



300617

18

UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE INGENIERIA
INCORPORADA A LA U. N. A. M.

2ej

"DISEÑO DE UN SISTEMA DE AIRE
COMPRIMIDO PARA UNA PLANTA
FARMACEUTICA"

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA CON
AREA PRINCIPAL EN INGENIERIA MECANICA
P R E S E N T A
LEOPOLDO ENRIQUE SALGADO ALBORES

ASESOR DE TESIS: ING. JORGE SALCEDO GONZALEZ



MEXICO, D F.

1995



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A mi Señor Dios,

por que a El le debo lo que soy y lo que tengo.

A mis padres,

por la educación y ejemplo que me han brindado y que reflejan el amor incondicional y desinteresado que me tienen.

A mi hermanita,

por su apoyo y ayuda en todas las etapas de mi vida. Yo también sé que siempre contaré contigo.

A la Universidad La Salle,

por la formación integral que me dió, que me hizo un hombre íntegro y profesional.

INDICE GENERAL

	Página
INTRODUCCION	1
CAPITULO I. METODOLOGIA Y CONCEPTOS BASICOS	2
I.1 Planteamiento de necesidades	2
I.1.1 Cantidad de aire comprimido (Caudal)	2
I.1.2 Aplicación del aire	4
I.1.3 Presión de trabajo	5
I.2 Análisis de opciones	5
I.2.1 Equipo de Generación	5
I.2.1.1 Métodos de compresión	5
a) Desplazamiento recíprocante	6
b) Desplazamiento rotatorio	6
c) Compresión dinámica	6
d) Eyección	6
I.2.1.2 Tipos de compresores	6
a) Compresores recíprocantes	7
b) Compresores de paletas deslizantes	7
c) Compresor de pistón líquido	8
d) Compresores de lóbulo recto o Roots	8
e) Compresores de tornillo o de lóbulos helicoidales	9
f) Compresores centrífugos	9
g) Compresores axiales	10
h) Compresores de flujo mixto	10
i) Eyectores	11
I.2.2 Equipo de tratamiento	12

I.2.2.1 Equipo de secado	13
a) Secadores refrigerativos	13
b) Equipos autoregenerativos	14
I.2.2.2 Equipo de filtrado	16
I.2.2.2.1 Tipos de contaminantes	16
a) Sólidos	16
b) Agua	18
c) Aceite	18
I.2.2.2.2 Tipos de filtración	18
a) Intercepción	19
b) Impacto inercial y coalescencia	19
c) Adsorción	21
I.3 Diseño de la red de Distribución	21
I.3.1 Esquemas isométricos	21
I.3.2 Material	23
I.3.3 Cálculo de caídas de presión	23
I.4 Sumario de Diseño	26
CAPITULO II. CASO PRACTICO	28
II.1 Descripción general	28
II.1.1 Requerimientos para maquinaria	30
II.1.2 Requerimientos de limpieza	31
II.1.2 Requerimientos varios	32
II.2 Sumarización de requerimientos	33
CAPITULO III. ANALISIS DE OPCIONES	35
III.1 Equipo de Generación	36
III.2 Equipo de Secado	46

III.3 Equipo de filtrado	52
CAPITULO IV. DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCION	58
IV.1 Material	58
IV.2 Planos y Esquemas de Distribución	58
IV.2.1 Planos de Ubicación	59
IV.2.2 Esquemas Isométricos	59
IV.3 Cálculo de Caídas de Presión	60
CAPITULO V. SUMARIO DE DISEÑO	64
V.1 Sumario	64
V.2 Recursos audiovisuales	66
CONCLUSIONES	67
BIBLIOGRAFIA	68
ANEXOS	
1. Simbología Neumática/Hidráulica según DIN/ISO 1219	70
2. Velocidades de flujo recomendadas en tuberías	71
3. Características de Tubería Común	72
4. Rugosidad relativa de materiales de tubería común y factores de fricción para flujos de turbulencia completa	73
5. Factores de fricción para cualquier tipo de tubería comercial. Diagrama de Moody	74
6. Nomograma de resistencia de válvulas y accesorios al flujo de fluidos	75
6A. Densidad del aire	76
6B. Viscosidad de algunos gases	77
7. Procedimiento para otorgar puntuación a equipos según desempeño	78
7.1 Tabla comparativa de Equipo de Generación	79
7.2 Tabla comparativa de Equipo de Secado	80

7.3 Tabla comparativa de Equipo de Filtrado	81
8. Gasto de aire a tubería abierta	82
9. Formato para Sumario de Diseño	83
10. Catálogos de Equipo Seleccionado	84
APENDICES	
1. Nomenclatura	88
PLANOS	
Arreglo General (Vista de Planta)	Plano P1
Isométrico del Arreglo General	Plano P2

INTRODUCCION

El aire comprimido ha sido uno de los medios más antiguos que el hombre a utilizado para transmitir potencia y movimiento a sus máquinas.

Desde la época en que el griego KTESIBIOS usó el aire comprimido (hace más de dos mil años) para impulsar una catapulta, hasta nuestros días, en que es inconcebible un proceso industrial sin sistemas de aire comprimido, éste ha sido un elemento de trabajo fundamental.

Actualmente, la compresión se realiza con propósitos tan variados como: transmisión de potencia, alimentación de procesos de combustión, transporte y distribución de gases, etc.

La presente tesis constituye un medio para acercarse al mundo del aire comprimido, proponiendo una metodología para realizar el diseño de sistemas de aire comprimido en plantas industriales.

La metodología está basada en la experiencia obtenida al trabajar durante dos años con este tipo de sistemas, y en la recopilación de información práctica sustentada por las bases teóricas aprendidas en la Universidad.

Como medio para una mejor comprensión de la metodología, se propone un caso práctico resuelto a través de la tesis. Todos los datos presentados en la solución del caso, tanto técnicos como económicos, son reales y actuales a la fecha de elaboración de la tesis.

El caso presentado se desarrolla en el entorno de una planta farmacéutica, sin embargo, la metodología es aplicable en cualquier rama industrial, siempre y cuando se determinen los datos necesarios para cada entorno específico.

Al final se presentan los resultados del caso, bajo el título de "Sumario de diseño", ya que ésta sería la forma de exponer las conclusiones si fuera una situación real.

A continuación se encuentra una breve descripción de la información analizada en cada capítulo de la presente tesis.

El Capítulo I plantea la metodología propuesta para el desarrollo del diseño de un sistema de aire comprimido. Describe brevemente las opciones de selección de equipos de generación, secado y filtrado, a la vez de proporcionar información sobre la manera de realizar el diseño de la red de distribución. Finalmente propone algunos formatos que pueden ser utilizados por los usuarios de la metodología como Sumarios de Diseño.

Dentro del Capítulo II, se expone un caso práctico con la finalidad de ejemplificar la utilización de la metodología propuesta en el Capítulo I. Aquí se hace la determinación de los requerimientos de aire comprimido de la planta "Ejemplo".

El análisis de las opciones de equipos de generación, secado y filtrado, se hace en el Capítulo III. El análisis se realiza en base a comparación de las características técnicas, costos (inicial y de mantenimiento) y tiempos de entrega de cada equipo. En este capítulo también se propone una metodología para hacer la comparación de equipos, basada en la asignación de puntos para los equipos de mejor desempeño en cada característica.

El Capítulo IV se enfoca a la red de distribución del aire comprimido, desde la selección del material de construcción de la red, hasta las rutas y trayectorias de instalación. También se realiza un cálculo de caídas de presión existentes en el diseño resultante.

Finalmente, en el Capítulo V se hace una sumarización de resultados del caso práctico y se establecen formatos de presentación de los mismos.

CAPITULO I

METODOLOGIA Y CONCEPTOS BASICOS

A continuación se enlistan y explican brevemente, los pasos de la metodología necesaria para realizar la selección del equipo requerido en un Sistema de aire comprimido para una planta farmacéutica. En el Esquema I.1 se describe, mediante Diagrama de Bloques la mencionada metodología. Es importante mencionar que la metodología propuesta no solamente es aplicable en una planta de giro farmacéutico, pero se hace referencia a este nombre dado que el ejemplo de aplicación, presentado en el capítulo 3, se sitúa en este escenario.

I.1 Planteamiento de necesidades

El primer paso para realizar la selección de los equipos es definir las necesidades y requerimientos de nuestro entorno, es decir, hay que dimensionar al sistema para el cual se está diseñando. Hay que tomar en cuenta que cada sistema es diferente, por lo cual, será necesario particularizar el método.

Los datos a obtener deben ser:

I.1.1 Cantidad de aire comprimido (Caudal)

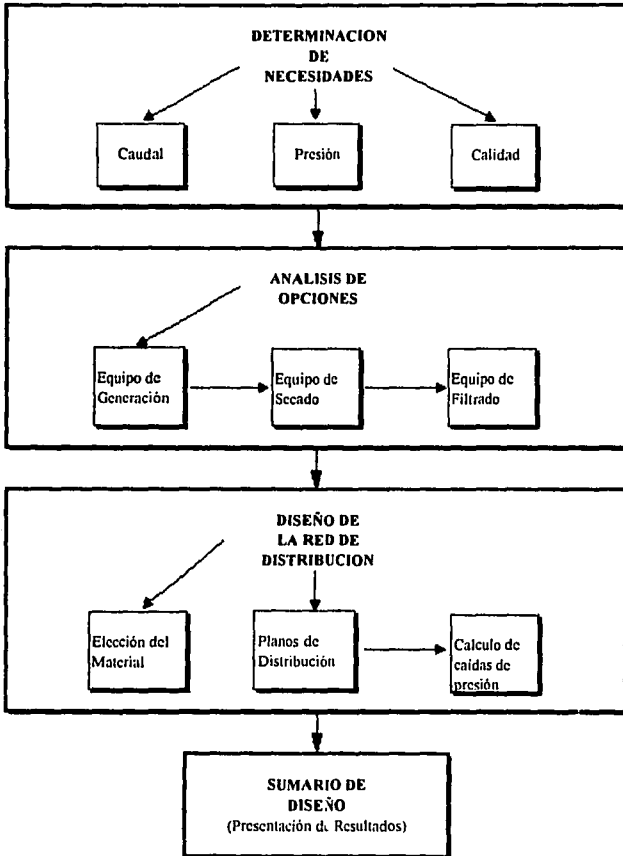
Dato medido en unidades comerciales, como son m³/hr o ft³/min. Este dato se puede encontrar de la información técnica proporcionada por el fabricante de los equipos a alimentar o bien, si no se dispone de tal, realizando en campo mediciones de las cámaras donde se inyectará el aire comprimido. Si la máquina ya se encuentra funcionando se podrá realizar una medición de la velocidad actual del aire, utilizando un tubo de Pitot y calculando el caudal de aire mediante la siguiente fórmula.

$$Q = vA \quad \dots(1.1)$$

En donde:

$$Q = \text{Caudal} \quad L^3/T$$

Esquema I.1
**METODOLOGIA DE DISEÑO PARA
SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO**



v = velocidad del aire L/T

A = área transversal del tubo L²

1.1.2 Aplicación del aire

Este parámetro se refiere a definir los estándares de calidad del aire según la utilización del mismo, es fácilmente comprensible que no se puede aplicar la misma calidad de aire a una herramienta neumática, que a un pistón volumétrico de una llenadora o que a un gas que se encuentre en contacto con un alimento. Generalmente este dato deberá obtenerse de los estándares establecidos por algún organismo regulatorio como la Secretaría de Salud de México, o el Food and Drug Administration (FDA por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos. A continuación se recomiendan algunos estándares para algunas de las aplicaciones comunes en una industria farmacéutica.

Estándares de Calidad del aire comprimido según la aplicación

Tabla I.1

Clase	Aplicación	Punto de rocío (°C) ‡	Sólidos (µ)	Aceite (mg/m ³)	Olor de aceite
1	Herramientas neumáticas Limpieza general (Pistolas de aire)	15	5	5	Aceptado
2	Maquinaria industrial Instrumentación Pintura de alto grado Enfriamiento	5	0.3	1	Aceptado
3	Instrumentos de medición (micrómetros) Secado y limpieza	2	0.01	0.1	Aceptado
4	Pintura electrostática	2	0.01	0.01	Poco aceptado
5	Agitación de productos, transporte de materias primas, secado, mezcla en la ind. farmacéutica Respiración Para áreas estériles	2	0.01	0.004	No se acepta
6	Secado de elementos electrónicos Transporte de productos polvosos (harina) Instrumentación de barcos	Bajo cero	0.01	0.1	No se acepta

‡ Se dan datos para condiciones similares a las de la Ciudad de México, otras deberán adecuarse al lugar de la instalación.

I.1.3 Presión de trabajo

Este dato, como el de cantidad de aire, deberá obtenerse del fabricante de los equipos de proceso.

En este paso se deberá obtener la información sobre la manera de trabajar del sistema a alimentar, es decir si la demanda es constante o intermitente, o si la presión de trabajo es uniforme o fluctúa constantemente. Esta información determinará la necesidad de tanques de almacenamiento o comúnmente llamados "pulmones".

I.2 Análisis de opciones

Después de tener completa la información sobre los requerimientos, tanto en cantidad como en calidad del aire, se deberá proceder a analizar las opciones, tanto de equipos de generación como de tratamiento, existentes en el mercado. Deberán realizarse citas con proveedores profesionales que garanticen la calidad de sus productos y que proporcionen toda la información técnica necesaria. A continuación se detallan los puntos que será necesario conocer para realizar un análisis y selección efectiva. En el anexo 7 se sugiere un procedimiento que mediante la sumariación de las características de los equipos, el uso de tablas y la asignación de puntuaciones según el desempeño de los equipos en cada característica clave, se puede elegir fácilmente el mejor equipo para cada fase, es decir el mejor en equipo de generación, secado y filtración.

I.2.1 Equipo de generación

I.2.1.1 Métodos de compresión

Existen cuatro métodos principales para la compresión. Dos de flujo intermitente y dos de flujo continuo. Estos métodos consisten en:

a) Desplazamiento reciprocante

Atrapan cantidades consecutivas de aire (o gas) en una cámara, reducen el volúmen (incrementando la presión) y expulsando luego el aire comprimido fuera de la cámara.

b) Desplazamiento rotatorio

Atrapan cantidades consecutivas de aire (o gas) en un espacio cerrado, trasladándolo sin cambio de volumen a la descarga de un sistema de alta presión y, comprimen el aire por contraflujo del sistema de descarga; finalmente, empujan el aire comprimido fuera de la cámara.

c) Compresión dinámica

Comprimen el aire por la acción mecánica de un impulsor o rotor con paletas en rápida rotación, el cual imparte velocidad y presión al gas que está fluyendo (la velocidad se convierte en presión en difusores estacionarios o paletas).

d) Eyeccción

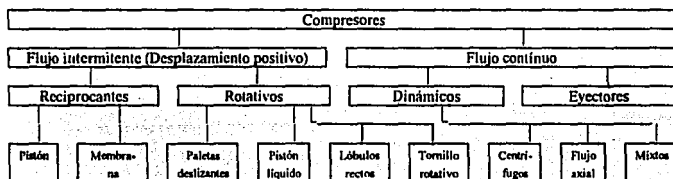
Utilizan un chorro de gas o vapor que arrastra el gas a comprimir para luego convertir la alta velocidad de la mezcla en presión en un difusor.

1.2.1.2 Tipos de compresores

Los principales tipos de compresores se clasifican como se indica en la figura 1.1.

Tipos de Compresores

Figura 1.1

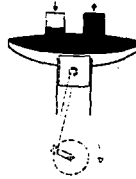


a) Compresores reciprocantes

Son máquinas en las que el elemento que comprime y desplaza al gas es un pistón (figura 1.2) o una membrana (figura 1.3) que efectúa un movimiento recíproco dentro de un cilindro.



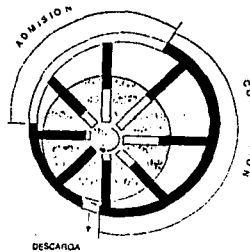
Compresor de pistón
Figura 1.2



Compresor de membrana
Figura 1.3

b) Compresores de paletas deslizantes

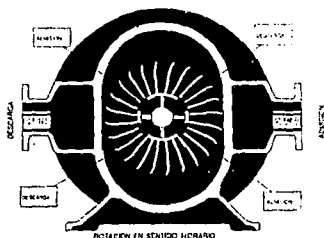
Son máquinas rotativas en las que las paletas axiales se deslizan radialmente en un rotor excéntrico montado en una carcasa cilíndrica. El gas atrapado entre las paletas es comprimido y desplazado.



Compresor de paletas deslizantes
Figura 1.4

e) Compresor de pistón líquido

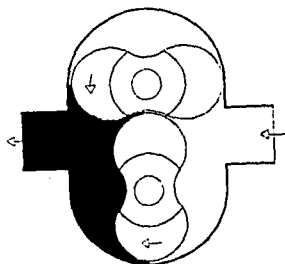
Son máquinas en las cuales agua u otro liquido hace la función de pistón para comprimir y desplazar el gas que se maneja.



Compresor de pistón líquido
Figura 1.5

d) Compresores de lóbulo recto o Roots

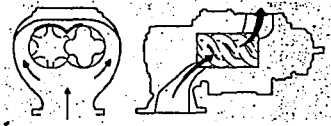
Estas máquinas tienen dos impulsores rotativos de lóbulos rectos que encajados atrapan el gas y lo trasladan desde la admisión hasta la descarga. en este tipo no hay compresión interna; el aumento de presión se debe al contraflujo.



Compresor de lóbulo recto
Figura 1.6

e) Compresor de tornillo o de lóbulos helicoidales

Los rotores de este tipo de máquina tienen forma helicoidal que encajan entre sí, comprimiendo y desplazando al gas.

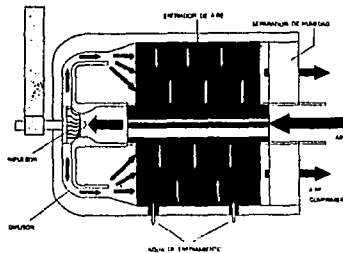


Compresor de tornillo

Figura I.7

f) Compresores centrífugos

Son máquinas en las cuales uno o más impulsores aceleran al gas; la energía cinética adquirida se transforma en presión en un difusor. El flujo es de tipo radial

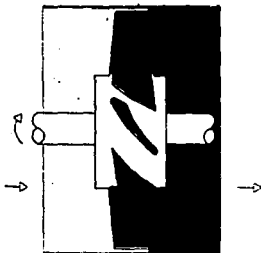


Compresor centrífugo

Figura I.8

g) Compresores axiales

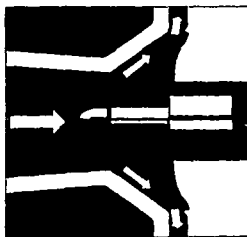
En estas máquinas el gas se acelera y desacelera por la acción conjunta de paletas móviles montadas sobre un rotor y paletas fijas montadas sobre un estator; este cambio continuo de momentos genera un aumento en la presión. El flujo principal es axial.



Compresor axial
Figura I.9

h) Compresores de flujo mixto

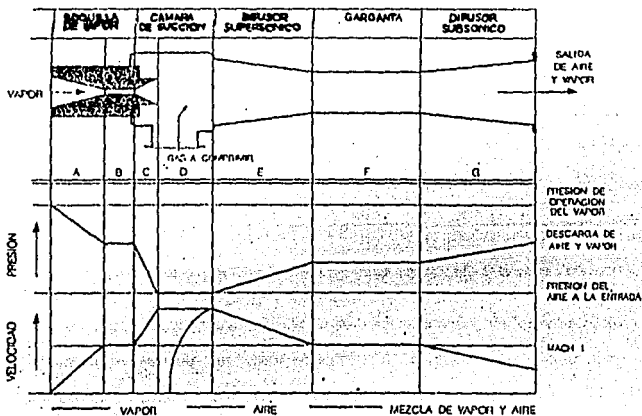
Su impulsor combina características de los tipos centrífugo y axial.



Compresor de flujo mixto
Figura I.10

i) Eyectores

Se valen de un chorro de gas o vapor a alta presión para arrastrar hacia su interior al gas que se quiere comprimir; un difusor convierte la velocidad de la mezcla en presión.



Eyector
Figura I.11

Para realizar la selección del equipo de generación deberán tomarse en cuenta los datos comentados en la sección I.1.

La primera selección que se debe realizar es el tipo de compresor a emplear, es decir, recíprocante, rotatorio, centrífugo, o de flujo axial. Para realizar la primera selección se puede utilizar la tabla I.2.

CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE TIPOS DE COMPRESORES

Tabla 1.2 (Ref. 1,2)

Tipo compresor	Reciprocante	Rotatorio	Centrífugo	Fijo axial
Capacidad (ft ³ /min)	10 - 4,000	10 - 30,000	500 - 200,000	75,000 - 600,000
Presión descarga (lb/pulg ²)	2 - 65,000	1 - 130	25 - 10,000	20 - 250
Temperatura descarga (°F)	< 400	< 300	< 450	< 600
Velocidad (rpm)	575 - 1,750	1,200 - 3,600	< 20,000	< 40,000
Eficiencia (%)	80 - 85	80 - 90	65 - 75	80 - 85
Costo inicial/costo mantenimiento ¹	Bajo/Muy alto	Alto/bajo	Muy alto/bajo	Muy alto/bajo
Aceite en el aire (ppm)	20 - 40	<= 5	< 3	< 3

¹ El tipo de mantenimiento al que se refiere el dato es de tipo preventivo, cuando se trata de correctivo la relación varía.

Nota: Los datos presentados en la tabla son aproximados y varían dependiendo de la marca y el modelo de los compresores.

Si se determina que más de un tipo de compresor cumple con los requerimientos del sistema a suministrar, es recomendable realizar una tabla comparativa de ventajas/desventajas para poder tomar una decisión. En esta tabla se deberá incluir: vida útil, necesidad de accesorios adicionales (postenfriadores por ejemplo), requerimientos de espacio, nivel de ruido, arrastre de aceite, costo de mantenimientos, nivel de atención mecánica, etc.

1.2.2 Equipo de tratamiento

El aceite, el polvo, la suciedad, el óxido y el agua, solos o en combinación, son elementos que atacan los sistemas de aire comprimido y a la maquinaria neumática. Cada día estos sistemas requieren un suministro de aire comprimido más limpio y libre de impurezas. Es por ello que los sistemas de tratamiento de aire se vuelven cada vez más indispensables.

Existen dos tipos principales de tratamiento en los sistemas de aire comprimido: los sistemas de secado y los sistemas de filtrado.

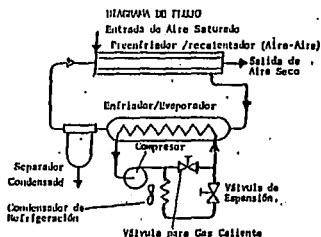
1.2.2.1 Equipos de secado

Para la selección de estos equipos deberán tomarse en cuenta aspectos como: precio del equipo, costo de mantenimiento, vida útil, punto de rocío requerido, flujo de aire, etc. A continuación se amplía la información sobre los equipos de secado.

Los equipos de secado pueden dividirse en a) equipos refrigerativos y b) equipos autoregenerativos.

a) Secadores refrigerativos

Los primeros, en general, constan de dos circuitos, el circuito de aire y el de refrigeración. (Ver figura I.13)



Esquema de secadores refrigerativos
Figura I.13

En el circuito de aire, el aire entra a un intercambiador aire-aire (preenfriador/recalentador) donde se preenfria por acción del aire que está saliendo del secador.

Después el aire preenfriado entra a un cambiador de calor refrigerante-aire (enfriador principal/evaporador) donde es enfriado por los tubos con refrigerante hasta obtener la temperatura de punto de rocío requerida.

Luego del enfriador principal, el aire frío fluye a un separador donde el agua y el aceite condensados son separados del aire por acción centrífuga y drenados fuera del secador.

En este punto el aire secado regresa al preenfriador/recalentador donde incrementa su temperatura debido a que enfría al aire que está entrando al secador.

El circuito de refrigeración inicia a la entrada del evaporador donde el líquido refrigerante entra a los tubos del enfriador principal y se expande absorbiendo el calor del aire circundante y cambia a una carga de gas de baja presión que es comprimida por el compresor de refrigeración que la entrega al condensador, donde se disipa calor al medio de enfriamiento. Cuando el gas refrigerante pierde calor se transforma en líquido, el cual será enviado a la válvula de expansión, la que controla el flujo de refrigerante al evaporador para mantener en el aire comprimido a la temperatura de punto de rocío requerida.

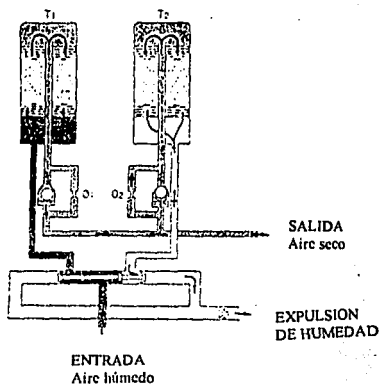
b) Equipos autoregenerativos

Los sistemas autoregenerativos basan su funcionamiento en el principio de adsorción. No se deben confundir los términos absorción y adsorción. El primero es una propiedad física que se presenta generalmente en los materiales porosos, un ejemplo son las esponjas, donde las partículas quedan retenidas por adherencia en la superficie del material sólido. (Ref. 3)

En la adsorción las moléculas adsorbidas se mantienen en la superficie por enlaces similares en fuerza a los de los compuestos químicos. Cuando se forman estos enlaces, las moléculas químicas adsorbidas sufren cambios en la ordenación de los electrones. Las moléculas de hidrógeno (como en el agua) son adsorbidas como átomos de hidrógeno sobre la superficie de compuestos como el níquel el paladio y la alúmina. (Ref. 3)

La alúmina es un óxido de aluminio hidratado. El producto poroso se puede conseguir como gránulos o polvos; este es el compuesto más común en los equipos de tratamiento autoregenerativos. (Ref. 4).

Dentro de los equipos, el aire comprimido húmedo entra a la columna desecante T_1 donde se realiza la adsorción. El aire ahora seco fluye al puerto de salida. pero una pequeña cantidad de aire fluye por el orificio O_2 a través de la columna T_2 en contraflujo, esto provoca la regeneración de la cama adsorbente, la pequeña cantidad de aire con humedad es drenada al exterior. El ciclo de cambio entre las columnas T_1 y T_2 se da en lapsos de tiempos que varían entre 1 y 3 minutos, dependiendo del fabricante y la capacidad del equipo. (Ref. 5,7). Ver figura I.14



Esquema de secadores autoregenerativos
Figura I.14

I.2.2.2 Equipos de filtrado

I.2.2.2.1 Tipos de Contaminantes

Antes de presentar los tipos de operación de los filtros se mostrará la naturaleza de los contaminantes presentes en los sistemas de aire. Estos incluyen: a) sólidos, b) agua y c) aceite en varias formas.

a) Sólidos

Las partículas sólidas (polvo principalmente) están contenidas en el aire ambiente de la admisión de los compresores. La clase y tamaño de estos contaminantes puede ser de gran variedad. En la tabla I.3 se muestran algunos ejemplos.

Existe una relación entre la concentración de las partículas sólidas y su tamaño, como se ilustra en la figura I.15 (Ref. 2)

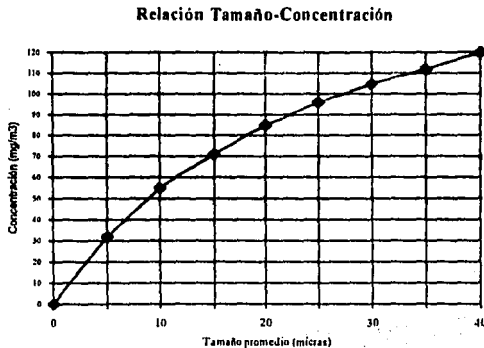
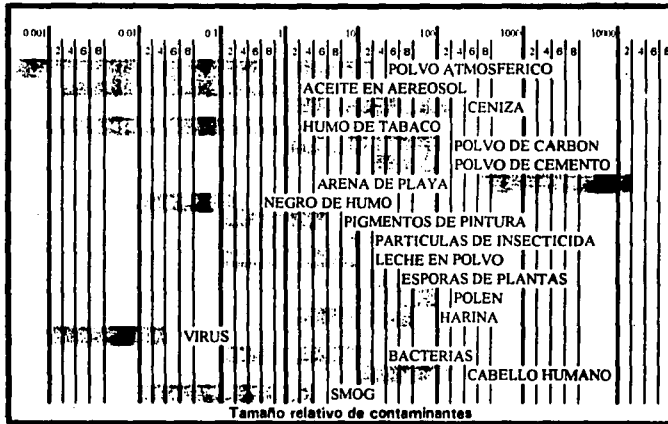


Figura I.15

DIAMETRO DE PARTICULAS Y AEROSOLES

Tabla I.3 (Ref.2,6)



Dado que las partículas sólidas causan desgaste prematuro de la maquinaria neumática; que en instrumentación pueden obstruir orificios muy finos afectando la operación normal de los elementos; y que en los procesos pueden contaminarlos de diversas maneras variando los resultados finales, algunos institutos han elaborados definiciones y normas para clasificar un ambiente de acuerdo al nivel de contaminación. Por ejemplo, SAE define una atmósfera típica de sala de máquinas como se muestra en la tabla I.4.

Clasificación de la atmósfera en una Sala de Máquinas

Tabla I.4 (Ref. 2)

10	< 5
12	5 - 10
14	10 - 20
23	20 - 40
30	40 - 80
90	80 - 200

b) Agua

El agua siempre está presente en el aire ambiente. El aire comprimido, a medida que fluye a través del sistema de distribución, se enfría causando la condensación del vapor de agua. La humedad que se condensa se combina con aceite y contaminantes sólidos formando una mezcla perjudicial para los procesos y los componentes neumáticos del sistema, además, esta mezcla es corrosiva y ácida, lo cual genera aumento en la rugosidad de las paredes internas de la tubería, y por lo tanto, caídas de presión, formación de incrustaciones (agregando ésto partículas sólidas al sistema) y posible rotura de la red por debilitamiento de las paredes.

c) Aceite

Existen dos fuentes principales de contaminación del aire por aceite: los hidrocarburos presentes en el aire atmosférico y el lubricante necesario para el funcionamiento de los compresores lubricados.

El aceite entra a la corriente de aire en forma de partículas sólidas (2%), de vapores (3%) los cuales constituyen el mayor contaminante gaseoso en el aire, de aerosoles (35%) y en forma líquida (60%).

Los aerosoles de aceite entran al sistema de aire comprimido de dos formas: por efecto del trabajo mecánico, estando dentro del rango de 1 - 50 μ , o como aerosoles de condensación que se forman cuando el vapor de aceite, tomado en la admisión de aire del compresor o generado en el compresor como aceite lubricante vaporizado, se condensa al enfriarse el aire en su circulación. Estos últimos se encuentran en el rango de 0.01 a 1 μ de diámetro.

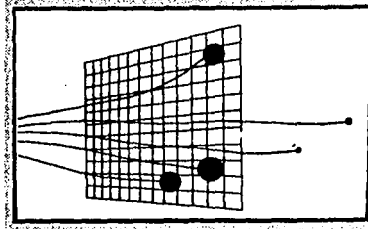
1.2.2.2.2 Tipos de Filtración

Los mecanismos de filtrado son tres: intercepción, coalescencia y adsorción. Cada método es efectivo en remover ciertos contaminantes y ciertos tamaños de partículas.

Idealmente, y para obtener la máxima efectividad, los sistemas de filtración deben de combinar los tres mecanismos en la colocación adecuada.

a) Intercepción

El mecanismo de intercepción a separación mecánica, es el método más simple de filtración. Las partículas que viajan en el flujo de aire son bloqueadas cuando encuentran un agujero más pequeño que ellas mismas.



Filtración por intercepción
Figura I.16

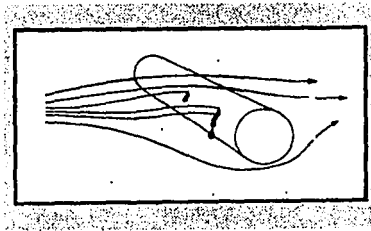
Los filtros que operan por intercepción pueden emplear medios filtrantes espaciados o densos. Los espaciados atraparán solo partículas grandes, los densos más pequeñas pero también presentarán restricción al flujo de aire, agregando mayor caída de presión al circuito. Se pueden compensar las caídas de presión incrementando el área de filtrado, pero lo ideal es obtener un balance entre caída de presión y limitaciones físicas de tamaño del filtro.(Ref. 2)

b) Impacto inercial y coalescencia

Las partículas de diferentes tamaños actúan de manera diferente en una corriente de aire. Las partículas más grandes decantan por su propio peso, las más pequeñas o los aerosoles permanecen suspendidos.

Los medio filtrantes coalescentes consisten de un arreglo de obstáculos diseñados para capturar partículas y aerosoles. Hay tres mecanismos que hacen que los aerosoles

sean recolectados en el medio filtrante. Las partículas de menos de 0.3μ se comportan como moléculas gaseosas, moviéndose independientemente del aire (Movimiento Browniano). Este movimiento aleatorio hace que entren en contacto y sean recolectadas por superficies expuestas, este procedimiento se llama Proceso de Difusión. las partículas de 0.3 a 0.5μ son lo suficientemente grandes para mantenerse en la corriente de aire. Cuando estas partículas se aproximan a un obstáculo dentro de un rango de la mitad de su diámetro, son capturadas por el obstáculo. Esto se conoce por intercepción directa. Las partículas de más de 0.5μ son tan grandes que pueden seguir al flujo cuando éste cambia de dirección bruscamente, con lo cual chocan con los obstáculos que están que directamente en su camino. Esto se conoce como impacto inercial.



Impacto inercial y coalescencia
Figura I.17

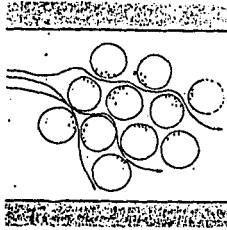
Las gotas de líquido, ya sea aceite o agua, son retiradas cuando se unen o "coalescen", formando gotas más grandes, las cuales se deslizan a lo largo de las fibras y son drenadas del filtro.

Debido a que las fibras que componen el medio filtrante, las cuales son normalmente de fibras de vidrio o borosilicato, no absorben ni adsorben los líquidos filtrados, lo único que acorta la vida es el acumulamiento de partículas sólidas. (Ref. 2, 8)

c) Adsorción

El proceso de adsorción, como se mencionó en una sección anterior, comprende la adhesión de las moléculas de contaminante a la superficie de un adsorbente sólido. Este proceso tiene la ventaja de que no se taponan los poros, por lo que no hay caída de presión con el tiempo.

El mayor contaminante gaseoso en el aire comprimido es el vapor de aceite. La mejor manera de removerlo es por medio de la adsorción producida por el carbón activado. El carbón activado tiene como característica una preferencia por el vapor de aceite sobre el vapor de agua.



Filtrado por adsorción
Figura I.18

I.3 Diseño de la red de Distribución

El diseño de la red de aire comprimido comprende varios aspectos. Los más importantes son: esquemas isométricos, material, cálculo de caídas de presión y accesorios.

I.3.1 Esquemas isométricos

Cualquier diseño de una red de distribución debe estar plasmada en esquemas isométricos que indiquen longitudes, diámetros, válvulas y accesorios de la red. Este

esquema será de gran utilidad para el cálculo de las caídas de presión. En la Figura I.19 se muestra un ejemplo de esquema isométrico típico.

El esquema deberá apegarse a la simbología DIN/ISO 1219, en el Anexo 1 se presenta la mencionada simbología.

El lugar más conveniente, siempre que físicamente sea posible, para tener la red de distribución de aire es por azoteas. Esto permite realizar reparaciones y modificaciones a la red sin afectar a las áreas de trabajo. La acometida ideal al área de uso del aire es en forma vertical ya que permite el drenado de los posibles arrastres de la red.

1.3.2 Material

Para la conducción del flujo de aire comprimido existen dos materiales principales: el fierro galvanizado y el cobre. En la tabla I.5 se presenta una comparación entre ambos materiales.

Comparación entre fierro galvanizado y el cobre

Tabla I.5

Galvanizado	Cobre
Alta resistencia al impacto	Regular resistencia al impacto
Pesado	Relativamente ligero
Fácil para modificar la instalación	Complejo realizar modificaciones
Presenta gran cantidad de fugas	Prácticamente sin fugas
Al tiempo presenta incrustaciones	No incrustaciones
Más barato	Más costoso
Vida útil corta	Vida útil muy larga
Pared rugosa (mayor ΔP)	Pared lisa

1.3.3 Cálculo de caídas de presión

Una vez que se ha diseñado la tubería, es necesario calcular las pérdidas ocasionadas por el flujo del fluido. Las pérdidas pueden ser de dos tipos:

a) Pérdidas primarias, aquellas que se presentan por contacto del fluido con la pared de la tubería y que se conocen también como "pérdidas de superficie".

b) Pérdidas secundarias, que se producen en los accesorios de las tuberías como codos, conexiones, válvulas, etc. y que se conocen como "pérdidas de forma".

Para realizar el cálculo de las caídas de presión se podrá seguir el procedimiento que a continuación se presenta:

1. Se calcula el flujo másico con

$$m = Q\rho \quad \dots(1.2)$$

Donde:

•		
m = Flujo másico		M/T
Q = caudal en el circuito		L ³ /T
ρ = densidad		M/L ³

2. Calcular el área recomendada

$$A_f = \frac{m}{\rho v} \quad \dots(1.3)$$

Donde:

A _f = área recomendada	L ²
•	
m = Flujo másico	M/T
ρ = densidad	M/L ³
v = velocidad recomendada, según Anexo 2	L/T

3. Con el Anexo 3 se obtiene el diámetro interno de la tubería.

4. Se calcula la velocidad real del fluido

$$v_r = \frac{m}{D_i^2 \rho} \quad \dots(1.4)$$

Donde:

v _r = velocidad real	L/T
•	
m = Flujo másico	M/T

D_i = diámetro interno L
 ρ = densidad M/L³

5. Con el Número de Reynolds se determina el tipo de flujo (turbulento o laminar)

$$Re = \frac{D_i \cdot v_r \cdot \rho}{\mu} \quad \dots(1.5)$$

Donde:

Re = Número de Reynolds
 D_i = diámetro interno de la tubería L
 v_r = velocidad real L/T
 ρ = densidad M/L³
 μ = viscosidad M/LT

6. Con el diámetro nominal y el material de la tubería, se utiliza el Anexo 4 para encontrar la rugosidad relativa ϵ/D .

7. Con la rugosidad relativa y nuevamente el Número de Reynolds, se encuentra gráficamente el factor de fricción (f) utilizando el Diagrama de Moody (Anexo 5).

8. Contabilizar el total de los accesorios que tiene la red de distribución. Para tal efecto se puede utilizar la tabla siguiente:

Tabla I.5

TIPO DE ACCESORIO	CANTIDAD A	LONGITUD EQUIVALENTE POR ACCESORIO B	LONGITUD EQUIVALENTE TOTAL C = Ax B
			C1
			C2
			C3
TOTAL	$\Sigma(C1, C2, C3)$		

Se puede emplear el nomograma del Anexo 6 para encontrar la longitud equivalente debida a accesorios.

9. Finalmente se determina la caída de presión total utilizando la Fórmula de Darcy.

$$\Delta P = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \rho \quad \dots(1.6)$$

Donde:

ΔP = caída de presión total M/L^2

f = factor de fricción

ρ = densidad M/L^3

v = velocidad real del fluido L/T

g = gravedad L/T^2

$$\frac{L}{D} = \frac{L_{tr} + L_{equiv}}{D_i} \quad \dots(1.7)$$

Donde a su vez:

L_{tr} = longitud de la tubería recta L

L_{equiv} = longitud equivalente L
debida a accesorios

D_i = diámetro interno de la tub. L

1.4 Sumario de Diseño

El sumario de diseño es el medio por el cual se pueden presentar los resultados obtenidos del análisis de todos los pasos considerados en la metodología. Este sumario deberá contener la información necesaria para que se pueda tomar una decisión final respecto a los equipos y a la red de distribución.

Es importante que se presente una posición para cada parte del sistema, sustentada en el análisis de opciones. El análisis debe haber contemplado la relación entre costo

inicial, costo de mantenimiento, vida útil y calidad de la entrega, así como las características técnicas de cada equipo. Dado que la información debe ser lo más concisa posible, el uso de tablas comparativas es una excelente manera tener el panorama completo de los equipos.

CAPITULO II

CASO PRACTICO

En este capítulo se presenta un caso hipotético que se resolverá a través de subsecuentes capítulos a manera de ejemplo de utilización de la metodología propuesta.

El entorno del caso es una Planta de giro farmacéutico, en la cual se utiliza el aire comprimido para diversos fines, el principal es el movimiento de maquinaria.

Durante la solución del caso se manejará el sistema inglés de unidades, ya que la mayor parte de información técnica disponible, por ser de procedencia norteamericana, utiliza dichas unidades.

II.1 Descripción general

La planta "Ejemplo" producirá cuatro diferentes productos: P1, loción capilar para el cuero cabelludo; P2, jarabe para la tos; P3, suspensión contra la diarrea; y P4, crema suavizante para la piel. En la figura II.1 se presenta un arreglo general de la Planta "Ejemplo".

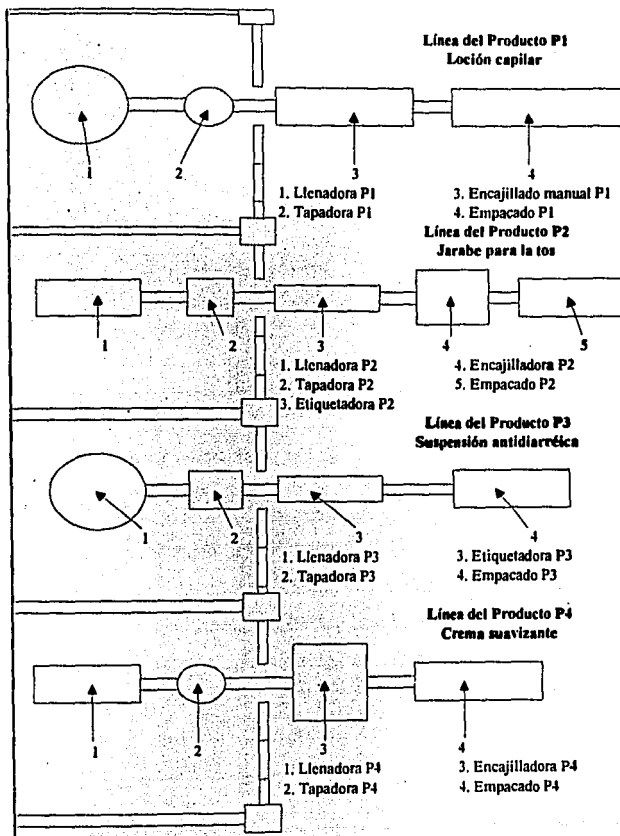
El producto P1 utiliza el aire en su proceso de fabricación para mover una bomba neumática y en su área de empaque para la llenadora y la tapadora.

Los productos P2, P3 y P4 no utilizan aire en su área de fabricación pero, al igual que P1, las llenadoras y tapadoras tienen accionamientos neumáticos.

Común a todos los productos es la manera de limpieza de tuberías, la cual se realiza mediante el desplazamiento de un cilindro plástico (comúnmente llamado diablo o pigging) a través de las tuberías e impulsado por aire.

Cada una de las áreas de fabricación y líneas de empaque deben contar con tomas de sopleteo para realizar el secado de piezas después de haber sido lavadas.

Figura II.1
Esquema General de la Planta "Ejemplo"



Dentro del taller de mantenimiento se requieren dos tomas de aire, ya que se utilizará una máquina de corte por plasma y se realizará pintura con pistola neumática.

Se requiere conocer la mejor opción para el sistema de aire comprimido, considerando los usos anteriormente expuestos.

A continuación se propone una tabla, que podrá ser utilizada para ir sumando los datos importantes, expuestos en el capítulo I, para poder diseñar el sistema de aire comprimido.

SUMARIZACION DE DATOS

Tabla II.1

USO	CONSUMO REQUERIDO (ft ³ /min)	CALIDAD REQUERIDA (Clase)	PRESIÓN DE TRABAJO (lb/in ²)	FACTOR DE USO†	CAPACIDAD UTILIZADA (ft ³ /min)

†Este factor se refiere al porcentaje de uso en un lapso determinado de tiempo (por hora, por día, por mes, etc).

II.1.1 Requerimientos para maquinaria

Tabla II.2

USO	CONSUMO REQUERIDO (ft ³ /min)	CALIDAD REQUERIDA (Clase)	PRESIÓN DE TRABAJO (lb/in ²)	FACTOR DE USO†	CAPACIDAD UTILIZADA (ft ³ /min)
Bomba P1	15	Clase 5	70 - 90	.25	3.75
Llenadora P1	70	Clase 5	80 - 100	1	70
Tapadora P1	35	Clase 2	80 - 100	1	35
Llenadora P2	60	Clase 2	70 - 90	1	60
Tapadora P2	35	Clase 2	80 - 100	1	35
Llenadora P3	70	Clase 5	80 - 100	1	70
Tapadora P3	30	Clase 5	70 - 90	1	30
Llenadora P4	45	Clase 2	70 - 90	1	45
Tapadora P4	40	Clase 2	70 - 90	1	40

De los manuales técnicos de los fabricantes de cada máquina se obtiene el consumo requerido para que cada máquina trabaje, así como la presión necesaria. El dato de presión debe estar expresado a manera de un rango, ya que en sistemas de aire comprimido es muy difícil mantener la presión siempre constante.

Dado que los manuales de fabricante únicamente describen la calidad requerida como "aire limpio y seco", se utilizó la Tabla I.1 para determinar la calidad dependiendo del uso del aire.

El factor de uso es el porcentaje de utilización en un lapso determinado, en este caso se utilizó como lapso de tiempo el número de horas que labora cada equipo. Así por ejemplo, la bomba del producto P1 trabaja 2 horas en un turno de 8 horas, así que si se divide 2 entre 8 horas nos da un factor de uso de 0.25.

La capacidad utilizada es la cantidad de aire comprimido que se utiliza por cada máquina después de haber sido afectada por su factor de uso.

II.1.2 Requerimientos de limpieza

Para obtener el consumo debido a la limpieza de tuberías se determina el caudal utilizado para mover al "pigging" o "diablo", para esto se utiliza la fórmula (I.1) sustituyendo los siguientes datos para cada tubería:

Tabla II.3

Tubería	Diámetro nominal (pulg)	Área real Ver anexo 3 (pulg ²)	Velocidad recomendada Ver anexo 2 (ft/min)	Caudal requerido (Según fórmula I.1)	Tiempo estimado de limpieza (min)
P1	1	.4939	4000	13.72	5
P2	1 1/2	.7995	4000	22.2	2.5
P3	1 1/4	.6685	4000	18.57	4.5
P4	1	.4939	4000	13.72	2.5

Con el tiempo estimado de limpieza se determina el factor de uso y con este último dato la capacidad utilizada, de la misma manera que para la maquinaria.

Tabla II.4

USO	CONSUMO REQUERIDO (ft ³ /min)	CALIDAD REQUERIDA (Clase)	PRESIÓN DE TRABAJO (lb/in ²)	FACTOR DE USO†	CAPACIDAD UTILIZADA (ft ³ /min)
Limpieza tubP1	13.72	Clase 5	30	.01	0.143
Limpieza tubP2	22.2	Clase 5	30	.005	0.116
Limpieza tubP3	18.57	Clase 5	30	.009	0.175
Limpieza tubP4	13.72	Clase 5	30	.0017	0.072

II.1.2 Requerimientos varios

Utilizando el Anexo 8 se puede obtener la cantidad de aire comprimido empleado en tuberías abiertas, definiendo a una tubería abierta como aquella que no tiene un equipo fijo conectado en uno de sus extremos, por lo tanto tomas de sopleteo, estaciones de pintura y tomas para corte con plasma son ejemplos de tuberías abiertas.

A manera de estándar todas las tomas de sopleteo serán de 1/2 " con descarga de 1/4 " a una presión de 50 lb/pulg². Las estaciones de pintura y corte por plasma en los talleres serán de 1/2" con salida de 3/8" a una presión de trabajo de 80 lb/pulg² y 50 lb/pulg² respectivamente. La razón de utilizar 1/2" es tener la suficiente rigidez en la tubería y así evitar el riesgo de que se doblen o se rompan. Las salidas de las tomas en el taller son de 3/8" debido a que la entradas en la máquina de corte por plasma y la pistola para pintar son de esta medida.

Tabla II.5

USO	CONSUMO REQUERIDO (ft ³ /min)	CALIDAD REQUERIDA (Clase)	PRESIÓN DE TRABAJO (lb/in ²)	FACTOR DE USO†	CAPACIDAD UTILIZADA (ft ³ /min)
Sopleteo 1	58.6	Clase 3	50	0.375	22
Sopleteo 2	58.6	Clase 3	50	0.375	22
Sopleteo 3	58.6	Clase 3	50	0.375	22
Sopleteo 4	58.6	Clase 3	50	0.375	22
Toma pintura	193	Clase 2	80	0.625	120.62
Corte por plasma	132	Clase 1	50	0.187	24.75

II.2 Sumarización de requerimientos

A continuación se suman los datos de consumo de aire requeridos para la planta "Ejemplo".

Para determinar el consumo máximo se investiga el número de operaciones requirientes de aire que puedan trabajar simultáneamente. En la planta ejemplo, por razones de personal solamente pueden operarse dos líneas de producción al mismo tiempo, las operaciones de limpieza de tuberías, al igual que las de sopleteo, se hacen al inicio del turno siguiente al final de la producción. La pintura neumática y los trabajos de corte se realizan siempre en el primer turno.

Con la información anterior podemos establecer los consumos por turno.

Tabla II.6

1er. Turno		2do. Turno		3er. Turno	
Uso	Consumo (ft ³ /min)	Uso	Consumo (ft ³ /min)	Uso	Consumo (ft ³ /min)
Bomba P1	3.75	Llenadora P1	70	Llenadora P3	70
Llenadora P1	70	Tapadora P1	35	Tapadora P3	30
Tapadora P1	35	Llenadora P3	70	Llenadora P4	45
Llenadora P2	60	Tapadora P3	30	Tapadora P4	40
Tapadora P2	35	Limp. tub P2	0.116	Limp. tub P1	0.143
Limp. tub P3	0.175	Sopleteo 2	22	Sopleteo 1	22
Limp. tub P4	0.072				
Sopleteo 3	22				
Sopleteo 4	22				
Corte plasma	120.62				
Pintura	24.75				
Total 1°	393.36	Total 2°	227.11	Total 3°	207.14

En la tabla anterior se puede notar que el mayor consumo se requerirá en el primer turno, con 393.36 ft³/min. Agregando un 25% de factor de crecimiento tenemos que el requerimiento de aire es de: **491.7 ft³/min.**

CAPITULO III

ANALISIS DE OPCIONES

Después de haber definido, durante el Capítulo II, los requerimientos totales del sistema de aire, es decir, cantidad, calidad y presión de trabajo, podemos pasar a realizar el análisis de opciones de equipo para cada una de las partes del sistema. Esto significa que se revisan las opciones para los equipos de generación, secado y filtrado del aire.

Aquí es importante realizar un análisis completo, que incluya todos los aspectos de los equipos, como son los costos de mantenimiento, la necesidad de equipos adicionales o periféricos (postenfriadores por ejemplo) y no solo el costo inicial del equipo, error en que fácilmente se incurre dado que es el costo más evidente.

A continuación se presenta un resumen de requerimientos en los cuales se basará el análisis de los equipos.

RESUMEN DE REQUERIMIENTOS

Tabla III.1

	Turno 1 ^a	Turno 2 ^a	Turno 3 ^a
Consumo máximo (ft ³ /min)	491.7	227.11	207.14
Calidad Clase 1 (ft ³ /min)	120.63	0	0
Calidad Clase 2 (ft ³ /min)	154.75	0	85
Calidad Clase 3 (ft ³ /min)	73.99	205.11	100.14
Calidad Clase 5 (ft ³ /min)	44	22	22
Presión de trabajo máx (lb/pulg ²)	100	100	100

III.1 Equipo de Generación

La primera selección que debemos realizar es el tipo de compresor a utilizar. Para tal efecto podemos utilizar la Tabla 1.2 "Características principales de los tipos de compresores".

Como podemos observar en la Tabla III.1, el consumo máximo por turno es de 491.7 ft³/min, por lo que los compresores centrífugos y de flujo axial quedan descartados, ya que, generalmente, este tipo de compresores son usados para generación de alta cantidad de aire. Por lo tanto, queda elegir entre compresores recíprocos y rotatorios.

Si nos volvemos a referir a la Tabla III.1, veremos que los requerimientos de nuestro sistema caen perfectamente en cualquiera de los dos tipos de compresores, por lo que es necesario que hagamos una comparación de ventajas-desventajas para poder tomar la decisión adecuada.

RECÍPROCANTE		ROTATORIO	
Costo inicial bajo	V	Costo inicial alto	D
Requiere postenfriador	D	No requiere postenfriador	V
Calidad de aire a la descarga 20-40 ppm	D	Calidad de aire a la descarga <= 5 ppm	V
Costo de mantenimiento alto (incluye tiempo de atención mecánica)	D	Costo de mantenimiento bajo	V
*Vida útil 15 años	D	Vida útil 20 años	V
No requiere especialización mecánica	V	Requiere especialización mecánica	D
Nivel de vibración muy alto	D	Nivel de vibración bajo	V
Nivel de ruido 90 dB a 1 metro	D	Nivel de ruido 82 dB a 1 metro (sin caja antirruído)	V

*Considerando un mantenimiento adecuado
V = ventaja, D = desventaja

Como se puede observar, los compresores rotatorios ofrecen mayores ventajas, por lo tanto se buscarán opciones en este tipo.

El siguiente paso del análisis del equipo de generación, después de haber seleccionado el tipo de compresor, es la cotización de equipos.

En este momento se solicita la asesoría de distribuidores de las marcas más reconocidas, por la calidad de los equipos, dentro del mercado de compresores. Para la solución de este ejemplo se invitó a Gardner Denver, a Sullair, a Ingersoll Rand y a Atlas Copco, para que cotizaran equipos.

Para realizar la cotización es necesario determinar el tamaño de compresor, medido en caballos de potencia, que cumplan con las necesidades del sistema. Después de la primera plática con los proveedores se determinó que el tamaño ideal para los compresores era de 40 hp, necesitándose tres, ya que con compresores más pequeños se requeriría de mayor atención mecánica y mayor gasto en refacciones, y con compresores más grandes limitaría la flexibilidad, esto es, si se llegara a descomponer un compresor y solo se tuvieran dos se restaría el 50% a la capacidad de generación afectando grandemente a la producción de la planta.

En el Anexo 7 se describe el procedimiento para selección de marca y modelo de compresor. Siguiendo el mencionado procedimiento, lo primero es llenar la Tabla Comparativa con los datos proporcionados por los proveedores. La comparación se presenta en la Tabla III.2

El segundo paso de la selección es graficar en forma de barras las características descritas en la Tabla III.2, la gráfica que contiene esta información es la número 1. Como se puede observar el compresor A.C. Z-Pack es de capacidad muy superior a los demás. En la gráfica 2 se ha retirado este compresor para tener una comparación más efectiva.

Tanto en la gráfica 1 como en la 2, el dato de potencia (hp's) se ha multiplicado por 2, esto con la finalidad de hacer más fácil visualizar y comparar las características de los compresores.

La gráfica 3 compara la cantidad de aceite contenido en el aire de entrega de cada una de las marcas de compresores, este dato es importante dado las características farmacéuticas de la planta "Ejemplo".

El costo de los compresores se compara en las gráficas 4 y 5. El valor está dado en dólares americanos, cotizados a la fecha de la elaboración del presente. Es apreciable la diferencia de costos entre los compresores con entrega de aire no lubricado y los de aire con trazas de aceite.

Para poder elegir, finalmente, el compresor con mejor desempeño, se otorga puntuación (del 1 al 3, dando tres puntos al mejor) a los tres mejores en cada característica, como se menciona en el Anexo 7.

EQUIPO DE GENERACION TABLA COMPARATIVA

Tabla III.2

MARCA	MODELO	CAPACIDAD (ft ³ /min)	POTENCIA (Hp)	PRESION MAX (lb/pulg ²)	CANTIDAD DE ACEITE (ppm de aceite)	COSTO* INICIAL (\$)	COSTO* MTTO (\$ anual)	TIEMPO DE ENTREGA (semanas)	ACCESORIOS
Sullair	Series 10	160	40	120	5	\$12,950	\$3,250	14	
Ingersoll Rand	SSR-EP40U	163.5	40	125	3	\$11,275	\$2,800	12	Control de energia y capacidad computarizado
Gardner Denver	ECH*HFF	160	40	125	2	\$18,500	\$3,700	14	
Atlas Copco	Serie Z-Pack	636	150	120	0	\$110,930	\$5,200	16	Control de energia y capacidad computarizado
Atlas Copco	Serie GA 30-125	152	40	125	5	\$14,917	\$3,280	16	Control de energia y capacidad computarizado
Atlas Copco Tipo perfil	Serie ZT2/ZR2	250	60	120	0	\$53,410	\$3,750	16	

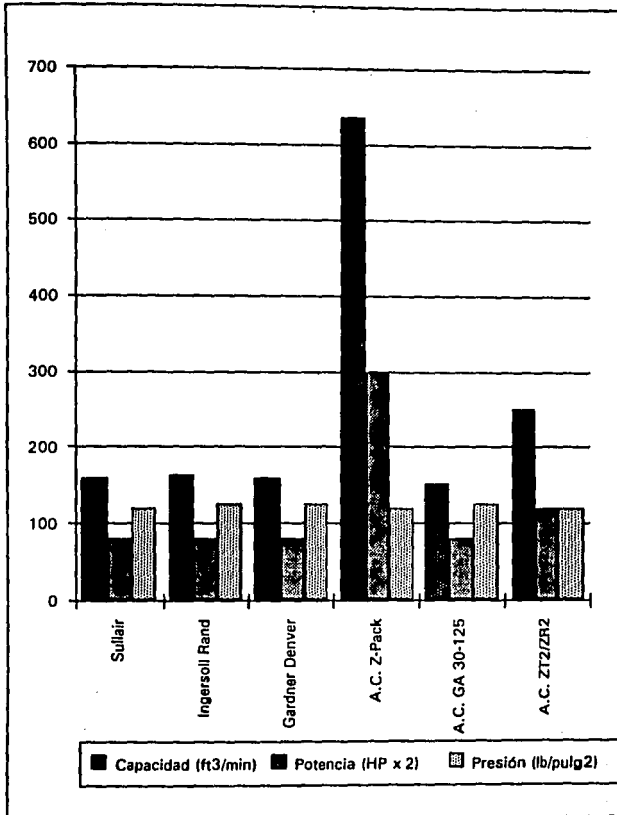
* En dólares americanos

ANEXO 7.1

EQUIPO DE GENERACION GRAFICA COMPARATIVA

(Capacidad/Potencia/Presión)

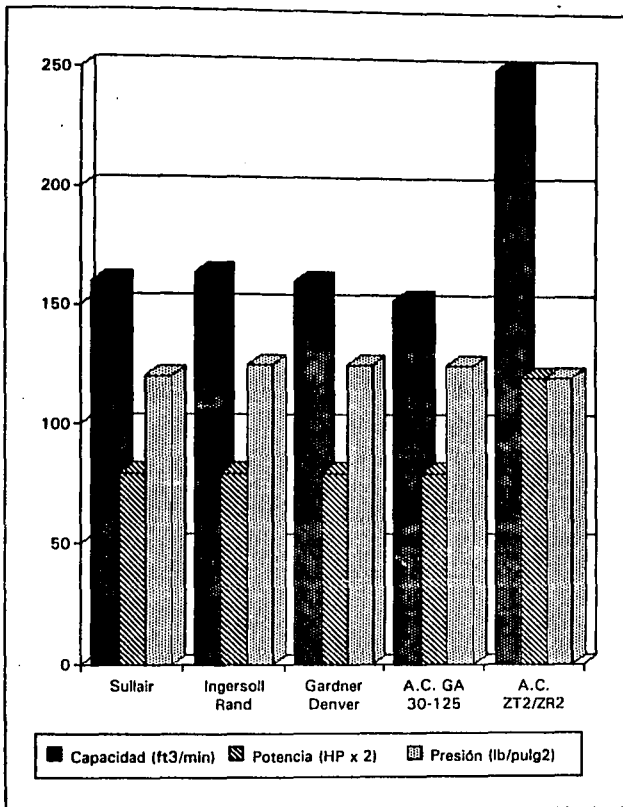
Gráfica 1



EQUIPO DE GENERACION GRAFICA COMPARATIVA

(Capacidad/Potencia/Presión)

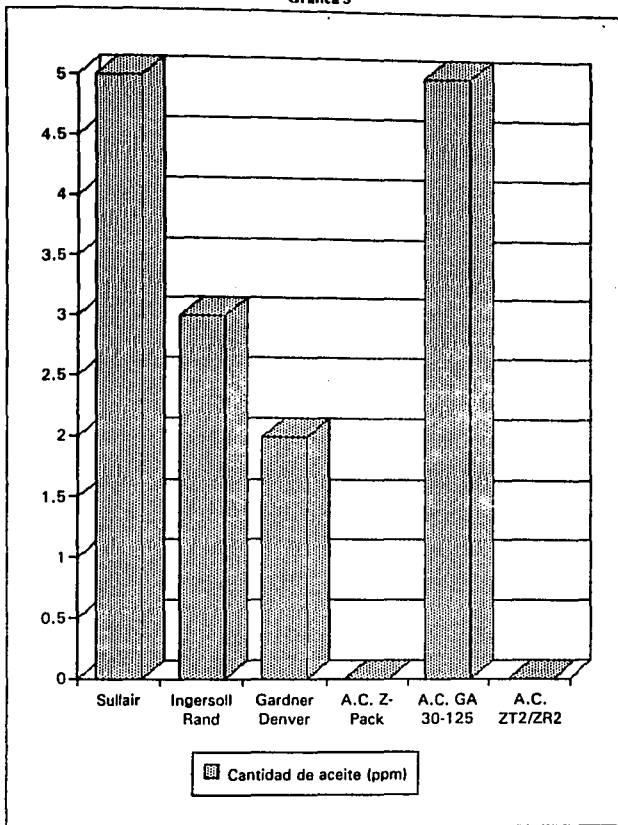
Gráfica 2



EQUIPO DE GENERACION GRAFICA COMPARATIVA

(Cantidad de aceite)

Gráfica 3

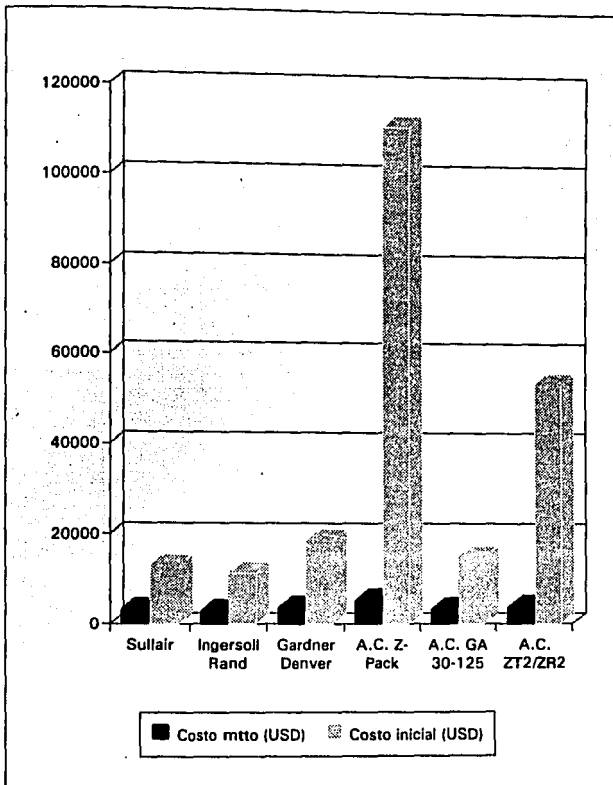


EQUIPO DE GENERACION

GRAFICA COMPARATIVA

(Costos inicial y de mantenimiento)

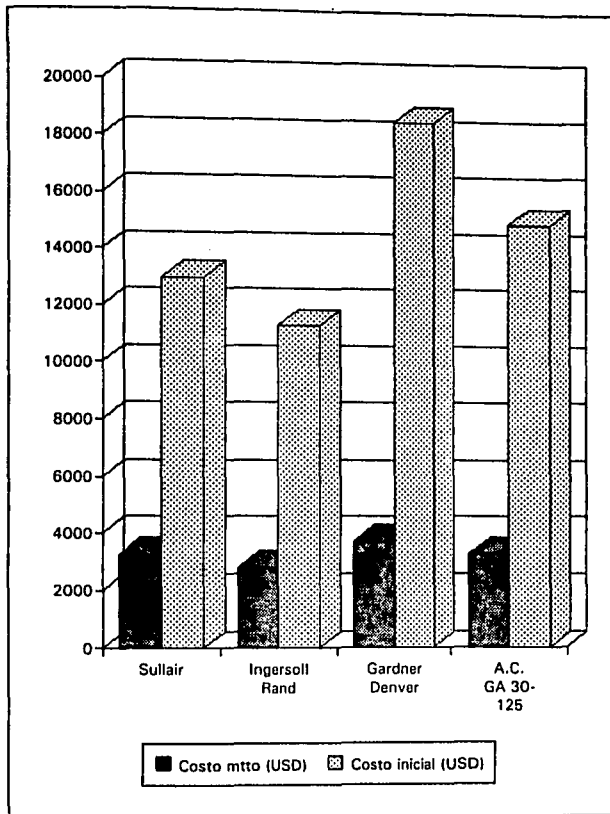
Gráfica 4



EQUIPO DE GENERACION GRAFICA COMPARATIVA

(Costos inicial y de mantenimiento)

Gráfica 5



La Tabla III.3 muestra la calificación del desempeño en cada característica.

PUNTUACION SEGUN DESEMPEÑO EQUIPO DE GENERACION

Tabla III.3

	Capacidad de generación	Presión máxima	Cantidad de aceite	Costo inicial	Costo mnto	Tiempo de entrega	Total de puntos obtenidos
Sullair Series 10	0	2	0	2	2	2	8
Ingersoll Rand SSR-EP40U	1	3	1	3	3	3	14
Gardner Denver ECH-HFF	0	3	2	0	0	2	7
Atlas Copco Z-Pack	3	2	3	0	0	1	9
Atlas Copco GA 30-125	0	3	0	1	1	1	6
Atlas Copco Perfil ZT/ZR2	2	2	3	0	0	1	8

Como se observa en la Tabla III.3, el compresor Ingersoll Rand Modelo SSR-EP40U es el que mejor cumple con los requerimientos del sistema, ya que obtuvo la mayor puntuación según el desempeño global, por lo que es el equipo de generación elegido.

EQUIPO DE SECADO TABLA COMPARATIVA

Tabla III.4

MARCA	MODELO	CAP. DE SECADO (ft ³ /min)	PUNTO DE ROCIO (°F)	PRESION MAX (lb/pulg ²)	TEMP. MAX A ENTRADA (°F)	TIPO DE REFRIGERANTE O ADSORBENTE	COSTO* INICIAL (\$)	COSTO* MITO (\$ anual)	TIEMPO DE ENTREGA (semanas)	ACCESORIOS
SMC	IDF37B	211	39	140.5	95	R-22	\$5,150	\$1,125	9	
Sullair	SRD 190	190	39	235	100	R-12	\$4,725	\$950	8	
Ingersoll Rand	TM 200	200	33-39 ajustable	250	100	R-22	\$5,900	\$1,298	6	Control computarizado de funciones
Ingersoll Rand	DXR 180	180	33-39 ajustable	250	104	R-22	\$4,540	\$850	6	
Graham White	D26C15	175	35	125	100	Alumina	\$5,750	\$2,175	8	

* Dato en dólares americanos

III.2 Equipo de Secado

Siguiendo el procedimiento indicado en el Anexo 7, el cual también se siguió para la selección del equipo de generación, se elegirá el equipo de secado.

Como ya se mencionó en el punto 3.1, lo primero es solicitar cotizaciones a distribuidores de marcas reconocidas. Para la realización de la presente, se pidió cotización a Ingersoll Rand, Atlas Copco, Gardner Denver, Sullair, SMC (Compañía japonesa) y Graham White.

Atlas Copco y Gardner Denver no presentaron cotización. La Tabla III.4 compara las características de los secadores de aire.

Si nos referimos al Protocolo de Montreal (tratado sobre la fabricación y utilización de clorofluorocarbonos, firmado por un gran número de países en la ciudad de ese nombre) se indica que el refrigerante R-12 deberá de dejarse de producir en los países subdesarrollados en el año 2000, por lo tanto, el secador de la marca Sullair, el cual utiliza este tipo de refrigerante en su circuito de refrigeración, queda fuera de la lista de elegibles.

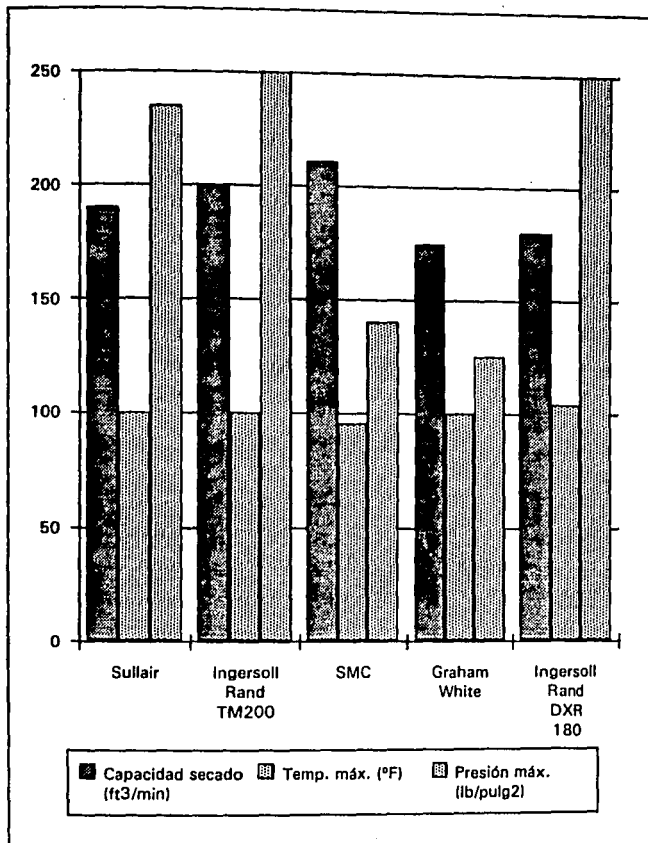
Siguiendo el procedimiento del Anexo 7, la gráfica 6 compara las características de capacidad de secado, presión máxima y temperatura máxima de entrada, la gráfica 7 los puntos de rocío, característica muy importante que indica la temperatura mínima a la cual el aire no presentará condensación, y la gráfica 8 los costos iniciales y de mantenimiento anual.

EQUIPO DE SECADO

GRAFICA COMPARATIVA

(Capacidad/Temperatura máx./Presión máx.)

Gráfica 6

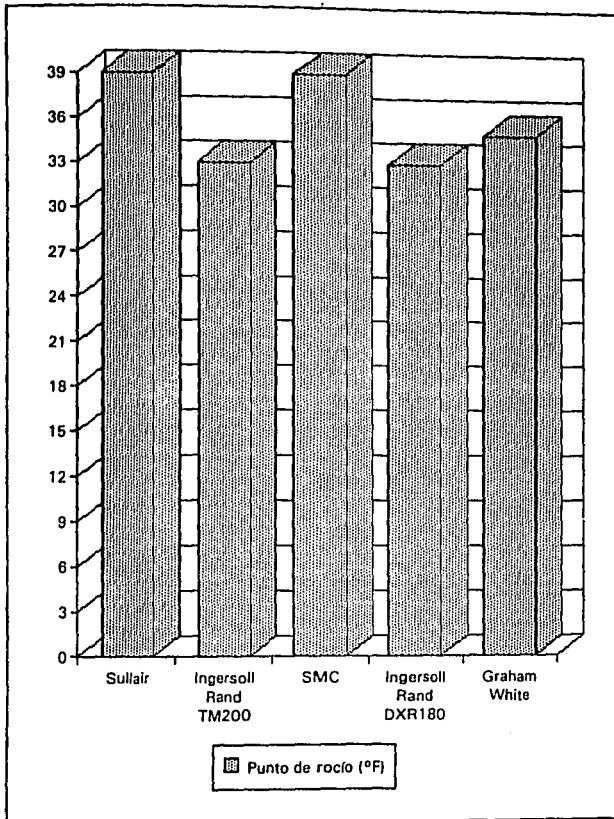


EQUIPO DE SECADO

GRAFICA COMPARATIVA

(Puntos de rocío)

Gráfica 7

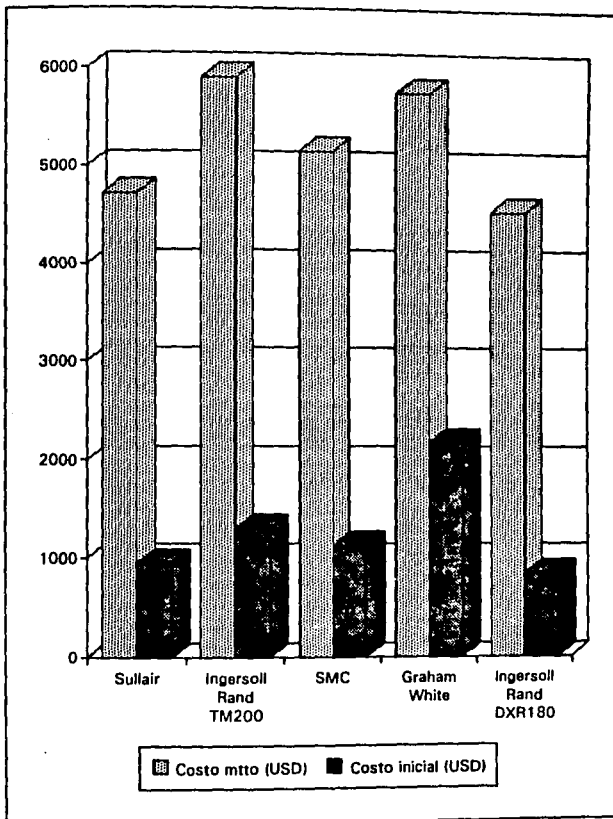


EQUIPO DE SECADO

GRAFICA COMPARATIVA

(Costos inicial y de mantenimiento)

Gráfica 8



Como tercer paso, se otorga puntuación según el desempeño de cada secador. La información se conjunta en la Tabla III.5.

PUNTUACION SEGUN DESEMPEÑO EQUIPO DE SECADO

Tabla III.5

	Capacidad de secado	Punto de rocío	Presión máxima	Temp. máxima a la entrada	Costo inicial	Costo neto	Tiempo de entrega	Total de puntos obtenidos
SMC IDF37B	3	1	1	1	1	1	1	9
Sullair SRD 190	1	1	2	2	2	2	2	12
Ingersoll Rand TM 200	2	3	3	2	0	0	3	13
Ingersoll Rand DXR180	0	3	3	3	3	3	3	18
Graham White D26C15	0	2	0	2	0	0	2	6

El secador con mejor desempeño global es el **Ingersoll Rand modelo DXR180**, marca y modelo elegidos para ser usado en la Planta "Ejemplo".

III.3 Equipo de Filtrado

Como se vió en el capítulo I, la filtración del aire es indispensable en cualquier sistema, sin embargo no necesariamente se requiere tener máxima calidad en toda la red de distribución, ya que los costos que se generaría por concepto de cambio de elementos filtrantes sería muy elevado. Por lo tanto es recomendable mantener un nivel clase 2 en la red y colocar filtros de mayor pureza solo en los sitios de uso que lo requieran.

Para el sistema de la planta "Ejemplo", se pidió a SMC, Atlas Copco, Sullair, Ingersoll Rand y Ultrafilter la cotización de los filtros necesarios para mantener nivel clase 2 en la red. En la Tabla III.6 se muestra la comparación de las características de cada una de las marcas.

Los filtros Ultrafilter e Ingersoll Rand no cumplen con la retención de sólidos seleccionada como mínima (0.3μ), por lo tanto quedan fuera del análisis.

En la gráfica 9 se pueden observar las características de capacidad de filtrado y presión máxima de operación; en la 10, la pureza del aire después de la filtración, tanto en sólidos como en cantidad de aceite, aquí es necesario notar que los filtros Atlas Copco tienen que ser instalados en juego de 2, lo cual se refleja en el costo, como se puede observar en la gráfica 11.

La gráfica 11 presenta los costos inicial y de mantenimiento. El costo de mantenimiento en un filtro se refiere principalmente al cambio de cartuchos.

EQUIPO DE FILTRADO TABLA COMPARATIVA

Tabla III.6

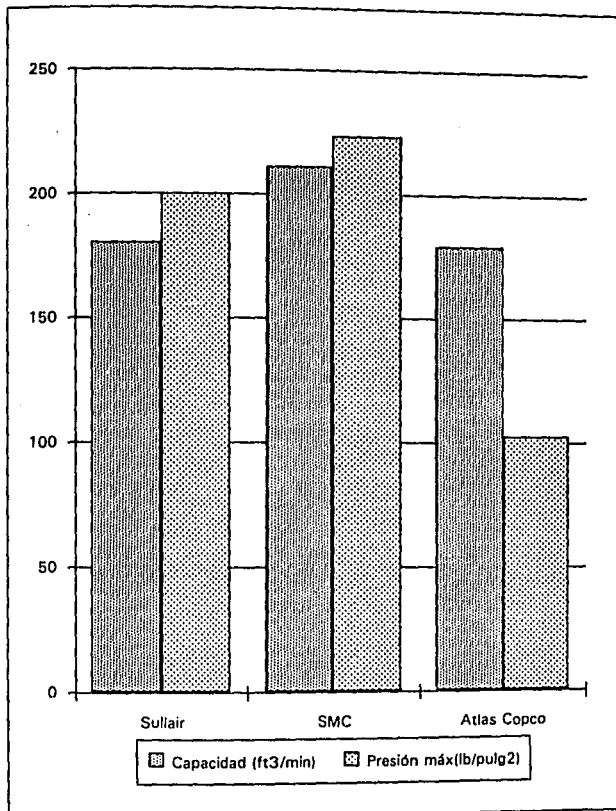
MARCA	MODELO	CAPACIDAD DE FILTRADO (ft ³ /min)	PUREZA SOLIDOS (μ)	PUREZA ACEITE (mg/m ³)	PRESION MAX (lb/pulg ²)	PRECUENCIA DE CAMBIO	COSTO* INICIAL (\$)	COSTO* MITTO (\$ anual)	TIEMPO ENTREGA (semanas)	ACCESORIOS
Ultrafilter	SM0036	211	2	Sin datos	100	Cada 6 meses	\$1,754	\$613	6	
	ALD0384	226	0.8	1	100	Cada 6 meses	\$1,754	\$613		
Ingersoll Rand	IR300P	300	2	Sin datos	250	Cada 8 meses	\$1,450	\$507	6	Indicador de presión diferencial
	IR300C	300	0.7	1	250	Cada 8 meses	\$1,450	\$507		
SMC	AMD650	211	0.3	1	223	Cada 12 meses	\$1,322	\$466	1	
Sullair	MPF18	180	0.3	1	200	Cada 6 meses	\$1,229	\$604	6	
Atlas Copco	DD85	179	1	0.5	102	Cada 8 meses	\$1,582	\$525	8	
	PD85	179	0.01	0.01	102	Cada 8 meses	\$1,725	\$614	8	

*En dólares americanos

EQUIPO DE FILTRADO GRAFICA COMPARATIVA

(Capacidad/Presión máx.)

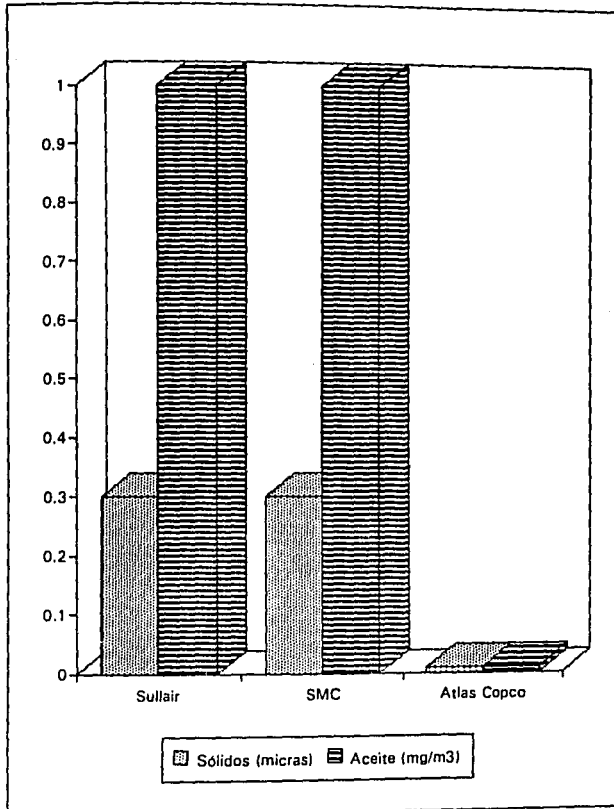
Gráfica 9



EQUIPO DE FILTRADO GRAFICA COMPARATIVA

(Pureza de sólidos y aceite)

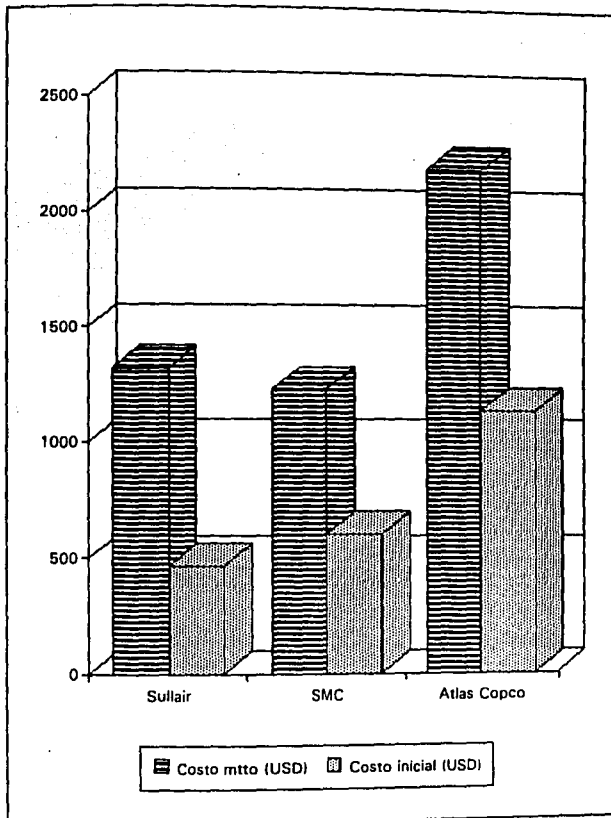
Gráfica 10



EQUIPO DE FILTRACION GRAFICA COMPARATIVA

(Costos inicial y de mantenimiento)

Gráfica II



Otorgando puntos según el desempeño, se obtiene la Tabla III.7.

PUNTUACION SEGUN DESEMPEÑO EQUIPO DE FILTRADO

Tabla III.7

	SMC AMD 650	Sullair MPF18	Atlas Copco DD85/PD85
Capacidad de filtrado	3	2	1
Pureza de sólidos	2	2	3
Pureza de aceite	2	2	3
Presión máxima	3	2	1
Frecuencia de cambio de cartuchos	3	1	2
Costo Inicial	2	3	1
Costo de mantenimiento anual	3	2	1
Tiempo de entrega	3	2	1
Total de puntos obtenidos	21	16	13

Los filtros seleccionados, por su mejor desempeño global, son los **SMC AMD650**.

CAPITULO IV

DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCION

Este capítulo se dedica a la red por la cual se distribuirá el aire comprimido. Es necesario contemplar aspectos como el material de construcción, la ubicación de los equipos, la ruta por la cual se colocará la tubería en la planta y, finalmente, el cálculo de las caídas de presión que se tendrán debido a fricción y accesorios.

IV.1 Material

Existen dos materiales comunes para la elaboración de tuberías para aire comprimido, uno es el fierro galvanizado y el otro el cobre. Ambos presentan ventajas y desventajas que deben ser valoradas antes de decidir el material a utilizar. En la Tabla 1.5 se muestra una comparación entre ambos materiales. Como se puede apreciar el fierro galvanizado ofrece ventajas en cuanto a la facilidad de manejo y el costo, y desventajas sobre probabilidad de fugas, incrustaciones y peso.

El cobre, a su vez, presenta ventajas en limpieza (no arrastre de suciedad), minimización de fugas, bajo peso y muy bajas caídas de presión. Las principales desventajas del cobre son el costo y la dificultad para realizar modificaciones.

Comparando el total de ventajas y desventajas podemos sugerir al cobre para redes de distribución generales y al fierro galvanizado para instalaciones provisionales. La planta "Ejemplo" utilizará cobre como material de distribución.

IV.2 Planos y Esquemas de Distribución

Dos tipos diferentes de planos deben de ser elaborados cuando se desarrollan proyectos de Sistemas de Aire Comprimido: los planos de ubicación de equipos y los esquemas isométricos.

IV.2.1 Planos de Ubicación

Este tipo de planos son utilizados para identificar la ubicación física de los equipos a instalar. Deberán ser dibujados sobre planos arquitectónicos y utilizar una escala definida. Buscan armonizar la ubicación de los nuevos equipos con su entorno, es decir, con otros equipos ya instalados o con limitaciones específicas de espacio. Este tipo de planos optimiza la logística de movimientos ya que auxilian a identificar pasillos de acceso a los equipos, espacios para mantenimiento, etc.

Para el caso de equipos como compresores y secadores de aire, por ser equipos catalogados como de servicio, es común ubicarlos en azoteas, dado que así permiten espacio disponible en la áreas de producción.

En el caso específico de la Planta "Ejemplo", se ubicaran todos los equipos en el área de azotea. La red de distribución se hará en forma de circuito, lo cual permite igualación de presión en todos los puntos y la ubicación de la red también será en azoteas, con solo bajadas verticales al área. Este último punto obedece al giro farmacéutico de la Planta "Ejemplo", que pretende evitar tuberías horizontales que provoquen acumulación de polvo.

El plano P1, "Arreglo General", muestra la ubicación y forma de distribución de la Planta "Ejemplo".

IV.2.2 Esquemas Isométricos

Estos esquemas son mucha utilidad para la determinación de las caídas de presión dentro de la red, ya que especifica la totalidad de las válvulas y conexiones, así como la longitud y diámetro de la tubería.

El esquema isométrico es, además, de utilidad como esquema base para la instalación, aunque siempre será necesario ser ajustado en campo.

Todo esquema isométrico podrán dibujarse utilizando la simbología DIN/ISO 1219 mostrada en el Anexo 1, o con dibujos representativos de los equipos.

Para la Planta "Ejemplo", el plano P2 presenta el esquema isométrico correspondiente.

IV.3 Cálculo de Caídas de Presión

Dentro de los sistemas de aire comprimido es importante conocer las caídas de presión, que se darán en la red de distribución, para así poder calibrar el arranque y paro de los equipos de generación de una manera adecuada.

A manera de ejemplo, a continuación se calcula la caída de presión máxima, siguiendo el procedimiento descrito en el capítulo 1, sección I.3.3. El punto elegido para la realización del cálculo es la toma que se encuentra a mayor distancia, la toma de la línea del Producto P1.

1. Utilizando la fórmula I.2 se calcula el flujo másico, para lo cual se utiliza el mayor caudal posible, que en este caso es la capacidad de los compresores (490.5 ft³/min).

$$\bullet$$

$$m = Qp \quad \dots(1.2)$$

$$\bullet$$

$$m = 490.5 \text{ ft}^3/\text{min} \times 0.61 \text{ lb/ft}^3$$

$$\bullet$$

$$m = 299.2 \text{ lb/min}$$

2. El área recomendada es calculada mediante la fórmula I.3.

$$\bullet$$

$$A_f = \frac{m}{\rho v} \quad \dots(1.3)$$

$$A_f = \frac{299.2 \text{ lb/min}}{0.61 \text{ lb/ft}^3 \times 13333 \text{ ft/min}}$$

$$A_f = 0.036 \text{ ft}^2 \times 144 = 5.25 \text{ in}^2$$

Calculando el diámetro de la tubería mediante la fórmula de área de un círculo.

$$D = ((4 \times A) / \pi)^{1/2}$$

$$D = ((4 \times 5.25 \text{ in}^2)/\pi)^{1/2}$$

$$D = 2.59 \text{ in}$$

3. Usando el Anexo 3 se encuentra el diámetro interior y el área de la tubería para el diámetro de tubería calculado en el punto 2.

$$D_i = 2.469 \text{ in} \quad A = 0.033 \text{ ft}^2$$

4. La velocidad real del fluido puede ser calculada con las formulas I.1 o I.4, aquí se utilizará la primera.

$$v_r = \frac{Q}{A}$$

$$v_r = \frac{490.5 \text{ ft}^3/\text{min}}{0.033 \text{ ft}^2}$$

$$v_r = 14863.63 \text{ ft}/\text{min}$$

5. A continuación se determina el Número de Reynolds, para ello se usa la fórmula I.5. La viscosidad se obtiene utilizando el Anexo 6B y después convirtiendo a unidades compatibles.

$$Re = \frac{D_i \cdot v_r \cdot \rho}{\mu} \quad \dots(1.5)$$

$$Re = \frac{0.033 \text{ ft}^2 \times v_r = 14863.63 \text{ ft}/\text{min} \times 0.61 \text{ lb}/\text{ft}^3}{6.856 \times 10^{-4}}$$

$$Re = 436413.17$$

Lo cual nos indica que es un flujo turbulento.

6. Usando el Anexo 4 y los valores de diámetro y material de la tubería, se encuentra el valor de rugosidad relativa.

$$\epsilon/D = 0.0007$$

7. Con los valores de rugosidad relativa y Número de Reynolds podemos encontrar el factor de fricción.

$$f = 0.0188$$

8. Ahora toca el turno de cuantificar los accesorios de la red, para realizar esto se utiliza la Tabla I.5.

TIPO DE ACCESORIO	CANTIDAD A	LONGITUD EQUIVALENTE POR ACCESORIO B (pies)	LONGITUD EQUIVALENTE TOTAL C = AxB (pies)
Codo 45°	1	3	3
Codo 90°	4	4.5	18
Conexión "T"	6	14	84
Reducciones	2	2.5	5
TOTAL	110		

9. Se calcula la relación L/D

$$\frac{L}{D} = \frac{L_{tr} + L_{equiv}}{D_i} \quad \dots(1.7)$$

$$\frac{L}{D} = \frac{61.61 \text{ ft} + 110 \text{ ft}}{0.20 \text{ ft}}$$

$$\frac{L}{D} = 858.05$$

9. Finalmente la caída de presión es calculada con la Fórmula de Darcy.

$$\Delta P = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \rho \quad \dots(1.6)$$

$$\Delta P = \frac{0.0188 \times 858.05 \times 14863.63 \text{ ft/min} \times 0.61 \text{ lb/ft}^3}{2 \times 32.2 \text{ ft/seg}^2}$$

$$\Delta P = 2271.11 \text{ lb/ft}^2 / 144 = 15.77 \text{ lb/in}^2$$

CAPITULO V

SUMARIO DE DISEÑO

Este último capítulo se refiere a conjuntar la información desarrollada durante el diseño, de una forma concisa y ordenada, que permita consultas rápidas. Esta sumariaización puede ser utilizada como parte de una presentación para la Gerencia que, en determinado momento, será la encargada de autorizar que el proyecto se lleve adelante.

La otra parte importante para la realización de un proyecto, además del diseño y selección de equipos, es la evaluación económica contra una tasa de retorno de la inversión. La presente tesis no contempla este análisis.

V.1 Sumario

El sumario debe incluir los siguientes datos:

1. Requerimientos
 - a) Caudal
 - b) Presión de trabajo
2. Equipo seleccionado (Incluir inversión necesaria)
 - a) De generación
 - b) De secado
 - c) De filtrado
3. Calidad de aire en la red
4. Diseño de la red (Incluir inversión necesaria)
5. Monto total de la inversión

Todos estos datos pueden ser conjuntados en el formato propuesto en el Anexo 9.

Los datos del sistema diseñado para la Planta ejemplo se encuentran en la Tabla V.1 de la página siguiente.

Tabla V.1
SUMARIO

Requerimientos:

Caudal: 491.3 ft³/min
 Presión de Trabajo: 30 - 100 lb/in²

Propuesta:

EQUIPO	CANTIDAD	MARCA	MODELO	CAPACIDAD UNITARIA (ft ³ /min)	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
Compresor	3	Ingersoll Rand	SSR-EP40U	163.5	\$11,275	\$33,825
Secador	3	Ingersoll Rand	DXR -180	180	\$4,540	\$13,620
Filtros	3	SMC	AMD650	211	\$1,322	\$3,966

Calidad de aire en la red: Clase 2

Diseño de la red: Ver planos anexos

Costo:

Equipo de generación	\$33,825
Equipo de secado	\$13,620
Equipo de filtrado	\$3,966
Tubería	\$13,150
Bases civiles	\$1,875
Instalación eléctrica	\$3,750
Accesorios varios (silletas de CCM por ejemplo)	\$3,187
TOTAL	\$73,373

Elaboró: L.E. Salgado
 Fecha: Noviembre 1993

V.2 Recursos audiovisuales

La presentación a la Gerencia puede (y es muy recomendable que lo sea) ser apoyada mediante la utilización de recursos audiovisuales como acetatos, gráficas por computadora, rotafolios, etc.

Este tipo de ayuda permite tener un panorama más amplio del tema que se está tratando, además de evitar la monotonía de las reuniones.

Para el caso específico del análisis del Sistema de Aire Comprimido, realizado para la Planta "Ejemplo", las gráficas comparativas presentadas en el Capítulo 3, pueden ser de utilidad como apoyos visuales.

CONCLUSIONES

Como conclusión a la presente tesis podemos determinar tres cosas principalmente. La primera, que el seguimiento de la metodología propuesta, ahorra tiempo a la persona que la emplea, ya que no se requiere investigar cuáles son las variables importantes a considerar en el análisis. Además, se evitan retrabajos innecesarios durante el proceso de diseño, dado que en cada paso del análisis se obtiene la información que se usará en el siguiente paso.

Segundo, se pudo visualizar que las plantas farmacéuticas tienen requerimientos especiales sobre la calidad del aire comprimido empleado en ellas, mas sin embargo, el método de diseño de la red puede ser utilizado para cualquier sistema de aire comprimido, con sólo definir las calidades requeridas por el sistema en particular.

Y tercero, la presente tesis permite a las personas que tienen su primera aproximación a los sistemas de aire comprimido, a conocer la gama de variables que hay que explorar para poder tomar decisiones de selección adecuadas, es decir, no solamente dejarse llevar por la impresión del costo inicial de adquisición de los equipos, generalmente la más evidente, sino analizar la relación existente entre costo, calidad y beneficio.

Para finalizar podemos decir que la presente tesis cumple totalmente con el alcance inicial, es decir:

- + Ejemplifica, mediante la solución de un caso práctico, la utilización de la metodología propuesta.

- + Sugiere estándares de calidad de aire comprimido, dependiendo de la aplicación del mismo y enfocándose en los requerimientos de una Planta Farmacéutica.

- + Relaciona los conceptos de calidad-costo-beneficio de las opciones para la selección de equipos y la instalación de ellos en un Sistema de Aire Comprimido, al analizar una variedad de variables importante (costos de mantenimiento, tiempo de entrega, capacidad, etc.).

BIBLIOGRAFIA

1. SALCEDO Jorge. "Máquinas de Desplazamiento Positivo" (Notas de la materia), México, 1989; Tema 3 "Compresores"
2. INGERSOLL RAND, Compañía. "Manual del Profesional del Aire Comprimido", México 1991; p.p. 1.1-1.9, 10.1-10.5
3. MORTIMER Charles. "Química", Editorial Iberoamericana, México 1984; p.p. 338 y 339
4. TREYBAL Robert. "Operaciones de Transferencia de Masa", Editorial McGraw Hill, México 1985; p.p. 627 y 628
5. MEIXNER H., KOBLER R. "Introducción a la Neumática" (Manual de Estudio D-7300), Alemania 1980; p.p. 9, 20-23, 32-36
6. CRANE CO. "Flow of Fluids", USA 1981; p.p. 1.4 -1.7, A23-A25, B15-B16
7. SMC Company. "Air Cleaning Equipment" (Catálogo E3G), Japón 1989; p.p. 31, 46
8. ATLAS COPCO Co. "Filtros de Aire Comprimido" (Catálogo 2935 4199 14), Bélgica 1989; 1-5
9. SULLAIR Company. "Sullair Dryers and Filters" (Catálogo CRS-1042), USA 1990, p.p. 1-4
10. GRAHAM WHITE MFG Co. "Graham White Air Systems TB 5000 Technical Bulletin", USA 1992, p.p. 1,2 y 4
11. SULLAIR Company. "Sullair Bulletin E933", USA 1989, p.p. 1-3
12. COOPER INDUSTRIES Inc. "Electra Saver II Gardner Denver" (Bulletin 13-9-200), USA 1989, p.p. 1, 2 y 5

13. ATLAS COPCO Co. "Z Pack Series" (Catálogo 2935 0237 11), Bélgica 1989; p.p. 3, 4 y 7
14. ATLAS COPCO Co. "Serie GA" (Catálogo 2935 4262 10), Bélgica 1989; p.p. 3, 4 y 6
15. ATLAS COPCO Co. "Serie ZT2/ZR2" (Catálogo 2935 4206 12), Bélgica 1992; p.p.2, 3 y 8
16. INGERSOLL RAND Co. "SSR Series" (Catálogo), USA 1991; p.p. 4
17. INGERSOLL RAND Co. "DXR Series" (Catálogo IR553), USA 1992; p.p. 3 y 4

ANEXO 2

VELOCIDADES DE FLUIDO RECOMENDADAS

LAS VELOCIDADES SON SOLO SUGERIDAS Y SON PA-
RA USARSE COMO UNA REFERENCIA PARA INICIAR
CALCULOS DE CAIDA DE PRESION.

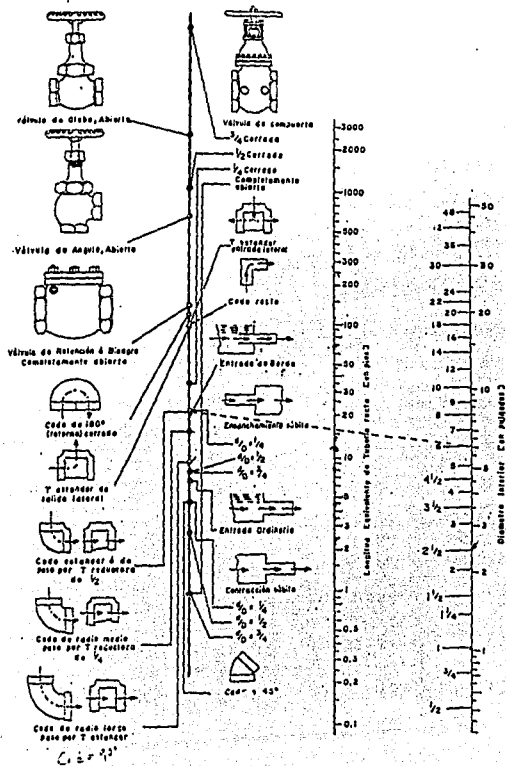
EL TAMAÑO FINAL DEBE SER TAL QUE DE UN BA-
LANCE ECONOMICO ENTRE CAIDA DE PRESION Y UNA
VELOCIDAD RAZONABLE.

FLUIDO	VELOCIDAD SUGERIDA PIES POR MINUTO PIES POR SEGUNDO	MATERIAL DEL TUBO
ACEITE LUBRICANTE	4 P.P.S.	ACERO
ACETILENO (SERA EN LIMITACIONES DE PRESION)	4000 P.P.M.	ACERO
AGUA	3-8 INCH. P.P.S.	ACERO
Salada o salada	3-8 P.P.S.	ACERO
Sulfato de sodio	7-10 P.P.S.	ACERO
Nitrato de sodio (salado)	4-8 P.P.S.	ACERO
Demolición de refinería de petróleo	3-12 P.P.S.	CONCRETO
Sulfato de sodio	4000 P.P.M.	ACERO
AMONIACO	6 P.P.S.	ACERO
Líquido	6000 P.P.M.	ACERO
Gas	5 P.P.S.	ACERO
BENCENO	4 P.P.S.	VIDRO
Líquido	2000 P.P.M.	VIDRO
Gas	4 P.P.S.	VIDRO
CLORURO DE ACIDIO	5 P.P.S.	A.R.M.
Líquido	4000 P.P.M.	A.R.M. Saren, Hoveg
Gas	5 P.P.S.	ACERO C.D. 80
CLORO (SECC)	2000-5000 P.P.M.	ACERO
Líquido	5 P.P.S.	COBRE Y ACERO
Gas	2000 P.P.M.	COBRE Y ACERO
CLOROFORMO	4 P.P.S.	ACERO
Líquido	2000 P.P.M.	ACERO
Gas	4 P.P.S.	ACERO
CLORURO DE CALCIO	5 P.P.S.	ACERO
CLORURO DE SODIO (SAL)	0-15 P.P.S.	MOHEL O NICKEL
Sin sales	6 P.P.S.	ACERO
Con sales	4000 P.P.M.	ACERO
Líquido	6 P.P.S.	ACERO
Gas	6 P.P.S.	ACERO
CLORURO DE VINILO	6 P.P.S.	ACERO
CLORURO DE VINILIDENO	6 P.P.S.	ACERO
DIOXIDO DE AZUFRE	4000 P.P.M.	ACERO
DIBROMURO DE ETILENO	4 P.P.S.	VIDRO
DICHLORURO DE ETILENO	6 P.P.S.	ACERO
ETILENO (GAS)	6000 P.P.M.	ACERO
ETILENICO	6 P.P.S.	ACERO
GAS NATURAL	4000 P.P.M.	ACERO
HIDROGENO	6 P.P.S.	ACERO Y NICKEL
HIDROXIDO DE SODIO	5 P.P.S.	ACERO Y NICKEL
0-30 %	3 P.P.S.	ACERO Y NICKEL
30-50 %	4 P.P.S.	ACERO Y NICKEL
50-75 %	4 P.P.S.	ACERO Y NICKEL
OXIGENO	4000 P.P.M.	AC TPO 304
Tem ambiente	1800 P.P.M. (Max)	ACERO Y NICKEL
Temp. bajo	6 P.P.S.	ACERO
PERCLORETILENO	5 P.P.S.	ACERO
PROPILOXIDENO	4 P.P.S.	AC TPO 304
SULFURO DE ACIDIO	4 P.P.S.	ACERO Y NICKEL
88-95 %	4 P.P.S.	ACERO
95-100 %	6 P.P.S.	ACERO
TETRAFLUORURO DE CARBONO	6 P.P.S.	ACERO
TRICHLORO ETILENO	6 P.P.S.	ACERO
VAPOR	4000-6000 P.P.M.	ACERO
0-30 seg. Salada	6000-10000 P.P.M.	ACERO
10-150 seg. Sal y Sulfato de sodio	6500-10000 P.P.M.	ACERO
100 seg. y más Sulfato de sodio	15000 P.P.M. (Max)	ACERO
Sales de sodio		ACERO

NOTA - A.R.M. ACERO RECUBIERTO DE NICKEL.

ANEXO 6

RESISTENCIA DE VALVULAS Y ACCESORIOS AL FLUJO DE FLUIDOS



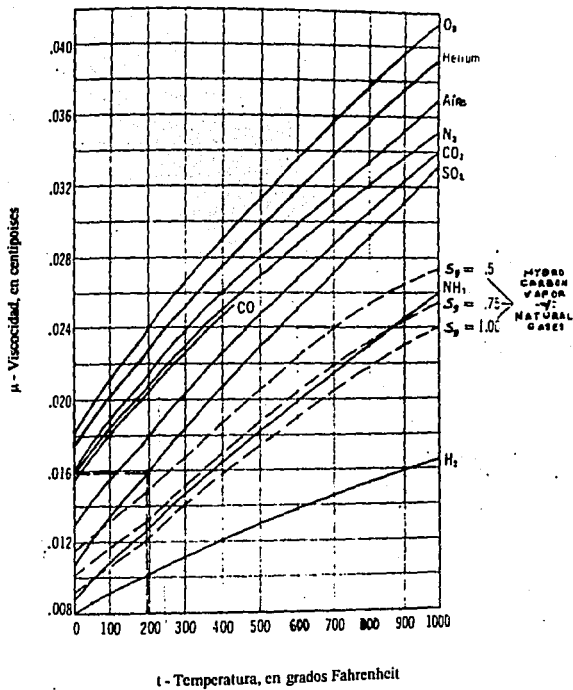
Densidad del Aire, en lb/ft³

Air Temp. Deg F.	Densidad del Aire, en lb/ft ³																	
	0 psi	5 psi	10 psi	20 psi	30 psi	40 psi	50 psi	60 psi	70 psi	80 psi	90 psi	100 psi	110 psi	120 psi	130 psi	140 psi	150 psi	
30	.0811	.1087	.1363	.1915	.247	.303	.357	.412	.467	.522	.578	.633	.688	.743	.798	.853	.908	
40	.0795	.1065	.1335	.1876	.242	.295	.350	.404	.458	.512	.566	.620	.674	.728	.782	.836	.890	
50	.0782	.1048	.1314	.1846	.238	.291	.344	.397	.451	.504	.557	.610	.663	.717	.770	.823	.876	
60	.0764	.1024	.1284	.1804	.232	.284	.336	.388	.440	.492	.544	.596	.648	.700	.752	.804	.856	
70	.0750	.1005	.1260	.1770	.228	.279	.330	.381	.432	.483	.534	.585	.636	.687	.738	.789	.840	
80	.0736	.0986	.1236	.1737	.224	.274	.324	.374	.424	.474	.524	.574	.624	.674	.724	.774	.824	
90	.0722	.0968	.1214	.1705	.220	.269	.318	.367	.416	.465	.514	.564	.613	.662	.711	.760	.809	
100	.0709	.0951	.1192	.1675	.216	.264	.312	.361	.409	.457	.505	.554	.602	.650	.698	.747	.795	
110	.0697	.0934	.1171	.1645	.212	.259	.307	.354	.402	.449	.497	.544	.591	.639	.686	.734	.781	
120	.0685	.0918	.1151	.1617	.208	.255	.302	.349	.395	.441	.488	.535	.581	.628	.674	.721	.768	
130	.0673	.0901	.1130	.1590	.205	.251	.296	.342	.388	.434	.480	.525	.571	.617	.663	.709	.755	
140	.0662	.0887	.1113	.1563	.201	.246	.291	.337	.382	.427	.473	.518	.562	.607	.652	.697	.742	
150	.0651	.0873	.1094	.1537	.1981	.242	.287	.331	.375	.420	.464	.508	.553	.597	.641	.686	.730	
175	.0626	.0834	.1051	.1477	.1903	.233	.275	.318	.361	.403	.446	.488	.531	.573	.616	.659	.701	
200	.0603	.0807	.1011	.1431	.1831	.224	.265	.306	.347	.388	.429	.470	.511	.552	.593	.634	.675	
225	.0580	.0777	.0974	.1389	.1784	.218	.258	.298	.338	.378	.418	.458	.498	.538	.578	.618	.658	
250	.0559	.0750	.0940	.1321	.1702	.208	.246	.284	.322	.361	.399	.437	.475	.513	.551	.589	.627	
275	.0540	.0724	.0908	.1276	.1644	.201	.238	.275	.311	.348	.385	.422	.459	.495	.532	.569	.606	
300	.0523	.0704	.0878	.1234	.1590	.1945	.230	.266	.301	.337	.372	.408	.443	.479	.515	.550	.586	
350	.0490	.0657	.0824	.1158	.1491	.1825	.216	.249	.283	.316	.349	.383	.416	.449	.483	.516	.550	
400	.0462	.0619	.0776	.1090	.1405	.1719	.203	.235	.266	.298	.329	.360	.391	.422	.453	.484	.515	
450	.0436	.0585	.0733	.1030	.1337	.1634	.1921	.222	.252	.281	.311	.341	.370	.400	.430	.459	.489	
500	.0414	.0555	.0695	.0977	.1258	.1540	.1821	.210	.238	.267	.295	.323	.351	.379	.407	.436	.464	
550	.0393	.0527	.0661	.0928	.1196	.1464	.1731	.1999	.227	.253	.280	.307	.334	.360	.387	.414	.441	
600	.0375	.0502	.0630	.0885	.1140	.1395	.1649	.1904	.216	.241	.267	.292	.318	.343	.369	.394	.420	
	175 psi	200 psi	225 psi	250 psi	300 psi	400 psi	500 psi	600 psi	700 psi	800 psi	900 psi	1000 psi						
30	1.047	1.185	1.323	1.460	1.736	2.29	2.84	3.39	3.94	4.49	5.05	5.60						
40	1.026	1.161	1.296	1.431	1.703	2.24	2.78	3.32	3.86	4.40	4.95	5.49						
50	1.009	1.142	1.275	1.408	1.674	2.21	2.74	3.27	3.80	4.33	4.87	5.40						
60	.986	1.116	1.246	1.376	1.636	2.16	2.68	3.20	3.72	4.24	4.76	5.28						
70	.968	1.095	1.223	1.350	1.605	2.11	2.61	3.14	3.65	4.16	4.67	5.18						
80	.950	1.075	1.200	1.325	1.575	2.08	2.56	3.08	3.58	4.08	4.58	5.08						
90	.932	1.055	1.178	1.301	1.547	2.04	2.53	3.02	3.51	4.00	4.50	5.00						
100	.916	1.036	1.157	1.278	1.519	2.00	2.48	2.97	3.45	3.93	4.42	4.90						
110	.900	1.018	1.137	1.257	1.492	1.96	2.43	2.92	3.39	3.86	4.34	4.81						
120	.884	1.001	1.117	1.234	1.457	1.93	2.40	2.86	3.33	3.80	4.26	4.73						
130	.869	.984	1.098	1.213	1.441	1.90	2.36	2.82	3.27	3.73	4.19	4.65						
140	.855	.967	1.080	1.193	1.418	1.868	2.32	2.77	3.22	3.67	4.12	4.57						
150	.841	.951	1.063	1.175	1.395	1.838	2.28	2.72	3.17	3.61	4.05	4.50						
175	.807	.914	1.025	1.137	1.340	1.765	2.19	2.62	3.04	3.47	3.90	4.32						
200	.777	.879	.989	1.084	1.289	1.698	2.11	2.52	2.93	3.34	3.75	4.16						
225	.749	.847	.946	1.044	1.242	1.636	2.03	2.43	2.82	3.21	3.61	4.00						
250	.722	.817	.913	1.008	1.198	1.579	1.95	2.34	2.73	3.10	3.48	3.86						
275	.698	.790	.881	.973	1.157	1.525	1.893	2.26	2.63	3.00	3.36	3.73						
300	.675	.764	.852	.941	1.119	1.475	1.830	2.19	2.54	2.90	3.25	3.61						
350	.633	.716	.800	.883	1.050	1.364	1.717	2.05	2.38	2.72	3.05	3.39						
400	.596	.675	.753	.832	.989	1.303	1.632	1.932	2.25	2.56	2.87	3.19						
450	.563	.638	.712	.786	.934	1.232	1.519	1.816	2.12	2.42	2.71	3.01						
500	.534	.604	.675	.745	.885	1.167	1.449	1.731	2.01	2.29	2.58	2.86						
550	.508	.575	.641	.708	.842	1.110	1.377	1.645	1.912	2.18	2.45	2.72						
600	.484	.547	.611	.675	.807	1.057	1.312	1.567	1.822	2.08	2.33	2.59						

Densidad del aire
ANEXO 6A

ANEXO 6B

Viscosidad del algunos gases



ANEXO 7

A continuación se describe un procedimiento fácil y rápido, más no por esto menos efectivo, para la selección de los equipos que forman parte de un circuito de aire comprimido, es decir: equipos de generación, secado y filtración.

Este procedimiento se basa en:

Primero, la sumariación de los datos técnicos relevantes para cada equipo, proporcionados por los representantes y vendedores, en tablas comparativas (ver tablas ejemplo al final de este anexo) de rápida consulta.

Segundo, en graficar en forma de barras cada variable para poder ver instantáneamente las diferencias entre equipos.

Y tercero, en otorgar puntuación (del 1 al 3, la mayor al mejor) a los equipos con mejor desempeño en cada variable, sumalizando finalmente los puntos obtenidos por equipo.

EQUIPO DE GENERACION TABLA COMPARATIVA

MARCA	MODELO	CAPACIDAD (ft ³ /min)	POTENCIA (Hp)	PRESION MAX (lb/pulg ²)	CANTIDAD DE ACEITE (ppm de aceite)	COSTO* INICIAL (S)	COSTO* MTTO (S anual)	TIEMPO DE ENTREGA (semanas)	ACCESORIOS

ESTA TESIS NO DEBE
 SALIR DE LA BIBLIOTECA

ANEXO 7.2

EQUIPO DE SECADO
TABLA COMPARATIVA

MARCA	MODELO	CAP. DE SECADO (ft ³ /min)	PUNTO DE ROCIO (°F)	PRESION MAX (lb/pulg ²)	TEMP. MAX A ENTRADA (°F)	TIPO DE REFRIGERANTE # ADSORBENTE	COSTO INICIAL (S)	COSTO MITO (S anual)	TIEMPO DE ENTREGA (semanas)	ACCESORIOS

ANEXO 7.3

**EQUIPO DE FILTRADO
TABLA COMPARATIVA**

MARCA	MODELO	CAPACIDAD DE FILTRADO (ft3/min)	PUREZA SOLIDOS (μ)	PUREZA ACEITE (mg/m3)	PRESION MAX (lb/pulg2)	FRECUENCIA DE CAMBIO	COSTO INICIAL (\$)	COSTO MTTD (\$ anual)	TIEMPO ENTREGA (semanas)	ACCESORIOS

Gasto de Aire a Tuberia abierta

PRESION DE AIRE (PSIG)	DIAMETRO DEL ORIFICIO EN PULGADAS										
	1/64	1/32	1/16	1/8	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8	1
1	.028	0.112	0.450	1.80	7.18	16.2	28.7	45.0	64.7	88.1	11.5
2	.040	0.158	0.633	2.53	10.1	22.8	40.5	63.3	91.2	124	162
3	.048	0.194	0.775	3.10	12.4	27.8	49.5	77.5	111	152	198
4	.056	0.223	0.892	3.56	14.3	32.1	57.0	89.2	128	175	228
5	.062	0.248	0.993	3.97	15.9	35.7	63.5	96.3	143	195	254
6	.068	0.272	1.09	4.34	17.4	39.1	69.5	109	156	213	278
7	.073	0.293	1.17	4.68	18.7	42.2	75.0	117	168	230	300
9	.083	0.331	1.32	5.30	21.1	47.7	84.7	132	191	260	339
12	.095	0.379	1.52	6.07	24.3	54.6	97.0	152	218	297	388
15	.105	0.420	1.68	6.72	26.9	60.5	108	168	242	329	430
20	.123	0.491	1.96	7.86	31.4	70.7	126	196	283	385	503
25	.140	0.562	2.25	8.98	35.9	80.9	144	225	323	440	575
30	.158	0.633	2.53	10.1	40.5	91.1	162	253	365	496	648
35	.176	0.703	2.81	11.3	45.0	101	180	281	405	551	720
40	.194	0.774	3.10	12.4	49.6	112	198	310	448	607	793
45	.211	0.845	3.38	13.5	54.1	122	216	338	487	662	866
50	.229	0.916	3.66	14.7	58.6	132	235	368	528	718	938
60	.284	1.06	4.23	16.9	67.6	152	271	423	609	828	1,082
70	.300	1.20	4.79	19.2	76.7	173	307	479	690	939	1,227
80	.335	1.34	5.36	21.4	85.7	193	343	536	771	1,050	1,371
90	.370	1.48	5.92	23.7	94.8	213	379	592	853	1,161	1,516
100	.406	1.62	6.49	26.0	104	234	415	649	934	1,272	1,661
110	.441	1.76	7.05	28.2	113	254	452	705	1,016	1,383	1,806
120	.476	1.91	7.62	30.5	122	274	488	762	1,097	1,494	1,951
125	.494	1.98	7.90	31.6	126	284	506	790	1,138	1,549	2,023

ANEXO 8

ANEXO 9

Formato para Sumario de Diseño

Requerimientos:

Caudal: _____
 Presión de Trabajo: _____

Propuesta:

EQUIPO	CANTIDAD	MARCA	MODELO	CAPACIDAD UNITARIA (l ³ /min)	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)

Calidad de aire en la red: _____
 Diseño de la red: _____

Costo:

Equipo de generación	\$
Equipo de secado	\$
Equipo de filtrado	\$
Tubería	\$
Bases civiles	\$
Instalación eléctrica	\$
Accesorios varios (silletas de CCM por ejemplo)	\$
TOTAL	\$

Elaboró: _____
 Fecha: _____

ANEXO 10

CATALOGOS DE EQUIPO

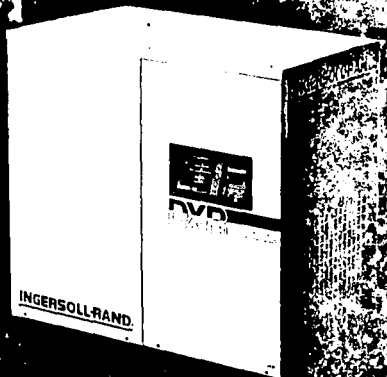
SELECCIONADO

**Rotary Screw Air Compressors
SSR 10-40 HP**



INGERSOLL-RAND.
AIR COMPRESSORS

DXR Series



INGERSOLL-RAND

INGERSOLL-RAND
AIR COMPRESSORS

SMC | Micro Mist Separator

Series AMD

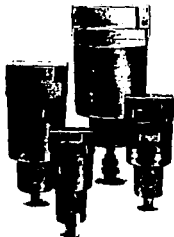
Series AMD can separate and remove aerosol state oil mist in compressed air and remove carbon or dust of more than 0.01 μ m. It should be used as prefilter of compressed air for precision instruments or clean room required for higher clean air.

Separate and remove aerosol state oil mist of less than 0.01 mgf/Nm³ (less than 3.5 particles/N lit. of particle of 0.3 μ m or more) until the filter element is saturated with oil.

Separate and remove aerosol state oil mist up to 0.1mgf/Nm³ or below (particle of 0.3 μ m or more \approx 5000 particles/N lit.) after the filter element is saturated with oil.

Easy replacement of filter element by new system flange type casing which fix directly filter element.

Many types of drain discharge equipment are available.



Symbol



Type							
Type	AMD150	AMD250	AMD350	AMD450	AMD550	AMD650	AMD850
Air flow rate (Nl/min)	200	500	1000	2000	3500	6000	12000
Port size	1/2, 3/4, 1"	1/2, 3/4, 1"	3/4, 1"	1, 1 1/2, 2"	1 1/2, 2"	1 1/2, 2"	1 1/2, 2"
Weight (kgf)	0.38	0.65	0.9	1.4	2.1	4.2	10.5

Self-standing type			
Type	AMD800	AMD900	AMD1000
Air flow rate (Nl/min)	8000	24000	40000
Port size	2" Flange	2", 3", 4" Flange	4", 6" Flange
Weight (kgf)	100	220	430

Piping support type		
Type	AMD80T	AMD90T
Air flow rate (Nl/min)	8000	24000
Port size	2" Flange	2", 3", 4" Flange
Weight (kgf)	50	140

Standard Specifications	
Fluid	Air
Max. operating pressure	0.9kgf/cm ² (99kpa)
Min. operating pressure*	0.5kgf/cm ² (50kpa)
Max. supply pressure	15kgf/cm ² (1.5Mpa)
Ambient and fluid temperature	0~60°C
Filtration degree	0.01 μ m, 95% scavenging particle size)
Oil mist removal rate	*Max 0.1mgf/Nm ³ (Before state of saturated with oil: 0.01mgf/Nm ³ or less \approx 0.08cpm)
Element life	When reached to 1kgf/cm ² for 2 years of in pressure drop

* Minimum operating pressure for unit with auto drain is 0.5kgf/cm². * Don't exceed 2 exchange composition 30mgf/Nm³

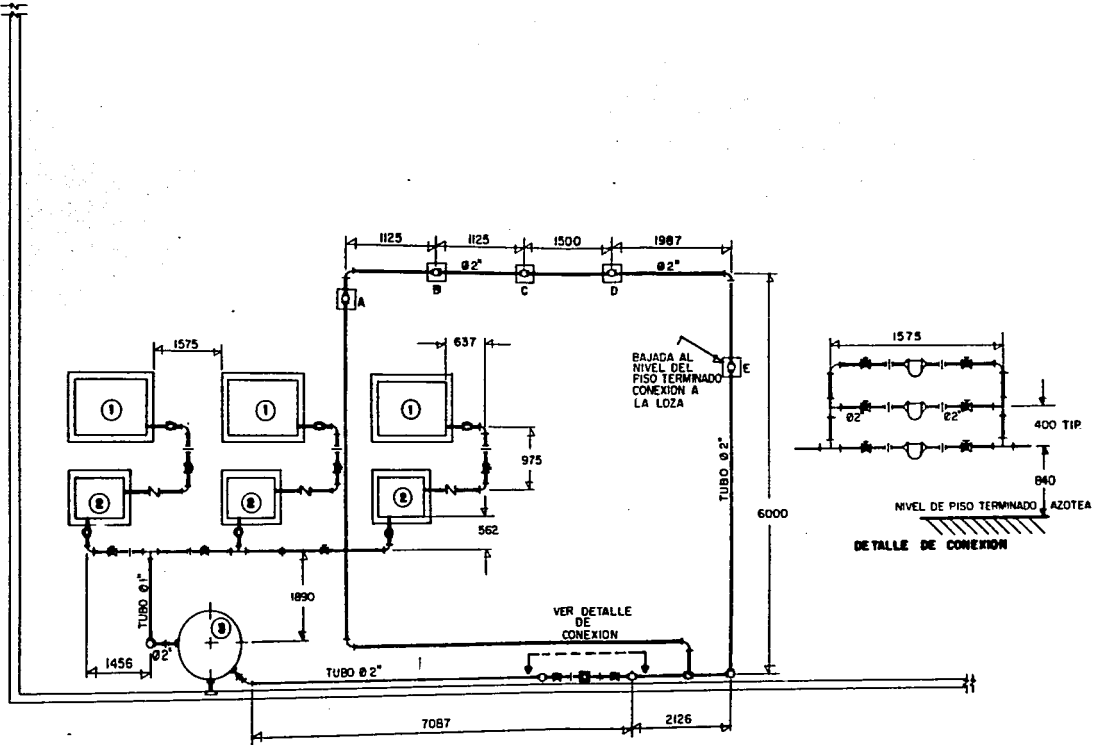
Accessories (Optional)							
Applicable model	AMD150	AMD250	AMD350	AMD450	AMD550	AMD650	AMD850
Bracket assembly (with cap bolt, with spring washer)	BM51	BM52	BM53	BM54	BM55	BM56	BM57

Series AMD

APENDICE 1

NOMENCLATURA

•			
m	=	Flujo másico	MT
Q	=	Caudal en el circuito	L ³ /T
γ	=	Gravedad específica	Adimensional
Af	=	Area recomendada	L ²
ρ	=	Densidad	M/L ³
v	=	Velocidad recomendada, según Anexo 2	L/T
v _r	=	Velocidad real del aire	L/T
Di	=	Diámetro interno de la tubería	L
Re	=	Número de Reynolds	Adimensional
μ	=	Viscosidad	M/LT
ϵ/D	=	Rugosidad relativa	Adimensional
f	=	Factor de fricción	Adimensional
ΔP	=	Caída de presión total	M/L ²
g	=	Gravedad	L/T ²
L _{tr}	=	Longitud de la tubería recta	L
L _{equiv}	=	Longitud equivalente debida a accesorios	L



SIMBOLOGIA

- VALVULA DE GLOBO
- CHECK
- TUERCA UNION
- CODO
- TEE
- CODO CONEXION LATERAL Y HACIA ABAJO
- TEE Y CONEXION HACIA ABAJO

- COMPRESOR
- SECADOR
- TANQUE
- FILTRO CON REDUCCIONES DE T A Z
- TEE Y MANOMETRO

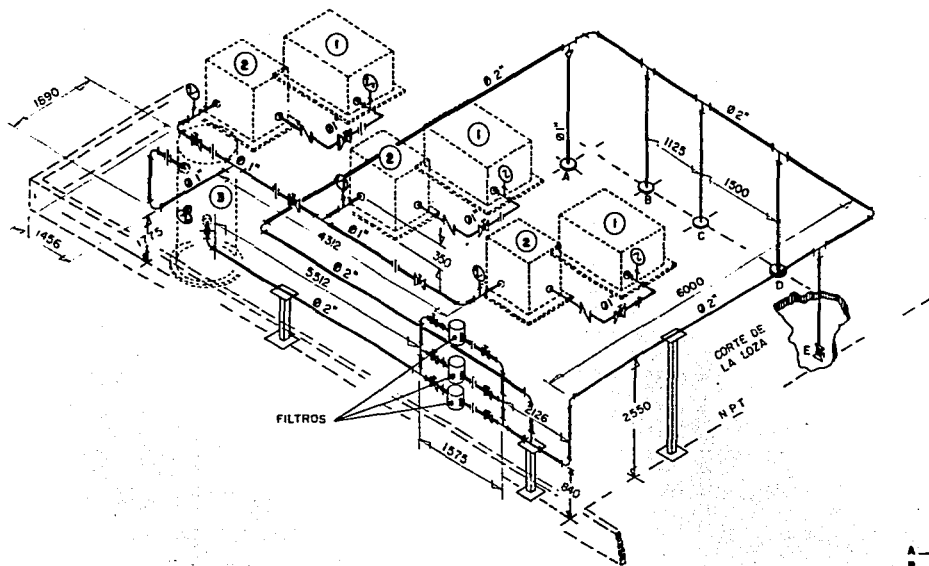
A_ HACIA LINEA PI DIST. 28 MTS.
 B_ " " P2 " 14 "
 C_ " " P3 " 12 "
 D_ " " P4 " 9 "

E_ HACIA FAB. PI " 13.5 "

NOTA:

LA TUBERIA ES DE COBRE
 LAS CONEXIONES DE COBRE SOLDABLES

PROYECTO L. E. SALCEDO	SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO PARA PLANTA " EJEMPLO "	
REVISO J. SALCEDO	TITULO ARREGLO GENERAL (VISTA DE PLANTA)	
AUTORIZO	ESCALA: 1:50	MEX. D.F. A 9 DE NOV. 1993
ACOTACION: milímetros	RE VISION	N° PLANO P1



	A	HACIA	LINEA	P1	DISTANCIA	28	M.TS.
B	.	.	.	P2	.	14	.
C	.	.	.	P3	.	12	.
D	.	.	.	P4	.	9	.
E	.	FAB.	P1	.	.	135	.

- ① COMPRESOR
- ② SECADOR
- ③ TANQUE RECEPTOR

PROYECTO L. E. SALGADO	SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO PARA PLANTA "EJEMPLO"	
REVISO J. SALCEDO	TITULO	ISOMETRICO DEL ARREGLO GENERAL
AUTORIZO		
ESCALA: 1:50	MEX. DF 9 DE NOV 1993	N° PLANO P2
ACOTACION milimetros	REVISION:	