INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

PROYECTO DE RESIDENCIA PROFESIONAL

"DISEÑO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO PARA SERVICIOS GENERALES DE LA CASA DE MÁQUINAS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA BELISARIO DOMÍNGUEZ"

DEPENDENCIA

COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD
C. H. BELISARIO DOMÍNGUEZ

PERIODO DE REALIZACIÓN

AGOSTO- DICIEMBRE, 2009

ASESOR INTERNO

ING. ROBERTO DEL ÁNGEL TORRES

ASESOR EXTERNO

ING. VÍCTOR ANTONIO FERNÁNDEZ NÁJERA

RESIDENTES

SANDI BEATRIZ PÉREZ LÓPEZ
AMOZ MORALES JIMÉNEZ

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS 2009.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN……. 4

2. JUSTIFICACIÓN…….. 5

3. OBJETIVOS…….…….... 6

4. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO…..……..... 7

4.1 Antecedentes……. 7
4.1.1 De la empresa……. 7
4.1.2 De la C. H. Belisario Domínguez…… 8
4.2 Datos importantes de la C. H. Belisario Domínguez……..... 9
4. 3 Organización…… 10
4.3.1 De la empresa…… 10
4.3.2 De la C. H. Belisario Domínguez…….…… 11
4.3.3 Del departamento mecánico…….…… 12

5. PROBLEMAS A RESOLVER……... 15

6. ALCANCES Y LIMITACIONES…… 19

7. MARCO TEÓRICO…….. 20

7.1 El aire comprimido…….. 20
7.2 Fundamentos físicos del aire……... 21
7.3 Generación y tratamiento del aire comprimido……... 23
7.3.1 Compresores…… 23
7.3.2 La calidad del aire comprimido…… 30
7.4 Redes de aire comprimido…… 41
7.5 Dimensionamiento de tuberías……... 45
7.6 Especificaciones de acuerdo a normas de Comisión Federal de Electricidad (CFE) retomadas para el proyecto……..... 47
7.7 Mantenimiento del sistema de aire comprimido ……..…….. 53
7.7.1 Programa de mantenimiento…… 57

8. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS…….. 59

8.1 Descripción general de la casa de máquinas…….. 59
8.1.1 Descripción de la primera etapa……. 60
8.1.2 Descripción de la segunda etapa…… 60
8.2 Procedimientos en el levantamiento del isométrico de la red de aire comprimido……. 61
8.3 Características de las herramientas utilizadas en los trabajos de mantenimiento de las unidades generadoras de electricidad……..…… 62

9. EVIDENCIAS DE ANÁLISIS Y CÁLCULOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LA TUBERÍA DE AIRE COMPRIMIDO……..... 64

9.1 Normas…… 64
9.2 Cálculos……. 65

10. RESULTADOS…….. 71

10.1 Selección de equipos, material de la tubería y accesorios…….…….. 71
10.2 Cotización de tubería y accesorios……...…….….. 75

11. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES……. 76

12. CONCLUSIONES…….…….…… 78

13. ANEXOS……. 79

14. BIBLIOGRAFÍA……. 92

1. INTRODUCCIÓN

En el siguiente escrito se presenta el desarrollo completo del proyecto denominado **"Diseño de la Red de Aire Comprimido para Servicios Generales de la Casa de Máquinas de la C. H. Belisario Domínguez"**, el cual busca satisfacer de manera eficiente, segura y oportuna las necesidades en la calidad del aire comprimido para garantizar una optima operación de las herramientas neumáticas empleadas para dar mantenimiento a los equipos localizados en los diferentes niveles de la casa de máquinas de la central.

El proyecto se ha desarrollado en base a la especificación CFE 061PH-33 para sistema de aire de servicio para centrales hidroeléctricas, siendo CFE una empresa de clase mundial, todos los sistemas deben acatarse a sus requerimientos de calidad, con el fin de garantizar la disponibilidad en tiempo y forma, para maximizar el rendimiento en el proceso de mantenimiento de las máquinas. Además se retoman y aplican los conocimientos adquiridos en la materia de circuitos hidráulicos y neumáticos con toda la intención de obtener un óptimo diseño de la red.

La utilización del aire comprimido está disponible para mantenimiento rutinario, mantenimiento menor y mantenimiento correctivo. En el diseño de esta red se ha considerado la utilización de un máximo número de herramientas neumáticas necesarias utilizadas por el departamento eléctrico, departamento mecánico y el departamento civil. Se garantiza su capacidad para abastecer de manera eficiente siempre y cuando se encuentre en mantenimiento solo una de las unidades.

El diseño de la red de aire comprimido para servicios generales se realiza con la intención de propiciar una red que esté libre de fugas y de tramos de tubería sin utilidad e innecesarios, la red de este diseño toma como puertas de acceso de un piso a otro a los ductos de ventilación ahorrando el trabajo y el costo de abrir nuevos accesos.

El aire comprimido, como energía para su utilización y refuerzo de recursos físicos, es una de las más antiguas que conoce el hombre. Además como forma de energía presenta más ventajas que inconvenientes, dato que lo hace ser muy rentable. En la actualidad, ya no se concibe una moderna explotación industrial sin el aire comprimido. Este es el motivo de que en los ramos industriales más variados se utilicen aparatos neumáticos cuya alimentación continua y adecuada de aire garantiza el éxito y eficiente desempeño de los procesos involucrados en la producción o en nuestro caso, como fuente de energía para la operación de las herramientas neumáticas en las necesidades de mantenimiento de las unidades de la central. Es por todo esto que el diseño y mantenimiento adecuado de redes de aire comprimido y sus respectivos accesorios, juega un papel decisivo en los procesos productivos involucrados cuya energía utilizada es el aire.

2. JUSTIFICACIÓN

La red de aire comprimido para servicios generales con la que actualmente cuenta la casa de máquinas de la C. H. Belisario Domínguez no cumple con ciertos puntos establecidos por la especificación CFE 061PH-33 para sistema de aire de servicio para centrales hidroeléctricas. Desde que se inició la operación de la central esta red se ha venido ampliando sin prestar atención a los requerimientos para garantizar un buen servicio trayendo con esto una mal estética de la red, tubería con diversas fugas, pérdida de presión fuera de lo permisible.

Desglosando esta importantísima razón podemos mencionar la falta de una buena y correcta distribución del tendido de la tubería, la ausencia de purgas automáticas para desalojar el agua acumulada, la ausencia de unidades de mantenimiento en cada una de las tomas, la ausencia de tomas en espacios en los cuales se llega a necesitar el suministro de aire comprimido, entre otras.

En cuanto al aire comprimido respecta, 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 manejo de equipos de planta y para instrumentación.

3. OBJETIVOS

El proyecto tiene como objetivo primordial diseñar una red de aire comprimido que cumpla en su totalidad con los requisitos de gasto, velocidad y presión necesarios para utilizar las herramientas neumáticas y al mismo tiempo que garantice una calidad en el aire comprimido para evitar desgastes prematuros en los componentes y herramientas neumáticas.

Para cumplir con estos requerimientos en el aire comprimido para su uso se hace necesario su tratamiento para garantizar su calidad, es decir, la ausencia de humedad e impurezas en él, el cálculo de la capacidad del compresor, el cálculo de tuberías, tanques de almacenamiento y elementos necesarios para la red. Obteniendo con todo esto una garantía en la operación correcta de las herramientas neumáticas y con ello aumentar la vida útil de la red de aire comprimido.

El beneficio del tratamiento de aire comprimido es incrementar el tiempo en que estará operando el sistema y evitar muchos mantenimientos correctivos. Otro beneficio es que si el tratamiento es correcto, los elementos y equipos operan mejor aumentando la vida útil de ellos, de esta manera se tienen beneficios en el trabajo así como beneficios económicos.

4. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO

4.1 Antecedentes

4.1.1 De la empresa

La CFE se creó en 1937 con objeto de generar la energía para abastecer a un mercado en crecimiento, satisfacer la demanda de los consumidores de bajos ingresos, planear o integrar el servicio eléctrico en México y preparar un esquema que le diera a la nación el control sobre sus recursos energéticos.

A fines de 1960, el Ejecutivo Federal propuso la adición al párrafo sexto del artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, señalando:

Corresponde exclusivamente a la nación generar, conducir, transformar, distribuir y abastecer energía eléctrica que tenga por objeto la prestación de servicio público. En esta materia no se otorgará concesiones a los particulares, y la nación aprovechará los bienes y recursos naturales que se requieran para dichos fines.

Comenzó entonces un largo proceso de integración de las empresas existentes. De 1962 a 1972 la CFE adquirió e incorporó a su estructura 27 empresas regionales, y el proceso continuó hasta 1991.

Un paso importante en el proceso de integración fue la unificación de la frecuencia eléctrica de toda la república a 60 ciclos. A partir de 1972 se inició la modificación de equipos y aparatos electrodomésticos de todos los hogares con frecuencia de 60 ciclos, tarea que se concluyó en un lapso de cuatro años, tres antes de lo proyectado originalmente.

En 1975 se fundó el Instituto de Investigaciones Eléctricas, centro encargado de realizar investigación aplicada y apoyar el desarrollo tecnológico de la industria nacional.

Actualmente la Comisión Federal de Electricidad le brinda servicio eléctrico a todo México. El compromiso de la empresa es ofrecer servicios de excelencia, garantizando altos índices de calidad a todos sus procesos, al nivel de las mejores empresas eléctricas del mundo.

4.1.2 De la C. H. Belisario Domínguez

El desarrollo hidroeléctrico de mayor magnitud se encuentra en la cuenca del río Grijalva, en el sureste del país, y está integrado por las centrales Belisario Domínguez (La angostura), Manuel Moreno Torres (Chiocasen), Malpaso y Ángel Albino Corzo (Peñitas). La capacidad total del conjunto es de 3,900 MW.

El 15 de diciembre de 1968, durante una mesa redonda con las autoridades y sectores populares de Chiapas, el Director de la CFE declaró: “El señor Presidente Díaz Ordaz autorizó a la CFE llevar adelante los trabajos de este extraordinario proyecto que es la construcción de la Central Hidroeléctrica de La Angostura”, pensando que es una forma de vigorizar el desarrollo de Chiapas.

Desde 1950 la Secretaría de Recursos Hidráulicos y la Comisión Federal de Electricidad iniciaron los estudios del sistema hidrológico Grijalva – Usumacinta, que aporta el 30% de los recursos hidráulicos del país y en particular, se avocaron al estudio de la cuenca del río Grijalva.

Para la realización del plan integral del Grijalva, fue necesario construir el aprovechamiento de la Angostura, que reunía un conjunto de características que lo situaban como el elemento básico para el desarrollo del río Grijalva y que se podía emplear ventajosamente en la generación de energía, dado que dentro del territorio mexicano era el primer aprovechamiento que contaba con un vaso de almacenamiento que regularizaba el escurrimiento de 9700 millones de m^3 anuales.

La CFE rinde un homenaje al héroe chiapaneco “Dr. Belisario Domínguez”, ordenando que tanto la presa como la Central Hidroeléctrica lleven su nombre, cambiando así el de “La Angostura”, con que se conoció a la obra desde su proyecto hasta la entrada en operación.

Con la construcción de la Angostura, se hace posible el aprovechamiento de una caída de 250 m existente entre el desfogue de esta Central y el embalse de Malpaso en el cual no existe la posibilidad económica de regularizar el escurrimiento con embalses de almacenamiento.

4.2 Datos importantes de la C. H. Belisario Domínguez

La central hidroeléctrica Belisario Domínguez se encuentra ubicada en el sureste de México en el estado de Chiapas, que aprovecha las aguas del rio Grijalva. Esta central forma parte del sistema de generación dentro de la subgerencia Hidro-Grijalva junto con las otras ocho centrales.

Ubicación: cuenca alta del Río Grijalva, en la boquilla denominada La Angostura (de donde toma su nombre), municipio de Venustiano Carranza, Chiapas.

Capacidad: 20150 millones de metros cúbicos.

Corrientes que capta: es alimentada por el río Grijalva que nace en la República de Guatemala a partir de numerosos arroyos y ríos que bajan de la sierra Cuchumatanes, y sus afluentes Lagartero, Dolores y Salegua, San Gregorio, San Miguel, Cuxtepeques Salinas, La Concordia, El Dorado y Blanco.

Principales usos: control de avenidas, generación de energía hidroeléctrica, riego agrícola y consumo humano, pesca y turismo.

Historia: entre 1964 y 1969 se inició su construcción y finalizó el 8 de Mayo de 1974, cuando se realizó el cierre de sus compuertas. Entró en operación el 14 de Julio de 1976.

Características generales**:** situado a 53 km al sureste de Tuxtla Gutiérrez en el municipio de Venustiano Carranza, controla casi la mitad de la cuenca y regula los escurrimientos de agua normales y extraordinarios en la parte alta del río Grijalva. Su altitud media anual varía con el nivel aprovechable del agua en 515 - 525 m.s.m. su longitud máxima es de 105 km y la anchura es de 13 km. Su capacidad sobre NAMO es de alrededor de 15500 millones de metros cúbicos.

Se considera la de mayor capacidad de la República Mexicana (por ahora). Capta las aguas de la parte alta del río Grijalva, uno de los más largos y caudalosos de México. Tiene una capacidad efectiva instalada de generación de 900 MW. Retiene agua por poco más de 105 km a lo largo del curso del Grijalva. Ocupa una superficie de 64000 Has, con influencia en los Municipios de Villacorzo, La Concordia, Chiapa de Corzo, Venustiano Carranza, Tzimol, Socoltenango, Frontera Comalapa y Chicomuselo. El embalse está retenido por una cortina de 146.70 m. de altura sobre el punto más bajo de su cimentación. Junto con las presas Chicoasén, Nezahualcóyotl y Peñitas, conforma uno de los sistemas hidroeléctricos más importantes del país, pues produce casi el 23% de la energía eléctrica utilizada en el territorio nacional. Puede contener hasta 18 km cúbicos de agua.

4. 3 Organización

4.3.1 De la empresa

A continuación se ilustra en la figura 1 un organigrama siguiendo la ramificación que nos lleva hasta la central hidroeléctrica Belisario Domínguez desde la Dirección general.

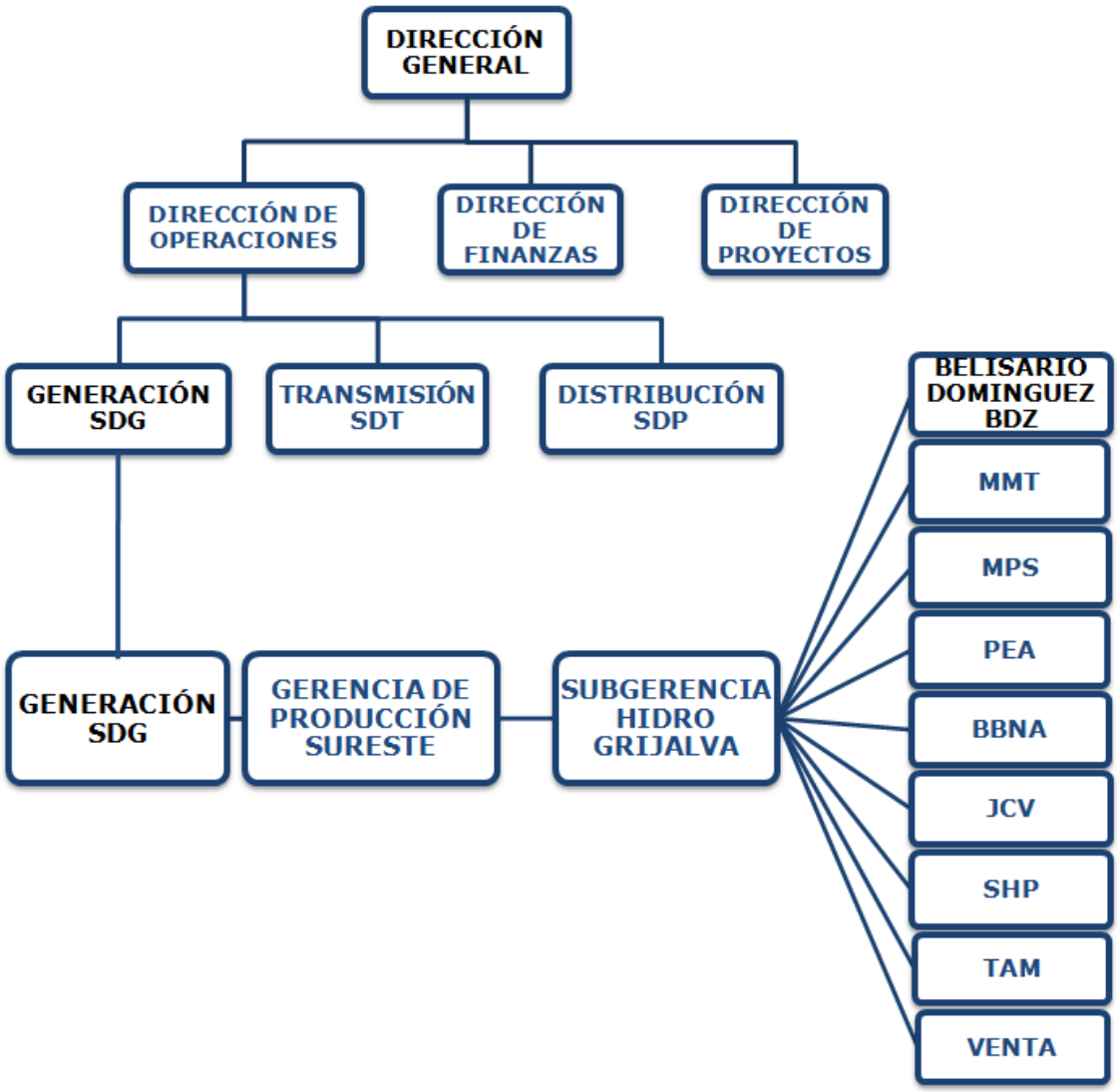


Figura 1. Organigrama de la dirección general de CFE.

4.3.2 De la C. H. Belisario Domínguez

Esta central hidroeléctrica está conformada por cuatro áreas generales; área de administración, área de la jefatura de personal, área de la superintendencia auxiliar y área de la superintendencia de producción. La ultima está conformada por los siguientes siete departamentos: eléctrico, mecánico, civil, protecciones, control, informática y operación. El proyecto nombrado "diseño de la red de aire comprimido para servicios generales de la casa de máquinas" se desarrolla dentro del departamento mecánico del área de la superintendencia de producción. El siguiente organigrama de la figura 2 describe muy bien la organización de la central hidroeléctrica Belisario Domínguez.

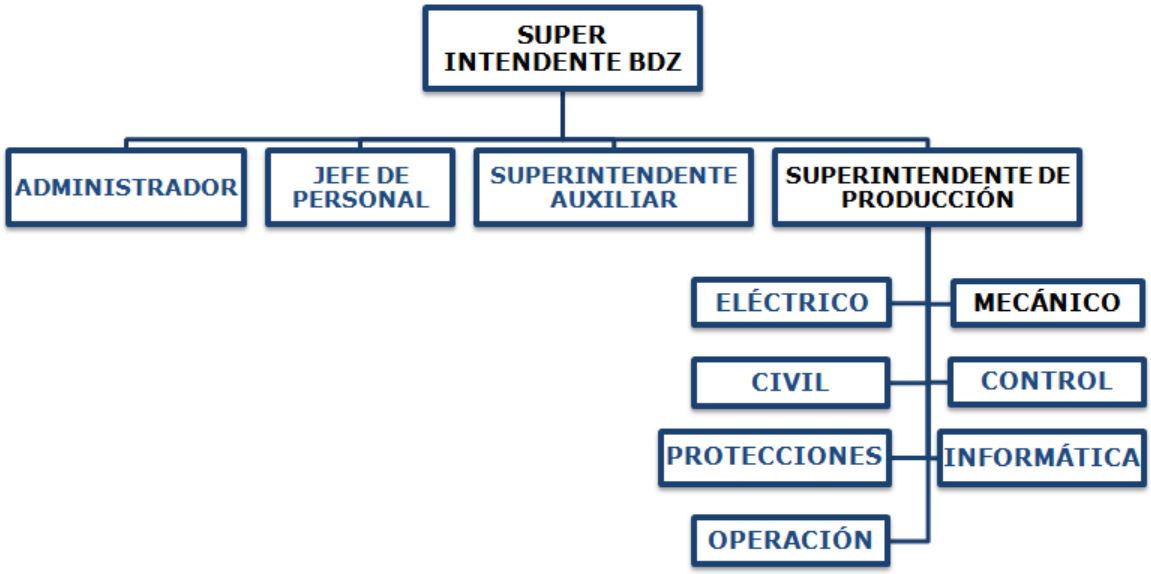


Figura 2. Organigrama de la C. H. Belisario Domínguez.

El edificio donde se encuentra el área de producción es llamado casa de máquinas, la cual cuenta con 5 unidades generadoras de electricidad con turbinas de tipo Francis vertical con una capacidad total instalada de 900 MW y cada unidad con una potencia de 180 MW. Esta área es la encargada de tener a las máquinas en su máxima disponibilidad para cuando se requieran ponerlas en operación.

El departamento de operación trabaja junto con el departamento mecánico pues el segundo debe de tener las unidades disponibles para cuando los de operación requieran operarlas. El departamento de operación se encarga de poner en marcha a la maquina o de pararla, así como el de tener un monitoreo contínuo de las condiciones en que se encuentra la unidad en operación. El área de transmisión misma que es independiente de la central se encarga de recibir la energía generada y transmitirla a centros de distribución donde se requiera la energía eléctrica.

4.3.3 Del departamento mecánico

En el departamento mecánico, con el objeto de llevar un control específico en el mantenimiento de las unidades generadoras, se ha dividido dicho mantenimiento de acuerdo a las condiciones que se requieren en:

- Mantenimiento de rutina.
- Mantenimiento menor.
- Mantenimiento mayor.

Mantenimiento de rutina

Es aquel que se efectúa diariamente, se controla mediante la hoja de reporte diario de novedades la cual es abierta por los jefes operadores de turno, mismo que consiste principalmente en la revisión de los filtros, niveles de aceite, engrase, etc., así como las diferentes anomalías que se encuentran en la operación de su turno.

Mantenimiento menor

Es programado anualmente y de acuerdo con las necesidades de la central. Muchas veces este mantenimiento programado es diferido por las circunstancias; pero siempre debe ser efectuado.

El mantenimiento menor deberá efectuarse de acuerdo al calendario anual que se formularía por anticipado cada año y en donde las actividades se indiquen mediante barras, de tal manera que el personal interprete el mismo.

Este tipo de mantenimiento debe hacerse preferentemente a todo el equipo que se tiene por duplicado en general a todo equipo e instalaciones que no estén incluidas en el mantenimiento mayor. En su programación se debe incluir la seguridad de tener todos los materiales y refacciones en el almacén.

Mantenimiento mayor

Este mantenimiento es programado anualmente y es aquel en el que la disponibilidad de las unidades es afectada en un 100%.

Su programación se hace basándose en las recomendaciones y especificaciones de los fabricantes, así como la experiencia obtenida en la operación del equipo, implicando desmontaje de las piezas principales.

En vista de los grandes gastos que se erogan por materiales, personal extra, etc., estos mantenimientos requieren de una autorización de trabajo que es tramitada por Oficinas Regionales, que al mismo tiempo tomará nota para un presupuesto anual.

Es difícil precisar un criterio general para la programación de los mantenimientos mayores, sobre todo, tratándose de unidades de gran potencia cuya permanencia fuera de servicio por algunas horas o días, compromete el sistema para asegurar el suministro de energía, en especial a la hora de la demanda máxima. Por tal motivo, es necesario llevar una serie de controles y pruebas de comportamiento, así como inspecciones que nos den una idea del estado general de la unidad y ya con bases suficientes elaborar el diagnostico que nos lleve a corregir las causas y los defectos; justificando así la libranza del mantenimiento mayor.

El departamento mecánico se encuentra organizado como se describe en el organigrama de la figura 3.

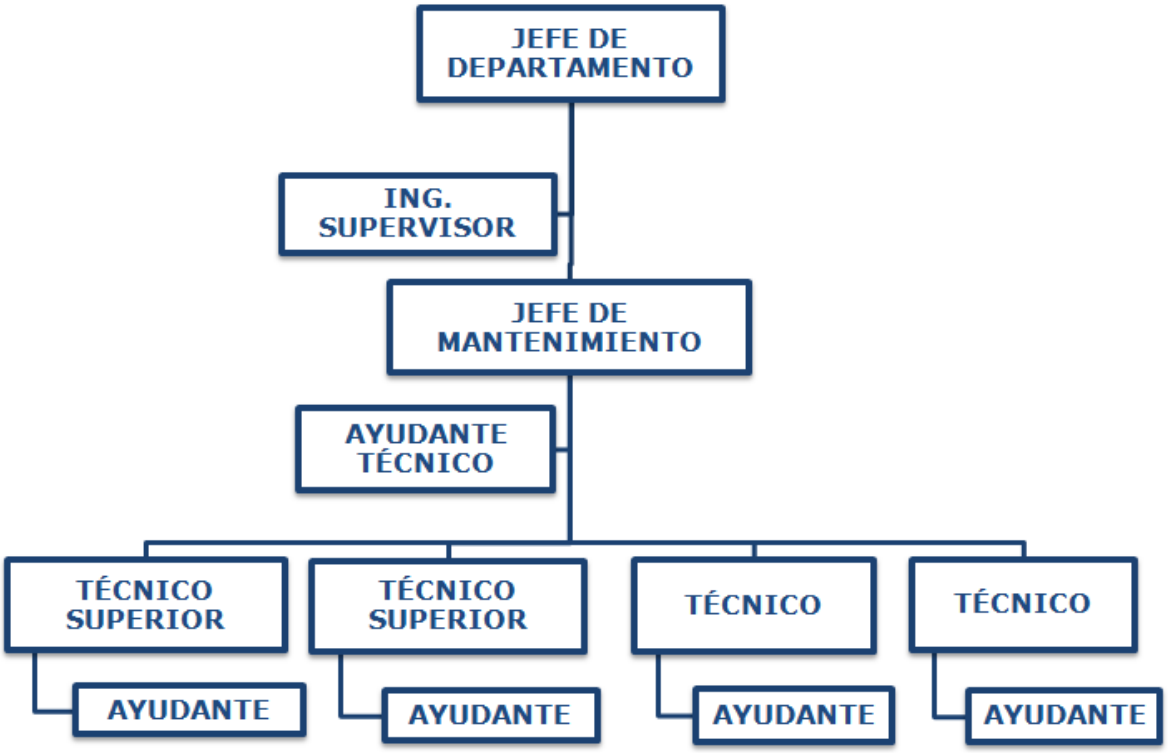


Figura 3. Organigrama del departamento mecánico de la C. H. Belisario Domínguez.

El Ing. Supervisor del departamento mecánico no se encuentra de manera permanente sino que hace presencia de manera periódica para supervisar los trabajos realizados por el personal. Como se aprecia en el organigrama cada técnico cuenta con un ayudante, cuando se tiene un mantenimiento menor un técnico puede llegar a tener más de un ayudante.

El aire comprimido para servicios generales se utiliza para operar las herramientas neumáticas empleadas en trabajos como armado, desarmado, esmerilado, limpieza, cepillado, etc., según se requieren en el mantenimiento. Su aplicación es de mucha importancia, debido a que dentro de casa de máquinas se tienen zonas húmedas que implican un riesgo para los trabajadores si se utilizan en ellas herramientas con energía eléctrica.

Los trabajos de mantenimiento garantizan el correcto funcionamiento de las máquinas generadoras para su operación, evitando paros indeseados o imprevistos.

5. PROBLEMAS A RESOLVER

De forma general el proyecto pretende eliminar las deficiencias de la red de aire comprimido para servicios generales de la casa de máquinas mediante el diseño de una nueva red de aire comprimido partiendo de cero, es decir, sin tomar en cuenta las características de los compresores que se tienen para nuestros cálculos ni la ruta de la red en servicio, para garantizar la calidad del aire comprimido, la presión, velocidad y gasto necesarios para un optimo funcionamiento de las herramientas neumáticas empleadas en los diferentes mantenimientos, procurando así su durabilidad y ahorrando costos de mantenimiento y sustitución.

Este hecho se logrará consiguiendo ciertos objetivos específicos como:

- Diseño optimo de la red.
- Dimensionamiento correcto de la tubería.
- Instalación de accesorios necesarios para un buen tratamiento del aire comprimido.

El diseño correcto de los ductos, el buen almacenamiento, el adecuado tratamiento como la deshumidificación y lubricación del aire comprimido aumentará el tiempo de vida de la instalación y evitará cambios innecesarios de accesorios y de los equipos de la red.

El proyecto tiene una duración programada de 15 semanas en las cuales se desarrollan ocho actividades generales las cuales consisten en acciones específicas que se describen posteriormente.

A continuación se presenta el cronograma de actividades necesarias para lograr los anteriores objetivos:

Cronograma de actividades a realizar en el proyecto “Diseño de la red de aire comprimido para servicios generales de la casa de máquinas de la C. H. BELISARIO DOMÍNGUEZ”. Ver la tabla 1.

Tabla 1. Cronograma de actividades.

ACTIVIDADES	PERIODO	AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE				COMENTARIOS Y OBSERVACIONES
A PARTIR DE 24 DE AGOSTO 2009		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
LEVANTAMIENTO: * Identificación de los puntos de aplicación y sus características: -Gasto -Presión -Velocidad -Número de herramientas y tipos que se usan. *Revisión de Normas de C.F.E. de aire comprimido de servicios generales.					REVISIÓN																	
DISEÑO PRELIMINAR DE RED: *Isométrico de ruta con accesorios. *Criterio posible ampliación de red.																						Por cambio de recorrido del sistema fue necesario tomar 2 semanas extraordinarias
CÁLCULOS: *Potencia máxima: -Presión máxima. -Gasto máximo. -Velocidad máxima. *Presión de Trabajo *Considerar posible Incremento de gasto.											REVISIÓN											
SELECCIÓN DE ACCESORIOS: *Tanques almacenamiento *Tratamiento de aire comprimido *Controles de humedad. *Reguladores de presión. *Filtros.																						Por falta de acceso a catálogos, la selección se hizo con lo que se logró recabar.
DISEÑO FINAL DE LA RED: *Isométrico de la red con accesorios y puntos de ampliación.																						Se anexa un CD con un archivo 3D -CAD con el Isométrico final de la red. Programa SolidWorks.
MANUAL DE MONTAJE: *Mantenimiento de red. *Color de red.																						Se anexa un CD con un archivo 3D -CAD donde se muestra el sistema de aire comprimido instalado en la casa de máquinas. Programa SolidWorks.
CALCULO COSTO: *Compresores. *Tanques de almacenamiento *Tubería *Accesorios																REVISIÓN						Por cuestiones de tiempo la cotización no se presenta completa.
ENTREGA DE PROYECTO																						

Descripción de cada una de las actividades del cronograma:

Levantamiento. Esta actividad consiste en obtención de información acerca de las características como velocidad, presión y gasto que requiere tener el aire comprimido para usar las herramientas neumáticas y de los puntos en donde se requiere instalar tomas del mismo. Además se analizarán las especificaciones que tiene CFE para redes de aire comprimido para servicios generales para tomarlas en cuenta en el diseño de la red.

Esta acción tiene una duración de dos semanas y se pretende obtener información en base a la experiencia de los trabajadores y del departamento mecánico.

Diseño preliminar de la red. Consiste en trazar la posible trayectoria de la red de tubería para el aire comprimido en la cual se incluya la ubicación del compresor, tanque de almacenamiento, unidades de tratamiento, los accesorios como tees, codos, válvulas y puntos de posibles ampliaciones.

Esta acción tiene una duración de dos semanas considerando la ausencia de contratiempos o cambios de planes.

Cálculos. Esta actividad consiste en aterrizar todas las características de la red de aire comprimido en números y hacer los respectivos cálculos para encontrar el diámetro nominal de la tubería principal, secundaria y de servicio; además de obtener las características del compresor y del tanque de almacenamiento necesarios para cumplir con todos los objetivos del proyecto. En la selección del compresor y del tanque se considera la posibilidad de incrementar el gasto de la red. Todo esto se realiza en base a las formulas establecidas para el diseño de red de aire comprimido.

El tiempo programado para realizar estas actividades es de tres semanas.

Selección de accesorios. Esto consiste en cotizar los accesorios para la red tomando en cuenta las características de estos dispositivos como lo es su calidad, su material de construcción, sus parámetros de funcionamiento, etc. Esta acción tiene una duración programada de dos semanas. La información se va a recabar de los catálogos de los proveedores con los que CFE ya cuenta.

Diseño final de la red de aire comprimido. Esto consiste en trazar el isométrico final de la red de aire comprimido con los accesorios, puntos de aplicación y puntos de ampliación ya definidos en base a los isométricos trazados en la actividad del diseño preliminar de la red considerando las modificaciones que tengan justificaciones que nos proporcionen una mejora en la red. Considerando no tener ningún contratiempo la duración de esta acción es de una semana.

Manual de montaje. Esto consiste en analizar toda la información técnica de los accesorios, tubería y dispositivos que se recopiló en la actividad selección de accesorios que conforman la red de aire comprimido y en base a este análisis proporcionar una serie de recomendaciones para el mantenimiento de la red completa. Además de definir en base a las especificaciones de CFE el color para la identificación de dicha red. Su duración programada es de tres semanas teniendo inicio al par del diseño final de la red de aire comprimido.

Calculo de costos. Esta actividad va de la mano con la selección de accesorios y solo consiste en reunir y sumar los costos de compra de los accesorios, equipos y de la tubería recta con el proveedor elegido. Esta actividad tiene una duración programada de tres semanas.

Entrega de proyecto. Esto es la culminación del proyecto en la cual todas las actividades necesitan estar realizadas en tiempo y forma planeada para lograr con los objetivos planteados al inicio del proyecto.

6. ALCANCES Y LIMITACIONES

Con el diseño de la red de aire comprimido se logrará satisfacer las exigencias de de la red de aire comprimido de acuerdo a las especificaciones de CFE para su aplicación en los procesos involucrados en los servicios generales de la casa de máquinas.

Alcanzando con esto resultados como: una distribución adecuada del aire comprimido en los cinco niveles de la casa de máquinas y pozos de oscilación en cada una de sus etapas, un gasto suficiente para operar momentáneamente dos herramientas neumáticas, como ejemplo, en cada nivel, satisfacer las propiedades del aire comprimido que necesitan las herramientas y con esto aumentar el tiempo de vida de la instalación y de las herramientas de trabajo.

Las limitaciones principales son:

- La casa de máquinas es un lugar donde todo se encuentra instalado definidamente por lo que se hace complicado la instalación de la red de aire comprimido.
- Los espacios en los pisos son muy reducidos por lo que es necesario un buen análisis de las rutas por donde se conducirán los ductos de la red.
- En lo que respecta a los costos de los ductos de tubería y sus accesorios el proyecto está limitado a una cotización aproximada con respecto a la que se tendrá en el momento en que estos sean adquiridos, ya que el proyecto es a largo plazo.
- Existe una posibilidad de no proporcionar una cotización completa por razones de tiempo y cantidad de equipos y accesorios.
- Falta de instrumentos de medición para temperatura y humedad.

7. MARCO TEÓRICO

7.1 El aire comprimido

El aire comprimido como energía para su utilización y refuerzos de recursos físicos, es una de las más antiguas que se conocen. La aplicación de la neumática es como consecuencia de la necesidad cada vez más apremiante de la automatización y racionalización del trabajo.

Se puede definir la neumática como la técnica de aplicación y utilización racional del aire comprimido. La palabra neumática significa el trabajo realizado por el aire comprimido.

Las características que han contribuido a la gran aplicación del aire comprimido se exponen a continuación, con sus ventajas y sus inconvenientes.

Ventajas del aire comprimido

- **Abundante**. Es limpio y se encuentra disponible gratuitamente en cualquier lugar. No precisa de ductos de retorno. El aire utilizado pasa de nuevo a la atmósfera.
- **Almacenaje**. Almacenado y comprimido en acumuladores o depósitos, puede ser transportado y utilizado donde y cuando se precise.
- **Antideflagrante**. Es a prueba de explosiones. No hay riesgo de chispas en atmósferas explosivas. Puede utilizarse en lugares húmedos sin riesgo de electricidad estática.
- **Temperatura**. Es fiable, incluso a temperaturas extremas.
- **Limpieza**. Cuando se producen escapes no es perjudicial y pueden colocarse en las líneas depuradores o extractores para mantener el aire limpio.
- **Elementos**. El diseño y constitución de elementos es fácil y de simple confección.
- **Velocidad**. Se obtienen velocidades muy elevadas en aplicaciones de herramientas de montaje (atornilladores, llaves, etc.).
- **Regulación**. Las velocidades y las fuerzas pueden regularse de manera continua y escalonada, combinando con sistemas oleoneumáticos.
- **Sobrecargas**. Se puede llegar en los elementos neumáticos de trabajo hasta su total parada, sin riesgo de sobrecargas o tendencia al calentamiento.

Inconvenientes del aire comprimido

- **Preparación**. Es preciso eliminar impurezas y humedades previas a su utilización.
- **Velocidad**. Debido a su gran compresibilidad, no se obtienen velocidades uniformes en los elementos de trabajo.
- **Ruidos**. El aire que escapa a la atmósfera produce a veces ruidos bastantes molestos. Se superan mediante dispositivos silenciadores.
- **Esfuerzos**. Son limitados (2,000 a 3,000 kilogramos con presión de trabajo de 7 kg/cm²).
- **Coste**. Es una fuente de energía cara, pero compensada con el buen rendimiento y facilidad de implantación.

7.2 Fundamentos físicos del aire

Se considera importante, para tener una visión completa de todo lo que involucra el desarrollo de este proyecto, algunas de las características del aire comprimido antes de proceder al cálculo y razonamiento de algunos conceptos fundamentales para su aplicación como una fuente de energía.

a) Aire

Se define como la mezcla de gases que envuelven la esfera terrestre formando la atmósfera.

b) Composición volumétrica

- 78% de nitrógeno.
- 20% de oxígeno.
- 1.3% de argón.
- 0.05% de helio, hidrogeno, dióxido de carbono, etc., y variables cantidades de agua y polvo.

c) Densidad

Es la cantidad de masa por unidad de volumen. Para el aire es 1.293 kg/m³ a 0 °C y una atmósfera de presión.

d) Volumen específico

Es el volumen por unidad de masa. Para el aire es 0.773 m³/kg a 0 °C y una atmósfera de presión.

e) Presión

Es la fuerza aplicada por unidad de superficie. Es el cociente entre la fuerza y la superficie que recibe su acción. Es decir:

$$P = \frac{F}{S} \qquad \text{(Ecuación 1)}$$

La unidad de presión, según el SI (Sistema Internacional), es el N/m² (Newton por metro cuadrado), que normalmente recibe el nombre de Pascal. Esta unidad presenta el inconveniente de resultar demasiado pequeña para la mayor parte de las aplicaciones.

Tradicionalmente se venía empleando como unidad de presión la atmósfera física o bien el $\frac{kg}{cm^2}$, pero actualmente, según el SI, la unidad más empleada es el bar.

$1\ \text{bar} = 1 \times 10^5\ \text{Pa}.$

El valor del bar es muy próximo al de las unidades tradicionales, es decir, a la atmósfera y el kilogramo:

$$1\ \text{Atm} = 1.033 \frac{kg}{cm^2} = 1.013\ \text{bar}$$

f) Caudal

Se puede definir como la cantidad de fluido que pasa por una determinada sección de un conducto por unidad de tiempo.

$$\text{Caudal} = \frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo}}. \qquad \text{(Ecuación 2)}$$

Existen dos formas de expresar el caudal:

1. Caudal másico. Cantidad de masa de fluido que pasa por una sección en la unidad de tiempo.
2. Caudal volumétrico. Volumen de fluido que pasa por una sección en la unidad de tiempo.

En ambos casos está relacionado con la densidad del fluido, que en los gases es variable con la presión y la temperatura.

Cuando se habla de caudal de aire libre, es decir, caudal volumétrico referido a la atmósfera normal de referencia (ANR), nos estamos refiriendo a un caudal másico, puesto que en estas condiciones la densidad es constante.

Conociendo la velocidad de fluido y la sección de tubería por donde circula, se puede hallar el caudal de la manera siguiente:

$$\text{Volumen} = \text{Sección x longitud.} \qquad \text{(Ecuación 3)}$$

$$\text{Velocidad} = \frac{\text{Longitud}}{\text{Tiempo}}. \qquad \text{(Ecuación 4)}$$

Luego,

$$Q = \frac{\text{Sección x Longitud}}{\text{Tiempo}} = \text{Sección x Velocidad} \qquad \text{(Ecuación 5)}$$

El caudal másico se expresa en $\mathrm{kg/s}$ (kilogramos por segundo) y el volumétrico en $\mathrm{N-m^3/min}$ (metros cúbicos por minutos normales). No obstante es más común expresar el caudal volumétrico en $\mathrm{N-l/min}$ (litros por minutos normales) o en $\mathrm{N-m^3/h}$ (metros cúbicos por hora normales).

7.3 Generación y tratamiento del aire comprimido

7.3.1 Compresores

El aire comprimido se produce en unas máquinas llamadas compresores. El principio de funcionamiento de un compresor es sencillo: se toma aire del ambiente, se filtra, se eleva de la presión atmosférica a una presión más alta (normalmente entre 7-8 bar) a base de reducir el volumen ocupado por el aire antes tomado y éste se almacena en un depósito hasta alcanzar la presión del compresor, momento en el cuál no se inyecta más aire al depósito.

Los compresores se dividen en 2 principales grupos según su principio de compresión como se observa en la figura 4:

- ✓ Máquinas de desplazamiento. La compresión se obtiene por la admisión del aire en un recinto hermético, donde se reduce luego el volumen.

- ✓ Compresores dinámicos (turbo compresores). En este principio el aire aspirado se convierte en velocidad por efecto de los álabes de la turbina y la energía de movimiento contenida en la corriente de aire se transforma en presión.

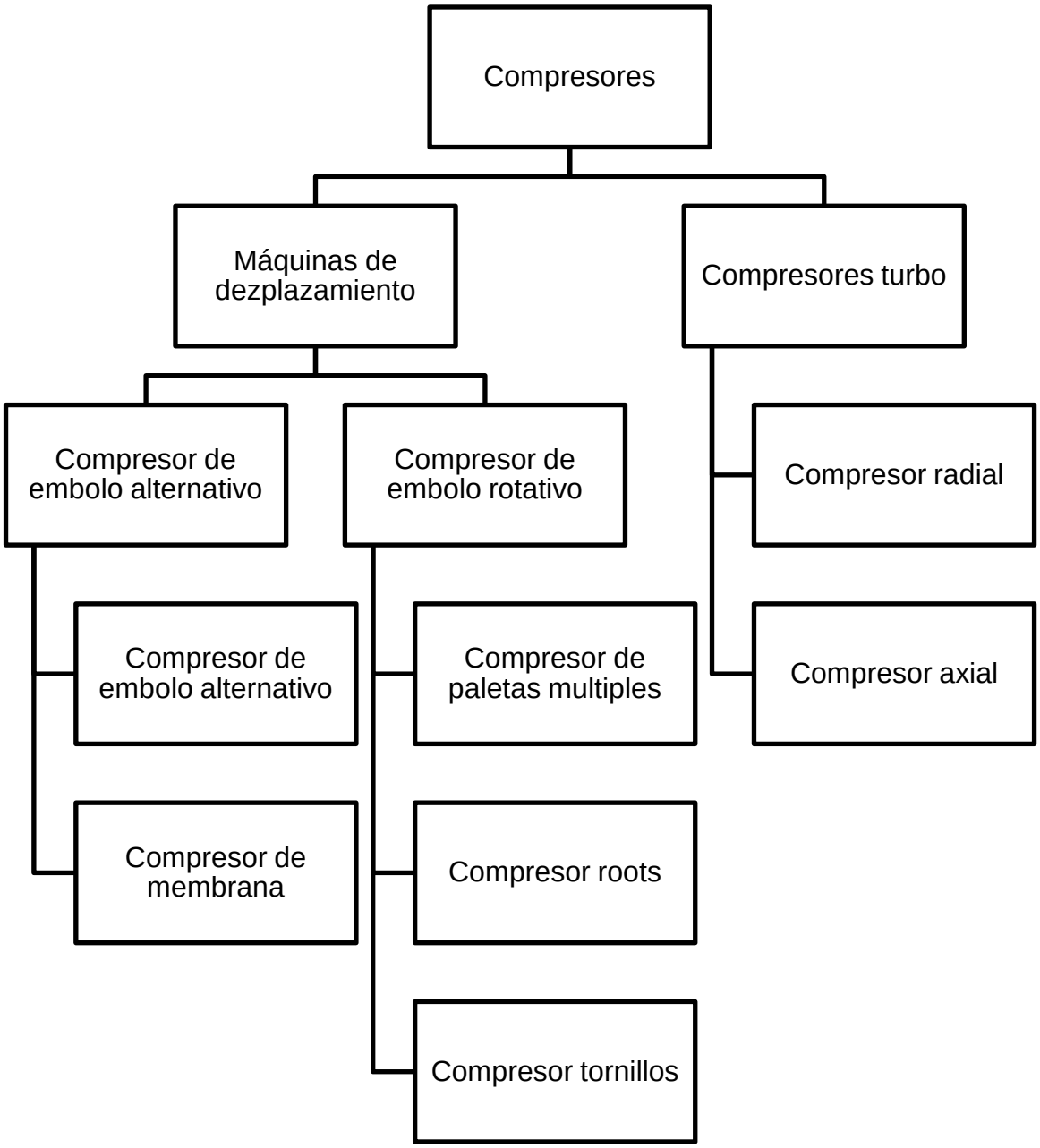


Figura 4. Clasificación de compresores.

Tipos de construcción y características de los compresores.

1. Compresores de émbolo alternativo de una etapa

En el compresor de émbolo el aire es aspirado por una válvula en la carrera de absorción y en la carrera de compresión, luego de alcanzar la presión, se evacua a través de la válvula de compresión.

Los compresores de pistón son muy conocidos. Son construidos con alta confiabilidad y seguros y se construyen en distintos tipos, rangos de presión y caudales. Estos compresores son rentables solo para presiones de 8-10 bar, con pequeños caudales, debido que a presiones mayores las pérdidas de calor son muy importantes. Para caudales mayores, solo hasta 4 bares. Ver figura 5 (a).

2. Compresores de émbolo de varias etapas.

En compresores de varias etapas se elige una relación de compresión menor por etapa; además se enfría el aire antes de la próxima compresión. De esta forma el rendimiento a presiones mayores es rentable. En la figura 5 (b) se puede observar un compresor de dos etapas.

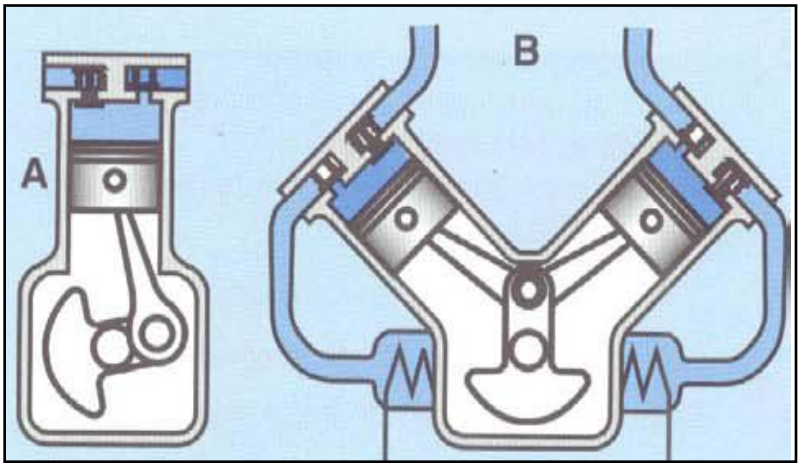


Figura 5. Compresores de embolo alternativo. a) Una etapa, b) dos etapas.

3. Compresor de membrana

Son útiles para aplicaciones donde se requiere aire de grado alimenticio, es decir, en aplicaciones de mucha limpieza. Y el mecanismo de compresión se puede observar en la figura 6.

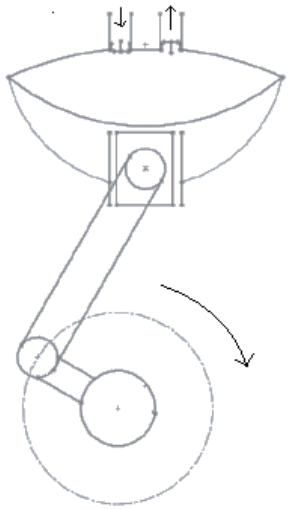


Figura 6. Compresor de membrana.

4. Compresores de tornillo.

Los compresores de tornillo son compresores rotativos con dos árboles giratorios. Trabajan con el principio de desplazamiento positivo y generan en forma continua, por ello no aparecen picos de presión ni variaciones. Estos compresores son de muy bajo mantenimiento, debido a que no tienen válvulas de absorción ni de compresión, son de construcción pequeña y permite alto número de revoluciones, no obstante la potencia requerida por ellos es mayor que para compresores de pistón.

Los compresores de tornillos pueden construirse para trabajo en seco, ideales para aire comprimido sin lubricación, o bien, con lubricación forzada sin su versión normal, ver figura 7.

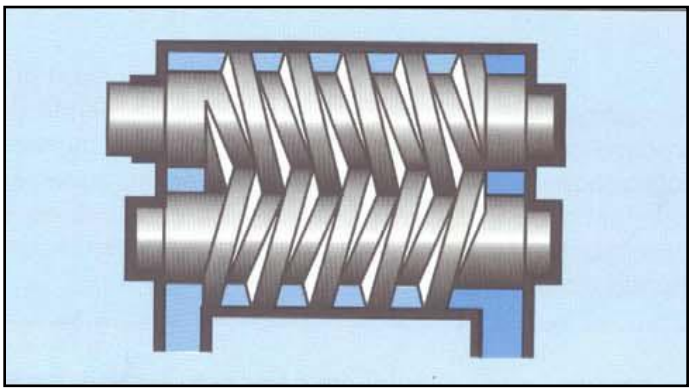


Figura 7. Compresores de tornillo.

1. Compresores de paletas múltiples.

Se trata de compresores rotativos de un árbol que trabajan según el principio de desplazamiento positivo. Aspiración y salida se realizan a través de sectores que al ir girando van disminuyendo el espacio de compresión debido al rotor excéntrico respecto de su carcasa, y provisto de paletas. Esta ejecución brinda una construcción sencilla, muchas carreras de trabajo y una generación con pocos picos de presión. La lubricación es del tipo forzada, ver figura 8.

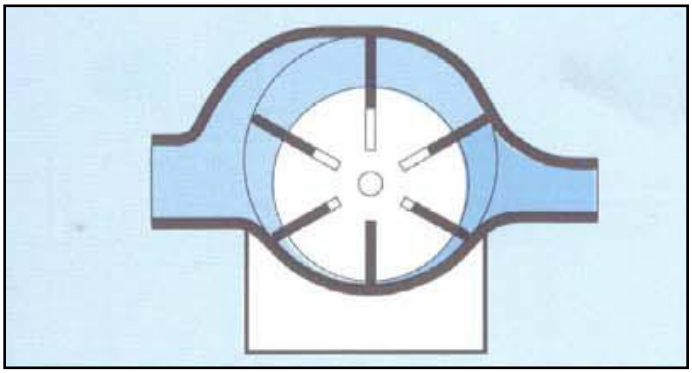


Figura 8. Compresor de paletas múltiples.

2. Compresores Roots.

Los compresores Roots trabajan sin sellos internos, la presión se logra por la generación contra resistencia. Este principio solo permite lograr presiones pequeñas. El sistema no tiene rozamiento debido a su movimiento mecánico sincronizado de émbolos y por lo tanto no requiere de lubricación. Los compresores Roots se usan principalmente para el transporte neumático, ver figura 9.

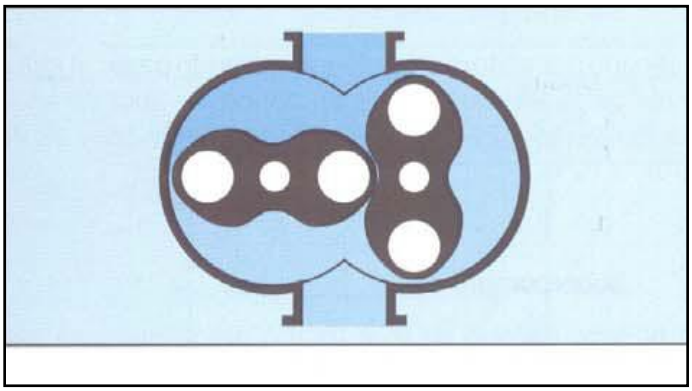


Figura 9. Compresores Roots.

3. Compresores axiales.

Los Compresores axiales son equipos dinámicos, en los cuales el aire pasa a través de los alabes y se transforma en alta velocidad pasando luego en su última etapa por un difusor, y transformando a esta energía de movimiento del aire en presión. Los compresores axiales se usan frecuentemente donde se requieren grandes caudales. Dado que su presión por cada etapa es muy baja es necesario hacer conexiones en serie de varias etapas (hasta 24), ver figura 10.

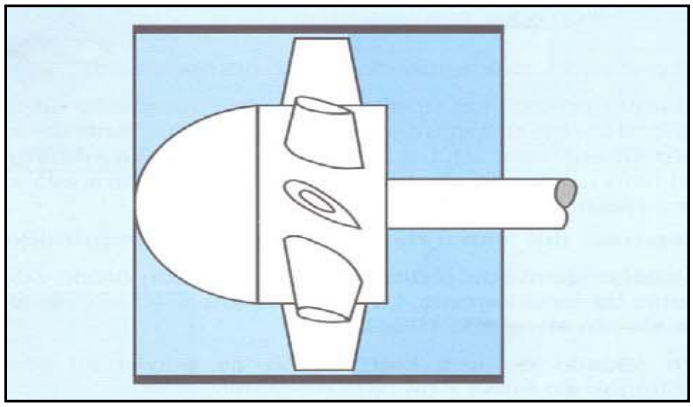


Figura 10. Compresores axiales.

4. Compresores radiales.

Los compresores radiales son al igual que los compresores axiales equipos dinámicos, en los cuales se convierte a la energía de movimiento en presión. En este caso la aspiración es axial, luego el aire cambia de dirección y se entrega en forma radial. También los compresores radiales se usan en aplicaciones donde se requieren grandes caudales de aire, son de muy bajo mantenimiento y para lograr presiones mayores deben ser puestas en serie en varias etapas, ver figura 11.

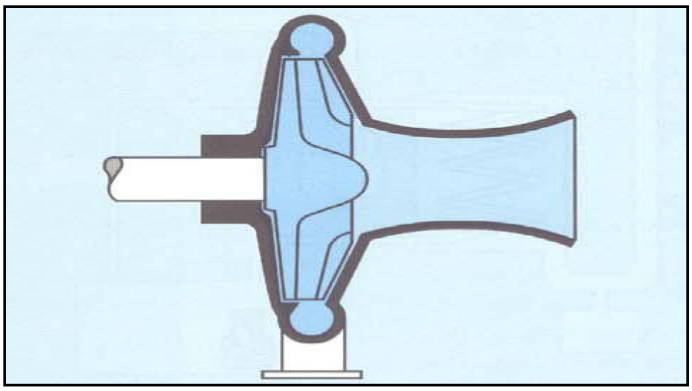


Figura 11. Compresores axiales.

Depósito del compresor

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 solicite una gran cantidad de aire comprimido a la presión normal de distribución. Sería necesario poner en marcha el compresor y esperar que la red de distribución este completamente a presión. Entonces para evitar este inconveniente se instala un depósito a la salida del compresor, que debe estar dimensionado de acuerdo con el máximo caudal instantáneo de la instalación.

Los depósitos pueden montarse vertical u horizontalmente. Para ser instalados, deben estar provisto de:

- Manómetros.
- Válvulas de seguridad.
- Grifo de purga (para evacuar el agua acumulada).
- Puerta de registro.
- Placa de características.

Los depósitos son de chapa de acero. Pueden situarse en puntos alejados si las circunstancias así lo aconsejan. Se instalan al descubierto para facilitar el enfriamiento del aire antes de su paso por las tuberías de distribución.

Ventajas de los depósitos

- Reducen los efectos de pulsaciones en los compresores de émbolos, con lo que se regulariza el trabajo de las máquinas accionadas con aire comprimido.

- Siendo de la capacidad adecuada, atiende con rapidez a las demandas extraordinarias de aire que suelen hacerse momentáneamente.

- Proporcionan al aire comprimido la oportunidad de tranquilizarse para que el agua, polvo y aceite puedan separarse.

- Enfrían el aire antes de que se pase a las tuberías, condensándose en ellas la mayor parte de la humedad.

- Permite que los motores de arrastre de los compresores trabajen de forma intermitente, ahorrando por tanto energía y alargando sus horas de funcionamiento.

7.3.2 La calidad del aire comprimido

Si deseamos que las instalaciones y componentes neumáticos sean confiables, de buen rendimiento y en lo posible con pocas fallas, debemos fijar condiciones muy especiales en el tratamiento del aire comprimido.

Requisitos de calidad se refieren a:

- ✓ Presión
- ✓ Cantidad
- ✓ Contenido de agua
- ✓ Contenido de partículas
- ✓ Contenido de aceite
- ✓ Esterilidad

Presión y cantidad

Presión y cantidad están directamente relacionados y se manifiestan en la potencia alcanzable en el sistema y sus componentes. Esto significa que la cantidad de aire precisada para estos componentes a esta presión determinada debe estar disponible a la entrada de los mismos.

Para lograr esto es necesario:

- ✓ Suficiente provisión de aire del compresor.
- ✓ Presiones de generación y de red correctas.
- ✓ Dimensionamiento correcto de la red en cuanto a su caudal.
- ✓ Dimensionamiento correcto de tuberías, conexiones y componentes que forman parte del sistema.

Preparación del aire comprimido.

El agua, aceite e impurezas tiene una gran influencia sobre la vida útil y confiabilidad de los componentes neumáticos. Las exigencias difieren según sean las aplicaciones.

Una clasificación en grados de calidad según sea el tipo de aplicación es el camino para poder tener un catálogo que nos permita elegir una preparación correcta según sea la exigencia, ver tabla 2.

Una clasificación en grados de calidad y una especificación de los diferentes tipos de aplicación mostrada en la tabla 3 ayudará a la determinación de la calidad correcta en cada caso.

Tabla 2. Grados de calidad.

Grado	Impurezas sólidas		Contenido de agua	Contenido de aceite
	Tamaño de partícula µm	Concentración de partículas mg/m^3	Punto de condensación a presión en °C	mg/m^3
1	0.1	0.1	-20	Sin lubricación
2	1	1	2	0.01
3	5	5	10	0.1
4	50	--	--	1
5	--	--	--	5
6	--	--	--	25

Tabla 3. Aplicaciones del aire comprimido.

Aplicación	Grado partículas sólidas	Grado agua	Grado aceite
Aire para instrumentación	2	1	4
Equipamiento minero	3	2	6
Sopleteado de pintura	2	1	5
Industria alimenticia	3	3	3
Aire industrial	4	3	6
Herramientas neumáticas	3	3	6
Sistemas de control	4	2	5

Estaciones

- ✓ Filtrado
- ✓ Enfriado
- ✓ Secado
- ✓ Separación de impurezas sólidas, líquidas o de vapor de agua.

El aire comprimido se obtiene generalmente de una alimentación central pero también puede obtenerse en forma local. El equipamiento necesario para la generación y preparación de aire depende de los requisitos y exigencias de calidad del aire comprimido. Los elementos necesarios para generar, tratar y preparar el aire comprimido se muestran en la figura 12. Además se agregan en la tabla 4 las impurezas y los contaminantes dentro de este proceso.

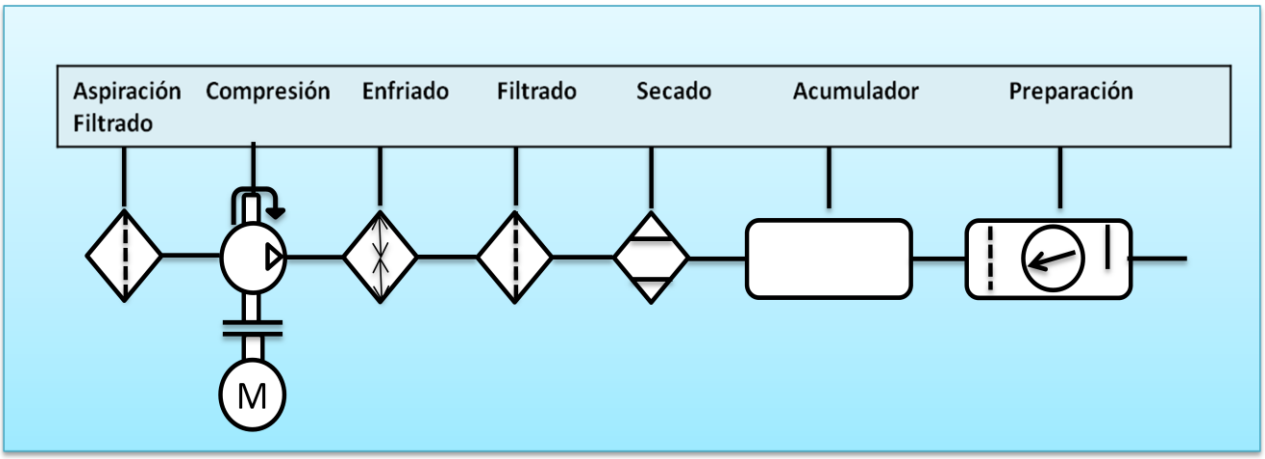


Figura 12. Proceso de preparación del aire comprimido (simbología ver anexo C).

Tabla 4. Impurezas y contaminantes del aire.

Estaciones	Contaminación	Preparación
Aspiración	Polvo Suciedad Vapores	Filtro de aspiración
Compresión	Aceite Alcoholes Abrasivos	
Enfriamiento	Agua	Filtro separador
Secado	Vapor de agua	Secador
Almacenado	Herrumbre Partículas de oxido	
Distribución	Cascarilla	
Mantenimiento	Agua	Filtro Regulador Lubricador (caja de seguridad)

Tratamiento del aire comprimido

Tratar el aire es eliminar las partículas sólidas que hay en el ambiente y que han sido tomadas por el compresor y eliminar además la humedad que el aire tiene antes de su introducción en la red distribuidora o antes de su utilización. Las impurezas que contiene el aire comprimido pueden ser:

- Sólidas. Polvo atmosférico y partículas del interior de la instalación.
- Líquidas. Agua y niebla de aceite.
- Gaseosas. Vapor de agua y vapor de aceite.

Inconvenientes que provocan están impurezas

Sólidas

- Desgaste y abrasiones.
- Obstrucción en las conducciones finas.

Líquidas y gaseosas

El aceite que proviene de la lubricación de los compresores provoca:

- Formación de partículas carbonosas y depósitos gomosos por oxidación.
- Explosiones por inflamación espontanea en contacto con el aceite caliente.
- Contaminación del ambiente al descargar las válvulas.

El agua en forma de vapor provoca:

- Oxidación de tuberías y elementos.
- Disminución de los pasos efectivos de las tuberías y elementos al acumularse las condensaciones.
- Degradación de productos químicos y farmacéuticos.
- Mal acabado en operaciones de pintura y barnizado.

Del estudio de estos inconvenientes se desprende la absoluta necesidad de eliminar inmediatamente después de la compresión la mayor cantidad posible del agua, aceite quemado, polvo, etc., para lo cual se emplean diversos métodos, como:

- Refrigeradores de aire.
- Separadores centrífugos o cerámicos.
- Purgas intermedias.
- Filtros en puntos de utilización.

Secado del aire comprimido

El aire contiene agua en forma de vapor. El vapor es aspirado por el compresor junto con el aire y se encuentra luego en forma concentrada en el aire comprimido. Para determinar el valor de vapor de agua se toma el punto de rocío, y en el aire comprimido el punto de rocío bajo presión.

El poder de absorción de vapor de agua en aire, depende de la temperatura, de ello también puede estimarse la cantidad de agua precipitada.

Separación de agua del aire comprimido

El agua precipitada puede eliminarse por medio de un filtro de aire (separador de agua). Debe tenerse en cuenta una buena tubería de evacuación. Sin embargo un filtro no puede separar vapor de agua. Para ello se necesitan secadores.

Separación del vapor de agua del aire comprimido

Es dependiente del sistema de secado incorporado y del punto de rocío logrado. Los costos de aire comprimido se elevan en aproximadamente del 10 al 20%.

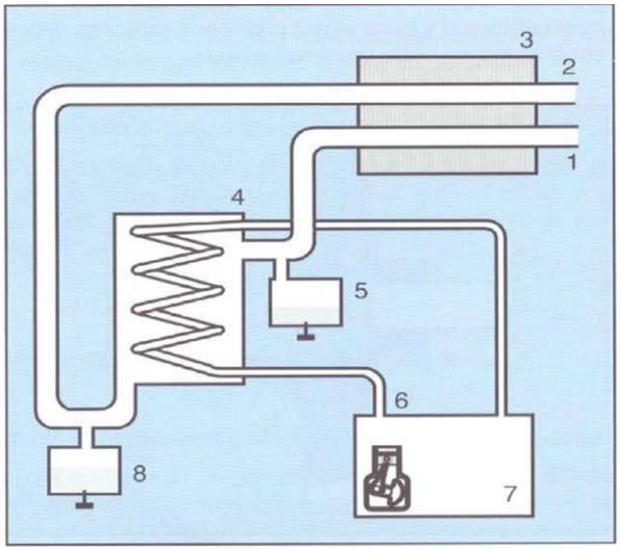
Un secado de aire bien hecho es primordial para sistemas sin fallas y de bajo mantenimiento.

Métodos de secado de aire frecuentes son:

1. Secado por enfriamiento

Los secadores de aire comprimido por enfriamiento se basan en el principio de una reducción de la temperatura del punto de rocío. Se entiende por temperatura del punto de rocío aquella a la que hay que enfriar un gas, al objeto de que se condense el vapor de agua contenido. El aire comprimido a secar entra en el secador pasando primero por el llamado intercambiador de calor de aire-aire (Figura 13).

El aire caliente que entra en el secador se enfría mediante aire seco y frío proveniente del intercambiador de calor (vaporizador). El condensador de aceite y agua se evacua del intercambiador de calor, a través del separador. Este aire preenfriado pasa por el grupo frigorífico (vaporizador) y se enfría más hasta una temperatura de unos 274,7 K (1,7 °C) En este proceso se elimina por segunda vez el agua y aceite condensados. Seguidamente se puede hacer pasar el aire comprimido por un filtro fino, al objeto de eliminar nuevamente partículas de suciedad.



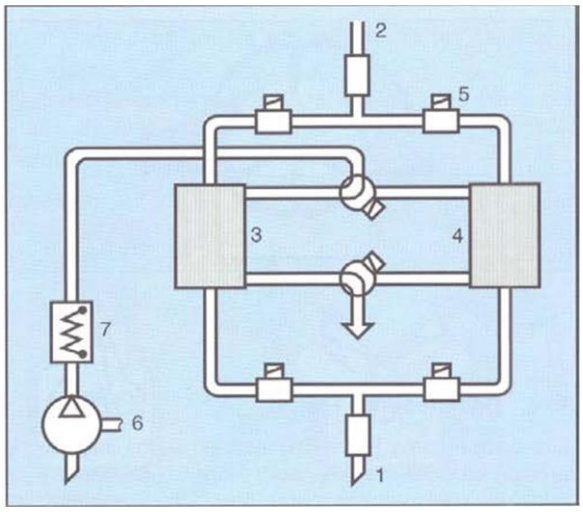
1. Entrada de aire.
2. Salida de aire.
3. Intercambiador de calor aire- aire.
4. Grupo frigorífico.
5. Separador.
6. Agente frigorífico.
7. Máquina frigorífica.
8. Separador.

Figura 13. Principio de secado por enfriamiento.

2. Secado por adsorción

Por adsorción se entiende el depósito de materias en la superficie de cuerpos sólidos. El agente secador, también denominado gel secador, es un granulado compuesto principalmente de óxido de silicio. El método de secado por adsorción permite obtener los puntos de condensación más bajos (hasta –90ºC).

Siempre se utilizan dos unidades de adsorción. Si el gel de la primera unidad está saturado, el equipo conmuta a la segunda unidad. Entretanto, la primera unidad es regenerada mediante un proceso de secado con aire caliente. Ver figura 14.



1. Aire húmedo.
2. Aire seco.
3. Unidad de adsorción 2.
4. Unidad de adsorción 1.
5. Válvula de cierre abierta.
6. Ventilador.
7. Calentador.

Figura 14. Secado por adsorción.

3. Secado por absorción

El proceso de secado por absorción es un método puramente químico que es utilizado muy pocas veces a raíz de los elevados costos de servicio. Este proceso se logra haciendo pasar el aire a través de sustancias químicas, donde el vapor de agua queda retenido. El punto de rocío para este caso es de aproximadamente +10°C.

Por absorción se entiende el proceso mediante el cual una materia sólida o líquida fija una materia gaseiforme. Primero, el aire a presión es guiado a través de un filtro para retirar la mayor cantidad de gotas de agua y de aceite posible. Cuando el aire entra en el secador, es sometido a un movimiento rotativo al atravesar la cámara de secado. La humedad se une a dicha masa de secado y la disuelve. El líquido obtenido de este modo pasa al depósito inferior. Este depósito tiene que ser vaciado regularmente y, además, deberá sustituirse regularmente también la masa de secado, ver figura 15.

Características del método de absorción:

- Instalación sencilla del equipo.
- Poco desgaste mecánico (por no incluir piezas móviles).
- No hay necesidad de recurrir a fuentes de energía externas.

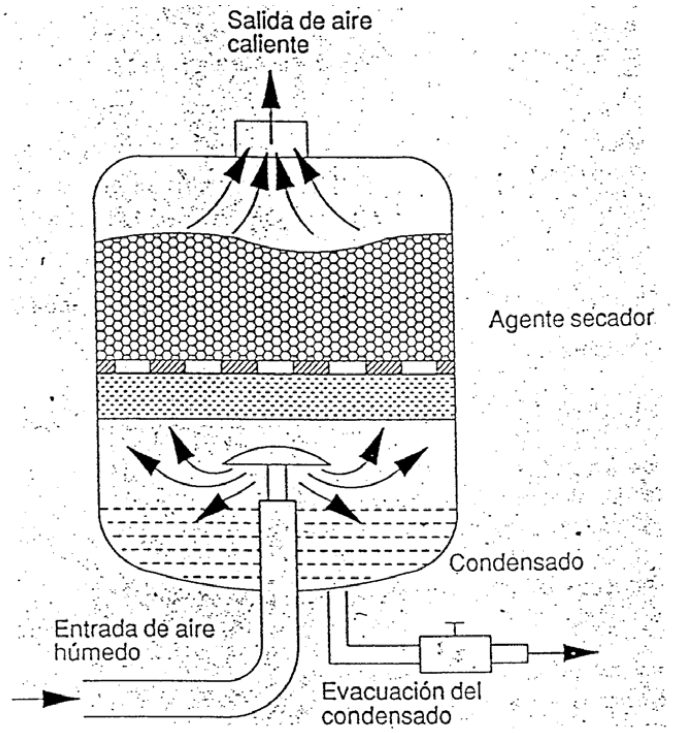


Figura 15. Principio de secado por absorción.

Además del tratamiento antes mencionado se procede a realizar un perfecto acondicionamiento que supone un funcionamiento seguro y duradero de las instalaciones neumáticas, cuidando a su vez que la distribución del aire desde el generador hasta el consumidor tenga una especial atención, ya que en su recorrido se producen fugas que ocasionan pérdidas económicas por disipación del aire. Para conseguir un buen acondicionamiento en una instalación de red de aire comprimido este debe de contar con filtros, reguladores de presión, medidores de presión, lubricadores, unidades de mantenimiento y válvulas, todo esto en puntos estratégicos de la red.

Unidades de mantenimiento

1. Filtro

Sirve para eliminar impurezas sólidas y líquidas (suciedad, agua, aceite). El filtrado ocurre en dos etapas. La separación preliminar es provocada por una rotación a la que está expuesto el aire, generado por un deflector de chapa a la entrada, en definitiva una fuerza centrifuga. La separación fina se produce a través de una capsula filtrante. Los filtros se fabrican en diferentes modelos y deben tener drenajes accionados manualmente, semiautomática o automáticamente. Ver figura 16.

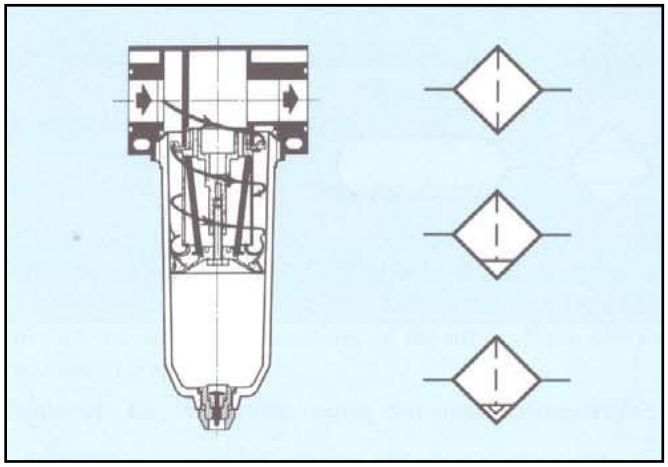


Figura 16. Filtro.

2. Regulador de presión

El regulador de presión tiene la misión de mantener la presión constante en el sistema. Esto solo puede lograrse si la presión regulada (presión secundaria) es menor al punto de presión más bajo del sistema de alimentación (presión primaria). Se puede variar el valor de la presión de salida actuando manualmente sobre el aparato. Ver figura 17.

En función de su construcción, proyecto y de los materiales empleados, pueden trabajar entre unas gamas de presión dadas de 1 a 12 bares.

Se fabrican diversos tipos de reguladores de presión, pero generalmente basados todos en el mismo principio. El verdadero razonamiento para su empleo es: que la presión de salida tenga un valor lo más constante posible.

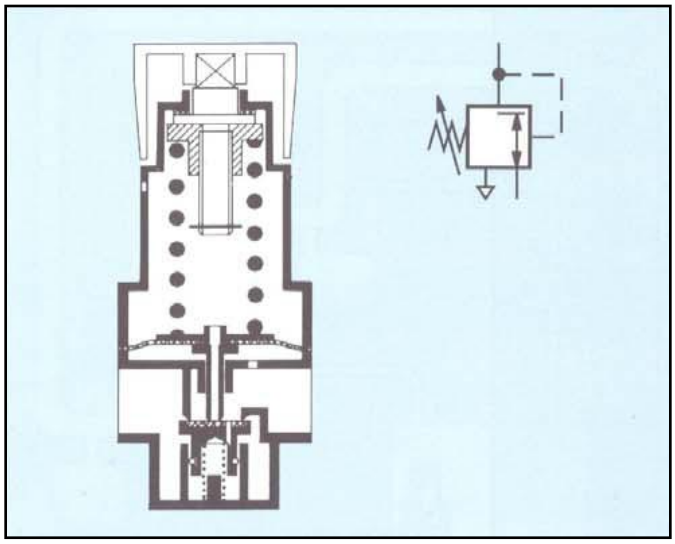


Figura 17. Regulador de presión.

3. Lubricador

El lubricador tiene por misión lubricar a todos los componentes de trabajo y control. Ver figura 18. El aporte de aceite se logra a través de un tubo de ascenso, del cual cae al flujo de aire en forma de gotas, y debido a la alta velocidad traída por el aire se pulverizada. Los lubricadores de aceite son aparatos que regulan y controlan la mezcla de aire-aceite.

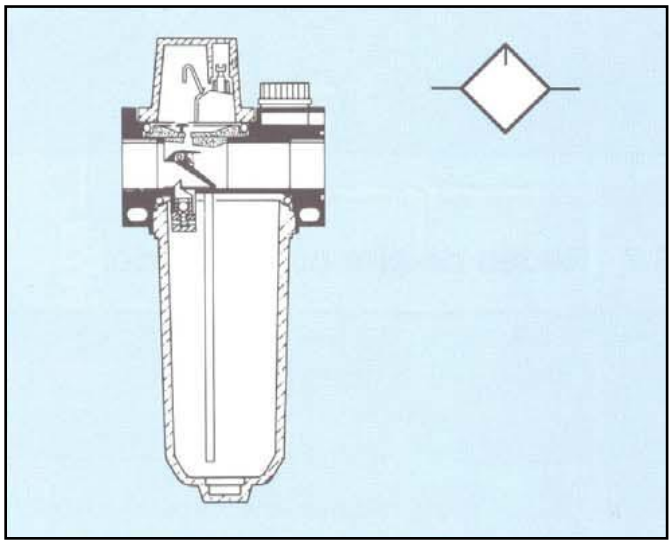


Figura 18. Lubricador.

Los aceites que se emplean deben ser:

- ✓ Muy fluidos.
- ✓ Contener aditivos antioxidantes.
- ✓ Contener aditivos antiespumantes.
- ✓ Tener una viscosidad poco variable trabajando entre 20 °C y 50 °C.
- ✓ Los aceites de vaselina no son recomendados, pues se oxidan mucho y perjudican al resultado de las piezas en movimiento.
- ✓ No pueden emplearse aceites vegetales (forman espumas).
- ✓ En los aceites a emplear, el punto de anilina debe estar entre el 80-100% y la viscosidad equivalente practica, aproximadamente, SAE 10.
- ✓ Los lubricadores tienen por objeto tratar de conseguir que el aceite se introduzca en el aire comprimido en forma de partículas muy pequeñas, consiguiendo una niebla de aceite (nebulización).

Combinaciones de unidades de mantenimiento

Filtro, regulador y lubricador se usan generalmente como unidades de preparación delante del sistema (ver figura 19). De todas formas esto solo es necesario, cuando el aire no cumple con la calidad correspondiente en la línea central.

La unidad de mantenimiento debe adaptarse al consumo de aire previsto en el sistema.

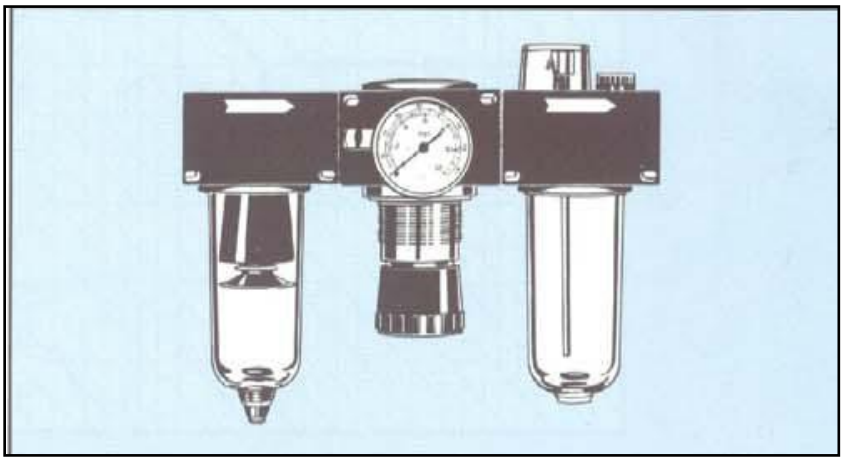


Figura 19. Filtro, regulador y lubricador.

El aire comprimido, para su utilización, precisa de un proceso de purificación, regulación y engrase que logramos mediante el empleo de una unidad de mantenimiento (grupo FLR) que debe ir montado a la entrada general de los circuitos neumáticos.

El grupo tiene como objeto:

- Eliminar el agua condensada arrastrada por el aire a lo largo de las tuberías hacia los órganos de trabajo y módulos de mando.
- Detiene las partículas sólidas que contiene el aire comprimido en suspensión.
- Regula la presión de utilización del aire comprimido manteniéndola constante dentro de unos límites aceptables.
- Engrasa el aire comprimido con el fin de lubricar los elementos neumáticos que lo precisen.

El grupo FLR precisa periódicamente de un mantenimiento mismo que se describe en el apartado Mantenimiento del sistema de aire comprimido.

7.4 Redes de aire comprimido

Para que la distribución de aire sea fiable es conveniente acatar una serie de puntos:

- ✓ Dimensiones correctas del sistema de tuberías.
- ✓ Elección correcta de los materiales.
- ✓ Resistir el caudal del aire.
- ✓ Correcta configuración del sistema de tuberías.
- ✓ Un buen mantenimiento.
- ✓ Tratándose de instalaciones nuevas debe tenerse en cuenta una posible ampliación posterior. Concretamente, la tubería principal debería tener dimensiones mayores a las que se necesitan para el sistema actual. Es recomendable instalar cierres y válvulas de bloqueo adicionales.

Disposición de las conducciones

El montaje de las conducciones de aire comprimido, por regla general, se realizan según:

1) Ubicación de los puntos de consumo.
2) Ubicación de las máquinas.
3) Configuración del edificio.
4) Actividades dentro de la planta industrial.

Se debe de tener en cuenta los siguientes principios:

- Trazado de la tubería eligiendo los recorridos más cortos y lo más recta posible, evitando los cambios bruscos de dirección, las reducciones de sección, las curvas, las T, etc. con el objeto de evitar pérdida de carga.
- Colocar válvulas de paso en los ramales principales y secundarios. Esto facilita la reparación y mantenimiento sin poner fuera de servicio toda la instalación.
- Las tomas de aire de servicio o bajantes deben hacerse desde la parte superior. La toma y conexiones en las bajantes se realizarán colocando en su parte inferior un grifo de purga. Prever la utilización de filtros, reguladores y lubricadores (FRL) en las tomas de servicio.

Sistemas de distribución

El máximo grado de utilización de la capacidad de producción de un sistema neumático depende en gran manera, de un correcto diseño en origen, siendo por tanto, necesario perfilar minuciosamente las características del proyecto e identificarse con su contenido antes de pasar a su realización en la práctica.

Deben tomarse en cuenta algunos parámetros para proyectar alguna instalación neumática, tales como:

a) **Presión**. A la cual debemos trabajar, tanto para el caudal de aire suministrado por el compresor como para el de utilización en la red. Mientras no se indique lo contrario, al hablar de presión serán siempre presiones efectivas, que se cuentan a partir de la presión atmosférica. Los manómetros industriales miden la presión efectiva.

b) **Caudal**. El caudal de aire que debe suministrar el compresor así como el que debe circular por cada zona de trabajo o ramal de distribución. El caudal de aire comprimido viene expresado en N- m^3/ min. ó en N-litros/min. Referidos al aire libre ó CFMS (pies cúbicos por minutos estándar).

c) **Perdida de presión**. Pérdida de carga o caída de presión, diferentes expresiones que vienen a significar lo mismo, se refieren a la pérdida de energía que se va originando en el aire comprimido ante los diferentes obstáculos que encuentra en su desplazamiento hacia los puntos de utilización como son: enfriadores posteriores, secadores, tuberías, etc.

   El conseguir que la pérdida de presión esté entre los límites permisibles será una de las tareas fundamentales en el momento de concebir una instalación.

d) **Velocidad de circulación**. También existe límite para la velocidad del aire, ya que cuanto mayor es la velocidad de circulación, tanto mayor es la pérdida de presión en el recorrido hasta el punto de su aplicación.

e) **Estanqueidad**. Significa que toda la instalación debe ser hermética ó libre de fugas.

Una vez fijados presión, caudal, pérdida de presión y velocidad de circulación; ya se está en condiciones de dimensionar la instalación y de encontrar los diámetros de tubería adecuados, mediante el empleo de los nomogramas correspondientes para el cálculo de tuberías de aire comprimido o mediante la aplicación de la ecuación general o la ecuación de Morris empleadas para el dimensionamiento de tubería para aire comprimido.

No solamente importa el dimensionado correcto de las tuberías, sino también el tendido de las mismas.

Las tuberías requieren un mantenimiento y vigilancia regulares, motivo por el cual no deben instalarse dentro de obras ni emplazamientos demasiado estrechos. En estos casos, la detección de posibles fugas se hace difícil. Pequeñas faltas de estanqueidad ocasionan considerables pérdidas de presión.

En el tendido de las tuberías debe cuidarse preferentemente que el montaje de la tubería sea aéreo, esto facilita la inspección y el mantenimiento, sobre todo, de que la tubería tenga un descenso en el sentido de la corriente del 1 al 2%. Las tuberías subterráneas no son prácticas. Dimensionar generosamente las mismas para atender una futura demanda. En consideración a la presencia de condensado las derivaciones para las tomas de aire, en el caso de que las tuberías estén tendidas horizontalmente, se dispondrán siempre en la parte superior del tubo. Así se evita que el agua condensada que posiblemente se encuentre en la tubería principal llegue a través de las tomas. Para recoger y vaciar el agua condensada se disponen tuberías especiales en la parte inferior de la principal.

En toda red se distinguen tres partes. Las tuberías pueden clasificarse de acuerdo al caudal que manejan:

- ✓ Tubería principal
- ✓ Tubería secundaria
- ✓ Tubería de servicio.

Tubería principal. Es la línea de aire que sale del depósito y conduce la totalidad del caudal a las naves, secciones o puestos de trabajo. Debe tener la mayor sección posible y prever un margen de seguridad en cuanto a futuras ampliaciones de la planta, y por consiguiente, a un aumento de la central de compresoras. La velocidad máxima del aire es de $V_{max} = 8\frac{m}{s}$. Se suelen disponer de dos formas:

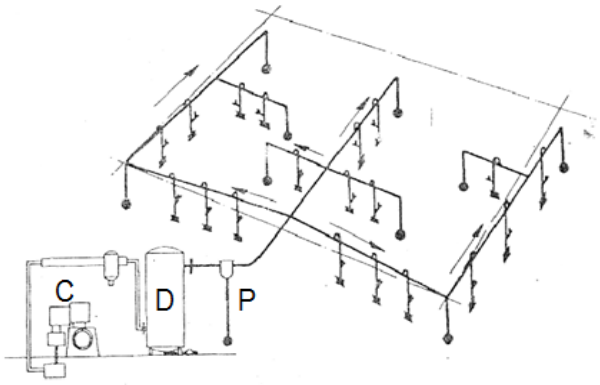
- Circuito abierto
- Circuito cerrado

Circuito abierto

Consiste en una entrada general, que se va ramificando hacia las distintas utilizaciones. Se emplean en instalaciones de pequeña y mediana importancia, o cuando se prevea que el consumo no afectara a la presión en el extremo del circuito. En la figura 20 se aprecia un ejemplo de este tipo de red.

Cuando todas las derivaciones están consumiendo aire, aquellas más alejadas de la alimentación reciben menos presión que las intermedias.

Cuando se avería una determinada zona de la canalización, queda sin servicio una gran parte de la misma.



TUBERIA EN RED ABIERTA

C = COMPRESOR DE AIRE
D = DEPÓSITO DE AIRE
P = PURGA DE AIRE

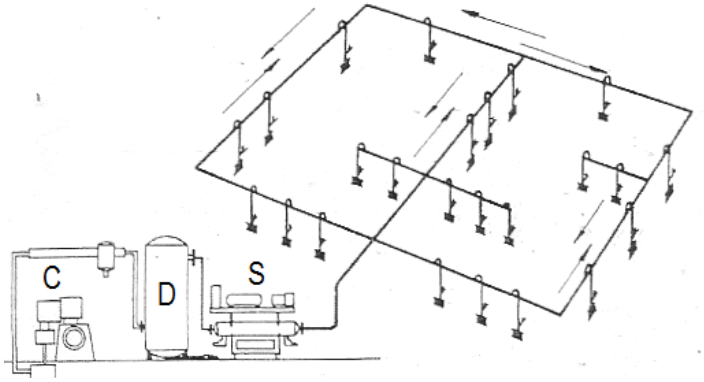
Figura 20. Circuito abierto.

Circuito cerrado

Resultan más caras en su implantación (hay que emplear mayor cantidad de material), pero resultan ventajosas en cuanto suministro de caudal con menos perdidas de carga.

Cuando se producen una avería en cualquier punto de la red, se puede aislar permitiendo el funcionamiento del resto de la instalación, si previamente se han dispuesto grifos o llaves de cierre convenientemente distribuidas.

Se emplean en grandes instalaciones y siempre que se prevén consumos intermedios importantes.



TUBERIA EN RED CERRADA

S = SECADOR
C = COMPRESOR DE AIRE
D = DEPÓSITO DE AIRE
P = PURGA DE CONDENSADO

Figura 21. Circuito cerrado.

Con ésta instalación se reduce en un tercio el diámetro de la tubería, comparada con la línea normal abierta, así mismo se logra un suministro de aire comprimido equilibrado libre de fluctuaciones. Así también se recomienda sólo en casos en que se tiene un equipo de secado después del depósito con lo que se asegura que no existe humedad en el aire de suministro de la red.

La red de aire comprimido se monta perfectamente con tubo de acero y uniones soldadas ya que éstas ofrecen mejor estanqueidad que cualquier unión atornillada, una desventaja es que durante la soldadura, se desprenden escamas de óxido y por otro lado la soldadura tiende a oxidarse rápidamente no obstante con la inclusión de la unidad de mantenimiento se soluciona éste problema.

Para su mantenimiento, toda red de aire comprimido debe poderse seccionar mediante válvulas de bloqueo, el tamaño de las secciones viene determinado por el número de consumidores conectados a ella.

Tubería secundaria. Son las que toman el aire de la tubería principal, ramificándose por las áreas de trabajo y de las cuales salen las tuberías de servicio.

Tuberías de servicio. También se les llaman bajantes, son las que alimentan a los equipos neumáticos. Llevan los enchufes rápidos y las mangueras de aire Se deben dimensionar conforme el número de salidas o tomas, procurando que no se coloquen más de dos o tres enchufes rápidos en cada una de ellas. Se debe procurar no hacer tuberías de servicio inferior a ½ de pulgadas, ya que si el aire está sucio, puede cegarlas, la velocidad máxima permitida debe de ser de $V_{max} = 15\frac{m}{s}$.

7.5 Dimensionamiento de tuberías

Cuando se transporta un fluido a través de una tubería se produce, inevitablemente, una pérdida de presión que se traduce en un consumo de energía y, por tanto en un aumento de los costos de explotación.

Hablando de aire comprimido la caída de presión en un tubo recto se puede calcular mediante dos formulas:

Formula general (Sistema Internacional)

$$\Delta P = \frac{\beta V^2 L\, P}{RTD}\ atm. \qquad \text{(Ecuación 6)}$$

Donde:

ΔP = Caída de presión en atmósferas.
P = Presión en atmósferas absoluta.
R = Constante del gas. Equivalente a $29.27\ {}^{m}/_{\circ K}$ para el aire.
T = Temperatura absoluta ($t\ +\ 273$) Kelvin.
D = Diámetro interior de la tubería en milímetros. Ver apéndice D clasificación de tubería según cedula.
L = Longitud de la tubería en metros. Se incluyen valores equivalente de accesorios ver anexo A-2.
V = Velocidad del aire en $\frac{m}{s}$.
β = Índice de resistencia, grado medio de rugosidad, variable con la cantidad suministrada G. Ver Anexo A-1.
G = Cantidad de aire suministrada en $\frac{kg}{Hr}$. Esta cantidad se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{G = 1.3Q \times 60\ \frac{kg}{Hr}.} \qquad \text{(Ecuación 7)}$$

Q= flujo volumétrico en $\frac{N-m^3}{min}$.

Ecuación de Harris (Sistema Ingles)

$$\boldsymbol{\Delta P = \frac{CLQ^2}{CRd^5}\ psi.} \qquad \text{(Ecuación 8)}$$

Donde:

ΔP = Caída de presión (psi).
C = Coeficiente experimental.
L = Longitud de la instalación (ft).
L_T= Longitud de tubería recta (ft).
L_e= Longitud equivalente de tubería por accesorios (ft).
Q = Gasto de aire comprimido (scfs).
CR = Relación de compresión.
d = Diámetro interior de la tubería (in).
P= Presión absoluta del sistema (psi).
P_T= Presión de trabajo (psi).
P_{atm}= Presión atmosférica (14.7 psi).

Nota = suponer la temperatura del aire (t) aproximadamente igual a la temperatura ambiente, si no se conoce éste dato.

Para el desarrollo de este proyecto se retoma la ecuación 6 por su mayor simplicidad y para acatar el proyecto a las tendencias actuales de utilizar el sistema internacional.

Ahora para calcular la velocidad del aire se tiene:

$$\boldsymbol{V = \frac{Q \times 10000}{60\ P \times A}} \quad \boldsymbol{m/s.} \qquad \text{(Ecuación 9)}$$

También se puede determinar el dimensionamiento de la tubería y caída de presión utilizando nomogramas, estas son empleadas cuando se necesita ahorrar tiempo ya que son más simples y garantizan rapidez en los cálculos, factor que los hace diferentes de las formulas pero resultan ser menos exactos.

Para cálculo de tubería principal, secundaria y de servicio se utiliza el nomograma del anexo B-2. También es necesario conocer las caídas de presión por accesorios en tubería recta equivalente esto se toma del anexo A-2. Para determinar la velocidad se utiliza el nomograma del anexo B-3. Para el cálculo de la caída de presión en la tubería conectada con la herramienta se utiliza el nomograma del anexo B-1, y para seleccionar el tamaño del tanque de almacenamiento se utiliza el nomograma del FESTO DIDACTIC del anexo B-4.

7.6 Especificaciones de acuerdo a normas de Comisión Federal de Electricidad (CFE) retomadas para el proyecto

Sistema de aire comprimido

El equipo de aire de servicios debe estar constituido por compresores accionados con motores eléctricos, control automático con accesorios, enfriadores con accesorios, tanque receptor o de almacenamiento de aire con accesorios, separadores de condensados, equipo auxiliar y red de distribución (tuberías, válvulas y accesorios). El arreglo debe considerar el acoplamiento de dos compresores de aire del 100 % de la capacidad requerida, uno de los cuales que debe operar en condiciones normales y el otro, como respaldo.

Deben suministrarse las válvulas, accesorios y soportes necesarios para interconectar a los dos compresores que alimenten al tanque de almacenamiento de aire. El equipo que se adquiere debe ser capaz de proporcionar aire en volumen y a la presión requerida por las herramientas para dar mantenimiento a los equipos localizados en los diferentes niveles de la casa de máquinas de la central.

Las zonas que se deben considerar para la utilización de aire comprimido, son las siguientes: piso de excitadores, piso de generadores, piso de la turbina, la unidad auxiliar, galería de inspección, playa de montaje, laboratorios, taller electromecánico y zona de compuertas de desfogue.

Compresores de aire

Deben ser estacionarios, tipo reciprocante de dos etapas o de tornillo rotativo, con inyección de aceite y refrigerados por aire, accionados por medio de motor eléctrico de inducción, acoplado al eje del compresor por medio de bridas para el tipo tornillo o por bandas para el tipo reciprocante. Su selección está en función de los parámetros siguientes: presión máxima de trabajo, presión normal de trabajo, consumo de energía y capacidad, los motores deben ser de inducción, trifásicos con rotor en corto circuito, (jaula de ardilla), protegido contra intemperie y con aislamiento clase F, para operar en un sistema de 480 V y 60 Hz, la calidad, funcionamiento.

Los motores del compresor se debe tener en cuenta que su funcionamiento es intermitente, de 3 a 6 minutos según se determine y con arranques automáticos.

Deben contar con protección por sobrecarga, el diseño del compresor debe asegurar que el nivel de ruido no exceda lo establecido en las normas NDM-01 1-STPS y NDM-081-SEMARNAT, si el nivel de ruido de los equipos de operación, excede de los valores ofrecidos por el proveedor, éste debe hacer las modificaciones necesarias para su corrección, sin costo adicional para CFE.

El compresor con todos sus accesorios debe estar montado sobre una misma base rígida metálica con almohadilla de goma en su parte inferior para amortiguar las vibraciones, debe llevar un filtro de aspiración, tener integrado un gabinete de control, con instrumentos que indiquen y controlen la presión y la temperatura del aire y del aceite, así como el nivel de aceite de la unidad.

Tener dispositivos de seguridad para desconectar el motor por alta temperatura o bajo nivel de aceite en el compresor.

Tener un depósito y separador para el aceite inyectado a la cámara de compresión y el aceite suspendido en el aire comprimido.

Montarse una válvula de alivio en el separador de aceite, en tal forma que el compresor se pueda despresurizar cuando sea necesario inspeccionar el tanque.

Tener una válvula de seguridad inmediatamente después del compresor, para que actúe cuando se supera el valor de la presión máxima de descarga. En las Características Particulares se indican los valores de trabajo para los compresores.

Tener un enfriador del tipo enfriado por aire y estar dotado de separador de condensado con purga automática; la temperatura del aire comprimido de descarga, no debe ser mayor de 10 °C sobre la temperatura del medio ambiente.

El sistema de lubricación debe ser del tipo de inyección de aceite, con filtro e interruptor de presión y un enfriador de tipo enfriado por aire.

El control debe ser del tipo arranque y paro automático, con un regulador que combine el funcionamiento de la válvula de descarga, (con el compresor funcionando en vacío durante periodos cortos, en que el consumo de aire es bajo o no existe), con la función automática de arranque y paro, (en que el motor se pare cuando se tienen periodos prolongados sin consumo de aire).

Los compresores deben detenerse automáticamente requiriendo restablecimiento manual si cualquiera de las siguientes fallas ocurre:

• Fallas en la alimentación del circuito de fuerza o de control.
• Baja presión de aceite.
• Alta temperatura del aire.
• Alta temperatura del aceite.
• Si la corriente del motor excede en intensidad y duración a lo que el fabricante especifique.

El equipo debe estar cubierto por un gabinete para su protección y aislamiento de ruido.

Tanque de almacenamiento

Debe ser diseñado y construido de acuerdo con el código para recipientes a presión, el cual viene descrito por los siguientes puntos:

1. El criterio de diseño utilizado por la Secc. VIII Div. 1 del código para recipientes a presión, establece que el espesor de pared de un recipiente a presión, deberá ser tal que las tensiones generadas por la presión, no deben exceder el valor de la tensión admisible del material.
2. La tensión admisible a la tracción para cada material, resultará de dividir por 3,5 a la tensión de rotura de ese material a la temperatura de diseño.
3. No obstante que los valores de tensión de rotura que figuren en los certificados de Usina ó que resulten de ensayos posteriores, tengan valores por arriba del valor que para ese material y esa temperatura se establece en la Secc. II, este último es a partir del cual se tomará la tensión admisible a utilizar en el cálculo.
4. La presión de trabajo máxima permitida, estará limitada por la envolvente ó los cabezales y no por partes menores.

5. Los recipientes cubiertos por la Secc. VIII Div. 1, serán diseñados para las más severas condiciones coincidentes de presión y temperatura previstas para las condiciones normales de operación que le son requeridas. Consecuentemente, la presión de diseño será la máxima de trabajo admitida por el recipiente sin que se supere la tensión admisible del material en el punto más comprometido.
6. En los recipientes cilíndricos verticales de altura considerable, también deberán ser verificadas las tensiones que provocan, además de la presión, otros factores tales como las cargas excéntricas, la acción del viento y las cargas sísmicas (si correspondiere); asimismo, también deben ser considerados el efecto de la temperatura si fuere el caso, la posibilidad de cargas de impacto, etc. El análisis debe concentrarse en la verificación de la condición más desfavorable, provocada por su efecto combinado.
7. Los recipientes sometidos a presión, deberán ser diseñados para poder soportar las tensiones debidas a las cargas ejercidas por la presión interna ó externa, el peso del recipiente lleno de líquido y toda otra solicitación que agregue tensiones sobre las partes que lo componen.
8. En el caso de tanques horizontales con longitud considerable y 2 cunas de apoyo, además del peso propio y de elementos interiores, deben ser calculadas solicitaciones generadas en los apoyos y en el centro de la luz por el peso del líquido durante la realización de la Prueba Hidráulica, los que suman esfuerzos de tracción en esas zonas que son las más comprometidas.
9. En general se acepta que los recipientes verticales de altura considerable (caso torres de destilación), deban diseñarse con espesores variables, de manera tal que bajo las condiciones de operación normales, admitan una deflexión no mayor de 6” por cada 100 pies de altura, bajo la velocidad máxima del viento tenida en cuenta para el diseño. Tolerancia por corrosión: Las superficies interiores de un recipiente, al estar en contacto con el fluido, pueden estar expuestas a sufrir la pérdida de espesor por efecto de la corrosión y en el caso de movimiento de sólidos en suspensión, por erosión ó abrasión mecánica. El Código no permite que el espesor mínimo de la envolvente y de los cabezales (luego de conformados) de un recipiente a presión, sea menor a 1/16” (1,59 mm), excluida la tolerancia por corrosión; en todos los casos en los que se considere que esta pudiere aparecer, se debe sumar un sobreespesor adicional al de cálculo; está establecido como recomendable, adicionar un valor del orden de 1/16”, con lo cual el espesor mínimo, no debería ser menor de 1/8” (3,17 mm). En el caso de recipientes para aire comprimido, vapor de agua ó agua a presión, el espesor mínimo será de 3/32” (2,38 mm) y previéndose corrosión, no debería ser menor de 5/32” (3,97 mm). En el caso de generadores de vapor sin fuego, no será menor de ¼” (6,35 mm) y adicionando la tolerancia por corrosión, no menor de 5/16” (7,93 mm).

10. Será responsabilidad del diseñador establecer en función del fluido y del servicio, el valor que resulte apropiado para permitir una vida útil razonable. Salvo casos especiales, los recipientes a presión deberán ser diseñados para una vida útil no menor de 15 años de operación continuada. En el caso particular de la Normativa de la Provincia de Buenos Aires, la vida útil de un recipiente habilitado, ha sido establecida en 30 años.

    Esto es un límite temporal válido siempre y cuando el espesor se mantenga por sobre el mínimo admisible por cálculo; cuando el valor medido resulte menor a ese mínimo, la vida útil del recipiente para operar a la presión para la que ha sido diseñado ha concluido, cualquiera que sea el tiempo transcurrido desde su puesta en servicio. Como el avance real de una posible corrosión puede responder a factores que no hayan sido previstos, para no correr riesgos, la Norma exige la realización del control periódico de espesores.
    Por lo indicado precedentemente y a los efectos de posibilitar el control periódico, los recipientes deberán contar con aberturas de inspección. Así por ejemplo, el Código establece que los recipientes con diámetro interior hasta 36” deberán contar con una boca de hombre ó 2 cuplas de 2” c/tapón roscado.
    Los diámetros mayores de 36” siempre deberán contar con boca de hombre con diámetro mayor ó igual a 16”; lo aconsejable es utilizar 18 ó 20”. Cuando exista seguridad de que el fluido no es corrosivo, la boca de hombre podrá ser obviada.

Se debe procurar que el tanque quede instalado lo más cerca posible del compresor, debe ser dotado de una válvula de drenaje automática, válvula de seguridad, manómetro, escotilla de inspección y todas las conexiones, niples y codos para instalar estos accesorios, para el caso del equipo de casa de máquinas, la capacidad mínima del tanque de almacenamiento de aire, es la determinada por los parámetros considerados en la selección del compresor, y que se describen en las características particulares, para los equipos del taller mecánico, la capacidad debe determinarse en función del número de tomas y factor de utilización, lo que debe ser justificado por el licitante con el arreglo del sistema propuesto y la memoria de cálculo correspondiente.

Red de tuberías

Para el diseño y elaboración de este sistema, se debe realizar un plano acotado de la central, en donde debe instalarse la red de distribución de aire comprimido, situando los puntos de consumo de aire y anotando este consumo, además de localizar el lugar en donde deben ser ubicados los compresores y los tanques de almacenamiento.

Una vez establecidos los puntos de consumo, y para completar el diseño de la instalación, se deben considerar los siguientes conceptos:

a) El trazado de la red debe diseñarse de acuerdo a la configuración de la central y de las actividades que se desarrollen en ésta.

b) Para el tendido de la tubería, se deben elegir las distancias más cortas, procurando que las conducciones sean lo más rectas posible, para lo cual hay que evitar, siempre que sea posible, cambios innecesarios de dirección, codos dobles, curvas, piezas en T, derivaciones y reducciones de sección.

c) El montaje de la red de tuberías debe ser exterior, (salvo en lugares donde esto no sea posible), para una mejor inspección y un buen mantenimiento.

d) Si por circunstancias de fuerza mayor, hubiese que colocar las tuberías en alguna galería de servicio, se debe procurar que no interfieran con otros equipos.

e) Las características de las tuberías, de sus soportes y de los puntos de sujeción, deben ser determinados mediante un cálculo de flexibilidad.

f) Antes de habilitarse nuevas tomas o salidas de aire en tuberías existentes, debe comprobarse que sus diámetros son todavía suficientes para una cantidad adicional de aire comprimido.

g) Las tuberías principales deben ser dimensionadas para poder atender la demanda de aire sin pérdida excesiva de presión y estar ligeramente inclinadas (con pendientes de 1/200 a 1/400) en el sentido del flujo de aire, a fin de que el agua que se condense, drene en la misma dirección que tiene el aire comprimido, colocando en el extremo de la tubería, un ramal de bajada provisto de una purga automática para desalojar el agua acumulada.

h) Se deben colocar válvulas de paso en los ramales principales y secundarios, con el objeto de que se puedan revisar las tuberías, o instalar nuevas derivaciones, sin necesidad de esperar a que pare la planta, o tener que dejar fuera de servicio a los compresores.

i) La pérdida de presión máxima permisible, es de 29,4 kPa, considerando una ruta desde el tanque receptor, hasta la toma más alejada, y un tramo de manguera flexible de 15 m de longitud y módulo portátil. Si se produce un cambio de pendiente, debe preverse una toma para colocar una purga.

k) Las uniones entre tramos rectos, pueden ser roscadas o bridadas, tomando en cuenta que para tuberías y accesorios mayores de 65 mm, deben ser bridadas.

Recubrimientos y acabados

Todos los equipos y accesorios deben protegerse contra la corrosión con recubrimientos anticorrosivos.

Condiciones de operación

El sistema debe contar con los equipos y accesorios necesarios, acordes con el arreglo seleccionado, el cual debe garantizar la operación de los equipos y del sistema en cuestión.

El sistema debe estar dotado de un filtro de doble canasta auto limpiable y auto operado con alternancia en la operación, sin interrumpir su funcionamiento, y si se requiere, de una válvula reguladora de presión, ésta debe contar con una línea de derivación, ("by-pass"), todo lo anterior, ubicado en un lugar accesible y seguro para su operación manual, en caso de falla.

Los compresores tipo reciprocante de 2 etapas, requieren relevadores de sobrecarga, para los arranques manuales y para los automáticos.

7.7 Mantenimiento del sistema de aire comprimido

Compresor

EL Mantenimiento viene especificado por el manual del fabricante frecuente pero sencillo y conocido por prácticamente todo el personal mecánico, generalmente necesitamos diagnosticar las vibraciones, fugas, sellos y válvulas aspiración y escape, anillos de retención, entre otros. El mantenimiento de un compresor alternativo se realiza cada 10.000 horas aproximadamente y varía según potencia y fabricante. Como norma, podemos decir que a menor potencia menor mantenimiento.

Válvulas de drenaje automático mecánico

Funcionan por principios mecánicos y no requieren ningún tipo de energía exterior. Tiene la desventaja que el tiempo de ciclado es relativamente aleatorio no habiendo ningún control sobre el tiempo que la válvula permanezca abierta y permitiendo que se deposite una capa sobre la válvula haciendo que esta pierda sensibilidad hasta que se bloquea.

Como consecuencia de la pérdida de sensibilidad por depósitos este tipo de válvulas requiere mantenimiento periódico.

Válvulas de drenaje automático de flotador

Este tipo de válvula de drenaje automático es menos susceptible de sufrir problemas por acumulación de contaminantes que la válvula de flotador, y como consecuencia el mantenimiento es menos frecuente.

Filtros

Los filtros están diseñados para retener partículas sólidas, interceptando las mismas mediante un elemento filtrante que puede ser de diversos materiales: Papel, rejillas metálicas, mallas de nylon, espumas, etc. Dichos elementos son recambiables y deben ser remplazados periódicamente puesto que se van saturando y ocasionan altas perdidas de presión.

Limpiar los filtros reutilizables y sustituir los desechables tanto en la aspiración como en la impulsión (Pre y post filtros). Los filtros sucios incrementan el consumo energético y el consumo de aire.

Filtros coalescentes

El propósito de estos es retener lubricantes, emulsiones y neblinas, mediante el principio de coalescencia, el cual consiste básicamente en tener una red aleatoria de fibras, la cual ante el paso de aire, produce formación de gotas alrededor de las fibras, cayendo luego estas a un recipiente de acumulación por efecto de gravedad. Como consecuencia del diseño del filtro pueden retenerse partículas sólidas incluso de menor tamaño que las retenidas por un filtro de partículas, por esto se recomienda instalar primero un filtro de partículas antes que uno coalescente y así evitar que este se sature.

Filtros de vapores

Son filtros diseñados para remover olores, sabores y vapores orgánicos. Su principio de funcionamiento consiste en lechos de carbón activado que mediante adsorción remueven dichos contaminantes.

Secadores

A causa del calor generado durante el proceso de compresión, el aire comprimido sale con un grado de saturación del 100% en la mayoría de los casos; al ir disminuyendo la temperatura del aire comprimido durante su permanencia en el tanque y su paso por los diferentes accesorios y tuberías, pierde capacidad de retener vapor de agua, lo cual genera inevitablemente condensados, (agua líquida).

La presencia de condensados en el aire produce diversos problemas tales como corrosión, mal funcionamiento de herramientas neumáticas etc.

El mantenimiento de estos equipos es complejo por que manejan muchos elementos, en caso de no tener catalogo del equipo seguir las indicaciones de mantenimiento recomendadas en para cada uno de las partes que conforman este equipo, es necesario un conocimiento técnico.

Requieren un mantenimiento frecuente y los materiales desecantes se van deteriorando, por diversas causas tales como la contaminación del aceite, corrosión química, erosión ante el paso de aire, regeneración incompleta etc.

La mezcla de agua y sustancia secante tiene que ser eliminada regularmente del absorbedor. Ello se puede realizar manual o automáticamente.

Con el tiempo se consume la sustancia secante, y debe suplirse en intervalos regulares (2 a 4 veces al año). En el secador por absorción se separan vapores y partículas de aceite.

No obstante, las cantidades de aceite, si son grandes, influyen en el funcionamiento del secador. Por esto conviene montar un filtro fino delante de éste.

El mantenimiento depende mucho del principio de funcionamiento y las prácticas recomendadas por el fabricante.

Tanques de almacenamiento

Revisar que la válvula de seguridad se abra a una presión un 20% mayor que la presión máxima del sistema y que tenga una capacidad de evacuación mayor a la de los compresores. Un sistema de evacuación de condensado automático, un bypass para mantenimiento y un manómetro confiable. Algunas veces se colocan medidores de temperatura y doble manómetro (de reserva)

El principal aspecto es la seguridad, ya que estos elementos son bombas en potencia. Las rutinas de mantenimiento se deben realizar con adecuada periodicidad, verificándose el estado de los elementos de seguridad realizándose inclusive ensayos no destructivos tales como ultrasonido y radiografías para verificar el óptimo estado de los mismos.

El mantenimiento que se le realiza al tanque se limita a una limpieza interior en muy escasas ocasiones, además de la verificación constante de las purgas.

Unidades de mantenimiento

El grupo FLR precisa periódicamente de un mantenimiento que, en líneas generales, consiste en lo siguiente:

- Controlar el nivel de condensaciones de los filtros de aire comprimido. Un exceso sobre el mínimo permitido puede dar lugar al paso de agua a depósitos de aceite y, de allí, a la utilización.
- El cartucho filtrante del aire comprimido debe limpiarse periódicamente o cambiarse en casos que así lo requiriesen.
- El regulador de presión no suele precisar de cuidados (relativos) siempre que este precedido de un filtro de aire comprimido.
- Revisar el nivel de aceite del lubricador y mantenerlo al nivel aconsejado.
- Limpiar periódicamente, no empleando disolventes del tipo tricloroetilénicos ni detergentes.
- Emplear aceites recomendados al efectuar el cambio o reposición.

El mantenimiento de las válvulas acondicionadoras de presión es de cierta manera más complejo que el del resto de elementos de la unidad.

Dicho mantenimiento se basa en las pruebas de fuga de aire las cuales consisten principalmente en suministrarle aire a altas presiones al regulador por sus dos entradas. Si suministramos una alta presión sólo a la entrada del regulador, no debe fluir aire hacia la salida. Esto se comprueba palpando el ducto de salida con el dedo húmedo. La otra prueba que se realiza es calibrando el resorte para una máxima presión de salida y suministrándole sólo aire a presión por la salida. Si esta es inferior a la máxima del resorte, no debería salir aire por el ducto opuesto de la válvula (la entrada).

Los nivel de lubricante deben mantenerse adecuadamente una o más veces por jornada. Es por eso que los operarios deben tener a su alcance lubricante suficiente. Si hubiera condensados de agua, se eliminan por el grifo de purga ya que el aceite es más ligero y flota sobre ella, por lo cual esta operación debería hacerse con regularidad, ya que si el nivel del agua alcanza el tubo de aspiración se produciría la pulverización del agua hacia la aplicación. En condiciones normales, la limpieza o eliminación de sedimentos cada seis meses suele ser suficiente.

7.7.1 Programa de mantenimiento

En los sistemas de aire comprimido se debe llevar a cabo un mantenimiento periódico. Cuando se está utilizando el sistema de aire comprimido:

Al día: Deberán vaciarse los filtros de purga manual.

Una vez a la semana: Se deberá comprobar si existen fugas en la zona más cercana al puesto de trabajo. Se verificarán las juntas entre herramientas y conectores, acoplamientos, mangueras y unidades de preparación de aire. Los lubricadores se llenarán con aceite.

Cada dos meses: Se comprobará el sistema de aire completo. Primero, escuche si hay fugas, comprobando con la mano en las zonas sospechosas. Se puede usar una solución de agua y jabón para detectar el punto exacto del escape (burbujas). Tome las medidas necesarias para reparar la fuga. Deben comprobarse todos los puestos de trabajo abriendo las válvulas en las tomas. Ajustando el caudal de aire requerido en la unidad de mantenimiento.

Cada seis meses: Se deberán limpiar los elementos de filtro con una pistola de soplado, para evitar una mayor caída de presión.

La válvula de seguridad del protector contra escapes de manguera se deberá limpiar con aire comprimido cada 6 meses. El objetivo es evitar perturbaciones en el reajuste automático del protector.

Mantenimiento a la línea de tubería cuando se presente oxidación excesiva

La corrosión se presenta en las superficies metálicas debido a las condiciones ambientales de humedad y salinidad, y es necesario mantener dichas superficies libres de óxido, para reducir costos de mantenimiento y de reparación de las mismas. Cuando se presenta una oxidación excesiva se puede recurrir a los diferentes métodos. El proceso de protección anticorrosiva se inicia con un método de limpieza, el cual puede ser:

a) Limpieza con chorro de arena (Sand Blast). Más conocido como Samblasteo a metal blanco y de manera común se refiere a la limpieza de superficies metálicas aplicando un chorro de arena. En esta técnica se utiliza equipo de sand-blast, y mano de obra especializada en este proceso. (Esto siempre y cuando la ubicación de la superficie a tratar permita la utilización de este método).

b) Limpieza Manual, utilizando equipo neumático, cepillos de alambre y desengrasantes.

Posteriormente, una vez preparada que se ha liberado de oxido a la superficie mediante alguno de los métodos anteriores, se aplica un Primario RP-4, aplicando una capa de 3 milésimas de espesor, para lo cual además del RP-4, se utiliza una cuadrilla especializada en la aplicación, herramienta y equipo. Una vez aplicado el RP-4, es necesario un tiempo de secado de por lo menos 12 horas, antes de continuar el procedimiento. El siguiente paso es el de aplicar un enlace RA-26, para lo cual se vuelve a utilizar a la cuadrilla especializada, herramienta menor y equipo, así mismo hay que esperar 12 horas para que el enlace seque por completo. Por último se aplica el acabado RA-28, donde se sigue utilizando la cuadrilla completa de especialistas y la herramienta y el equipo, adicional a las 12 horas que tardará en secar el acabado con lo que finaliza el proceso de protección anticorrosiva.

Y posteriormente se aplica el color según la norma de la CFE. En este caso el color para la tubería de aire comprimido es blanco.

8. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

8.1 Descripción general de la casa de máquinas

A continuación se explica la trayectoria que se eligió para la red de aire comprimido de servicios generales y la ubicación de los puntos de aplicación además de una breve descripción de la instalación de la casa de máquinas de la C. H. Belisario Domínguez.

La casa máquinas de la C.H. Belisario Domínguez se divide en 2 etapas, cuenta con 3 y 2 Unidades generadoras de electricidad respectivamente. De manera general cada etapa se divide en 5 pisos los cuales son llamados o conocidos como:

Piso excitatriz o playa de montaje. Es el piso donde se encuentra el regulador automático de voltaje o sistema AVR, el sistema excitatriz de las unidades, los cuartos de los transformadores de potencia, los sistemas contra incendios base CO2 de las unidades. Y como su nombre lo indica el espacio es adecuado para montaje y desmontaje de grandes equipos.

Piso de generadores. En esta área se localizan los generadores y devanados de cada unidad.

Piso de turbina. En este piso se ubican los reguladores de velocidad y su correspondiente tanque de fuerza, la tubería del sistema de agua de enfriamiento y del sistema de enfriamiento de aceite de chumaceras, los compresores y tanque intermedio para el sistema de frenado, acceso al ducto de ventilación, acceso a la tubería de presión-caracol (comúnmente conocido como entrada hombre), puerta a la fosa de turbina donde se aprecian las bielas de los álabes directrices, dentro de la fosa en la parte superior se tiene un acceso a los frenos de la turbina además de una cavidad en la parte inferior donde se logra apreciar la tubería de empuje axial y el estopero.

Galerías de inspección. Es el último piso en donde se tiene acceso al rodete y a la cavidad en donde se puede apreciar los bujes inferiores de los alabes directrices. En este piso también se ubica la tubería de desfogue o aspiración y además se encuentra la tubería de alimentación de la unidad auxiliar.

8.1.1 Descripción de la primera etapa

En el piso excitatriz o playa de montaje de la primera etapa se localizan las oficinas de los departamentos mecánico, control y eléctrico, además de tener un baño y el taller electromecánico.

En el piso de generadores se encuentra dos subareas; una que ocupa la unidad de control de tableros y la otra las bombas de achique.

En el piso de turbinas se tiene una división donde se encuentra instalada la unidad auxiliar.

Entre el piso de turbinas y galerías de inspección se posee un área donde se halla la válvula de contrapeso de la unidad auxiliar.

8.1.2 Descripción de la segunda etapa

En el piso excitatriz de la segunda etapa se encuentran el regulador automático de voltaje o sistema AVR, el sistema excitatriz de las unidades, los cuartos de los transformadores de potencia, los sistemas contra incendios base CO2 de las unidades. Y como su nombre lo indica el espacio es adecuado para montaje y desmontaje de grandes equipos.

A un extremo del túnel de acceso de la segunda etapa se tiene el nicho de ventilación y un área donde se encuentra el compresor de aire comprimido para servicios generales de toda la casa de máquinas En el nicho de ventilación se encuentran los ventiladores de tiro forzado y a un costado de este se tiene un cuarto vacio de 8m x 5m x 5m donde se proyecta la instalación de los equipos necesarios para la preparación del aire comprimido. Y al otro extremo se localizan las escaleras para subir a pozos de oscilación de la primera y segunda etapa.

En el piso de generadores se encuentran las bombas de achique de pozo profundo misma que se emplean para retirar el agua ocasionada por las fugas.

8.2 Procedimientos en el levantamiento del isométrico de la red de aire comprimido

Para determinar la ruta de recorrido de la red de aire comprimido fue necesario realizar:

- ✓ Revisión de las especificaciones de las normas de CFE.
- ✓ Conocimiento de las instalaciones de la casa de máquinas.
- ✓ Identificación de los accesos y puntos más cortos en la casa de máquinas, además de la ubicación de los puntos de interferencias con otros sistemas como cables, tuberías de agua, redes de dióxido de carbono.
- ✓ Identificación de los puntos en los que se hace más frecuente el uso del aire comprimido. Además de la ubicación de los puntos donde se tiene la presencia de humedad y en los cuales se emplean herramientas eléctricas mismas que se pueden sustituir por herramientas neumáticas para garantizar seguridad a los trabajadores.
- ✓ Análisis de la experiencia del personal que trabaja en la casa de máquinas.
- ✓ Determinación del la zona de preparación, generación, y tratamiento de aire comprimido considerando que se necesita seguridad para su operación y ausencia de interferencias con otros sistemas.

Teniendo la información antes mencionadas se procedió a determinar la ruta de la tubería principal, tubería secundaria y tubería de servicio, la ubicación de los equipos para la preparación del aire comprimido y de la ubicación de las tomas de aire comprimido.

El diseño de la red de aire comprimido que se obtuvo como resultado del levantamiento se aprecia en el anexo E y también se adjunta un archivo 3D-CAD en el CD anexo en el cual se pueden apreciar las medidas.

Las medidas de las longitudes y diámetros de la tubería principal, tubería secundaria y la tubería de servicio, como también la ubicación de accesorios como son los codos, tees y tomas o enchufes rápidos vienen en el CD anexo en un archivo 3D-CAD. *Las medidas se ajustan en la instalación.*

8.3 Características de las herramientas utilizadas en los trabajos de mantenimiento de las unidades generadoras de electricidad

Pistola de Impacto 3/4" NPT, Torque Max: 1000 Lb-Pie. Llave de Impacto de 3/4 con Mecanismo de Clutch, 1000 Impactos por Minuto, con Regulador de Torque y RPM, Consumo de Aire Promedio: 6.1 PCM, esta llave de Impacto tiene Capacidad de apretar o aflojar Tornillos hasta de 1",

Figura 23. Pistola de impacto.

Pulidor Doble Acción de 6", 10000 RPM. Con Giro Continuo o Vibración Aleatoria, Consumo de Aire Promedio: 13 PCM, Conexión de 1/4 NPT.

Figura 24. Pulidor de doble acción.

Desincrustadora de Agujas, 4000 Vibraciones/Min. Utiliza Agujas templadas, Para limpiar superficies de Oxido, Pintura, Polvo, Etc., Consumo de Air promedio: 8.8 PCM, Conexión de 1/4 NPT.

Figura 25. Desincrustadora de Agujas.

Martillo mediano neumático, Cinceles de 0.401

Corta Tornillos, Remueve residuos, Consumo Promedio 11.0 PCM @90 PSI, Conexión de 1/4 NPT.

Figura 26. Martillo mediano neumático.

Tabla 6. Características de las herramientas neumáticas retomadas para cálculos.

Herramientas	Cantidad	Presión de trabajo	Consumo	Total
Pistola de Impacto 3/4" NPT	2	$7\frac{kg}{cm^2}$	6.1 PCM	12.2 PCM
Pulidor Doble Acción de 6"	2	$7\frac{kg}{cm^2}$	13 PCM	26 PCM
Desincrustadora de Agujas	2	$7\frac{kg}{cm^2}$	8.8 PCM	17.6 PCM
Martillo Mediano Neumático	2	$7\frac{kg}{cm^2}$	11 PCM	22 PCM
Total	8 Herramientas	$7\frac{kg}{cm^2}$	Sistema ingles	77.8 PCM
			Sistema internacional	2.20305 $\mathrm{m}^3/\mathrm{min}$

9. EVIDENCIAS DE ANÁLISIS Y CÁLCULOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LA TUBERÍA DE AIRE COMPRIMIDO

9.1 Normas

Para el cálculo de la tubería y selección de tipo de tubería se toman las siguientes consideraciones establecidas por las normas de CFE y las normas de redes de Aire Comprimido, además de tener las constantes basadas en el **Sistema Internacional**.

- **Normas de CFE**

1.- Caída de presión máxima permitida $\Delta p = 29.4kPa = 0.290155\ atm$

2.- La caída de presión establecida se toma a partir del tanque Acumulador de aire comprimido hasta la toma más alejada más 15 metros de tubería de nylon.

3.- Para los cálculos se determina que el máximo número de herramientas en operación son 8 y los trabajos de mantenimiento se realizan solo **por cada unidad generadora de electricidad.**

- **Normas de Redes de Aire Comprimido**

1.- En la tubería principal la máxima velocidad permitida es de $V_{max} = 8\frac{m}{s}$, en la tubería secundaria una velocidad máxima de $V_{max} = 15\frac{m}{s}$ y en la tubería de servicio es de $V_{max} = 15\frac{m}{s}$.

2.- Las herramientas neumáticas trabajan a una presión de $P_T = 7\frac{kg}{cm^2} = 6.7774\ atm$.

3.- Toda la tubería a utilizar es de acero negro **Cedula 40.** Esto se decidió en base a los requerimientos y normas para centrales hidroeléctricas por la humedad que se presenta, es por ello, la tubería es para condiciones marinas.

Constantes para los cálculos

1.-Gravedad de $g = 9.81\ \frac{m}{s^2}$.

2.- Constante del aire $R = 29.27\frac{kg}{mol.°K}$.

3.- Densidad del aire es de $\rho = 1.3\frac{kg}{m^3}$.

Utilizando el sistema de unidades Internacional procedemos a retomar las ecuaciones 6 y 7. Para calcular la caída de presión y el flujo másico.

$\Delta P = \frac{\beta V^2 L\, P}{RTD}\ atm$ Y $G = 1.3Q \times 60\ \frac{kg}{Hr}$.

Para la determinación de velocidad se empleara la ecuación 9.

$V = \frac{Q \times 10000}{60\ P \times A} m/s.$

Del levantamiento se determinó 8 herramientas en operación cuyo flujo volumétrico total (ver tabla 6) es de;

$$Q = 2.203 \frac{N - m^3}{min}$$

9.2 Cálculos

Calculo de tubería principal (tramo A-F)

Teniendo la red tendida del levantamiento procedemos a hacer los cálculos de acuerdos a los parámetros previamente establecidos.

Hipótesis:

1.- Utilizar la ecuación de velocidad para determinar el diámetro interno de la tubería.
2.- Utilizar la ecuación de caída de presión para obtener el diámetro interno de la tubería.

Solución:

Utilizando la opción 1 y un diámetro nominal de 2" determinaremos la velocidad.

Datos:
$Q = 2.203 \frac{N - m^3}{min}$.
$P_1 = 7.7772\ atm.$
$V = ?\ m/s.$
$A = ?\ \ cm^2.$
$T = \ 299\ °K$, temperatura proporcionada por el departamento mecánico.
$T = \ 29.27$.
$\beta = ?.$
$L_{TUB.Eq.} = ?.$
$D = ?.$

Apoyados en el anexo A-3 localizamos el grupo de cedula 40 de tubería comercial y se elige el diámetro nominal de 2”. Con ello obtenemos un área, misma que sustituimos en la ecuación 9.

$$\emptyset\ 2"\ nominal\ y\ \ D_i = 52.5\ mm. \qquad A = \frac{\pi}{4}{D_i}^2 = \frac{\pi}{4}(5.25cm)^2 = 21.6475cm^2.$$

A partir de esta elección obtenemos la velocidad.

$$V = \frac{Q\times 10000}{60\ P\times A}m/s = \frac{2.203\times 10000}{60\times 7.7772\times 21.6475} = 2.18088\ m/s.$$

Los valores de β se obtienen de la tabla 5 (una sustracción del anexo A-1) a partir del valor de G

$$G = 1.3Q \times 60\frac{kg}{hr} = 1.3 \times 2.203 \times 60 = 171.834\frac{kg}{hr}.$$

TABLA 5. Valores de β. Ver anexo A-1

G	β
150	1.36
171.834	
250	1.26

Por interpolación $\beta = 1.33817$

Las longitudes desde el punto A al punto B se aprecian en la tabla 6.

TABLA 6. Longitudes de A-F.

Tramo	Metros	Tramo	Metros
l_1	1.8	l_9	.4
l_2	1	l_{10}	22.65
l_3	3	l_{11}	1.1
l_4	3	l_{12}	1.2
l_5	31.4	l_{13}	83.37
l_6	0.8	l_{14}	17.82
l_7	8.36		
l_8	4	TOTAL	179.9 metros

Los accesorios del tramo principal se enlistan en la siguiente tabla con su respectiva cantidad de perdida.

TABLA 7. Accesorios de tramo A-F. Ver anexo A-2.

Elemento	Cantidad	Factor en m	Equivalente en m.
Codos 90°	7	0.6	4.2
Codo 45°	4	.3	1.2
Tés	4	4	16
Válvulas	2	.7	1.4
Reducción	1	1	1
		Total	23.8 metros

Longitud equivalente total L= 203.7 metros
Ya teniendo todos los datos procedemos a hacer el cálculo de la caída de presión con la ayuda de la ecuación 6:

$$\Delta P_1 = \frac{1.33817 \times 2.18088^2 \times 203.7 \times 7.7772}{29.27 \times 299 \times 52.5}\ atm = 0.021945\ atm$$

Calculo de la tubería de secundaria (tramo F-O)

Tramo F-O, es a partir de escaleras de pozos de oscilación primera etapa a galería de inspección en frente de la unidad 3.

Aquí se tomo un criterio para el cálculo de tubería secundaria, se considero que el flujo máximo de consumo está en el punto F con el gasto de toda la planta de $Q = 2.203\,\frac{N-m^3}{min}$.

Debido a que por experiencia se han utilizado varias herramientas en este punto, utilizando un distribuidor, con esto garantizamos que en cualquier otro punto de la red el caudal y la presión sean suficientes para usar las herramientas neumáticas, ya que otro punto siempre resultara más cercano al banco de compresores.

Determinación del valor de las variables:

$P_2 = 7.75526 atm.$
$V = ?\, m/s.$
$A = ?\, cm^2.$
$T = 299\ °K.$
$T = 29.27\ cte\ Aire.$
$\beta = 1.33817.$
$L_{Tubería\ equivalente} = ?.$
$D = ?.$

Calculando velocidad y utilizando una tubería de diámetro nominal de $1\frac{1}{2}$". Con ello obtenemos un área, misma que sustituimos en la ecuación 9.

$$\emptyset\, 1\,\frac{1}{2}"\ nominal\ \ y\ \ D_i = 40.9\ mm. \quad A = \frac{\pi}{4}{D_i}^2 = \frac{\pi}{4}(4.09cm)^2 = 13.1382cm^2.$$

Por lo tanto la velocidad es:

$$V = \frac{Q\times 10000}{60\ P\times A} m/s = \frac{2.203\times 10000}{60\times 7.75526\times 13.1382} = 3.60335\ m/s.$$

Las longitudes desde el punto F al punto O se aprecian en la tabla 8.

TABLA 8. Longitudes de tramo F-O.

Tramo	Metros	Tramo	Metros	Tramo	Metros
l_{15}	3.05	l_{24}	0.5	l_{33}	9.08
l_{16}	36.55	l_{25}	4.30	l_{34}	19.41
l_{17}	25	l_{26}	4.5	l_{35}	20.07
l_{18}	2.9	l_{27}	7.2		
l_{19}	7	l_{28}	7.8		
l_{20}	0.8	l_{29}	1.65		
l_{21}	3	l_{30}	1.6	Longitud Total	207.9 metros
l_{22}	2.3	l_{31}	2.8		
l_{23}	16.5	l_{31}	5.25		

Los accesorios de la tubería secundaria se en listan en la siguiente tabla con su respectiva cantidad y factor de perdida.

TABLA 9. Accesorios tramo F-O. Ver anexo A-2.

Elemento	Cantidad	Equivalencia en m.	Equivalente en m.
Codos 90°	10	0.5	5
Codo 45°	2	0.25	.5
Tés	9	3	27
Válvulas	2	.5	1
Reducción	1	0.7	0.7
		Total	34.2 metros

Longitud de tubería recta = 207.09 m.

Longitud de tubería equivalente total L total = 241.29 m

Para el cálculo de la caída de la presión sustituimos datos en la ecuación 6.

$$\Delta P_2 = \frac{1.33817 \times 3.60335^2 \times 241.29 \times 7.75569}{29.27 \times 299 \times 40.9}\ atm = 0.090843\ atm.$$

Calculo de la tubería de servicio

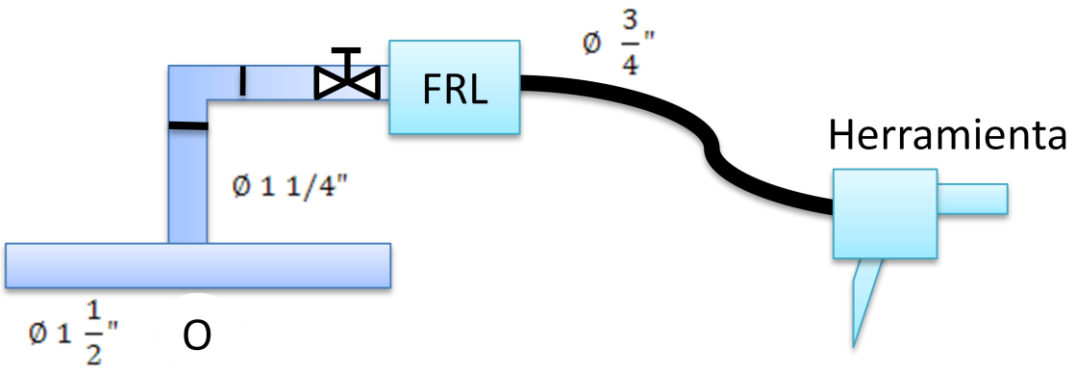


Figura 27. Tubería de servicio.

Del punto O hasta la unidad de mantenimiento tenemos los elementos que se muestran en la tabla 10 con un $\emptyset\ 1\ 1/4"$.

TABLA 10. Longitudes de tubería de servicio.

Tramos	Longitud
l_{36}	0.2 m
l_{37}	0.2 m
Total	0.4 metros

Los accesorios de la tubería de servicio se enlistan en la siguiente tabla con su respectiva equivalencia en tubería recta.

TABLA 11. Accesorios de tubería de servicio. Ver anexo A-2.

Accesorios	Equivalencia en m de tubería
Codo 90°	0.5 m
Válvula V.C.	0.5 m
Total	1 m

Longitud total equivalente = 1.4 m

$$\emptyset\ 1\ 1/4"\ nominal\ y\ D_i = 35.1\ mm. \quad A = \frac{\pi}{4}{D_i}^2 = \frac{\pi}{4}(3.51cm)^2 = 9.67618cm^2$$

$P_3 = 7.66441\ atm$. Por lo tanto la velocidad en la tubería de servicio es:

$$V = \frac{Q \times 10000}{60\ P \times A} m/s = \frac{0.55075 \times 10000}{60 \times 7.66441 \times 9.67618} = 4.95085\ m/s.$$

Calculamos el valor del índice de resistencia con el valor G y con la utilización del anexo A-1.

$$G = 1.3Q \times 60 \frac{kg}{hr} = 1.3 \times 2.203 \times 60 = 171.834 \frac{kg}{hr}.$$

$$\beta = 1.33817.$$

Para el cálculo de la caída de la presión sustituimos datos nuevamente en la ecuación 6.

$$\Delta P_3 = \frac{1.33817 \times 4.95085^2 \times 1.4 \times 7.66441}{29.27 \times 299 \times 35.1}\ atm = 0.001146\ atm.$$

Por último, para encontrar las perdidas en la manguera de nylon de 15 metros de longitud para conectar la herramienta se utiliza el nomograma del anexo B-1.

Para una longitud de 15 m. de $\emptyset\ 3/4"$ y con un flujo de $Q = 0.2753 \frac{N-m^3}{min}$

$$10\ m _____ 0.055\ kg/cm^2.$$

$$15m _____ ¿?\ kg/cm^2.$$

De aquí obtenemos que la pérdida es de:

$$\Delta Ptubing = 0.0825\ kg/cm^2 = 0.079874\ atm.$$

Sumando las perdidas resultantes en cada tramo obtenemos la cantidad total de pérdida de presión en toda la red.

$$\boldsymbol{\Delta P_{total} = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \Delta P_{tubing} = 0.193807 atm \approx 0.2\ atm \approx 0.2\ bar \approx 0.2 \frac{kg}{cm^2}}$$

El sistema queda con una tolerancia de:

$$\boldsymbol{\Delta P_{TOLERANCIA} = 0.092401\ atm}$$

Esto nos garantiza poder hacer una ampliación de la red e incrementando el flujo a un 32%, sin ninguna complicación en la tubería.

10. RESULTADOS

10.1 Selección de equipos y accesorios

Selección de compresor

Para elegir el compresor destinado a emplearse en la red diseñada fue determinante atender los resultados de los cálculos hechos, es decir prestar mucha atención en el total de pérdidas de presión en el sistema, pues este se toma como referencia para definir la capacidad necesaria del compresor. Además se considero un número de arranques posibles del compresor por hora.

Se debe tener un compresor con una compacidad de:

$$Q_{compresor} = 1.2Q_{total} = 1.2 \times 2.203 \frac{N-m^3}{min} = 2.6463 \frac{N-m^3}{min}.$$

Y teniendo una pérdida total en la red de

$$\Delta P_{total} \approx 0.2 \text{ bar}$$

Basado en todo lo anterior se seleccionó un compresor del anexo A-4 de las siguientes características:

Es un compresor que funciona con el principio de desplazamiento de tipo tornillo, **modelo SM37**.

- $Q_{max} = 5.2 \frac{N-m^3}{min}$.
- $z\ (\text{conmutaciones}) = 20 \text{ veces por hora}.$
- $P_{servicio} = 8.5\ atm.$
- $\text{Potencia} = 37 \text{ Kw}$

Selección del tanque de almacenamiento

Después de determinar las características del compresor se cuenta con la información para definir el tamaño del tanque de almacenamiento del aire comprimido. El tamaño de este tanque se obtiene utilizando el nomograma de FESTO para compresores que se presenta en el anexo B-4.

Con las características de operación y capacidad del compresor se seleccionó un tanque de almacenamiento de: $V_{volumen} = 15\ m^3$

Selección del secador

Selección del secador de acuerdo a las condiciones del medio donde se estará operando, el cual presenta las siguientes características:

- Secador por absorción.
- Grado 3 según tabla 2 y tabla 3
- $\mathrm{Q_{max}} = 5.2\,\frac{\mathrm{N-m^3}}{\mathrm{min}}$.
- $P_{\mathrm{trabajo}} = 8.5\ atm.$
- Temperatura de rocío de 10 °C

Selección del enfriador

El enfriador elegido presenta las siguientes particulares:

- Grado 3 según tabla 2 y tabla 3
- $\mathrm{Q_{max}} = 5.2\,\frac{\mathrm{N-m^3}}{\mathrm{min}}$.
- $P_{\mathrm{trabajo}} = 8.5\ atm.$
- Temperatura de rocío de 10 °C

Selección de los filtros y las unidades de mantenimiento (FRL)

Los filtros y las unidades de mantenimiento se seleccionan en base a la aplicación del aire comprimido. Las unidades de mantenimiento constan de filtro, regulador, lubricador.

Características:

- Grado 3 según tabla 2 y tabla 3
- $\mathrm{Q_{max}} = 5.2\,\frac{\mathrm{N-m^3}}{\mathrm{min}}$.
- $P_{\mathrm{trabajo}} = 8.5\ atm.$
- Con filtro de 5 micrones mínimo.

Filtro seleccionado ver anexo D-1-1 y D-1-2, y FRL Seleccionado ver anexo D-2-1 Y D-2-2

Selección de tubería

Las propiedades y características se consideración condiciones marinas; resistente al la corrosión y oxidación. Por las recomendaciones de las normas de aire comprimido y previos cálculos es de **Acero Negro CEDULA 40.**

Características del acero negro

Las tuberías de acero negro, conocidas también como de hierro negro, en contacto con el aire y si no disponen de protección, se oxidan cubriéndose con una película de color pardo oscuro muy característica. Este tipo de tubería no se utiliza precisamente por este efecto para conducciones de agua potable. Básicamente su uso está limitado al sector industrial.

Cuando se somete al acero negro a una circulación de agua (a un ambiente húmedo en general) el primer compuesto que se forma es el hidróxido ferroso que es relativamente soluble, y que se transforma posteriormente en óxido férrico que es menos soluble.

Los cálculos realizados dieron como resultado:

- Tubería principal $\emptyset\ 2"\ nominal\ y\ \ D_i = 52.5\ mm.$
- Tubería secundaria $\emptyset\ 1\ 1/4"\ nominal\ y\ D_i = 35.1\ mm.$
- Tubería de servicio $\emptyset\ 1\ \frac{1}{2}"\ nominal\ y\ D_i = 40.9\ mm$

Los accesorios deben coincidir con el diámetro nominal.

Selección de válvulas de cierre manual

Se seleccionaron válvulas de cierre rápido, por su sencillez y facilidad de operación.

En la siguiente tabla se resume las características de los Equipos de generación y tratamiento de aire comprimido.

TABLA 12. Equipos.

Equipos	Capacidad		Cantidad
Compresor de tornillo, Estacionario. Enfriado por aire Trifásico 420 C.A.	$5.2\frac{\mathrm{N-m^3}}{\mathrm{min}}$	$P_t = 8.5\ atm$, $\emptyset\ 2"\ nominal$	2
Secador de aire refrigerado con aire Trifásico 420 C.A.	$5.2\frac{\mathrm{N-m^3}}{\mathrm{min}}$	$P_t = 8.5\ atm$,$\emptyset\ 2"\ nominal$	1
Enfriador Trifásico 420 C.A.	$5.2\frac{\mathrm{N-m^3}}{\mathrm{min}}$	$P_t = 8.5\ atm$,$\emptyset\ 2"\ nominal$	1
Tanque de almacenamiento	$4\ m^3$, $P_t = 12\ atm$		5
Unidades de mantenimiento	$11.5\frac{\mathrm{N-m^3}}{\mathrm{min}}$,$P_t = 12\ atm$, $\emptyset\ 1\ 1/4"$. 5 micrones		8
Filtro de aire comprimido	$\mathrm{Q} = 11.5\frac{\mathrm{N-m^3}}{\mathrm{min}}$, $P_t = 12\ atm$ 5 micrones.		2
Purgas automáticas	$\emptyset\ 1\ 1/4"\ nominal$, $P_t = 12\ atm$		9

Nota: Para las cotizaciones si no existe la indicada se procede a elegir el inmediato superior.

10.2 Cotización de tubería y accesorios

SALER SAMI, S. A. DE C. V.
R. F. C. SSA010829LJ1
PRAGA. No. 76 COL. JARDINES DE BELLAVISTA
TLALNEPANTLA DE BAZ EDO. DE MEX. C.P. 54054
TEL. 5365-4229 / 5365-4230
FAX. 5365-4865 / 5365-4866
Saler Sami
ventas@salersami.com

04 DE DICIEMBRE 2009.

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
C. H. BELISARIO DOMINGUEZ-LA ANGOSTURA

AT'N: **C. P. FERNANDO BETANZOS**
JEFE DE LA OFICINA DE COMPRAS

POR MEDIO DE LA PRESENTE, SOMETEMOS A SU APRECIABLE CONSIDERACION LA SIGUIENTE COTIZACION.

Partida	Cantidad	Unidad	Descripción	Precio Unit.	Importe
1	183.30	MT	TUBERIA RECTA ACERO NEGRO ROSCA STD CED.40 DE 2" DIAM NOMINAL	136.00	24,928.80
2	355.94	MT	TUBERIA RECTA ACERO NEGRO ROSCA STD CED.40 DE 1-1/2 DIAM NOMINAL	102.00	36,305.88
3	228.60	MT	TUBERIA RECTA ACERO NEGRO ROSCA STD CED.40 DE 1-1/4 DIAM NOMINAL	85.00	19,431.00
4	8.00	PZ	CODO DE 2" X 90º	71.00	568.00
5	20.00	PZ	CODO DE 1-1/2" X 90º	49.00	980.00
6	69.00	PZ	CODO DE 1-1/4 X 90º	36.00	2,484.00
7	4.00	PZ	CODO DE 2" X 45º	76.00	304.00
8	3.00	PZ	CODO DE 1-1/2 X 45º	53.00	159.00
9	26.00	PZ	CODO DE 1-1/4 X 45º	41.40	1,076.40
10	10.00	PZ	TUERCA UNION DE 2"	167.00	1,670.00
11	14.00	PZ	TUERCA UNION DE 1-1/2"	135.00	1,890.00
12	1.00	PZ	TUERCA UNION DE 1-1/4"	103.00	103.00
13	2.00	PZ	NIPLE DE 2"	19.90	39.80
14	7.00	PZ	NIPLE DE 1-1/2	16.90	118.30
15	3.00	PZ	REDUCTORES DE 2" A 1-1/4	49.00	147.00
16	9.00	PZ	REDUCTORES DE 1-1/2" A 1-1/4	49.50	445.50
17	2.00	PZ	TEE DE 2" X 2" X 2"	109.00	218.00
18	7.00	PZ	TEE DE 1-1/2 X 1-1/2 X 1-1/2	73.00	511.00
19	13.00	PZ	TEE DE 1-1/4 X 1-1/4 X 1-1/4	66.50	
20	2.00	PZ	TEE CON REDUCICON 2" X 2" X 1-1/2	156.00	312.00
21	12.00	PZ	TEE CON REDUCICON 1-1/2 X 1-1/2 X 1-1/4	128.00	1,536.00
22	1.00	PZ	TEE CON REDUCICON 2" X 2" X 1-1/4	156.00	156.00
23	3.00	PZ	VALVULA CIERRE RAPIDO DE 2"	370.00	1,110.00
24	7.00	PZ	VALVULA CIERRE RAPIDO DE 1-1/2	234.00	1,638.00
25	25.00	PZ	VALVULA CIERRE RAPIDO DE 1-1/4	148.00	3,700.00
				SUB-TOTAL	99,831.68
				15% I.V.A.	14,974.75
				GRAN TOTAL	114,806.43

SIN MAS POR EL MOMENTO Y EN ESPERA DE SUS APRECIABLES ORDENES, ME DESPIDO DE USTED.

A T E N T A M E N T E
SALER SAMI, S.A DE C.V.

SR. ADOLFO RODRIGUEZ HUERTA
GERENTE DE VENTAS

T. ENTREGA: 08 DIAS.
V. PRECIOS 10 DIAS.
C. PAGOS 15 DIAS.
TIPO MONEDA: PESOMEX
L. A. B. SU DESTINO

11. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

El sistema de aire comprimido es un conjunto de equipos e instalaciones que necesitan de una constante supervisión por lo que en la tabla se proponen soluciones.

TABLA 13. Recomendaciones.

Tipo de línea	Posible causa del problema	Solución
Sistema de líneas rígidas	Peso muerto de la tubería	Añadir más apoyos
	Expansión y contracción	Usar apoyos que permitan desplazamiento lateral de los tubos.
	Presión interna	Proveer apoyos adecuados para prevenir movimiento y flexión.
	Fugas	Todas las juntas de tubería deben estar hechas apropiadamente. Reemplazar válvulas y accesorios defectuosos. Si es causado por daños, revisar las condiciones ambientales y proteger zonas vulnerables.
	Demasiada agua en las tuberías de las aplicaciones	Revisar que las purgas sean adecuadas y estén en los lugares correctos.
Líneas flexibles	Fugas	Revisar deterioro en las juntas de los extremos. Proteger mangueras sujetas a difíciles condiciones ambientales. Considerar el uso de líneas en espiral que se recogen automáticamente.
	Excesiva caída de presión	Revisar manguera por agujeros. Asegurarse que el tamaño de la manguera sea el adecuado.

Recomendaciones de instalación

Cuando se proceda a realizar la instalación es importante tomar en cuenta que:

- ✓ Las longitudes de la tubería recta se deben de ajustar en la instalación.
- ✓ Los compresores, secadores, enfriadores, tanque de almacenamiento y filtros deben instalarse lo más cerca posible no mayor a 1 metro de separación entre ellas.
- ✓ Las unidades de mantenimiento deben tener protecciones resistentes a golpes.
- ✓ Las tuberías deberán quedar instaladas de 10 a 15 centímetros de distancia de techos y paredes.
- ✓ La altura de instalación sobre el piso debe ser mayor a 1 metro.
- ✓ Herramientas recomendadas para utilizar:
    - Pericas.
    - Roscadoras estándar.
    - Llaves.
- ✓ Utilizar equipos de seguridad durante las instalaciones e inspecciones como son:
    - Guantes de piel.
    - Googles (lentes).
    - Camisa manga larga y pantalón de algodón.
    - Zapatos industriales.
    - Cascos de protección.
- ✓ Y sobre todo recordar que un amigo CFE trabaja con seguridad.

12. CONCLUSIONES

El proyecto “Diseño de la red de aire comprimido para servicios generales de la casa de máquinas de la C. H. Belisario Domínguez”, es un proyecto necesario de implantar por las condiciones en que se encuentra la red de aire comprimido en servicio y por las aplicaciones en los trabajos de mantenimiento. Su ejecución trae beneficios a corto y a largo plazo, como conservación de las herramientas neumáticas y por lo tanto un trabajo eficaz.

Durante el proceso de levantamiento nos encontramos con dificultades, como falta de herramientas de medición para obtener valores con precisión de temperaturas, humedad y nivel. Además de enfrentarse a accesos complicados y falta de iluminación en ciertas zonas de la casa de máquinas. A pesar de todos estos factores que nos complicaban las tareas se logró obtener el resultado que se planteó en un principio de este proyecto, diseñar la red.

En el desarrollo de este proyecto fue muy importante el apoyo de los asesores tanto de la Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez como del jefe del Departamento Mecánico de la central.

El proyecto nos benefició en encontrar la manera de vincular la teoría con la práctica y de tener una experiencia de lo que es en el campo laboral el diseño de un sistema de aire comprimido, aplicando conocimientos adquiridos en la escuela principalmente de los circuitos neumáticos y de los consejos de nuestros asesores. La experiencia de estar en una empresa coordinando un proyecto hace sentirse parte de ella y sobre todo servirle es de gran satisfacción.

13. ANEXOS

ANEXO A. TABLAS DE EQUIVALENCIAS

Anexo A-1. Valores de β (índice de resistencia) de acuerdo a la cantidad suministrada de G (cantidad de aire suministrada en $\frac{\text{kg}}{\text{hr}}$).

G	β	G	β	G	β	G	β
10	2.03	100	1.45	1000	1.03	10000	0.73
15	1.92	150	1.36	1500	0.97	15000	0.69
25	1.78	250	1.26	2500	0.90	25000	0.64
40	1.66	400	1.18	4000	0.84	40000	0.595
65	1.54	650	1.10	6500	0.78	65000	0.555
100	1.45	1000	1.03	10000	0.73	100000	0.520

Anexo A-2. Longitud de tubería equivalente en metros de los accesorios.

Accesorios (diámetros)	1”	1 .5”	2”	3”	4”	5”	6”
Válvula de diafragma	1.5	2	3	4.5	6	8	10
Válvula de compuerta	0.3	0.5	0.7	1	1.5	2	2.5
Codo de 90	0.3	0.5	0.6	1	1.5	2	2.5
Codo de 45	0.15	0.25	0.3	0.5	0.8	1	1.5
Codos de 180	1.5	2.5	3.5	5	7	10	15
Tees	2	3	4	7	10	15	20
Reducción	0.5	0.7	1	2	2.5	3.5	4

Anexo A-3. Tuberías comerciales de acero. Con base en **ANSI B36.10: 1970 Y BS 1600: Parte 2: 1970. Espesor de la tubería según el número de cédula.**

Medida Nominal de las tuberías Pulgadas		Diámetro exterior mm	Espesor mm	Diámetro interior mm
Cedula 10	14	355.6	6.35	342.9
	16	406.4	6.35	393.7
	18	457.2	6.35	444.5
	20	508.0	6.35	495.3
	24	609.6	6.35	596.9
	30	762.0	7.92	746.2
Cedula 20	8	219.1	6.35	206.4
	10	273.0	6.35	260.3
	12	323.9	6.35	311.2
	14	355.6	7.92	339.8
	16	406.4	7.92	390.6
	18	357.2	7.92	441.4
	20	508.0	9.52	489.0
	24	609.6	9.52	590.6
	30	762.0	12.70	736.6
Cedula 30	8	219.1	7.04	205.0
	10	273.1	7.80	257.4
	12	323.9	8.38	307.1
	14	355.6	9.52	336.6
	16	406.4	9.52	387.4
	18	457.2	11.13	434.9
	20	508.0	12.70	482.6
	24	609.6	14.27	581.1
	30	762.0	15.88	730.2
Cedula 40	1/8	10.3	1.73	6.8
	¼	13.7	2.24	9.2
	3/8	17.1	2.31	12.5
	½	21.3	2.77	15.8
	¾	26.7	2.87	21.0
	1	33.4	3.38	26.6
	1 ¼	42.2	3.56	35.1
	1 ½	48.3	3.68	40.9
	2	60.3	3.91	52.5
	2 ½	73.0	5.16	62.7
	3	88.9	5.49	77.9
	3 ½	101.6	5.74	90.1
	4	114.3	6.02	102.3
	5	141.3	6.55	128.2
	6	168.3	7.11	154.1
	8	219.1	8.18	202.7
	10	273.0	9.27	254.5
	12	323.9	10.31	303.3
	14	355.6	11.13	333.3
	16	406.4	12.70	381.0
	18	457.2	14.27	428.7
	20	508.0	15.09	477.8
	24	609.6	17.48	574.6
Cedula 60	8	219.1	10.31	198.5
	10	273.0	12.70	247.6
	12	323.9	14.27	295.4
	14	355.6	15.09	325.4
	16	406.4	16.64	375.1
	18	457.2	19.05	419.1
	20	508.0	20.62	466.8
	24	609.6	24.61	560.4
Cedula 80	1/8	10.3	2.41	5.5
	¼	13.7	3.02	7.7
	3/8	17.1	3.20	10.7
	½	21.3	3.75	13.8
	¾	26.7	3.91	18.9
	1	33.4	4.55	24.3
	1 ¼	42.2	4.85	32.5
	1 ½	48.3	5.08	38.1
	2	60.3	5.54	49.2
	2 ½	73.0	7.01	59.0
	3	88.9	7.62	73.7

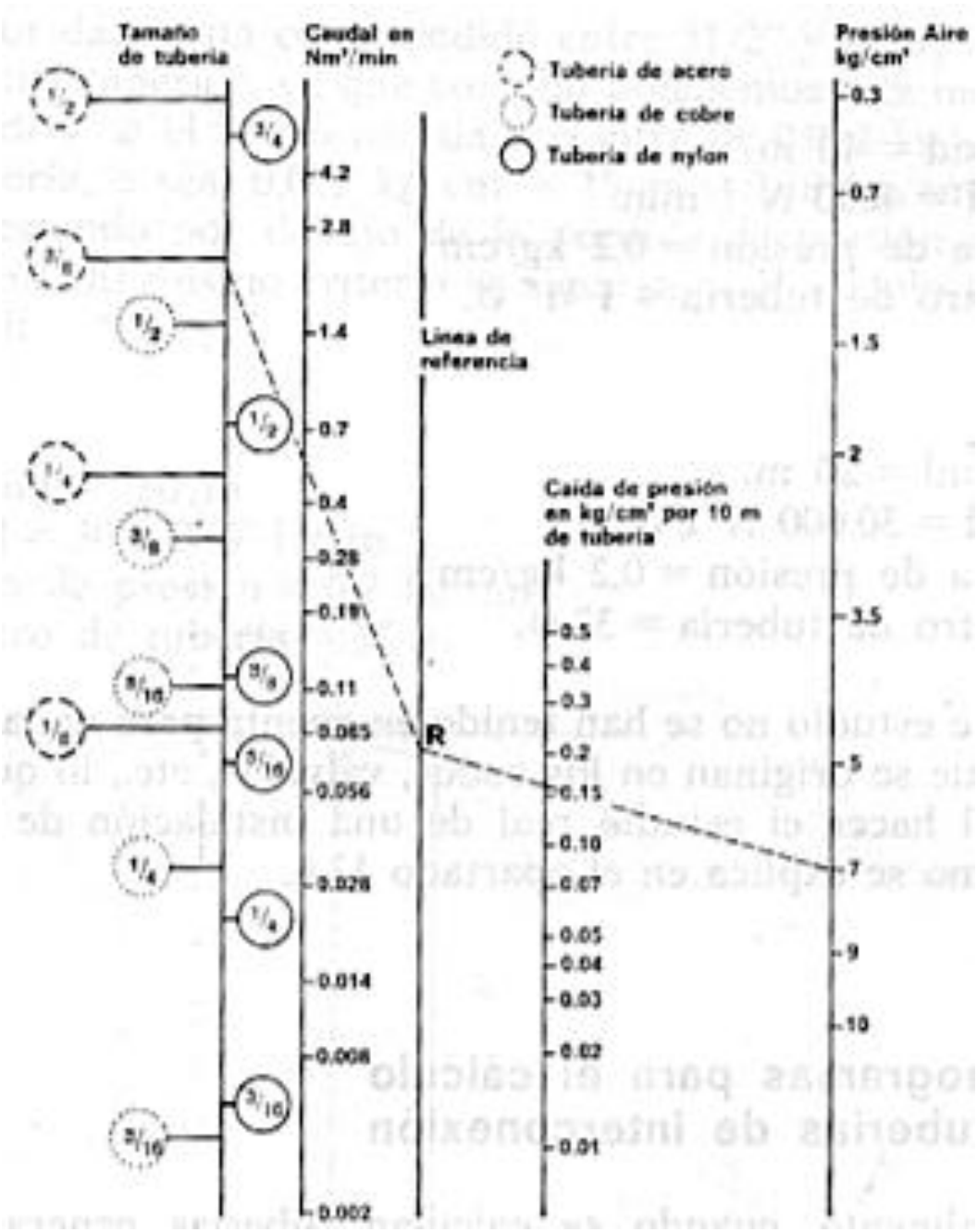
Medida Nominal de las tuberías Pulgadas		Diámetro exterior mm	Espesor mm	Diámetro interior mm
Cedula 80 (CONTINUACIÓN)	3 ½	101.6	8.08	85.4
	4	114.3	8.56	97.2
	5	141.3	9.52	122.3
	6	168.3	10.97	146.4
	8	219.1	12.70	193.7
	10	273.0	15.09	242.8
	12	323.9	17.47	289.0
	14	355.6	19.05	317.5
	16	406.4	21.44	363.5
	18	457.2	23.82	409.6
	20	508.0	26.19	455.6
	24	609.6	30.96	547.7
Cedula 100	8	219.1	15.09	188.9
	10	273.0	18.26	236.5
	12	323.9	21.44	281.0
	14	355.6	23.82	308.0
	16	406.4	26.19	354.0
	18	457.2	29.36	398.5
	20	508.0	32.54	442.9
	24	609.6	68.89	531.5
Cedula 120	4	114.3	11.13	92.0
	5	141.3	12.70	115.9
	6	168.3	14.27	139.8
	8	219.1	18.26	182.6
	10	273.1	21.44	230.1
	12	323.9	25.40	273.1
	14	355.6	27.79	300.0
	16	406.4	30.96	344.5
	18	457.2	34.92	387.4
	20	508.0	38.10	431.8
	24	609.6	46.02	517.6
Cedula 140	8	219.1	20.62	177.9
	10	273.1	25.40	222.2
	12	323.9	28.58	266.7
	14	355.6	31.75	292.1
	16	406.4	36.52	333.4
	18	457.2	39.69	377.8
	20	508.0	44.45	419.1
	24	609.6	52.39	504.8
Cedula 160	½	21.3	4.78	11.7
	¾	26.7	5.56	15.6
	1	33.4	6.35	20.7
	1 ¼	42.2	6.35	29.5
	1 ½	48.3	7.14	34.0
	2	60.3	8.74	42.8
	2 ½	73.0	9.52	54.0
	3	88.9	11.13	66.6
	4	114.3	13.49	87.3
	5	141.3	15.88	109.5
	6	168.3	18.26	131.8
	8	219.1	23.01	173.1
	10	273.0	28.58	215.8
	12	323.9	33.34	257.2
	14	355.6	35.71	284.2
	16	406.4	40.49	325.4
	18	457.2	45.24	366.7
	20	508.0	50.01	408.0
	24	609.6	59.54	490.5

Anexo A-4. Catalogo de compresores tipo tornillo Ingersoll Rand

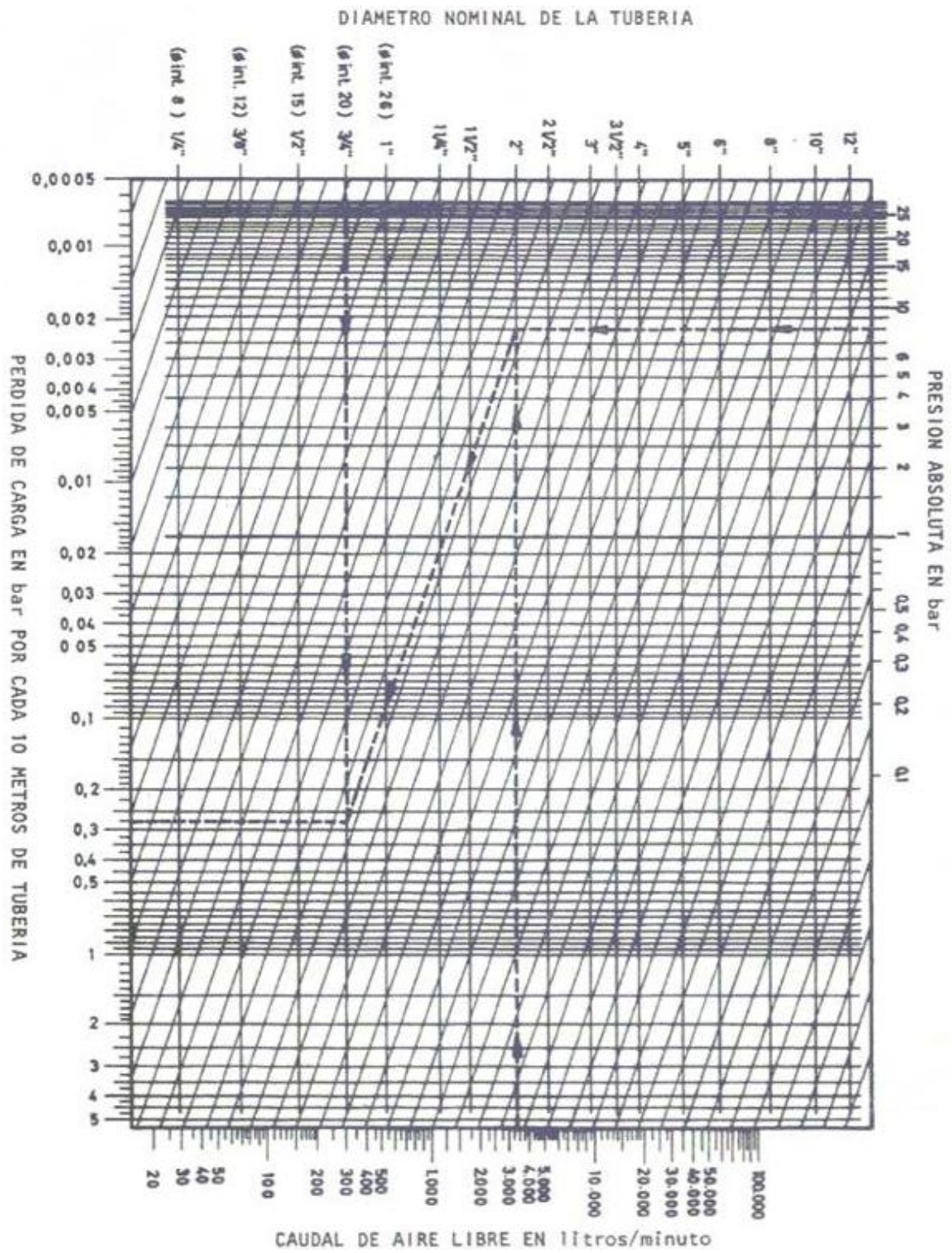
Modelo	potencia [KW]	Flujo volumétrico [m^3/min]	Presión nominal [bar]	Nivel de ruido [dB (A)]
SL37	37	6	7	76
SM37	37	5,2	8,5	76
SL45	45	7,7	7	76
SM45	45	6,6	8,5	76
SL55	55	9,7	7	76
SM55	55	8,7	8,5	76
SH55W	55	7,7	10	76
SL75	75	12,7	7	76
SM75	75	11,7	8,5	76
SH75W	75	10,7	10	76
SL90	90	15,9	7	79
SM90	90	13,6	8,5	79
SH90	90	13	10	79
SL110	110	19,4	7	79
SM110	110	18,3	8,5	79
SH110	110	15,6	10	79
SL132	132	22,8	7	79
SM132	132	21,4	8,5	79
SH132	132	18,8	10	79
SL150	150	25,9	7	79
SM150	150	24,6	8,5	79
SH150	150	22,2	10	79
SL200	200	35	7	79
SM200	200	32,6	8,5	79
SH200	200	27,4	10	79
SL250	250	45,2	7	79
SM250	250	41,5	8,5	79

ANEXO B. NOMOGRAMAS

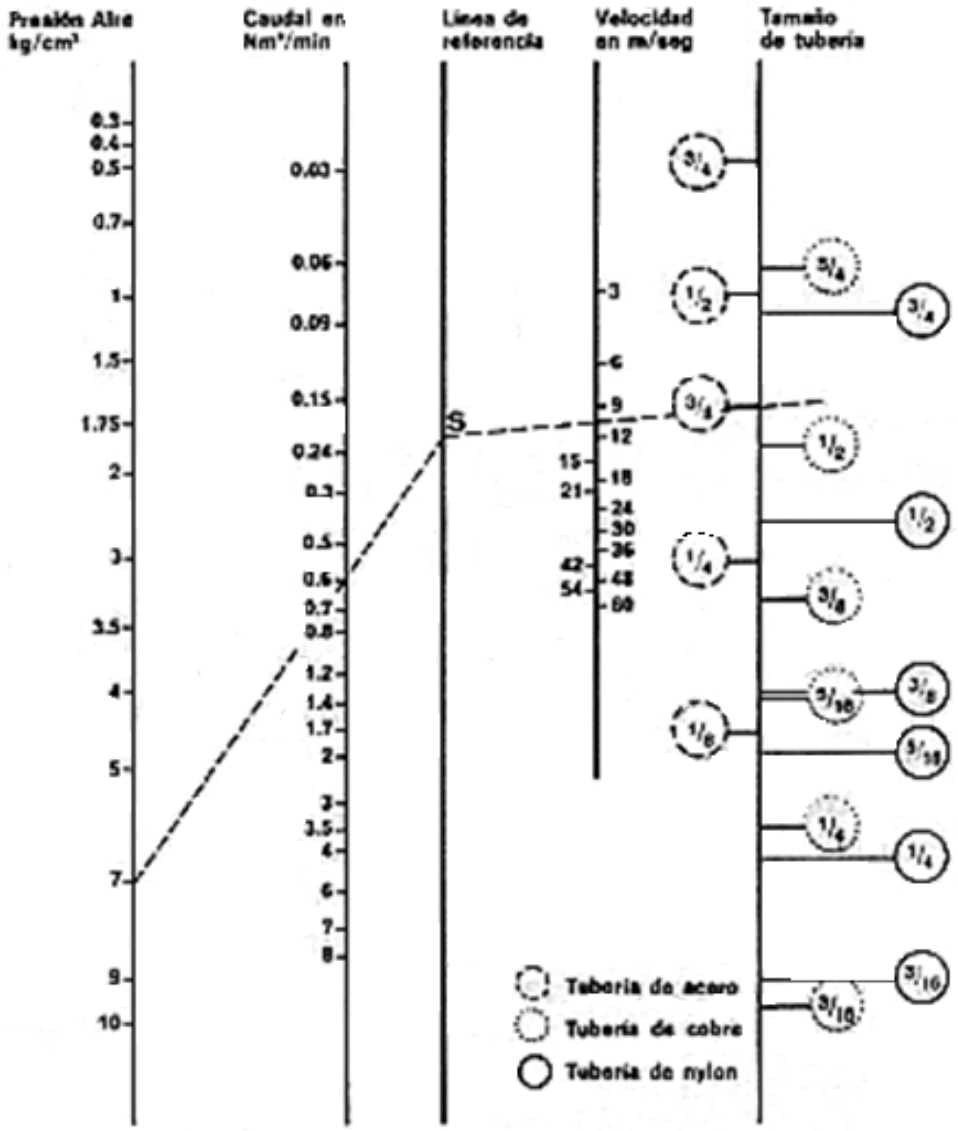
Anexo B-1. Nomograma para calcular las pérdidas en el tubing de conexión desde la toma de la red de aire comprimido a la herramienta que se necesita conectar. Pérdida de presión kg/cm^2 por cada $10\ m$ de tubería.



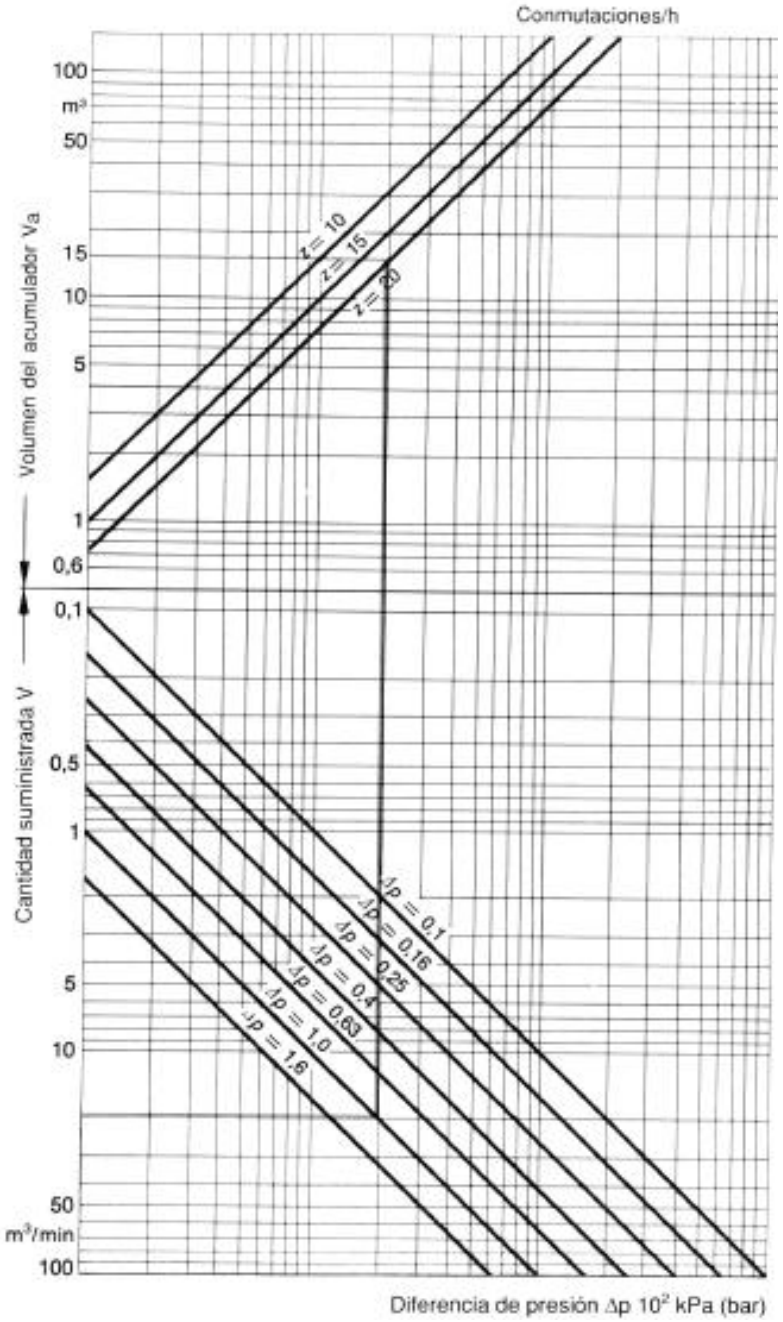
Anexo B-2. Nomograma para determinar la caída de presión de acuerdo a la presión de trabajo, diámetro nominal de la tubería y caudal.



Anexo B-3. Nomograma para determinar la velocidad del aire comprimido en $N - m/seg$.

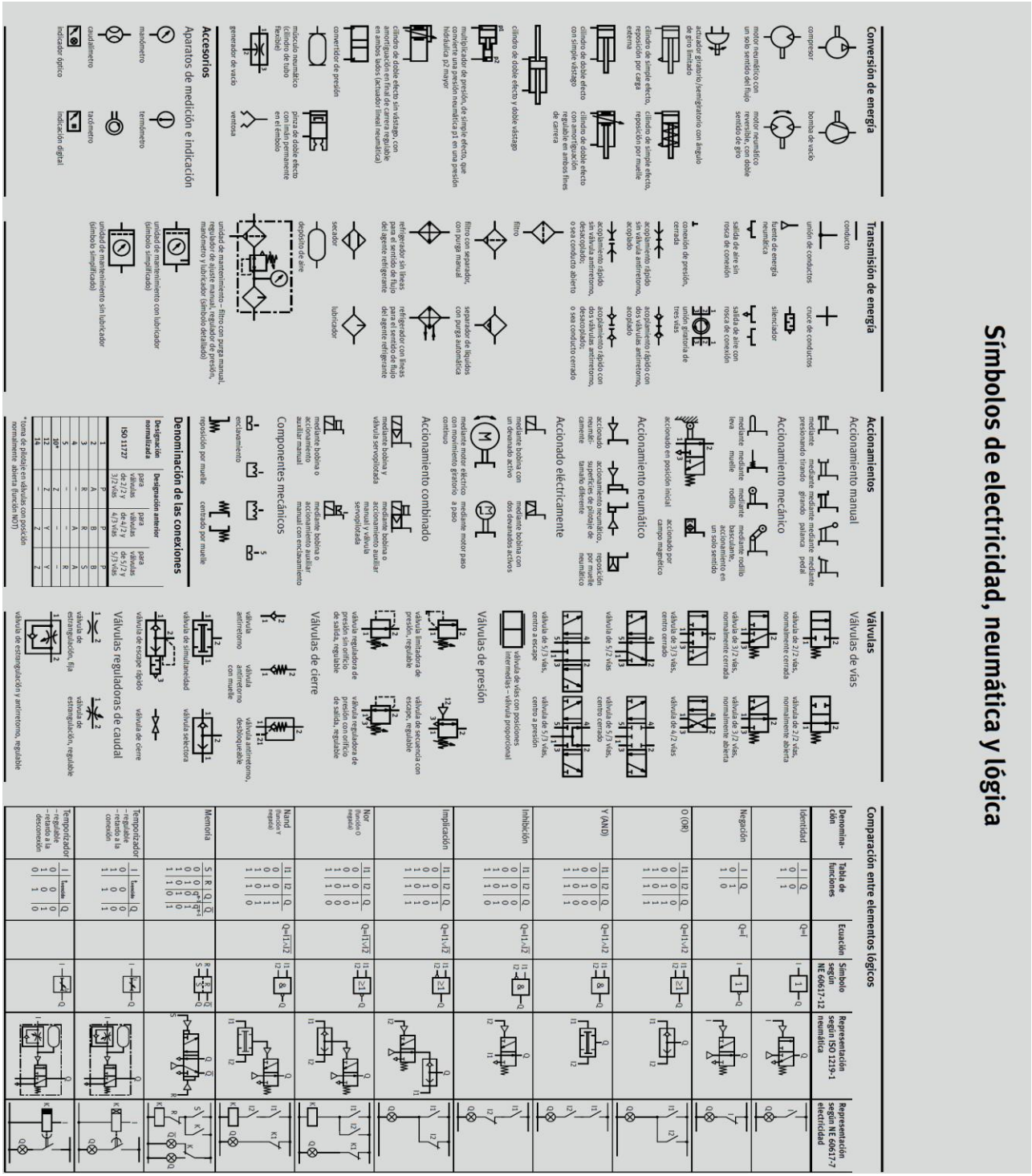


Anexo B-4. Nomograma para cálculo de tamaño de tanque de almacenamiento según el compresor seleccionado y pérdidas en la instalación.



ANEXO C. SIMBOLOGÍA

Símbolos actualizadas para circuitos neumáticos y cumple con la norma ISO 1219-2 y DIN/ EN 61346-2.



ANEXO D. FICHA TÉCNICA DE ACCESORIOS

Anexo D-1-1. Ficha técnica de filtro.

LF-1-D-5M-MAXI

Filtro

característica	Valor
Tamaño	Maxi
Serie	D
Posición de montaje	Vertical +/- 5°
Grado de filtración	5 µm
Evacuación del condensado	Giro manual
Construcción	Filtro de material sinterizado con separador por centrifugación
Cantidad máxima de condensado	80 cm^3
Funda de protección	Funda protectora metálica
Presión inicial 1	0 – 16 bar
Caudal nominal normal	3,800 l/min
Fluido	Aire comprimido
Temperatura del medio	-10 - 60 ° C
Temperatura ambiente	-10 - 60 ° C
Peso del producto	1,440 g
Tipo de fijación	Montaje del conducto con accesorios
Conexión neumática 1	G1
Conexión neumática 2	G1
Información sobre el material del filtro	PE
Información sobre el material del cuerpo	Fundición inyectada de cinc
Información sobre el material del depósito del filtro	PC

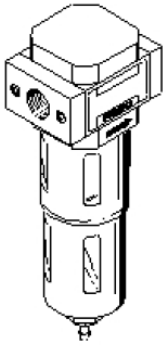
Anexo D-1-2. Ficha técnica de filtro.

LF-1-D-5M-MAXI

Filtro

Serie D MICRO

Módulo de finura 5µm, con cesta de protección y descarga manual de condensado.



Serie de unidades de mantenimiento robustas y versátiles. Numerosos filtros micrónicos y submicrónicos (desde 40µm hasta 0,01µm). Todas las variantes en 3 tamaños: Mini (1700 l/min.), Midi
(3500 l/min.) und Maxi (11.500 l/min.).

Variantes y funciones:
- Regulador
- Filtro (5µm, 40µm)
- Filtros micrónicos (1µm, 0,01µm)
- Lubricador
- Distribuidor
- Válvulas de cierre de accionamiento manual, eléctrico y neumático
- Válvula de cierre de seguridad de accionamiento neumático
- Módulos de derivación con o sin función antirretorno
- Maxiregulador de accionamiento directo(LR, LFR, FRC y combinaciones)
- Regulador con mayor escape (Mini, Midi)
- Sistema de bloqueo para todos los reguladores
- Sistema de bloqueo para todos los reguladores en E11 (industria automovilística)
- Reguladores bloqueables (zonas de presión)
- Secador de membrana
- Conexiones de mayor tamaño para las

Impreso el:28/10/2009 02:18:17 p.m.

Festo AG & Co. KG
Postfach
73734 Esslingen

Anexo D-2-1. Ficha técnica de FRL.

FRC-1-D-5M-DI-MAXI-A
Unidad de mantenimiento

Características	Valor
Tamaño	Maxi
Serie	D
Asegurar el accionamiento	Botón giratorio con enclavamiento
Posición de montaje	Vertical +/- 5°
Grado de filtración	5 µm
Evacuación del condensado	Completamente automático
Construcción	Filtro regulador con manómetro Lubricador proporcional de niebla de aceite
Cantidad máxima de condensado	43 cm^3
Funda de protección	Funda protectora metálica
Indicación de la presión	Con manómetro
Margen de la regulación de la presión	0.5 – 12 bar
Presión inicial 1	1.5 – 12 bar
Histéresis máxima de la presión	0.4 bar
Caudal nominal normal	3,500 l/min
Fluido	Aire comprimido
Temperatura del medio	-10 – 60 ° C
Temperatura ambiente	-10 – 60 ° C
Peso del producto	2,670 g
Tipo de fijación	Montaje del conducto
Conexión neumática 1	G1
Conexión neumática 2	G1
Indicación sobre el material	Contiene substancias perjudiciales para la pintura

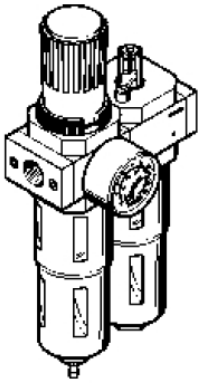
Anexo D-2-2. Ficha técnica de FRL.

FRC-1-D-5M-DI-MAXI-A

Unidad de mantenimiento

Serie D MICRO

Combinación de filtro, válvula reguladora de presión y lubricador, filtro de 5 µm, con funda de protección metálica. Con purga automática de condensado. Con manómetro. Con válvula reguladora de presión, accionada directamente.



Serie de unidades de mantenimiento robustas y versátiles. Numerosos filtros micrónicos y submicrónicos (desde 40µm hasta 0,01µm). Todas las variantes en 3 tamaños: Mini (1700 l/min.), Midi
(3500 l/min.) und Maxi (11.500 l/min.).

Variantes y funciones:
- Regulador
- Filtro (5µm, 40µm)
- Filtros micrónicos (1µm, 0,01µm)
- Lubricador
- Distribuidor
- Válvulas de cierre de accionamiento manual, eléctrico y neumático
- Válvula de cierre de seguridad de accionamiento neumático
- Módulos de derivación con o sin función antirretorno
- Maxiregulador de accionamiento directo(LR, LFR, FRC y combinaciones)
- Regulador con mayor escape (Mini, Midi)
- Sistema de bloqueo para todos los reguladores
- Sistema de bloqueo para todos los reguladores en E11 (industria automovilística)
- Reguladores bloqueables (zonas de presión)
- Secador de membrana
- Conexiones de mayor tamaño para las

Impreso el:28/10/2009 02:17:13 p.m.

Festo AG & Co. KG
Postfach
73734 Esslingen

ANEXO E. ISOMÉTRICO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO.

(El isométrico se muestra al reverso de esta página).

14. BIBLIOGRAFÍA

- FLUIDOS EN VÁLVULAS, ACCESORIOS Y TUBERÍAS. MC GRAW HILL CRANE. ANEXO D, APÉNDICE B- INFORMACIÓN TÉCNICA, B-1.

- SISTEMAS NEUMATICOS. PRINCIPIO Y MANTENIMIENTO. S.R. MAJUNDAR. MC GRAW HILL. INTERAMERICANA. EDITORES S.A. DE C.V. PÁG. 13-16.

- MANUAL DE MECÁNICA INDUSTRIAL NEUMÁTICA E HIDRÁULICA. CULTURAL. 1999. PÁG. 9-29, 46-47, 76-82.

- RANIGN NEUMÁTICO, TOMO 1. MANNESMANN REXTOTH PNEUMATIK GMBH. HANNOVER.PAG. 30-39.

- FUNDAMENTOS DE NEUMÁTICA. FESTO. © FESTO DIDACTIC GMBH & CO., D-73770 DENKENDORF, 2000.

- INTERNET: WWW.FESTO.COM/DIDACTIC, CATALOGO 2009_ESPAÑOL.

- NEUMÁTICA, HIDRÁULICA Y ELECTRICIDAD APLICADA. JOSÉ ROLDAN VILORIA.PAG 75-76.