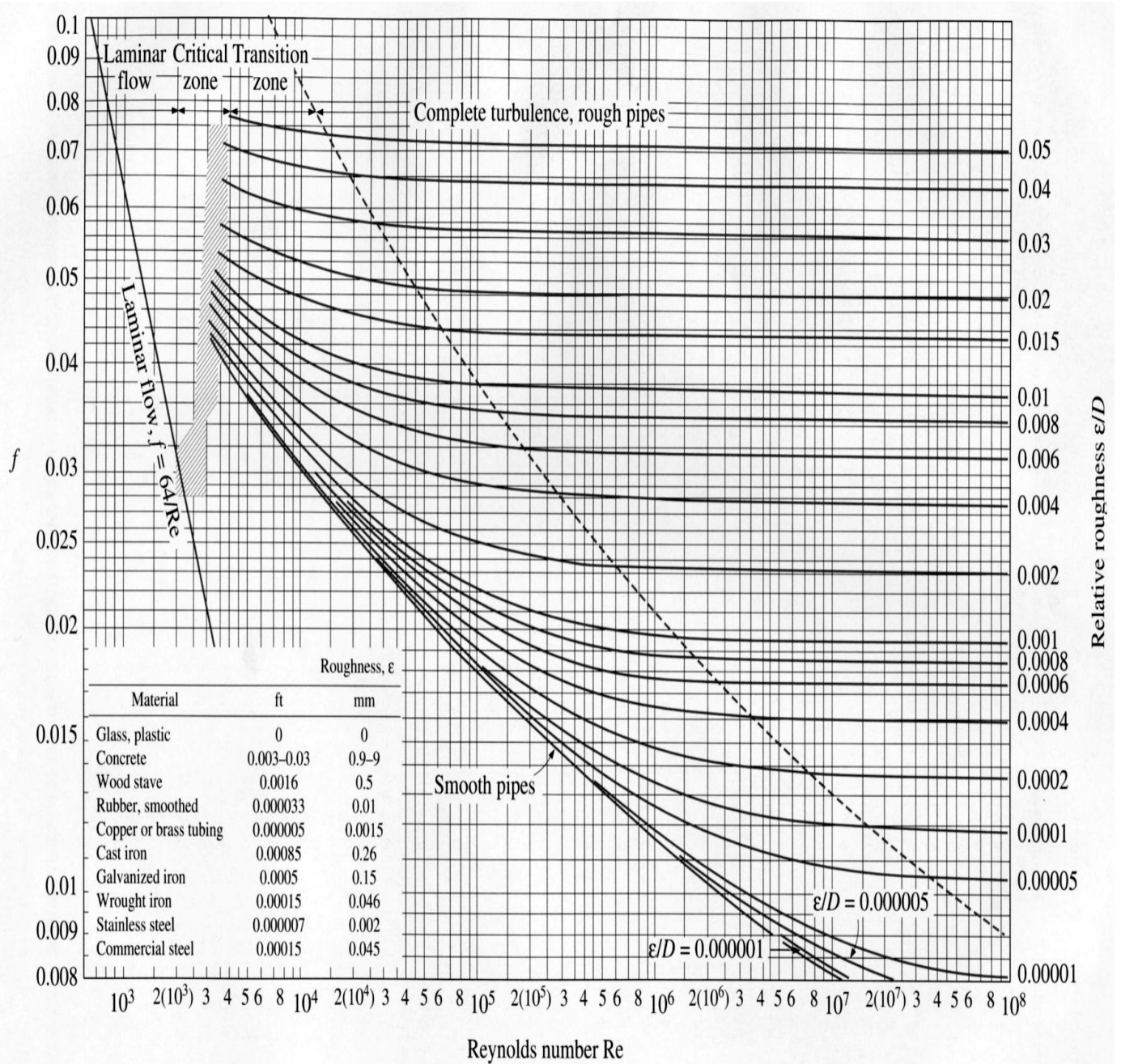


FIGURE A-27

The Moody chart for the friction factor for fully developed flow in circular tubes.

Figura No.13 Diagrama de Moody

Afortunadamente, además de estas expresiones existen representaciones gráficas y ábacos empíricos que nos permiten calcular cómodamente el factor de fricción (f). Uno de ellos es el **Diagrama de Moody** que es la representación gráfica en escala doblemente logarítmica del factor de fricción (f) en función del número de Reynolds (R_e) y de la rugosidad relativa de la tubería. No obstante, existen diagramas empíricos, que suministran la mayoría de casas comerciales, y que permiten obtener ya directamente la caída de presión en tramos rectos de tuberías en función de la longitud de tubería considerada, su diámetro interior, el caudal de aire que circula y su presión (ver figura No 13.)

Así pues, la ecuación de Darcy-Weisbach proporciona, como ya se vio, la expresión para calcular la pérdida de carga en cada tramo recto de tubería. Para calcular la pérdida de carga en otras situaciones (codos, derivaciones en T, bifurcaciones, reducciones, válvulas...) se sustituye cada accesorio de estos por unas longitudes de tubería equivalente, para posteriormente calcular su pérdida de carga como si se tratara de tramos rectos de tubería. Tabla N° 4

Sistema de acumulación de aire comprimido

La planta cuenta con dos acumuladores o pulmones de aire comprimido, una vez que se ponen en marcha los compresores, el aire suministrado por cada uno de ellos, es dirigido hacia donde están ubicados los pulmones de aire, el primero tiene como función almacenar, también contribuir al enfriamiento y separación del condensado y el segundo entregar aire comprimido durante picos de demanda.

Cálculo del depósito del almacenamiento de aire

En las instalaciones centralizadas, el gasto de aire comprimido se realiza en varios puntos y por lo general, de forma intermitente y no uniforme, dependiendo de las necesidades de utilización. Sucede que en un determinado momento se necesite una gran cantidad de aire comprimido a la presión normal de distribución, normalmente sería necesario poner en marcha el compresor y esperar que la red de distribución éste completamente a la presión demandada, para evitar este inconveniente se instala un depósito a la salida del compresor que debe estar dimensionado de acuerdo con el máximo caudal instantáneo de la instalación.

El volumen que un depósito debe tener, depende principalmente del flujo de aire, el volumen puede elegirse en la tabla 11

Tabla No.11 Volumen de depósitos de aire comprimido

Caudal Lit/ min.	Caudal m³/min.	Volumen deposito m³
1.6 – 4.0	0.1 – 0.25	0.15
4.0 – 8.0	0.25 – 0.5	0.25
8.0 – 16.5	0.5 – 1.0	0.375
16.5 – 50.0	1.0 – 3.0	0.5
50.0 – 270	3.0 – 16.0	1
270 – 500	16.0 – 30.0	2
500 – 1000	30.0 – 60.0	4

En la planta se tiene proyectado conectar un compresor mas al depósito, dicho compresor nos dará un caudal total de 250 pie³/ min, según la tabla N° 14, por lo tanto haciendo la conversión nos da 8.25 m³/min por lo que tomando en cuenta la tabla N° 11 nos situamos en el rango de 16.0 a 30.0 m³/min por lo que nos da un deposito de 2 m³, pero en la planta se tienen dos depósito que tiene un volumen de 18.92 m³, son depósitos mas grande de lo necesario pero a la vez es mejor ya que la función principal del depósito es almacenar aire comprimido y también previendo futuras ampliaciones.

Estaciones de acondicionamiento de aire comprimido

La empresa cuenta con dos secadoras de aire comprimido. En los sistemas de secado el aire se somete a un proceso de des humidificación posterior al tanque acumulador, los secadores existentes utilizan las bajas temperaturas para este fin, dado que; la capacidad del aire para retener vapor de agua, disminuye con la temperatura. Estos cuentan con un pos-enfriador,

encargado de bajar la temperatura del aire, condensando la mayor parte del agua que posteriormente se extrae, en una trampa de condensado.

Humedad absoluta:

Es el peso del vapor de agua, expresada en kg, existente en un kilogramo de aire seco. Se representa por la letra W.

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

Determinar la humedad del aire

Por medio del método detallado en la ecuación W, se determinará la cantidad de agua presente en la red y su temperatura de punto de rocío, para demostrar que la red de aire está trasladando agua hacia los puntos de utilización. Con una humedad relativa de 76%, correspondiente al promedio de los meses de Abril a Septiembre de los años 2012– 20013, son considerados solamente estos meses por ser aquellos en que se presenta el porcentaje de humedad más alto.

Entonces, utilizando una temperatura promedio de 23°C, tomada en el acumulador, se obtiene la presión del vapor de agua de la tabla de presiones de vapor de agua

$$W = \frac{0,622 \cdot 0,028 \text{ bar}}{(7,8-0,028) \text{ bar}} = \frac{0,0025 \text{ kg de vapor de agua}}{\text{kg de aire seco}}$$

$$W = \frac{76 \times 0,025}{100} = \frac{0,0017 \text{ kg de vapor de agua}}{\text{kg de aire seco}}$$

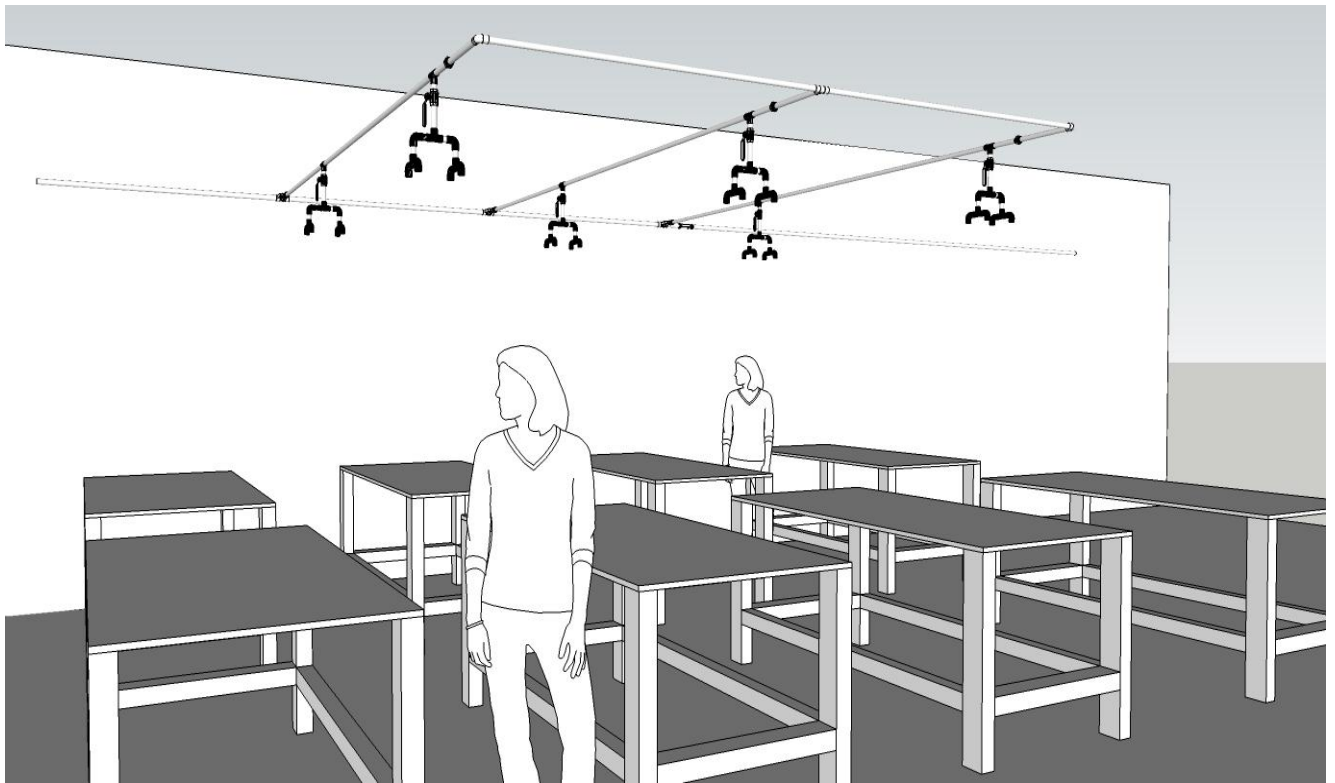


Figura 14 Diseño de red de distribución propuesto

LEVANTAMIENTO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO PROPUESTA

Para el levantamiento de campo de las líneas de alimentación de aire comprimido se procedió a efectuar las mediciones requeridas y toma de especificaciones de cada equipo y accesorios presente en dicha instalación de manera ordenada, sistemática y objetiva, para poder establecer con suficiente precisión la distribución actual del área de acabado, ya que ésta carecía de dichos planos. Por lo tanto, una vez recopilada la información tomada en el sitio, se elaboró los isométricos correspondientes a la red utilizando el software sketchup, los cuales son mostrados en el anexo.

Teniendo el caudal real que las máquinas consumen se puede calcular la cantidad de aire que es necesario que generen los compresores, como ya se dijo, se debe sumar a este consumo un 10% relativo a pérdidas por fuga y un 20% para futuras ampliaciones, para el cálculo se consideraron todas las máquinas, incluso aquellas que funcionan esporádicamente ya que existe la posibilidad de que se encuentren todas las máquinas funcionando simultáneamente, debiendo la red ser capaz de suministrar aire a cada una de ellas sin problemas.

Tabla No. 12 Consumo en CFM de aire comprimido en la planta

DEPARTAMENTO	EQUIPO NEUMATICO	MAQUINARIA	TOTAL DEPART.
Acabados	254.20	24.00	278.20
Corte Basto	3.28	17.60	20.88
Enchape	-	1.00	1.00
Ensamble	500.58	39.50	540.08
Hornos y Calderas	-	10.00	10.00
Muestras y Plantillas	-	4.92	4.92
Maquinado	10.00	24.00	34.00
Plywood	-	15.00	15.00
ESTIMADO TOTAL PLANTA			CFM 904.08

Análisis del consumo en cada proceso

Es decir que el consumo de aire libre que se tiene a una presión de trabajo de 7 bar (120 Psi) es de 904.08 CFM. Sin embargo este dato en absoluto no es real, puesto que cada herramienta Tiene su tiempo de inactividad, según la índole de su trabajo, que se llama *coeficiente de utilización*. Multiplicando éste coeficiente de utilización por el consumo total de cada herramienta nos dará el consumo real y encontrando el promedio ponderado de los coeficientes de utilización se tendrá el *coeficiente de simultaneidad* de la utilización del aire comprimido para la planta Millworks.

A continuación se puede observar la tabla No 12. Que contiene los datos calculados con el coeficiente de utilización de las máquinas que trabajan en las diferentes líneas de producción.

Como pauta, un margen entre el 10 y 15 % de la capacidad del compresor, habría de destinarse a paliar el escape de aire por fugas, y tenerlo bien en cuenta al ir a considerar el caudal de aire libre proporcionando por el compresor.

Con los datos de la tabla N° 5 puede observarse que se tiene un dato preliminar de 19.49 m³/min. de consumo de aire, se calculó el coeficiente de simultaneidad y dio como resultado el 90%, entonces aplicándolo para todos los equipos de la línea de acabado se tiene lo siguiente: 19.49 m³/min. * 0.90 = 17.54 m³/min. Por lo que respecta a la capacidad del compresor o los compresores hay que partir del consumo total de la planta, al cual habrá que añadir un 15% por pérdidas de aire admisibles por fugas, así como sumarle un 30% para prever posibles ampliaciones, de manera que se tiene la siguiente información.

Consumo de aire 17.54 m³/min.

15% pérdida por fugas 3.85254 m³/min.

30% ampliación 7.70508 m³/min.

Total 82.733 m³/min.

Esto quiere decir que el compresor o grupo de compresores, debe cubrir

Como mínimo, 82.733 m³/min. a una presión de trabajo de 7 bar (120 Psi.)

Caudal comprimido en el día

De 8 a 12 hs y 13 a 17 hs la planta tiene su plena producción.

- En función: ramales A, B, C y D.
- Su caudal de aire libre: 19.49 Nm³/min.
- Su caudal a presión de servicio 7 bar: 2.05 m³/min.
- De 12 a 13 hs la planta disminuye su producción.
- En función: ramales A, B, y D.
- No se produce en C.
- Su caudal de aire libre: 16,49 Nm³/min.
- Su caudal a presión de servicio 7 bar: 1,87 m³/min.
- De 17 a 8 hs la planta disminuye su producción.
- En función: ramales. B, y D
- No se produce en A, C.

- Su caudal de aire libre: 14,41 Nm³/min.
- Su caudal a presión de servicio 7bar: 1,82 m³/min.

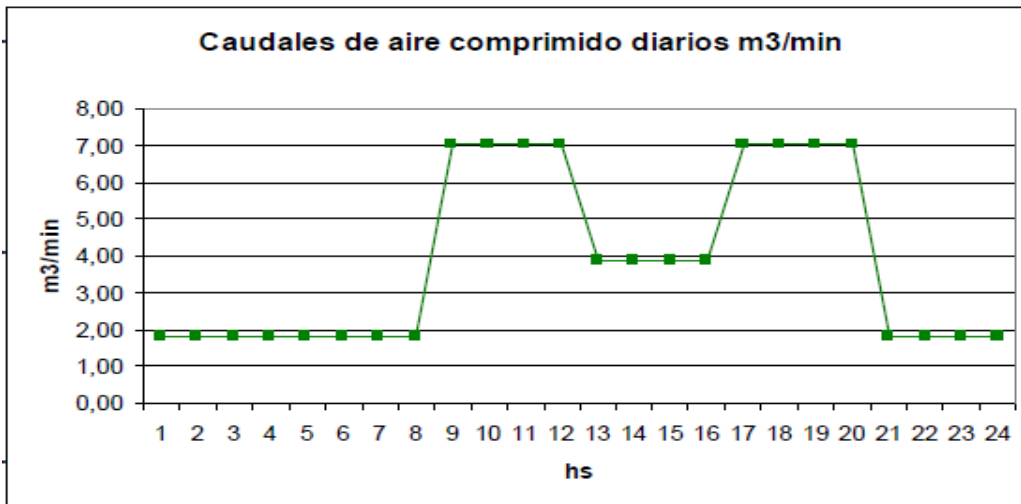


Figura No. Caudal comprimido en el día

La tubería que se utilizara en el rediseño es tubo galvanizado cedula 40 de 1 pulgadas de diámetro para la tubería principal y de diámetro de 1/2 pulgada para la tubería secundaria y de servicio, en la tabla N° 13 podremos observar la lista de materiales a utilizar en el rediseño.

Los datos que a continuación se presentan fueron obtenidos del plano de nuevo diseño de la red de aire comprimido, en el cual se tiene un total de todos los materiales y accesorios a utilizar.

MEJORA DE RED DE AIRTE COMPRIMIDO PARA PLANTA MILLWORKS			
PRESUPUESTO PARA NUEVOS PUNTOS DE TRABAJO			
Área	Acabado	Precio unitario	Precio total
Puntos de trabajo	24		
Materiales	Cantidad		
Tubos galv. de 1-1/2	4	C\$ 1,486.00	C\$ 5,944.00
T de 1-1/2	2	C\$ 86.00	C\$ 172.00
Codos de 1-1/2	3	C\$ 69.00	C\$ 207.00
Unión maniable de 1-1/2	3	C\$ 181.00	C\$ 543.00
llave de pase de 1-1/2 (Cierre rapido de bronce)	3	C\$ 763.00	C\$ 2,289.00
Reductor bushin de 1-1/2 a 3/4	6	C\$ 43.00	C\$ 258.00
Niple de 3/4X2	2	C\$ 15.00	C\$ 30.00
llave de pase de 3/4 (Cierre rapido de bronce)	5	C\$ 231.00	C\$ 1,155.00
Tubos galv. de 3/4	15	C\$ 621.00	C\$ 9,315.00
Unión maniable de 3/4	7	C\$ 106.00	C\$ 742.00
Codo de 3/4	8	C\$ 24.00	C\$ 192.00
T de 3/4	18	C\$ 29.00	C\$ 522.00
Reductor bushin de 3/4 a 1/2	19	C\$ 15.00	C\$ 285.00
Niple de 1/2X2	43	C\$ 13.00	C\$ 559.00
llave de pase de 1/2 (Cierre rapido de bronce)	19	C\$ 140.00	C\$ 2,660.00
T de 1/2	26	C\$ 23.00	C\$ 598.00
Niple de 1/2 X6	52	C\$ 36.00	C\$ 1,872.00
Codo de 1/2	52	C\$ 15.00	C\$ 780.00
Reductor bushin de 1/2 a 1/4	45	C\$ 10.00	C\$ 450.00
Niple de 1/4X2	21	C\$ 23.00	C\$ 483.00
Acople rapido hembra rosca 1/4 NPT macho	45	C\$ 103.50	C\$ 4,657.50
Acople rapido macho o espiga, rosca 1/4 NPT hembra	45	C\$ 39.20	C\$ 1,764.00
Unidad de manto. de 3/4	2	C\$ 7,500.00	C\$ 15,000.00
Cable de acero de 3/16	100	C\$ 18.00	C\$ 1,800.00
Grilletes de 3/16	60	C\$ 12.75	C\$ 765.00

Conector cola de garrobo de 1/4 NPT macho con espiga para manguera plástica de 3/8	54		C\$ 0.00
Manguera plástica en espiral de 1/4 X7 m, 200 PSI.	45	C\$ 174.00	C\$ 7,830.00
Manguera de hule de 1/4	0	C\$ 52.48	C\$ 0.00
Teflon de cañería	22	C\$ 20.00	C\$ 440.00
Imprevistos	1		C\$ 0.00
			C\$ 0.00
		TOTAL:	C\$ 61,312.50
			\$2,502.55

Tabla No. 13 Presupuesto de materiales a utilizar en instalación de red de suministro nueva

Diseño de la instalación

La red de distribución de aire comprimido deberá dimensionarse de tal forma que la caída de presión máxima entre la salida del compresor y el punto de consumo más lejano sea como máximo de 0,1 bar. A esta caída de presión habría que añadirle las pérdidas finales originadas en la manguera flexible de conexión y otros conectores con el instrumento o utensilio que constituye el punto de consumo.

La mejor forma de implantar la línea de distribución es formando un anillo cerrado alrededor de la zona de consumo de aire, del que cuelgan los ramales hasta los puntos de consumo final. Con ello se consigue una alimentación uniforme dado que cada punto recibe el aire desde dos direcciones, aunque los consumos sean intermitentes.

En todo diseño de un sistema de aire comprimido se recomienda seguir la siguiente secuencia lógica de etapas:

ANALISIS Y DISCUCION DE LOS RESULTADOS

En el marco de este capítulo se exponen las técnicas aplicadas para la evaluación de las condiciones actuales de funcionamiento del sistema de aire comprimido, en base a la identificación de la capacidad requerida, se analizara la capacidad instalada de producción para el anexo de la red de distribución de aire, su confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad, y como consecuencia se desarrollan alternativas evaluadas técnicamente, en busca de mejorar el sistema. Por medio del rediseño de la red de distribución de aire comprimido en el área de acabado, se irán presentado los resultados en función de los objetivos específicos planteados.

Uno de los aspectos más importantes es el estudio de la sala generadora de aire, así como las fugas en tuberías y accesorios de la red de distribución, en función de su origen, pueden ser dependientes (no atribuibles al equipo) e independientes (atribuidas al equipo en sí), así las primeras se producen por: desconocimiento de las prácticas de trabajo, uso inadecuado de herramientas, falta de mantenimiento o realización inadecuada del mismo, escasez de repuestos, y presencia de agentes contaminantes; mientras que las segundas se atribuyen al desgaste del equipo, ruidos anormales, sobre carga de demanda, ciclos de operación prolongados más de lo normal, y desajustes de tuberías.

1. EVALUAR LAS CONDICIONES DE LOS EQUIPOS Y LAS REDES DE SUMINISTRO UBICADOS EN LA PLANTA DE ESTUDIO.

Al evaluar la situación actual de la red de aire comprimido, como también la de sus compresores podemos decir que la red actual de aire comprimido, tiene algunas deficiencias como un mal diseño de instalación de tuberías sin ninguna base técnica, por lo que se da sin tomar en cuenta la pérdida de eficiencia que le causan las mismas, ya que conforme se fue necesitando el fluido de aire se fueron colocando tuberías de distintos diámetros.

Podemos aseverar que las fugas deben ser inaceptables en una red de aire comprimido ya que cuestan dinero, según cálculos estimados el costo total de dinero en dólares que presenta la empresa al operar sus compresores con fugas en el sistema haciendo a U\$17,800 al año



Figura No. Fuga de aire en tuberías y accesorios

Lo que sucede en la planta Millworks es que cuando el abastecimiento de aire comprimido es deficiente baja la presión y da como resultado una reducción muy considerable de la potencia de las herramientas neumáticas pues un escape de aire queda reflejado en el manómetro, se puede mencionar que la caída de presión en la planta sucede debido a una gran cantidad de fugas que son una pérdida de aire continua. En la tabla N° 9 se muestran las pérdidas de aire libre a una presión de trabajo de 70 y 100 psi.

También podemos decir que en la red actual de tubería no hay un sistema de purgas con una inclinación de las tuberías para que en las partes más bajas se deposite el condensado del agua por lo que esto mismo ha provocado corrosión y desgaste en las tuberías metálicas instaladas que son de tubo cedula 40, por lo mismo pueden en cualquier instante romperse debido a que ya no son capaces de soportar la presión a la cual se trabaja en la planta por lo cual obliga a realizar labores de mantenimiento correctivo.

La red de aire presenta humedad de 0,0017kg vapor de agua/kg de aire seco, por lo cual, se hace necesaria la utilización pendientes en las tuberías, además la utilización de filtros – reguladores y filtros - reguladores - lubricadores, con la finalidad de que el aire que llegue a las máquinas no sólo llegue seco, sino que también limpio.

- Las tuberías de aire no se encuentran pintadas.
- Las tuberías no poseen pendiente, lo que provoca que el vapor de agua condensado sea trasladado hacia los consumidores. La red de aire presenta humedad de 0,0017kg vapor de agua/kg de aire seco
- No se realizan mantenimientos a la red de aire.
- Fugas en varios sectores de la red de aire. Tabla No 6.
- Se puede hacer un ahorro considerable al eliminar las fugas de aire y las pérdidas de carga de la red, las cuales ascienden a **U\$ 17,800 anuales.**

2. IDENTIFICACION LA CAPACIDAD REQUERIDA DEL CONSUMO DE AIRE EN PLANTA.

Para evaluar la capacidad requerida de consumo en la planta es necesario conocer el consumo del conjunto de utilidades del aire comprimido en la planta, se ha hecho el cálculo de la demanda de flujo de aire de maquinaria y equipo de la planta, basándose en cálculos de gastos de aire hecho por los equipos, así como también tomando como referencia tablas donde se encuentra el consumo de aire para diversas herramientas y equipos, por lo que al elegir un compresor debemos de asegurarnos de que su capacidad venga también expresada en aire libre en (litros/min, m³/min, pie³/min), suministrado a 7 bar.

Las maquinas y equipos que se encuentra en la planta tiene un consumo total de aire de 904.08 CFM, ver tabla N° 7 por lo tanto una vez concretadas las necesidades de aire comprimido es muy importante considerar el números de compresores a instalar, en el caso de la planta Millworks, cuenta con 3 compresores de los cuales se tiene planificado instalar 1 compresor mas.

Tabla No. 14 capacidad del compresor a instalar

Compresor Marca	HP	CFM	KW	Costo en U\$
KAESER	60	400	45	20,000

En lo que respecta a la capacidad de los compresores, hay que partir del consumo total de la planta el cual es de 904.08 Pie³/ min, ya que una solución puede ser instalar un compresor de mayor capacidad ya que según la tabla el compresor uno, dos y tres, producen cada uno 250 CFM por lo que en total me producen 750 CFM, es decir que con estos tres compresores no se debe cubrir los 904.08 CFM que demanda la planta.

En este caso los tres compresores estarán normalmente en funcionamiento mientras que el compresor numero 4 según la tabla, produce 300 CFM este solventara el déficit de caudal que presenta la planta y cubrirá la nueva demanda del rediseño propuesto, además proporcionara una reserva para cualquier emergencia, en el momento que falle cualquiera de los otros compresores, teniendo un conjunto de compresores tendremos 3+1 o sea añadir uno como reserva, es recomendable disponer de un compresor de reserva ya que de esta forma, se tiene la seguridad de un trabajo continuo.

Consumo de CFM de aire comprimido consumido en la planta

DEPARTAMENTO	EQUIPO NEUMATICO	MAQUINARIA	TOTAL DEPART.
Acabados	254.20	24.00	278.20
Corte Basto	3.28	17.60	20.88
Enchape	-	1.00	1.00
Ensamble	500.58	39.50	540.08
Hornos y Calderas	-	10.00	10.00
Muestras y Plantillas	-	4.92	4.92
Maquinado	10.00	24.00	34.00
Plywood	-	15.00	15.00
ESTIMADO TOTAL PLANTA			CFM 904.08

3. ANALIZAR LA CAPACIDAD INSTALADA PARA PRODUCCION EN LINEA ACABADO.

Son muchas las unidades usuarias en planta, primordiales y secundarias que requieren de este servicio industrial por esta razón se debe garantizar la capacidad operativa del Sistema productivo y de distribución de aire comprimido, a fin de mantener disponibilidad de los equipos que lo integran, garantizando con ello, la generación de un servicio óptimo en cantidad, oportunidad y calidad, que satisfaga los requerimientos de la línea de acabado y permitan cumplir con las ordenes de su proceso productivo.

Para ello la empresa cuenta con una capacidad instalada de producción de aire comprimido de 750 CFM y dos tanques de almacenamiento con capacidad de 250 CFM, además se cuenta con una red de distribución del suministro que atraviesa toda la planta con una longitud total de 200 m lineales de tubería galvanizada cedula 40 de diferentes diámetros ver Figura No 8. Y un área total de sus instalaciones de 9,150 m² los cuales se distribuyen de la siguiente manera ver tabla No 1.

AREA	DIMENSIONES
Techada (Edificio Industrial)	1,200 m ²
Techada (Edificio Administrativo)	750 m ²
Áreas verdes	7,200 m ²
Dimensión total	9,150 m²

Evaluación de generación de aire

La generación de aire teórica se obtuvo, tal como se dijo en la Metodología a Través del manual que cada compresor poseía, se muestra un resumen de las Principales características de éstos

Tabla. Capacidad en HP y Kw de los compresores

No. Compresores	Marca	Hp	Kw	Capacidad en CFM	horas/ año de operación
1	Ingersoll Rand	50	55	250	3,120
2	Sullair 3700	50	72	250	3,120
3	Sullair 3700	50	72	250	3,120
	total	150	199	750 CFM	3,120

4. PROPONER EL REDISEÑO DE LA RED DE SUMINISTRO DE AIRE COMPRIMIDO PARA GARANTIZAR ESTE RECURSO EN LA PLANTA.

Como resultado de haber analizado la situación actual de la red de aire comprimido de la planta Millworks podemos mencionar que es de vital importancia hacer un mejoramiento de la red de aire comprimido, después de conocer la demanda de aire comprimido y presión en la planta, así como la cantidad de aire comprimido que nos producen los dos compresores.

Por lo tanto podemos decir que en base a dichos resultados podemos ya tener una base para una mejora en la red de aire comprimido en la cual se tenga que hacer un cambio parcial de toda la red de tubería es decir ir hacia una mejora continua, con lo cual se va hacer una reestructuración de la red, que conlleva hacer una inversión económica, que va a garantizar este recurso en la línea de acabado.

En virtud de lo anteriormente señalado, se realizo un diseño del área que se va a anexar a la red, el cual está compuesto de su respectivo planos de distribución ver figura No 14., así como de la lista de materiales, con sus respectivos costos que servirán para presupuestar la inversión ver tabla No 13. La propuesta de rediseñar el sistema de aire comprimido y la red de distribución para la línea de acabado de la Empresa, que brindará los siguientes beneficios:

- Incrementar la confiabilidad del sistema de aire comprimido en cantidad, calidad y oportunidad, garantizando los requerimientos del proceso productivo de la empresa con una presión de trabajo continua que oscile entre 100-150 PSI.
- Disminuir los costos de operación y Mantenimiento.
- Reducir en un 76% el número de paros operativos innecesarios, y por ende aumentar la productividad y disminuir los tiempos de entrega y de almacenamiento.

➤ Disminuir el consumo de energía eléctrica, a través de la eliminación de fugas en tuberías de distribución de aire comprimido, así con un óptimo almacenamiento del suministro para satisfacer la demanda en los equipos y máquinas.

Tales condiciones inciden de tal forma en el rendimiento económico de una instalación de aire comprimido, que habrá que tomar las precauciones posibles para asegurarse un buen comportamiento. Por lo tanto es preciso obtener, por todos los medios, rentabilidad a esta inversión, y la única forma de conseguirla consiste en diseñar correctamente una instalación conforme a la finalidad de cada caso particular

En la tabla se muestra el costo total de fugas mensuales, en el sistema.

Área	Departamento	Cantidad de fugas	Kw de pérdida por cada fuga.(1.34 CFM)	Kw, totales de Pérdida	Horas de trabajo	Costo del Kw-h con subsidio (U\$)	Costos del Consumo por fugas
Millworks	Corte basto	3	0.333	0.999	9	0.144	1.294704
	Lijado	9	0.333	2.997	9	0.144	3.884112
	Maquinado	2	0.333	0.666	9	0.144	0.863136
	Acabado	6	0.333	1.998	9	0.144	2.589408
Agroforestal	Cepillo	0	0.333	0	9	0.144	0
	Corte basto	1	0.333	0.333	9	0.144	0.431568
	Finger Joint	5	0.333	1.665	9	0.144	2.15784
	Paneles	2	0.333	0.666	9	0.144	0.863136
Mantenimiento	Compresores	1	0.333	0.333	9	0.144	0.431568
Costos Diarios (\$)							12.515472
Costos Mensuales (\$)							300.371328

NOTA: Costo por hora de aire comprimido

C\$ 113.40

Costo anual de operar el compresor uno con 8 fugas = CAOC

CAOC = Costo de una fuga × número de fugas

CAOC = U\$ 2160 × 8 = U\$ 17,280.00

CONCLUSIONES

A través de la metodología de cálculos presentada, se fueron obteniendo resultados, con la finalidad de evaluar la situación actual del sistema de aire comprimido de la empresa, con el fin de conocer y valorar la problemática del sistema de aire, su estructura y elementos que lo integran para presentar una solución.

Concluyendo el primer objetivo tenemos que, al evaluar la red de aire se encontraron bastantes falencias, que indican la falta de estudio y de mantenimiento del sistema, algunas de ellas son: fugas de aire hasta con un 40% del volumen de producción y un costo energético anual del orden de U\$17,800/ año, tuberías de aire mal diseñadas sin pendientes para la eliminación de condensado por esta razón el aire está siendo distribuido con un humedad de 0,0017 kg vapor de agua/kg de aire seco,

Seguidamente en el segundo objetivo tenemos que, al identificar la capacidad requerida del consumo de aire en la planta, se determino que el sistema actual no satisface la demanda existente, por esta razón el sistema presenta una caída de presión en los puntos más altos de consumo, basado en la demanda total de 904.08 CFM de equipos y maquinas de la planta en comparación con el flujo de aire libre producido de 750 CFM por la sala de compresores, por esta razón se realizo un dimensionamiento de el nuevo compresor que se propone implementar para compensar la demanda existente, este proporcionara un caudal de 300 CFM de aire libre al sistema que completara el déficit y también proporcionara 146 CFM adicionales, así como el dimensionamiento de los tanques de acumulación de aire comprimido así se acumulara energía para abastecer los picos de demanda de consumo, de esta manera estabiliza el suministro, compensa las oscilaciones de presión en la red de tuberías a medida que se consume el aire, además contribuirá al enfriamiento y separación del condensado.

En el tercer objetivo, se analizó la capacidad instalada de producción en la línea de acabado con el fin de garantizar la capacidad operativa del sistema productivo y de mantener disponibilidad de los equipos que la integran garantizando el servicio óptimo de sus productos, la empresa cuenta con una capacidad instalada de producción de aire comprimido de 750 CFM y dos tanques de almacenamiento con capacidad de 250 CFM, además se cuenta con una red de distribución del suministro que atraviesa toda la planta con una longitud total de 200 m lineales de tubería galvanizada cedula 40 de diferentes diámetros, y un área techada industrial de sus instalaciones de 1,200 m² la que servirá para implementar el nuevo circuito de red de suministro en la línea de acabado para suministrar el recurso a 24 nuevos puntos de trabajo.

Finalmente cumpliendo con el cuarto objetivo, se realizó el rediseño de la red de aire comprimido, con su respectivo plano de distribución ver figura No 14., y la lista de materiales a utilizar y el costo del compresor propuesto, con sus respectivos costos que servirán para presupuestar la inversión ver tabla No 13. Cumpliendo con aquellos factores como son: velocidades dentro de los rangos permitidos, con lo que disminuyen las pérdidas de cargas, filtros, válvulas, reductores, acoples rápidos, lubricadores, tuberías en pendiente de 3% y pintadas en azul.

Este diseño implica una inversión de U\$22,502.55 correspondiente a la adquisición de un compresor, y tuberías de distribución de suministro, así como accesorios de conexiones, necesarios para la construcción de la red, pese al alto valor de la inversión, la construcción de esta red es necesaria para la empresa, ya que ha aumentado su demanda productiva a un ritmo acelerado y tiene tendencia a seguir creciendo, por tal motivo, al aumentar su productividad también aumentaría sus utilidades lo que le permitiría recuperar la inversión más rápidamente, de no implementar la solución propuesta, el costo para la empresa podría ser altísimo, ya que la línea de acabado carece de este recurso lo que está ocasionando demoras en el proceso y paros innecesarios a las líneas subsiguientes y la red actual no tiene la capacidad suficiente para proporcionar aire a las máquinas existentes lo que no aportaría en el crecimiento de la producción.

RECOMENDACIONES:

1. En la evaluación de campo del sistema de aire comprimido se encontraron deficiencias en cuanto a una gran cantidad de fugas en el sistema de distribución por lo que se recomienda que se deben eliminar las fugas de aire comprimido existentes en las diferentes áreas de la planta, ya que éstas, además de generar un excesivo consumo de energía eléctrica, inciden en las deficiencias de caudal y presión de aire.
2. En la identificación de la capacidad requerida de los compresores se encontró un déficit de producción del recurso, actualmente es maniobrado con los tanques de acumulación de esta manera se hace necesario, proceder a la adquisición de un nuevo compresor de tornillo con capacidad de suministrar 300 CFM, que solventaran la demanda existente.
3. Trimestralmente: controlar todas las uniones para comprobar si tienen fugas, limpiar válvulas, enjuagar o soplar cartuchos filtrantes o sustituirlos si procede.
4. Diariamente: vaciar el condensado acumulado en el depósito del filtro o utilizar un separador automático de condensado y, además, controlar el nivel de aceite del lubricador y, en caso necesario, rellenar aceite.
5. Se determinó la existencia de la mala práctica operativa por parte de los operadores del área de lijado y pintura, ya que estos utilizan el aire comprimido para fin personal en la limpieza de su cuerpo y vestimenta, lo que trae como desperdicio de $8 \text{ m}^3/\text{h}$ por cada manguera de $\frac{3}{4}$ pulg abierta según el Manual de Aplicaciones del Aire Comprimido Atlas Copco. Se recomienda impartir cursos de concientización al personal de operadores de la planta, sobre el costo de la energía utilizada en la compresión del aire.

BIBLIOGRAFÍA

[1]Atlas Copco. “**Manual sobre aire comprimido y su aplicación en la industria**”. (1991).

[2]Roberto Hernández Sampieri., “**Metodología de la investigación**”, Editorial McGRAWHILL. Impreso en México. (2006).

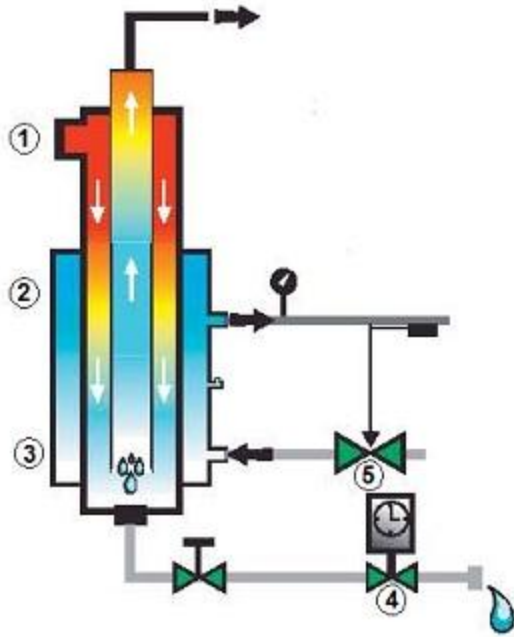
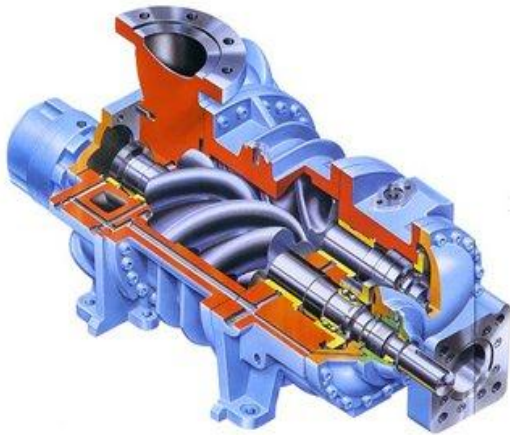
[3]Robert L. Mott “**Mecánica de Fluidos**”, 4º Edición: Pearson Prentice Hall Hispanoamericana 1996.

[4]Rodríguez J., “**Introducción a la termodinámica con algunas aplicaciones de ingeniería**”, Impreso en México (1998).

[5] Clemente Reza García., “**Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías**”, Editorial McGRAW-HILL. Impreso en México. (2006)












[6] Marcías Martínez M. “**Calculo de tuberías y redes de gas**”, Editorial Ediluz. Impreso en Maracaibo. (1993).

ANEXO



Pie cúbico de aire libre a 60°F, y 14.6 psia	Tamaño de la tubería (NPS)									
	½	¾	1	1 ¼	1½	2	2 ½	3	4	5
1	.007									
2	.014									
3	.031									
4	.055	.012								
5	.086	.019								
6	.124	.028								
8	.220	.050	.013							
10	.345	.078	.021							
15	.775	.175	.046	.011						
20	1.375	.311	.082	.020						
25	1.153	.486	.128	.031	.014					
30	3.101	.700	.185	.045	.020					
40	5.512	1.244	.328	.079	.035					
50	8.613	1.943	.513	.124	.055	.015				
60	12.402	2.799	.739	.179	.079	.021				
70		3.809	1.006	.243	.107	.029	.012			
80		4.975	1.314	.318	.140	.038	.016			
90		6.297	1.663	.402	.177	.048	.020			
100		7.774	2.053	.497	.219	.060	.025			
125		12.147	3.207	.776	.342	.093	.038	.012		
150			4.619	1.118	.492	.134	.055	.018		
175			6.287	1.522	.670	.183	.075	.024		
200			8.211	1.987	.875	.239	.098	.031		
250			12.830	3.105	1.367	.373	.153	.049	.011	
300				4.471	1.968	.537	.221	.071	.016	
350				6.086	2.678	.731	.301	.096	.022	
400				7.949	3.498	.955	.393	.125	.029	
450				10.061	4.428	1.209	.497	.159	.036	.011
500				12.421	5.466	1.493	.614	.196	.045	.014
550					6.614	1.806	.743	.237	.054	.016
600					7.871	2.150	.884	.282	.064	.020

Caída de presión de aire [lib/pulg²] (por cada 100 pies de tubería a P=100 lib/pulg²)

TIPO DE ELEMENTO		Longitud de tubería equivalente en m										
		Diámetro interior de tubería en mm										
		25	40	50	80	100	125	150	200	250	300	400
Válvula de compuerta		0.3 5	0.5 8	0.6 10	1.0 15	1.3 20	1.6 25	1.9 30	2.6 40	3.2 50	3.9 60	5.2 80
Válvula de diafragma		1.5	2.5	3.0	4.5	6	8	10	-	-	-	-
Válvula acodada		4	6	7	12	15	18	32	30	36	-	-
Válvula esférica		7.5	12	15	24	30	36	45	60	-	-	-
Válvula anti retorno pivotante		2.0	3.2	4.0	6.4	8.0	10	12	16	20	24	32
Codo curvado R=2d		0.3	0.5	0.6	1.0	1.2	1.5	1.6	2.4	3.0	3.6	4.8
Codo curvado R=d		0.4	0.6	0.8	1.3	1.6	2.0	2.4	3.2	4.0	4.8	6.4
Ángulo 90°		1.5	2.4	3.0	4.6	6.0	7.5	9	12	15	18	24
Tlado recto		0.5	0.8	1.0	1.6	2.0	2.5	3	4	5	6	8
T salida angular		1.5	2.4	3.0	4.8	6.0	7.5	9	12	15	18	24
Reductor		0.5	0.7	1.0	2.0	2.5	3.1	3.6	4.8	6.0	7.2	9.6

Longitud de tubería equivalente para elementos utilizados en conducciones.

