



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

**DIAGNÓSTICO DE FALLAS EN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE
MÉDICO COMPRIMIDO, PARA USO DE EQUIPO, EN PACIENTES, DENTRO
DEL HOSPITAL DE GINECO OBSTETRICIA DEL INSTITUTO
GUATEMALTECO DE SEGURIDAD SOCIAL**

Rubén Alberto Larrañaga Saavedra

Asesorado por el Ing. José Ismael Véliz Padilla

Guatemala, mayo de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DIAGNÓSTICO DE FALLAS EN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE MÉDICO
COMPRIMIDO, PARA USO DE EQUIPO, EN PACIENTES, DENTRO DEL HOSPITAL DE
GINECO OBSTETRICIA DEL INSTITUTO GUATEMALTECO DE SEGURIDAD SOCIAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

RUBÉN ALBERTO LARRAÑAGA SAAVEDRA
ASESORADO POR EL ING. JOSÉ ISMAEL VÉLIZ PADILLA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, MAYO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

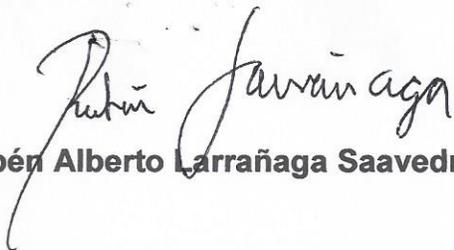
DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Milton Alexander Fuentes Orozco
EXAMINADOR	Ing. Roberto Guzmán Ortíz
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Ruiz Hernández
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**DIAGNÓSTICO DE FALLAS EN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE
MÉDICO COMPRIMIDO, PARA USO DE EQUIPO, EN PACIENTES, DENTRO
DEL HOSPITAL DE GINECO OBSTETRICIA DEL INSTITUTO
GUATEMALTECO DE SEGURIDAD SOCIAL**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 27 de mayo de 2015.


Rubén Alberto Larrañaga Saavedra

Guatemala 14 de marzo de 2019

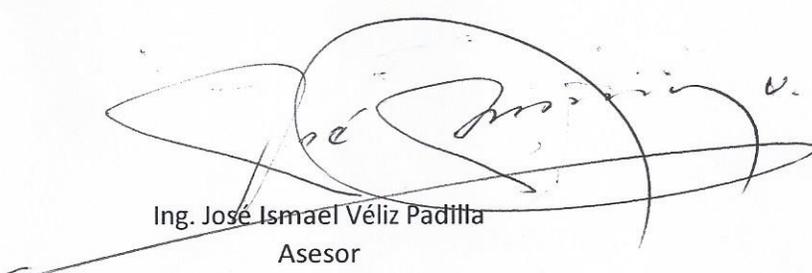
Ingeniero
Julio Cesar Campos Paiz
Director de Escuela
Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
USAC

Estimado Ingeniero Campos:

Por este medio informo a usted que he finalizado la revisión del trabajo de graduación del estudiante Rubén Alberto Larrañaga Saavedra quien se identifica con registro académico 200721983 y CUI 2284 64943 0101, con el título: " **DIAGNÓSTICO DE FALLAS EN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE MÉDICO COMPRIMIDO, PARA USO DE EQUIPO, EN PACIENTES DENTRO DEL HOSPITAL DE GINECO OBSTETRICIA DEL INSTITUTO GUATEMALTECO DE SEGURIDAD SOCIAL** ".

El trabajo de graduación ha sido revisado y corregido por mi persona, finalizado a mi entera satisfacción, ya que cumple con los requisitos exigidos por la Facultad de Ingeniería y la Escuela de Ingeniería Mecánica, por lo que otorgo mi aprobación para que pueda continuar con los trámites pertinentes.

Sin otro particular atentamente,



Ing. José Ismael Véliz Padilla
Asesor

Colegiado 3646

JOSÉ ISMAEL VÉLIZ PADILLA
INGENIERO MECÁNICO
COLEGIADO 3646



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.074.2019

El Coordinador del Área Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **DIAGNÓSTICO DE FALLAS EN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE MÉDICO COMPRIMIDO, PARA USO DE EQUIPO MÉDICO, EN PACIENTES, DENTRO DEL HOSPITAL DE GINECO OBSTETRICIA DEL INSTITUTO GUATEMALTECO DE SEGURIDAD SOCIAL** desarrollado por el estudiante **Rubén Alberto Larrañaga Saavedra**, CUI **2284649430101** y Reg. Académico No. **200721983** recomienda su aprobación.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Coordinador Área Complementaria
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, marzo 2019



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.161.2019

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y con la aprobación del Coordinador del Área Complementaria del trabajo de graduación titulado: **DIAGNÓSTICO DE FALLAS EN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE MÉDICO COMPRIMIDO, PARA USO DE EQUIPO MÉDICO, EN PACIENTES, DENTRO DEL HOSPITAL DE GINECO OBSTETRICIA DEL INSTITUTO GUATEMALTECO DE SEGURIDAD SOCIAL** desarrollado por el estudiante **Rubén Alberto Larrañaga Saavedra**, CUI **2284649430101** y Reg. Académico No. **200721983** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Julio César Campos Paiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, mayo de 2019

/aej

Universidad de San Carlos
De Guatemala

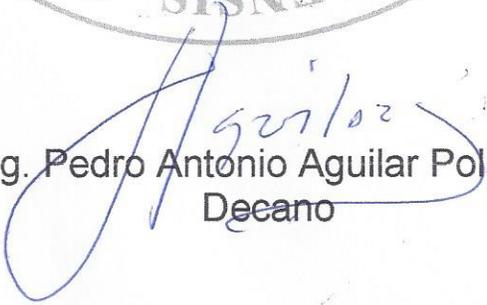


Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.260-2019

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica del trabajo de graduación titulado: **"DIAGNÓSTICO DE FALLAS EN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE MÉDICO COMPRIMIDO, PARA USO DE EQUIPO MÉDICO, EN PACIENTES, DENTRO DEL HOSPITAL DE GINECO OBSTETRICIA DEL INSTITUTO GUATEMALTECO DE SEGURIDAD SOCIAL"** presentado por el estudiante: **Rubén Alberto Larrañaga Saavedra** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, mayo de 2019

/echm

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por la vida, la salud, mi familia y las bendiciones recibidas a lo largo de mi vida.
- Mis padres** Rosa Emilia y Leandro Antonio, gracias por su amor, sacrificio, esfuerzo e inspiración. Gracias por sus desvelos y por su ejemplo de responsabilidad. Gracias por cada momento de alegría a su lado.
- Mi hermano** José Antonio, gracias por tu amor incondicional y por tu apoyo en todo momento. Gracias por tus consejos y por tu amistad.
- Mis amigos** Negli Gallardo, Danilo Lara, Ángel González, Diego Nájera, Jonathan Sandoval, Wilmer Torres, Astrid Porras, William de León, Celinda Martínez, Marta Velásquez, Alfredo González, Carlos Erasmo González, Michael González, Juan González, Alberto González y André Juárez, mis hermanos, gracias por su amistad y por mantenerla durante todos estos años.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la casa de estudios que me permitió incrementar mis conocimientos.
Facultad de Ingeniería	Por darme la guía para convertirme en un profesional de la ingeniería.
Mi familia	Gracias por su cariño, apoyo, consejos, abrazos y besos. Gracias por cada momento de alegría, en especial a mi tía Walfrea Argentina.

1.4.2.	Distribución	11
1.4.3.	Diagrama	12
1.5.	Normativa internacional y nacional.....	12
1.6.	Normas de seguridad aplicadas a los diferentes gases.....	13
2.	SISTEMA DE FILTRADO PARA GASES DE GRADO MÉDICO	19
2.1.	Sistemas de filtrado y control.....	19
2.1.1.	Filtrado de gases	19
2.1.2.	Equipo para filtrado de aire médico.....	20
2.1.3.	Sistemas adicionales de filtrado	23
2.2.	Tipos de filtrado	27
2.2.1.	Humedad	27
2.2.2.	Partículas sólidas.....	28
2.2.3.	Gases nocivos	28
3.	DIAGNÓSTICO DE FALLAS DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO MÉDICO.....	29
3.1.	Detección de fallas.....	29
3.2.	Origen de las fallas detectadas	29
3.3.	Consecuencias de las fallas	31
3.4.	Soluciones	32
3.4.1.	Con carácter permanente.....	32
3.4.2.	Para mitigar la problemática.....	36
4.	MEJORAS PROPUESTAS AL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO MÉDICO.....	39
4.1.	Mejoramiento de la red de distribución de aire médico.....	39
4.2.	Mejoramiento del sistema de filtrado.....	44
4.3.	Mejora continua	46

4.4.	Programación permanente de las mejoras.....	50
4.5.	Planificación y mantenimiento de los equipos.....	52
CONCLUSIONES.....		55
RECOMENDACIONES.....		57
BIBLIOGRAFÍA.....		59
ANEXOS.....		61

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Distribución de aire médico	12
2.	Oxígeno	14
3.	Normas de gases de óxido nitroso	16
4.	Válvulas con Pin-Index	24
5.	Dispositivos de seguridad.....	25
6.	Estructura de un regulador	26
7.	Filtro de humedad	28
8.	Separación de cilindros llenos y vacíos.....	41
9.	Identificación de riesgo en áreas de cilindros llenos y vacíos.....	42
10.	Prohibición de líneas de electricidad.	43
11.	Simbología de ordenamiento de cilindros.	43
12.	Filtro bacteriológico.....	46
13.	Mantenimiento del secador.....	53
14.	Limpieza del condensador.....	54
15.	Limpieza del filtro mecánico	54

TABLAS

I.	Distancia entre soporte de tubería	10
II.	Parámetros de la norma ISO 8573-1 sobre calidad del aire	21
III.	Cambio de aceite	33
IV.	Diagnóstico de inconvenientes	34

V. Filtros..... 44

VI. Manejo seguro de los gases..... 48

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
NFPA	Asociación Nacional de Protección Contra el Fuego
° C	Celsius
cm	Centímetros
N₂	Di-nitrógeno
CO₂	Dióxido de carbono
O₂	Dioxígeno
H	Hidrogramas
I+D	Investigación y desarrollo
kpa	Kilopascales
m	Metro
mg	Miligramos
mm	Milímetro
mm Hg	Milímetro de mercurio
CO	Monóxido de carbono
Nm	Nanómetro
bar	Unidad de presión
psi	Unidad de presión

GLOSARIO

Aire médico	Es aquel gas que por sus características específicas es utilizado para consumo humano y aplicaciones medicinales en instituciones de salud en forma particular.
Almacenaje	Función lógica que permite mantener cercanos los productos al tiempo que, en colaboración con la función de regularización, se ajusta el producto a los niveles de demanda y facilita el servicio.
CGA	Asociación de Gas Comprimido, asociación encargada del desarrollo y la promoción de normas de seguridad y prácticas seguras en la industria de gases médicos e industriales.
Cilindro	En términos de gas es el sistema habitual de distribución al menudeo.
Criogénico	Conjunto de técnicas utilizadas para enfriar un material a temperatura de ebullición del nitrógeno o a temperaturas aún más bajas.

Desastre	Hecho natural o provocado por el ser humano que afecta negativamente a la vida, al sustento o a la industria, y desemboca con frecuencia en cambios permanentes en las sociedades humanas.
Evacuación	Acción o efecto de retirar personas de un lugar determinado, normalmente sucede en emergencias causadas por distintos tipos de desastres.
NFPA	Asociación Nacional de Protección Contra el Fuego, asociación encargada del desarrollo y promoción de normas de seguridad contra el fuego, mantiene una norma asociada a las instalaciones de equipos de gases médicos, la cual es la NFPA 99C.
Oxígeno	Es un gas a temperatura ambiente, representa aproximadamente el 20,9 % en volumen de la composición de la atmósfera terrestre.
Plan	Suele referirse a un programa o procedimiento para conseguir un determinado objetivo.
Tubing	Produce tubos de acero soldados que se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones en el segmento del mercado industrial.

RESUMEN

Los sistemas de suministro de gases medicinales consisten en una serie de redes de distribución y lazos de control que permiten el suministro, haciendo posible que los gases medicinales, lleguen al paciente con la misma calidad con la que es producido el mismo gas. Los sistemas centralizados hacen mucho más seguras las acciones médicas, evitando el movimiento de cilindros en áreas críticas o pobladas, mejorando la economía en el manejo y almacenamiento, se reduce el trabajo en enfermería, se mejora el uso del espacio en las salas de cirugía, en hospitalización, eliminación de pérdidas de gas residual en los cilindros y suministro constante y continuo.

OBJETIVOS

General

Proporcionar una herramienta para el diseño y operación de gases médicos en los centros hospitalarios.

Específicos

1. Diagnosticar la situación actual de la red de gases médicos dentro de todas las áreas del hospital.
2. Dar a conocer los aspectos técnicos del uso de aire comprimido médico dentro de un centro hospitalario.
3. Identificar las fallas de los sistemas de distribución de aire comprimido médico y su plan de mantenimiento.

INTRODUCCIÓN

Para que un centro hospitalario opere adecuadamente y pueda brindar el mejor servicio en cuanto a equipo se refiere, el hospital debe contar con una red de distribución de gases médicos, la cual es sumamente funcional pero presenta una debilidad, debido a la cantidad de pacientes que atiende. La red existente en algunos puntos no es suficiente, lo cual obliga al personal a que utilice el sistema de distribución de gases por medio de cilindros de alta presión, lo cual representa un riesgo tanto para el personal que lo manipula como para el que lo transporta.

Adheridos a la problemática de la insuficiencia de red de gases en algunos puntos en los hospitales, existen distintos agentes que contribuyen a la utilización de cilindros de alta presión en lugares donde se cuenta con una red de distribución, estos agentes son una causa más para que la manipulación de cilindros de alta presión aumente, poniendo en peligro la integridad física de los usuarios y la infraestructura de la institución, debido a la forma de transportar los cilindros de un sitio a otro con poco nivel de seguridad y delicadeza.

1. AIRE COMPRIMIDO PARA USO HOSPITALARIO

1.1. Compresores para aire médico

Para lograr la compresión de un gas existen dos métodos distintos y cada uno tiene dos formas diferentes de efectuar la compresión. Los métodos son:

- Compresores de desplazamiento positivo o flujo intermitente, cuyas dos formas de comprimir un gas son:
 - Atrapando cantidades consecutivas de un gas en una cámara, reduciendo su volumen e incrementando su presión, para empujar luego el gas comprimido fuera de la cámara. Este método es usado por los compresores reciprocantes, los cuales efectúan la compresión y evacuación del gas por medio del movimiento recíprocante de un pistón dentro de un cilindro, y son los usados dentro de los hospitales.
 - Atrapando cantidades consecutivas de un gas en un espacio cerrado, trasladarlo sin cambios de volumen al sitio de la descarga de un sistema de alta presión y comprimir el gas por contraflujo del sistema de descarga, para finalmente empujar el gas comprimido fuera de la cámara de compresión. Entre los tipos de compresores que tienen este método están los de paletas deslizantes, pistón líquido y de lóbulo recto.
- Compresores de flujo continuo, cuyos métodos de comprimir un gas son los siguientes:

- Se comprime el gas por la acción mecánica de un impulsor o rotor con paletas en rápida rotación, que imparte velocidad y presión al gas que fluye; la velocidad se transforma en presión en difusores estacionarios o paletas. El tipo de compresores que trabajan bajo este principio se conocen como compresores dinámicos.
- Se utiliza un chorro de gas o vapor que arrastra el gas a comprimir, para convertir la alta velocidad de la mezcla en presión en un difusor localizado corriente abajo. Este método es común en los eyectores, que se caracterizan por trabajar a presiones más bajas que la atmosférica.

1.1.1. Instalaciones médicas con uso de compresores

Los lugares de instalación de válvulas de salida de oxígeno y óxido nitroso se determinarán de acuerdo con las tablas que aparecen en el anexo 1, en donde se consignan los requerimientos de oxígeno, óxido nitroso, aire comprimido y succión para un hospital.

1.1.2. Mantenimiento de compresores

El mantenimiento dentro de un hospital debe realizarse en concordancia con la misión, la visión, los objetivos y las metas del hospital, y se debe orientar a dar la máxima atención al paciente. ¿Por qué al paciente? El paciente es el motivo principal de la razón de ser del hospital, por eso es la primera consideración de todo el trabajo de mantenimiento, para efectuarlo con seguridad, calidad y eficacia. Esto permite que los servicios realizados ayuden a la recuperación del paciente en lugar de ser factores que inhiban la recuperación, e incluso deterioren el estado en que se encuentre, contrayendo

enfermedades distintas a la enfermedad causante de su ingreso, que le causen complicaciones o incluso la muerte.

1.2. Aire comprimido dentro de la industria

Al principio el suministro de aire comprimido se efectuaba haciendo uso de cilindros, que suministraban aire de alta limpieza, estéril, confiable, puro y bien seco. Estas eran las condiciones que no permitían pensar en hacer uso de tuberías, pero con el tiempo es de común uso el sistema de tuberías, debido a que el diseño fue mejorando hasta lograr las condiciones que se requerían para el aire. Actualmente el aire se produce en compresores libres de aceite, a presiones de 100 psi, con caídas máximas de 5 psi, y se presentan en unidades dúplex, o sea dos cabezales unidos para funcionar al mismo tiempo. Es indispensable que los compresores de aire médico trabajen sin aceite, ya que las partículas de este podrían contaminar las tuberías y tomas, lo que representa un peligro latente para el paciente. En la actualidad se utilizan cabezales con camisas de hierro y pistones de teflón, esta combinación se hace necesaria para evitar el desgaste dentro de la camisa del cilindro y que el pistón, debido al calentamiento, se deforme. Muchos compresores tienen el sistema de enfriamiento por aire en sus cabezales.

1.2.1. Industria médica

La industria farmacéutica es un sector empresarial dedicado a la fabricación, preparación, investigación y desarrollo (I+D), así como producción, control de calidad, marketing, representación médica, relaciones públicas o administración de medicamentos.

1.2.1.1. Tipos

La industria médica se divide en la producción de fármacos para uso de consumo libre, recetados o de uso hospitalario. El otro sector se basa en la investigación y desarrollo de nuevas fórmulas médicas para el tratamiento de diferentes enfermedades.

1.2.1.2. Calidad

La calidad de un medicamento o dispositivo es uno de los criterios para la aprobación de su comercialización, y se examina como parte del proceso de registro.

1.2.2. Industria farmacéutica

La industria farmacéutica es un sector empresarial dedicado a la fabricación, preparación y comercialización de productos químicos medicinales para el tratamiento y también la prevención de las enfermedades.

1.3. Tipos de gases médicos empleados

Se ha visto que el uso de los gases, para fines terapéuticos o quirúrgicos, presta un gran servicio, no solo en la recuperación de la salud del paciente, sino también creando estados de inconciencia que evitan el sufrimiento del paciente cuando es sometido a procedimientos quirúrgicos. A continuación se describen algunos de los gases más comunes usados en la medicina.

El oxígeno medicinal es un gas incoloro, inodoro e insípido, no inflamable pero que activa fuertemente la combustión. Es un gas comburente por

excelencia, más denso que el aire y reacciona violentamente con grasa y aceites.

Su temperatura de ebullición es $-182,96\text{ }^{\circ}\text{C}$ y su concentración normal en el aire es del 21 %. En condiciones normales ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y presión de 760 mmHg) es un gas más denso que el aire y a temperaturas menores a $-182,96\text{ }^{\circ}\text{C}$ y a 760 mmHg es un líquido azul claro más pesado que el agua.

Un litro de oxígeno líquido equivale aproximadamente a 840 litros de gas en condiciones normales de presión y temperatura. Cuando el oxígeno es enfriado a -183 grados Celsius, cambia del estado gaseoso al líquido y puede ser almacenado en tanques estacionarios bien aislados térmicamente, instalados en hospitales o clínicas. Los tamaños de los tanques se ajustan a los requerimientos de cada institución.

Por medio de un adecuado sistema de intercambio de calor, el oxígeno se evapora y llega al usuario en estado gaseoso y a temperatura ambiente. Otra alternativa de suministro de oxígeno líquido es la utilización de recipientes criogénicos móviles, termos que son generalmente utilizados para abastecer a instituciones de menor consumo.

- Especificaciones para oxígeno medicinal
 - Pureza: 99,5 %
 - Impurezas: $\text{CO}_2 < 300\text{ ppm}$
 - CO $< 5\text{ ppm}$
 - Humedad: $< 67\text{ ppm}$
 - Color del cilindro: BLANCO

- Aplicaciones del oxígeno medicinal
 - Oxigenoterapia: es la administración de oxígeno a concentraciones mayores que las del aire ambiente, con la intención de tratar o prevenir los síntomas y las manifestaciones de la hipoxia, es decir, proporciona la cantidad de O_2 suficiente a los tejidos, de manera que pueda desarrollarse el metabolismo normal.
 - Diluyente o gas portador de agentes anestésicos.
 - Tratamientos con oxígeno hiperbático.
- Toxicología
 - Normas para prevenir toxicidad por oxígeno
 - Limitar el uso de oxígeno al 100 % a períodos breves.
 - Lo más precozmente posible reducir la FiO_2 , fracción de O_2 inhalada al mínimo nivel posible para mantener la oxigenación.
 - Un oxígeno al 70 % puede utilizarse de forma segura hasta durante 24hs.
 - Un O_2 al 50 % puede utilizarse de forma segura hasta 2 días.
 - Después de 2 días, un FiO_2 de alrededor del 40 % es tóxico en potencia.
 - El uso prolongado de un FiO_2 por debajo del 40 % rara vez produce toxicidad por O_2 .

Por su parte, el óxido nitroso es un gas incoloro, inodoro y de sabor levemente dulce, más denso que el aire comburente. Es un gas licuado a

temperatura ambiente y es comúnmente suministrado en cilindros de alta presión. No se metaboliza en el organismo y posee mínimos efectos colaterales. No es inflamable y reacciona con grasas y aceites en forma violenta a presiones superiores a 15 bares. Este gas no mantiene la respiración, por lo que causa muerte por asfixia. Bajo la acción del calor el N_2O se descompone en sus elementos ($N_2 + O_2$) de manera exotérmica e irreversible, produciendo una sobreoxigenación del aire.

1.3.1. Oxígeno

Su símbolo es O_2 , es un gas elemental, incoloro, inodoro, insípido, de vital importancia para la vida y para la combustión. Si se exceptúa a los gases nobles o inertes, todos los elementos se combinan con el oxígeno y en su mayoría forman los óxidos.

El oxígeno puro no es inflamable, pero el comportamiento de materiales inflamables en el aire es que se queman más fuerte ante una atmósfera de oxígeno, y otros como las grasas y aceites reaccionan violentamente, explotando ante la presencia de oxígeno. En el mercado se le puede conseguir de la siguiente manera:

- Tipo I: oxígeno gaseoso, en cilindros a una presión de 2 200 psi.
- Tipo II: oxígeno líquido, como gas criogénico a una presión de 250 psi.

Se usa en la medicina porque tiene un efecto tonificante y se aplica en casos de asfixia y en mezcla con otros gases para procedimientos de anestesia; pero se advierte que un uso continuado durante un período de tiempo mayor a cinco horas, a altas concentraciones, no es recomendable. Se especifica que

debe tener una pureza del 99 % como mínimo y no debe contener impurezas tóxicas. En estado gaseoso, el oxígeno no es corrosivo, por lo que se puede almacenar en recipientes de materiales metálicos comunes, cuyo diseño soporte las altas presiones que se involucran en su manejo y almacenamiento. En el caso del oxígeno líquido criogénico, la temperatura en que se tiene hace que los aceros al carbón se fragilicen, por lo que se debe usar materiales como acero inoxidable tipo 18-8, para otras aleaciones metálicas como níquel y cromo, cobre, monel, bronce, aluminio y otros. Tener contacto en la piel con el oxígeno líquido, tuberías o recipientes no aislados que le contengan, causa graves quemaduras. Se recomienda que grasas y aceites no tengan contacto con altas concentraciones de oxígeno, pues se corre el riesgo de explosión.

1.3.2. Nitrógeno

El nitrógeno es incoloro, inodoro e insípido, no es tóxico y casi totalmente inerte, su símbolo es N_2 . Se le utiliza como propelente de instrumentos quirúrgicos, puede actuar como asfixiante y en concentraciones altas puede provocar inconciencia. Al igual que el oxígeno, se puede mantener en condiciones de gas o líquido criogénico, y se deben acatar las mismas recomendaciones dadas para el oxígeno.

1.4. Tubería para distribución de aire médico

Elemento central de la red que permite conducir gases a la presión adecuada desde la central de suministro hasta el punto de consumo, dicha tubería debe quedar protegida de factores como la corrosión, congelamiento y altas temperaturas.

1.4.1. Tipos de tubería

El material recomendado según normas internacionales NFPA 99 y CGA para la conducción de gases medicinales obedece a tener en cuenta factores como: presión, corrosión, temperatura, presencia de humedad o impurezas y riesgos de incendio. Estas características las cumple la tubería de cobre tipo K sin costura rígida (NFPA 99 5.1.10.1.4). Su instalación será empotrada, para conexión de accesorios soldados y por cielo raso falso. Las tuberías de gases medicinales no podrán instalarse en ductos donde exista posibilidad de estar expuestas al contacto con aceite. Es importante utilizar corta tubing y corta tubo afilado para evitar deformaciones y que las partículas de los cortes ingresen al interior del tubo, estas herramientas deben estar libres de grasa, aceite y otros componentes que no sea compatible con oxígeno (NFPA 99 5.1.10.5.2.1).

Las tuberías de gases medicinales irán identificadas con etiquetas en ramos no mayores a 6 metros. Igualmente deben ir identificadas en los tramos donde la tubería se deriva y como mínimo una calcomanía por habitación, las cuales tengan el nombre del gas e indiquen la dirección y sentido de flujo, a su vez la tubería deberá ir pintada con el color que identifique el gas conducido (NFPA 99 5.1.11.1).

Se hace una descripción de los diferentes materiales para tubería. La tabla I muestra la distancia entre soporte de tubería:

Tabla I. **Distancia entre soporte de tubería**

Diámetro de la tubería	Distancia del soporte
¼ "(0,635 cm) nominal	6 pies (1,52m)
3/8" (0,953cm) nominal	6 pies (1,83 m)
1/2 "(1,27 cm) nominal	6 pies (1,83 m)
3/4 "(1,91cm) nominal	7 pies (2,13 m)
1" (2,54cm) nominal	8 pies (2,44 m)
1 ¼ (3,175 cm) nominal	9 pies (2,74 m)
1 1/2 (3,81cm) nominal	
y de mayor diámetro	10 pies (3,05 m)
Derivaciones verticales, todas las medidas	Cada piso, pero no exceder de 15 pies (4,57 m)

Fuente:Aquatherm, *Distancia entre soportede de tubería*.

<<https://www.monografias.com/trabajos16/redes-de-aire.shtml>>. Consulta:Enero 2019.

1.4.1.1. Cobre

Los tubos de cobre son resistentes y maleables, son capaces de soportar las temperaturas extremas, la corrosión y las altas presiones.

1.4.1.2. Galvanizado

Los tubos galvanizados tienen un recubrimiento de zinc interna y externamente logrado a través de un proceso de inmersión en caliente. El zinc utilizado para el recubrimiento debe contar con especificaciones de pureza y la superficie del acero debe estar preparada.

1.4.1.3. PVC

PVC es la denominación por la cual se conoce el policloro de vinilo, un plástico que surge a partir de la polimerización del monómero de cloroetileno también conocido como cloruro de vinilo. Los componentes del PVC derivan del cloruro de sodio y del gas natural o del petróleo, e incluyen cloro, hidrógeno y carbono.

1.4.1.4. Acero inoxidable

Tubos de acero que son sometidos a un proceso electroquímico que consiste en recubrir un metal con otro, en este caso el zinc sobre el acero.

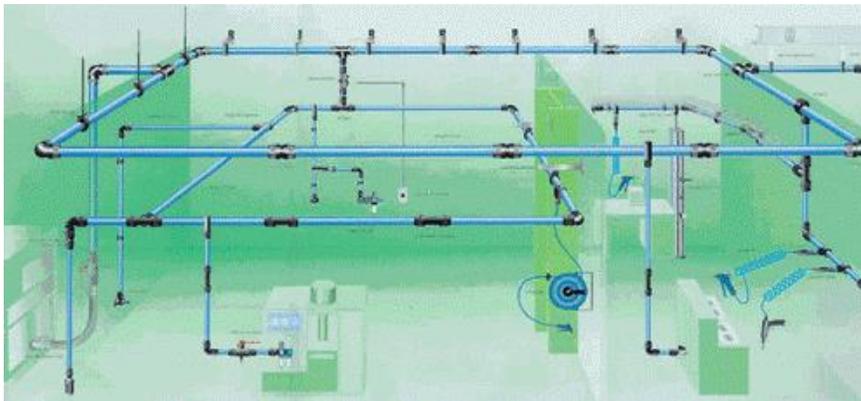
1.4.2. Distribución

El sistema de gases médicos (SGM) de un hospital es conceptualizado como una instalación vital, ya que resulta ser una instalación sumamente importante y su presencia en áreas donde se atienden pacientes críticamente enfermos es fundamental, necesaria y prioritaria. Debido a la importancia que tienen los sistemas de gases médicos en el proceso de dar soporte de vida a las personas, es básico que todos los componentes del sistema sean diseñados de acuerdo con criterios, estándares y normas de diseño, con el fin de tener la certeza que las instalaciones que suministran los gases médicos sean eficientes, seguras y que proteja la vida de las personas.

1.4.3. Diagrama

Se presenta un diagrama para el proceso de diseño y distribución de aire médico. La figura 1 muestra la distribución de aire médico.

Figura 1. **Distribución de aire médico**



Fuente: Hospital de Gineco Obstetricia *Diagrama de distribución de aire comprimido médico*. <<https://www.monografias.com/trabajos16/.shtml>>. Consulta: Enero 2019.

1.5. Normativa internacional y nacional

El Departamento de Regulación, Acreditación y Control de Establecimientos de Salud, integra la dirección General de Regulación, Vigilancia y Control de Salud (DGRVCS), del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. Regula la acreditación y control de establecimientos de salud del país para que cumplan los requisitos en habilitación y estándares de acreditación para brindar la máxima calidad de atención al público usuario de los mismos, respaldados por profesionales y personal técnico de salud capaz, con experiencia y estudios comprobados, así como el equipo e instalaciones necesarias para su funcionamiento.

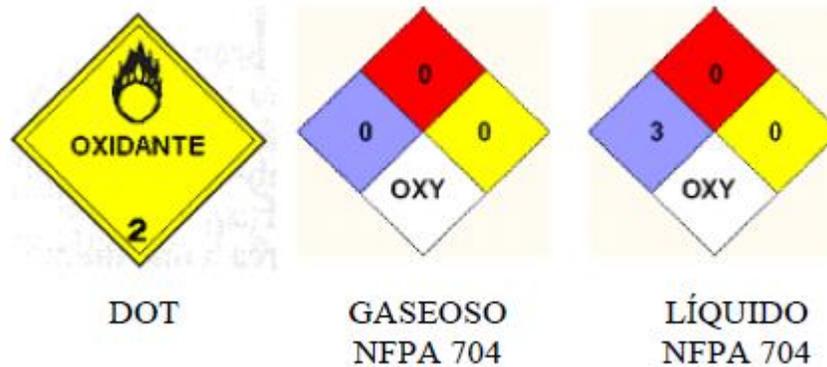
- Normas COVENIN en gases medicinales
 - Norma 255-99: codificación para la identificación de tuberías que conduzcan fluidos medicinales como oxígeno en verde, óxido nitroso en azul, gas anestésico en verde y azul y vacío médico en púrpura.
 - Norma 1706-99: colores para cilindros que contienen gases: oxígeno en verde, nitrógeno en gris, CO_2 en plateado, aire en blanco.
 - Norma 3139-94: cilindros de alta presión para gas, prueba hidrostática.
 - Norma 2603-89: óxido nitroso y gas anestésico.
 - Norma 2604-89: óxido nitroso, gas anestésico y métodos de ensayo.

- Unión europea
 - En la Unión Europea se aplica el grupo de normas EN 737, es el que cubre específicamente los sistemas de distribución de gas medicinal.

1.6. Normas de seguridad aplicadas a los diferentes gases

La figura 2 muestra la simbología de seguridad de gases médicos para el oxígeno.

Figura 2. Oxígeno



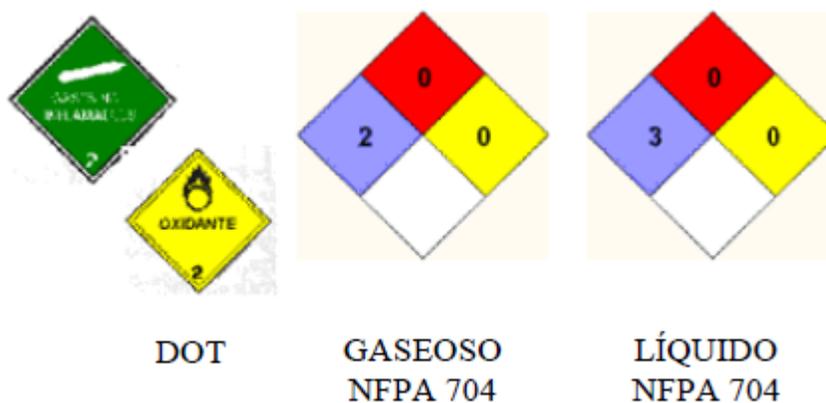
Fuente: Hospital de Gineco Obstetricia, en el Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, *Simbología de norma de gases para oxígeno*. < <http://odont.info/riesgos-asociados-a-los-gases-comprimidos-licuados-y-criogenic.html>>. Consulta: Enero 2019.

- Almacenar los materiales combustibles, especialmente aceite o grasa lejos del oxígeno.
- No fumar ni encender llamas en áreas donde se almacene o se use oxígeno.
- Los materiales que pueden reaccionar violentamente con oxígeno, bajo ciertas condiciones de presión y temperatura, son:
 - Aceite.
 - Grasa.
 - Asfalto.
 - Kerosene.
 - Tejido, madera, alquitrán y desperdicios que pueden contener aceite o grasa.

- Bajo ciertas condiciones los materiales orgánicos en presencia de oxígeno pueden explotar.
- La ropa que haya estado en contacto con oxígeno líquido debe ventilarse por lo menos durante media hora hasta que esté libre de oxígeno.
- Debe manejarse siempre el oxígeno líquido cuidadosamente, la extrema baja temperatura a la que se encuentra puede provocar una quemadura similar a la que provoca un calor intenso.
- No permitir que ninguna parte del cuerpo sin protección toque tuberías o recipientes no aislados que contengan oxígeno líquido, ya que el metal extremadamente frío puede adherirse rápidamente a la piel y rasgarla al retirarla.
- Para manipular el oxígeno líquido debe utilizarse el siguiente equipo de protección personal:
 - Anteojos de seguridad con protección lateral.
 - Casco de seguridad con pantalla facial.
 - Guantes aislados de solapa larga fácilmente removibles.
 - Botas de seguridad.
 - Ropa de algodón, los pantalones no deben tener ruedo y deben usarse por fuera de las botas.
- Maneje siempre el oxígeno en áreas bien ventiladas para prevenir concentraciones excesivas de gas, ya que la concentración excesiva enriquece la atmósfera con oxígeno y causa peligro de incendio y explosión.

La figura 3 muestra la simbología de seguridad de gases para el óxido nitroso.

Figura 3. **Normas de gases de óxido nitroso**



Fuente: Hospital de Gineco Obstetricia, en el Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, *Simbología de norma de gases para oxígeno*. < <http://odont.info/riesgos-asociados-a-los-gases-comprimidos-licuados-y-criogenic.html>>. Consulta: Enero 2019.

- Nunca manipular óxido nitroso a alta presión sin saber manejar correctamente cilindros, válvulas y reguladores.
- El óxido nitroso es más pesado que el aire, por lo que fugas de gas en espacios cerrados pueden producir acumulación con gran peligro de asfixia por desplazamiento de aire.

- El óxido nitroso es un gas que mantiene la combustión, no debe permitirse que aceite, grasa u otras sustancias inflamables entren en contacto con cilindros u otros equipos que contengan óxido nitroso.
- No almacenar cilindros de óxido nitroso para uso médico en la sala de operaciones.
- Los cilindros deben almacenarse a una distancia de 6 metros como mínimo de los cilindros de gases inflamables, en caso de que exista limitación de espacio se recomienda una pared cortafuego entre los lugares de almacenamiento de ambos gases.

2. SISTEMA DE FILTRADO PARA GASES DE GRADO MÉDICO

2.1. Sistemas de filtrado y control

Los gases medicinales contemplados en este diseño son: oxígeno, aire, óxido nitroso o nitrógeno o dióxido de carbono y vacío, (N_2O o N_2 o CO_2 , pueden ser distribuidos por el mismo diseño de red, pero deberán ser identificados y pintados de forma diferente, dependerá de lo que requiera el hospital, ya que por costos se está dejando de utilizar el óxido nitroso, para utilizar anestésicos dosificados por vaporizadores en las máquinas de anestesia. Para este estudio y diseño se plantean algunas aplicaciones de los gases medicinales, las cuales deberán ser concertadas finalmente entre el constructor y el hospital. Por la aplicación que cada uno representa en la medicina, la mayoría de estos gases son suministrados con baja rotación, lo cual permite disponer de ellos unitariamente mediante cilindros de bajo volumen. Sin embargo, algunos de estos gases demandan consumos elevados como el oxígeno medicinal y al vacío, en menor proporción el aire medicinal y el óxido nitroso o el nitrógeno o el dióxido de carbono, estos requieren de un esquema de suministro específico.

2.1.1. Filtrado de gases

El filtrado de gases médicos se realiza por la medición y vigilancia continuadas de la corrosividad del aire en salas por medio de sensores de cobre y de plata. La causa de la corrosión de los sensores suelen ser los gases ácidos como H_2S , SO_2 , SO_3 , Cl_2 , Cl_2O , NO_x y NH_3 .

El aparato de medición debe ser apto para márgenes de concentración de gases nocivos en el bajo margen de ppb hasta un máximo de 1ppm a 3 ppm. Los sensores se desgastan a causa de la corrosión y debe cambiarse de vez en cuando la clasificación en clases de corrosión, que se realiza según ANSI/ISA-71.04-2013.

2.1.2. Equipo para filtrado de aire médico

Los filtros de línea son imprescindibles para la calidad del aire comprimido, pero muchas veces no reciben la atención adecuada en la red de distribución de aire. Un filtro de línea es un equipo que se utiliza para el tratamiento del aire comprimido. Su principal misión es limpiar el aire comprimido de impurezas de todo tipo, incluso bacterianas.

Los filtros son los grandes aliados en las instalaciones de aire comprimido o gases. Con ellos se adapta la calidad del aire/gas a los requisitos de cada planta. Habitualmente, la forma de estimar el nivel de calidad de aire se realiza siguiendo los parámetros de la norma ISO 8573-1. La tabla II, en la siguiente página, muestra los parámetros permitidos por la norma.

Tabla II. **Parámetros de la norma ISO 8573-1 sobre calidad del aire**

ISO 8573-1 : 2010  CLASE	Partículas sólidas			Agua		Aceite	
	Máximo número de partículas por m ³			Concentración mg/m ³	Punto de rocío a presión	Condensado líquido g/m ³	Concentración total (líquido, aerosol y vapor) mg/m ³
	0,1 - 0,5 micras	0,5 - 1 micras	1 - 5 micras				
0	Sujeto al acuerdo específico entre usuario y proveedor pero en valores más estrictos que la Clase 1						
1	≤ 20.000	≤ 400	≤ 10	-	≤ -70 °C	-	0,01
2	≤ 400.000	≤ 6000	≤ 100	-	≤ -40 °C	-	0,1
3	-	≤ 90.000	≤ 1.000	-	≤ -20 °C	-	1
4	-	-	≤ 10.000	-	≤ +3 °C	-	5
5	-	-	≤ 100.000	-	≤ +7 °C	-	-
6	-	-	-	≤ 5	≤ +10 °C	-	-
7	-	-	-	5 - 10	-	≤ 0,5	-
8	-	-	-	-	-	0,5 - 5	-
9	-	-	-	-	-	5 - 10	-
X	-	-	-	> 10	-	> 10	> 10

Fuente: Insivumeh, *Condiciones de aire comprimido para uso médico*.

<https://www.mundocompresor.com/print/filtracion-lineas-aire-comprimido>. Consulta: Enero 2019.

Los filtros de aire por su tipo de aplicación se clasifican de la siguiente manera:

- Prefiltros. Son los primeros filtros que se instalan después de los compresores. Su principal misión es eliminar las partículas gruesas que podrían ser aspiradas por el compresor. Son, en sí mismos, los filtros protectores de la red de filtrado que se instale a continuación. La mayoría de los fabricantes ofrecen estos filtros con capacidad coalescente, es decir que pueden eliminar una pequeña cantidad de agua y aceite al mismo tiempo que eliminan las partículas sólidas. Su capacidad de filtrado suele ser superior a 1 micra y 1 mg/m³ de aceite.

- Filtros intermedios. Se instalan a continuación de los prefiltros y su misión es proteger los distintos accesorios y equipos que se instalan en la red de aire. Sus características se determinan en función de la calidad de aire requerida. Así se tienen:
 - Filtros de partículas. Son como los prefiltros pero de un mayor grado de filtrado. Para partículas hasta 0,1 micras y para aceite o agua hasta 0,1 m³/m³. En la salida de los secadores de adsorción se suelen colocar estos filtros con un grado de 1 micra.
 - Filtros de carbón activo. Dedicados a la eliminación de vapores y olores de aceite. No los eliminan del todo, pero el residual que dejan es muy pequeño. Como media 0,003 mg/m³.
 - Torres de carbón activo. Se emplean para reducir al máximo los residuales de vapor de aceite y olores, con la idea de ser usadas en sistemas de respiración humana.
 - Filtros catalizadores. Utilizados en sistemas de respiración humana para la eliminación del monóxido de carbono (CO).
- Filtros finales. En este grupo se incluyen todos los filtros específicos de protección del sistema antes de su uso final. Como ejemplo es posible considerar:
 - Filtros reguladores. Son pequeños filtros que se instalan sobre la máquina de accionamiento neumático. Están formados por un filtro de partículas y un regulador de presión. Para máquinas que necesitan

lubricación, el propio equipo de filtrado monta un lubricador. Estos equipos son conocidos habitualmente como FRL.

- Filtros bactericidas. Muy utilizados en aplicaciones medicinales o en laboratorios. Se utilizan para la eliminación de determinadas bacterias en el aire comprimido. Su mantenimiento requiere de una esterilización periódica. Dependiendo de cada fabricante, esta se puede realizar con vapor o por autoclave. Tienen una vida útil muy corta, determinada por el número máximo de esterilizaciones admitidas.

La estructura de los filtros es muy similar entre los distintos fabricantes. Cambia principalmente el diseño interno, para mejorar las pérdidas de carga, la calidad de los materiales de los elementos filtrantes, el grado de eficiencia y el diseño del propio elemento.

2.1.3. Sistemas adicionales de filtrado

Se presenta diferentes accesorios para las redes de aire y filtrado:

- Válvulas: las válvulas de los cilindros son dispositivos que permiten el relleno y vaciado con seguridad. De igual modo, estas válvulas son un medio eficiente y seguro de inyección del flujo de gas dentro de un sistema. No están hechas para controlar la presión. El control de presión se realiza con otros dispositivos, como los reguladores.

Las válvulas están hechas normalmente en forma de ángulo recto, lo que permite colocarles un tapón de seguridad. Estos se enroscan al collarin y protegen a la válvula contra daños en caso de que el cilindro se caiga o golpee. A continuación se describen los tipos de válvulas.

- Válvulas con sello de presión: se usan para gases envasados a alta presión, de tipo industrial. Al igual que la válvula con sello de diafragma, también tienen perillas debido a la baja torsión requerida para cerrarlas y sellar la válvula.
- Válvulas con Pin-Index: se usan en el área médica. Aunque la torsión requerida para cerrar y sellar estas válvulas es baja, el vástago de la válvula está diseñado con laterales planos, de modo que pueda utilizarse una llave apropiada para hacerlo con seguridad. La figura 4 muestra el tipo de válvulas con Pin-Index.

Figura 4. **Válvulas con Pin-Index**



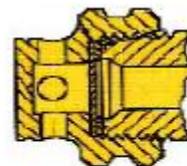
Fuente: Airon-pneumatic, *Válvula Pin-Index*. < <http://www.medicalexpo.es/prod/product-98421-820714.html>>. Consulta: Enero 2019.

- Dispositivos de seguridad: la mayoría de las válvulas utilizadas en cilindros de gases comprimidos están dotadas con un dispositivo para alivio de presión. La norma DOT prohíbe este tipo de elementos en cilindros que contengan gases venenosos, como la Arsina y la Fosfina. Los dispositivos de alivio de presión son elementos de seguridad diseñados para permitir el escape del gas en caso de que la presión dentro del cilindro se eleve a niveles peligrosos. El dispositivo de alivio de presión normalmente forma parte de la válvula del cilindro. Algunas

veces su apariencia y forma pueden ser similares a las de una tapa o cubierta que protegen la conexión de salida de la válvula. La figura 5 muestra el tipo de sistema de válvula de seguridad.

Figura 5. **Dispositivos de seguridad**

a. Dispositivo de alivio resellable b. Discos de ruptura



c. Tapón fusible mecánico

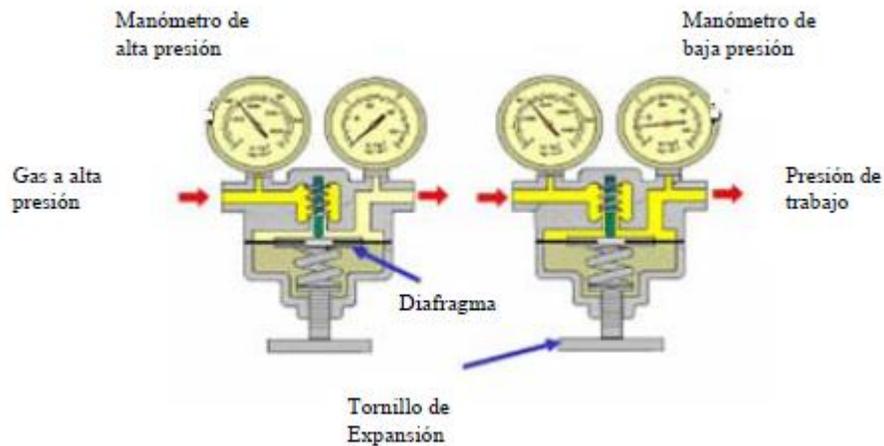


Fuente: Airon-pneumatic, *Válvula de seguridad*. <

<http://nacionalelectricaferreteria.com/milton/1570-valvula-de-seguridad-y-alivio-1095-150-1-4-150-psi.html>>. Consulta: Enero 2019.

- Un regulador de presión es un dispositivo mecánico que permite disminuir la elevada presión del gas en el cilindro, hasta la presión de trabajo escogida y mantenerla constante. Cada regulador está diseñado para un rango de presiones determinado y para un tipo de gas específico. Es importante hacer la selección del equipo adecuado para cada aplicación. La figura 6 muestra el tipo de estructura de un regulador.

Figura 6. Estructura de un regulador



Fuente: Airon-pneumatic, *Estructura de un regulador*. < <http://www.directindustry.es/prod/airtac-automatic-industrial/product-30479-811719.html>>. Consulta: Enero 2019.

- Manómetros: indican la presión a través de un sencillo mecanismo de fuelle y relojería. Los reguladores de presión normalmente cuentan con dos manómetros. Uno indica la presión de entrada del gas que viene del cilindro y el otro la presión de salida (presión de trabajo), que se puede regular con el tornillo o mariposa del regulador. Los manómetros tienen diferentes escalas de acuerdo al rango de presión que se requiere medir. Normalmente las escalas vienen graduadas en psi y en la medida del Sistema Internacional (SI) que es el Kilo Pascal (kPa). Cabe recordar que los manómetros miden presiones manométricas, es decir que indican cero cuando la presión absoluta es 1 atmósfera (14,7 psi). Esto se expresa como psig (gauge) para distinguir de los psia (absolutos). Cuando no se agrega esta última letra aclaratoria se entiende que se refiere a presiones manométricas.

- Los flujómetros son dispositivos especiales incorporados a un regulador, generalmente calibrados para trabajar a una presión de 50 psig y que indican el caudal de gas entregado. La unidad de flujo más usual es el litros/min y por lo general se encuentran en el rango de 0 a 50 litros/min. La medición de flujo se obtiene por una bolita que flota en un tubo de sección variable, de manera que al variar el flujo la bolita se mueve en el tubo para indicar el paso de más o menos caudal de gas. Otro principio de medición de flujo es a través de un orificio calibrado, el cual entrega más o menos gas según la presión que recibe. En este caso la lectura de flujo se realiza por la presión en un medidor de flujo.

2.2. Tipos de filtrado

Se presenta los diferentes tipos de filtros.

2.2.1. Humedad

Las trampas de suciedad y humedad proporcionan una barrera efectiva contra la transferencia de humedad y suciedad de un instrumento sometido a prueba al conjunto de pistón-cilindro de una balanza neumática de pesos muertos. Evitará que la contaminación inesperada de partículas o líquido del dispositivo sometido a prueba entre al sistema de pesos muertos, lo que le ahorrará tiempo de inactividad debido a mantenimiento o reparación. Diseñadas para el funcionamiento en posición vertical, estas trampas son fáciles de desarmar y de limpiar. La figura 7 muestra el filtro de humedad.

Figura 7. **Filtro de humedad**



Fuente: Airon-pneumatic, *Filtro de humedad*. <http://industrial-automatizada.blogspot.com/2010/09/tratamiento-del-aire-comprimido.html>. Consulta: Enero 2019.

2.2.2. Partículas sólidas

Para el filtrado de partículas sólidas se utiliza un prefiltrado, estos filtros se utilizan para el tratamiento del aire comprimido y del vacío con un caudal máximo de 1 870 m³/h o 66 038 ft³/h y un caudal mínimo de 68 m³/h (2 401,397 ft³/h).

2.2.3. Gases nocivos

Los gases nocivos generan una contaminación cruzada al aire comprimido médico, lo cual daña el sistema para el suministro de gas a los diferentes receptores dentro de una institución médica.

3. DIAGNÓSTICO DE FALLAS DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO MÉDICO

3.1. Detección de fallas

Toda la central debe tener un cuarto de monitoreo que permita registrar las variables de presión, pureza y funcionamiento específico de los gases que se suministran. Este monitoreo se debe realizar desde el cuarto de seguridad en el cual se deberá instalar la alarma maestra, así como supervisión de los *manifolds* de todos los gases, la operación de los equipos de producción de aire medicinal, compresores, secadores, monitor de CO y monitor de punto de rocío y vacío central, así como el nivel del tanque criogénico de oxígeno.

3.2. Origen de las fallas detectadas

Se realizarán las pruebas necesarias para verificar y garantizar el buen funcionamiento del sistema de gases medicinales.

- Barridos en la red
 - Los barridos en las redes se realizan con aire y deben ser efectuados por sectores.

Se hacen con el fin de retirar partículas que se hayan incorporado a la red en el momento de su instalación y puedan afectar el buen funcionamiento de la misma.

Al realizarse el primer barrido con aire el segundo debe ser realizado con un intervalo de tiempo de mínimo 5 minutos para terminar de arrastrar partículas restantes.

- Prueba de estanqueidad: la prueba de presión o estanqueidad se realiza a una presión de 100 PSI, durante un tiempo de 24 horas con una caída de presión máxima del 5 %. En caso contrario debe repetirse después de realizarse las correcciones necesarias al sistema.
- Prueba de detección de fugas: mediante la aplicación de agua jabonosa se busca, antes de realizar la prueba de presión, detectar y corregir fugas de gas en el sistema. Es posible que si la prueba de presión no brinda los resultados satisfactorios deba aplicarse la prueba de detección nuevamente para localizar las fallas del sistema.
- Prueba de gases cruzados: la prueba de gases cruzados se realiza para verificar que en cada una de las líneas instaladas fluye únicamente un gas y que este es el indicado para dicha línea. Debe repetirse hasta que se tenga la certeza de que no se tienen problemas de dualidad de gases en alguna de las líneas.

3.3. Consecuencias de las fallas

Las fugas representan una gran pérdida en los sistemas de aire, pero estas regularmente no son detectadas porque, a diferencia de las fugas de vapor o algún otro gas tóxico, estas no son peligrosas y por lo tanto no se les da supervisión.

Una valor debajo del 5 % del sistema en fugas sería un dato aceptable. El método más fácil para obtener el porcentaje que se tiene en la planta de fugas de aire es el siguiente:

- Determinar el volumen de toda la red en pies cúbicos.
- Se cierran todas las válvulas de los equipos que utilizan aire.
- Se hace trabajar el compresor con una presión arriba de la presión de trabajo.
- Se toman los tiempos de trabajo del compresor, hasta que alcanza la presión más baja.
- La cantidad en pérdidas se calcula como sigue:

$$Fugas = \frac{V(P1 - P2)}{14,7 t} \text{ ft}^3/\text{min}$$

- Volumen en pies cúbicos
- P1: presión inicial psi
- P2: presión final psi
- T: tiempo
- 14,7 de presión atmosférica PSI

3.4. Soluciones

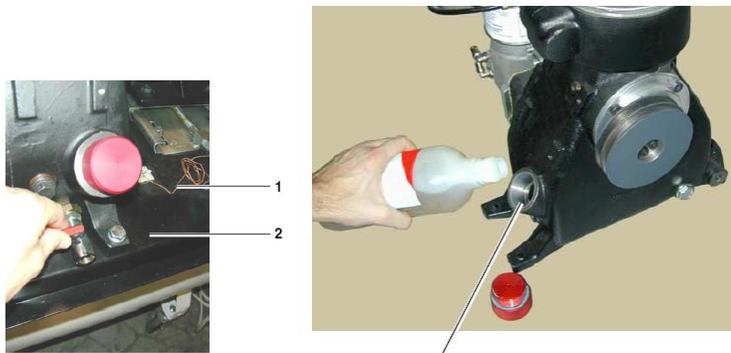
El mencionado programa de mantenimiento ha sido programado teniendo en cuenta todos los parámetros de instalación y uso aconsejados por el fabricante.

3.4.1. Con carácter permanente

Se efectúa el primer cambio de aceite tras 500 horas de trabajo y sucesivamente tras 2 500 a 3 000 horas; de todas formas antes de que pase un año. En caso de uso escaso del compresor, es decir pocas horas de funcionamiento durante el día, se debe cambiar el aceite cada 6 meses. La tabla III muestra cómo realizar el cambio de aceite de un sistema de aire comprimido.

Tabla III. Cambio de aceite

Desenroscar el tapón rojo 1 situado en la base del grupo tornillo.
Enroscar una conexión roscada en dotación con el compresor.
Abrir el grifo 2.
Después de vaciar, cerrar el grifo 2 y sacar la conexión roscada.
Rellenar con el aceite hasta el borde de la boca 4. Al finalizar la operación, enroscar el tapón 1 y cerrar el compresor.
Una vez que se ha cambiado el aceite y el filtro del aceite, dejar funcionar durante unos 5 minutos y controlar el nivel de aceite después de haber parado el compresor.
Controlar una vez al mes el nivel de aceite controlando que esté a ras de la boca de llenado 4.



Fuente: Hospital de Gineco Obstetricia, en el Instituto Guatemalteco de Seguridad Social,
Cambio de aceite en un aire comprimido. <https://www.bricolemar.com/blog/mantenimiento-de-compresores-de-aire/>. Consulta: Enero 2019.

La tabla IV muestra los tipos de diagnóstico de inconvenientes.

Tabla IV. **Diagnóstico de inconvenientes**

Anomalia	Causa	Solución
<p>Parada de máquina de activación con alarma de aceite (led rojo luminoso). Mensaje <i>display</i> "ALARMA TEMPERATURA". Verificar temperatura indicada en el <i>display</i>.</p>	<p>Temperatura excesiva de la mezcla aire/aceite en salida del grupo tornillo (105 °C).</p>	<p>Controlar las conexiones eléctricas de la sonda. Controlar el nivel de aceite, verificar que el radiador esté limpio, verificar que el prefiltro antipolvo esté limpio, la temperatura ambiente, la distancia mínima del compresor de las paredes del local y que los paneles del mueble insonorizado estén bien fijados en sus alojamientos presurización del aire de ventilación. Antes de hacer arrancar nuevamente la máquina, esperar que la temperatura baje hasta 94 °C y luego apretar el pulsador RESET situado en el panel de la tarjeta electrónica.</p>
<p>Parada de máquina de activación térmica con motor compresor (led rojo luminoso). Mensaje <i>display</i> "ALARMA TÉRMICO COMP".</p>	<p>Activación de protección térmica del motor compresor.</p>	<p>Verificar que la alimentación eléctrica sea correcta, controlar que las 3 fases de alimentación se encuentren en el mismo valor. Verificar que los cables estén bien ajustados al tablero de bornes, controlar que los cables eléctricos no estén fundidos y que la rejilla de aspiración del ventilador de enfriamiento del motor esté libre de suciedad u otros objetos como papel, hojas, trapos. Para hacer arrancar nuevamente la máquina hay que quitar la tensión, abrir el panel frontal del compresor, pulsar la tecla de rearme situada en la caja eléctrica y pulsar RESET en la tarjeta.</p>

Continuación de la tabla IV.

Anomalía	Causa	Solución
Parada de máquina de activación térmica con motor ventilador	Activación de protección térmica del motor ventilador.	Verificar que la alimentación eléctrica sea correcta, controlar que las 3 fases de alimentación se encuentren en el mismo valor. Verificar que los cables estén bien ajustados al tablero de bornes, controlar que los cables eléctricos no estén fundidos y que la rejilla de aspiración del ventilador de enfriamiento del motor esté libre de suciedad u otros objetos como papel, hojas, trapos. Para hacer arrancar nuevamente la máquina hay que quitar la tensión, abrir el panel frontal del compresor, pulsar la tecla de rearme situada en la caja eléctrica y pulsar RESET en la tarjeta.
Baja temperatura	Temperatura demasiado baja (< -5°C), el compresor no arranca	Esperar que aumente la temperatura (mayor o igual a -5 °C),
El compresor gira pero no carga	No se abre la válvula de aspiración.	Controlar que el presostato de funcionamiento funcione correctamente, verificar que el electroventilador montado sobre el regulador de aspiración funcione regularmente, electroválvula normalmente cerrada.

Fuente: Hospital de Gineco Obstetricia, en el Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, *Diagnóstico de inconvenientes*. <https://marcelocassani.wordpress.com/2016/05/17/problemas/>.

Consulta: Enero 2019.

3.4.2. Para mitigar la problemática

Para asegurar la integridad de la tubería, por medio de la presurización de la misma y la detección de caídas de presión, es necesario:

- Examen de integridad de la tubería. Procedimiento según NFPA 99. Estándar para Instalaciones Hospitalarias:
 - Examen de presión: cada sección del sistema de tuberías será sujeta a un examen de presión de 150 psi mínimo con nitrógeno seco libre de aceite. La válvula principal de cierre se cerrará y la presión deberá permanecer estática durante 24 horas con una pérdida de presión máxima permisible de 5 psi. Para lograr detectar cualquier fuga existente las válvulas de cierre de área deberán cerrarse también, para observar cualquier caída de presión en las áreas específicas.
 - Detección de fugas: la toma y las conexiones expuestas serán probadas para detectar fugas en ellas. Los materiales a utilizar para la detección de fugas serán cualquier solución jabonosa o líquidos seguros en uso con oxígeno. Si alguna tubería o accesorios son encontrados con daño deberán ser reemplazados siguiendo el procedimiento próximo.
- Requisitos de soldadura e instalación de tuberías y accesorios según NFPA 99. Estándares para Instalaciones Hospitalarias, párrafo 4-3, sección 1.2.3.

- Materiales: todos los materiales en un sistema de gases médicos no inflamables deben ser adecuados para uso con oxígeno (NFPA 99, párrafo 4-3, sección 1.1.3). Materiales compatibles con oxígeno, la tubería, accesorios, válvulas y otros componentes deberán ser limpiados internamente para remover grasas u otros contaminantes no aptos para uso con oxígeno.

4. MEJORAS PROPUESTAS AL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO MÉDICO

4.1. Mejoramiento de la red de distribución de aire médico

Un sistema centralizado para la distribución de gases es aquel que está constituido por una fuente central de suministro con su respectivo equipo de operación y control, una red de distribución de tuberías que se extiende a todas las zonas donde se requiere el producto, un sistema de protección contra fallas y, por último, unos puntos de consumo localizados estratégicamente para suministrar el producto en forma confiable y segura.

Los sistemas centralizados de gases están diseñados para hospitales cuyos consumos se hace necesario atenderlos con tanque de almacenamiento. También cuentan con un sistema de reserva de cilindros conectados en paralelo a la línea de consumo, lo cual involucra los diferentes gases de uso medicinal: oxígeno, óxido nitroso, aire medicinal, heliox y sistema de vacío.

El aire medicinal es de fundamental aplicación en las unidades de cuidados intensivos, para movilizar respiraciones impulsadas por aire comprimido, o como diluyente de O_2 administrado, dado que el O_2 en concentraciones de 100 % es tóxico para el organismo. También es utilizado en equipos de anestesia como elemento de transporte para atomizar agua, administrándose a las vías respiratorias y como agente propulsor de equipos de cirugía.

- Presentación y almacenamiento de los gases medicinales
 - Oxígeno líquido o criogénico

Cuando es enfriado a -183 grados Celsius, el oxígeno cambia del estado gaseoso al líquido y puede ser almacenado en tanques estacionarios bien aislados térmicamente, instalados en hospitales o clínicas. Los tamaños de los tanques se ajustan a los requerimientos de cada institución.

Por medio de un adecuado sistema de intercambio de calor, el oxígeno se evapora y llega al paciente en estado gaseoso y a temperatura ambiente. La institución debe contar con un sistema centralizado para la distribución del oxígeno que está constituido por una fuente central de almacenamiento y suministro con su respectivo equipo de operación y control, este puede ser ubicado cerca del taller de mantenimiento.

El tanque de almacenamiento puede tener una capacidad aproximada de almacenamiento de 190 $\text{inch}H_2O$.

- Almacenamiento general de los gases medicinales comprimidos

Los cilindros usados para el respaldo deben almacenarse cerca del área de esterilización, sitio que está claramente diferenciado, alejado de material combustible, con buena ventilación, lejos de aceites, grasas e hidrocarburos. Los cilindros son almacenados en forma vertical clasificando los recipientes vacíos de los llenos, con su respectiva tapa de seguridad y fijos por medio de cadenas.

- Debe contar con un área de almacenamiento debidamente identificada, seca, bien ventilada, protegida del sol y de la intemperie, donde las temperaturas no deben ser mayores a 52°C.
- Las áreas deben estar debidamente separadas e identificadas para cilindros llenos y vacíos. La figura 8 muestra la separación de cilindros llenos y vacíos.

Figura 8. **Separación de cilindros llenos y vacíos**



Fuente: Productos del Aire, *Separación de cilindros llenos y vacíos*.

<https://portal.ins-cr.com/NR/rdonlyres/deCilindrosdeGas_WEB.pdf>. Consulta: Enero 2019.

- Fijación de avisos de precaución, tales como: prohibido fumar, prohibido producir chispas o llamas abiertas, prohibido almacenar aceite, grasas, alcohol u otro material combustible junto a los gases. La figura 9 muestra la identificación de riesgo en áreas de cilindros llenos y vacíos.

Figura 9. **Identificación de riesgo en áreas de cilindros llenos y vacíos**



Fuente: Productos del Aire, *Separación de cilindros llenos y vacíos*

<https://portal.ins-cr.com/NR/rdonlyres/deCilindrosdeGas_WEB.pdf>. Consulta: Enero 2019.

- No deben existir cables eléctricos de alta tensión ni instalaciones eléctricas mal realizadas. La figura 10 muestra la prohibición de líneas de electricidad.

Figura 10. **Prohibición de líneas de electricidad**



Fuente: Productos del Aire, *Separación de cilindros llenos y vacíos*.
<https://portal.ins-cr.com/NR/rdonlyres/deCilindrosdeGas_WEB.pdf>. Consulta: Enero 2019.

- Guardar siempre los cilindros con tapa, en forma vertical. Asegurarse que estén bien firmes y sujetos con cadenas, de modo que no se caigan. La figura 11 muestra simbología de ordenamiento de cilindros.

Figura 11. **Simbología de ordenamiento de cilindros.**



Fuente: Productos del Aire, *Separación de cilindros llenos y vacíos*.
<https://portal.ins-cr.com/NR/rdonlyres/deCilindrosdeGas_WEB.pdf>. Consulta: Enero 2019.

- Sistema de reserva o backup manifold automático

Este sistema debe estar conectado en paralelo al suministro principal, lo cual permite servir de reserva a toda la red de la institución, es automático y está diseñado para operar cuando el suministro principal falla o no es suficiente, siempre y cuando se encuentre con producto. Esta unidad debe estar equipada con un sistema de alarma que indica la terminación del banco de producto (2 bancos con 10 cilindros cada uno conectados en paralelo), para asegurar que el sistema se encuentre listo para trabajar en una emergencia, igualmente cuenta con un sistema de alarmas que son activadas en el momento que el sistema empieza a funcionar con la reserva y solucionar problemas en el suministro principal.

4.2. Mejoramiento del sistema de filtrado

El aire comprimido, antes de ser llevado al módulo de secado, es filtrado con el fin de retirar material particulado de 5 micras y luego de 1 micra, y a su vez para eliminar vapores de hidrocarburos, olores y sabores. La tabla V muestra los filtros que son utilizados en las redes de distribución de aire.

Tabla V. **Filtros**

Filtro	Descripción	Serie	Imagen
QF0005	Retiene partículas hasta 5 micras	08P13131 6	

Continuación de la tabla V.

<p>HF0005</p>	<p>Retiene partículas hasta 0,1 micra</p>	<p>06P90450</p>	
<p>CF0005</p>	<p>Retiene olores, sabores y residuos oleosos</p>	<p>07P11576 5</p>	
<p>P-EG00066N</p>	<p>Filtro de tipo bacteriológico</p>		

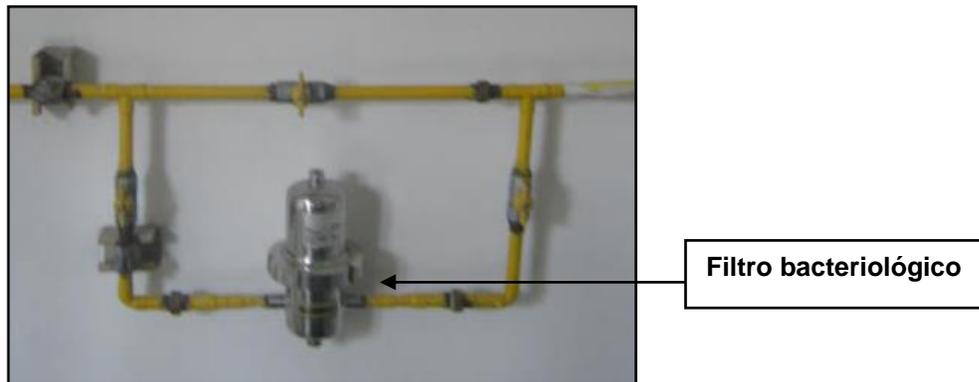
Fuente: Airon-pneumatic, *Filtros*. <<http://kaitec.co/pg39db.html?>>. Consulta:Enero 2019.

Todo el aire comprimido que pasa por la línea de producción luego de pasar por el módulo de secado debe ser filtrado y purificado antes de

suministrarlo al paciente, lo cual se realiza a través de un filtro bacteriológico que asegura que esté libre de material bacteriano.

La figura 12 muestra un filtro bacteriológico.

Figura 12. **Filtro bacteriológico**



Fuente: Airon-pneumatic, *Filtros bacteriológicos*. <<http://kaitec.co/pg39db.html>>. Consulta: Enero 2019.

4.3. **Mejora continua**

Por otra parte, para mantener el compresor de aire medicinal en buenas condiciones de funcionamiento es necesario realizar algunas operaciones de mantenimiento periódico. Antes de llevar a cabo cualquier rutina de mantenimiento se debe apagar el compresor y descargar el aire del depósito y proceder de acuerdo a cada caso:

- Descarga de condensado diariamente: colocar un contenedor de recolección debajo del grifo de descarga del condensador y abrir el grifo girando en sentido horario.

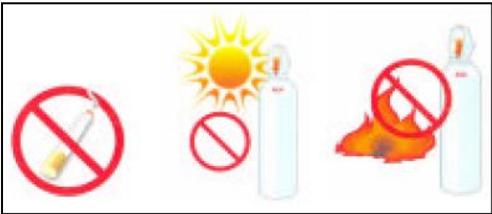
El compresor cuenta con un dispositivo de descarga de agua automático que se encarga de evacuar el condensado, el cual debe verificarse dentro de las rutinas de inspección.

- Limpieza del filtro de aspiración mensual: los compresores han sido equipados con uno o tres filtros de aspiración montados al lado de la cabeza del compresor. Para acceder a los mismos se realiza el siguiente procedimiento: retirar manualmente la tapa o tornillo central, extraer el elemento filtrante, soplar de adentro hacia afuera, proceder al montaje en su asiento y cerrar nuevamente el filtro.
- Operaciones de mantenimiento sucesivas: se tienen definidos diversos mantenimientos de acuerdo a la periodicidad establecida, así:
 - Cada 6 meses o cada 500 horas de trabajo: se aconseja limpiar esmeradamente todas las partes con aletas del compresor. Esta operación permite el funcionamiento eficaz del sistema de refrigeración y garantiza la buena operativización de la máquina.
 - Cada año o cada 1 000 horas de trabajo: se sustituye el elemento filtrante y se continúa con el procedimiento anterior.
 - Cada 2 años o cada 2 000 horas: se debe controlar y limpiar las válvulas de aspiración y de alimentación. También se debe controlar.
 - Por lo menos una vez cada 3 años: es indispensable sustituir la alúmina que se halla en el interior del secador. Este intervalo se calcula sobre la base de un uso medio del compresor 2 horas por día. Si el uso del compresor es mayor, debe hacerse que un técnico

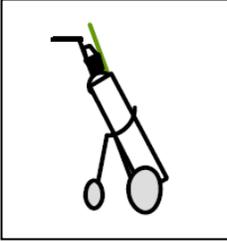
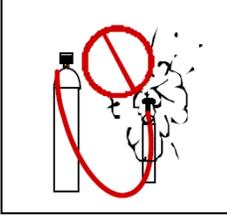
especializado compruebe el grado de humedad del aire, y si es necesario sustituir antes la alúmina. La tabla VI muestra el manejo seguro de los gases.

○

Tabla VI. **Manejo seguro de los gases**

<p>No fumar ni tener el cilindro cerca del fuego o fuentes de calor. No exponer el cilindro directamente al sol.</p>	
<p>Utilizar herramientas adecuadas, no golpear el cilindro con alguna herramienta, no utilizar martillos ni pinzas para abrir el cilindro.</p>	
<p>No dejar el cilindro en superficies irregulares, fijarlo con una cadena para evitar posibles caídas. Evitar que los cilindros caigan o tengan impactos. Mantener el cilindro con su tapa.</p>	
<p>Abrir o cerrar la válvula lentamente. La válvula cierra en el sentido de las manecillas del reloj.</p>	

Continuación de la tabla VI.

<p>No mezclar grasa con oxígeno, ya que se puede provocar fuego. No dejar objetos en las válvulas o tapa de los cilindros.</p>	
<p>Para transporte manual usar un carrito adecuado.</p>	
<p>No transferir gas de un cilindro a otro. Nunca usar adaptadores para conectar un cilindro.</p>	

Fuente: Hospital de Gineco Obstetricia, en el Instituto Guatemalteco de Seguridad Social,
Manejo de seguro de los gases.

<<https://www.messer.es/documents/20570/660607/Manejo+de+gases+con+seguridad>>.

Consulta:Enero 2019.

4.4. Programación permanente de las mejoras

Si el compresor se utiliza más de 3 000 horas por año es necesario efectuar las operaciones siguientes:

- 500 horas
 - Cambio de aceite.
 - Cambio del cartucho del filtro de aceite.
 - Apretamiento de tornillos de cables telerruptores y tensado de la correa.
 - Control de juntas oleodinámicas.

- 2 500-3 000 horas
 - Cambio de aceite.
 - Cambio del cartucho del filtro de aceite.
 - Cambio del cartucho del filtro separador de aceite.
 - Cambio del cartucho del filtro del aire.
 - Apretamiento de tornillos de cables telerruptores.
 - Limpieza del prefiltro antipolvo.

- 5 000-6 000 horas
 - Cambio de aceite.
 - Cambio del cartucho del filtro de aceite.
 - Cambio del cartucho del filtro separador de aceite.
 - Cambio del cartucho del filtro del aire.
 - Apretamiento de tornillos de cables telerruptores.
 - Limpieza del radiador de aire/aceite.
 - Limpieza del prefiltro antipolvo.
 - Vaciado de la condensación.

- 8 000-9 000 horas
 - Cambio de aceite.
 - Cambio del cartucho del filtro de aceite.
 - Cambio del cartucho del filtro separador de aceite.
 - Cambio del cartucho del filtro del aire.
 - Apretamiento de tornillos de cables telerruptores.
 - Cambiar la correa.
 - Control de juntas oleodinámicas.
 - Limpieza del radiador de aire/aceite.
 - Limpieza del prefiltro antipolvo.

- 1 000-12 000 horas
 - Cambio de aceite.
 - Cambio del cartucho del filtro de aceite.
 - Cambio del cartucho del filtro separador de aceite.
 - Cambio del cartucho del filtro del aire.
 - Apretamiento de tornillos de cables telerruptores.
 - Tensado de la correa.
 - Control de juntas oleodinámicas.
 - Controlar y cambiar (si fuera necesario) los tubos flexibles.
 - Revisión de brida de separador de aceite.
 - Engrasar la válvula de mínima presión.
 - Revisión de la válvula de aspiración.
 - Limpieza del radiador de aire/aceite.
 - Limpieza del prefiltro antipolvo.
 - Cambio de tubos Rilsan 6x4 y 8x10.
 - Cambio de sello de aceite de tornillo.
 - Cambio de cojinetes del motor.

- 1 400-15 000 horas
 - Cambio de aceite.
 - Cambio del cartucho del filtro de aceite.
 - Cambio del cartucho del filtro separador de aceite.
 - Cambio del cartucho del filtro del aire.
 - Apretamiento de tornillos de cables telerruptores.
 - Control de cables.
 - Tensado de la correa.
 - Control de juntas oleodinámicas.
 - Cambio de junta tórica de brida de impulsión de aceite.
 - Apretamiento de tornillos.
 - Controlar de los ventiladores de refrigeración.
 - Limpieza del radiador de aire/aceite.
 - Limpieza del prefiltro antipolvo.
 - Limpieza de compresor.
 - Control de electroventilador.

4.5. Planificación y mantenimiento de los equipos

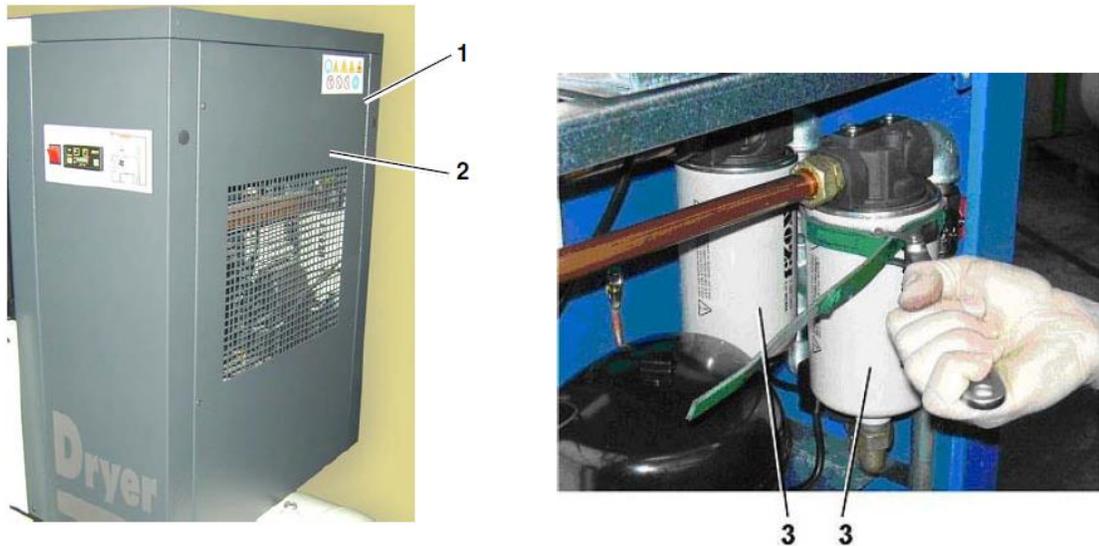
Para el mantenimiento del motor eléctrico, los cojinetes del motor eléctrico llevan grasa y no necesitan mantenimiento. En condiciones ambientales normales (temperatura ambiente hasta 30 °C) se debe cambiar los cojinetes del motor cada 12 000 horas de funcionamiento. En caso de condiciones ambientales desfavorables (temperatura ambiente superior a 30°C) se debe cambiar los cojinetes del motor cada 8 000 horas de funcionamiento. El cambio de los cojinetes tiene que hacerse máximo cada 4 años.

- Mantenimiento del secador
 - Quitar los tornillos 1 y desmontar el panel 2

- Controlar el estado de obstrucción de los filtros mediante el indicador.
- Si el filtro está completamente obstruido se debe desmontar el cartucho del filtro 3 y cambiarlo con uno nuevo.

La figura 13 muestra mantenimiento del secador.

Figura 13. **Mantenimiento del secador**

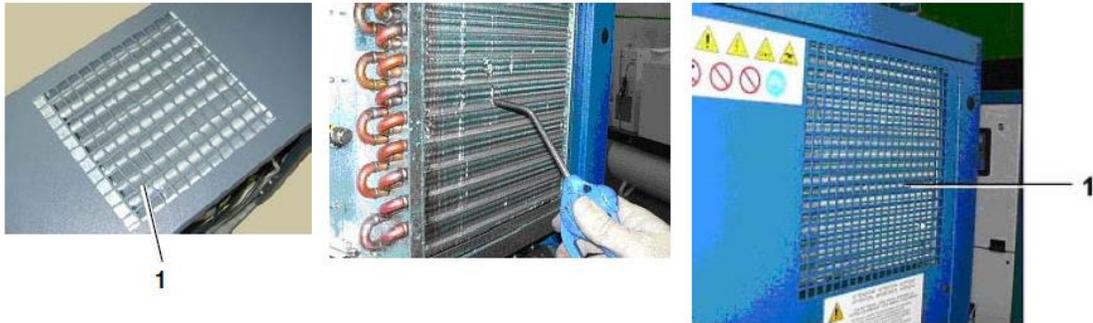


Fuente: Airon-pneumatic , *Mantenimiento del secador*. <<http://kaitec.co/pg39db.html>>.

Consulta:Enero 2019.

- Limpieza del condensador: limpiar el condensador 1 con un chorro de aire comprimido (máximo 2 bar) y prestar atención a no doblar las aletas de aluminio del radiador de refrigeración. Se debe soplar desde dentro hacia fuera. La figura 14 muestra la limpieza del condensador.

Figura 14. **Limpeza del condensador**



Fuente: Airon-pneumatic, *Limpeza del condensador*. <<http://kaitec.co/pg39db.html>>. Consulta: 2019.

- Limpieza del filtro mecánico
 - Quitar los tornillos 1 y desmontar el panel 2.
 - Quitar el tapón 3, desmontar y limpiar el filtro 4. La figura 15 muestra la limpieza del filtro mecánico.

Figura 15. **Limpeza del filtro mecánico**



Fuente: Airon-pneumatic, *Limpeza de filtro mecánico*. <<http://kaitec.co/pg39db.html>>. Consulta: Enero 2019.

CONCLUSIONES

1. Actualmente no se cuenta con un programa de mantenimiento para el abastecimiento y distribución de gases médicos.
2. No existe un control estricto del uso de gases médicos que permita un buen uso de estos.
3. Se carece de documentos, instructivos y controles de seguridad.
4. La red de gases médicos actualmente existe, pero ya no cumple con las exigencias actuales, mucho menos una aplicación al futuro.

RECOMENDACIONES

1. Implementar un programa de mantenimiento para el buen uso de los gases médicos.
2. Se debe documentar todo el proceso de producción de gas y mantenimiento, el cual sirve de guía para la documentación de todas las actividades del hospital, para determinar los procedimientos estandarizados.
3. Implementar un adecuado control de seguridad industrial para instalaciones y personal.
4. Actualizar las redes de gases médicos con diferentes salidas y entradas, indicando los diferentes equipos que trabajan en la red de gases médicos.

BIBLIOGRAFÍA

1. CORONADO CHOCANO, Aldo Hugo. *Estudio y mejoramiento de la red de distribución de gases y equipos médicos asociados, en el Hospital General San Juan de Dios*. Trabajo de graduación de Ingeniería Mecánica Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 2009. 178 p.
2. DE LEÓN DE LEÓN, Hugo René. *Sistema centralizado de gases médicos en el Hospital Nacional de Cuilapa Santa Rosa*. Maestría en Ingeniería de Mantenimiento. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería Escuela de Estudios de Postgrado, 2007. 64 p.
3. FLORES, José María. *Ingeniería hospitalaria, guía de trabajos prácticos*. Argentina, UNER, Facultad de Ingeniería / Bioingeniería, 2012. 101 p.
4. GREENE, RICHARD W. *Compresores, selección, uso y mantenimiento*. México: McGraw-Hill, 1990. 292 p.
5. HERNÁNDEZ CASTELLANOS, Víctor Armando. *Análisis del funcionamiento de los comités de desastres en hospitales nacionales y propuesta de capacitación*. Tesis de Médico y Cirujano. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ciencias Médicas, 2001. 71p.

6. MAJUMDAR, S. R. *Aire comprimido: sistemas neumáticos, principios y mantenimiento*. México: McGraw-Hill, 1998. 299 p.
7. MARKS, Eugene. *Manual del ingeniero mecánico*. 8a ed. México: McGraw-Hill, 1993. 400 p.

ANEXOS

Anexo 1 muestra el sistema de gases medicinales.

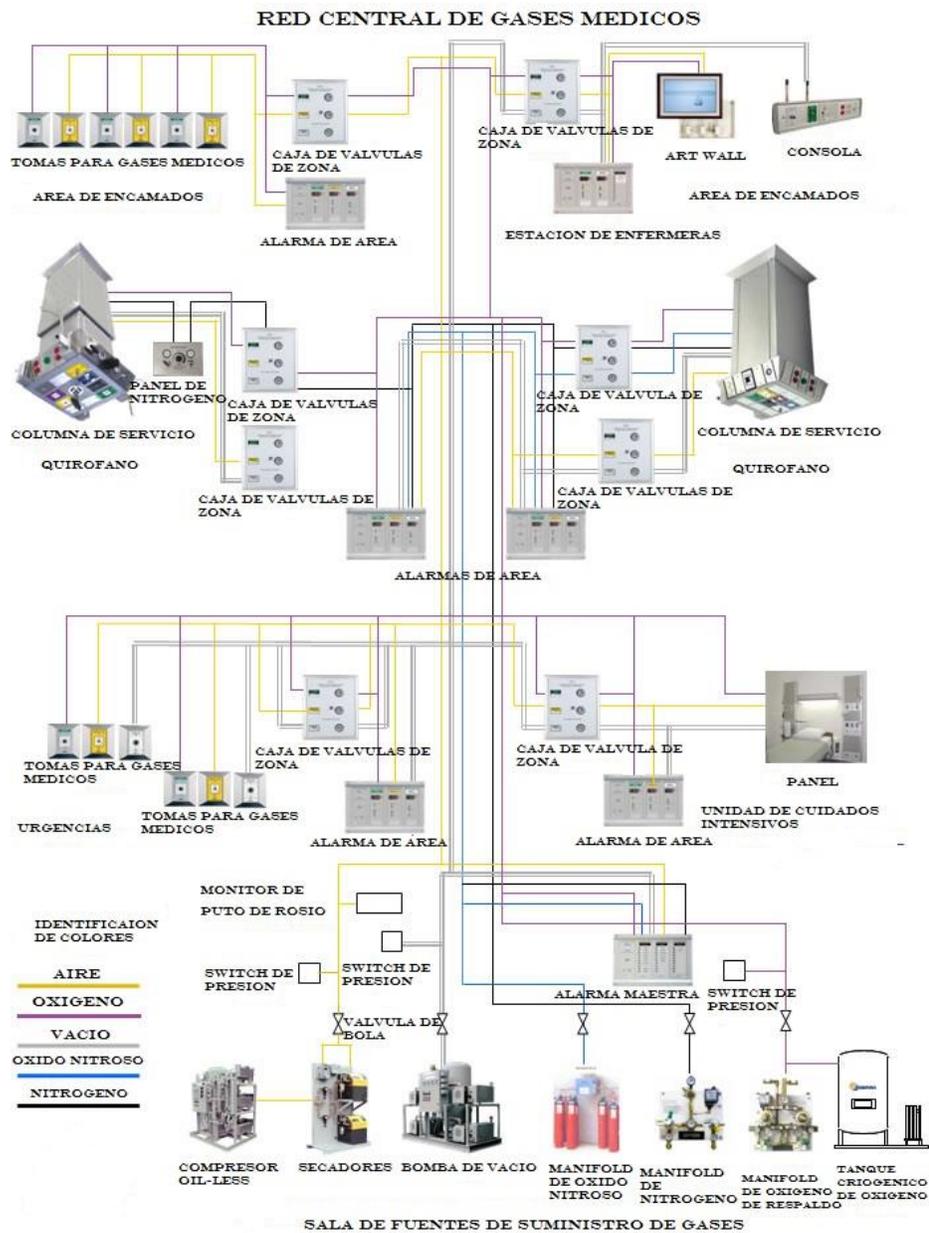
Anexo1. Sistema de gases medicinales

Oxígeno medicinal	Oxigenoterapias Vehículo transportador de medicamentos Junto con el óxido nitroso en analgesia Gas motor de equipos biomédicos (a falta de otro gas) Productor de vacío por técnica Ventury (a falta de otro gas)
Aire medicinal	Mezclador de otros gases Gas motor de equipos biomédicos: ortopedia y ventiladores mecánicos Limpieza de campos quirúrgicos Productor de vacío por técnica Ventury Terapia respiratoria
Vacío y evacuación	Succión de líquidos en procedimientos Evacuación de gases anestésicos
Óxido nitroso	Anestesia Analgesia
Nitrógeno líquido	Terapias reumáticas Conservación de órganos, tejidos y fluidos
Dióxido de carbono	Aplicación en cirugías laparoscópicas por insuflación Terapias y cirugías de frío oftálmicas Fotocoagulación
Helio	Refrigeración de resonador magnético
Hexafluoruro de azufre	Cirugías oftálmicas
Óxido de etileno	Esterilización de baja temperatura
Argón	Fotocoagulación

Fuente: Hospital de Gineco Obstetricia, en el Instituto Guatemalteco de Seguridad Social,
Sistema de gases medicinales.

<<http://www.redicces.org.sv/jspui/bitstream/10972/1944/disenio.pdf>>. Consulta: Enero 2019.

Anexo2. Red centralizada de gases médicos



Fuente: Hospital de Gineco Obstetricia, en el Instituto Guatemalteco de Seguridad Social,
Red centralizada de gases médicos.

<<http://www.redicces.org.sv/jspui/bitstream/10972/1944/disenio.pdf>>. Consulta: Enero 2019.