



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

**ESTUDIO DE DEMANDA DE GASES MÉDICOS Y DIAGRAMACIÓN DE LA RED DE
DISTRIBUCIÓN, EN EL HOSPITAL GENERAL DE ACCIDENTES “CEIBAL”, IGSS**

Jeferson Froilán Samayoa López

Asesorado por el Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma

Guatemala, septiembre de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO DE DEMANDA DE GASES MÉDICOS Y DIAGRAMACIÓN DE LA RED DE
DISTRIBUCIÓN, EN EL HOSPITAL GENERAL DE ACCIDENTES “CEIBAL”, IGSS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JEFERSON FROILÁN SAMAYOA LÓPEZ
ASESORADO POR EL ING. CARLOS ANÍBAL CHICOJAY COLOMA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobar Martinez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Roberto Guzmán Ortíz
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Figueroa Vasquez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

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:

ESTUDIO DE DEMANDA DE GASES MÉDICOS Y DIAGRAMACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN, EN EL HOSPITAL GENERAL DE ACCIDENTES “CEIBAL”, IGSS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 14 de julio de 2016.

Jeferson Froilán Samayoa López



Guatemala, 04 de septiembre de 2017
REF.EPS.DOC.618.09.17.

Inga. Christa Classon de Pinto
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Ingeniera Classon de Pinto.

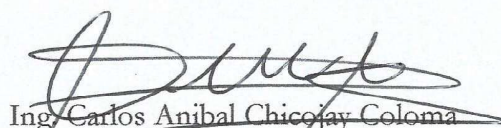
Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Jeferson Froilán Samayoa López** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 201122813, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **ESTUDIO DE DEMANDA DE GASES MÉDICOS Y DIAGRAMACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN, EN EL HOSPITAL GENERAL DE ACCIDENTES CEIBAL, IGSS.**

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

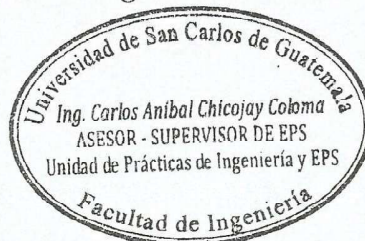
Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Carlos Anibal Chicojaj Coloma
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica

c.c. Archivo
CACC/ra





Guatemala, 04 de septiembre de 2017
REF.EPS.D.297.09.17

Ing. Roberto Guzmán
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente

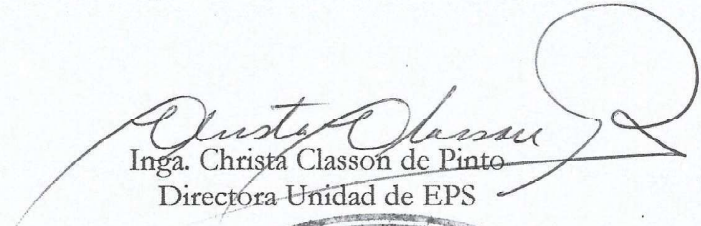
Estimado Ingeniero Guzmán:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **ESTUDIO DE DEMANDA DE GASES MÉDICOS Y DIAGRAMACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN, EN EL HOSPITAL GENERAL DE ACCIDENTES CEIBAL, IGSS.**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Jeferson Froilán Samayoa López** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Carlos Anibal Chicojay Coloma.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Christa Classon de Pinto
Directora Unidad de EPS

CCdP/ra





USAC
TRICENTENARIA


Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.EIM.286.2017

El Revisor 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-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **ESTUDIO DE DEMANDA DE GASES MÉDICOS Y DIAGRAMACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN EN EL HOSPITAL GENERAL DE ACCIDENTES** del estudiante **Jeferson Froilán Samayoa López**, CUI **2215249320101**, **Reg. Académico No. 201122813** y habiendo realizado la revisión de Escuela, se autoriza para que continúe su trámite en la oficina de Lingüística, Unidad de Planificación.

"Id Y Enseñad a todos"


Ing. Roberto Guzmán Ortiz
Revisor
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, octubre de 2017

/aej



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

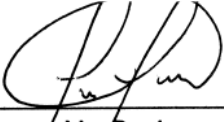
Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.EIM.122.2020

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-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **ESTUDIO DE DEMANDA DE GASES MÉDICOS Y DIAGRAMACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN, EN EL HOSPITAL GENERAL DE ACCIDENTE CEIBAL, IGSS** del estudiante **Jeferson Froilán Samayoa López, CUI 2215249320101**, Reg. Académico **201122813** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"


Vo.Bo. Ing.



Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, septiembre de 2020

/aej



Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102

DTG. 222.2020.

La Decana 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, al Trabajo de Graduación titulado: **ESTUDIO DE DEMANDA DE GASES MÉDICOS Y DIAGRAMACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN, EN EL HOSPITAL GENERAL DE ACCIDENTES "CEIBAL", IGSS**, presentado por el estudiante universitario: **Jeferson Froilán Samayoa López**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, septiembre de 2020

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Porque hasta aquí, Él me ha ayudado.

Mi esposa

Porque sin ella mi carrera no hubiese comenzado.

Mis padres

Porque sin ellos mi carrera no se hubiese terminado.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por permitirme cursar mi carrera universitaria.
Facultad de Ingeniería	Por proporcionarme las herramientas necesarias para ejercer mi profesión.
Hospital General de Accidentes “Ceibal”, IGSS	Por permitirme realizar mi ejercicio profesional supervisado.
Ing. Gabriel Aguilar	Por la oportunidad que me dio de realizar mi ejercicio profesional supervisado bajo su supervisión.
Arq. Julio Siliézar	Por facilitarme los documentos necesarios para realizar mi ejercicio profesional supervisado.
Ing. Aníbal Chicojay	Por su apoyo y asesoría en el proceso de realización de mi ejercicio profesional supervisado.
Mis abuelitas	Por mostrarme que aún con todo, sí es posible.

Mi hermana

Por hacer de mi carrera universitaria, una carga mas fácil de llevar.

Mi sobrino

Por hacer de mi carrera universitaria, una carga mas divertida de llevar.

Cesar Cifuentes

Por su ayuda incondicional y por compartir desinteresadamente sus conocimientos conmigo.

Victoriano Chavez

Por su ayuda incondicional y por compartir desinteresadamente sus conocimientos conmigo.

Emerson Morales

Por su ayuda incondicional y por compartir desinteresadamente sus conocimientos conmigo.

Eddy Gomez

Por su ayuda incondicional y por compartir desinteresadamente sus conocimientos conmigo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XI
GLOSARIO.....	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. INFORMACIÓN GENERAL DE LA FUENTE DE PRÁCTICA.....	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
2.1. Descripción.....	3
2.2. Antecedentes.....	3
3. MARCO TEÓRICO.....	5
3.1. Gases médicos.....	5
3.1.1. Oxígeno	6
3.1.2. Aire médico.....	6
3.1.3. Vacío	7
3.2. Producción, almacenamiento y distribución	8
3.2.1. Producción de oxígeno	9
3.2.2. Producción de aire médico.....	9
3.2.3. Generación de vacío	10
3.3. Anclajes, soportes y aislamientos	10
3.4. Filtrado y secado de aire médico	10

5.7.2.	NFPA 50 <i>Standard for Bulk Oxygen Systems at Consumer Sites</i> (Estándar para sistemas masivos de oxígeno en el sitio del consumidor)	26
5.8.	Terminología general	28
5.8.1.	NFPA 99	28
5.8.2.	NFPA 50	37
5.9.	Requisitos específicos	39
5.9.1.	Aire médico	40
5.9.1.1.	Obtención	40
5.9.1.1.1.	Compresores de grado médico	41
5.9.1.1.2.	Filtros	42
5.9.1.1.3.	Secador	43
5.9.1.2.	Materiales	43
5.9.1.3.	Ubicación de equipo	44
5.9.1.4.	Almacenamiento	44
5.9.1.4.1.	Tanques o receptores de aire médico	45
5.9.1.5.	Diseño y dimensionamiento	45
5.9.2.	Oxígeno	48
5.9.2.1.	General	48
5.9.2.2.	Obtención	49
5.9.2.3.	Materiales	49
5.9.2.4.	Ubicación del equipo	50
5.9.2.5.	Almacenamiento	53
5.9.2.6.	Distribución	53
5.9.2.7.	Etiquetado y señalización	54
5.9.2.8.	Diseño y dimensionamiento	54
5.9.2.9.	Prevención y reducción de riesgos	58

5.9.3.	Vacío	64
5.9.3.1.	General.....	64
5.9.3.2.	Obtención	65
5.9.3.3.	Materiales	65
5.9.3.4.	Ubicación del equipo	66
5.9.3.5.	Etiquetado y señalización	66
5.9.3.6.	Diseño y dimensionamiento	66
5.10.	Requisitos generales.....	67
5.10.1.	Ubicación.....	67
5.10.2.	Materiales.....	67
5.10.3.	Distribución.....	68
5.10.4.	Señalización	72
5.10.4.1.	Señalización de las centrales de suministro	72
5.10.4.2.	Señalización de la tubería.....	73
5.10.4.3.	Señalización del equipo	74
5.10.4.3.1.	Válvulas	74
5.10.4.3.2.	Estaciones de salida y entrada	76
5.10.5.	Diseño y dimensionamiento.....	76
5.10.5.1.	Accesorios de la tubería	77
5.10.5.1.1.	Estaciones de salida y entrada.	77
5.10.5.1.2.	Mangueras y conectores flexibles.	78
5.10.5.1.3.	Válvulas	78
5.10.5.1.4.	Reguladores e indicadores de presión.....	82

	5.10.5.2.	Dispositivos de seguridad	84
		5.10.5.2.1.	Válvulas de alivio
		5.10.5.2.2.	Sistemas de alarma.....
	5.10.6.	Prevención y reducción de riesgos.....	89
		5.10.6.1.	Naturaleza de los peligros de sistemas de gas y vacío
			89
6.	FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL.....		99
6.1.	Metodología y técnicas aplicadas		99
6.2.	Diseño		99
	6.2.1.	Diagramación de los sistemas de gases médicos	99
	6.2.2.	Propuesta de mejora.....	100
6.3.	Sistema de gases médicos		100
	6.3.1.	Caudales.....	100
	6.3.2.	Caídas de presión.....	101
	6.3.3.	Dimensionamiento de tubería	101
	6.3.4.	Dimensionamiento del equipo	105
		6.3.4.1.	Aire médico
		6.3.4.2.	Oxígeno
		6.3.4.3.	Vacío.....
			106
	6.3.5.	Materiales	107
	6.3.6.	Señalización	107
	6.3.7.	Accesorios	109
		6.3.7.1.	Filtros
			109
		6.3.7.1.1.	Filtros de aire médico
			109
		6.3.7.1.2.	Filtros de oxígeno.....
			111
	6.3.7.2.	Secadores de aire médico.....	112

6.3.7.3.	Válvulas	112
6.3.7.4.	Reguladores e indicadores de presión.....	119
6.3.7.5.	Soportes, anclajes y aisladores	121
6.3.7.6.	Tomas o estaciones de salida.....	122
6.3.7.7.	Alarmas	122
6.3.8.	Procesos de abastecimiento y producción de gases médicos	122
6.3.8.1.	Producción de aire médico	122
6.3.8.1.1.	Compresores	122
6.3.8.2.	Abastecimiento de oxígeno.....	125
6.3.8.3.	Generación de vacío.....	127
6.3.8.3.1.	Bombas de vacío	127
6.3.9.	Almacenamiento de gases médicos	129
6.3.9.1.	Aire médico.....	129
6.3.9.2.	Oxígeno	130
6.3.9.2.1.	Oxígeno líquido.....	130
6.3.9.2.2.	Cilindros.....	132
6.3.10.	Monitoreo de demanda de gases médicos	138
6.3.11.	Distribución.....	138
6.4.	Diagramación	143
6.5.	Planes de mantenimiento preventivo e inspecciones	143
7.	FASE DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE	151
7.1.	Capacitación sobre técnicas o métodos.	151
7.2.	Presentación e interpretación de resultados.....	153
	CONCLUSIONES	155
	RECOMENDACIONES	157

BIBLIOGRAFÍA.....	161
APÉNDICES.....	165
ANEXOS	229

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama de la sección de mantenimiento	19
2.	Distancias admisibles para tanque de oxígeno líquido	132
3.	Distancias admisibles para colector de oxígeno	137
4.	Plan de mantenimiento para compresores y bombas (1/2).....	145
5.	Plan de mantenimiento para compresores y bombas (2/2).....	146
6.	Plan de inspecciones para sistema de oxígeno.....	147
7.	Plan de inspecciones para tubería	148
8.	Tensado de faja de transmisión	150
9.	Capacitación utilizando planos de la red de gases médicos.....	153

TABLAS

I.	Capacidad de almacenamiento de oxígeno.....	48
II.	5.1.10.10.4.5 Espaciamiento máximo para soportes de tubería	71
III.	5.1.11 Designación estándar para código de colores y presiones de operación para sistemas de gas y vacío.....	74
IV.	Válvulas requeridas para el sistema de distribución	79
V.	Alarmas requeridas para el sistema de gases médicos.....	86
VI.	Obtención de caudales máximos	100
VII.	Caudales requeridos por la unidad médica	101
VIII.	Datos y resultados para el cálculo de pérdidas de presión.....	103
IX.	Pérdidas de presión	104
X.	Diámetros de tuberías	104
XI.	Especificaciones de los compresores.....	105

XII.	Consumo mensual de oxígeno	106
XIII.	Especificaciones de las bombas de vacío.....	107
XIV.	Verificación de la señalización	108
XV.	Verificación de los filtros	110
XVI.	Especificaciones de los filtros	111
XVII.	Especificaciones del secador de aire.....	112
XVIII.	Verificación de las válvulas.....	113
XIX.	Verificación de las válvulas fuente.....	113
XX.	Verificación de las válvulas de línea principal	114
XXI.	Verificación de las válvulas de servicio	115
XXII.	Verificación de las válvulas de zona	116
XXIII.	Verificación de los cajones de válvulas de zona	117
XXIV.	Verificación de los requisitos generales de las válvulas.....	118
XXV.	Verificación de los reguladores y manómetros	119
XXVI.	Verificación del sistema de suministro de aire médico	123
XXVII.	Verificación del sistema de suministro de oxígeno.....	125
XXVIII.	Verificación del sistema de suministro de vacío.....	127
XXIX.	Verificación del almacenamiento de aire médico	129
XXX.	Verificación del almacenamiento de oxígeno	130
XXXI.	Verificación de almacenamiento de cilindros	133
XXXII.	Verificación de la tubería	139
XXXIII.	Verificación para transporte de cilindros	142

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
✓	Correcto
Δ	Delta, indica un cambio en el valor de la variable utilizada
\emptyset	Diámetro
Co ₂	Dióxido de carbono
°C	Grado centígrado o Celsius
°F	Grado Fahrenheit
He	Helio
HP	<i>Horse Power</i> , Caballos de potencia o Caballos de fuerza
x	Incorrecto
Kg	Kilogramo
Kpa	Kilopascal, igual a 1 000 pascales
psia	Libras fuerza sobre pulgada cuadrada absolutas
psig	Libras fuerza sobre pulgada cuadrada manométricas
Psi	Libras fuerza sobre pulgada cuadrada
m ³	Metro cúbico
m	Metro
mmHgV	Milímetro de mercurio de vacío
mm	Milímetro
N ₂	Nitrógeno
N ₂ O	Óxido nitroso
O ₂	Oxígeno, bien sea líquido o gaseoso

π	Pi, constante numérica con valor de 3,1416 aproximadamente
ft	Pie
ft³	Pies cúbicos
%	Porcentaje
inHgV	Pulgada de mercurio de vacío
in	Pulgada
InHg	Pulgadas de mercurio
?	Se desconocen los parámetros a evaluar
s	Segundo

GLOSARIO

dBA	Decibelio A, es una unidad de nivel sonoro medido con un filtro previo que quita parte de las bajas y las muy altas frecuencias.
DN	Diámetro nominal de tuberías.
<i>In situ</i>	Expresión latina que significa “en el sitio” o “en el lugar”.
NFPA	<i>National Fire Protection Association</i> o Asociación Nacional de Protección contra el Fuego.
NPS	<i>Nominal Pipe Size</i> , Tamaño nominal de tubería.
OD	<i>Outside diameter</i> , Diámetro exterior.
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i> , formalmente Sociedad de Ingenieros de Automoción, o Sociedad de Ingenieros Automotrices.
SCFM	<i>Standard cubic feet per minute</i> o Pies cúbicos por minuto estándar.
USP	<i>United States Pharmacopeia</i> , Farmacopea de Estados Unidos.

RESUMEN

El Hospital General de Accidentes “Ceibal” del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social es una unidad médica encargada de atender emergencias y proveer servicios de encamamiento para pacientes bajo cuidados diversos; los gases médicos hoy en día son considerados medicina, por lo que su uso está bastante extendido en las prácticas médicas, la unidad médica “Ceibal” posee un sistema de gases médicos que incluyen aire médico, oxígeno y vacío; el oxígeno es adquirido a un tercero y el aire médico y el vacío son producidos en la casa de máquinas.

La sección de mantenimiento, que es la encargada del sistema de gases médicos, no posee un diagrama del sistema de distribución por lo que las labores de inspección y mantenimiento preventivo son reducidas o inexistentes, por ello, utilizando los planos de la unidad médica, se procedió a realizar el diagrama de la red de distribución de gases médicos, posteriormente se realizó un estudio de la demanda de gases médicos para verificar que la capacidad instalada que posee la casa de máquinas es la adecuada para suministrar eficientemente los gases médicos, al realizar el estudio completo del sistema de gases médicos y al poseer el diagrama del sistema de distribución se procedió a realizar recomendaciones de mejora para adecuar el sistema a la normativa aplicable y poder asegurar la distribución eficiente de los gases y reducir los riesgos asociados a los mismos.

OBJETIVOS

General

Elaborar un estudio de la demanda y un diagrama de la distribución, de la red de gases médicos del Hospital General de Accidentes “Ceibal”, IGSS.

Específicos

1. Identificar tomas de consumo, trayectorias de la tubería y lugares de almacenamiento y producción del sistema de gases médicos y diagramarlos en los planos de la unidad médica proporcionados por la sección de mantenimiento.
2. Realizar un estudio de la red de distribución de gases médicos para encontrar deficiencias que pudiese tener y proporcionar alternativas o soluciones para dichas deficiencias y en dicho caso proponer un diagrama con mejoras para dicha red de distribución, así como de los anclajes, soportes, aislamientos y equipo involucrado.
3. Realizar un estudio para verificar si es necesaria la ampliación de la red de distribución de gases médicos tomando en cuenta la capacidad instalada necesaria para dicha ampliación y la que posee actualmente la unidad médica.
4. Elaborar un plan de mantenimiento e inspecciones para el sistema de gases médicos y proporcionarlo a la sección de mantenimiento.

INTRODUCCIÓN

La distribución de gases médicos es de vital importancia en la atención al paciente, muchos gases son considerados medicina y otros como el oxígeno o el aire médico son utilizados para soporte vital, el vacío, al estar instalado juntamente con los gases a presiones positivas, es considerado un gas y es de vital importancia en servicios como quirófanos y unidades de cuidados intensivos; por ello el sistema de gases médicos debe suministrar constantemente y de manera eficiente para disminuir o evitar el riesgo de mortandad en los pacientes, por esa razón es necesario realizar un estudio de la demanda de gases y adecuar el sistema de gases médicos con la normativa aplicable a dicha temática, para reducir los riesgos asociados con los sistemas de gases médicos.

La norma NFPA en sus documentos 99 y 50, establece los requisitos mínimos a cumplir para las centrales de producción, lugares de almacenamiento, sistema de distribución y sistemas de reducción de riesgos en instalaciones de cuidado médico, por ello los diagramas realizados, las propuestas de mejora y las recomendaciones se realizaron tomando como base dicha normativa.

Para realizar el estudio de demanda de gases es necesario poseer el diagrama de gases médicos y el caudal que demanda la unidad médica bajo condiciones críticas; al conocer la capacidad requerida y los requisitos de la normativa aplicable se propondrá un sistema de gases médicos apropiado y basado en la norma NFPA 99 y NFPA 50.

1. INFORMACIÓN GENERAL DE LA FUENTE DE PRÁCTICA

El Hospital General de Accidentes “Ceibal” es una unidad médica del área metropolitana del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social; el cual se ubica en la zona 4 de Mixco en la colonia Monte Real, como su nombre lo indica es la responsable de la atención médica de las personas en caso de accidente, sin embargo, también atienden otro tipo de especialidades, por lo cual no posee el área de emergencia únicamente sino también encamamientos para los pacientes bajo cuidados médicos diversos.

La sección de mantenimiento, de dicha unidad, es la encargada de proporcionar ciertos insumos necesarios para la atención al paciente, dentro de los cuales destacan vapor, oxígeno, vacío y aire médico, algunos de estos gases son adquiridos, como el oxígeno, de empresas privadas, pero el vacío, el vapor y el aire médico son producidos en el área de máquinas, estos gases son distribuidos hasta los servicios y encamamientos que lo requieren, por medio de una red de tuberías diseñada para dicho fin.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Descripción

Debido al aumento de pacientes que requieren atención médica, se han realizado ampliaciones y remodelaciones a casi toda la unidad médica, en muchos casos sin considerar la capacidad instalada, las caídas de presión y otros aspectos necesarios en el diseño de una red de distribución de gases, aunado a eso, está la carencia de planos de la red de distribución de gases médicos, la ausencia de planes de mantenimiento para el equipo involucrado y la escasez de parámetros y procedimientos de seguridad industrial y hospitalaria.

2.2. Antecedentes

Se desconoce la existencia de planos o diagramas de la red de distribución de gases médicos, así como se ignora si se realizaron los estudios correspondientes en la ampliación y remodelación de la red de distribución, tampoco se conoce si las instalaciones actualmente cumplen con las normas establecidas en el ámbito de la distribución de gases médicos intrahospitalarios y de seguridad industrial.

La red de distribución conecta los equipos de suministro, ubicados en la casa de máquinas y los diversos servicios y encamamientos que requieren gases médicos; no se han realizado ampliaciones a la tubería principal desde que la unidad médica inició sus operaciones, sin embargo, como se mencionó anteriormente, sí se han realizado ampliaciones y remodelaciones a los ramales de la tubería lo cual podría afectar negativamente la eficiencia en la entrega de los gases médicos.

3. MARCO TEÓRICO

En este apartado se estudiarán los temas básicos para entender adecuadamente el funcionamiento de la distribución de gases médicos en la unidad médica “Ceibal” del IGSS.

3.1. Gases médicos

También conocidos como gases medicinales son aquellos que por sus características son utilizados para consumo humano y en otras aplicaciones médicas. Actualmente los gases médicos son considerados como medicamento, debido a esto, su utilización es cada vez más esencial en todo el campo médico.

A continuación, se muestran los gases de mayor uso médico

- Oxígeno (O_2)
- Óxido nitroso (N_2O)
- Aire médico (O_2-N_2 y otros)
- Vacío
- Helio (He)
- Dióxido de carbono (CO_2)
- Nitrógeno (N_2)

Los gases médicos utilizados en la unidad médica son los siguientes:

- Oxígeno
- Aire médico
- Vacío

Para comprender el objetivo de la implementación de una red de distribución de gases médicos, se da una breve descripción de los gases médicos almacenados y producidos en la casa de máquinas.

3.1.1. Oxígeno

El oxígeno es el gas médico más utilizado y de mayor importancia para las instalaciones de cuidado médico, ya se ha demostrado su importancia desde hace muchos años.

3.1.2. Aire médico

El aire es una mezcla de gases, transparente, inodora e insípida, compuesto principalmente por una mezcla de nitrógeno y oxígeno en la proporción aproximada de 78 % a 21 % respectivamente. Tiene también residuos de helio, kriptón, argón, hidrógeno, así como vapor de agua ocupando el 1 % restante.

El aire médico se obtiene mediante dos formas:

- La compresión de aire atmosférico purificado y filtrado.
- La mezcla de oxígeno y nitrógeno en las proporciones aproximadas correspondientes.

Para ser considerado aire médico debe cumplir con las siguientes condiciones:

- Libre de partículas
- Bacteriológicamente apto
- Libre de aceites
- Libre de agua

3.1.3. Vacío

El vacío es simplemente una depresión del aire atmosférico. Actualmente como forma parte de las instalaciones centralizadas de gases médicos es considerado como tal.

A continuación, se muestran los campos o situaciones en las cuales es común el uso de alguno de los gases médicos mencionados anteriormente

- Terapia respiratoria y reanimación (resucitación)
- Unidad de cuidados intensivos
- Anestesia
- Creación de atmósferas artificiales y asistencia respiratoria
- Tratamiento de quemaduras
- Incubadoras
- Oxigenoterapia
- Limpieza de vías respiratorias
- Drenajes generales de sangre y secreciones
- Limpieza de heridas en cirugías
- Limpieza del área de trabajo en quirófano

3.2. Producción, almacenamiento y distribución

Los gases médicos son almacenados y distribuidos en forma de gases comprimidos y también como líquidos criogénicos, como en el caso del oxígeno líquido. Se almacenan en cilindros metálicos, los cuales son empleados regularmente para almacenamiento en estado gaseoso; para los estados líquidos se utilizan termos criogénicos y, en los casos de elevados consumos, los tanques criogénicos fijos son empleados para el almacenamiento.

Los metales tanto para los contenedores como para las tuberías de distribución deben ser cuidadosamente seleccionados, dependiendo de las condiciones de servicio. Varios aceros son aceptables para muchas aplicaciones, pero algunas condiciones de servicio pueden necesitar otro material, usualmente cobre o sus aleaciones, debido a la gran resistencia a la corrosión, a la ignición y bajo rango de combustión.

La distribución de los gases médicos se realiza a través de una red de tuberías desde los lugares de almacenamiento o producción hasta los lugares de consumo, los cuales poseen tomas, conocidas también como estaciones de salida, para poder conectar los distintos dispositivos que utilizan los gases médicos proporcionados.

También se distribuyen en los cilindros que se utilizan para su almacenamiento, ya que en ausencia de una red de distribución de gases médicos o la falla de la misma se deben transportar los cilindros hasta el paciente que lo requiere, por dicha razón los cilindros varían en tamaño para poder ser transportados de una manera fácil y en algunos casos, como en los cilindros personales, sin mayor esfuerzo.

En la unidad médica a realizar el ejercicio profesional supervisado se posee un tanque de oxígeno líquido para el almacenamiento de dicho gas, se poseen dos compresores de aire médico y dos bombas de vacío para proporcionar aire comprimido y vacío, respectivamente. También se posee una red de distribución de gases médicos que los transportan hasta los distintos servicios y encamamientos que los requieran. Se posee un banco de reserva de oxígeno y cilindros de oxígeno y aire médico para los casos que lo requieran.

3.2.1. Producción de oxígeno

El oxígeno no es producido en la unidad médica, sino que es adquirido en estado líquido y en cilindros; para almacenar el oxígeno líquido se posee un tanque y para los cilindros se posee un área de almacenamiento.

Un banco de reserva, de cilindros de oxígeno, está conectado a la red de suministro de dicho gas médico para los casos que lo requieran.

3.2.2. Producción de aire médico

Como se mencionó anteriormente, el aire médico puede ser producido de dos diferentes maneras

- Mediante compresores
- Por la mezcla de oxígeno y nitrógeno

En la casa de máquinas se poseen dos compresores de aire médico, utilizados en la producción de dicho gas, el sistema de mezcla de oxígeno y nitrógeno para producir aire médico no es utilizado.

Los compresores utilizados poseen:

- Filtros necesarios para suministrar aire libre de partículas y de aceites.
- Un secador de aire comprimido para suministrar aire libre de agua.

3.2.3. Generación de vacío

La generación de vacío se realiza mediante bombas de vacío; en la unidad médica se poseen dos bombas de vacío conectadas a la red de suministro de gases médicos en su respectiva tubería.

3.3. Anclajes, soportes y aislamientos

Las redes que conducen gases medicinales horizontales o verticales deben estar soportadas adecuadamente por medio de ganchos, platinas o ángulos fabricados en materiales que reúnan las propiedades de resistencia a la corrosión (ambiental y galvánica) y calidad necesaria acorde con los diámetros utilizados y la longitud de las tuberías.

3.4. Filtrado y secado de aire médico

El ambiente donde se aspira el aire para los compresores es muy variable, por muy limpia que parezca la atmósfera que rodea la admisión de aire de un compresor contiene elementos en suspensión que contaminan el sistema de aire médico.

Para que un aire cumpla con las condiciones de aire médico no debe poseer aceite, polvo, suciedad, ni agua, para lograr dichas condiciones se disponen filtros en el sistema de producción de aire médico por compresión de aire atmosférico y de secadores de aire comprimido.

3.4.1. Filtros

- Filtros de partículas: se usan para capturar partículas en las líneas de aire médico para prevenir la contaminación de dicho gas con partículas como polvo, polen o cualquier tipo de suciedad. Se pueden usar como prefiltros, como componentes de un sistema de filtración de aire o en un sistema con secador.
- Filtros coalescentes: contienen una estructura aleatoria de fibras de diámetro pequeño, como las partículas son arrastradas a través de la malla en una trayectoria giratoria aleatoriamente colisionan con fibras individuales en las que se adhieren las partículas sólidas como humos y polvos, y también se utilizan para eliminar el aceite y parte del vapor de agua en el suministro de dicho gas.
- Filtros de carbón activado: son utilizados como purificadores en los procesos de filtración de aire comprimido donde no son deseables los vapores ni olores. El filtro de carbón activado en conjunto con el filtro coalescente provee un aire con calidad.

Por su ubicación se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Prefiltros: son los primeros filtros que se instalan, es decir, en la admisión del aire para el compresor. Su principal misión es eliminar las partículas que podrían ser aspiradas por el compresor. La mayoría de los fabricantes ofrecen estos filtros con capacidad coalescente.
- Filtros intermedios: se instalan a continuación de los prefiltros, sus características se determinan en función de la calidad del aire requerido.
- Filtros finales: en este grupo se incluyen todos los filtros utilizados antes del suministro del aire médico, es decir la toma de aire médico, y después de los filtros intermedios.

3.4.1.1. Otros tipos de filtros

- Filtros reguladores: están formados por un filtro de partículas o coalescente y un regulador de presión.
- Filtros bactericidas: 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.

3.4.2. Secadores

El secador tiene como finalidad eliminar el agua que todavía tiene el aire, de tal forma que posteriormente no exista posibilidad alguna de que se produzcan condensaciones.

3.4.2.1. Tipos de secado

- Secado por adsorción: consiste en hacer pasar el aire a través de un material adsorbente, como por ejemplo la alúmina, que tiene la propiedad de retener el vapor de agua en su superficie. En el tiempo en que una de las torres está trabajando la otra se regenera, es decir, se elimina el agua de la alúmina. La regeneración se produce mediante el soplado de aire caliente, generalmente calentado por medio de una resistencia eléctrica. En determinados casos las torres no disponen de calentamiento, siendo entonces sus ciclos mucho más cortos, con un gran consumo de aire para el barrido de los condensados. Este tipo de secado es el más recomendado en instalaciones de producción de aire médico, sin embargo, hay que subrayar que se requieren unas instalaciones muy costosas, por lo que su uso se limita a las aplicaciones en las que se necesita un nivel de sequedad muy elevado del aire. En el caso de utilizar este tipo de secadores, como tratamiento final, se dispone de un filtro que elimine las posibles partículas de material adsorbente arrastradas por el aire.
- Secado por absorción: en este caso el aire comprimido se hace pasar por un lecho de una sustancia salina. El vapor de agua reacciona químicamente al entrar en contacto con dicha sustancia y se desprende como mezcla de agua y otras sustancias. Dicha mezcla no es regenerable y debe eliminarse regularmente del secador. Por tanto, este tipo de secado conlleva un consumo permanente de sustancia secante, que debe reponerse periódicamente dependiendo de las horas de funcionamiento del compresor.
- Secado por enfriamiento: consiste en enfriar el aire, con lo que se consigue condensar gran parte del agua que contiene el aire, eliminar el condensado formado y volver a calentar el aire antes de incorporarlo a la red.

3.5. Tomas de gas

Conocidas también como estaciones de salida o entrada (dependiendo si es gas a presión positiva o vacío), las tomas de gases médicos se utilizan para la evacuación controlada de los gases de la red de distribución para los dispositivos que los requieran, estas tomas pueden estar empotradas en la pared o pueden ser colgantes conocidas también como tomas cielíticas.

4. PROYECTO

El proyecto realizado fue la diagramación de la red de distribución de gases médicos (aire, oxígeno y vacío) existente en el Hospital General de Accidentes “Ceibal” y se realizó un estudio de dichos gases para realizar propuestas de mejora al abastecimiento, producción, almacenamiento y distribución de cada uno de los gases y del equipo involucrado.

La diagramación de la red se realizó utilizando los planos en formato digital proporcionados por la sección de mantenimiento, se realizó una inspección a toda la red para conocer su ubicación y el estado de los anclajes, soportes, aislamientos de la tubería y equipo involucrado.

Al poseer el diagrama completo se procedió a realizar un estudio de la demanda de gases, la capacidad instalada que se posee y la que se requiere, para corroborar el funcionamiento eficiente en la distribución.

También se inspeccionaron las áreas de almacenamiento y producción, así como del equipo involucrado en dichas actividades, posteriormente se realizaron las propuestas y recomendaciones para mejorar el sistema de gases médicos basándose en la normativa internacional aplicable a dicha temática.

Se realizó, además, un plan de mantenimiento e inspecciones para dicha red de distribución, áreas de almacenamiento y equipo de producción, para ser proporcionado a la sección de mantenimiento, así como los planos con el diagrama de la red de distribución.

5. FASE DE INVESTIGACIÓN

5.1. Diagnóstico de la situación actual

En el Hospital General de Accidentes “Ceibal” se posee una red de distribución de gases médicos para transportar aire médico, oxígeno y vacío desde la casa de máquinas hasta los servicios y encamamientos que lo requieren, sin embargo, no se posee un diagrama de dicha red para conocer la trayectoria de la tubería y la ubicación de los anclajes, soportes, aislamientos y llaves de paso, la carencia de dicho diagrama hace ineficiente un correcto mantenimiento preventivo e inspecciones y dificulta la localización de las llaves de paso, de ser necesario el cierre del flujo de los gases en caso de emergencias o fugas.

Tampoco se poseen planes de mantenimiento preventivo e inspecciones para corroborar si los trabajos realizados y el momento en que se realizan son los adecuados, bien sea por los técnicos de la sección de mantenimiento o por las empresas contratadas para dichos fines en los casos en que se tercerizan los mantenimientos.

Debido a las ampliaciones realizadas desde que el hospital entró en funciones, el aumento de los pacientes atendidos y el escaso mantenimiento preventivo e inspecciones al sistema de producción y distribución de los gases médicos, es necesario realizar un estudio en la demanda de los gases y corroborar si las instalaciones y equipos cumplen con las normas establecidas en lo que respecta a los gases médicos en instalaciones hospitalarias, también, por la seguridad del personal y los pacientes es necesario proporcionar parámetros de seguridad industrial y hospitalario.

5.2. Descripción de la institución

El Hospital General de Accidentes “Ceibal” es una unidad médica perteneciente al Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, se encarga de la atención médica en caso de accidentes y el cuidado de pacientes en otras ramas médicas, para dicho fin en muchos casos es necesario contar con gases médicos que ayuden a la atención y recuperación de los pacientes, en el caso de dicha unidad los gases médicos que proporciona la sección de mantenimiento son aire comprimido de grado médico, oxígeno y vacío.

5.3. Ubicación

El Hospital General de Accidentes “Ceibal” se encuentra ubicado en la 13 Ave. 1-51, Colonia Monte Real, zona 4, Mixco, a un costado de la calzada San Juan.

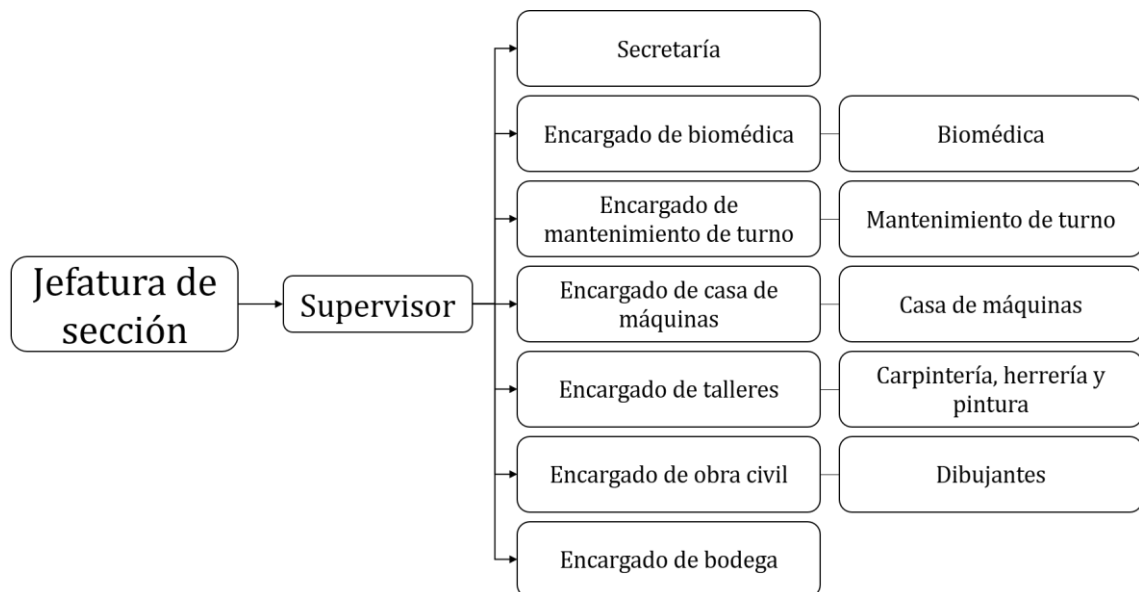
5.4. Misión

“Proteger a nuestra población asegurada, contra la pérdida o deterioro de la salud y del sustento económico, debido a las contingencias establecidas en la ley; administrando los recursos en forma adecuada y transparente”.

5.5. Visión

“Ser la institución moderna de Seguro Social, caracterizada por su permanente crecimiento y desarrollo, que cubre a la población que por mandato legal le corresponde, así como por su solidez financiera, excelente calidad de sus prestaciones con eficiencia y transparencia de su gestión”.

Figura 1. Organigrama de la sección de mantenimiento



Fuente: elaboración propia.

5.6. Definiciones básicas

A continuación, se presentan algunas definiciones que son básicas, sin embargo, son esenciales para comprender lo que implica un sistema de distribución de gases.

5.6.1. Importancia del sistema de distribución de gases médicos

La importancia del sistema de distribución de gases médicos radica en la capacidad de atender al paciente de una manera más eficiente, disminuyendo las pérdidas innecesarias de tiempo al transportar los equipos portátiles para proporcionar dichos gases, garantizando así el suministro constante de los mismos.

5.6.2. Descripción de los gases médicos

A continuación, se darán definiciones de los gases utilizados en la unidad médica.

5.6.2.1. Oxígeno

Es un elemento que, en condiciones normales de presión y temperatura, es un gas, necesario para la vida como la conocemos y que se encuentra en el aire atmosférico abarcando una porción aproximada del 20 % del total del aire que respiramos.

En la medicina se le considera un medicamento, es utilizado en casos diversos como los tratamientos de enfermedades pulmonares obstructivas, entre otras; su utilización es imprescindible en la resucitación cardiorrespiratoria, cuidados intensivos, anestesia, tratamiento de quemaduras, terapia hiperbárica, entre otros.

5.6.2.2. Aire médico

En la unidad médica el aire médico se obtiene mediante la compresión de aire atmosférico, el cual es purificado y filtrado para que cumpla con los requisitos necesarios para el consumo de los pacientes, el aire médico es esencial en los encamamientos de cuidados intensivos, salas de emergencias y en los quirófanos, en este documento se denominará indistintamente aire médico o aire medicinal ya que ambos términos son aceptables.

Las condiciones fundamentales que debe cumplir el aire médico son las siguientes:

- Libre de partículas
- Bacteriológicamente apto
- Libre de aceites
- Libre de agua

5.6.2.3. Vacío

Es un espacio lleno con gases a una presión total menor que la presión atmosférica, esto significa que cuanto más se disminuya la presión en dicho espacio mayor vacío se obtendrá; en otras palabras, no es más que una depresión del aire atmosférico. Actualmente como forma parte de las instalaciones centralizadas de gases médicos es considerado como tal, se produce en una cavidad cerrada o tanque donde la presión del aire es menor que la atmosférica.

5.6.3. Formas de obtención

A continuación, se presentan las formas en que se obtienen los gases médicos utilizados en la unidad médica.

5.6.3.1. Oxígeno

El oxígeno puede obtenerse mediante varias maneras, sin embargo, el oxígeno utilizado en la unidad médica no es producido *in situ*, sino que se adquiere a un tercero.

5.6.3.2. Aire médico

El aire médico se puede obtener de dos maneras:

- Por la mezcla de nitrógeno y oxígeno en las proporciones respectivas para obtener aire sin impurezas ni agua y bacteriológicamente apto.
- Por la compresión de aire atmosférico filtrado y posteriormente secado.

En la casa de máquinas de la unidad médica se utiliza únicamente la compresión del aire, para dicha compresión se tienen dos compresores de aire de grado médico.

5.6.3.3. Vacío

El vacío se produce en la unidad médica a través de dos bombas de vacío ubicadas en la casa de máquinas.

5.7. Normativa aplicable

Las normativas que se utilizaron como referencia son las siguientes:

- NFPA 99 *Standard for health care facilities* (Estándar para instalaciones de cuidado médico).
- NFPA 50 *Standard for bulk oxygen systems at consumer sites* (Estándar para sistemas masivos de oxígeno en el sitio del consumidor).
- ISO 14617 *Graphical symbols for diagrams* (Símbolos gráficos para diagramas).

La Organización Internacional de Normalización (*International Organization for Standardization*) es una organización para la creación de estándares internacionales, el uso de estándares facilita la creación de productos y servicios que sean seguros, fiables y de calidad.

La norma ISO 14617, Símbolos gráficos para diagramas (*Graphical symbols for diagrams*) fue utilizada como base para la realización del diagrama del sistema de distribución de gases médicos de la unidad, en los planos proporcionados por la sección de mantenimiento.

La Asociación Nacional de Protección contra el Fuego o NFPA (*National Fire Protection Association*) crea y mantiene normas y requisitos mínimos para la prevención contra incendios, dichas normas son utilizadas por el personal encargado de la seguridad.

La norma NFPA 99 abarca los aspectos de distribución de gases médicos y la norma NFPA 50 abarca los principios para los sistemas masivos de oxígeno, por ello a continuación se establecen ciertos criterios importantes a tomar en cuenta.

5.7.1. NFPA 99 Standard for Health Care Facilities (Estándar para instalaciones de cuidado médico)

- Legislación y regulación:

Los usuarios de la norma NFPA 99 deben consultar la legislación, estatal y local aplicable. La NFPA, por medio de sus publicaciones o sus códigos, estándares o prácticas recomendadas, no intenta instar acciones que no estén en conformidad con las leyes aplicables y este documento no debe ser interpretado para tales fines.

- NFPA 99 1.1 Alcance

NFPA 99 1.1.1 El alcance de la norma NFPA 99 es establecer criterios para minimizar el riesgo de fuego, explosión y electrocución en instalaciones médicas proveyendo servicios al ser humano.

- NFPA 99 1.2 Propósito

NFPA 99 1.2.1 El propósito de la norma NFPA 99 es proveer requisitos mínimos para el desempeño, mantenimiento, pruebas y prácticas seguras para instalaciones, materiales, equipo y accesorios, incluyendo otros riesgos asociados con los riesgos primarios.

- NFPA 99 1.3 Aplicación

NFPA 99 1.3.1 La norma NFPA 99 debe ser aplicada a instalaciones de cuidados médicos.

NFPA 99 1.3.4 La norma NFPA 99 está destinada para el uso de personas involucradas en el diseño, construcción, inspección y operación de instalaciones de cuidado médico y en el diseño, manufactura y pruebas de dispositivos y equipos usados en áreas de cuidado al paciente en instalaciones de cuidado médico. Las tuberías de gases médicos no inflamables cubiertos por este documento incluyen, pero no se limitan a oxígeno, nitrógeno, óxido nitroso, aire médico, dióxido de carbono y helio.

NFPA 99 1.4 Equivalencias

NFPA 99 1.4.2 Nada en la norma NFPA 99 tiene el propósito de prevenir el uso de sistemas, métodos o dispositivos equivalentes o superiores en calidad, resistencia, incombustibilidad, efectividad, durabilidad y seguridad a aquellos descritos en este estándar. La documentación técnica debe ser sometida a la autoridad que tiene jurisdicción para demostrar equivalencias. El sistema, método o dispositivo debe ser aprobado para los propósitos destinados por la autoridad competente.

5.7.2. NFPA 50 Standard for Bulk Oxygen Systems at Consumer Sites (Estándar para sistemas masivos de oxígeno en el sitio del consumidor)

- NFPA 50 1.1 Alcance

NFPA 50 1.1 La norma NFPA 50 abarcará los principios generales recomendados para la instalación de sistemas masivos de oxígeno en los locales de los consumidores cuando el suministro a los locales de consumo tenga su origen fuera de los locales del consumidor y sea entregado por equipo móvil.

NFPA 50 1.1.2 Las provisiones de la norma NFPA 50 reflejan un consenso de lo que es necesario para proveer un grado aceptable de protección por peligros mencionados en este estándar al momento en que el estándar fue emitido.

NFPA 50 1.1.3 La norma NFPA 50 no debe aplicarse a plantas de manufactura de oxígeno u otros establecimientos operados por el proveedor de oxígeno o su agente, para propósitos de almacenaje de oxígeno y relleno de contenedores portátiles, camiones de suministro o tanques.

NFPA 50 1.1.5 Cuando el sistema masivo de oxígeno es destinado para aplicaciones de gas médico, provisiones adicionales se incluyen en la norma NFPA99, *Standard for Health Care Facilities* (Estándar para instalaciones de cuidado médico).

Conociendo el alcance y aplicabilidad de la normativa NFPA 99 y NFPA 50 se procederá a establecer los criterios para los siguientes aspectos:

- Terminología general
- Obtención de los gases
- Materiales
- Ubicación del equipo
- Almacenamiento
- Distribución
- Señalización
- Diseño y dimensionamiento
- Prevención y reducción de riesgos

Aun cuando existen muchas similitudes en los sistemas de aire médico, oxígeno y vacío, como los materiales a utilizar, válvulas, y ciertos criterios de diseño, también se deben considerar las especificaciones para cada gas, por ello, se procederá a establecer la terminología general que será aplicada para los 3 sistemas, posteriormente se establecerán los requisitos específicos para cada gas, por ejemplo, ubicación, obtención entre otros y para finalizar este apartado se establecerán los requisitos que están implicados en los tres sistemas, por ejemplo, válvulas generales, sistema de alarma, señalización general, entre otros.

5.8. Terminología general

A continuación, se definirán algunos términos utilizados en este documento ya que como lo establece norma NFPA 99 y NFPA 50, se utilizarán definiciones que deben aplicar únicamente a los términos utilizados en este documento y dichos estándares, y cuando un término no esté definido en este apartado o en otro, se deben definir utilizando el contexto inmediato y su significado ordinario.

Las definiciones que se encuentran a continuación se encuentran en la norma NFPA 99 y NFPA 50, respectivamente.

5.8.1. NFPA 99

NFPA 99 3.2.2 Autoridad competente. Es una organización, oficina o individual, que es responsable de reforzar los requisitos de un código o estándar, o de aprobar los equipos, materiales, instalaciones o procedimientos.

NFPA 99 3.2.5 Señalización. Etiqueta, símbolo o alguna otra marca de identificación que ha sido adjuntada al equipo o materiales, dicha señalización pertenece a una organización que es aceptada por la autoridad competente y que se ocupa de la evaluación del producto y mantiene una inspección periódica de la producción del equipo o materiales etiquetados y por cuyo etiquetado el fabricante debe indicar que cumple con los requisitos apropiados de los estándares o desempeños de una manera específica.

NFPA 99 3.3.4.1 Sistemas de alarma de área. Es un sistema de advertencia dentro de un área en uso, que provea inspección continua visible y audible para sistemas de gas médico y vacío de niveles 1 y 2.

NFPA 99 3.3.4.3 Sistema de alarma local. Es un sistema que provee inspección continua visible y audible para sistemas de suministro de gas médico y vacío, así como de sus equipos.

NFPA 99 3.3.4.4 Sistema de alarma principal. Es un sistema que monitorea la operación y condiciones de las fuentes de suministro, reserva (si la hay) y la presión en las líneas principales de cada sistema de gas y vacío médico.

NFPA 99 3.3.5 Fuente de alimentación alternativa. Es una disposición de uno o más generadores o sistemas de baterías, donde sean permitidas, que están destinadas a proveer alimentación eléctrica mientras exista interrupción del servicio eléctrico normal; o la utilización del servicio eléctrico público para proveer alimentación eléctrica mientras exista interrupción del servicio normal proveído por los generadores de las instalaciones.

NFPA 99 3.3.41 Sistemas de emergencia. Es un sistema de circuitos y equipos destinados a suministrar alimentación alternativa a un número limitado de funciones vitales prescritas para la protección de la vida y la seguridad.

NFPA 99 3.3.14.2 Presión atmosférica absoluta. 760 mmHg, 101,325 Kpa o 14,7 psia

NFPA 99 3.3.19 Sistemas masivos. Es una instalación o equipamiento cuyos contenedores de almacenamiento, reguladores de presión, dispositivos de alivio de presión, vaporizadores, colectores y tuberías de interconexión que terminan en una fuente de oxígeno o en una fuente 1 452 kg (3 200 lb) de óxido nitroso incluyendo las reservas no conectadas en el sitio.

NFPA 99 3.3.19.2 Sistemas masivos de oxígeno. Es una instalación o equipamiento cuyos contenedores de oxígeno, reguladores de presión, dispositivos de alivio de presión, vaporizadores, colectores y tuberías de interconexión, tienen una capacidad de almacenaje mayor de 566 m³ (20 000 ft³) de oxígeno (a presión y temperatura normal) incluyendo las reservas no conectadas en el sitio.

Debido a los riesgos de incendios, asociados a la utilización de gases médicos comprimidos, se definen algunos términos que competen para la prevención y reducción de incendios.

NFPA 99 3.3.21 Combustible. Material capaz de someterse a combustión.

NFPA 99 3.3.22 Líquidos combustibles. Es líquido que posee un punto de ignición igual o encima de 37,8 °C (100 °F). Los líquidos combustibles deben ser subdivididos como se indica a continuación:

- Líquidos de clase II, incluyen aquellos que tienen un punto de ignición igual o encima de los 37,8 °C (100 °F) y debajo de los 60 °C (140 °F).
- Líquidos de clase IIIA, incluyen aquellos que tienen un punto de ignición igual o encima de los 60 °C (140 °F) y debajo de los 93 °C (200 °F).
- Líquidos de clase IIIB, incluyen aquellos que tienen un punto de ignición igual o encima de los 93 °C (200 °F).

NFPA 99 3.3.30 Cilindro. Tanque suplementario que contiene gases o mezclas de gases a alta presión, la presión puede exceder los 2 000 psig (13,8 Kpag).

NFPA 99 3.3.51 Inflamable. Combustible que tiene la capacidad de ser encendido y consumido rápidamente por el fuego. Pueden ser sólidos, líquidos o gases que presenten estas cualidades. Muchas sustancias no inflamables en el aire se vuelven inflamables si el contenido de oxígeno del medio gaseoso es incrementado por encima de 0,235 veces la presión atmosférica absoluta.

NFPA 99 3.3.52 Gas inflamable. Es cualquier sustancia que exista en estado gaseoso a presión y temperatura atmosférica normal que es capaz de ser encendido y quemado cuando se mezcla con la proporción adecuada de aire, oxígeno u otro oxidante.

NFPA 99 3.3.53 Líquido inflamable. Líquido que tiene un punto de ignición que está debajo de los 37,8 °C (100 °F).

NFPA 99 3.3.56 Fluxómetro. Dispositivo de medición del rango del flujo volumétrico de gases y líquidos.

NFPA 99 3.3.80 Aire instrumental. Para propósitos de este estándar, el aire instrumental es aire destinado para proveer energía para dispositivos médicos y relacionados a la respiración humana (ejemplo: herramientas quirúrgicas). El aire médico y el aire instrumental son distintos sistemas para aplicaciones mutuamente excluyentes. El aire instrumental es un gas de soporte médico que cae bajo los requisitos generales para gases médicos.

NFPA 99 3.3.90 Sistemas de tubería de gas médico y vacío de nivel 1. Son los sistemas que sirven en ocupaciones donde la interrupción, del gas médico canalizado y el sistema de vacío, podría colocar a los pacientes en riesgo inminente de morbilidad o mortandad.

NFPA 99 3.3.92 Sistemas de tubería de gas médico y vacío de nivel 2. Son los sistemas que sirven en ocupaciones donde la interrupción, del gas médico canalizado y el sistema de vacío, podría colocar a los pacientes en un riesgo de morbilidad o mortandad manejables.

NFPA 99 3.3.93 Sistemas de aire comprimido de nivel 3. Es un sistema compuesto por partes, incluyendo, pero no limitado a, compresor de aire, motor, receptor, controles, filtros, secadores, válvulas, y tubería que entrega aire comprimido a una presión menor de 1 100 Kpa (menor a 160 psig) para alimentar dispositivos (jeringas, dispositivos de limpieza, piezas manuales, entre otros.) como fuente de energía. No produce aire para cumplir los requisitos médicos del aire médico y no está destinado a ser usado para dispositivos de soporte de vida.

NFPA 99 3.3.94 Sistemas de tubería de gas de nivel 3. Son sistemas que sirven en ocupaciones donde la interrupción del gas médico canalizado podría terminar procedimientos pero que no coloca a los pacientes en riesgo de morbilidad o mortandad.

NFPA 99 3.3.95 Sistemas de tubería de vacío de nivel 3. Un sistema nivel 3 de distribución de vacío que puede ser, un sistema húmedo diseñado para remover líquidos, aire, gas o sólidos del área tratada, o bien, un sistema seco diseñado para atrapar líquidos y sólidos antes de la admisión del servicio y para únicamente extraer aire y gas mediante el servicio de admisión. El sistema no está destinado a aplicaciones de vacío de nivel 1.

NFPA 99 3.3.103 Colector. Dispositivo que conecta las salidas de uno o más cilindros de gas a la central del sistema de tubería para un gas específico.

NFPA 99 3.3.106 Aire médico. Para propósitos de este estándar, el aire médico es aire suministrado desde cilindros, contenedores masivos, compresores de aire médico o que ha sido reconstituido desde oxígeno, que debe cumplir con las normas USP y nitrógeno seco y sin aceite.

El aire suministrado desde compresores *in situ* y sistemas asociados de tratamiento de aire (opuestos al aire médico USP suministrado desde cilindros) que cumple con los límites especificados es considerado aire médico. La calidad del aire ambiental debe ser determinada anteriormente a la selección del compresor y el equipo de tratamiento de aire.

NFPA 99 3.3.107 Compresor de aire médico. Es un compresor que está diseñado para excluir aceite del flujo de aire y de la cámara de compresión y que, bajo condiciones de operación normal o de cualquier falla, no añade ningún contaminante tóxico o inflamable al aire comprimido.

NFPA 99 3.3.109 Gas médico. Es gas medicinal para pacientes o gas para soporte médico.

NFPA 99 3.3.112 Vacío médico quirúrgico. Es un método utilizado para proveer una fuente de drenaje, aspiración y succión para remover fluidos corporales de los pacientes.

NFPA 99 3.3.113 Sistema de vacío médico quirúrgico. Es una central de vacío producido por equipos; y una red de tubería para succión en pacientes en aplicaciones médicas, medicas-quirúrgicas y para eliminación de gases anestésicos residuales.

NFPA 99 3.3.119 Presiones negativas. Presiones debajo de la presión atmosférica.

NFPA 99 3.3.131 Oxígeno. Es un elemento que, a presión y temperatura atmosféricas, existe como un gas incoloro, inodoro e insípido. Su propiedad excepcional es la capacidad de sustentar la vida y de sostener la combustión. Aunque el oxígeno no es inflamable, los materiales que arden en aire, arderán más vigorosamente y crearán temperaturas más altas en presencia de oxígeno o en atmósferas enriquecidas con oxígeno.

NFPA 99 3.3.131.1 Oxígeno gaseoso. Gas incoloro, inodoro e insípido; además, es el estado físico del elemento a presiones y temperaturas atmosféricas.

NFPA 99 3.3.131.2 Oxígeno líquido. Existe a temperaturas criogénicas aproximadas de $-184,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-300\text{ }^{\circ}\text{F}$) a presión atmosférica. Mantiene todas las propiedades del oxígeno gaseoso, pero en adición, cuando se le permite calentarse a la temperatura de la habitación a presión atmosférica, se evaporará y expandirá hasta llenar un volumen 860 veces su volumen en estado líquido.

NFPA 99 3.3.144 Sistema de tubería de distribución. Es una red de equipos ensamblados que comienzan en la válvula principal e incluyen el sistema de advertencia (Control, alarmas locales), tubería de interconexión, y todos los otros componentes incluyendo las estaciones de salida y entrada.

NFPA 99 3.3.145 Tubería. Es la tubería o conductos del sistema. Las tres clases generales de tubería son, líneas principales, tubos elevadores o de subida y líneas de derivación (laterales) o ramales.

NFPA 99 3.3.145.1 Líneas de derivación (laterales) o ramales. Son aquellas secciones o porciones del sistema de tubería que sirven a una habitación o grupo de habitaciones en el mismo piso de las instalaciones.

NFPA 99 3.3.145.2 Líneas principales. Es la tubería que conecta la fuente (bombas, receptores, entre otros.) con los tubos elevadores o con las líneas de derivación o ambos.

NFPA 99 3.3.145.3 Tubos elevadores. Son los tubos verticales que conectan la línea o líneas del sistema principal con las líneas de derivación en varios niveles de las instalaciones.

NFPA 99 3.3.148.1 Presión absoluta. Presión total en un sistema, con referencia al cero de presión absoluta.

NFPA 99 3.3.148.3 Presión manométrica. Se refiere a la presión total sobre (o por encima de) la presión atmosférica

NFPA 99 3.3.148.4 Presión alta. Presión que excede los 200 psig (1,38 Kpag) (215 psia).

NFPA 99 3.3.148.5 Presión parcial. Presión, en unidades absolutas, ejercida por un gas o mezcla de gases en particular. La presión contribuida por otros gases en la mezcla es ignorada. Por ejemplo, el oxígeno es uno de los constituyentes del aire; la presión parcial del oxígeno en aire estándar a presión estándar de 14,7 psia, es 3,06 psia o 0,208 veces la presión atmosférica absoluta.

NFPA 99 3.3.148.6 Presión positiva. Presión mayor a la del ambiente atmosférico.

NFPA 99 3.3.148.7 Presión de trabajo. Presión que no excede los 11,6 Kg/cm² (200 psig). Una tubería que trabaja a presiones entre 2,9 a 3,2 kg/cm² (50 a 55 psig) es convencional porque el equipo del gas médico está generalmente, diseñado y calibrado para su utilización con esas presiones.

NFPA 99 3.3.149 Regulador reductor de presión. Es un dispositivo que automáticamente reduce la presión elevada del gas a presiones bajas utilizables. En hospitales el término regulador es usado frecuentemente para describir un regulador que incorpora un dispositivo de medición de flujo.

NFPA 99 3.3.151 psia. Libras por pulgada cuadrada absolutas, unidad de medición de presión con la presión cero como el punto de referencia o presión de referencia.

NFPA 99 3.3.152 psig. Libras por pulgada cuadrada manométricas, unidad de medición de presión con la presión atmosférica como el punto de referencia o presión de referencia. Bajo condiciones estándar, 0 psig es equivalente a 14,7 psia.

NFPA 99 3.3.163 SCFM. Pies cúbicos por minuto estándar (*Standard cubic feet per minute*).

NFPA 99 3.3.173.1 Suministro operacional. Es la porción del sistema de suministro que normalmente suministra al sistema de tuberías. El suministro operacional consiste en un suministro primario o un suministro primario y secundario.

NFPA 99 3.3.173.2 Suministro primario. Es la porción del equipo fuente que realmente suministra al sistema.

NFPA 99 3.3.173.3 Suministro de reserva. Son provistos por la porción del equipo fuente que automáticamente suministra al sistema en caso de falla del suministro operacional, primario o secundario.

NFPA 99 3.3.173.4 Suministro secundario. Son provistos por la porción del equipo fuente que automáticamente suministra al sistema cuando el sistema de suministro primario se agota.

NFPA 99 3.3.180 Punto de utilización. Es una ubicación con cualquier número de estaciones de salida y entrada, dispuestos para el acceso de un facultativo durante el tratamiento a un paciente.

NFPA 99 5.1.1.2 Donde sea que el término gas médico o vacío aparezcan las provisiones deben aplicar a todo el sistema de tubería para oxígeno, óxido nitroso, aire médico, dióxido de carbono, helio, vacío médico quirúrgico, extracción de gas anestésico residuales y mezclas de los mencionados anteriormente. Donde sea que el nombre específico de un gas o de vacío ocurra la provisión debe aplicar únicamente a ese gas. Estos requisitos no restringen la distribución de otros gases inertes por medio de sistemas de tubería.

5.8.2. NFPA 50

NFPA 50 1.3.3 Sistema masivo de oxígeno. Es una instalación de equipo, como, contenedores de almacenaje de oxígeno, reguladores de presión, dispositivos de seguridad, vaporizadores, colectores y tubería de interconexión, que tiene una capacidad de almacenaje mayor a 20 000 ft³ (566 m³) de oxígeno incluyendo las reservas no conectadas, a la mano y en el sitio. El sistema masivo de oxígeno termina en el punto donde el oxígeno a la presión de servicio entra por primera vez a la línea de suministro. Los contenedores de oxígeno pueden

ser estacionarios o móviles, y el oxígeno puede estar almacenado como gas o líquido.

NFPA 50 1.3.5 Pie cúbico. Es un pie cúbico de gas a 14,7 psia (101 KPa) y 70 °F (21 °C).

NFPA 50 1.3.4 Galón. Galón estándar norteamericano (*Standard U.S. gallon*).

NFPA 50 1.3.10 Material incombustible. Material que en la forma en que es utilizado y bajo condiciones anticipadas, no encenderá, ardera, soportara combustión o soltara vapores inflamables cuando es sometido a fuego o calor.

La terminología abarcada anteriormente se utilizará para definir los requisitos básicos que debe cumplir la unidad médica y debido a que la norma NFPA 99 establece 3 niveles para los sistemas distribución de tuberías de gases médicos, establece también los criterios para la determinación del sistema utilizado:

NFPA 99 13.3.5.1 General. Donde existan instalados sistemas de gas médico, aire instrumental, vacío y extracción de gases anestésicos residuales, deben ajustarse a los requisitos del nivel apropiado. Está permitido tener sistemas de diferente nivel en el mismo edificio. El nivel apropiado debe determinarse como sigue:

Todos los sistemas deben cumplir con el nivel 1 si cualquier parte del sistema es nivel 1, excepto cuando ambas situaciones descritas a continuación apliquen:

- El o los sistemas están enteramente separados del sistema o sistemas de nivel 1 y no están conectadas a la fuente ni a la tubería de distribución de nivel 1.
- Las ocupaciones a ser suministradas y las funciones de esas ocupaciones son distintas de otras ocupaciones en el edificio.

Debido a que en la unidad médica los gases médicos son suministrados en áreas como quirófanos, sala de emergencia y unidades de cuidados intensivos, en los cuales la interrupción del flujo coloca en riesgo inminente de muerte a los pacientes y ni los sub incisos “a” ni “b” del inciso anterior se cumplen, se establece, por lo tanto, que la unidad médica posee sistemas de gases médicos de nivel 1.

Ya que la unidad posee un sistema nivel 1, se utilizarán únicamente los incisos que apliquen a dicho sistema de gas como lo indica la norma NFPA 99 inciso 5.1.1.1

Para el caso de este documento los incisos a considerar son indicados juntamente con la norma a la que pertenecen, por ejemplo: el inciso 5.1.3.5 de la norma NFPA 99 se indica como: NFPA 99 5.1.3.5.

5.9. Requisitos específicos

A continuación, se presentan los requisitos específicos que deben cumplir cada uno de los gases utilizados en la unidad médica.

5.9.1. Aire médico

A continuación, se presentan los requisitos que debe cumplir el aire médico a utilizado en la unidad médica.

5.9.1.1. Obtención

El aire médico se obtiene a partir de la compresión de aire atmosférico, por medio de compresores de grado médico, que luego es filtrado y secado; el método de mezclado de nitrógeno y oxígeno no es utilizado.

De acuerdo al inciso NFPA 99 5.1.3.5, el aire suministrado por medio de compresores, siempre que se cumplan los límites especificados, es considerado aire médico.

Según el inciso NFPA 99 5.1.3.5.1, se debe admitir aire de la mejor calidad posible, desde una fuente de aire ambiental local limpia, no debe añadir contaminantes en forma de partículas, olores y otros gases; se debe secar, filtrar y regular la presión para suministrar dicho aire y se debe realizar únicamente por medio del sistema de distribución de tuberías que sea de uso exclusivo para respiración humana.

Las fuentes de aire médico, únicamente deben estar conectados al sistema de distribución de aire médico y a ningún otro, como lo indica el inciso NFPA 99 5.1.3.5.2, por lo tanto, el compresor de aire médico no se debe utilizar para suministrar aire para ningún otro propósito ya que esto incrementa las interrupciones en el suministro, reducen la vida útil del equipo e introducen más oportunidades de contaminación.

A continuación, se presentan las características que deben tener los sistemas de compresión de aire médico, dados por los incisos NFPA 99 5.1.3.5.3.2, NFPA 99 5.1.3.5.3, NFPA 99 5.1.3.5.4.4, NFPA 99 5.1.3.5.4.5 y NFPA 99 5.1.3.5.11.4, respectivamente:

- Un medio automático para prevenir el retroceso en el flujo desde un compresor en funcionamiento a uno apagado.
- Una válvula manual de cierre para aislar cada compresor del sistema, de la tubería y de otros compresores en el sistema.
- Filtros-silenciadores en la admisión.
- Válvulas de alivio ajustadas al 50 % arriba de la presión de línea.
- Tubería y componentes entre el compresor y la válvula fuente que no contribuyan a aumentar los niveles de contaminación.
- Equipo de secado de aire para evitar la condensación del vapor de agua en el sistema de distribución de tubería.
- Montaje anti vibratorio para los compresores.
- Conexiones flexibles para interconectar los compresores y la tubería.
- Los receptores de aire médico deben estar provistos con apropiadas válvulas que permitan el flujo del aire comprimido para entrar y salir en diferentes puntos durante condiciones de operación normal y permitir que el receptor tenga desviaciones durante el servicio sin apagar el sistema de suministro de aire médico.

5.9.1.1.1. Compresores de grado médico

Según la norma NFPA 99 inciso 5.1.3.5.4.1 para que un compresor de aire sea considerado de grado médico debe estar diseñado para prevenir la

introducción de contaminantes o líquidos en la tubería por cualquiera de los siguientes métodos.

- Eliminación del aceite en cualquier lugar del compresor.
- Proveer a los compresores reciprocantes con una separación de las secciones que contienen líquidos, de la cámara de compresión por al menos dos sellamientos, creando un área abierta a la atmosfera.
- Compresores de elementos rotativos provistos con una cámara de compresión libre de aceite.

5.9.1.1.2. Filtros

Las condiciones del aire en la admisión del compresor de aire determinan el tipo de filtro provisto para el sistema de suministro de aire comprimido. Todos los filtros deben ser examinados trimestralmente por la presencia de líquidos o partículas en exceso y reemplazarlos de acuerdo con las especificaciones del fabricante, según lo indica la norma NFPA 99.

De acuerdo con el inciso NFPA 99 5.1.3.5.8 los filtros para aire médico deben cumplir con lo siguiente:

- Ser apropiado para las condiciones del aire de admisión.
- Estar ubicado del lado de la presión alta (lado de la fuente) de los reguladores de línea final.
- Estar dimensionados para un 100 % del pico de demanda del sistema calculado en condiciones de diseño y estar estimado para un mínimo de un 98 % de eficiencia a 1 micrón; o mayor.
- Estar equipado con un indicador visual, continuamente, mostrando el estado de la vida útil del filtro.

- Estar contruidos por materiales considerados apropiados por el fabricante.

El inciso NFPA 99 5.1.3.5.8.1 indica que los compresores deben tener los siguientes filtros:

- Filtros coalescentes con indicadores de cambio de los elementos.
- Filtros de carbón activado con indicadores colorimétricos de hidrocarburo.

5.9.1.1.3. Secador

Los secadores de aire médico deben cumplir con los requisitos indicados en el inciso NFPA 99 5.1.3.5.7, los cuales son:

- Estar diseñado para proveer aire con un punto de rocío máximo que esté debajo del punto de congelación (0 °C [32 °F) para cualquier nivel de demanda.
- Estar dimensionado para un 100 % del pico de la demanda bajo condiciones de diseño.
- Estar construido con materiales considerados adecuados por el fabricante.
- Estar provistos con montajes antivibratorios de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

5.9.1.2. Materiales

De acuerdo al inciso NFPA 99 5.1.3.5.4.3 los materiales utilizados en la construcción del compresor deben ser considerados adecuados por el fabricante.

Según el inciso NFPA 99 5.1.3.5.13.4 la tubería de la admisión del compresor debe ser dura, de cobre sin costura y uno de los siguientes:

- ASTM B 819, Especificación estándar para tubos de cobre sin costura para sistemas de gas médico.
- ASTM B 88, Especificación estándar para tubos de cobre sin costura para agua (tipo K o L).
- ASTM B 280, Especificación estándar para tubería de cobre sin costura para el campo de servicio de aire acondicionado y refrigeración, 208A CR.

5.9.1.3. Ubicación de equipo

El compresor de aire de grado médico debe estar ubicado cumpliendo los siguientes requisitos, dados por los incisos NFPA 99 5.1.3.3.3.2 y NFPA 99 5.1.3.5.3.1, respectivamente:

- Estar ventilado para prevenir la acumulación de calor.
- Estar ubicado en interiores, en un área dedicada a equipo mecánico y con sus utilidades respectivas (electricidad, iluminación, drenaje, entre otros).

5.9.1.4. Almacenamiento

A continuación, se presentan los requisitos que debe cumplir el almacenamiento del aire médico utilizado en la unidad médica.

5.9.1.4.1. Tanques o receptores de aire médico

Según el inciso NFPA 99 5.1.3.5.6 los tanques o receptores de aire médico deben tener una capacidad suficiente para prevenir que los compresores trabajen en ciclos cortos y deben poseer lo siguiente:

- Válvulas de alivio de presión
- Drenado automático y manual o únicamente manual.
- Mirilla de vidrio
- Indicador de presión

5.9.1.5. Diseño y dimensionamiento

Cumpliendo con el inciso NFPA 99 5.1.3.5.9 se debe disponer de reguladores de presión para el aire médico los cuales deben cumplir con lo siguiente:

- Estar dimensionados para el 100 % del pico de la demanda calculado en condiciones de diseño.
- Estar contruidos con materiales considerados adecuados por el fabricante.
- Estar equipados con un indicador de presión, indicando la presión que entrega.

Para el sistema de aire médico, además del sistema general de alarma, el inciso NFPA 99 5.1.3.5.10 indica que se debe disponer una alarma local provista para las fuentes de aire médico, en este caso por medio de compresores de aire.

El sistema de suministro de aire médico por medio de compresores, debe poseer no menos de dos compresores, y aun cuando el compresor de mayor capacidad se encuentre fuera de servicio, el sistema debe ser capaz de suministrar el flujo máximo calculado al momento del diseño, esto está establecido en el inciso NFPA 99 5.1.3.5.11.2.

En lo que respecta a los secadores, filtros y reguladores, el inciso NFPA 99 5.1.3.4.11.5, indica que deben ser seleccionados para que funcionen al doble del flujo máximo calculado al momento del diseño.

También se indica, en el inciso NFPA 99 5.1.3.5.11.6, que deben estar provistos con válvulas manuales del lado de alta presión y con válvulas antiretorno o manuales del lado de baja presión, con la finalidad de permitir el servicio de los componentes sin que el sistema deje de suministrar.

Para el monitoreo de la calidad del aire suministrado y las pruebas necesarias, el inciso NFPA 99 5.1.3.5.11, establece la necesidad que colocar puertos de muestreo, los cuales deben poseer una válvula DN8 (NPS 1/4) del lado de baja presión de los siguientes elementos, cuando se disponga de ellos

- Regulador de presión de línea
- Monitor de punto de rocío
- Monitor de monóxido de carbono

El sistema de aire médico debe estar provisto de una válvula fuente, según lo indica el inciso NFPA 99 5.1.3.5.11.12, más adelante se establecen los criterios a cumplir por dicha válvula.

El sistema de compresores de aire médico, al ser un sistema alimentado eléctricamente, debe cumplir con las disposiciones dadas en los incisos NFPA 99 5.1.3.5.12.1 y NFPA 99 5.1.3.5.12.2, respectivamente:

- El compresor secundario debe activarse automáticamente cuando el compresor en operación es incapaz de mantener la presión requerida.
- Alternancia automática o manual de los compresores para permitir la división del tiempo de operación. Si la alternancia automática de los compresores no es provista, el personal de las instalaciones debe disponer de un calendario de alternancia manual.

Para la admisión de aire al compresor de grado médico, se establecen los siguientes requisitos, dados por los incisos NFPA 99 5.1.3.5.13.1, NFPA 99 5.1.3.5.13.2 y NFPA 99 5.1.3.5.13.6, respectivamente:

- El compresor de aire médico debe admitir el aire de una fuente limpia de aire, localizada donde no se anticipe contaminación de escapes de motores, ventilas de almacenamiento de combustibles, descargas de sistemas de vacío médico quirúrgico, partículas de materia y olores de cualquier tipo.
- La admisión del aire del compresor debe estar localizada en las afueras sobre el nivel del techo a una distancia mínima de 3,05 m (10 ft) de cualquier puerta, ventana, salida, otra admisión o aberturas en el edificio y a una distancia mínima de 6,1 m (20 ft) sobre el suelo.
- El final de la admisión debe estar doblado hacia abajo y estar protegido por una malla o de cualquier manera estar protegida contra la entrada de bichos, escombros o precipitación pluvial por pantallas fabricadas o compuestas de material no corrosivo.

5.9.2. Oxígeno

A continuación, se presentan los requisitos que debe cumplir el oxígeno utilizado en la unidad médica.

5.9.2.1. General

La norma NFPA 99 diferencia el sistema de suministro de oxígeno de distintas maneras, dependiendo de la capacidad de almacenamiento, por lo tanto, se debe determinar qué tipo de sistema utiliza la unidad médica, por lo que a continuación se muestran las cantidades almacenadas de oxígeno a temperatura y presión normales.

Tabla I. **Capacidad de almacenamiento de oxígeno**

Oxígeno almacenado		
Galones (U.S.Gal)	Metros cúbicos (m³)	Pies cúbicos (ft³)
1 354 669,10	5 127,98	181 093,49

Fuente: elaboración propia.

La norma NFPA 99 en su inciso 5.1.3.3.1.9 establece que, cuando se tiene una capacidad de almacenaje mayor de 20 000 ft³ (566 m³) de oxígeno el sistema se considera como sistema masivo, por lo tanto, se establece que la unidad médica posee un sistema masivo de oxígeno, por lo que es necesario considerar las provisiones adicionales que se incluyen en la norma NFPA 50, de allí que se incluya dicha norma dentro de la normativa aplicable.

5.9.2.2. Obtención

En la unidad médica se obtiene el oxígeno a utilizar de un tercero, la empresa contratada para el servicio de suministro de oxígeno líquido y la adquisición de oxígeno gaseoso en cilindros es “Productos del Aire”.

5.9.2.3. Materiales

El inciso NFPA 99 5.1.3.4.4 indica que todos los componentes del sistema de oxígeno o mezclas que contengan más del 23,5 % de oxígeno deben ser compatibles con oxígeno y no estar contruidos con materiales fácilmente inflamables, estos componentes incluyen, pero no se limitan a:

- Contenedores
- Válvulas
- Sellos de válvulas
- Lubricantes
- Empaques
- Equipo de interconexión
 - Tubería
 - Mangueras

Los metales para los contenedores y tuberías deben ser cuidadosamente seleccionados dependiendo de las condiciones de servicio. Varios aceros son aceptables para muchas aplicaciones, pero algunas condiciones de servicio pueden requerir otros materiales (usualmente cobre o sus aleaciones) debido a su gran resistencia a la ignición y bajo rango de combustión.

5.9.2.4. Ubicación del equipo

Como se indicó anteriormente el sistema de suministro de oxígeno es de tipo masivo, por lo que el inciso NFPA 99 5.1.3.3, indica que el equipo debe estar ubicado en sitios que hayan sido preparados para cumplir con los requisitos de la norma NFPA 50, Estándar para sistemas de suministro masivo de oxígeno en el sitio del consumidor.

También se recalca el hecho de que el sistema de suministro masivo fue instalado en el sitio por un tercero, por lo tanto según el inciso NFPA 99 5.1.3.3, es responsabilidad de la organización responsable, la operación y el mantenimiento del sistema de suministro masivo, así como asegurar que todos los componentes del sistema de suministro funcionen apropiadamente; sin embargo se determinarán los requisitos básicos para determinar si el sistema se ubica cumpliendo la norma establecida en los incisos NFPA 99 5.1.3.3.1.5, NFPA 99 5.1.3.3.1.6, NFPA 99 5.1.3.3.3.1, NFPA 99 5.1.3.3.1, NFPA 99 5.1.3.3.3.1 (a) y NFPA 99 5.1.3.3.3.1 (b), respectivamente:

- Las ubicaciones deben ser escogidas para permitir el acceso de vehículos de entrega y manipulación de los cilindros.
- Las ubicaciones en interiores para oxígeno y mezclas de oxígeno no deben comunicarse con lo siguiente:
 - Áreas envueltas en cuidado critico de pacientes y para anestesia.
 - Ubicaciones almacenando materiales inflamables, tanques de almacenamiento de líquidos combustibles o inflamables.
 - Cuartos que contengan transformadores o motores.
 - Cocinas o áreas con llamas.

- Estar ventilados para prevenir la acumulación de gases médicos derivados de fugas y de la operación de dispositivos de seguridad por sobrepresión en cilindros o colectores.
- Los cilindros en uso y en almacenamiento deben ser prevenidos de alcanzar temperaturas que excedan los 54 °C (130 °F).
- Todos los sistemas de suministro en interiores deben tener, válvulas de alivio ventiladas.
- Las ubicaciones de suministro en interiores deben estar provistas de sistemas de ventilación mecánicos para arrastrar al aire desde 3 m (1 ft) del piso y operar continuamente.

Adicional a las indicaciones especificadas por la norma NFPA 99, mostradas anteriormente, la norma NFPA 50 establece las siguientes indicaciones aplicables a los sistemas masivos de oxígeno, dadas en los incisos NFPA 50 2.1.1, NFPA 50 2.1.2, NFPA 50 2.1.4, NFPA 50 2.2.1, NFPA 50 2.2.2, NFPA 50 2.2.3, NFPA 50 2.2.4, NFPA 50 2.2.5, NFPA 50 2.2.10 y NFPA 50 2.2.12, respectivamente:

- El sistema masivo de oxígeno debe ser ubicado sobre el suelo, en las afueras o debe estar instalado en un edificio a con construcciones resistentes al fuego, incombustibles o limitadamente combustibles, adecuadamente ventilado y utilizarlo con un propósito exclusivo. Esta ubicación debe ser seleccionada de manera que los contenedores y el equipo asociado no deba estar entre o expuesto a la falla de líneas eléctricas, tubería que contenga cualquier clase de líquidos inflamable o combustible, o tubería que contenga gases inflamables.
- El sistema debe estar ubicado de manera que sea fácilmente accesible al equipo móvil de suministro y al personal autorizado. El sistema masivo de

oxígeno no debe estar ubicado en terrazas de edificios o de otras estructuras.

- Donde sea almacenado oxígeno en forma líquida, una superficie de material incombustible debe ser provista a nivel del suelo debajo de las conexiones de recarga para el contenedor y el equipo móvil de suministro. Esta área debe tener al menos 3 ft (1 m) de diámetro desde el punto a nivel del suelo donde pueda haber fuga de oxígeno líquido durante la descarga y la operación normal del sistema. El área debajo de equipo móvil de suministro debe tener al menos el ancho completo del vehículo y al menos 8 ft (2,5 m) en la dirección del eje del vehículo. Para este estándar, asfalto es considerado como material combustible.
- La distancia mínima del sistema masivo de oxígeno a cualquier edificio con construcción de madera debe ser 50 ft (15 m).
- La distancia mínima del sistema masivo de oxígeno a cualquier edificio con construcción que no sea de madera debe ser 0,3 m (1 ft) (u otra distancia que permita el servicio al sistema).
- La distancia mínima del sistema masivo de oxígeno a cualquier edificio con aberturas o estructuras adyacentes debe ser de 3 m (10 ft).
- La distancia mínima del sistema masivo de oxígeno a cualquier clase líquido inflamable o combustible almacenado sobre el suelo debe ser 4,6 m (15 ft).
- La distancia mínima del sistema masivo de oxígeno a cualquier clase de almacenaje inflamable o combustible bajo tierra debe ser 15 m (50 ft).
- La distancia mínima del sistema masivo de oxígeno a cualquier clase de lugar de reuniones públicas debe ser de 15 m (50 ft).
- La distancia mínima del sistema masivo de oxígeno a cualquier clase de banqueta o parqueo de vehículos debe ser de 3 m (10 ft).

5.9.2.5. Almacenamiento

Los requisitos especiales que debe tener el almacenaje de oxígeno se indican en los incisos NFPA 99 5.1.3.3.4.1 y NFPA 99 5.1.3.3.4.2, respectivamente.

- Los cilindros de gas médico, vacíos o llenos, cuando no estén conectados, deben ser almacenados en localizaciones en la misma habitación o recinto de sus respectivas centrales de sistema de suministro.
- Los cilindros, estén llenos o vacíos, no deben ser almacenados en recintos que contengan fuentes con compresor de aire médico, sistemas de suministro de vacío médico o sistemas de extracción de gases anestésicos residuales.

5.9.2.6. Distribución

De manera independiente a la distribución del oxígeno por medio de un sistema de tubería, el cual será abarcado posteriormente, se considera como distribución al transporte de cilindros de oxígeno por lo que las características para las carretas de mano se encuentran en el inciso NFPA 99 9.5.3.1.1 y se mencionan a continuación:

- Estar contruidos específicamente para el trasporte de cilindros de gas.
- Permanecer erguidos al momento de soltarlos estando en posición vertical (ser autosostenibles).
- Estar provistos con cadenas o sujetadores apropiados para retener el cilindro.

5.9.2.7. Etiquetado y señalización

Además de los requisitos generales de etiquetado y señalización, tratados posteriormente, se muestran los requisitos especiales para las centrales de suministro del sistema de oxígeno, dados por los incisos NFPA 99 5.1.3.1.2, NFPA 99 5.1.3.1.3, NFPA 99 5.1.3.4.8.1, NFPA 99 5.1.3.4.8.2 (1), NFPA 99 5.1.3.4.8.2 (2) y NFPA 99 5.1.3.4.8.2 (3), respectivamente:

- Los cilindros deben estar identificados por etiquetas o plantillas que indiquen su contenido.
- Los contenedores de líquidos deben tener una identificación adicional visible desde todas direcciones (como cinta envolvente), con un mínimo de 51 mm (2 in) de la altura de las letras.
- Los siguientes sistemas deben contener señalización local en la ubicación del equipo.
 - Colectores de cilindros de gas con suministro de reserva
 - Sistemas masivos de líquido criogénico
- Proveer únicamente indicaciones visuales.
- Indicar el servicio y condiciones a ser monitoreadas.
- En instalaciones al aire libre, deben estar instaladas bajo los requisitos del fabricante.

5.9.2.8. Diseño y dimensionamiento

Los cabezales de los colectores de cilindros de oxígeno deben cumplir con los siguientes requisitos establecidos por el inciso 5.1.3.4.9.

- Conexiones para cilindros con la cantidad adecuada para las aplicaciones del cabezal.
- Una conexión para cada cilindro, permanentemente conectadas.
- Un filtro para prevenir la intrusión de viruta hacia el control del colector.
- Una válvula de cierre, en el lado de baja presión del cilindro más cercano a la conexión, pero del lado de alta presión del punto al que se conecta el cabezal a la central del sistema de suministro.
- Un indicador de presión, indicando la presión del contenido del cabezal.
- Una válvula antiretorno para prevenir el retroceso del flujo hacia el cabezal y para permitir el mantenimiento al cabezal.
- Para los de cilindros de gas, cada conexión para cilindros debe tener una válvula antiretorno para prevenir la pérdida de gas en caso de que el cilindro se dañe.
- Debe haber un regulador de presión para reducir la presión del cilindro a una presión intermedia para permitir la operación apropiada de los demás cabezales.
- Si se destina para servicios de líquido criogénico debe llevar una válvula de alivio.

Los cabezales de los colectores de oxígeno líquido deben cumplir con los requisitos dados en los incisos NFPA 99 5.1.3.4.12.1 (2), NFPA 99 5.1.3.4.12.2, NFPA 99 5.1.3.4.12.3, NFPA 99 5.1.3.4.12.5, NFPA 99 5.1.3.4.12.5 (2), NFPA 99 5.1.3.4.12.8, NFPA 99 5.1.3.4.13.6 (1), NFPA 99 5.1.3.4.13.6 (4), NFPA 99 5.1.3.4.13.8 (1) y NFPA 99 5.1.3.4.13.8 (2), respectivamente:

- Si se ubica en interiores, debe estar instalado dentro de un cuarto utilizado únicamente para ese propósito.
- Los colectores deben tener su cabezal primario y secundario ubicado en el mismo recinto.

- El cabezal de reserva debe estar ubicado en el mismo recinto.
- El colector debe incluir un medio automático para controlar los tres cabezales.
- Si se provee de un contenedor líquido y uno de gas (un arreglo híbrido) el cabezal para el líquido será el primario y el de gas, el secundario.
- El colector de esta categoría debe incluir un medio automático para activar el cabezal de la reserva en caso de que el cabezal primario y el secundario no puedan suministrar al sistema.
- Un envase de líquido criogénico secundario o un cabezal de cilindros cumpliendo, teniendo suficientes conexiones para el suministro de un día promedio, pero no menor a tres.
- Una válvula anti retorno para prevenir el retorno del flujo hacia el sistema de reserva.
- Las fuentes masivas de líquido criogénico deben incluir medios automáticos para que, mientras el sistema de suministro primario esté funcionando, la reserva no suministre al sistema hasta que la fuente primaria se vea reducida a un nivel más bajo que la presión de activación de la reserva.
- Las fuentes masivas de líquido criogénico deben incluir medios automáticos para que cuando la fuente de suministro principal no pueda suministrar al sistema la reserva debe empezar a suministrar al sistema automáticamente.

El sistema masivo de oxígeno líquido debe estar diseñado de tal manera que, durante las operaciones de llenado, los letreros en el área de descarga sean visibles para el personal y debe proveerse protección contra sobrepresiones del envase, como lo indica el inciso NFPA 99 5.1.3.4.13.1.

Además, el inciso NFPA 99 5.1.3.4.13.2, indica que durante las operaciones de entrega los siguientes componentes deben ser fácilmente accesibles para el personal:

- Conexión de llenado
- Válvulas superior e inferior de llenado
- Válvula de la manguera de purga
- Válvula de ventilación
- Indicador del nivel del líquido
- Indicador de presión del tanque

Para los vaporizadores del sistema criogénico se establecen los siguientes criterios establecidos en el inciso NFPA 99 5.1.3.4.13.10.

- Debe permitir la transferencia de calor con el ambiente o alguna fuente externa de calor (ejemplo: calentador eléctrico, agua caliente, vapor).
- Estar diseñado para proveer la capacidad adecuada para el máximo flujo promedio del consumidor bajo condiciones locales, condiciones estacionales para el clima y la humedad y considerando estructuras que obstruyan la circulación del aire y la luz del sol.
- Tener una configuración de tubería manual o automática de tal manera que el operador del vaporizador o secciones del vaporizador puedan cambiar a vaporizadores fuera de operación o secciones del vaporizador, para descongelar por medio de una configuración valvular, para asegurar el flujo continuo a las instalaciones a través de cualquiera o ambos vaporizadores.

La norma NFPA 50 establece los siguientes criterios adicionales, los cuales están dados por los incisos NFPA 50 3.1.1, NFPA 50 3.3.1 y NFPA 50 3.4.1, respectivamente:

- Contenedores instalados permanentemente deben estar provistos de soporte sólido de material incombustible en cimientos de material incombustible.
- Los contenedores masivos de oxígeno, independientemente de la presión de diseño, deben estar equipados con dispositivos de alivio.
- Los vaporizadores deben estar anclados y su tubería de conexión debe proveer expansión y contracción debido a los cambios de temperatura.

5.9.2.9. Prevención y reducción de riesgos

Se presentan a continuación en los requisitos especiales para los sistemas de oxígeno, dados por los incisos NFPA 99 5.1.3.5, NFPA 99 5.1.3.1.6, NFPA 99 5.1.3.2.3, NFPA 99 5.1.3.2.4, NFPA 99 5.1.3.2.5, NFPA 99 5.1.3.2.6, NFPA 99 5.1.3.2.7, NFPA 99 5.1.3.2.8, NFPA 99 5.1.3.2.9, NFPA 99 5.1.3.2.10, NFPA 99 5.1.3.2.12, NFPA 99 5.1.3.2.13, NFPA 99 9.3.1, NFPA 99 9.3.7, NFPA 99 9.4.2.1, 9.4.2.2, NFPA 99 9.4.2.9, NFPA 99 9.4.3.3, NFPA 99 9.4.3.4, NFPA 99 9.4.3.5, NFPA 99 9.7.3.3, NFPA 99 9.7.5.1, NFPA 99 9.7.5.2, NFPA 99 9.7.5.3, NFPA 50 4.2.1 y NFPA 50 4.2.2, respectivamente:

- Las tomas de los cilindros y contenedores de líquido criogénico deben ser imposibles de remover con herramienta común.
- El contenido de los cilindros y contenedores de líquido criogénico debe ser verificado previo a su utilización.

- Únicamente cilindros de gas, contenedores reusables y sus accesorios deben ser permitidos para almacenar en las habitaciones que contengan sistemas de suministro o cilindros de gas.
- Ningún material inflamable, cilindros que contengan gases inflamables o contenedores que contengan líquidos inflamables deben ser almacenados en las habitaciones con cilindros de gas.
- Sí es permitido el uso de estantes de madera para el almacenaje de los cilindros.
- Si los cilindros están envueltos cuando se reciben, los envoltorios no deben ser removidos antes de su almacenaje.
- Los cilindros que no se estén utilizando deben tener sus protectores de válvulas colocadas y apretadas.
- Los cilindros sin su adecuada señalización o aquellos en que la señalización y los acoples para el gas específico no concuerden, no deben ser utilizados.
- Líquidos criogénicos almacenados en unidades destinadas para suministrar gas a las instalaciones no deben ser utilizados para el llenado de otros envases de almacenamiento de líquidos.
- Debe ejercerse cuidado cuando se manejen cilindros que hayan estado expuestos a temperaturas de congelaciones o contenedores que contentan líquidos criogénicos para prevenir daños a la piel.
- Cuando se provea de protectores para válvulas de los cilindros, deben estar apretados en su lugar a menos que el cilindro esté conectado para su uso.
- Contenedores no deben ser almacenados en espacios encerrados.
- Los cilindros deben permitir que se utilicen válvulas que incluyan medios para disminuir la presión inicial al abrirlo.
- Los reguladores-reductores de presión deben ser utilizados en cilindros de alta presión para reducir la presión a la presión de trabajo.

- Las localizaciones de almacenamiento que estén al aire libre deben tener en un recinto de construcciones incombustibles o limitadamente combustibles, con puertas (o portones) que puedan ser asegurados contra ingreso no autorizado.
- El oxígeno no debe ser almacenado con ningún gas líquido o vapor inflamable.
- Fumar, llamas, elementos de calentamiento eléctrico y otras fuentes de ignición deben estar prohibidas dentro de los lugares de almacenamiento y fuera de ellos a una distancia de 6,1 m (20 ft).
- Cuando cilindros de tamaño pequeño (A, B, D o E) sean usados, deben estar asegurados a la base para cilindros o al dispositivo de la terapia, de la talla apropiada, para suministrar de manera estable durante todo el tiempo de uso.
- Un cilindro individual ubicado en la habitación del paciente para uso inmediato no necesita estar ubicado en un recinto cerrado.
- Los cilindros no deben ser encadenados a dispositivos portátiles o movibles tales como camas.
- Las conexiones para los contenedores deben ser hechas de acuerdo con las instrucciones de operación del fabricante del contenedor.
- El almacenamiento debe estar planeado para que los cilindros puedan ser usados en el orden que han sido recibidos del proveedor.
- Si se almacenan en el mismo recinto, los cilindros vacíos deben estar aislados de los cilindros llenos.
- Los cilindros vacíos deben estar marcados para evitar confusión y retraso si un cilindro lleno es necesitado de una manera urgente.
- Cada sistema masivo de oxígeno instalado en los locales del consumidor debe ser inspeccionado anualmente y recibir mantenimiento por un representante calificado del propietario del equipo o proveedor.

- Malas hierbas y pasto seco no deben existir en una distancia mínima de 4,6 m (15 ft) de cualquier contenedor masivo de oxígeno.

Las indicaciones para la utilización de colectores de oxígeno y para la protección de los cilindros contra daños y contaminación, están dadas por los siguientes incisos NFPA 99 5.3.13.1.3 (1), NFPA 99 5.3.13.1.3 (2), NFPA 99 5.3.13.1.3 (3), NFPA 99 5.3.13.1.3 (4), NFPA 99 5.3.13.1.3 (5), NFPA 99 5.3.13.1.3 (7 y 8), NFPA 99 5.3.13.1.3 (9), NFPA 99 5.3.13.1.3 (11), NFPA 99 5.3.13.1.3 (11), NFPA 99 5.3.13.1.3 (12) y 9.7.2.4 (10), NFPA 99 9.7.2.1, NFPA 99 9.7.2.1 (1), NFPA 99 9.7.2.2 (2), NFPA 99 9.7.2.2 (3), NFPA 99 9.7.2.2 (4), NFPA 99 9.7.2.2 (5), NFPA 99 9.7.2.4 (1), NFPA 99 9.7.2.4 (2), NFPA 99 9.7.2.4 (3), NFPA 99 9.7.2.4 (5), NFPA 99 9.7.2.4 (6), NFPA 99 9.7.2.4 (7), NFPA 99 9.7.2.4 (8) y NFPA 99 9.7.2.5, respectivamente:

- Los cilindros de oxígeno deben estar protegidos de golpes mecánicos anormales, que puedan dañar el cilindro, válvula o dispositivo de seguridad.
- Los cilindros de oxígeno no deben ser almacenados cerca de elevadores, pasarelas o en ubicaciones donde el movimiento de objetos pesados los golpeará o botarán.
- Los cilindros deben estar protegidos de manipulación de individuos no autorizados.
- Los cilindros o válvulas de cilindros no deben ser reparados, pintados o alterados.
- Los dispositivos de alivio en válvulas de seguridad o los cilindros nunca deben ser reparados.

- No debe estar permitido bajo ninguna circunstancia que una llama o chispas entren en contacto con los cilindros o sus dispositivos de seguridad.
- Incluso cuando se considere que están vacíos, los cilindros nunca deben ser utilizados como rodillos, soportes o para cualquier otro propósito que no sea el suministro para el cual están destinados.
- Cilindros grandes (mayores a talla E) y contenedores grandes mayores de 45 kg (100 lb) de peso deben ser transportados en carretas de mano.
- Cilindros de pie sin sostén deben ser apropiadamente encadenados o sostenidos en un estante o carretón apropiado para cilindros.
- Los cilindros no deben estar sostenidos por radiadores, tuberías de vapor o ductos de calefacción, ni ser colocados en sus proximidades.
- Los cilindros y contenedores de oxígeno, válvulas, reguladores, manómetros o accesorios para oxígeno, deben tener protección para evitar el contacto con aceite, grasa o materiales inflamables, nunca deben ser lubricados con aceite o ninguna otra sustancia inflamable ni manipulados con guantes o trapos con aceite o grasa.
- Partículas de polvo y suciedad deben ser limpiadas de la válvula de apertura del cilindro, abriendo levemente y cerrando la válvula antes de suministrar o colocar accesorios al cilindro.
- La válvula de presión alta en el cilindro de oxígeno debe abrirse lentamente antes de colocar el equipo en el paciente o el paciente al equipo.
- Un cilindro de oxígeno nunca debe ser cubierto con ningún material como batas, máscaras o gorras hospitalarias.
- Las tapas de protección de las válvulas, cuando sean provistas, deben mantenerse en su lugar y ser apretadas manualmente, excepto cuando los cilindros están en uso o conectados para su uso.
- Las válvulas deben estar cerradas en cualquier cilindro vacío.

- Los accesorios, válvulas, reguladores y manómetros para oxígeno, nunca deben ser utilizados para cualquier servicio que no sea el de oxígeno.
- Gases de cualquier tipo nunca deben ser mezclados en un cilindro de oxígeno o cualquier otro cilindro.
- El oxígeno debe ser dispensado, siempre, desde un cilindro por medio de un regulador de presión.
- El oxígeno debe ser descrito por su nombre apropiado, oxígeno, no aire, y el oxígeno líquido por su nombre apropiado, oxígeno líquido, no aire líquido.
- El oxígeno nunca debe ser usado como sustituto de aire comprimido.
- Es ilegal la adulteración de las señalizaciones de los cilindros.
- Las señalizaciones utilizadas para la identificación del contenido de los cilindros no deben ser desfiguradas removidas, incluyendo calcomanías, etiquetas y plantillas.
- Los equipos de oxígeno que estén defectuosos no deben ser usados hasta hayan sido reparados por un personal competente, por el fabricante o su agente autorizado, o hasta que hayan sido reemplazados.

Para evitar accidentes y reducir la probabilidad de una mala práctica, el inciso NFPA 99 9.7.3.2 indica la manera general en que los cilindros deben conectarse a su debido cabezal, el procedimiento es el siguiente:

- Percatarse de que el dispositivo, las conexiones de la válvula del cilindro y cualquier llave del cilindro estén libres de materiales extraños.
- Girar la válvula de salida del cilindro lejos de personas. Pararse al lado no enfrente ni atrás. Antes de conectar el dispositivo a la válvula del cilindro, momentáneamente abrir la válvula del cilindro para eliminar el polvo.
- Realizar la conexión del dispositivo a la válvula del cilindro. Apretar las tuercas de conexión con una llave.

- Soltar el tornillo de ajuste de baja presión del regulador completamente.
- Lentamente abrir la válvula del cilindro hasta la posición de apertura total.
- Lentamente girar el tornillo de regulación de baja presión en el regulador hasta que se obtenga la presión de trabajo apropiada.
- Abrir la válvula de utilización del dispositivo.

Con la finalidad de que el sistema masivo suministre sin interrupciones por nivel de líquido bajo, el inciso NFPA 99 9.8.3 indica que es necesario realizar una revisión anual de la capacidad del sistema masivo.

De acuerdo al inciso NFPA 99 9.8.2 la documentación de los criterios de dimensionamiento del vaporizador del sistema masivo debe ser proporcionada por parte del proveedor.

5.9.3. Vacío

A continuación, se presentan los requisitos que debe cumplir el vacío utilizado en la unidad médica.

5.9.3.1. General

A continuación, se presentan los requisitos específicos que debe cumplir el sistema de vacío médico dados por los incisos NFPA 99 5.1.3.6.2.2 y NFPA 99 5.1.3.6.2.3, respectivamente:

- Poseer montajes antivibratorios de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.
- Conectores flexibles deben conectar la bomba de vacío con la admisión y el escape de la tubería.

5.9.3.2. Obtención

Las bombas deben cumplir con los requisitos dados por el inciso NFPA 99 5.1.3.6.1.2:

- Consistir de dos o más bombas de vacío, suficientes para servir durante la demanda máxima calculada, aun con la bomba de vacío de mayor capacidad fuera de servicio.
- Poseer un medio automático para prevenir el retroceso del flujo de cualquier bomba de vacío funcionando hacia cualquier bomba de vacío sin funcionamiento.
- Poseer una válvula de corte o cualquier medio de aislamiento para aislar cada bomba de vacío del sistema de tubería y otras bombas de vacío, para poder recibir mantenimiento sin perder el vacío en el sistema.
- Poseer un tanque receptor de vacío

5.9.3.3. Materiales

La tubería del sistema de distribución, específicamente para vacío, según el inciso NFPA 99 5.1.10.2.1, debe estar construida por cualquiera de los siguientes:

- Tubo de cobre sin costura, tipo K, L o M para servicios de agua, o tipo K o L para sistemas de gas médico.
- Tubo de acero inoxidable.

5.9.3.4. Ubicación del equipo

Los requisitos específicos para las ubicaciones de bombas de vacío están dados por los incisos NFPA 99 5.1.3.3.3.2 y NFPA 99 5.1.3.6.1.1 (1), respectivamente:

- Estar ubicadas en un recinto ventilado.
- Estar ubicada en interiores en áreas dedicadas a equipos mecánicos, debidamente ventilados y con cualquier utilidad requerida (ejemplo, electricidad, drenaje, iluminación).

5.9.3.5. Etiquetado y señalización

Cumpliendo el inciso NFPA 99 5.1.10.2.2.1 se debe señalar prominentemente la tubería vacío cuando esta instalada juntamente con cualquier otra tubería de gas médico.

5.9.3.6. Diseño y dimensionamiento

Los requisitos específicos para el sistema de vacío médico están dados por los incisos NFPA 99 5.1.3.6.5.1, NFPA 99 5.1.3.6.5.3, NFPA 99 5.1.3.6.6.1, NFPA 99 5.1.3.6.6.2 y NFPA 99 5.1.3.6.8, respectivamente:

- La disposición de los equipos para vacío debe estar arreglados de tal manera que permita el servicio y un suministro contante de vacío médico en caso de una única falla.
- Los sistemas de vacío médico deben estar provistos de una válvula fuente.

- Las bombas adicionales deben activarse automáticamente cuando la bomba en operación es incapaz de mantener adecuadamente el vacío requerido.
- Debe de permitirse la alternancia automática o manual de las bombas para dividir el tiempo de operación. Si la alternancia automática de las bombas no es provista, el personal de las instalaciones debe proveer un calendario para la alternancia manual.
- Los sistemas de vacío médico deben activar las alarmas locales cuando la bomba de apoyo esté funcionando.

5.10. Requisitos generales

A continuación, se presentan los requisitos generales que deben cumplir los gases médicos utilizados en la unidad médica.

5.10.1. Ubicación

De acuerdo al inciso NFPA 99 5.1.3.3.1.3 cualquiera de los siguientes sistemas puede estar ubicados en la misma habitación:

- Compresores de aire médico.
- Bombas de vacío médico.
- Cualquier compresor, bomba de vacío o máquina alimentada eléctricamente.

5.10.2. Materiales

A continuación, se proporcionan los requisitos que deben cumplir los materiales de la tubería de gas médico a presión positiva dados por los incisos

NFPA 99 5.1.10.1.4, NFPA 99 5.1.10.1.5 y NFPA 99 5.1.3.4.6.1 (1), respectivamente; los materiales para el sistema de vacío están descritos en los requisitos específicos para vacío.

- Los tubos deben ser de cobre sin costura, para gas médico, tipo K debe ser utilizado para tamaños mayores que DN 80 (NPS 3) (31/8 in. OD).
- Los tubos estándar de cobre sin costura para gas médico, deben ser identificados por el fabricante marcando “OXY”, “MED”, “OXY/MED”, “OXY/ACR” o “ACR/MED” en azul (para tipo L) o verde (para tipo K).
- Las válvulas de alivio deben estar construidas de latón, bronce o acero inoxidable.

5.10.3. Distribución

Cuando un ramal o una tubería en específico ya no esté en uso, los finales de la tubería deben ser cortados y las indicaciones dadas en los incisos NFPA 99 5.1.10.5.2.1, NFPA 99 5.1.10.5.2.2 y NFPA 99 5.1.10.5.2.3, respectivamente, deben ser cumplidas:

- Los finales de la tubería deben ser cortados cuadrados usando un cortador de tubos afilado para evitar la deformación del tubo.
- Las ruedas del cortador de tubo deben estar libres de aceite y grasa o de cualquier otro lubricante no adecuado para servicios de oxígeno.
- Los finales cortados de la tubería deben ser desgastados con un desbastador afilado, teniendo cuidado de que las virutas no entren al tubo.

Para el dimensionamiento de la tubería los incisos NFPA 99 5.1.10.10.1.1, NFPA 99 5.1.10.10.1.2, NFPA 99 5.1.10.10.1.3, NFPA 99 5.1.10.10.1.4 y NFPA 99 5.1.10.10.1.5, respectivamente, deben ser cumplidos:

- El sistema de tubería debe estar diseñado y dimensionado para entregar el flujo requerido a la presión de utilización.
- Las tuberías principales y las de derivación en sistemas de tubería de gas médico no deben ser menores de DN 15 (NPS ½) (5/8 in. OD).
- Las tuberías principales y las de derivación en sistemas de tubería de vacío médico no deben ser menores de DN 20 (NPS ¾) (7/8 in. OD).
- Las bajadas a las estaciones de salida/entrada no deben ser menores de DN 15 (NPS ½) (5/8 in. OD).
- Las tuberías hacia los paneles y conexiones de la tubería para manómetros o dispositivos de alarmas deben ser DN 8 (NPS ¼) (3/8 in.OD).

Para el diseño de la red de distribución los siguientes requisitos deben ser cumplidos, los cuales están dados por los incisos NFPA 99 5.1.10.10.2, NFPA 99 5.1.10.10.2.1, NFPA 99 5.1.10.10.2.2, NFPA 99 5.1.10.10.3.1, NFPA 99 5.1.10.10.3.2, NFPA 99 5.1.10.10.3.3, NFPA 99 5.1.10.10.3.4, NFPA 99 5.1.10.10.5.2, NFPA 99 5.1.10.10.5.5, NFPA 99 5.1.10.10.5.8 y NFPA 99 5.1.10.10.6, respectivamente:

- La tubería debe estar protegida contra la congelación, corrosión y daños físicos.
- Las tuberías expuestas en corredores y otras áreas donde estén sujetas a daño físico por movimiento de carretillas, equipo portátil o vehículos, deben estar protegidas.
- La tubería bajo tierra entre edificios o incrustadas en pisos de concretos o paredes deben estar instaladas en conductos continuos.
- Las tuberías de elevación deben ser instaladas en ejes de tubería si se protege de daño físico, efectos de calor excesivo, corrosión o contacto con aceite.

- La tubería no debe ser instalada en cocinas, ejes de elevadores, cuartos de maquinaria de elevadores, áreas con llamas abiertas, equipo de servicio eléctrico mayor de 600 voltios, excepto por cuartos para la ubicación de sistemas de suministro de compresores de aire médico y sistemas de suministro de vacío médico quirúrgico.
- Las tuberías de gas médico pueden ser instaladas en el mismo foso o túnel que las líneas de gas combustible, líneas de aceites combustibles, líneas eléctricas, líneas de vapor o utilidades similares provistas de un espacio ventilado (natural o mecánico) siempre que la temperatura ambiental alrededor de la tubería de gas médico esté limitada a un máximo de 54 °C (130 °F).
- Los sistemas de tubería de gas médico no deben ser ubicadas donde estén sujetas a contacto con aceite, incluyendo áreas que puedan ser inundadas por aceite en caso de fugas excesivas.
- Los procedimientos de instalación para tubería bajo tierra deben proteger la tubería de daño físico mientras se está relleno.
- El mínimo de la cubierta de relleno sobre la tubería para tuberías enterradas fuera de edificios debe ser 0,9 m (36 in) pero se permite que el relleno sobre la cubierta se reduzca a 0,45 m (18 in) donde se prevenga el daño físico de cualquier manera.
- Una marca ubicada inmediatamente sobre la tubería debe claramente identificar la tubería por su nombre específico.
- Las extracciones de la tubería horizontal deben ser hechas sobre la línea central de la tubería principal o de las derivaciones y erigirse verticalmente o a cualquier ángulo no mayor de 45 grados respecto a la vertical.

Como lo indica el inciso NFPA 99 5.1.10.10.4.3 para la tubería deben ser provistos anclajes, y, como lo indica el inciso NFPA 99 5.1.10.10.4.4 para evitar

la humedad, los soportes que estén en contacto con la tubería deben estar emplasticados o de otra manera aislados del tubo.

El espaciamiento entre los soportes debe estar de acuerdo con la tabla 5.1.10.10.4.5 de la norma NFPA 99.

Tabla II. **5.1.10.10.4.5 Espaciamiento máximo para soportes de tubería**

Dimensión de la tubería	Distancia máxima	
	m	Ft
DN8 (NPS 1/4) (3/8 in.OD)	1,52	5
DN10 (NPS 3/8) (1/2 in.OD)	1,83	6
DN15 (NPS 1/2) (5/8 in.OD)	1,83	6
DN20 (NPS 1) (7/8 in.OD)	2,31	7
DN25 (NPS 1 1/4) (1 1/8 in.OD)	2,44	8
DN32 (NPS 1 1/4) (1 3/8 in.OD)	2,74	9
DN40 (NPS 1 1/2) (1 5/8 in.OD) y mayores	3,05	10
Tuberías de elevación de cualquier diámetro, deben sujetarse en cada piso, pero no excediendo:	4,57	15

Fuente: Norma NFPA 99, p. 58.

El inciso NFPA 99 5.1.10.10.4.6 indica que donde se requiera, las tuberías de gas médico y vacío deben estar aseguradas sísmicamente contra terremotos.

5.10.4. Señalización

Como regla general para cualquier tipo de señalización, bien sean etiquetas, plantillas, rótulos, entre otros, el inciso NFPA 99 5.1.3.1.7 establece que ninguna señalización debe ser desfigurada, alterada o removida.

5.10.4.1. Señalización de las centrales de suministro

Según el inciso NFPA 99 5.1.3.1.9 las ubicaciones que contengan sistemas de suministro o cilindros, que contengan únicamente oxígeno o aire médico deben tener las puertas señalizadas como se indica a continuación:

PRECAUCIÓN
GASES MÉDICOS
NO FUMAR, NO LLAMAS

De acuerdo a los incisos NFPA 99 9.4.4.1 y NFPA 99 9.4.4.2 un anuncio de precaución, legible desde una distancia de 1,5 m (5 ft), debe estar desplegado en cada puerta o portón de los recintos o lugares de almacenamiento y deben incluir las siguientes palabras como mínimo:

PELIGRO
GAS(ES) OXIDANTE(S) ALMACENADO(S) ADENTRO
NO FUMAR

5.10.4.2. Señalización de la tubería

La tubería de estar señalizada cumpliendo los incisos NFPA 99 5.1.11.1.1, NFPA 99 5.1.11.1.2 (1), NFPA 99 5.1.11.1.2 (2), NFPA 99 5.1.11.1.2 (3), NFPA 99 5.1.11.1.2 (4), NFPA 99 5.1.11.1.3 y NFPA 99 5.1.3.4.6.4, respectivamente:

- La tubería debe estar señalizada por pigmentos o marcas adhesivas que identifiquen el gas que conducen. Donde los sistemas de tubería a presión positiva funcionen a presiones que no sean las presiones estandarizadas, la señalización de la tubería debe incluir la presión de operación en adición al nombre del gas.
- A intervalos no mayores de 6,1 m (20 ft).
- Al menos una vez en cada cuarto.
- En ambos lados de una pared o particiones que atraviese la tubería.
- Al menos una vez en cada parte alta del piso que atraviese una tubería de elevación.
- La tubería de gas médico no debe ser pintada completamente.
- Cuando se use ventilación hacia afuera del recinto, la línea de ventilación de la válvula de alivio debe estar señalizada de cualquier manera que se distinga de las tuberías de gas médico.

La tabla 5.1.11 de la norma NFPA 99 establece el código de colores y el símbolo químico de los gases para la señalización de la tubería

Tabla III. **5.1.11 Designación estándar para código de colores y presiones de operación para sistemas de gas y vacío**

Gas	Abreviación	Color (fondo/texto)	Presión manométrica estándar
Aire médico	MedAir	Amarillo/negro	50-55 psi
Oxígeno	O ₂	Verde/blanco o blanco/verde	50-55 psi
Vacío médico	MedVac	Blanco/negro	380-760 mmHgV

Fuente: Norma NFPA 99, p. 60.

5.10.4.3. Señalización del equipo

A continuación, se presentan los requisitos que debe cumplir la señalización del sistema de gases médicos utilizados en la unidad médica.

5.10.4.3.1. Válvulas

Debido a consideraciones por ampliaciones el inciso NFPA 99 5.1.4.10.1 establece que las válvulas para conexiones futuras deben estar señalizadas como conteniendo gas.

El inciso NFPA 99 5.1.11.2.1 indica que las válvulas de cierre deben estar identificadas con se indica a continuación:

- El nombre o el símbolo químico para cada sistema de gas médico o vacío.
- Las habitaciones o áreas a suministrar.

- Una indicación de precaución de no cerrar o abrir la válvula excepto en casos de emergencia.

Si se utilizan sistemas de tubería de gas a presiones positivas que operen a presiones mayores a la presión estándar de 345 Kpa a 380 Kpa (50 psi a 55 psi), el inciso NFPA 99 5.1.11.2.2 indica que la válvula debe identificarse además con la presión de operación no estándar.

El inciso NFPA 99 5.1.11.2.3 ejemplifica la señalización de la válvula fuente.

VÁLVULA FUENTE
PARA (NOMBRE DE LA FUENTE)

El inciso NFPA 99 5.1.11.2.4 ejemplifica la señalización de la válvula de línea principal

VÁLVULA DE LÍNEA PRINCIPAL PARA
(NOMBRE DEL GAS/ VACÍO) SUMINISTRANDO A
(NOMBRE DEL EDIFICIO)

El inciso NFPA 99 5.1.11.2.6 ejemplifica la señalización de la válvula de servicio.

VÁLVULA DE SERVICIO PARA
(NOMBRE DEL GAS/VACÍO) SUMINISTRADO A
(NOMBRE DEL ÁREA/EDIFICIO SUMINISTRADO POR LA VÁLVULA)

5.10.4.3.2. Estaciones de salida y entrada

Según el inciso NFPA 99 5.1.11.3.1 las estaciones de salida y entrada deben estar identificadas con el nombre o el símbolo químico para cada gas específico o vacío.

5.10.5. Diseño y dimensionamiento

Los recintos o habitaciones para el suministro y almacenaje de los gases médicos deben estar diseñados para cumplir con los incisos NFPA 99 5.1.3.3.2 (1), NFPA 99 5.1.3.3.2 (2), NFPA 99 5.1.3.3.2 (3), NFPA 99 5.1.3.3.2 (4), NFPA 99 5.1.3.3.2 (5), NFPA 99 5.1.3.3.2 (7 y 9), NFPA 99 5.1.3.4.6.3, NFPA 99 5.1.3.5.11.1 y NFPA 99 5.1.10.10.8.1, respectivamente:

- Estar contruidos con acceso para mover los cilindros, equipo, entre otros, hacia afuera o adentro de la ubicación en carretillas de mano.
- Estar asegurado con puertas o portones bloqueables o aseguradas de otra manera.
- En localizaciones al aire libre, debe estar provisto con un recinto (pared o cerca) contruidos de materiales incombustibles.
- En localizaciones interiores, debe ser contruido y utilizar acabados interiores de materiales incombustibles o de combustión limitada a un rango de una hora de resistencia a la combustión, en lugares como paredes, pisos, techos o puertas.
- Los dispositivos eléctricos deben estar localizados por encima de 1,52 m (5 ft) del acabado del piso para evitar daño físico. El alambrado eléctrico y los equipos en habitaciones de almacenamiento para oxígeno no son requeridos a prueba de explosión.

- Estar provistos de rejillas, cadenas u otros fijadores para asegurar todos los cilindros, cuanto estén conectados o desconectado, vacíos o llenos, para evitar caídas; contruidos de materiales incombustibles o de combustión limitada.
- Incluir como mínimo una válvula de alivio, localizada entre cada regulador final de línea y la válvula fuente y estar ajustada para una presión 50 % mayor que la operación normal del sistema.
- Los componentes deben estar dispuestos para que permitan el servicio, y un suministro contante del gas médico en caso de una única falla.
- Dos o más sistemas de tubería de gas médico o vacío no deben estar ni ser interconectados en la instalación, prueba o por ninguna otra razón.

5.10.5.1. Accesorios de la tubería

A continuación, se presentan los requisitos que deben cumplir los accesorios de la tubería del sistema de gases médicos utilizados en la unidad médica.

5.10.5.1.1. Estaciones de salida y entrada

El inciso NFPA 99 5.1.5.1 indica que cada estación de salida y entrada para gas médico o vacío debe estar especificado para que gas se utiliza, ya sean roscadas o de acople rápido no intercambiable y deben estas localizadas a una altura apropiada sobre el suelo para prevenir daño físico al equipo unido a la estación de salida y entrada.

5.10.5.1.2. Mangueras y conectores flexibles

Los requisitos que deben cumplir las mangueras y los conectores flexibles están dados por los incisos NFPA 99 5.1.10.10.7.1 y NFPA 99 5.1.10.10.7.2, respectivamente:

- No deben ser más largos de lo necesario y no deben penetrar o estar ocultos en paredes, pisos, techos o tabiques.
- Deben tener un mínimo de presión de rotura, de 6 895 kpa (1 000 psi).

5.10.5.1.3. Válvulas

Las válvulas que debe implementar un sistema de gas médico están indicadas en la siguiente tabla, indicando el inciso correspondiente:

Tabla IV. **Válvulas requeridas para el sistema de distribución**

Válvulas	Requisitos	Inciso
Válvula de apagado de gas y vacío	Deben ser provistas válvulas de cierre para aislar secciones o porciones del sistema de distribución de tuberías, para el mantenimiento, reparación o la futura necesidad de expansión que se planee y para facilitar las pruebas periódicas.	NFPA 99 5.1.4.1.
Válvula fuente	Una válvula de cierre debe ser colocada en las inmediaciones de la conexión de cada sistema de suministro al sistema de tubería de distribución para permitir que sea aislada la fuente completa incluyendo todos los accesorios y dispositivos (ejemplos secadores de aire, reguladores de línea finales, entre otros.) de las instalaciones.	NFPA 99 5.1.4.4
Válvula de línea principal	La válvula de línea principal debe estar localizada del lado de las instalaciones de la válvula fuente y fuera del cuarto fuente, recinto o donde la línea principal entre al edificio.	NFPA 99 5.1.4.5.2
Válvulas de servicio.	Las válvulas de servicio deben estar instaladas de tal manera que permitan el mantenimiento o modificaciones de derivaciones o ramales de la tubería, desde una tubería principal o de elevación, sin cerrar la tubería principal, tubería de elevación o el suministro completo.	NFPA 99 5.1.4.7
Válvulas de zona.	Todas las estacione de salida/entrada debe estar suplidas a través de una válvula de zona.	NFPA 99 5.1.4.8

Fuente: elaboración propia.

Los requisitos que debe cumplir la válvula fuente, dado por los incisos NFPA 99 5.1.4.4.1 y NFPA 99 5.1.4.4.2 respectivamente, son los siguientes:

- Debe ser ubicada en la vecindad inmediata al equipo de suministro
- Debe estar señalizada adecuadamente

Los requisitos que debe cumplir la válvula de línea principal, dado por los incisos NFPA 99 5.1.4.5, NFPA 99 5.1.4.5.1 y NFPA 99 5.1.4.5.3 respectivamente, son los siguientes:

- Debe ser provista en la línea de suministro principal dentro del edificio.
- Debe estar localizada de manera que permita el acceso al personal autorizado únicamente (ejemplo, localizado arriba del techo o detrás de una puerta de acceso sellada).
- Debe estar señalizada adecuadamente.

Los requisitos que debe cumplir la válvula de servicio, dados por los incisos NFPA 99 5.1.4.7.2, NFPA 99 5.1.4.7.3 y NFPA 99 5.1.4.7.4 son los siguientes:

- Debe estar ubicada en la tubería de derivación antes de cualquier cajón de válvulas de zona en ese ramal.
- Debe estar localizada de acuerdo a cualquiera de los requisitos siguientes:
 - Detrás de una puerta de acceso cerrada
 - Sellada abiertamente arriba del techo
 - Sellada abiertamente en un área segura
- Debe estar señalizada adecuadamente

Los requisitos que debe cumplir la válvula de zona, dados por los incisos NFPA 99 5.1.4.8, NFPA 99 5.1.4.8.1, NFPA 99 5.1.4.8.2, NFPA 99 5.1.4.8.3 son los siguientes:

- Todas las estaciones de salida y entrada deben estar suplidas a través de una válvula de zona como se indica a continuación:
 - Debe estar colocada de tal manera que la pared intervenga entre la válvula y las entradas y salidas que controla.
 - La válvula de zona debe servir únicamente a entradas/salidas localizadas en el mismo piso.
- Debe ser fácilmente operable desde una posición de pie en el corredor o el mismo piso al que sirve.
- Debe estar dispuesta de manera que al cerrar el suministro de gas médico o vacío en una zona no se vea afectado el suministro de gas médico o vacío en otra zona o en el resto del sistema.
- Debe poseer un indicador de presión o vacío provisto del lado de la estación de salida y entrada.

Las válvulas de zona deben estar instalados en cajones cumpliendo los siguientes requisitos dados por los incisos NFPA 99 5.1.4.8.4, NFPA 99 5.1.4.8.5 y NFPA 99 5.1.4.8.6, respectivamente.

- Deben ser instalados donde sean visibles y accesibles en todo momento.
- No deben ser instalados detrás de puertas normalmente cerradas o abiertas o de cualquier manera, ocultos de la vista.
- No deben estar localizadas en cuartos, áreas o armarios cerrados.

Los requisitos generales que deben cumplir las válvulas son los siguientes y están dados por los incisos NFPA 99 5.1.4.2, NFPA 99 5.1.4.2.1, NFPA 99 5.1.4.2.2 y NFPA 99 5.1.4.3, respectivamente.

- Todas las válvulas excepto las válvulas de zona ensambladas en cajones deben estar localizadas en áreas seguras o estar bloqueadas o aseguradas en su posición operacional, y estar etiquetadas indicando el gas suministrado y las áreas controladas.
- Las válvulas de cierre accesibles para otros que no sean personal autorizado deben estar instaladas en cajones de válvulas con ventanas removibles o frágiles que sean lo suficientemente grandes para permitir la operación manual de las válvulas.
- Las válvulas de cierre para uso en ciertas áreas como psiquiatría o pediatría, deben permitir ser aseguradas con la aprobación de la autoridad competente para prevenir el acceso inapropiado.
- Las válvulas de cierre nuevas o de reemplazo deben ser de un cuarto de vuelta para cierre completo, de tipo bola, construidas de bronce o latón, tener extensiones para soldadura y tener una manija que indique abierto o cerrado.

5.10.5.1.4. Reguladores e indicadores de presión

Los reguladores y manómetros deben considerarse en el diseño cumpliendo con los incisos NFPA 99 5.1.3.4.5.1, NFPA 99 5.1.3.4.5.3, NFPA 99 5.1.8.1.1, NFPA 99 5.1.8.1.3, NFPA 99 5.1.8.1.4, NFPA 99 5.1.8.1.5, NFPA 99 5.1.8.2.1 y NFPA 99 5.1.8.2.2, respectivamente:

- Todas las centrales de sistemas de suministro a presiones positiva deben estar provistas con dos reguladores de presión final instalados en paralelo con válvulas de aislamiento antes de cada regulador y un aislador o válvula antiretorno después de cada regulador, para permitir el servicio a cualquier regulador sin interrumpir el suministro.
- Un indicador de presión debe estar del lado de baja presión (lado del paciente o usuario) de cada regulador o inmediatamente del lado de alta presión de las válvulas de aislamiento para los reguladores.
- Deben estar limpios para servicio de oxígeno.
- El rango en la escala para presiones positivas en indicadores análogos debe ser tal que la lectura normal caiga en la mitad de la escala.
- El rango en la escala para indicadores digitales no debe ser mayor a dos veces la presión de trabajo del sistema de tubería.
- La escala para el rango de vacío en los indicadores debe ser de 0mm a 760 mm (0 in a 29,9 in) de mercurio manométricas.
- Los indicadores de presión y vacío deben ser legibles desde una posición de pie.
- Los indicadores de presión y vacío deben estar provisto en las siguientes localizaciones como mínimo:
 - Adyacentes al dispositivo de activación de la alarma para los sistemas de alarma principal, de la línea principal de presión y vacío.
 - En o dentro del área del panel que indica la presión o vacío al dispositivo de activación de la alarma para cada sistema que es monitoreado en el panel.
 - En el lado de las estaciones de salida/entrada de las válvulas de zona.

5.10.5.2. Dispositivos de seguridad

A continuación, se presentan los requisitos que deben cumplir los dispositivos de seguridad utilizados en el sistema de gases médicos.

5.10.5.2.1. Válvulas de alivio

Las válvulas de alivio deben cumplir con los siguientes requisitos dados por el inciso NFPA 99 5.1.3.4.6.1.

- Estar diseñadas para el servicio de un gas específico.
- Tener el ajuste del alivio de presión no más alto que el máximo de presión de trabajo permitida del componente con el rango de presión de trabajo más bajo en la porción del sistema que se está protegiendo.
- Estar ventilada a la parte de afuera del edificio.
- Tener una línea de descarga que no sea menor al diámetro de la salida de la válvula de alivio y no debe descargar en localizaciones donde pueda crear peligros potenciales, con la terminal de descarga girada hacia abajo y cubierta por un tamiz.

5.10.5.2.2. Sistemas de alarma

Los requisitos generales que deben cumplir todas las alarmas, están estipulados por el inciso NFPA 99 5.1.9.1 y son los siguientes:

- Indicadores visuales separados para cada condición monitoreada.
- Indicadores visuales que se mantengan encendidos hasta que la situación que ha causado alarma sea resuelta.

- Un indicador audible, que se pueda cancelar, con un nivel mínimo de 80 dBA a 0,92 m (3 ft).
- Un medio visual, indicador, una lámpara o led, que indique algún fallo.
- Indicadores visuales y audibles que indiquen cuando las conexiones eléctricas a la alarma, desde los dispositivos que la activan, están desconectados.
- Señalización para cada indicador, indicando la condición monitoreada.
- Señalización para cada panel de alarmas para su área de supervisión.
- Reiniciación de la señal audible si cualquier otra condición de alarma ocurre mientras la alarma audible es silenciada.
- Alimentación eléctrica para las alarmas principales y de área, desde la derivación de seguridad del sistema eléctrico de emergencia.
- Garantía de las autoridades responsables de las instalaciones de que la señalización que las alarmas utilicen para números de habitación o cualquier designación en uso, son exactos y actualizados.
- Provisión para que el reinicio después de la pérdida de alimentación de 10 segundos de duración (ejemplo, mientras el generador arranca) no provea señales de falsa alarma o que requiera de reinicio manual.

Las alarmas que debe poseer un sistema de alarma son las siguientes:

Tabla V. **Alarmas requeridas para el sistema de gases médicos**

Alarmas	Requisitos	Inciso
Alarma principal	Debe ser provista para monitorear la operación y las condiciones de la fuente de suministro, la reserva (si la hay) y la presión en las líneas principales de cada sistema de gas médico y vacío.	NFPA 99 5.1.9.2
Alarma de área	Debe estar provista para monitorear todos los gases médicos, y vacío, en áreas de soporte vital o cuidados críticos (ejemplo. Unidad de cuidados intensivos, salas de emergencia, entre otros).	NFPA 99 5.1.9.3
Alarma local	Deben ser instaladas para monitorear el funcionamiento de los sistemas de compresión de aire, sistemas de bombas de vacío médico. La activación de cualquiera de las señales de advertencia debe ser inmediatamente reportada al departamento responsable del sistema de tubería de gases médicos involucrado. Si el gas médico es suministrado por un sistema de suministro masivo, el propietario de la organización responsable de la operación y mantenimiento de ese sistema, usualmente el proveedor, debe también ser notificado. Todos los detalles que sean posibles deben ser provistos.	NFPA 99 5.1.9.5

Fuente: elaboración propia.

Los requisitos para las alarmas principales, dados por los incisos NFPA 99 5.1.9.2.1 y NFPA 99 5.1.9.2.4, respectivamente, son los siguientes:

- Debe consistir de dos o más paneles de alarmas ubicadas en, al menos, dos ubicaciones separadas, un panel debe ser ubicado en la oficina o espacio de trabajo del responsable del mantenimiento del sistema de gas médico y vacío; para asegurar una vigilancia continua, mientras las instalaciones estén en operación, el segundo panel debe estar ubicado en un área que provea observación continua.

- Debe monitorear las siguientes señales:
 - Indicar cuando se realice, o justo antes, el cambio de suministro en el sistema de gas médico del suministro operacional a otro.
 - Indicar cuando el sistema masivo alcance el indicador de contenido mínimo para un día promedio.
 - Indicar cuando la presión para la reserva se reduzca debajo del necesario para el suministro promedio de un día.
 - indicar cuando la presión en la línea principal de cada sistema de gas médico, por separado, aumente o disminuya en un 20 % de la presión de operación.
 - Indicar cuando la presión en la línea de vacío caiga debajo de 300 mm (12 in) Hg manométricas.
 - Indicar cuando el punto de rocío, para cada compresor, sea mayor de +2 °C (+35 °F).

Los requisitos específicos para las alarmas de área, dados por los incisos NFPA 99 5.1.9.3.1, NFPA 99 5.1.9.3.2 y NFPA 99 5.1.9.3.2, respectivamente, son los siguientes:

- Las alarmas de área deben estar localizadas en las estaciones de enfermería u otra localización similar que provea vigilancia.
- Debe indicar cuando la presión en las líneas en el área ser monitoreada aumente o disminuya en un 20 % de la presión nominal.
- Debe indicar cuando la presión en la línea de vacío caiga debajo de 300 mm (12 in) Hg manométricas. Los sensores para las alarmas de área deben estar ubicadas en área de soporte vital y cuidado crítico, instaladas del lado del uso del paciente en cada cajón de zona de válvulas.

Los requisitos específicos para las alarmas locales, dados por los incisos NFPA 99 5.1.9.5.2 y NFPA 99 5.1.9.3.4, respectivamente, son los siguientes:

- Las alarmas principales deben incluir al menos una señal desde el equipo de suministro para indicar un problema con el equipo. Esta señal debe activarse cuando se active la alarma local.
- Sensores de área para alarmas locales deben estar localizados en áreas de soporte vital y de cuidado crítico instalados en el lado del uso de los pacientes de cualquier cajón de válvula de zona. Esta señal está destinada a proveer un aviso inmediato en caso de pérdida o en el incremento de la presión del sistema para cada área de soporte vital o de cuidado crítico.

5.10.6. Prevención y reducción de riesgos

A continuación, se presentan los requisitos que se deben cumplir para la prevención y reducción de riesgos en el sistema de gases médicos.

5.10.6.1. Naturaleza de los peligros de sistemas de gas y vacío

De acuerdo con el inciso NFPA 99 5.1.2 se deben considerar peligros de incendios y explosiones potenciales asociadas con sistemas de tuberías con presiones positivas y sistemas de vacío médico, tanto en el diseño como en la instalación, pruebas, operación y mantenimiento de estos sistemas.

Las acciones y recomendaciones dadas por los incisos NFPA 99 5.1.3.2.1, NFPA 99 5.1.3.4.3, NFPA 99 5.1.11.4, NFPA 99 5.1.13.1, NFPA 99 5.1.13.1.3, NFPA 99 9.8.1, NFPA 99 9.6.2.1.1, NFPA 99 9.6.2.1.2, NFPA 99 9.6.2.1.3, NFPA 99 9.6.2.1.4, NFPA 99 9.7.1, NFPA 99 9.8.4, NFPA 99 9.8.5, NFPA 99 9.8.6, NFPA 99 9.8.8, NFPA 99 12.3.1, NFPA 99 12.3.3.9.1, NFPA 99 B.6.1.1, NFPA 99 B.6.1.2 y NFPA 99 b.6.1.9, NFPA 99 B6.1.3 y B.6.1.10, NFPA 99 B.6.1.4, NFPA 99 B.6.1.5, NFPA 99 B.6.1.6, NFPA 99 B6.1.7, NFPA 99 B.6.1.11, NFPA 99 B.6.1.12, NFPA 99 B.6.1.13 y NFPA 99 B.6.1.14, respectivamente, tienen el propósito de disminuir los riesgos asociados con los sistemas de gas médico y vacío para salvaguardar, tanto las instalaciones como al personal involucrado y se presentan a continuación:

- El uso de adaptadores para la adaptación de un gas específico a otro debe estar prohibido.

- Las centrales de suministro para gases de soporte médico no deben ser canalizadas ni utilizadas para ningún otro propósito que no sean aplicaciones de soporte médico.
- La señalización de los paneles de alarmas debe ser adecuada y cumplir con los requisitos específicos para cada panel.
- Los sistemas de tubería no deben ser utilizados para la distribución de gases anestésicos inflamables.
- La tubería para gases no debe ser utilizada como tierra para electrodos.
- Registros permanentes de todos los equipos examinados deben ser mantenidos en los archivos de la organización.
- El personal concerniente a la aplicación y mantenimiento de gases médicos y otros que manejan gases médicos y los cilindros que contienen gases médicos deben ser capacitados en los riesgos asociados con el uso y manejo de los mismos. (El personal) típicamente incluye médicos, enfermeras, asistentes de enfermería, terapeutas respiratorios, ingenieros, técnicos y otros.
- Las instalaciones de cuidados médicos deben proveer programas de educación continua para el personal.
- Los programas de educación continua deben incluir revisiones periódicas de las guías de seguridad y requisitos de uso para los gases médicos y los cilindros.
- El equipo de recibir servicio únicamente por el personal capacitado en el mantenimiento y operación del equipo.
- Las autoridades administrativas de las organizaciones de cuidado médico deben proveer políticas y procedimientos para prácticas seguras.
- Las centrales de suministro de gases médicos no inflamables deben ser inspeccionadas anualmente, recibir mantenimiento por un representante calificado por el propietario del equipo y se debe tener un registro de las

inspecciones anuales disponible para la revisión por las autoridades competentes.

- Debe ser implementado un procedimiento de pruebas periódicas para sistemas de gas, no inflamables, y vacío, y para sistemas de alarma.
- Cuando se realicen modificaciones o mantenimientos que discontinúen el sistema, las pruebas deben ser conducidas en la porción de baja presión del sistema de tubería del gas médico.
- Los indicadores de las armas audibles y visuales deben ser probados periódicamente para verificar que están funcionando apropiadamente y se debe tener registros de la prueba anterior hasta que la próxima prueba sea llevada a cabo.
- Cuando una instalación se declara en modo de desastre o cuando la autoridad competente declara estado de desastre, los planes de operaciones de emergencia deben ser activados.
- Cada instalación de cuidado médico debe implementar un programa de educación. Este programa debe incluir una vista general de los componentes del programa de manejo de emergencia. La educación concerniente a las obligaciones y responsabilidades específicas del personal debe ser presentada.
- El oxígeno es fuertemente oxidante, e individualmente o en mezclas pueden sostener la combustión fácilmente.
- Los gases o vapores para inhalación introducen peligros de fuego, químicos, mecánicos y eléctricos, los cuales están todos interrelacionados. Cualquier mezcla de gases para inhalación sostendrá la combustión. En una atmósfera enriquecida con oxígeno, los materiales que son inflamables y combustibles en aire, combustionan más fácilmente y se quemarán más vigorosamente. Los materiales que podrían encontrarse cerca de pacientes o el personal involucrado en sistemas de gases médicos incluyen aceites para cabello, lubricantes a base de aceite,

lociones para cuerpo, ropa, lino, pañuelos, papel, hule, alcoholes, algunos plásticos, éter y acetona.

- Los peligros existen si cualquiera de los componentes de un sistema de suministro de oxígeno se contamina con aceite, grasa u otros materiales combustibles. Dichos contaminantes arderán fácilmente y se quemarán más rápidamente en presencia de altas concentraciones de oxígeno y harán más fácil la ignición de materiales menos combustibles con los que entren en contacto.
- Las fuentes de ignición pueden incluir, llamas abiertas, colillas de cigarro, bobinas de calentamiento eléctrico, equipos eléctricos defectuosos y el calentamiento adiabático de gases. Compresiones repentinas o recompresiones de un gas a presiones altas pueden generar un gran incremento en la temperatura, arriba de 1 093 °C (2 000 °F) que pueden encender cualquier material orgánico presente incluyendo grasa.
- Existe peligro si hay fuga de oxígeno en un espacio cerrado, creando una atmósfera enriquecida con oxígeno.
- Existe peligro si son empleados componentes no apropiados para conectar el equipo que contiene oxígeno bajo presión.
- El fuego depende de la presencia de materiales combustibles o inflamables, una atmósfera con oxígeno, u otro agente oxidante, y una fuente de ignición. Cuando hay materiales combustibles y es administrado oxígeno, deben evitarse líquidos y gases inflamables, y fuentes de ignición.
- Atmósferas enriquecidas con oxígeno normalmente existen en tiendas de oxígeno, incubadoras y dispositivos similares cuando el suministro de oxígeno se emplea en ellos. Estos dispositivos están diseñados para mantener una concentración de oxígeno mayor de la que se encuentra en la atmósfera. Atmósferas enriquecidas con oxígeno existen en las cercanías inmediatas a cualquier equipo de administración de oxígeno.

- La transferencia de oxígeno líquido de un contenedor a otro puede crear una atmósfera enriquecida con oxígeno en las cercanías inmediatas a los contenedores.
- Si se suministra oxígeno por medio de contenedores que almacenan oxígeno en forma líquida, habrá una cantidad pequeña de oxígeno desahogado a las cercanías del contenedor después de un periodo de desuso del equipo. Esta ventilación puede crear una atmósfera enriquecida con oxígeno si el contenedor es almacenado en espacios confinados. Grandes cantidades de oxígeno deben ser ventiladas si el contenedor es accidentalmente inclinado o desplazado de su sitio.
- Las fuentes de ignición no incluyen solamente las de atmósferas ordinarias, sino otras que pueden volverse peligrosamente significantes en atmósferas enriquecidas con oxígeno, como las siguientes:
 - Llamas.
 - Colillas de cigarro.
 - Calentadores eléctricos.
 - La descarga de un desfibrilador cardíaco.
 - Arcos eléctricos y temperaturas excesivas en equipo eléctrico.
 - Dispositivos de oxígeno alimentados eléctricamente y equipos eléctricos destinados para el uso en atmósferas enriquecidas con oxígeno, si existen desperfectos eléctricos.
 - Equipo eléctrico que incluye, pero no se limita a lo siguiente:
 - Máquinas de afeitar eléctricas.
 - Controles eléctricos de camas.
 - Secadores de cabello.
 - Controles remotos de televisión y auriculares de teléfono si se introducen en atmósferas enriquecidas con oxígeno.

- Apertura rápida de las válvulas de los cilindros, que pueda causar el incremento de la temperatura, en lado de baja presión, debido al calentamiento adiabático por recompresión, que consecuentemente encenderá materiales combustibles en contacto con el gas caliente incluyendo el sello de las válvulas.
- Peligros químicos pueden ser asociados con la presencia de esterilizantes residuales en equipos de alta presión.
- Algunas mezclas respirables se descomponen cuando entran en contacto con calor produciendo sustancias tóxicas o inflamables.
- La combustión latente de sustancias podría producir gases y vapores tóxicos.
- Una gran cantidad de energía es almacenada en cilindros con gases comprimidos. Si la válvula de un cilindro es golpeada (o golpea algo más) lo suficientemente fuerte para quebrar la válvula, el contenido del cilindro podría ser descargado con suficiente fuerza para impartir movimientos, por reacción, peligros.
- Los cilindros y contenedores pueden causar daño físico personal o daño a la propiedad (incluyendo los cilindros y contenedores) si se majen inapropiadamente. Situaciones peligrosas pueden ocurrir si los cilindros o contenedores son calentados después de estar congelados.
- Mantenimiento, manejo o ensambles inapropiados del equipo pueden producir daño físico personal, a la propiedad o fuego.
- Existe una condición peligrosa si los cilindros o contenedores son ubicados inapropiadamente, de manera que estos se sobrecalienten o inclinen. Si un contenedor es inclinado o desplazado de su sitio, oxígeno líquido podría ser derramado. El líquido puede causar congelamiento en contacto con la piel.

- Existen condiciones de peligro si hay señalización inapropiada de los cilindros o contenedores, o inatención a la señalización e instrucciones del fabricante.
- Existen condiciones de peligro si no se ejerce cuidado al ponerse en marcha el equipo.
- Dispositivos de seguridad, incluyendo dispositivos de alivio, válvulas y conexiones, son provista en el equipo y sistemas de suministro de gas, la alteración o la evasión de estos dispositivos de seguridad por cualquier medio o adaptadores crean condiciones peligrosas.
- Peligro extremo para la vida y la propiedad pueden resultar cuando gases comprimidos o mezclas son trasferidas de un cilindro a otro.
- Condiciones peligrosas existen si los dispositivos, como toberas fijas o ajustables y válvulas dosificadoras, son conectados directamente a cilindros o sistemas sin un regulador-reducidor de presión.
- Condiciones peligrosas son creadas cuando reguladores-reducidores de presión o manómetros están defectuosos.

Cumpliendo con el inciso NFPA 99 9.7.1.2 los procesos de capacitación, requeridos anteriormente, deben incluir lo siguiente:

- Programas de mantenimiento de acuerdo con las recomendaciones del fabricante para sistemas de gas médico.
- Uso y transporte del equipo y el manejo adecuado de cilindros, contenedores, carretillas de mano, soportes y tapas de protección de las válvulas.
- Uso apropiado de sistemas de vacío médico para eliminar las prácticas que reducen la efectividad del sistema, como dejar boquillas o catéteres de succión abiertos cuando no estén en uso.

- Verificar el contenido de gas y conexiones mecánicas específicas de cada cilindro o contenedor antes de ponerlos en servicio.
- Entrenamiento anual debe ser suplido en la operación de sistemas criogénicos.

El inciso NFPA 99 9.8.7 indica que un programa de mantenimiento debe estar establecido, como mínimo, para lo siguiente:

- Sistema de suministro de compresores de aire médico de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.
- En las estaciones de entrada, para sistemas de vacío médico, para asegurar la continuidad del buen desempeño del sistema completo del vacío médico. Botellas de retención de succión utilizadas como parte del equipo de tratamiento del paciente debe estar equipado con un dispositivo de cierre de exceso de flujo para prevenir el arrastre de los fluidos en equipo del sistema de tubería.

La norma NFPA 99 indica que es necesario establecer planes de operaciones de emergencia y deben entrar en operación cuando las instalaciones médicas se declaren en estado de desastre o cuando lo declare la autoridad competente, esto tiene la finalidad de reducir al mínimo los riesgos asociados con sistemas de gases médicos y para asegurar la continuidad del mismo durante emergencias que incluyen pero no se limitan a inundaciones, clima severo, terremotos, enfrentamientos armados, tormentas, incendios, situaciones que puedan ocurrir por las cercanías de complejos industriales o de transporte, entre otros.

En situaciones de emergencia que ocurran sin aviso y que impacten a las instalaciones, se espera que el personal en la escena del problema siga los

protocolos establecidos para proteger la vida, notificar a los demás y conservarse apropiadamente, no hay manera de planificar para todos los casos de emergencia, pero al enfocarse en eventos locales y en los límites de la capacidad de operación, la organización de cuidado médico puede desarrollar planes realistas, así como guías para el personal.

6. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL

6.1. Metodología y técnicas aplicadas

Para la realización de la fase de servicio se procedió realizar el diagrama del sistema de gases médicos que posee la unidad médica para posteriormente corroborar si las instalaciones cumplen con la normativa establecida en la fase anterior y así poder realizar propuestas de mejora que se acoplen a la normativa mencionada.

6.2. Diseño

A continuación, se presentan los lineamientos utilizados para la diagramación del sistema de gases médicos de la unidad médica.

6.2.1. Diagramación de los sistemas de gases médicos

Para la diagramación de los sistemas de gases médicos se utilizaron los planos, en formato digital, de la unidad médica proporcionados por la sección de mantenimiento, en ellos se plasmó la tubería y el equipo involucrado en el sistema de gases médicos.

Para identificar la trayectoria de la tubería se ubicaron los equipos de suministro: compresores de aire de grado médico, bombas de vacío médico, colector de oxígeno y tanque de oxígeno líquido, y posteriormente se siguió la trayectoria que recorre la tubería desde cada equipo de suministro hasta las estaciones de salida en cada encamamiento y servicio suministrado; al momento

de realizar la inspección de la trayectoria de la tubería, se revisó el estado de los anclajes, soportes, aislamientos y válvulas de la tubería.

6.2.2. Propuesta de mejora

Para realizar las propuestas de mejora al sistema de gases médicos se procedió a revisar las condiciones y requisitos solicitados en la normativa aplicable; cuando un requisito no se cumple, se especificó, luego se procedió a realizar los diagramas mejorados a proponer.

6.3. Sistema de gases médicos

A continuación, se presentan los parámetros utilizados para la realización de las propuestas de mejora.

6.3.1. Caudales

Los caudales máximos se determinarán dependiendo del gas a suministrar como se indica a continuación:

Tabla VI. Obtención de caudales máximos

Gas médico	Cálculo del caudal
Aire médico	Tabla proporcionada por Chemetron Medical Division (<i>Medical air compressor peak demand calculation chart</i>).
Oxígeno	Consumo promedio registrado por la sección de mantenimiento.
Vacío	Tabla proporcionada por Chemetron Medical Division (<i>Medical vacuum peak demand calculation chart</i>).

Fuente: elaboración propia.

Los caudales máximos determinados son los siguientes:

Tabla VII. **Caudales requeridos por la unidad médica**

Gas médico	SCFM
Aire médico	30,00
Oxígeno	6,77
Vacío	108,70

Fuente: elaboración propia.

6.3.2. Caídas de presión

La norma NFPA 99 establece que la presión en las estaciones de salida debe ser como se indicó en la tabla III.

6.3.3. Dimensionamiento de tubería

Para el dimensionamiento de la tubería se consideraron los siguientes aspectos:

- La norma NFPA 99 establece que las tuberías principales y las de derivación en sistemas de tubería de gas médico no deben ser menores de DN 15 (NPS ½) (5/8 in.OD).
- La norma NFPA 99 establece que las tuberías principales y las de derivación en sistemas de tubería de vacío médico no deben ser menores de DN 20 (NPS ¾) (7/8 in.OD).

- La norma NFPA 99 establece que el sistema de tubería debe estar diseñado y dimensionado para entregar el flujo requerido a la presión de utilización.

Para el cálculo de la tubería se procedió a calcular la pérdida de presión en cada derivación, con el fin de determinar la pérdida de presión admisible en la tubería principal, dado que:

$$\Delta P = \sum \Delta P_i$$

Donde:

ΔP =Caída de presión total

ΔP_i =Caídas de presión en derivaciones y tubería principal

Por lo tanto, la caída de presión admisible se determina de la siguiente manera.

$$\Delta P_{admisible} = \Delta P_{principal} + \Delta P_{derivaciones}$$

Por lo tanto:

$$\Delta P_{admisible} - \Delta P_{derivaciones} = \Delta P_{principal}$$

Las caídas de presión en cada derivación se determinaron utilizando la siguiente ecuación:

$$\Delta P = \frac{128 l Q \mu}{\pi D^4}$$

Donde:

ΔP =Caída de presión [Psi]

l =Longitud equivalente de tubería [in]

Q =Caudal [in³/min]

D =Diámetro de tubería [in]

μ =Viscosidad absoluta del gas [Psi-s]

Los datos y el resultado del cálculo de la caída de presión de cada tubería se presentan en la siguiente tabla:

Tabla VIII. **Datos y resultados para el cálculo de pérdidas de presión**

Gas médico	Longitud equivalente (m)	Caudal (SCFM)	Diámetro (in)	Viscosidad absoluta (psi-s)	Caída de presión
Aire médico	685	30	1	2,61x10 ⁻⁹	0,52 psi
Oxígeno	1 387	6,77	½	2,9x10 ⁻⁹	0,06 psi
Vacío	1 387	108,7	1	2,61x10 ⁻⁹	4,34 inHg

Fuente: elaboración propia.

La caída presión admisible en cada tubería principal con un factor de seguridad de 20 % se presenta a continuación:

Tabla IX. **Pérdidas de presión**

Gas médico	Caída de presión en derivaciones	Caída de presión admisible en tubería principal
Aire médico	0,52 psi	0,30 psi
Oxígeno	0,06 psi	2,34 psi
Vacío	4,34 inHg	0,73 inHg

Fuente: elaboración propia.

Al conocer la caída de presión en la tubería principal se procedió a determinar el diámetro de la tubería que se requiere utilizando la siguiente ecuación:

$$D = \sqrt[4]{\frac{128 l Q \mu}{\pi \Delta P}}$$

Los diámetros resultantes con un factor de seguridad de 20 % se presentan a continuación:

Tabla X. **Diámetros de tuberías**

Gas médico	Diámetro de tubería utilizado (in)	Diámetro de tubería calculado (in)
Aire médico	3	1,74
Oxígeno	1	0,89
Vacío	3	2,85

Fuente: elaboración propia.

Con los datos presentados en la tabla anterior se resalta que:

- La tubería de aire médico posee una capacidad mayor a la requerida.
- La tubería de oxígeno posee una capacidad adecuada al caudal requerido actualmente.
- La tubería de vacío médico posee una capacidad adecuada al caudal requerido actualmente.

6.3.4. Dimensionamiento del equipo

A continuación, se presentan los parámetros utilizados al momento de dimensionar el equipo del sistema de gases médicos.

6.3.4.1. Aire médico

El compresor necesario para suministrar a la unidad médica debe poseer un caudal mayor al requerido, dado que el caudal consumido es de 30 SCFM y el factor de seguridad a utilizar es del 20 %, el caudal que debe entregar el sistema de suministro es de 36 SCFM.

De acuerdo con el fabricante se presentan las características del compresor utilizado en la casa de máquinas para el suministro de aire médico:

Tabla XI. **Especificaciones de los compresores**

Modelo	Motor (HP)	RPM	TANQUE (L)	SCFM	LPM
5t2nl	7,5	660	300	26,5	743
	10,0	930	300	37,0	1 048

Fuente: Ingersoll Rand. *Compressed air system solutions*. p 13.

Dado que el motor acoplado al compresor es de 7,5 HP el caudal no será suministrado adecuadamente durante la demanda máxima, por lo que debe entrar en funcionamiento el compresor secundario.

6.3.4.2. Oxígeno

El consumo actual de oxígeno en la unidad médica es el siguiente:

Tabla XII. Consumo mensual de oxígeno

	Promedio de ft ³ /mes	Promedio de cilindros por mes
Oxígeno líquido	292 459,80	-
Cilindro H	4 500,83	21
Cilindro E	1 810,15	74
Cilindro M	9,17	1

Fuente: Sección de mantenimiento del HGA "Ceibal".

6.3.4.3. Vacío

La bomba de vacío médico necesaria para suministrar a la unidad médica debe poseer un caudal mayor al requerido, por lo tanto, sabiendo que el caudal máximo consumido es de 108,7 SCFM y dado que el factor de seguridad utilizado es del 20 %, se calcula que el caudal proporcionado por la bomba de vacío debe ser de 130,44 SCFM.

De acuerdo con el fabricante se presentan las características de la bomba de vacío medico utilizada en la casa de máquinas:

Tabla XIII. **Especificaciones de las bombas de vacío**

Modelo	HP	SCFM (19inHg)	Nivel dBA	Altura del tanque (m)
100B	7,5	52	79	1,895

Fuente: Chemetron. *Medical vacuum system: Lubricated Vane*. p 5.

Dado que la bomba de vacío únicamente tiene una capacidad aproximada del 40 % del caudal requerido para un caudal máximo, se deduce que, al momento de existir una demanda máxima, aun funcionando ambas bombas simultáneamente, no se suministrará adecuadamente el vacío médico.

6.3.5. Materiales

La norma NFPA 99 establece que para el sistema de aire médico y el sistema de vacío la distribución debe realizarse por medio de tubos de cobre sin costura tipo K para gas médico, y para el sistema de oxígeno debe ser tubo de cobre sin costura, tipo K o L para gas médico, en ambos casos se cumplen los requisitos, tanto para la tubería principal como para las tuberías de derivación.

6.3.6. Señalización

La señalización adecuada, requerida por la norma NFPA 99 y NFPA 50 se presenta en la siguiente tabla, así también se indica si se cumple en la unidad médica; de no se cumplirse los requisitos necesarios, se realizarán las propuestas pertinentes.

Tabla XIV. **Verificación de la señalización**

Elemento	Señalización requerida	Verificación
Central de suministro y almacenamiento de aire médico y oxígeno	Letrero de precaución en puertas legible a 1,5 m	No hay señalización
Tubería	Pigmentos del color correspondiente a intervalos no mayores de 6,1 m	Señalización correcta
Válvulas para conexiones futuras	No hay válvulas para conexiones futuras	<i>No aplica</i>
Válvula fuente	Identificando la fuente de suministro	No hay señalización
Válvula de línea principal	Identificando el gas y el edificio a suministrar	No hay señalización
Válvula de servicio	Identificando el gas y las áreas a suministrar	No hay señalización
Estaciones de salida y entrada	Nombre, color o símbolo para identificar el gas	Señalización por código de colores

Fuente: elaboración propia.

Tal como lo establece la norma NFPA 99, la tubería está identificada por el fabricante, Mueller Industries, Inc.; para la tubería utilizada que es tipo K, posee identificación con letras verdes indicando que su uso es para gases médicos.

6.3.7. Accesorios

En esta sección se verificará que cada accesorio cumpla con los requisitos mínimos establecidos por la normativa aplicable, en caso de no cumplirse los requisitos, se realizarán las propuestas pertinentes.

6.3.7.1. Filtros

A continuación, se presentan los parámetros obtenidos respecto a los filtros utilizados en el sistema de gases médicos.

6.3.7.1.1. Filtros de aire médico

La siguiente tabla muestra los requisitos establecidos por la norma NFPA 99, también se indica si se cumplen dichos requisitos, de no cumplirse se realizarán las recomendaciones pertinentes.

Tabla XV. **Verificación de los filtros**

Requisitos	Verificación	Observaciones
Filtros silenciadores en la admisión	✓	
Ser examinados trimestralmente (como tiempo máximo)	x	
Estar ubicados del lado de alta presión de los reguladores de línea final	✓	
Eficiencia de un 98 %	✓	Según el fabricante
Poseer indicador visual mostrado la vida útil del filtro	x	
Filtros coalescentes con indicador de cambio de los elementos	x	Se poseen filtros coalescentes, pero sin indicador de cambio de los elementos
Filtros de carbón activado	x	

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente tabla se presentan las características que, según el fabricante, poseen los filtros instalados para el suministro de aire médico:

Tabla XVI. **Especificaciones de los filtros**

Tipo	Caudal (SCFM)	Presión máxima (Psig)	Remoción de partículas superior a (micrón)	Remoción de aceite a 20°C superior a (mg/m³)	Caída de presión nominal (Psi)
U (PRE-FILTRO)	70	232	1,00	0,10	0,7
H (POST-FILTRO)	70	232	0,01	0,01	1,3

Fuente: Schulz. *Compressed air treatment*. p 7.

La norma NFPA 99 establece que el caudal admitido por el filtro debe ser el doble de la capacidad calculada, lo cual, para fines prácticos, se cumple correctamente, sin embargo, no posee indicador visual para conocer el estado del filtro y el momento del cambio de los mismos; tampoco se poseen filtros de carbón activado.

6.3.7.1.2. Filtros de oxígeno

La norma NFPA 99 indica que el colector de oxígeno debe tener un filtro para prevenir la intrusión de viruta hacia el control, sin embargo, no se posee dicho filtro en el colector instalado para el suministro de oxígeno en la unidad médica.

6.3.7.2. Secadores de aire médico

Los requisitos que deben cumplir los secadores de aire médico se presentaron anteriormente, la siguiente tabla muestra los datos proporcionados por el fabricante:

Tabla XVII. **Especificaciones del secador de aire**

Modelo	Caudal (SCFM)	Presión máxima (Psig)	Presión de operación (Psig)	Punto de rocío (°C)	Tipo de refrigerante
ADS 50	50	203	100	3	R134a

Fuente: Schulz. *Compressed air dryer*. p 3.

El secador de aire médico posee los requisitos básicos para cumplir su función adecuadamente, sin embargo, no cumple con la norma NFPA 99.

6.3.7.3. Válvulas

La siguiente tabla muestra las válvulas requeridas por la norma NFPA 99, de no poseer dichas válvulas se realizarán las recomendaciones pertinentes.

Tabla XVIII. **Verificación de las válvulas**

Válvulas	Verificación	Observaciones
Válvula fuente	✓	Para los tres sistemas de gas médico.
Válvula de línea principal.	✗	En ninguno de los tres sistemas de gas médico se posee.
Válvulas de servicio.	✓	Para los tres sistemas de gas médico.
Válvulas de zona	✓	Para los tres sistemas de gas médico.

Fuente: elaboración propia.

Las tablas que se encuentran a continuación muestran los requisitos establecidos por la norma NFPA 99 para cada válvula, también se indica si se cumplen dichos requisitos, de no cumplirse se realizarán las recomendaciones pertinentes.

Los requisitos que debe cumplir la válvula fuentes son las siguientes:

Tabla XIX. **Verificación de las válvulas fuente**

Requisitos	Verificación	Observaciones
Debe ser ubicada en la vecindad inmediata al equipo de suministro.	✓	
Debe estar señalizada adecuadamente.	✗	No posee ninguna señalización.

Fuente: elaboración propia.

Los requisitos que debe cumplir la válvula de línea principal son los siguientes:

Tabla XX. **Verificación de las válvulas de línea principal**

Requisitos	Verificación	Observaciones
Debe ser provista en la línea de suministro principal dentro del edificio.	x	No se poseen válvulas de línea principal.
Debe estar localizada de manera que permita el acceso al personal autorizado únicamente (ejemplo, localizado arriba del techo o detrás de una puerta de acceso sellada).	x	
Debe estar señalizada adecuadamente.	x	

Fuente: elaboración propia.

Los requisitos que debe cumplir la válvula de servicio son las siguientes:

Tabla XXI. **Verificación de las válvulas de servicio**

Requisitos	Verificación	Observaciones
Debe estar ubicada en la tubería de derivación antes de cualquier cajón de válvulas de zona en ese ramal.	✓	Para cada válvula de zona se posee una válvula de servicio.
Debe estar localizada de acuerdo a cualquiera de los requisitos siguientes: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Detrás de una puerta de acceso cerrada. ✓ Sellada abiertamente arriba del techo. ✓ Sellada abiertamente en un área segura. 	✓	Está ubicada arriba del techo (cielo falso).
Debe estar señalizada adecuadamente.	x	No posee ninguna señalización.

Fuente: elaboración propia.

Los requisitos que debe cumplir la válvula de zona son las siguientes:

Tabla XXII. **Verificación de las válvulas de zona**

Requisitos	Verificación	Observaciones
<p>Todas las estaciones de salida y entrada deben estar suplidas a través de una válvula de zona como se indica a continuación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Debe estar colocada de tal manera que la pared intervenga entre la válvula y las entradas/salidas que controla. • La válvula de zona debe servir únicamente a entradas y salidas localizadas en el mismo piso. 	✓	
<p>Debe ser fácilmente operable desde una posición de pie en el corredor o el mismo piso al que sirve.</p>	✓	
<p>Debe estar dispuesta de manera que al cerrar el suministro de gas médico o vacío en una zona no se vea afectado el suministro de gas médico o vacío en otra zona o en el resto del sistema.</p>	✓	
<p>Debe poseer un indicador de presión o vacío provisto del lado de la estación de salida y entrada.</p>	✓	

Fuente: elaboración propia.

Las válvulas de zona deben estar instalados en cajones cumpliendo los siguientes requisitos:

Tabla XXIII. **Verificación de los cajones de válvulas de zona**

Requisitos	Verificación	Observaciones
Deben ser instalados donde sean visibles y accesibles en todo momento.	✓	Se ubican, generalmente en estaciones de enfermería.
No deben ser instalados detrás de puertas normalmente cerradas o abiertas o de cualquier manera, ocultos de la vista.	✓	
No deben estar localizadas en cuartos, áreas o armarios cerrados.	✓	

Fuente: elaboración propia.

Los requisitos generales que deben cumplir las válvulas son los siguientes:

Tabla XXIV. **Verificación de los requisitos generales de las válvulas**

Requisitos	Verificación	Observaciones
Todas las válvulas, excepto las de zona, deben estar en áreas seguras o estar bloqueadas o aseguradas en su posición operacional y estar etiquetadas indicando el gas suministrado y las áreas controladas.	✓	Las válvulas se ubican arriba del techo (cielo falso).
Las válvulas de cierre accesibles para quienes no sean personal autorizado deben estar instaladas en cajones con ventanas removibles o frágiles que sean lo suficientemente grandes para permitir la operación manual de las válvulas.	✓	
Las válvulas de cierre para uso en áreas como psiquiatría o pediatría, deben permitir ser aseguradas con la aprobación de la autoridad competente para prevenir el acceso inapropiado.	✓	Pediatría no posee válvulas accesibles.
Las válvulas de cierre deben ser de un cuarto de vuelta para cierre completo, tipo bola, de bronce o latón, tener extensiones para soldadura y tener una manija que indique abierto o cerrado.	✓	No poseen indicadores en la manija para indicar abierto/cerrado.

Fuente: elaboración propia.

6.3.7.4. Reguladores e indicadores de presión

La siguiente tabla muestra los requisitos establecidos por la norma NFPA 99, también se indica si se cumplen dichos requisitos, de no cumplirse se realizarán las recomendaciones pertinentes.

Tabla XXV. Verificación de los reguladores y manómetros

Requisitos	Verificación	Observaciones
Todas las centrales de sistemas de suministro a presiones positiva deben estar provistas con dos reguladores de presión final instalados en paralelo con válvulas de aislamiento antes de cada regulador y un aislador o válvula antiretorno después de cada regulador, para permitir el servicio a cualquier regulador sin interrumpir el suministro.	x	
Un indicador de presión debe estar del lado de baja presión de cada regulador.	✓	
El rango en la escala para presiones positivas en indicadores análogos debe ser tal que la lectura normal caiga en la mitad de la escala.	✓	
El rango en la escala para indicadores digitales no debe ser mayor a dos veces la presión de trabajo del sistema de tubería.	?	Se desconoce el rango.

Continuación de tabla XXV.

<p>La escala para el rango de vacío en los indicadores debe ser de 0mm a 760 mm (0 in a 29,9 in) de mercurio manométricas.</p>	<p>✓</p>	
<p>Los indicadores de presión y vacío deben ser legibles desde una posición de pie.</p>	<p>✓</p>	<p>Excepto para el sistema de oxígeno, donde los manómetros están a aproximadamente 2,5 m de altura.</p>
<p>Los indicadores de presión y vacío deben estar provisto en las siguientes localizaciones como mínimo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Adyacentes al dispositivo de activación de la alarma para los sistemas de alarma principal, de la línea principal de presión y vacío. • En o dentro del área del panel que indica la presión o vacío al dispositivo de activación de la alarma para cada sistema que es monitoreado en el panel. • En el lado de las estaciones de salida/entrada de las válvulas de zona. 	<p>✘</p>	<p>Únicamente se posee en las válvulas de zona del lado de las estaciones de salida.</p>

Continuación de tabla XXV.

<p>Se debe disponer de reguladores de presión para el aire médico los cuales deben estar dimensionados para un caudal que sea el doble del pico de la demanda calculado en condiciones de diseño y estar equipados con un indicador de presión, indicando la presión que entrega.</p>	<p>✓</p>	<p>Se desconoce el caudal máximo que permiten.</p>
<p>El oxígeno debe ser dispensado, siempre, desde un cilindro por medio de un regulador de presión para reducir la presión del cilindro a una presión intermedia para permitir la operación apropiada de los demás cabezales.</p>	<p>✗</p>	

Fuente: elaboración propia.

6.3.7.5. Soportes, anclajes y aisladores

La tubería esta sostenida por soportes anclados al techo, dado que están sujetados las tres tuberías en cada soporte, la distancia máxima admitida será la que se indica para la tubería de mayor diámetro, la cual es de 3,05 m (10 ft), esta distancia se cumple adecuadamente para cada distancia entre soportes.

También, la norma NFPA 99 establece que la tubería debe estar aislada para evitar el contacto metal con metal, en la unidad médica toda la tubería que entra en contacto con soportes, está aislada correctamente.

6.3.7.6. Tomas o estaciones de salida

El único requisito específico para las estaciones de salida y entrada que indica la norma NFPA99 es que deben estar identificadas para conocer el gas que suministra, dicho requisito se cumple ya que las tomas están señalizadas con el color respectivo indicado en el código de colores para gases médicos.

6.3.7.7. Alarmas

La unidad médica no posee ningún sistema de alarma, el único sistema de alarma que poseía ya no está en funcionamiento y únicamente monitoreaba la presión de suministro de los gases.

6.3.8. Procesos de abastecimiento y producción de gases médicos

A continuación, se presentan los parámetros obtenidos en los procesos de abastecimiento y producción de gases médicos.

6.3.8.1. Producción de aire médico

A continuación, se presentan los parámetros obtenidos en los procesos de producción de aire médico.

6.3.8.1.1. Compresores

Para la producción de aire médico para el consumo en la unidad médica, se poseen dos compresores de aire de grado médico, la siguiente tabla presenta los requisitos que establece la norma NFPA 99 que deben cumplir los compresores

para aire médico, de no cumplirse los requisitos se harán las recomendaciones pertinentes.

Tabla XXVI. **Verificación del sistema de suministro de aire médico**

Requisitos	Verificación	Observaciones
Debe poseerse no menos de dos compresores, y aun cuando el compresor de mayor capacidad se encuentre fuera de servicio, el sistema debe ser capaz de suministrar el flujo máximo calculado al momento del diseño,	✓	
Debe permitir el servicio de los componentes sin que el sistema deje de suministrar.	✓	
El compresor secundario debe activarse automáticamente cuando el compresor en operación es incapaz de mantener la presión requerida.	x	
Alternancia automática o manual de los compresores para permitir la división del tiempo de operación. Si la alternancia automática de los compresores no es provista, el personal de las instalaciones debe disponer de un calendario de alternancia manual.	✓	Se utiliza la alternancia manual.

Continuación de tabla XXVI.

<p>El compresor de aire médico debe admitir el aire de una fuente limpia de aire, localizada donde no se anticipe contaminación de escapes de motores, ventilas de almacenamiento de combustibles, descargas de sistemas de vacío médico quirúrgico, partículas de materia y olores de cualquier tipo.</p>	<p>✓</p>	
<p>La admisión del aire del compresor debe estar localizada en las afueras sobre el nivel del techo a una distancia mínima de 3,05 m (10 ft) de cualquier puerta, ventana, salida, otra admisión o aberturas en el edificio y a una distancia mínima de 6,1 m (20 ft) sobre el suelo.</p>	<p>✓</p>	
<p>El final de la admisión debe estar doblado hacia abajo y estar protegido por una malla o de cualquier manera estar protegida contra la entrada de bichos, escombros o precipitación pluvial por pantallas fabricadas o compuestas de material no corrosivo.</p>	<p>✓</p>	<p>Aunque no está doblado hacia abajo está protegido adecuadamente.</p>

Fuente: elaboración propia.

6.3.8.2. Abastecimiento de oxígeno

El oxígeno utilizado en la unidad médica se adquiere a un tercero, la empresa contratada para dicho servicio es “Productos del Aire”, sin embargo, la sección de mantenimiento debe proveer ciertas circunstancias y cumplir ciertos requisitos al momento de recibir oxígeno, ya sea en estado líquido en el tanque principal o en cilindros para almacenamiento.

La norma NFPA 99 establece que es responsabilidad de la organización que abastece, la operación y el mantenimiento del sistema de suministro masivo para asegurar que todos los componentes del sistema de suministro funcionen apropiadamente, por lo que los únicos requisitos que debe cumplir la unidad médica al momento de ser abastecido son los siguientes:

Tabla XXVII. **Verificación del sistema de suministro de oxígeno**

Requisitos	Verificación	Observaciones
El sistema debe ser fácilmente accesible al equipo móvil de suministro y al personal autorizado. El sistema masivo de oxígeno no debe estar ubicado en terrazas de edificios o de otras estructuras.	✓	

Continuación de tabla XXVII.

<p>Donde sea almacenado oxígeno en forma líquida, una superficie de material incombustible debe ser provista a nivel del suelo debajo de las conexiones de recarga para el contenedor y el equipo móvil de suministro. Esta área debe tener al menos 3 ft (1 m) de diámetro desde el punto a nivel del suelo donde pueda haber fuga de oxígeno líquido durante la descarga y la operación normal del sistema. El área debajo de equipo móvil de suministro debe tener al menos el ancho completo del vehículo y al menos 2,5 m (8 ft) en la dirección del eje del vehículo. Para este estándar, asfalto es considerado como material combustible.</p>	✓	No se utiliza asfalto.
<p>Durante las operaciones de suministro los siguientes componentes deben ser fácilmente accesibles para el personal:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conexión de llenado • Válvulas superior e inferior de llenado • Válvula de la manguera de purga • Válvula de ventilación • Indicador del nivel del líquido • Indicador de presión del tanque 	✓	
<p>Durante las operaciones de llenado, los letreros en el área de descarga deben ser visibles para el personal.</p>	✓	

Fuente: elaboración propia.

Para el abastecimiento de cilindros de oxígeno la norma NFPA 99 establece que se debe permitir libre acceso de los vehículos de entrega y manipulación de los cilindros.

6.3.8.3. Generación de vacío

A continuación, se presentan los parámetros obtenidos en los procesos de producción de vacío.

6.3.8.3.1. Bombas de vacío

Para el suministro de vacío médico la casa de máquinas posee dos bombas de vacío, la siguiente tabla muestra los requisitos establecidos por la norma NFPA 99 que deben cumplir las bombas, de no cumplirse los requisitos se harán las recomendaciones pertinentes.

Tabla XXVIII. Verificación del sistema de suministro de vacío

Requisitos	Verificación	Observaciones
Poseer montajes anti vibratorios de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.	✓	
Conectores flexibles deben conectar la bomba de vacío con la admisión y el escape de la tubería.	✓	
Consistir de dos o más bombas de vacío, suficientes para servir durante la demanda máxima calculada, aun con la bomba de vacío de mayor capacidad fuera de servicio.	✗	

Continuación de tabla XXVIII.

Poseer un medio automático para prevenir el retroceso del flujo de cualquier bomba de vacío funcionando hacia cualquier bomba de vacío sin funcionamiento.	✓	
Poseer una válvula de corte o cualquier medio de aislamiento para aislar cada bomba de vacío del sistema de tubería y otras bombas de vacío, para poder recibir mantenimiento sin perder el vacío en el sistema.	✓	
Poseer un tanque receptor de vacío	✓	
La disposición de los equipos para vacío debe estar arreglados de tal manera que permita el servicio y un suministro contante de vacío médico en caso de una única falla.	✓	
Los sistemas de vacío médico deben estar provistos de una válvula fuente.	✓	
Las bombas adicionales deben activarse automáticamente cuando la bomba en operación es incapaz de mantener adecuadamente el vacío requerido.	✗	
Debe de permitirse la alternancia automática o manual de las bombas para dividir el tiempo de operación. Si la alternancia automática de las bombas no es provista, el personal de las instalaciones debe proveer un calendario para la alternancia manual.	✓	Se utiliza la alternancia manual.
Los sistemas de vacío médico deben activar las alarmas locales cuando la bomba de apoyo esté funcionando.	✗	No se poseen alarmas.

Fuente: elaboración propia.

6.3.9. Almacenamiento de gases médicos

A continuación, se presentan los parámetros obtenidos en el almacenamiento de gases médicos.

6.3.9.1. Aire médico

Para el almacenamiento del aire médico la norma NFPA 99 establece ciertos requisitos mostrados en la siguiente tabla, de no cumplirse los requisitos se harán las recomendaciones pertinentes.

Tabla XXIX. Verificación del almacenamiento de aire médico

Requisitos	Verificación	Observaciones
Deben tener una capacidad suficiente para prevenir que los compresores trabajen en ciclos cortos.	✓	Según el fabricante.
Deben poseer válvulas de alivio de presión.	✗	Únicamente poseen los compresores.
Deben poseer drenado automático y manual o únicamente manual.	✓	Se utiliza manual.
Deben poseer un indicador de presión.	✓	

Fuente: elaboración propia.

6.3.9.2. Oxígeno

A continuación, se presentan los parámetros obtenidos en el almacenamiento de oxígeno.

6.3.9.2.1. Oxígeno líquido

Para el almacenamiento de oxígeno líquido, ya que se considera un sistema masivo la norma NFPA 99 y NFPA 50 establecen los siguientes requisitos, de no cumplirse con los requisitos se harán las recomendaciones pertinentes:

Tabla XXX. **Verificación del almacenamiento de oxígeno**

Requisitos	Verificación	Observaciones
La distancia mínima del sistema masivo a cualquier edificio con construcción de madera debe ser 15 m (50 ft).	✓	No hay construcciones de madera.
La distancia mínima del sistema masivo a cualquier edificio debe ser de 3 m (10 ft).	✓	
La distancia mínima del sistema masivo a cualquier clase de almacenaje inflamable o combustible bajo tierra debe ser 7,5 m (25 ft).	✓	

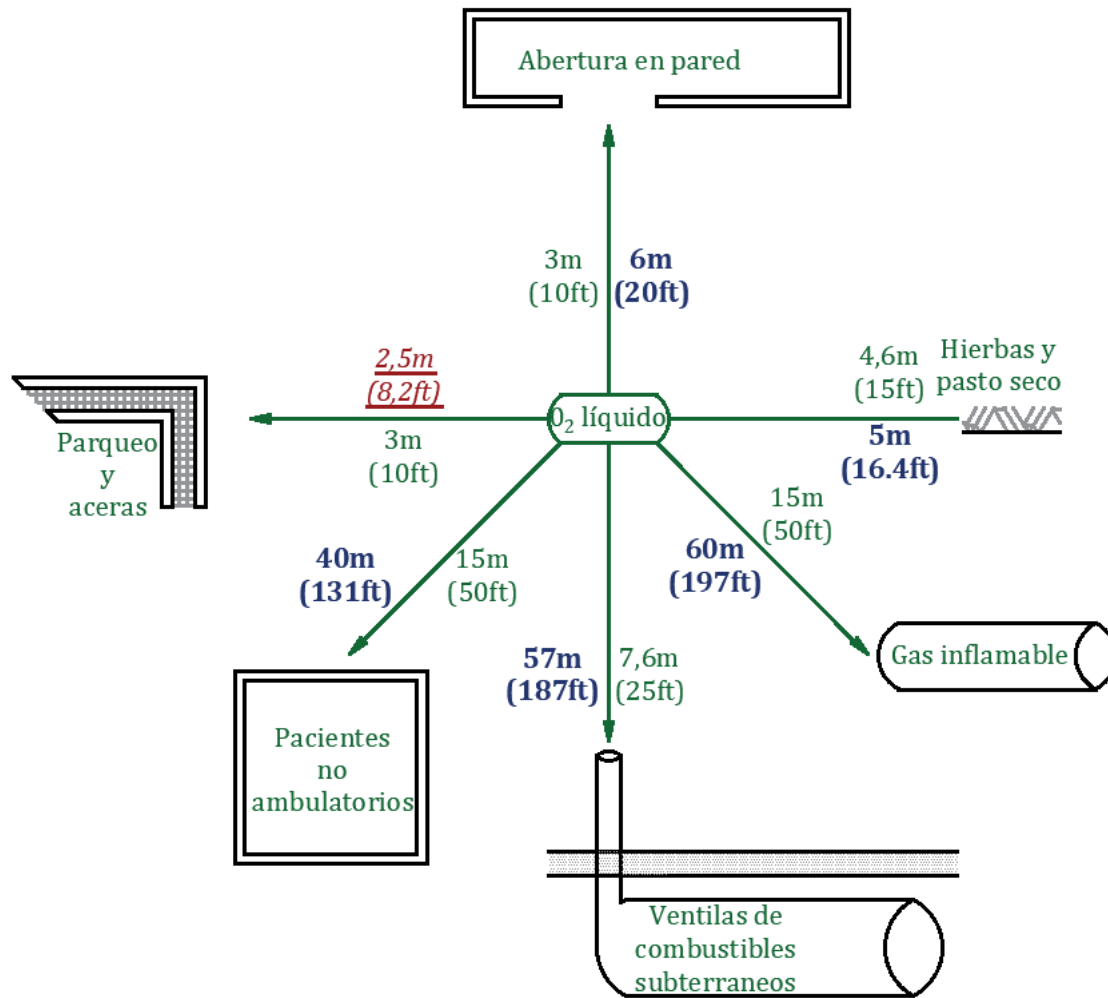
Continuación de tabla XXX.

La distancia mínima del sistema masivo a cualquier gas inflamables debe ser 15 m (50 ft)	✓	
La distancia mínima del sistema masivo a cualquier clase de banqueta o parqueo de vehículos debe ser de 3 m (10 ft).	✗	

Fuente: elaboración propia.

Para fines prácticos se proporciona el siguiente gráfico que muestra las distancias admisibles según la normativa aplicable y las distancias reales en la unidad médica, se muestran tanto las que se cumplen (en negrita) como las que no (en cursiva y subrayado), para las distancias que no se cumplen se realizarán las recomendaciones pertinentes.

Figura 2. Distancias admisibles para tanque de oxígeno líquido



Fuente: elaboración propia, basada en la norma NFPA 99 y NFPA 50.

6.3.9.2.2. Cilindros

Para el almacenamiento de los cilindros la norma NFPA 99 establece ciertos requisitos presentados en la siguiente tabla, de no cumplirse los requisitos, se harán las recomendaciones pertinentes:

Tabla XXXI. Verificación de almacenamiento de cilindros

Requisitos	Verificación	Observaciones
Los cilindros, estén llenos o vacíos, no deben ser almacenados en recintos que contengan fuentes con compresor de aire médico o sistemas de suministro de vacío médico.	✓	
Las ubicaciones deben ser escogidas para permitir el acceso de vehículos de entrega y manipulación de los cilindros.	✓	
<p>Las ubicaciones en interiores para oxígeno y mezclas de oxígeno no deben comunicarse con lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Áreas envueltas en cuidado crítico de pacientes. • Ubicaciones para anestesia. • Ubicaciones almacenando materiales inflamables. • Cuartos que contengan transformadores. • Tanques de almacenamiento de líquidos combustibles o inflamables. • Motores. • Cocinas. • Áreas con llamas. 	✓	

Continuación de tabla XXXI.

Estar ventilados para prevenir la acumulación de gases médicos derivados de fugas y de la operación de dispositivos de seguridad por sobrepresión en cilindros o colectores.	✓	
Los cilindros en uso y en almacenamiento deben ser prevenidos de alcanzar temperaturas que excedan los 54 °C (130 °F).	✓	
Todos los sistemas de suministro en interiores deben tener, válvulas de alivio ventiladas.	x	
Las ubicaciones de suministro en interiores deben estar provistas de sistemas de ventilación mecánicos para arrastrar al aire desde 3 m (1 ft) del piso y operar continuamente.	x	
Los cilindros deben estar identificados por etiquetas o plantillas que indiquen su contenido.	✓	
Una conexión para cada cilindro, permanentemente conectadas.	✓	
Un filtro para prevenir la intrusión de viruta hacia el control del colector.	x	
Un indicador de presión, indicando la presión del contenido del cabezal.	✓	

Continuación de tabla XXXI.

Una válvula antiretorno para prevenir el retroceso del flujo hacia el cabezal y para permitir el mantenimiento al cabezal.	✓	
Para los de cilindros de gas, cada conexión para cilindros debe tener una válvula antiretorno para prevenir la pérdida de gas en caso de que el cilindro se dañe.	✓	
Debe haber un regulador de presión para reducir la presión del cilindro a una presión intermedia para permitir la operación apropiada de los demás cabezales.	✗	No hay válvulas reductoras de presión en los cilindros.
Si se destina para servicios de líquido criogénico debe llevar una válvula de alivio.	✓	
Si se ubica en interiores, debe estar instalado dentro de un cuarto utilizado únicamente para ese propósito.	✓	
Los colectores deben tener su cabezal primario y secundario ubicado en el mismo recinto.	✓	
El cabezal de reserva debe estar ubicado en el mismo recinto.	✓	
El colector debe incluir un medio automático para controlar los tres cabezales.	✓	
Si se provee de un contenedor líquido y uno de gas (un arreglo híbrido) el cabezal para el líquido será el primario y el de gas, el secundario.	✓	

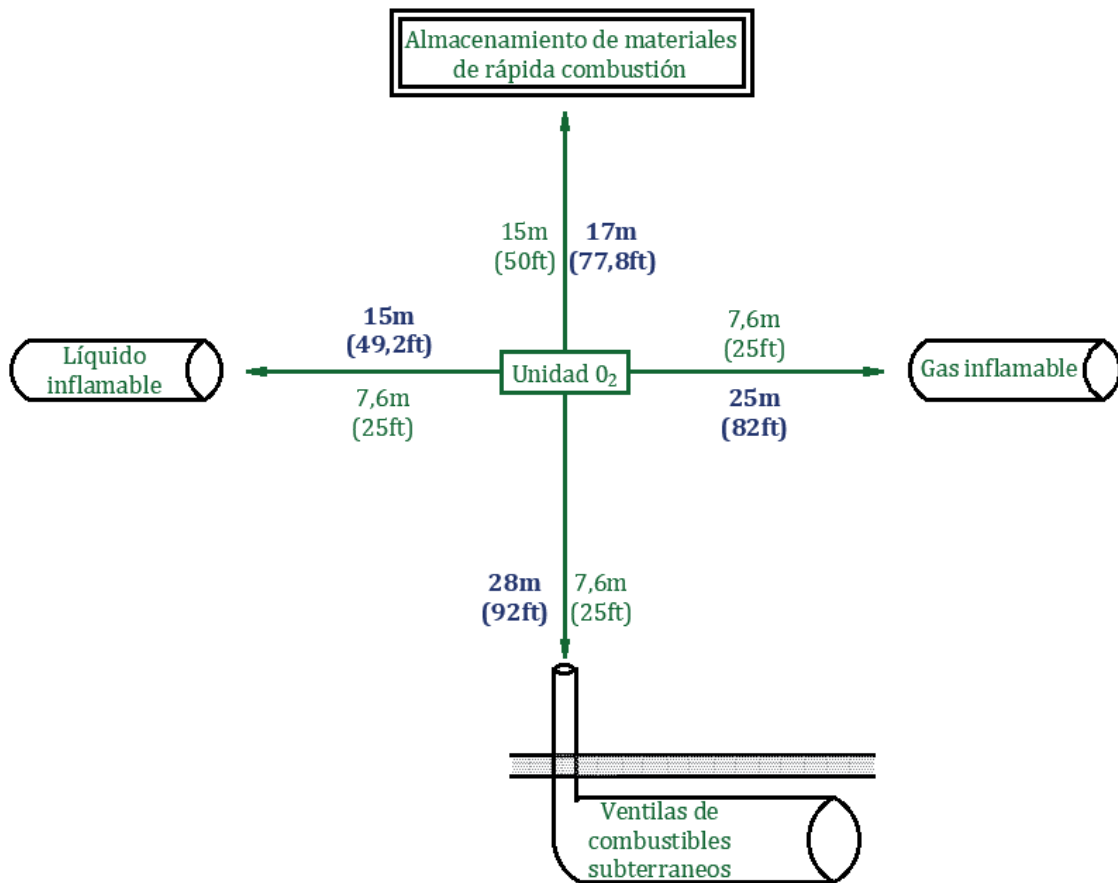
Continuación de tabla XXXI.

El colector de esta categoría debe incluir un medio automático para activar el cabezal de la reserva en caso de que el cabezal primario y el secundario no puedan suministrar al sistema.	✓	
Las fuentes masivas de líquido criogénico deben incluir medios automáticos para que, mientras el sistema de suministro primario esté funcionando, la reserva no suministre al sistema hasta que la fuente primaria se vea reducida a un nivel más bajo que la presión de activación de la reserva.	✓	
Las fuentes masivas de líquido criogénico deben incluir medios automáticos para que cuando la fuente de suministro principal no pueda suministrar al sistema la reserva debe empezar a suministra al sistema automáticamente.	✓	

Fuente: elaboración propia.

Para fines prácticos el siguiente gráfico muestra las distancias admisibles según la normativa aplicable y las distancias reales en la unidad médica (en negrita).

Figura 3. **Distancias admisibles para colector de oxígeno**



Fuente: elaboración propia, basada en la norma NFPA 99 y NFPA 50.

6.3.10. Monitoreo de demanda de gases médicos

La norma NFPA 99 establece ciertos criterios a tomar en cuenta para monitorear los gases médicos, para el aire médico establece la necesidad de medir el caudal suministrado, sin embargo, no se posee fluxómetro; para el oxígeno se debe monitorear el caudal, el punto de rocío y el monóxido de carbono, sin embargo, únicamente se monitorea el caudal suministrado.

Para el monitoreo de la calidad del aire suministrado y las pruebas necesarias, se debe colocar puertos de muestreo, los cuales deben poseer una válvula DN 8 (NPS 1/4) del lado de baja presión de los siguientes elementos, cuando se disponga de ellos:

- Regulador de presión de línea
- Monitor de punto de rocío
- Monitor de monóxido de carbono

6.3.11. Distribución

La distribución de los gases médicos se realiza por medio de una red de tuberías, las cuales conectan los puntos de utilización con las fuentes de suministro, además, para los usos que lo requieren también se distribuyen los cilindros con oxígeno desde la casa de máquinas hasta el servicio o encamamiento que lo requiera.

La tubería de distribución debe poseer las siguientes características establecidas en la norma NFPA 99, de no cumplirse se harán las recomendaciones pertinentes:

Tabla XXXII. Verificación de la tubería

Requisitos	Verificación	Observaciones
Los finales de la tubería deben ser cortados cuadrados usando un cortador de tubos afilado para evitar la deformación del tubo.	✓	Se desconoce la calidad con que fueron cortados.
El sistema de tubería debe estar diseñado y dimensionado para entregar el flujo requerido a la presión de utilización.	✓	
Las tuberías principales y las de derivación en sistemas de tubería de gas médico no deben ser menores de DN 15 (NPS ½) (5/8 in.OD).	✓	
Las tuberías principales y las de derivación en sistemas de tubería de vacío médico no deben ser menores de DN 20 (NPS ¾) (7/8 in.OD).	✓	
Las tuberías hacia los paneles y conexiones de la tubería para manómetros o dispositivos de alarmas deben ser DN 8 (NPS¼) (3/8 in.OD).	✓	

Continuación de tabla XXXII.

<p>La tubería debe estar protegida contra la congelación, corrosión y daños físicos.</p>	<p>✓</p>	<p>No es necesario proteger contra congelación.</p>
<p>Las tuberías expuestas en corredores y otras áreas donde estén sujetas a daño físico por movimiento de carretillas, equipo portátil o vehículos, deben estar protegidas.</p>	<p>✓</p>	
<p>La tubería bajo tierra entre edificios o incrustadas en pisos de concretos o paredes deben estar instaladas en conductos continuos.</p>	<p>?</p>	<p>Se desconoce la trayectoria y las condiciones de la tubería subterránea.</p>
<p>La tubería no debe ser instalada en cocinas, ejes de elevadores, cuartos de maquinaria de elevadores, áreas con llamas abiertas, equipo de servicio eléctrico mayor de 600 voltios, excepto por cuartos para la ubicación de sistemas de suministro de compresores de aire médico y sistemas de suministro de vacío médico quirúrgico.</p>	<p>✓</p>	

Continuación de tabla XXXII.

<p>Las tuberías de gas médico pueden ser instaladas en el mismo foso o túnel que las líneas de gas combustible, líneas de aceites combustibles, líneas eléctricas, líneas de vapor o utilidades similares provistas de un espacio ventilado (natural o mecánico) siempre que la temperatura ambiental alrededor de la tubería de gas médico esté limitada a un máximo de 54 °C (130 °F).</p>	<p>✓</p>	<p>La temperatura máxima medida es de 40 °c; únicamente posee ventilación natural.</p>
<p>Los sistemas de tubería de gas médico no deben se ubicadas donde estén sujetas a contacto con aceite, incluyendo áreas que puedan ser inundadas por aceite en caso de fugas excesivas.</p>	<p>✓</p>	
<p>El mínimo de la cubierta de relleno sobre la tubería para tuberías enterradas fuera de edificios debe ser 0,9 m (36 in) pero se permite que el relleno sobre la cubierta se reduzca a 0,45 m (18 in) donde se prevenga el daño físico de cualquier manera.</p>	<p>?</p>	<p>Se desconoce la condición de la tubería subterránea de oxígeno.</p>
<p>Una marca ubicada inmediatamente sobre la tubería debe claramente identificar la tubería por su nombre específico (en tubería subterránea).</p>	<p>✘</p>	

Continuación de tabla XXXII.

Las extracciones de la tubería horizontal deben ser hechas sobre la línea central de la tubería principal o de las derivaciones y erigirse verticalmente o a cualquier ángulo no menor de 45 grados respecto a la vertical.	✓	
Estar provista de anclajes, soportes y aislamiento para evitar el contacto metal-metal.	✓	

Fuente: elaboración propia.

Se considera como distribución al transporte de cilindros de oxígeno por lo que las características para las carretas de mano se mencionan a continuación, para los requisitos que no se cumplan se harán las recomendaciones pertinentes:

Tabla XXXIII. **Verificación para transporte de cilindros**

Requisitos	Verificación	Observaciones
Estar contruidos específicamente para el trasporte de cilindros de gas.	✓	
Permanecer erguidos al momento de soltarlos estando en posición vertical (ser autosostenibles).	✓	
Estar provistos con cadenas o sujetadores apropiados para retener el cilindro.	✗	Los sujetadores no son apropiados.

Fuente: elaboración propia.

6.4. Diagramación

Los planos realizados con la diagramación original del sistema de gases médicos, así como los planos con la diagramación con propuestas de mejora se presentan en la sección de apéndices.

6.5. Planes de mantenimiento preventivo e inspecciones

Dado que el suministro eficiente de gases médicos incluye la operación adecuada del equipo involucrado es necesario establecer un programa de mantenimiento, para los equipos que lo permitan, y rutinas de inspección para los siguientes equipos:

- Compresores de aire médico y bombas de vacío
- Colector de oxígeno y lugares de almacenamiento
- Tubería y accesorios

Las propuestas del plan de mantenimiento se realizarán tomando como base las recomendaciones del fabricante, dicha propuesta incluye las acciones mínimas necesarias para aumentar la vida útil del equipo, disminuir los tiempos muertos entre reparaciones y aumentar la eficiencia en el suministro de gases médicos.

Tanto el mantenimiento de los compresores y bombas de vacío, como la operación del colector de oxígeno, están bajo la responsabilidad de empresas contratadas para dichos fines, por lo que el plan de mantenimiento que se propone será utilizado como un parámetro para verificar los trabajos efectuados por las empresas privadas mencionadas anteriormente; las inspecciones propuestas se utilizarán para disminuir los riesgos inherentes al suministro de gases médicos, detectar fugas y mantener el equipo y áreas de almacenamiento en un correcto estado. Es muy importante mantener registros detallados de cada mantenimiento e inspecciones realizadas.

Figura 4. **Plan de mantenimiento para compresores y bombas (1/2)**

PLAN DE MANTENIMIENTO E INSPECCIONES	
COMPRESORES Y BOMBAS DE VACÍO	
Operario: _____	
Fecha: _____ Hora: _____	
<p>Precaución:</p> <p>→ Antes de realizar cualquier tipo de mantenimiento, liberar la presión del aire o presión de succión del sistema y desconectar la fuente de energía eléctrica</p> <p>→ Todos los compresores y bombas de vacío contienen elementos (como lubricantes, filtros, entre otros) que deben ser reemplazados periódicamente, estos elementos pueden contener sustancias contaminantes por lo que deben ser desechados de tal manera que se disminuya el impacto ambiental y el riesgo de contaminación para el operador.</p> <p>→ Cualquier servicio u operación no incluida en este manual debe consultarse con la autoridad competente</p> <p>→ El siguiente plan de mantenimiento ha sido desarrollado para el funcionamiento normal del equipo mecánico, cualquier tipo de mantenimiento extra que pueda ser requerido no está incluido.</p> <hr style="width: 50%; margin-left: 0;"/> <p>DIARIO</p> <p><input type="checkbox"/> Verificación por ruidos y vibraciones irregulares durante el funcionamiento de los compresores y bombas de vacío</p>	<p><input type="checkbox"/> Revisar la presión que indica el manómetro del tanque receptor, compresores y bombas de vacío.</p> <p><input type="checkbox"/> Purgar los tanques receptores</p> <p><input type="checkbox"/> Verificar nivel de aceite en compresores y bombas de vacío</p> <p><input type="checkbox"/> Tomar nota de lecturas de presiones positivas y negativas de cada indicador</p> <p><input type="checkbox"/> Verificar fugas de aceite</p> <p><input type="checkbox"/> Verificar fugas de aire a presión</p> <p><input type="checkbox"/> Verificar fugas de presión de succión</p> <p><input type="checkbox"/> Retirar del área cualquier tipo de material inflamable o combustible</p> <p><input type="checkbox"/> Asegurarse de que el área esté libre de basura, herramienta utilizada y otros elementos que aumenten los riesgos de operación.</p> <p><input type="checkbox"/> Revisar temperaturas excesivas durante el funcionamiento de los equipos.</p>
Firma: _____	
1 de 2	

Fuente: elaboración propia, basada en la norma NFPA 99 y las recomendaciones del fabricante.

Figura 5. **Plan de mantenimiento para compresores y bombas (2/2)**

PLAN DE MANTENIMIENTO E INSPECCIONES	
COMPRESORES Y BOMBAS DE VACÍO	
Operario: _____	
Fecha: _____ Hora: _____	
<p><u>Mensual</u></p> <p><input type="checkbox"/> Revisar consumo de amperaje de los motores eléctricos</p> <p><input type="checkbox"/> Revisar indicadores de presión</p> <p><input type="checkbox"/> Limpiar los equipos</p> <p><input type="checkbox"/> Revisar tensión en fajas de transmisión</p> <hr/> <p><u>Trimestral</u></p> <p><input type="checkbox"/> Cambio de aceite a compresores y bombas de vacío</p> <p><input type="checkbox"/> Examinar filtros y reemplazarlos en caso de ser necesario</p> <p><input type="checkbox"/> Calibrar los indicadores de presión</p> <p><input type="checkbox"/> Verificar la alineación de las poleas de los motores eléctricos y los compresores y bombas de vacío</p> <p><input type="checkbox"/> Revisar radiadores para verificar la adecuada circulación de aire</p> <p><input type="checkbox"/> Revisar torque y montaje de tornillos de fijación</p>	<p><u>Anual</u></p> <p><input type="checkbox"/> Estudio de demanda de gases para verificar la adecuada capacidad instalada.</p> <p><input type="checkbox"/> Revisar el estado de la <u>señalización.</u></p> <p>Atención:</p> <p>→ Inapropiada tensión de la faja y el desalineamiento de las poleas crea sobrecarga en el motor, excesiva vibración y desgaste prematuro de la faja y cojinetes.</p> <p>→ Fugas de aire comprimido o presiones de succión en las bombas de vacío crean condiciones de operación peligrosas.</p> <p>→ Un tanque receptor oxidado puede resultar en rotura o explosión que pueden causar daño a la propiedad y daños severos o la muerte de los operadores. Nunca modificar o reparar un tanque receptor</p> <p>→ Utilizar las herramientas correctas</p>
Firma: _____	
2 de 2	

Fuente: elaboración propia, basada en la norma NFPA 99 y las recomendaciones del fabricante.

Figura 6. **Plan de inspecciones para sistema de oxígeno**

PLAN DE INSPECCIONES	
COLECTOR DE OXÍGENO Y LUGARES DE ALMACENAMIENTO	
Operario: _____	
Fecha: _____ Hora: _____	
<p>Precaución:</p> <ul style="list-style-type: none"> → No engrasar ni aceitar válvulas o cualquier otro accesorio que esté en contacto con oxígeno → Las bajas temperaturas del líquido pueden causar quemaduras en la piel, ojos. → Cualquier inspección u operación no incluida en este manual debe consultarse con la autoridad competente → El siguiente plan de mantenimiento ha sido desarrollado para el funcionamiento normal del equipo mecánico, cualquier tipo de mantenimiento extra que pueda ser requerido no está incluido. <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black; margin: 5px 0;"/> <p>DIARIO</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Verificar fugas en tuberías de conexión al colector, cilindros y en el colector. <input type="checkbox"/> Verificar el estado de las válvulas de paso. <input type="checkbox"/> Inspeccionar e identificar daños en la superficie del tanque. <input type="checkbox"/> Inspeccionar la superficie de la tubería. <input type="checkbox"/> Retirar del área cualquier material combustible o inflamable 	<hr style="border: 0; border-top: 1px solid black; margin: 5px 0;"/> <p>Trimestral</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Inspeccionar el estado de los acoples y conexiones <input type="checkbox"/> Verificar el sistema de seguridad <input type="checkbox"/> Verificar el estado de los manómetros <input type="checkbox"/> Verificar el estado de los reguladores <input type="checkbox"/> Realizar limpieza general. <input type="checkbox"/> Ajustar, si es necesario, la presión en los reguladores. <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black; margin: 5px 0;"/> <p>Anual</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Estudio de demanda de gases para verificar la adecuada capacidad instalada. <input type="checkbox"/> Revisar el estado de la <u>señalización.</u> <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black; margin: 5px 0;"/> <p>Atención:</p> <ul style="list-style-type: none"> → Fugas de oxígeno crean condiciones peligrosas. → Cilindros o tanques oxidados pueden resultar en rotura o explosión. → Nunca modificar o reparar un tanque receptor
Firma: _____	
1 de 1	

Fuente: elaboración propia, basada en la norma NFPA 99 y las recomendaciones del fabricante.

Figura 7. **Plan de inspecciones para tubería**

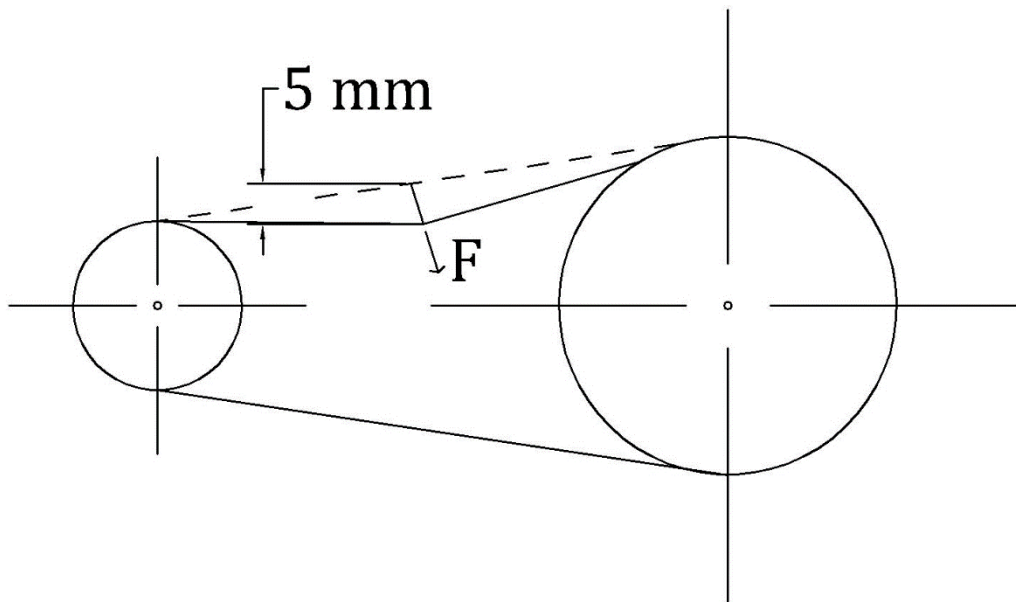
PLAN DE INSPECCIONES	
TUBERÍA, SOPORTES, ANCLAJES Y AISLAMIENTOS	
Operario: _____	
Fecha: _____ Hora: _____	
<p>Precaución:</p> <ul style="list-style-type: none"> → No engrasar ni aceitar válvulas o cualquier otro accesorio que esté en contacto con oxígeno → Cualquier inspección u operación no incluida en este manual debe consultarse con la autoridad competente → El siguiente plan de mantenimiento ha sido desarrollado para el funcionamiento normal del equipo mecánico, cualquier tipo de mantenimiento extra que pueda ser requerido no está incluido. <hr/> <p><u>Semestral</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Verificar fugas en la tuberías de distribución. <input type="checkbox"/> Verificar el estado de las válvulas de paso y cajones de válvulas de zona. <input type="checkbox"/> Inspeccionar e identificar daños en los anclajes y aislamientos. <input type="checkbox"/> Inspeccionar y verificar que la tubería no esté en contacto directo con los anclajes y soportes. 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Inspeccionar la superficie de la tubería, anclajes y soportes para verificar signos de corrosión. <input type="checkbox"/> Verificar que las válvulas estén aseguradas contra manipulación de personal no autorizado. <hr/> <p><u>Anual</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Estudio de demanda de gases para verificar la adecuada capacidad instalada. <input type="checkbox"/> Revisar el estado de la <u>señalización</u>. <hr/> <p>Atención:</p> <ul style="list-style-type: none"> → Fugas de oxígeno, aire a presión y presión de succión, crean condiciones peligrosas. → Las reparaciones a la tubería deben ser realizadas por personal calificado → Nunca modificar o reparar la tubería sin la aprobación de la autoridad competente.
Firma: _____	
1 de 1	

Fuente: elaboración propia, basada en la norma NFPA 99 y las recomendaciones del fabricante.

Dados los planes de mantenimiento e inspecciones se procederá a detallar los procedimientos que requieren ciertas recomendaciones:

- La verificación de fugas se debe realizar con agua jabonosa, utilizando jabón neutro. Se debe hacer seguimientos con el agua jabonosa a la tubería en busca de orificios creados por corrosión.
- De acuerdo con el fabricante las bombas de vacío y compresores deben trabajar con aceite SAE 30, y ser reemplazado cada 2 000 horas de trabajo o 6 meses (lo que suceda primero).
- Los filtros deben ser cambiados cuando al menos una de las siguientes condiciones se presente:
 - Cambiar filtro de aceite 2 000 horas de trabajo o cada 6 meses (lo que suceda primero).
 - Cambiar los filtros de aire, de aceite, separador, entre otros, cada 4 000 horas de trabajo o cada año (lo que suceda primero).
 - Disminución en la calidad del aire suministrado.
 - Caída de presión excesiva debida a suciedad en filtros.
- La presión que indican los manómetros finales debe corresponder a la presión normalizada para centrales de gas médico.
- La señalización debe estar en un correcto estado, en un lugar visible y respetando la normativa aplicable.
- Para el tensado de la faja el fabricante proporciona el siguiente gráfico.

Figura 8. **Tensado de faja de transmisión**



Fuente: elaboración propia, basada en el manual del usuario de compresores Ingersoll Rand.

7. FASE DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE

7.1. Capacitación sobre técnicas o métodos.

La fase de docencia se llevó a cabo presentando a los técnicos en la casa de máquinas los diagramas obtenidos, así como el plan de mantenimiento e inspecciones, los temas principales que se presentaron fueron los siguientes:

- Importancia del mantenimiento al equipo dedicado al suministro de gases.
- Diagrama de gases médicos.
- Importancia de las inspecciones a la red de distribución de gases médicos.
- Importancia de los historiales de inspecciones y mantenimientos.
- Plan de mantenimiento e inspecciones a red de distribución de gases médicos, equipo y lugares de almacenamiento.
- Seguridad industrial y hospitalaria.

Esta temática fue abarcada a lo largo de este documento por lo que la presentación realizada fue un resumen de cada tema individual, se presentaron los planos generales de la unidad médica para la ubicación de la tubería y de sus accesorios y los planes de mantenimiento para el equipo involucrado, se hizo énfasis en la seguridad industrial y hospitalaria para prevenir cualquier riesgo asociado con los gases médicos tanto para el personal como para las instalaciones.

El método utilizado para la presentación de los resultados a los técnicos fue utilizar un tiempo prudencial durante su turno para llevar a cabo la fase de docencia, por lo que dicha fase se realizó en repetidas ocasiones dependiendo del turno del personal mencionado más adelante.

Las personas a quienes se les presentaron los resultados fueron las siguientes:

- Encargado de casa de máquinas: Cesar Cifuentes.
- Encargados de mantenimiento: Eddie Gomez, Juan Arias, William Ajsivinac y Marvin Toledo.
- Electricista: Emerson Morales.
- Supervisor: Arq. Julio Siliezar.
- Jefe de la sección de mantenimiento: Ing. Gabriel Aguilar.

Se espera que con la docencia realizada los técnicos de la sección de mantenimiento tengan la capacidad de mantener el equipo y las instalaciones en correcto funcionamiento para garantizar un suministro constante y lograr una máxima eficiencia en el sistema de gases médicos.

Figura 9. **Capacitación utilizando planos de la red de gases médicos**



Fuente: elaboración propia.

7.2. Presentación e interpretación de resultados

Los resultados del ejercicio profesional supervisado fueron presentados a la sección de mantenimiento de la unidad médica, se presentaron tanto los diagramas de la red de distribución existente como los diagramas con recomendaciones de mejora, también se presentaron los planes propuestos para el mantenimiento preventivo e inspecciones.

Al poseer los diagramas de la red de distribución de gases médicos y el plan de inspecciones para la tubería, la sección de mantenimiento tiene la capacidad de realizar con mayor eficiencia las inspecciones periódicas necesarias para garantizar el suministro constante de gases médicos; así mismo, se espera que al poseer los planes de mantenimiento para el equipo involucrado en el sistema de gases médicos se puedan verificar los servicios contratados a distintas empresas.

Debido a la creciente demanda de servicios, y por lo tanto de gases médicos, se realizó y proporcionó el estudio de la demanda de gases, así como de la capacidad instalada y la requerida, con ello la sección de mantenimiento de la unidad médica posee los parámetros necesarios para asegurar un dimensionamiento adecuado para ampliaciones, tanto de la tubería como del equipo involucrado.

CONCLUSIONES

1. Al poseer el diagrama de la red de distribución de gases médicos y de los lugares de almacenamiento y producción, la sección de mantenimiento puede realizar con mayor eficiencia las tareas de inspecciones a la tubería y accesorios, y por lo tanto suministrar los gases médicos de una manera eficiente.
2. Al proporcionar propuestas de mejora para el sistema de gases médicos se proveen alternativas para mejorar la eficiencia y garantizar el suministro constante de los gases médicos.
3. La unidad médica posee una capacidad instalada acorde a la demanda, aún con las remodelaciones y ampliaciones realizadas; mientras no se prevean ampliaciones de servicios y encamamientos, ampliar la red de distribución o el sistema de suministro de gases médicos no es necesario.
4. El plan de mantenimiento e inspecciones al sistema de gases médicos es una herramienta para asegurar el suministro eficiente de los gases y disminuir los riesgos inherentes al manejo de los mismos.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar señalización proporcionada para válvulas y lugares de almacenamiento y producción.
2. Agregar válvulas de línea principal, de acero inoxidable, tipo bola y de $\frac{1}{4}$ de giro para cierre total.
3. Instalar sistemas de alarma que cumplan con los requisitos presentados en este documento.
4. Proporcionar carretas de mano adecuadas para el transporte de cilindros de oxígeno.
5. Evaluar los filtros del sistema de aire comprimido trimestralmente.
6. Verificar que, al momento de una ampliación al sistema de aire médico, se adquieran compresores con la capacidad adecuada.
7. Comprobar que, al momento de una aplicación al sistema de vacío, se adquieran bombas de vacío con la capacidad adecuada.
8. Examinar que, al momento de una ampliación al sistema de oxígeno, se considere la frecuencia de recarga del tanque de oxígeno líquido y la capacidad de la tubería.
9. Proporcionar cimientos antivibratorios para el secador de aire médico.

10. Utilizar filtros de aire con indicadores de cambio de los elementos.
11. Monitorear la calidad del aire médico trimestralmente.
12. Verificar que se cumpla la alternancia de los sistemas de suministro de aire médico y vacío.
13. Agregar ventilación mecánica para el lugar de almacenamiento de los cilindros y el colector.
14. Agregar filtro al colector para prevenir la intrusión de elementos al momento de conectar nuevos cilindros.
15. Proveer un indicador de la presión de entrega del sistema de oxígeno que sea accesible desde una posición de pie para el operador.
16. Planear el almacenaje de los cilindros de oxígeno de tal manera que puedan ser utilizados en el orden que han sido adquiridos.
17. Asegurar adecuadamente los cilindros de oxígeno en almacenamiento para evitar caídas.
18. Verificar la activación automática de los sistemas secundarios y de reserva para los sistemas de aire médico, oxígeno y vacío.
19. Prohibir el estacionamiento de vehículos en las inmediaciones del tanque de oxígeno líquido bajo ninguna circunstancia.
20. Disminuir la presión de operación del oxígeno, de 60psi, actuales, a 55 psi.

21. Aumentar en magnitud el rango de operación del vacío de 0-250 mmHgV, actuales, a 250-760 mmHgV.
22. Señalizar de manera visual, sobre el piso, la trayectoria de la tubería subterránea en el Módulo de Especialidades de Ortopedia de Mujeres (MEOM) para que en futuras reparaciones se evite dañar las tuberías de gases médicos, dado que dicho servicio no cumple con las normas básicas de distribución de gases médicos.
23. Evitar bajo cualquier medio sobrepresiones en las tuberías de drenaje, agua pluvial, agua potable y cualquier otro tipo de servicio que esté instalado juntamente con el sistema de distribución de gases médicos del Módulo de Especialidades de Ortopedia de Mujeres (MEOM), dado que dicha tubería no se encuentra localizada en ductos donde pueda ser inspeccionada adecuadamente, tal como lo indica la normativa aplicable, y cualquier tipo de fuga conlleva riesgos de contaminación al sistema de gases médicos.
24. Tomar precauciones mayores el momento de realizar cualquier tipo de modificación o reparación que implique, de cualquier forma, la perforación en el piso o paredes del Módulo de Especialidades de Ortopedia de Mujeres (MEOM) dado que existe una alta probabilidad de dañar el sistema de tuberías de gases médicos.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALVARADO JIMÉNEZ, Ernesto Daniel. *Diseño de programa de mantenimiento para los equipos del área de gases del hospital general San Juan de Dios de la ciudad de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica Industrial. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2006. 125. p.
2. Chemetron. *Product specification, medical vacuum system: Lubricated Vane*. Estados Unidos: Allied Healthcare Products, 2009. 8. p.
3. GIRÓN, Ernesto Godofredo. *Sistemas de gases médicos: una guía práctica para el diseño*. Innovación. Revista semestral de ingeniería e innovación de la Facultad de Ingeniería, Universidad Don Bosco. Diciembre de 2011-Mayo de 2012, Año 2, No. 3. ISSN 2221-1136. 22. p.
4. Ingersoll Rand. *Compressed air system solutions*. Estados Unidos: Ingersoll Rand, 2010. 24. p.
5. _____. *Manual de instrucciones de opciones del operador*. Estados Unidos: Ingersoll Rand, 2007. 58. p.
6. _____. *Owner's manual*. Estados Unidos: Ingersoll Rand. 2005. 56. p.

7. International Organization for Standardization. *ISO 14617-6, Graphical symbols for diagrams, Part 6: Measurement and control functions*. International Organization for Standardization, 2002. 30. p.
8. International Organization for Standardization. *ISO 14617-8, Graphical symbols for diagrams, Part 8: Valves and dampers*. International Organization for Standardization, 2002. 30. p.
9. LUNAR ITANARE, Héctor José. *Plan de mantenimiento mecánico preventivo de los compresores de aire Sullair 4510/A de la planta picure del conjunto generado "Josefa Joaquina Sánchez Bastidas, de la corporación eléctrica nacional*. Informe de pasantía. Coordinación de tecnología mecánica mantenimiento aeronáutico, Universidad Simón Bolívar. 75. p.
10. MARTÍNEZ, Marcías J. *Cálculo de tuberías y redes de gas*. Venezuela: Ingenieros Consultores y Asociados, 2007. 446. p.
11. MORA CYRMAN, Luis Alonzo. *Criterios para selección y puesta en marcha de equipos hospitalarios: Compresores de aire grado médico*. Trabajo de graduación de maestría en Ing. Mecánica. Facultad de Ingeniería, Universidad de Costa Rica. 2006. 126. p.
12. National Fire Protection Association. *NFPA 50, Standard for bulk oxygen systems at consumer sites*. Estados Unidos: NFPA, 2001. 14. p.
13. National Fire Protection Association. *NFPA 99, Standard for health care facilities*. Estados Unidos: NFPA, 2005. 262. p.

14. Schulz. *Compressed air dryer*. Estados Unidos: Schulz of America, Inc, 2013. 4. p.
15. _____. *Compressed air treatment general catalogue*. Estados Unidos: Schulz of America, Inc, 2010. 16. p.
16. Sección de mantenimiento. *Consolidados, enero 2016-diciembre 2016*. Guatemala: Sección de mantenimiento del Hospital General de Accidentes "Ceibal" (IGSS). 2016. 2. p.

APÉNDICES

Apéndice 1. **Expansión del oxígeno líquido a gaseoso**

Según la norma NFPA 99 inciso 3.3.131.2 el oxígeno líquido, al alcanzar la presión y temperatura normal, se expandirá hasta ocupar un volumen 860 veces el volumen original, dicha constante se utilizará para determinar la capacidad del tanque criogénico de 1 500 galones y por lo tanto determinar si el sistema es masivo o no; sin embargo, no se utilizará dicha constante sin comprobarla, por lo que a continuación se presentan los cálculos necesarios:

Dado que:

$$\delta = \frac{m}{v}$$

Donde: δ =densidad

m =masa

v =volumen

Si se determinan las densidades, masas y volúmenes, en función de sus estados (1[líquido] y 2[gaseoso]), tenemos:

$$\delta_1 = \frac{m_1}{v_1} \quad \text{y} \quad \delta_2 = \frac{m_2}{v_2}$$

Continuación de apéndice 1.

Para estados 1 y 2 respectivamente

Dado que $m_1 = m_2$ entonces:

$$\delta_1 v_1 = \delta_2 v_2$$

Para determinar el volumen 2 en función del volumen 1 tenemos:

$$v_2 = \frac{\delta_1}{\delta_2} v_1$$

Utilizando densidades normales para el oxígeno a temperatura normal:

Líquido (kg/m ³)	Gaseoso (kg/m ³)
1 140	1,35

Tenemos:

$$v_2 = \frac{1\,140 \frac{Kg}{m^3}}{1,35 \frac{Kg}{m^3}} v_1$$

Continuación de apéndice 1.

Entonces

$$v_2 = 844,44\overline{v}_1$$

Por lo tanto, se determina que, debido a variaciones en la densidad del oxígeno por la variación de la temperatura atmosférica, y en menor medida la variación de presión atmosférica, es aceptable utilizar la aproximación normalizada de 860 veces el volumen líquido, proporcionada por la norma NFPA 99.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Capacidad de almacenamiento de oxígeno

Para conocer la capacidad del almacenamiento del oxígeno en la unidad médica se procederá a convertir los 1 500 galones de almacenamiento de oxígeno líquido a gaseoso y sumar la cantidad de oxígeno almacenado en cilindros, la siguiente tabla muestra los resultados.

Cantidad de cilindros almacenados					Capacidad		
	Unidades	galones	m ³	ft ³	Oxígeno (gaseoso)		
Tipo H Reserva (oxígeno)	10	16 457,14	62,30	2 200,00	Total		
Tipo H Secundario (oxígeno)	10	16 457,14	62,30	2 200,00	galones	m ³	ft ³
Tipo H Almacenados (oxígeno)	12	19 748,57	74,76	2 640,00	1 354 669,10	5 127,98	181 093,49
Tipo E (oxígeno)	25	4 600,52	17,41	615,00	Cilindros		
Tipo M (oxígeno)	9	7 405,71	28,03	990,00	galones	m ³	ft ³
Tipo H (aire médico)	7	11 520,00	43,61	1 540,00	64 669,10	244,80	8 645,00
Criogénico (oxígeno líquido)	1	1 500,00	5,68	200,52	Tanque criogénico		
Criogénico (oxígeno gaseoso)	1	1 290 000,00	4 883,18	172 448,49	1 290 000,00	4 883,18	172 448,49

La capacidad total de almacenamiento de oxígeno a temperatura y presión atmosférica estándar es de 5 127,98 m³ (181 093,49 ft³), por lo que se determina que es un sistema masivo ya que supera los 566 m³ (20 000 ft³).

Continuación apéndice 2.

Usage Category	SCFM Allowed Per			Simultaneous Usage Factor	Avg. Simultaneous Peak Flow	Qty	Total Demand	
	Outlet	Bed	Room					
Operating Room			0,5	100 %	0,50	16	8,0	
Minor Surgery			0,5	100 %	0,50	1	0,5	
Delivery			0,5	50 %	0,25			
Major Trauma/Emerg. Surgery			0,5	100 %	0,50			
Intensive Care Unit		1,0		75 %	0,75	24	18,0	
Recovery Room		1,0		50 %	0,50	5	2,5	
Emergency Room		1,0		20 %	0,20			
Neonatal Intensive Care Unit		1,5		75 %	1,125			
Respiratory Intensive Care Unit		2,0		100 %	2,00			
Nursery	0,5			25 %	0,125	8	1	
Respiratory Care Area		1,0		100 %	1,00			
Patient Room		0,5		10 %	0,05			
Exam/Treatment			1,0	10 %	0,10			
Autopsy	1,0			10 %	0,10			
Dental Area	1,0			20 %	0,20			
Workrooms	1,0			15 %	0,15			
Other Non-Acute Care Areas	0,5			10 %	0,05			
Special Considerations:								
Total Peak Calculated Demand (SCFM):							30,0	
51,02 m3/hr								
0,85 m3/min								

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Consumo mensual de oxígeno

Resumen de consolidados de enero de 2016 a diciembre de 2016

Gases médicos														
Consumos mensuales														
	(Pies ³)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio
Oxígeno líquido		0	376 846,00	322 003,00	328 602,00	308 030,00	303 195,00	301 186,00	299 177,00	347 294,00	406 630,00	143 794,58	372 760,00	292 459,80
Oxígeno gaseoso H		1320	8 580,00	0,00	4 620,00	2 200,00	0,00	770,00	1 540,00	3 080,00	7 040,00	9 900,00	14 960,00	4 500,83
Oxígeno gaseoso E		738	3 788,40	0,00	1 992,60	2 017,20	1 820,40	910,20	0,00	1 968,00	2 730,60	4 255,80	1 500,60	1 810,15
Oxígeno gaseoso M		0	0,00	0,00	0,00	110,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,17
Aire médico tipo H		440	0,00	440,00	0,00	880,00	0,00	220,00	440,00	440,00	1 100,00	0,00	0,00	330,00
Cantidad de cilindros consumidos														
Tipo H (oxígeno)		6	39	0	21	10	0	3.5	7	14	32	45	68	20,46
Tipo E (oxígeno)		30	154	0	81	82	74	37	0	80	111	173	61	73,58
Tipo M (oxígeno)		0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0,08

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Tabla de consumo de vacío médico**

Usage Category	SCFM Allowed Per:			Simultaneous Usage Factor	Avg. Simultaneous Peak Flow	Qty	Total Demand	
	Outlet	Bed	Room					
Operating Room			3,5	100 %	3,50	16	56,00	
Minor OR			2	100 %	2,00	1	2,00	
Delivery			1	100 %	1,00			
Major Trauma/Emerg. Surgery			3	100 %	3,00			
Anesthetic Gas Evacuation			1	100 %	1,00			
Intensive Care Unit		1,5		100 %	1,50	24	36,00	
Recovery Room		1,5		50 %	0,75			
Emergency Room		1,0		100 %	1,00	8	8,00	
Cardiac Intensive Care Unit		1,0		50 %	0,50			
Neonatal Intensive Care Unit		1,0		50 %	0,50			
Nursery	1,0			10 %	0,10	67	6,70	
Respiratory Care Area	1,0			20 %	0,20			
Patient Room - Medical		1,0		10 %	0,10			
Patient Room – Surgery		1,0		25 %	0,25			
Exam/Treatment			1,0	10 %	0,10			
Autopsy	1,5			10 %	0,15			
Workrooms	1,0			10 %	0,10			
Other Non-Acute Care Areas	1,0			10 %	0,10			
Other:								
Total Peak Calculated Demand (SCFM):								108,70

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Cálculos para el dimensionamiento de la tubería

Determinando ecuación a utilizar para caídas de presión

Dado que la ecuación de Darcy-Weisbach establece que:

$$h = f * \frac{l}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

h = pérdida de altura por fricción

f = coeficiente de fricción

l = longitud de la tubería

D = diámetro de la tubería

v = velocidad del fluido

g = gravedad

Dado que se desea un flujo laminar en el flujo el coeficiente de fricción se calcula por la siguiente ecuación:

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

Donde:

Re = numero de Reynolds

Continuación de apéndice 5.

Ya que se desea la ecuación en función de la pérdida de presión y sabiendo que:

$$\Delta P = \delta gh$$

Donde:

δ = densidad

g = gravedad

h = altura

Entonces, sustituyendo, obtenemos

$$\Delta P = \frac{64}{2g} * \frac{\delta glv^2}{DRe} = \frac{32}{g} * \frac{\delta glv^2}{DRe}$$

Para el cálculo del número de Reynolds se utiliza la ecuación

$$Re = \frac{\delta v D}{\mu}$$

Donde:

μ = Viscosidad dinámica o absoluta

Continuación de apéndice 5.

Entonces

$$\Delta P = \frac{32}{g} * \frac{\mu \delta g l v^2}{\delta v D^2 Re} = 32 * \frac{\mu v}{D^2}$$

Para determinar la caída de presión respecto del caudal sabemos que:

$$Q = vA$$

Y:

$$A = \frac{\pi}{4} D^2$$

Por lo tanto:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

Entonces:

$$\Delta P = 32 * \frac{\mu l * 4Q}{\pi D^4} = \frac{128}{\pi} * \frac{\mu l Q}{D^4}$$

Continuación de apéndice 5.

Dado que:

$$\mu_{aire} = 0,000\ 018Pa * s = 2,61x10^{-9}Psi * s$$

$$\mu_{oxígeno} = 0,000\ 020Pa * s = 2,9x10^{-9}Psi * s$$

Y:

$$D_{derivación} = D_{aire} = D_{oxígeno} = D_{vacío} = 1plg$$

Entonces:

$$\Delta P_{aire\ y\ vacío} = \frac{128}{\pi} * \frac{(2,61x10^{-9}Psi * s) lQ}{1^4} = 1,1x10^{-7}lQ$$

$$\Delta P_{oxígeno} = \frac{128}{\pi} * \frac{(2,9x10^{-9}Psi * s) lQ}{1^4} = 1,2x10^{-7}lQ$$

Obtenidas las caídas de presión en las tuberías de derivación se calcula el diámetro de la tubería principal con la siguiente ecuación.

Dado que:

$$\Delta P = \frac{128}{\pi} * \frac{\mu lQ}{D^4}$$

Continuación de apéndice 5.

Entonces:

$$D = \sqrt[4]{\frac{128}{\pi} * \frac{\mu l Q}{\Delta P}}$$

Al poseer los datos necesarios se calcularon las caídas de presión en las tuberías de derivación y posteriormente se calcularon los diámetros de las tuberías principales, obteniendo las siguientes tablas.

Continuación de apéndice 5.

Cálculos del sistema de aire médico

Aire Médico											
Servicio o Encamamiento	Longitud de tubería (m)	Longitud Equivalente de Accesorios (m)			Longitud Equivalente Total		Caudal		No. Tomas	Caída de Presión Calculada (Psi)	Caída de Presión Total (Psi)
		Válvulas	Codos	Tés	m	in	SCFM	in3/s			
Quemados	62	1	6	4	94	3 700,78	3	86,4	5	0,04	0,52
Cuidados Intensivos 1	58	2	7	7	105	4 133,85	9	259,2	12	0,12	Caída de Presión Total con factor de seguridad (Psi)
Cuidados Intensivos 2	65	1	8	7	109	4 291,33	9	259,2	12	0,12	
Sala de Operaciones	145	3	13	14	230	9 055,01	8	230,4	16	0,23	
Sala de Emergencias	0	0	0	0	0	0,00	0	0,0	0	0,00	0,63
Encamamientos 1 Nivel	0	0	0	0	0	0,00	0	0,0	0	0,00	Caída de Presión Admisible en Tubería Principal con factor de seguridad (Psi)
Encamamientos 2 Nivel	0	0	0	0	0	0,00	0	0,0	0	0,00	
Módulo de Especialidades de Ortopedia de Mujeres	92	3	5	11	147	5 787,39	1	28,8	8	0,02	
Tubería Principal	198	4	7	4	363	14 291,31	30	864			0,30
										Diámetro de Tubería Principal (in)	
										Calculado	Factor Seguridad
										1,45	1,74

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 5.

Cálculos del sistema de oxígeno

Oxígeno											
Servicio o Encamamiento	Longitud de tubería (m)	Longitud Equivalente de Accesorios (m)			Longitud Equivalente Total		Caudal		No. Tomas	Caída de Presión Calculada (Psi)	Caída de Presión Total (Psi)
		Válvulas	Codos	Tés	m	in	SCFM	in3/s			
Quemados	62	1	6	4	94	3 700,78	0,28	8,19	5	0,00	0,06
Cuidados Intensivos 1	58	2	7	7	105	4 133,85	0,68	19,66	12	0,01	Caída de Presión Total con factor de seguridad (Psi)
Cuidados Intensivos 2	65	1	8	7	109	4 291,33	0,68	19,66	12	0,01	
Sala de Operaciones	145	3	13	14	230	9 055,10	0,91	26,21	16	0,03	
Sala de Emergencias	112	4	16	9	202	7 952,74	0,68	19,66	12	0,02	0,07
Encamamientos 1 Nivel	188	5	26	19	334	13 149,58	1,76	50,79	31	0,08	Caída de Presión Admisible en Tubería Principal con factor de seguridad (Psi)
Encamamientos 2 Nivel	84	5	14	11	178	7 007,86	1,31	37,68	23	0,03	
Módulo de Especialidades de Ortopedia de Mujeres	92	3	5	5	135	5 314,95	0,46	13,11	8	0,01	
Tubería Principal	565	13	24	29	773	30 433,01	6,77	194,97			2,34

Total Tomas	119,00
SCFM/Toma	0,06
Total SCFM	6,77
Sumatoria	6,77

Diámetro de Tubería Principal (in)	
Calculado	Factor Seguridad
0,74	0,89

Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 5.

Cálculos del sistema de vacío

Vacío												
Servicio o Encamamiento	Longitud de tubería (m)	Longitud Equivalente de Accesorios (m)			Longitud Equivalente Total		Caudal		No. Tomas	Caída de Presión Calculada (Psi)	Caída de Presión	
		Válvulas	Codos	Tés	m	in	SCFM	in ³ /s			Total (Psi)	Total (inHg)
Quemados	62	1	6	4	94	3 700,78	2,50	72,00	5	0,03	2,13	4,34
Cuidados Intensivos 1	58	2	7	7	105	4 133,85	18,00	518,40	12	0,24	Caída de Presión Total con factor de seguridad (Psi)	Caída de Presión Total con factor de seguridad (inHg)
Cuidados Intensivos 2	65	1	8	7	109	4 291,33	18,00	518,40	12	0,24		
Sala de Operaciones	145	3	13	14	230	9 055,10	56,00	1 612,80	16	1,61		
Sala de Emergencias	112	4	16	9	202	7 952,74	8,00	230,40	12	0,20	2,56	5,21

Continuación de apéndice 5.

Encamamientos 1 Nivel	188	5	26	19	334	13 149,58	3,10	89,28	31	0,13	Caída de Presión Admisible en Tubería Principal con factor de seguridad (Psi)	Caída de Presión Admisible en Tubería Principal con factor de seguridad (inHg)
Encamamientos 2 Nivel	84	5	14	11	178	7 007,86	2,30	66,24	23	0,05		
Módulo de Especialidades de Ortopedia de Mujeres	92	3	5	5	135	5 314,95	0,80	23,04	8	0,01		
Tubería Principal	565	13	24	29	773	30 433,01	108,70	3 130,56				
											Diámetro de Tubería Principal (in)	
											Calcula do	Factor Seguridad
											2,37	2,85

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Capacidad de cilindros**

CAPACIDAD DE CILINDROS (pies cúbicos [ft ³])		
Cilindro	Utilizado en la sección de mantenimiento	Normalizado en norma NFPA 99
H	220,0	244
M	110,0	122
E	24,6	23

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. **Detalle de tubería de estaciones de salida y entrada**



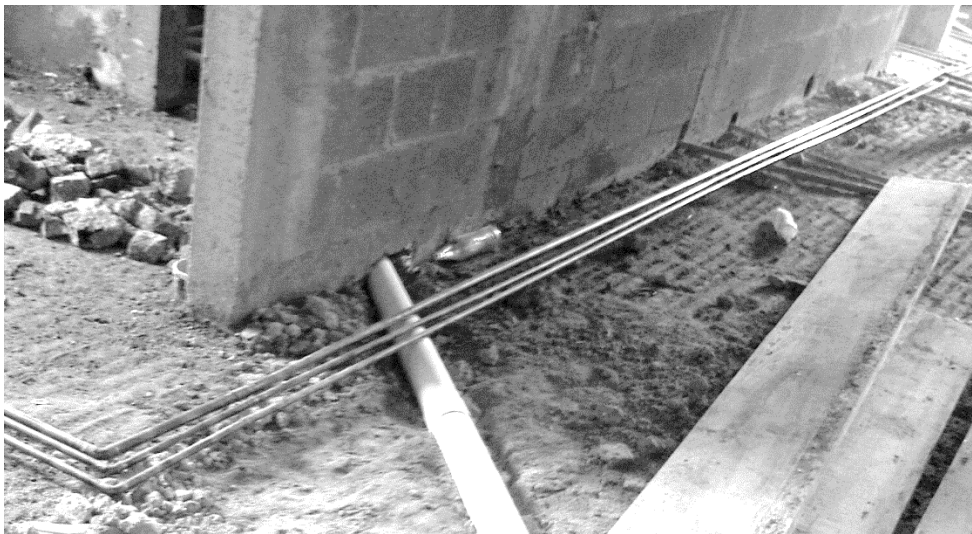
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. **Detalle de tubería de válvulas de zona**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. **Detalle de tubería subterránea de encamamiento**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 10. **Toma cielítica de quirófano**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 11. **Detalle de tubería de derivación para encamamiento**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 12. **Cajón de 3 válvulas de zona con manómetros digitales**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 13. **Cajón de 3 válvulas de zona con manómetros análogos**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 14. **Cajón de 2 válvulas de zona con manómetros análogos**



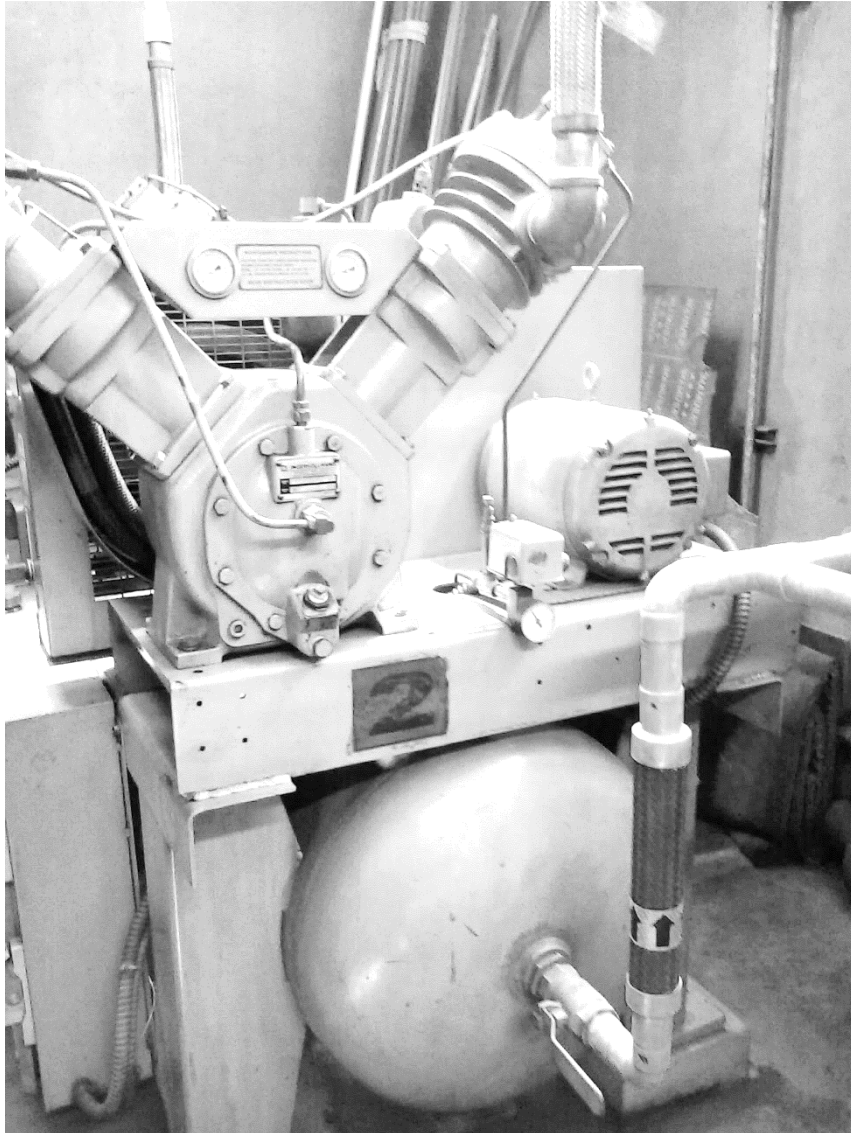
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 15. **Colector de oxígeno**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 16. **Sistema de suministro de aire médico**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 17. **Tubería de admisión de los compresores**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 18. **Sistema de suministro de vacío**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 19. **Extracción desde tubería principal**












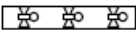
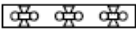
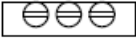








Fuente: elaboración propia.

Apéndice 20. **Tubería de derivación**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 21. Simbología general

SIMBOLOGÍA		
Símbolo	Descripción	Observaciones
	Recipiente a presión	
	Compresor o bomba de vacío	
	Tubería	
	Enfriador	
	Filtro	
	Tubo flexible	
	Válvula de cierre rápido	
	Válvula reductora de presión	
	Válvula anti-retorno	Flujo de izquierda a derecha
	Válvulas de zona	
	Válvulas de zona con alarma	
	Panel de alarma	
	Toma de gas	
	Tubería sellada	
	Instrumento montado localmente	
	Instrumento montado en panel auxiliar	
XX	1ª Letra: Variable 2ª Letra: Función	F=Caudal P=Presión o Vacío I=Indicador
	Dirección del flujo	
	Sensor para alarma	
	Valvula de alivio	
	Valvula asegurada	La válvula debe estar asegurada contra manipulación de personas no autorizadas



Prohibido fumar



Prohibido cualquier tipo de llama



Prohibido el acceso no autorizado



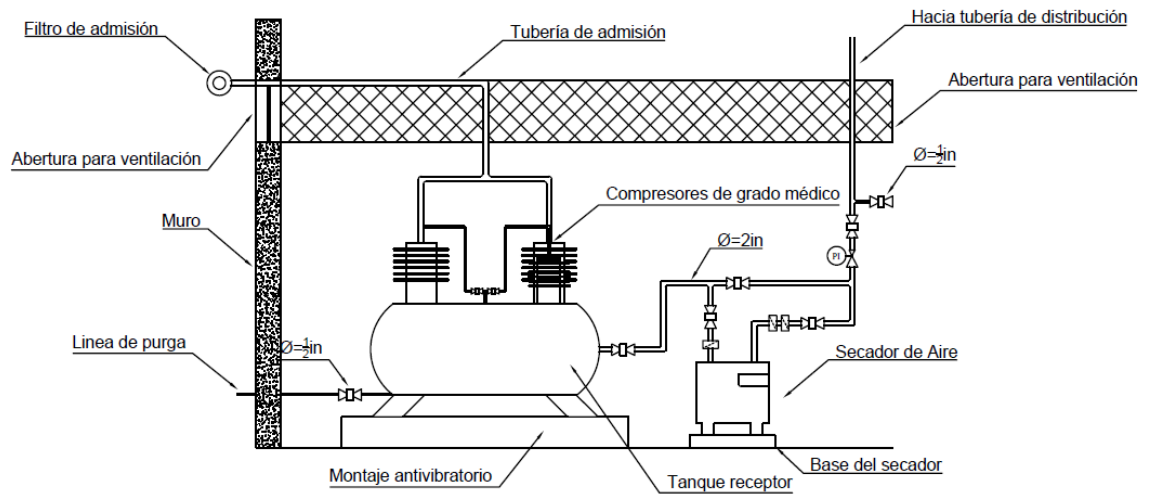
Agentes oxidantes



Peligro de congelación

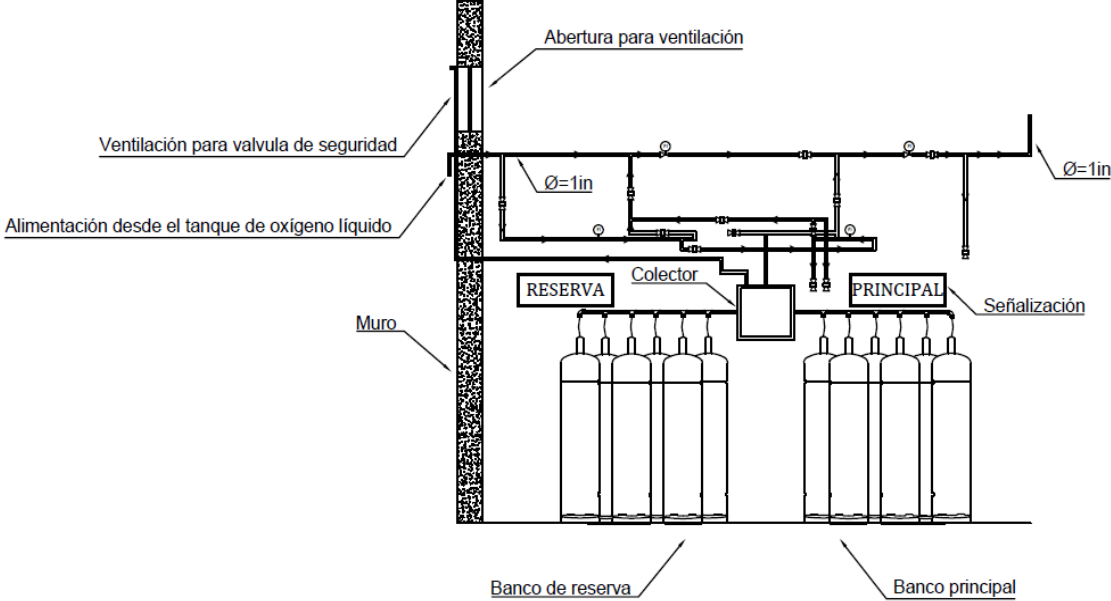
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 22. Sistema de suministro de aire médico



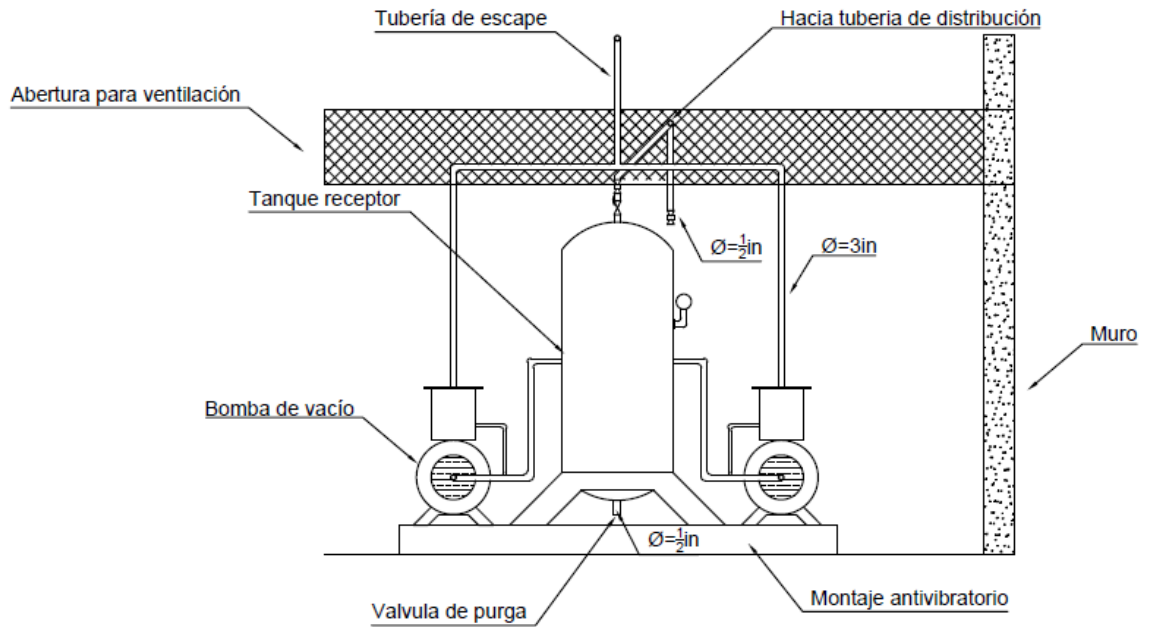
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 23. Sistema de suministro de oxígeno



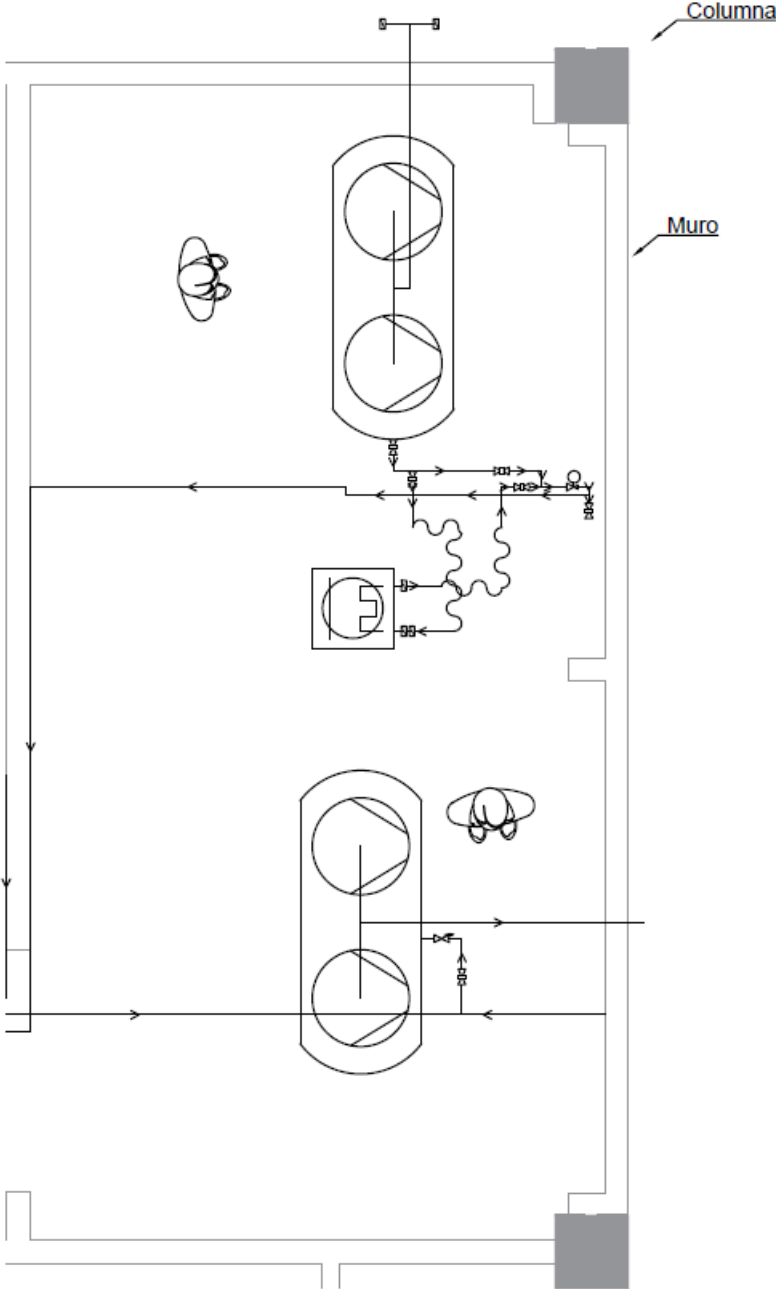
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 24. Sistema de suministro de vacío médico



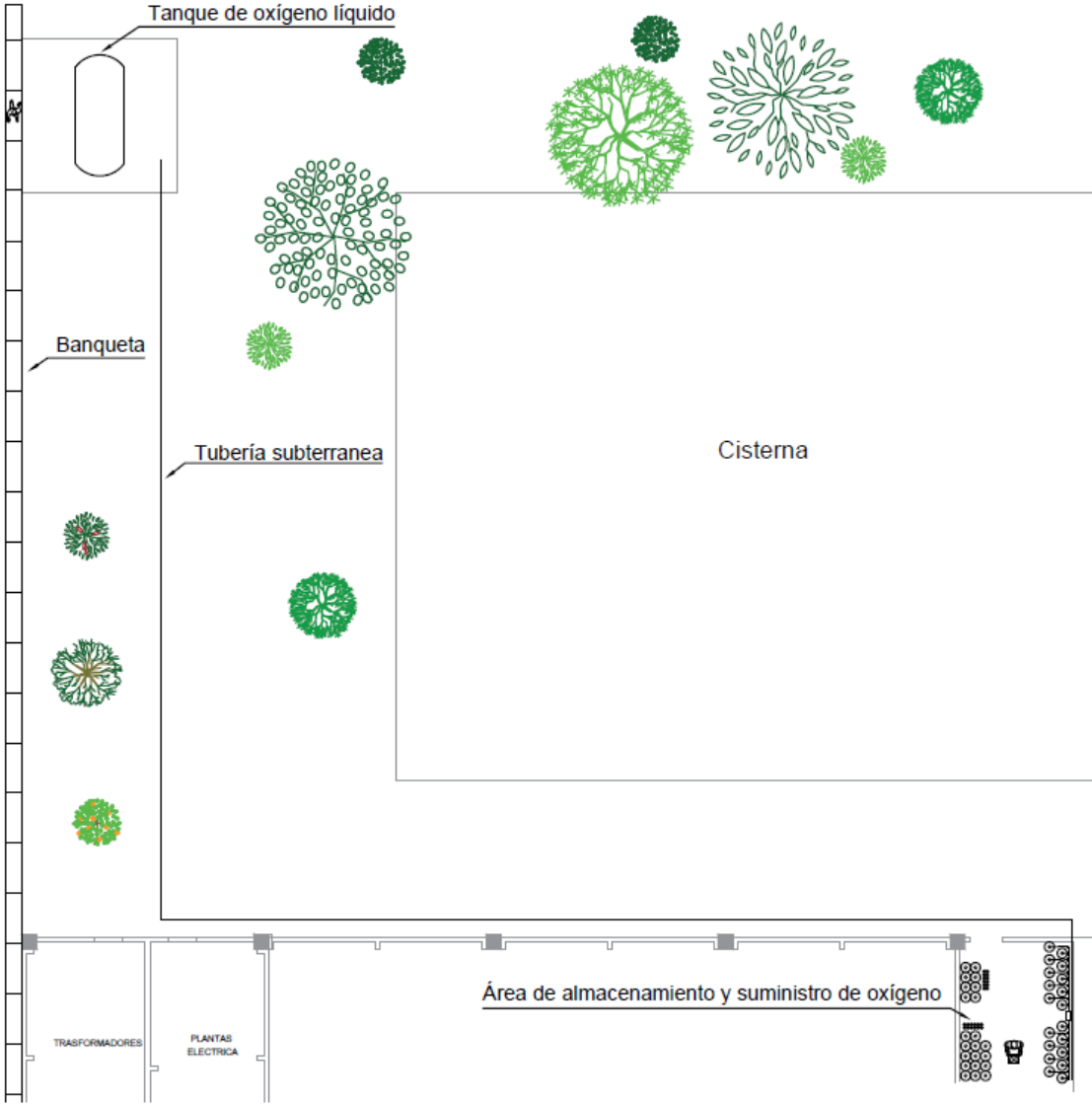
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 25. Central de suministro de aire médico y vacío



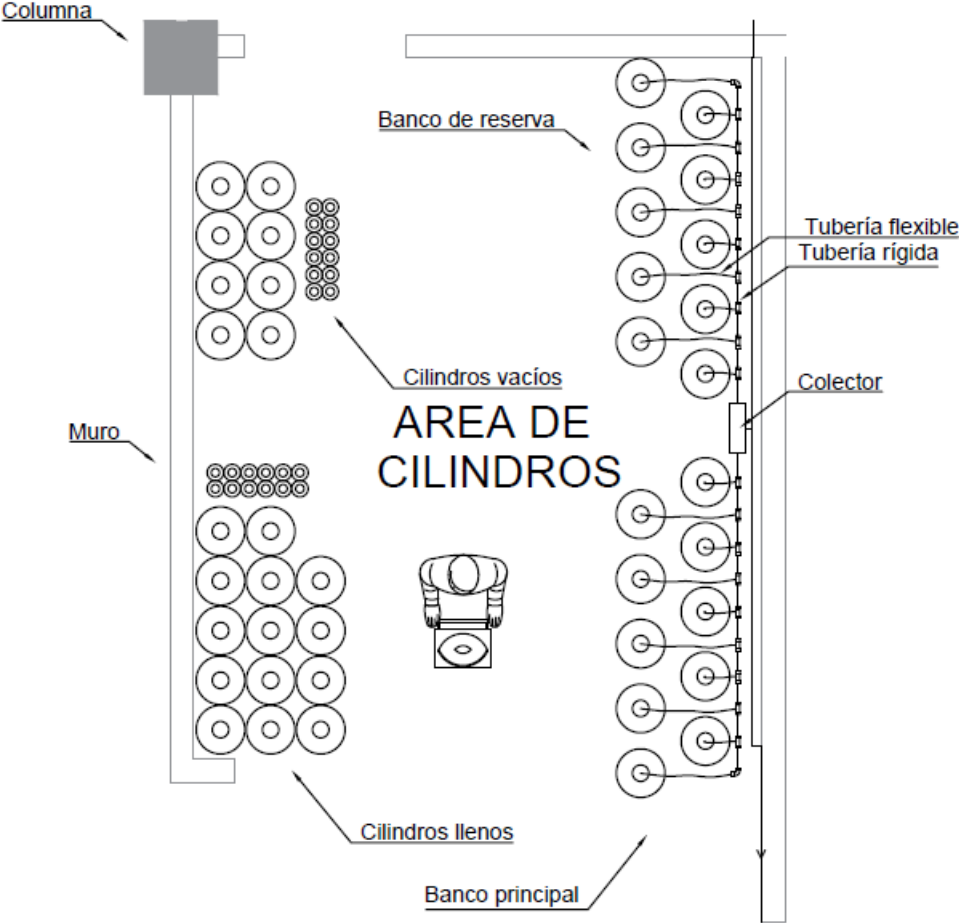
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 26. Central de suministro de oxígeno



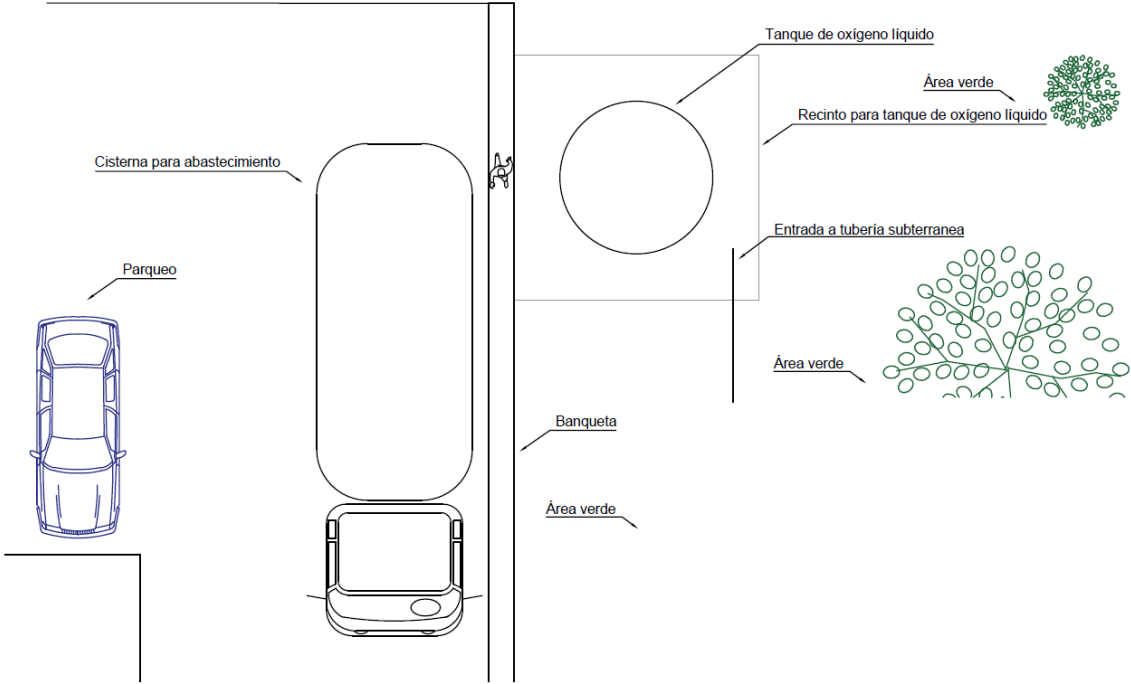
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 27. Área de almacenamiento de cilindros



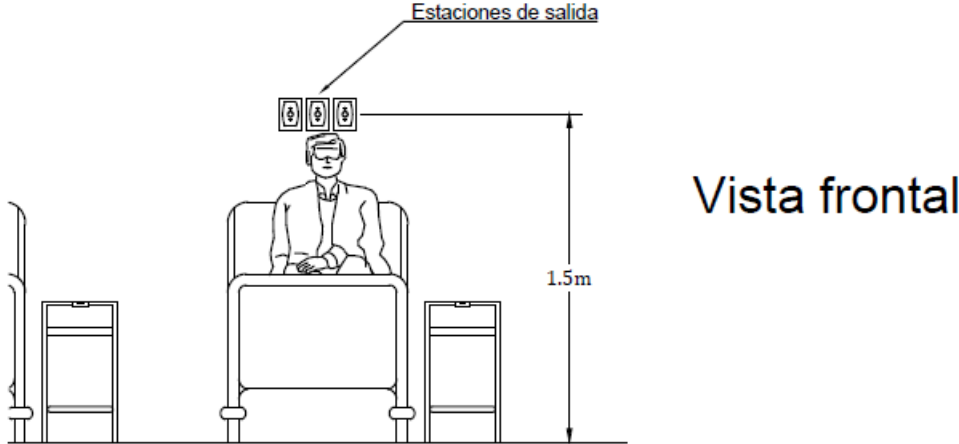
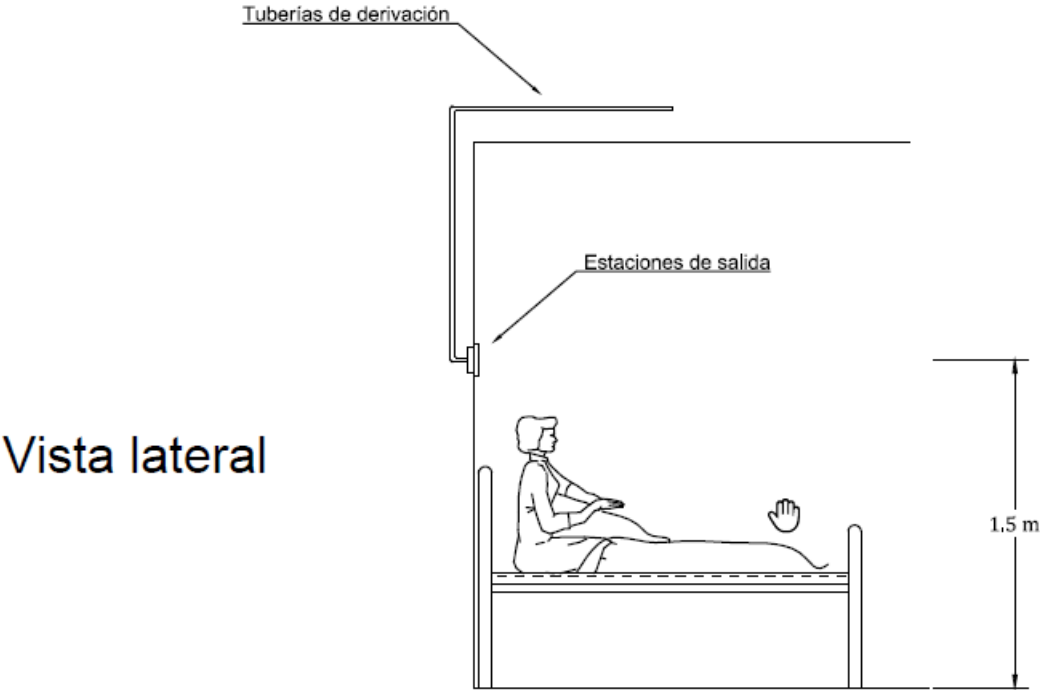
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 28. **Área de almacenamiento de oxígeno líquido**



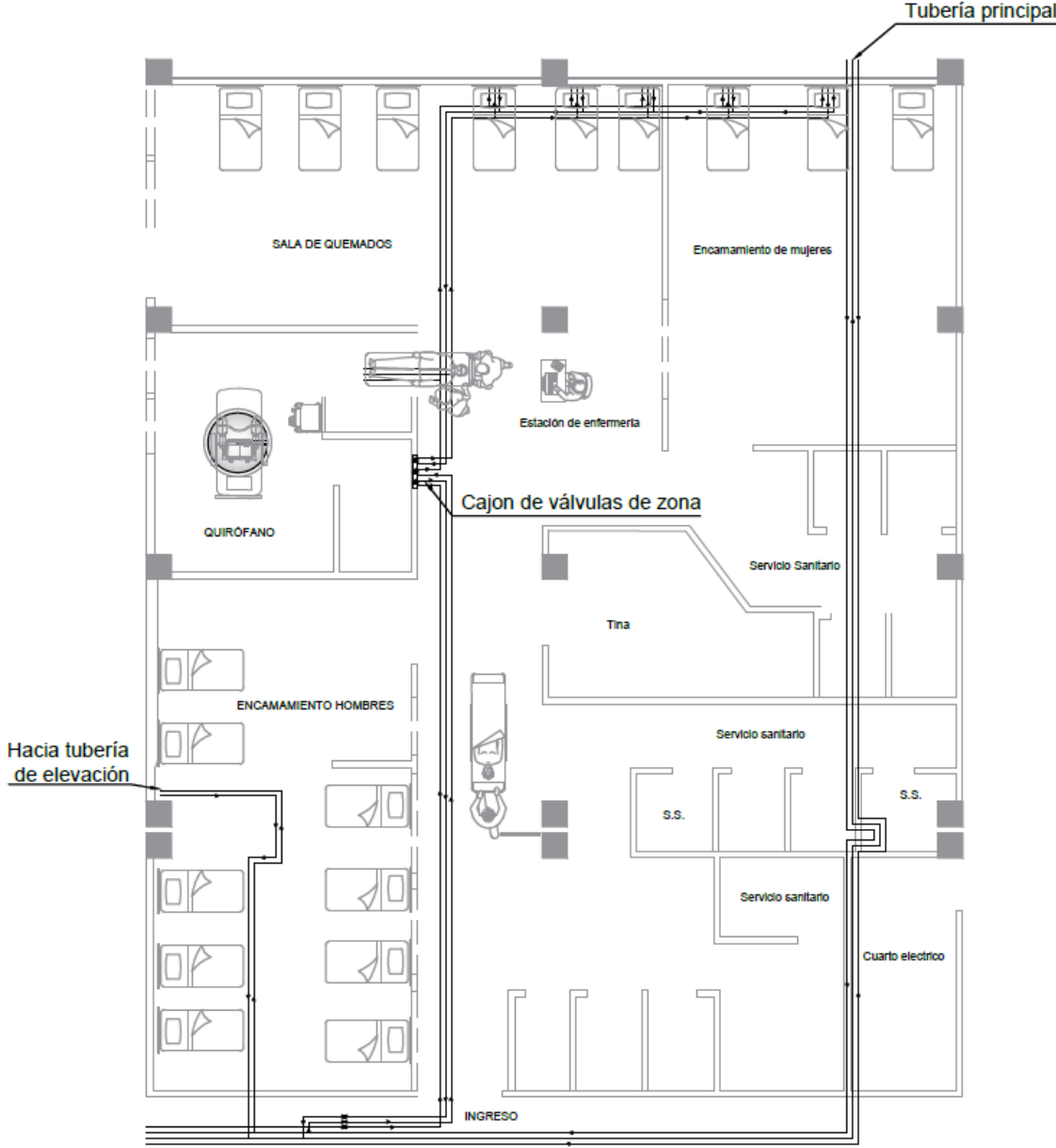
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 29. **Detalle de estaciones de salida y entrada**



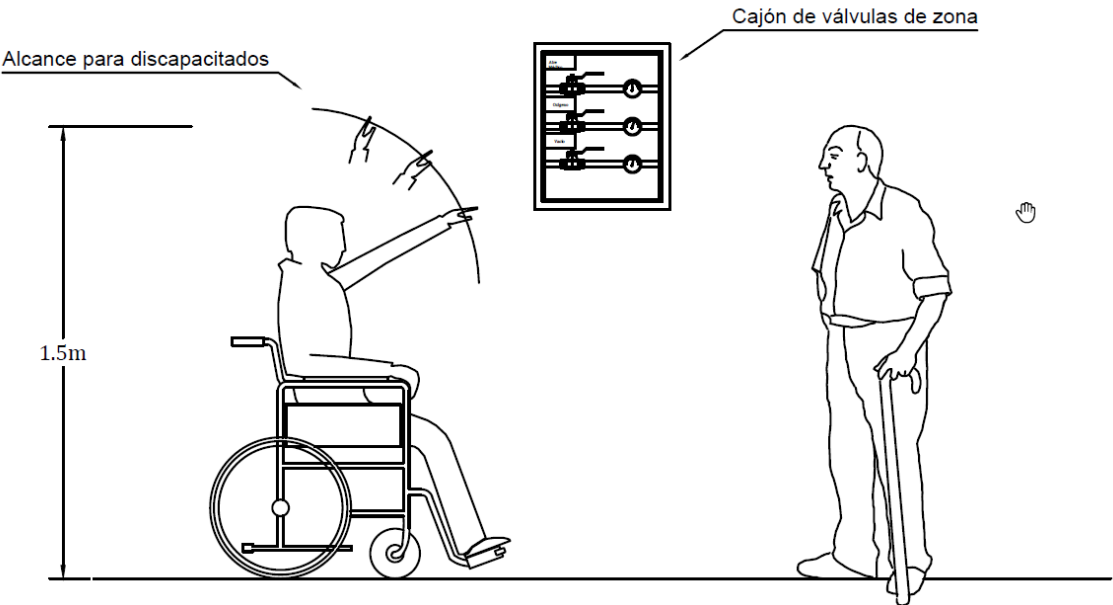
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 30. **Ejemplo de encamamientos**



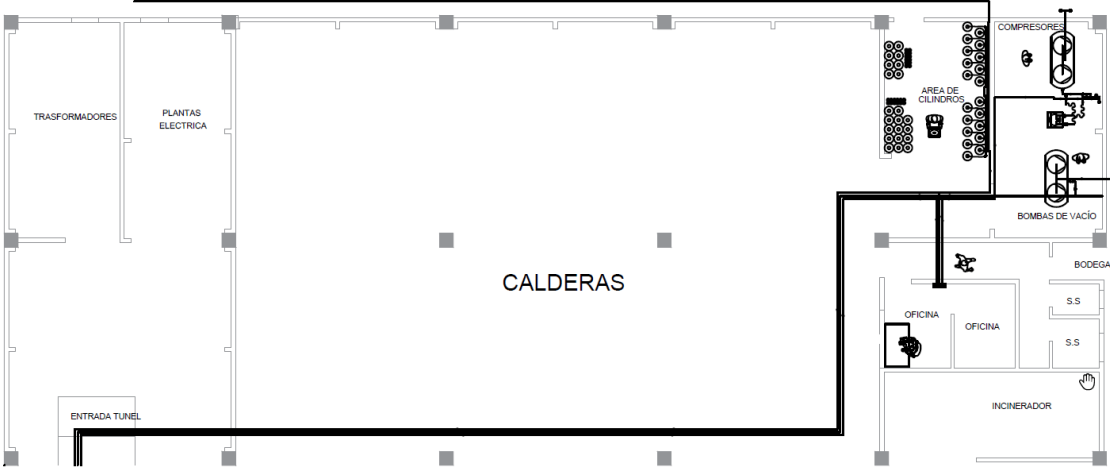
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 31. **Detalle de cajones de válvulas de zona**



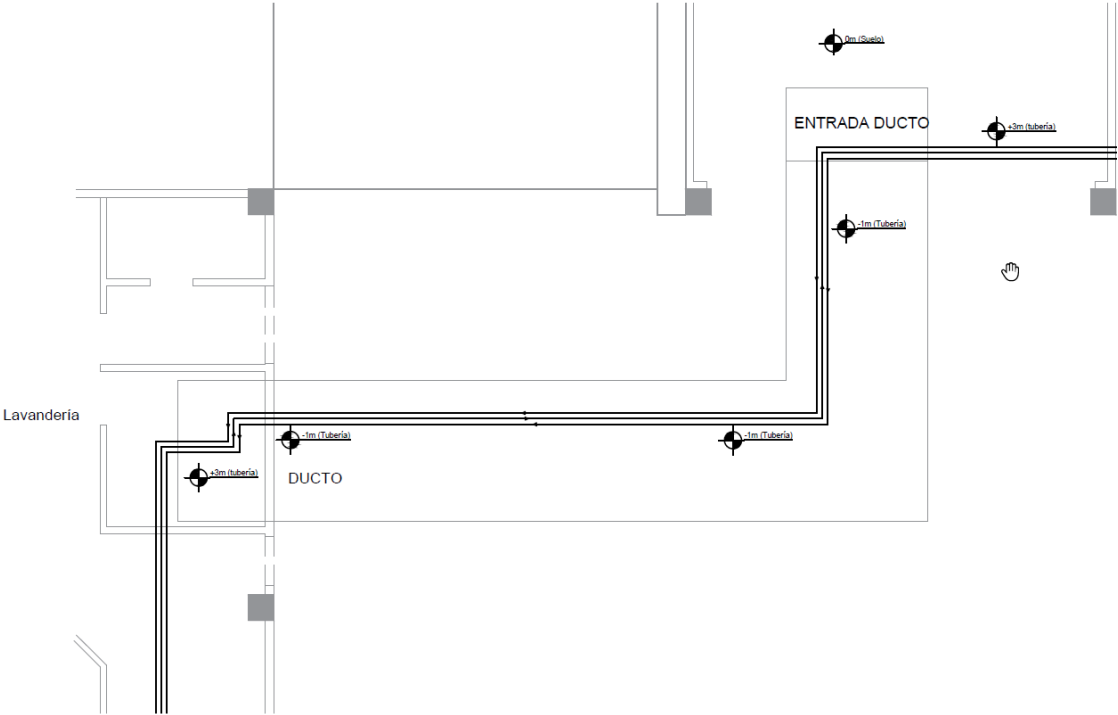
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 32. Sistema de distribución de gases médicos



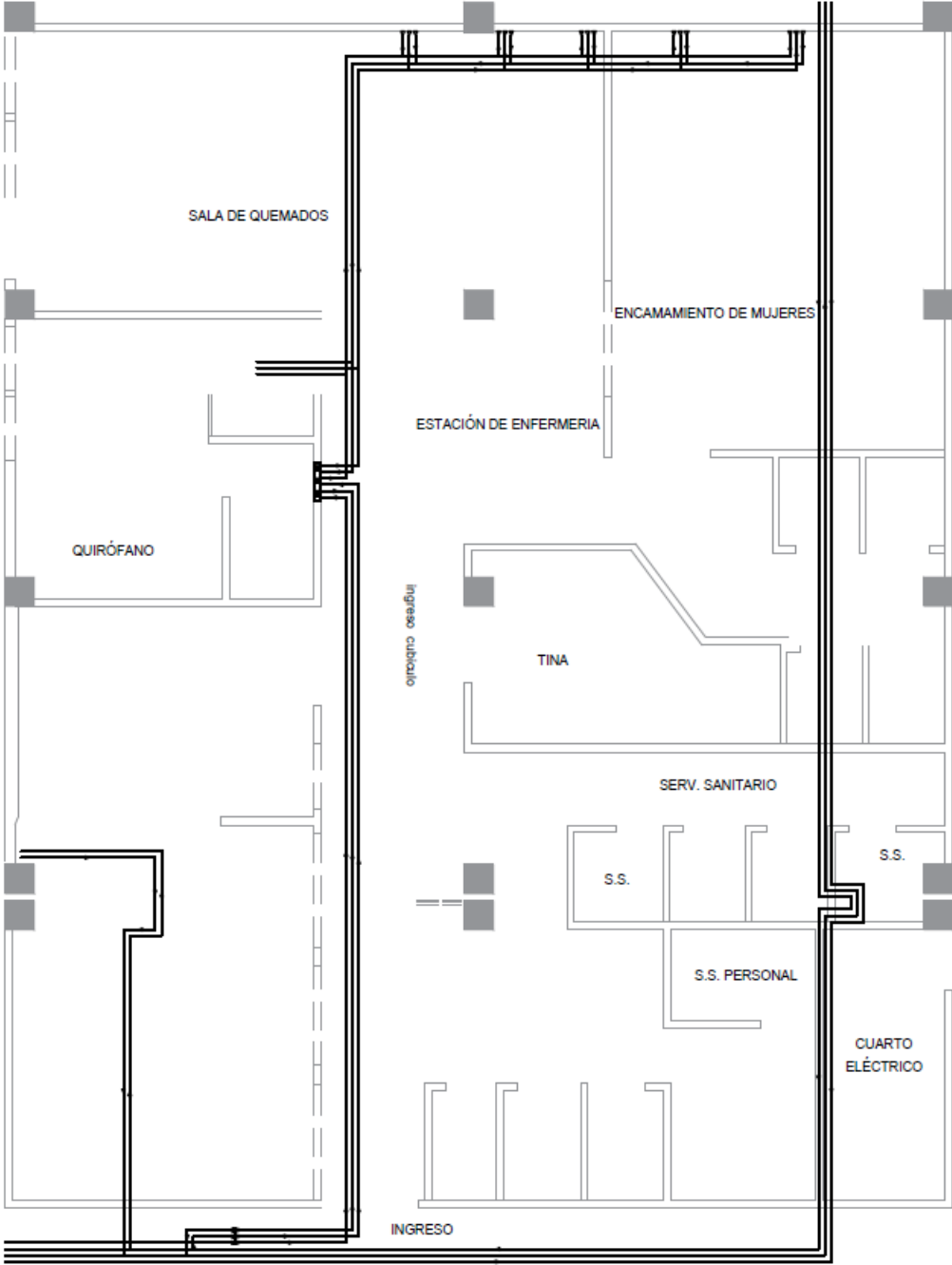
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 33. **Planta del ducto de entrada al edificio**



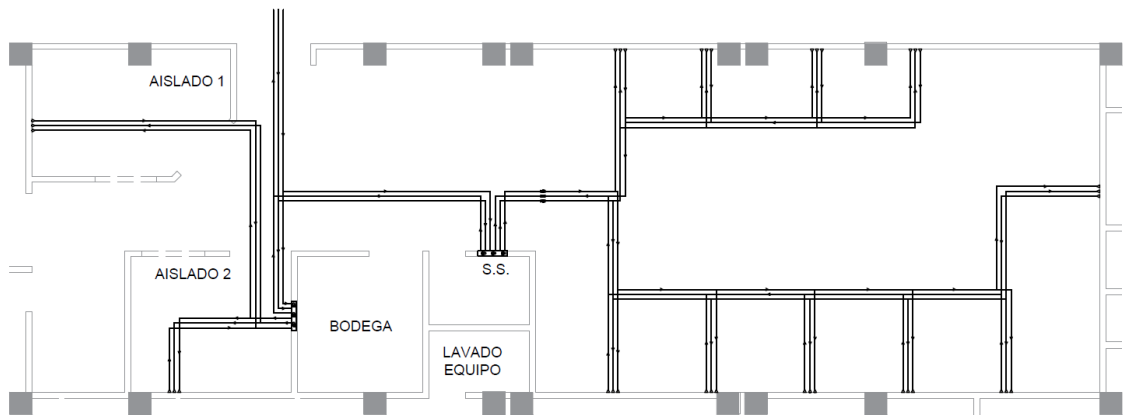
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 34. **Planta de gases médicos de sala de quemados**



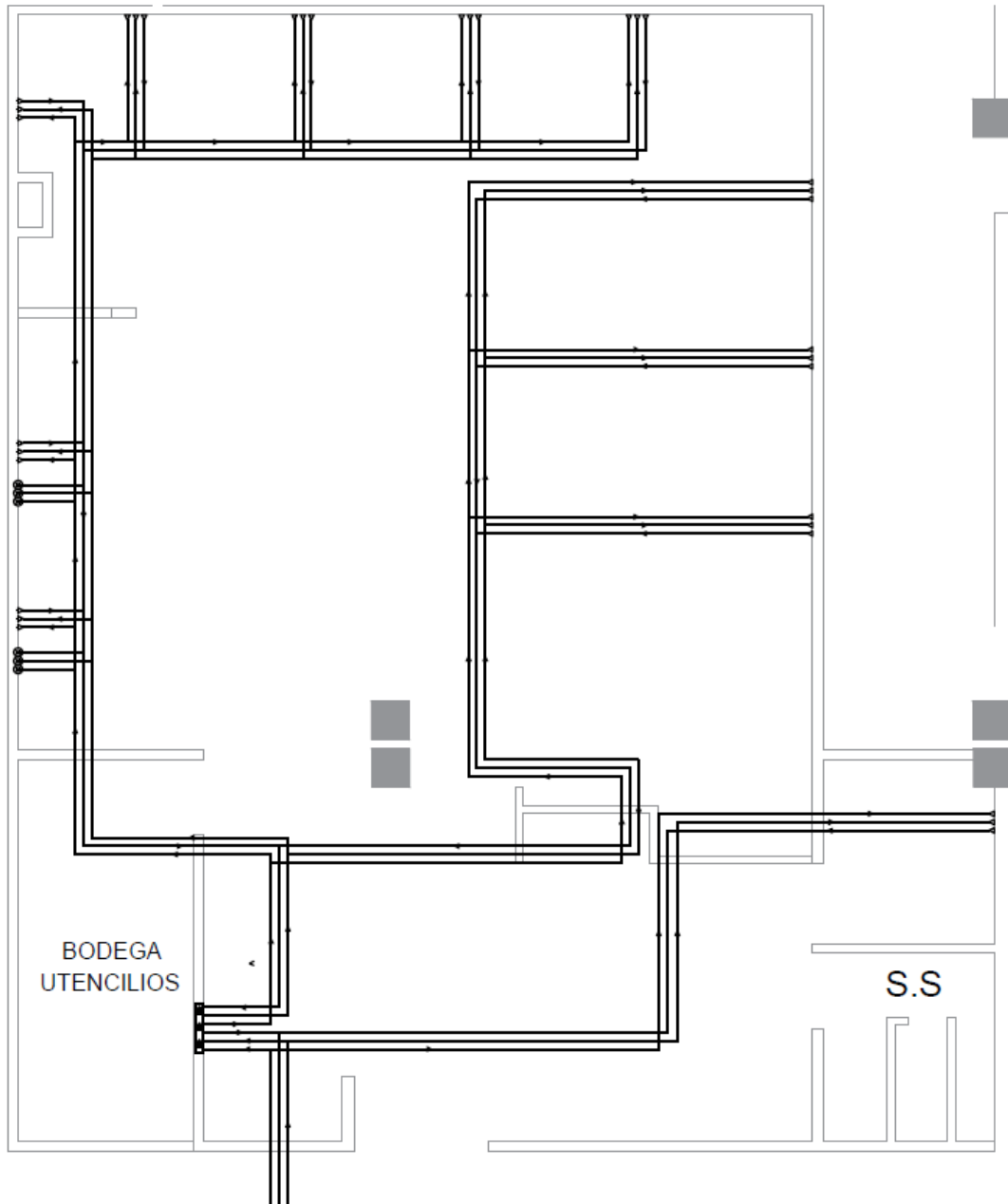
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 35. **Planta de gases médicos de la unidad de cuidados intensivos 2**



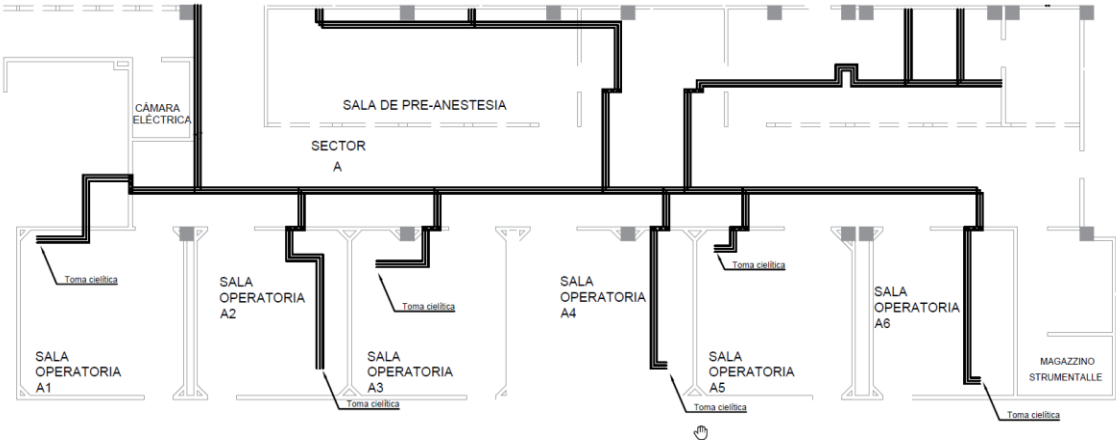
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 36. **Planta de gases médicos de la unidad de cuidados intensivos 1**



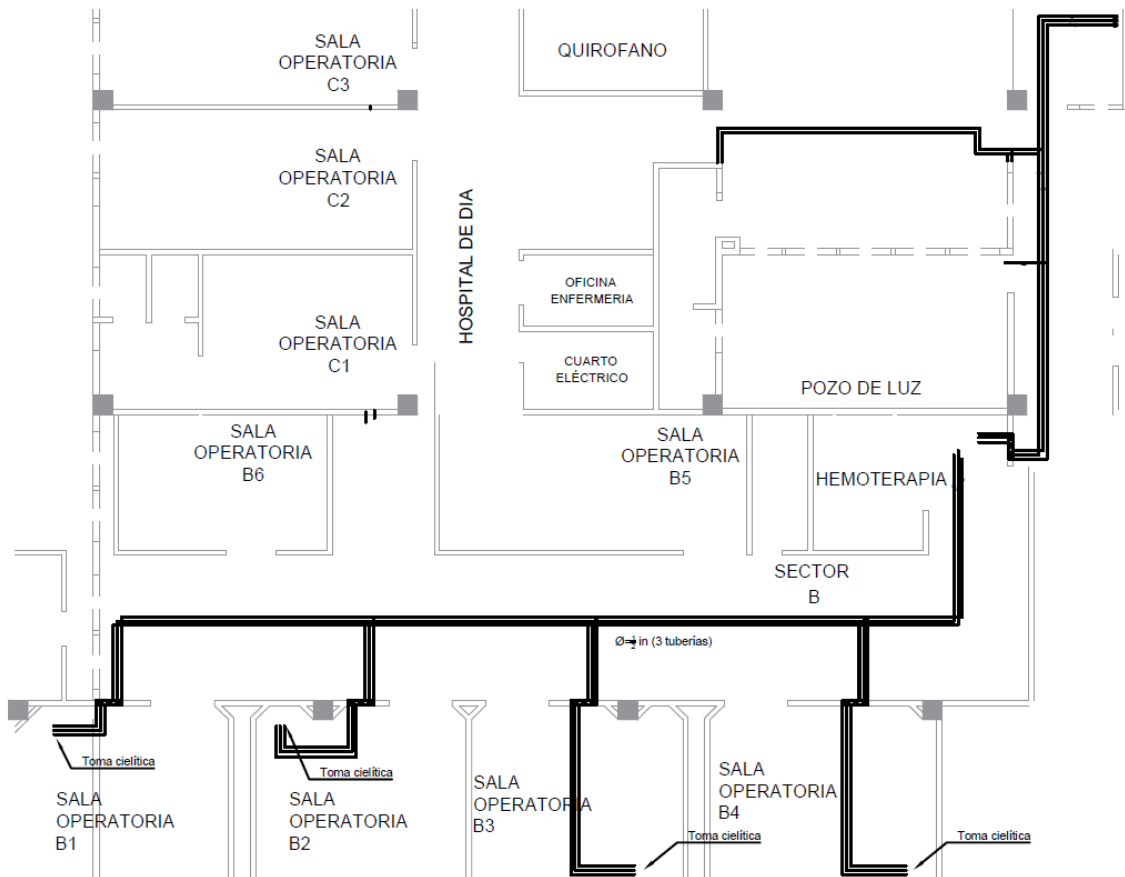
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 37. **Planta de gases médicos de sala de operaciones, sector A**



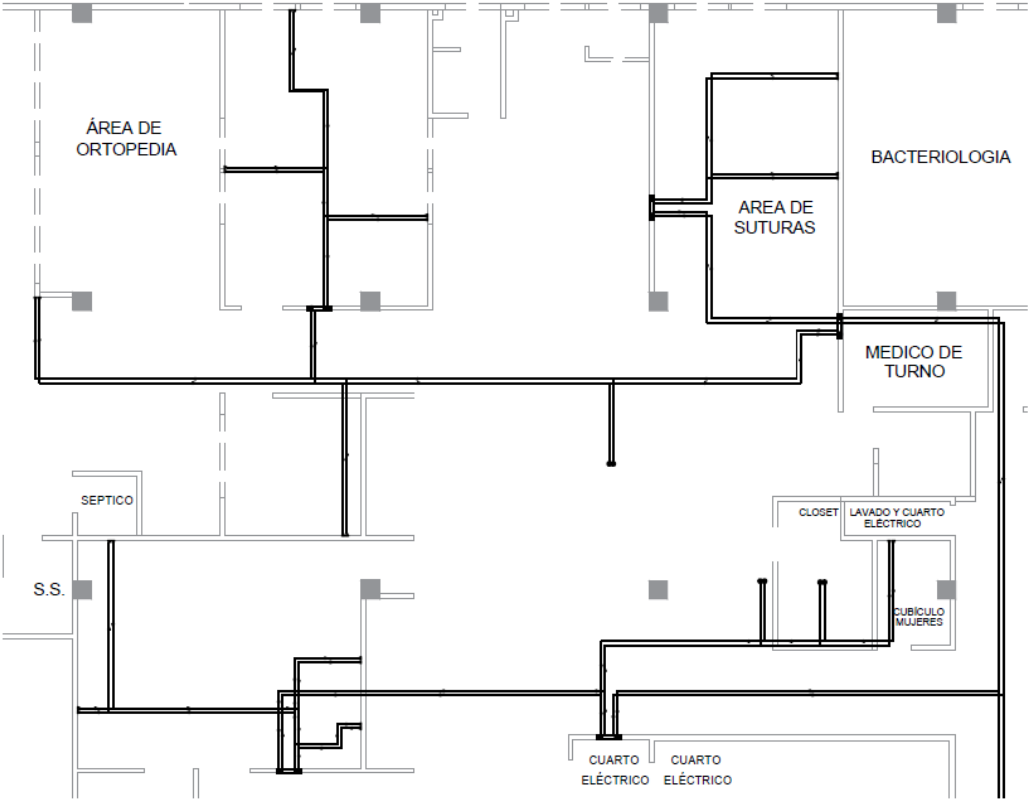
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 38. **Planta de gases médicos de sala de operaciones, sectores B y C**



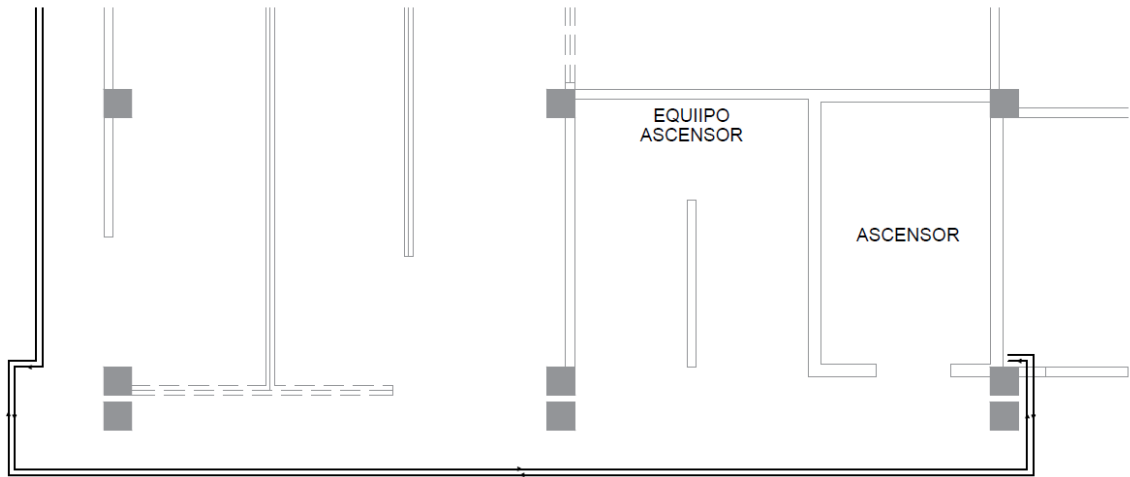
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 39. **Planta de gases médicos de sala de emergencias**



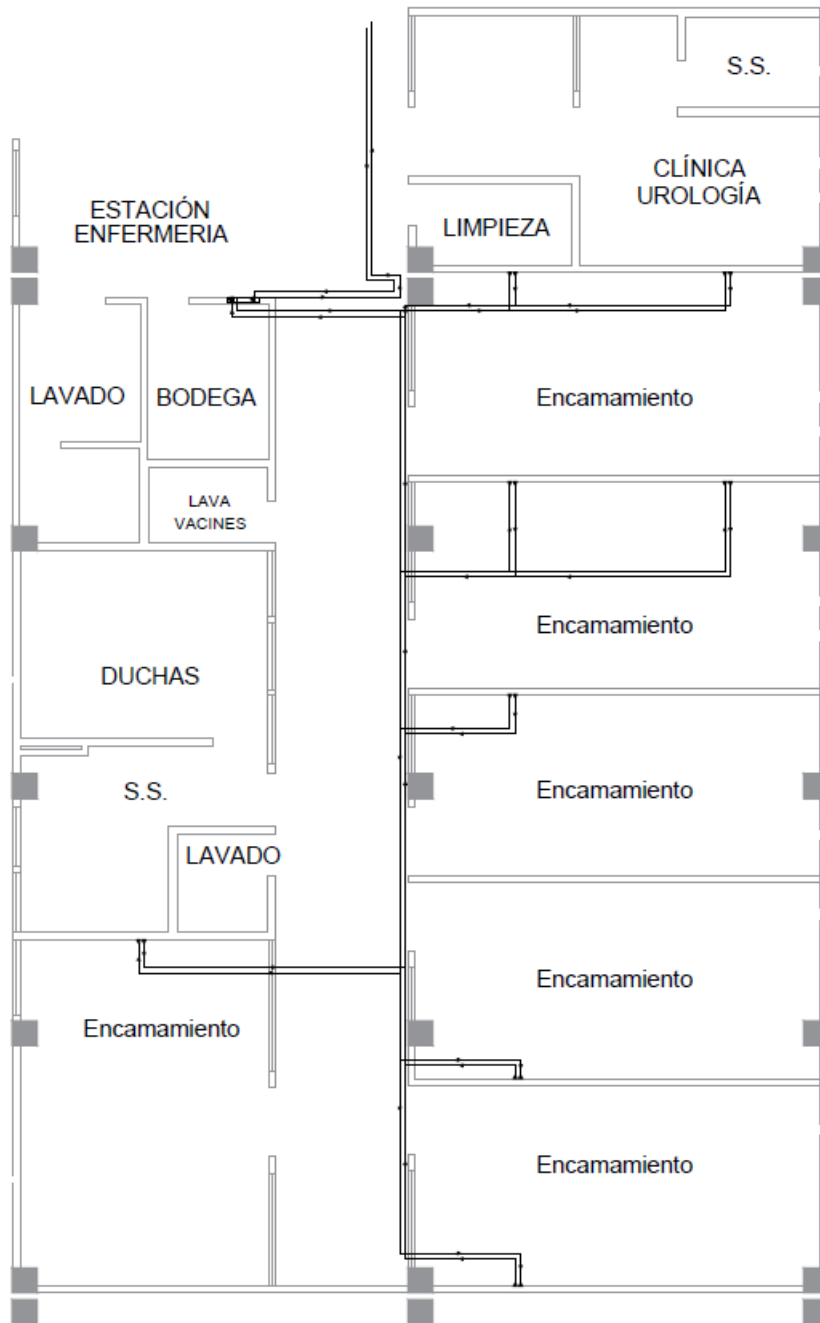
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 40. **Planta de gases médicos de tubería de derivación, primer nivel**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 41. **Planta de gases médicos de encamamiento de hombres de urología, otorrinolaringología y oftalmología**



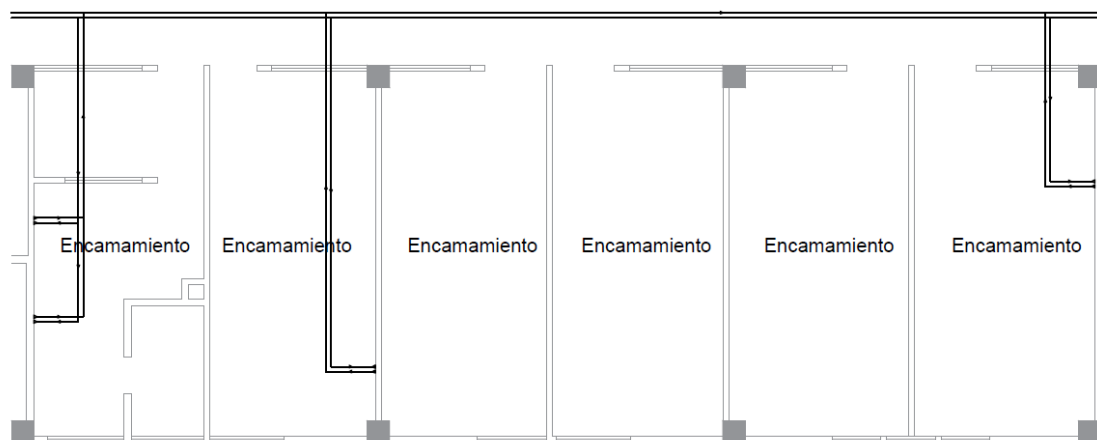
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 42. **Planta de gases médicos de encamamiento de hombres de cirugía**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 43. **Planta de gases médicos de encamamiento de hombres de ortopedias B y C**



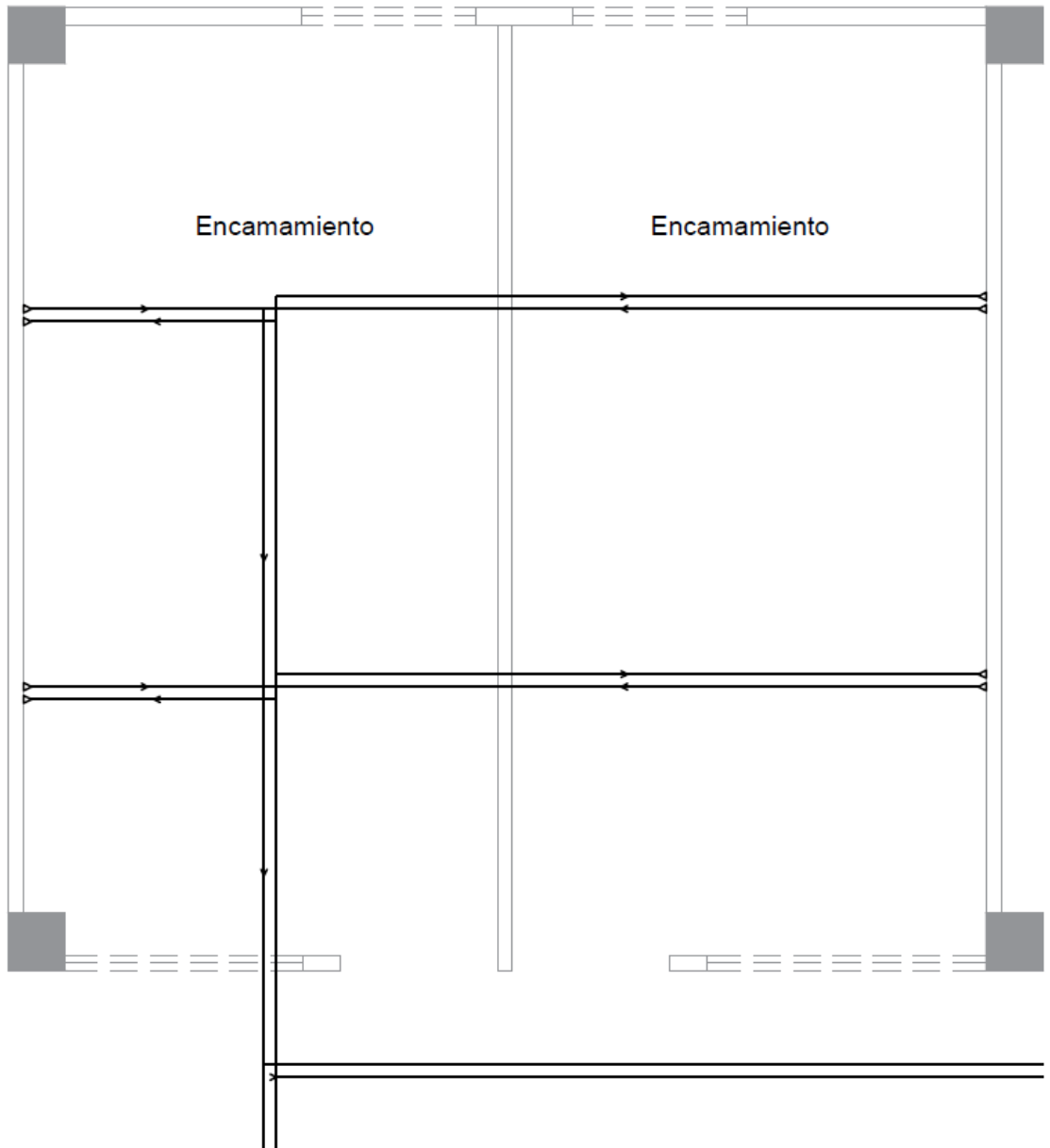
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 44. **Planta de gases médicos de encamamiento de hombres de ortopedia A**



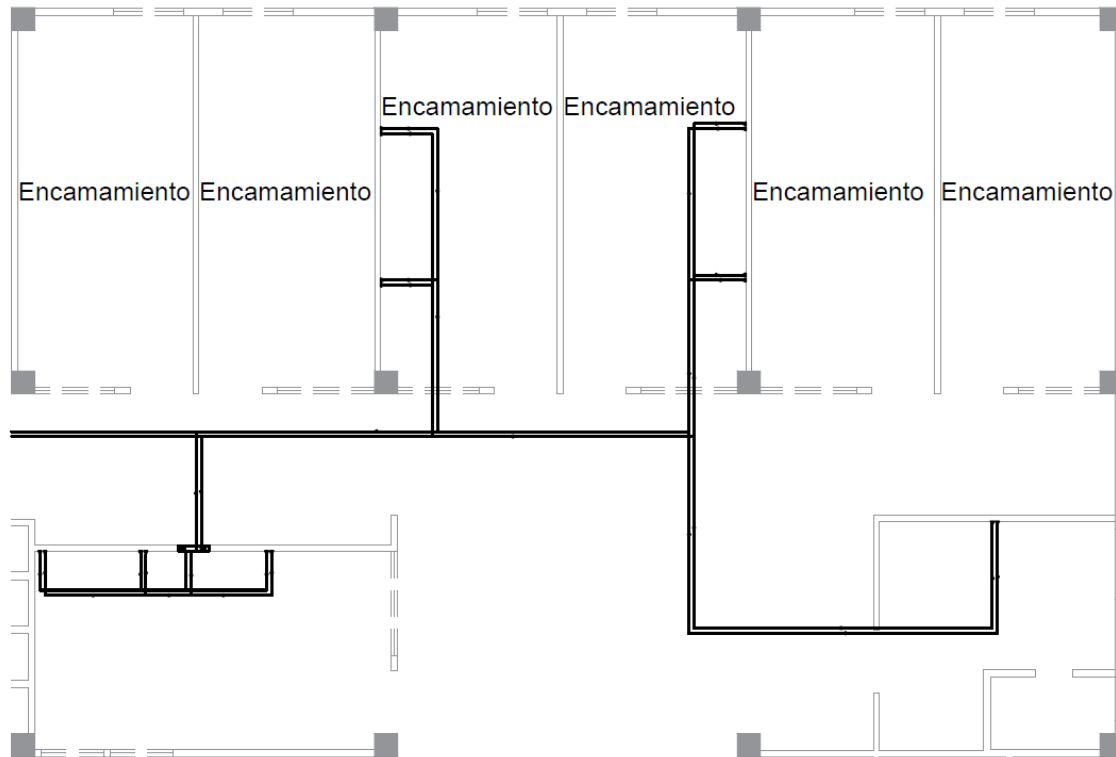
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 45. **Planta de gases médicos de encamamiento de hombres de ortopedia C**



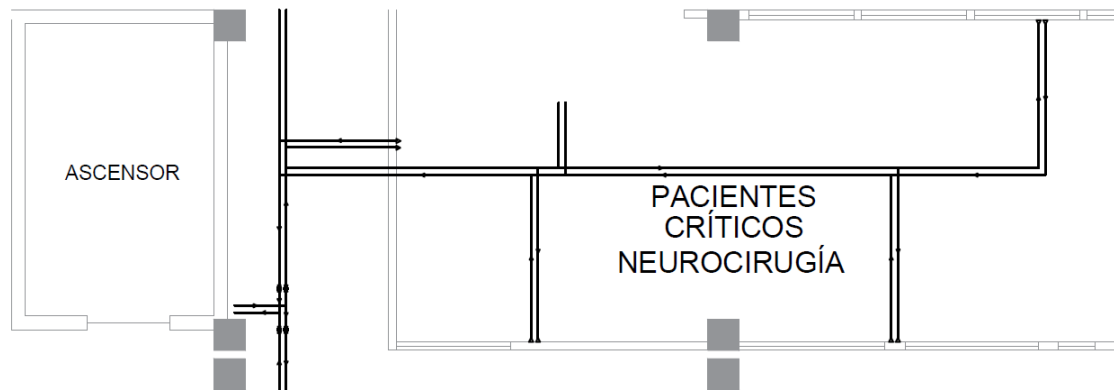
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 46. **Planta de gases médicos de encamamiento de hombres de ortopedia D**



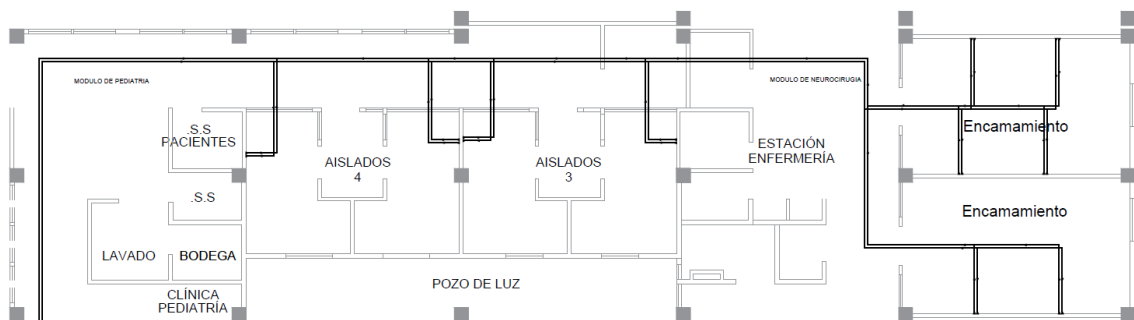
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 47. **Planta de gases médicos de encamamiento de hombres de neurocirugía**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 48. **Planta de gases médicos de encamamiento de pediatría y neurocirugía**



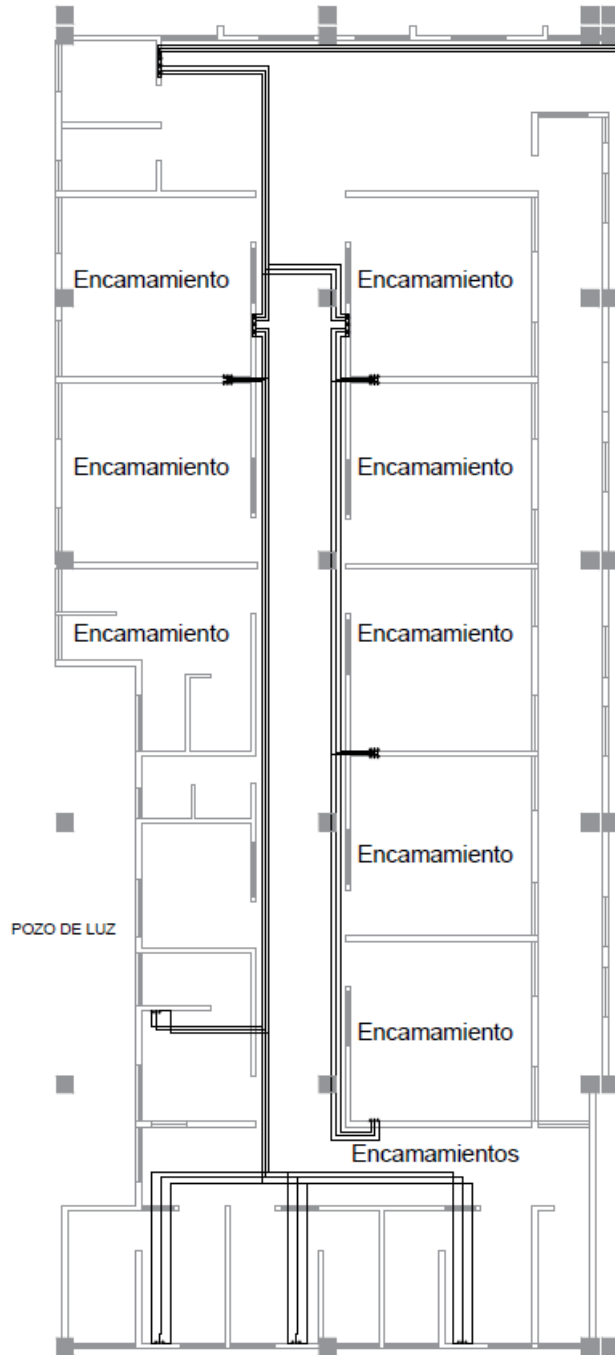
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 49. **Planta de gases médicos de encamamiento de neurocirugía y maxilofacial**



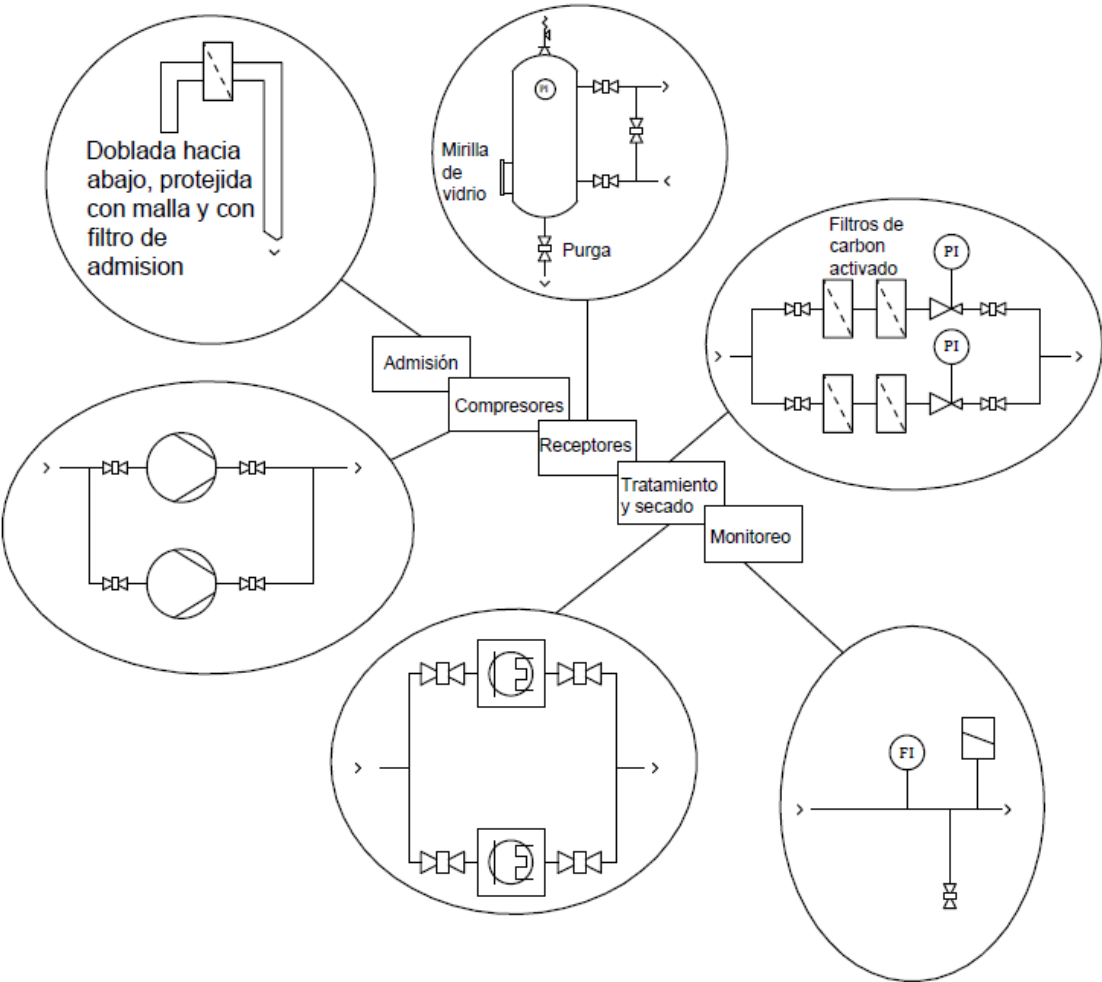
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 50. **Planta de gases médicos de encamamiento del módulo de especialidades de ortopedia de mujeres**



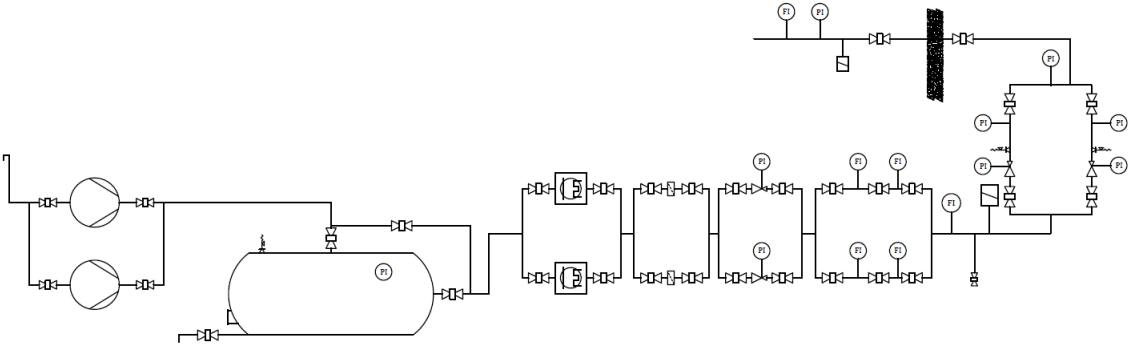
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 51. **Diagrama general de propuesta de mejora al sistema de suministro de aire médico**



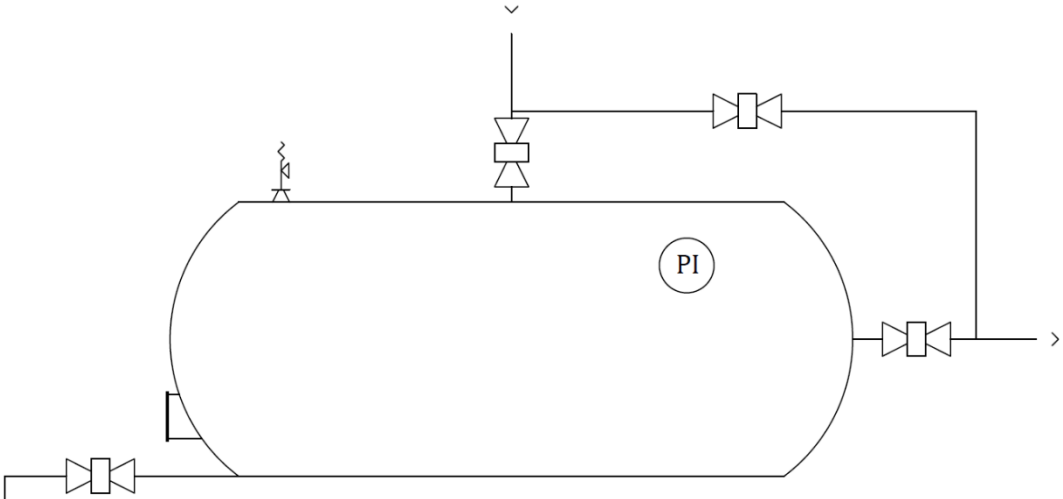
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 52. **Diagrama de propuesta de mejora al sistema de suministro de aire médico**



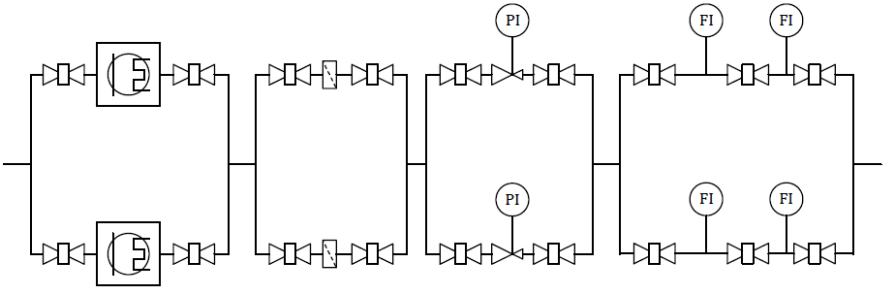
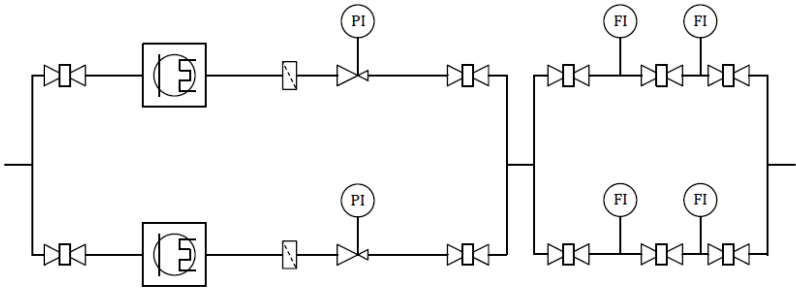
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 53. **Diagrama de propuesta de mejora al tanque receptor de aire médico**



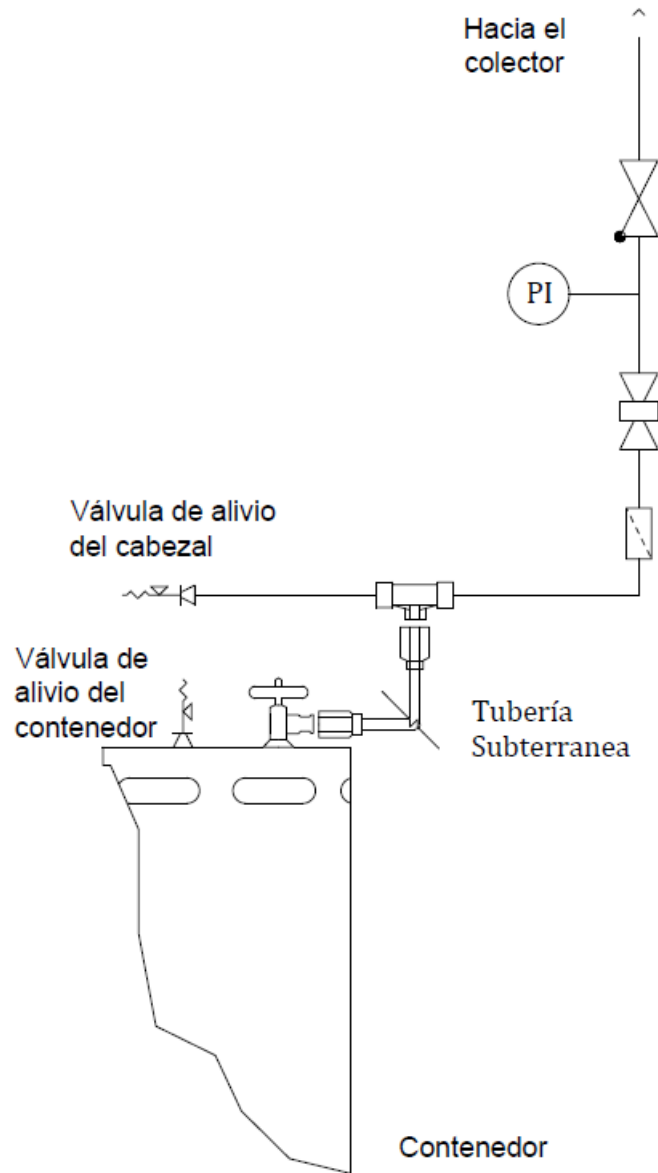
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 54. **Diagrama de propuesta de mejora al arreglo valvular de las líneas de aire médico**



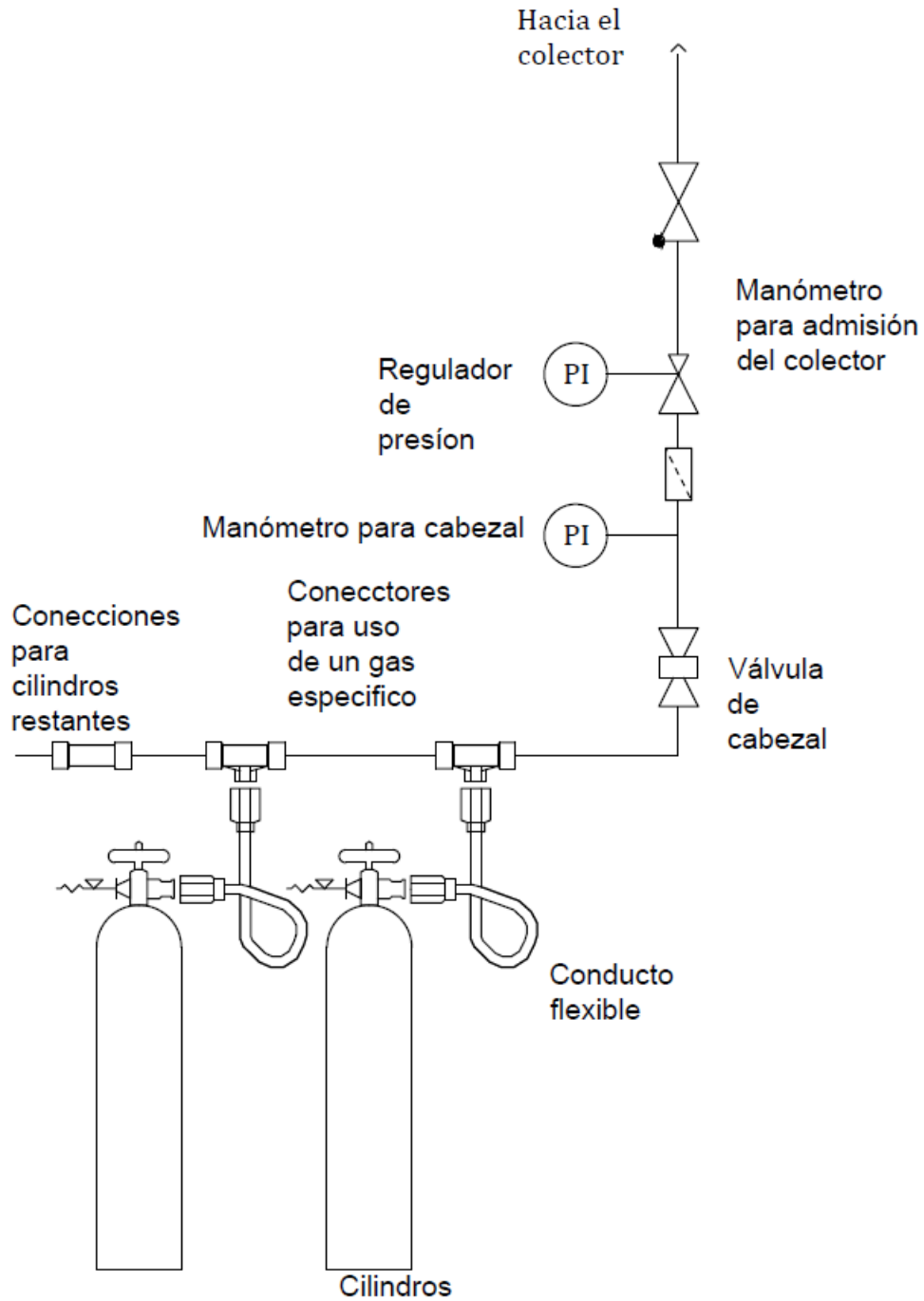
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 55. **Diagrama de propuesta de mejora al sistema de suministro del tanque de oxígeno líquido**



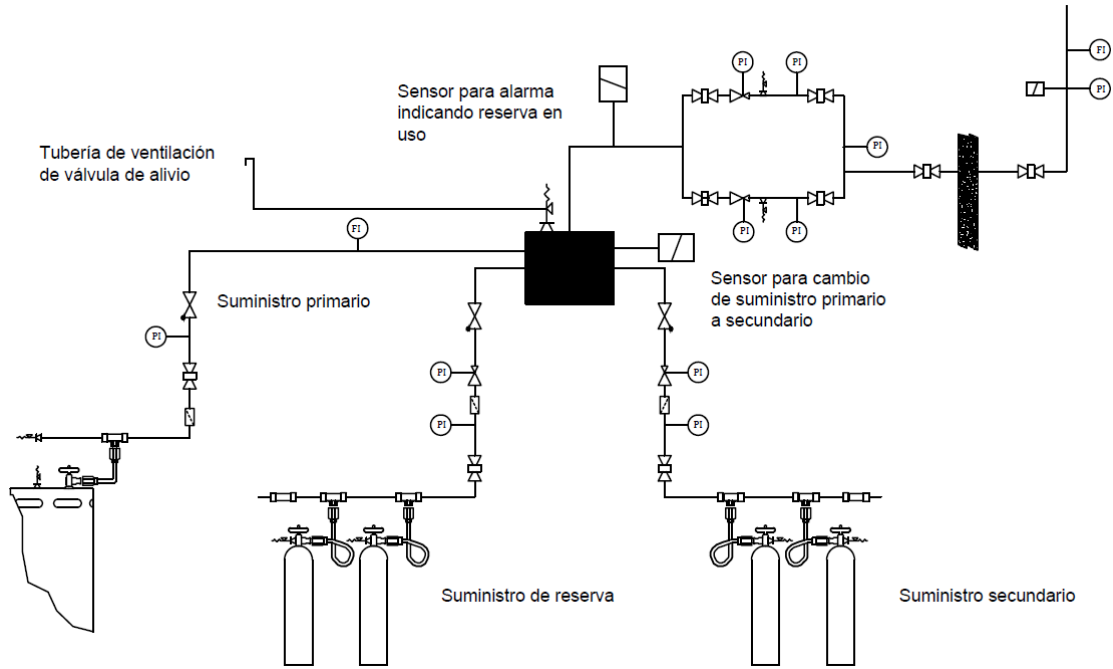
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 56. **Diagrama de propuesta de mejora al sistema de suministro de bancos de cilindros**



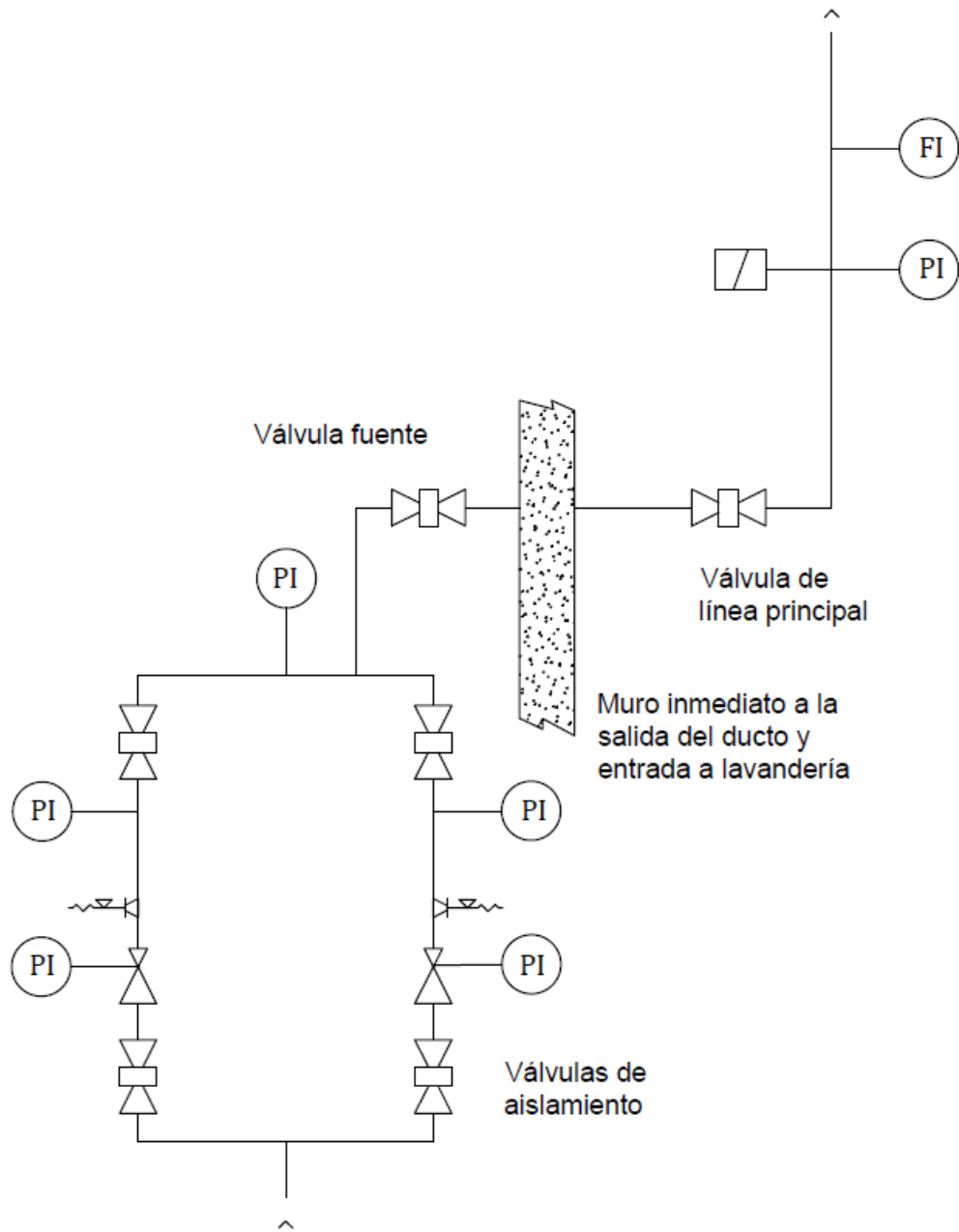
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 57. **Diagrama de propuesta de mejora al sistema de suministro de colector de oxígeno**



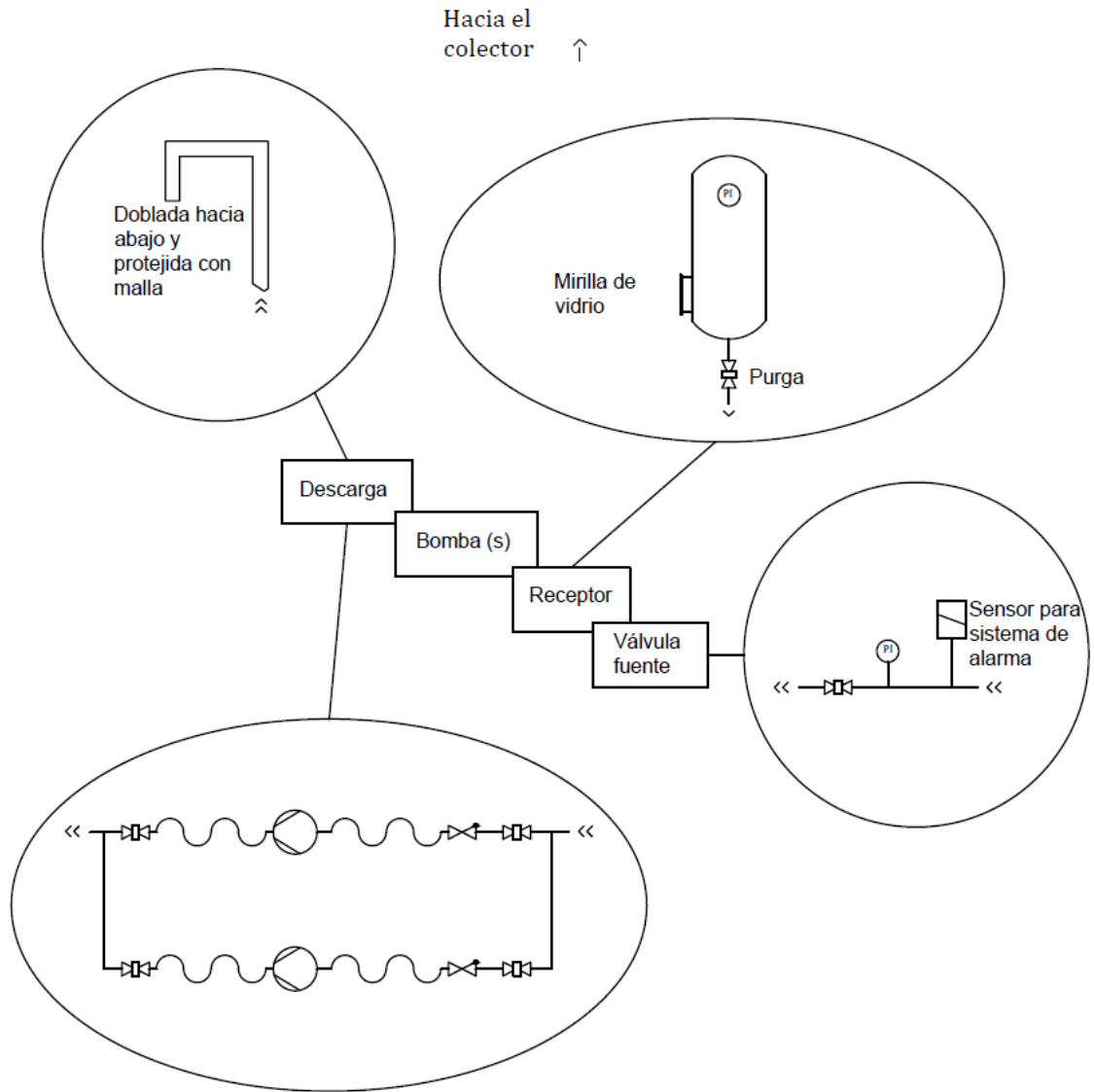
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 58. **Diagrama de propuesta de mejora al arreglo valvular de las líneas de oxígeno**



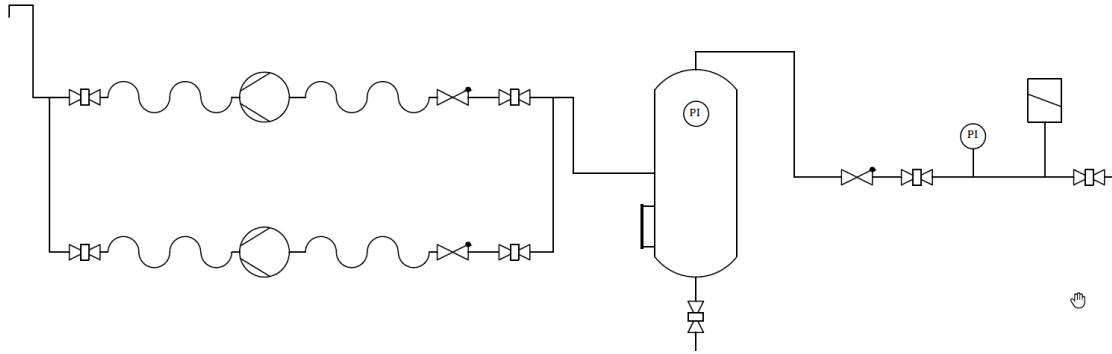
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 59. **Diagrama general de propuesta de mejora al sistema de suministro de vacío médico**



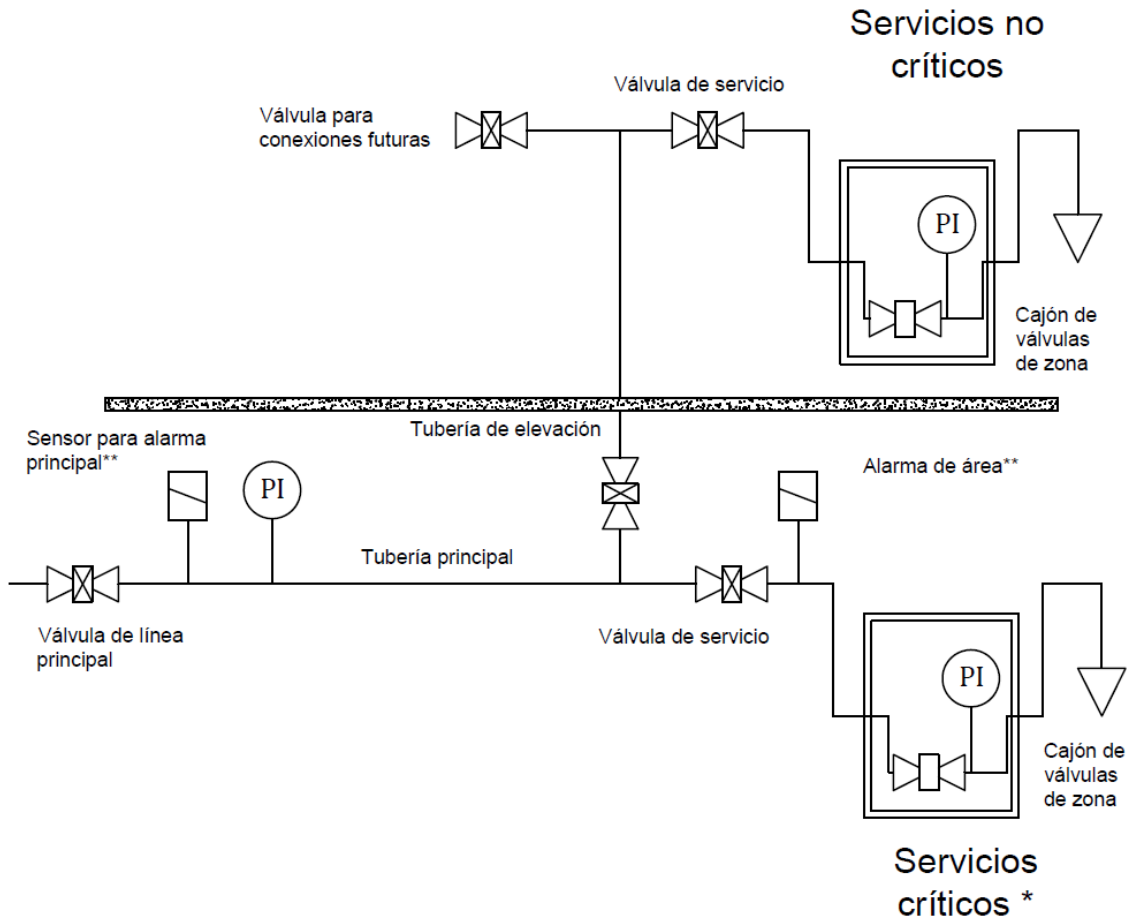
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 60. **Diagrama de propuesta de mejora al sistema de suministro de vacío médico**



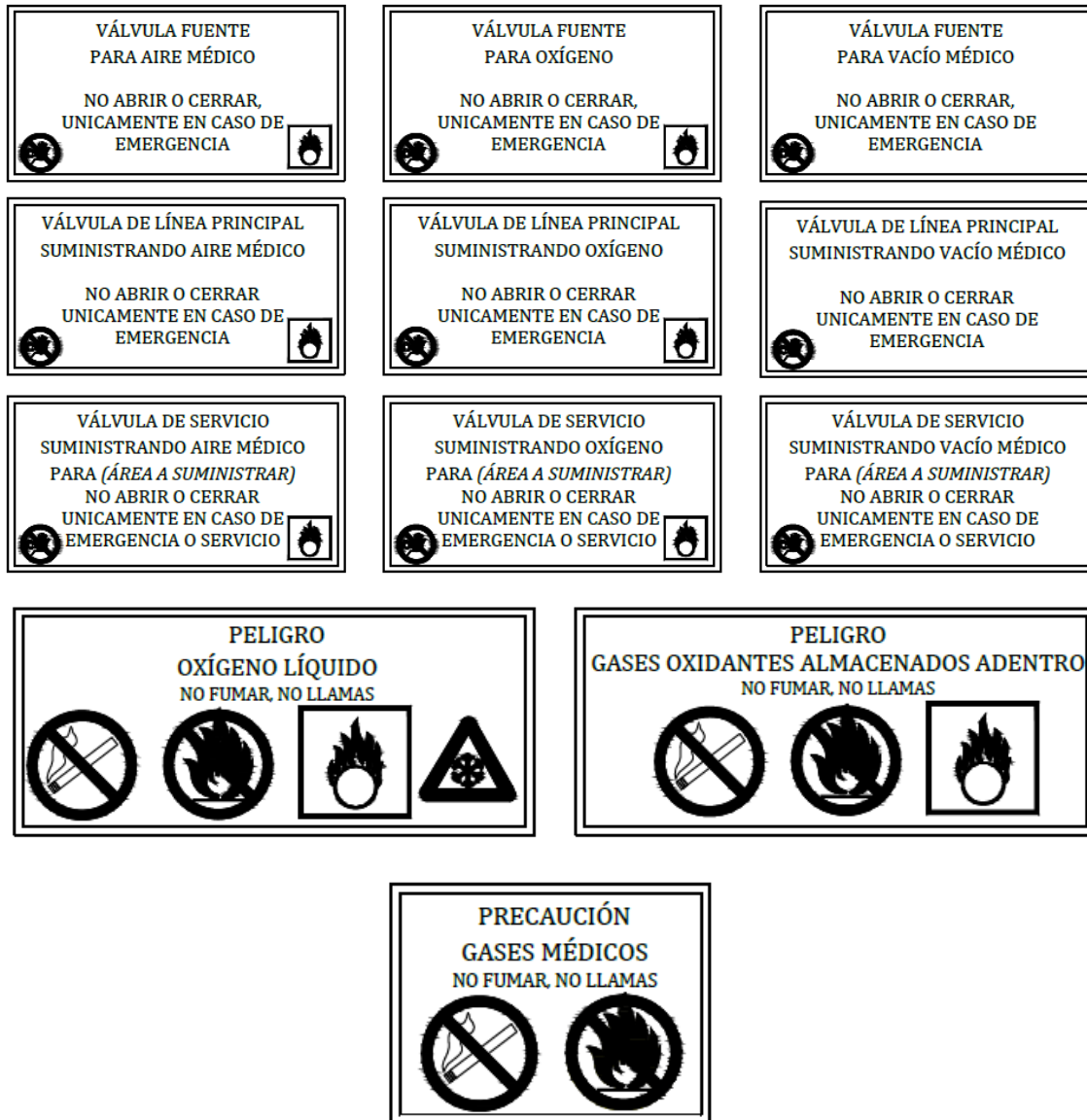
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 61. **Diagrama de propuesta de mejora al sistema de distribución de gases médicos**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 62. **Propuesta de señalización para áreas de almacenamiento y producción, y para válvulas de apertura y cierre**



Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Capacidad del compresor

Model	Motor HP	RPM	Piston Displacement			Nomenclature	Overall Dimensions (mm/inch)		
			Tank	CFM	LPM		Length	Width	Height
5T2NL	7.5	660	300 ltr	26.25	743	5T2NL D 7.5 LP ASSC	1795(70.70)	705(27.75)	1340(52.75)
5T2NL	10	930	300 ltr	37	1048	5T2NL D 10.0 LP ASSC	1795(70.70)	705(27.75)	1340(52.75)
10T3NL	12.50	592	500 ltr	47.1	1334	10T3NL E 12.5 LP ASSC	2045(80.50)	760(29.90)	1635(64.35)
10T3NL	20	844	500 ltr	67.13	1901	10T3NL E 20.0 LP ASSC	2045(80.50)	760(29.90)	1635(64.35)

Type : LP; Control : ASSC; Max Pressure : 125 psig
 1) For model 5T2NL size is 5" & 3" x 3.5" stroke 2) For Model 10T3NL Size is 5" & 5" & 4.25" x 3.5" stroke

Fuente: Ingersoll Rand. *Catalogo Ingersoll Rand Compressed Air System Solutions p. 13.*

Anexo 2. Capacidad de filtros



Technical Information / Datos Técnicos

MODEL MODELO	FLOW @ 7 bar (100 psig) CAUDAL @ 7 bar (100 psig)		CONNECTIONS CONEXIONES	MAXIMUM PRESSURE PRESIÓN MÁXIMA	DIMENSIONS DIMENSIONES mm				NET WEIGHT PESO LÍQUIDO kg
	cm ³	l/min			RP	A	B	C	
FS 0050	47	1331	1/2	16 (232)	87	215	21	90	1.1
FS 0070	70	1982	3/4		87	311	21	90	1.2
FS 0115	116	3285	1		130	311	43	135	3.8
FS 0200	201	5692	1.1/2		130	420	43	235	4.3
FS 0320	318	9005	1. 1/2		130	512	43	335	4.9
FS 0470	470	13309	1.1/2		130	719	43	525	7.0
FS 0925	923	26136	2. 1/2		164	1167	48	770	12.5
FS 1325	1324	37492	3		250	1167	74	610	28.0

- RP Thread according to NM ISO 7-1 or BSP
- Rosca RP conforme NM ISO 7-1 o BSP

Filter Accessories / Accesorios para los Filtros

ACCESSORIES / ACCESORIOS	CODE / CÓDIGO
1. Differential Pressure Manometer / Manómetro Diferencial de Presión	007.0314-0
2. Internal Automatic Condensate Drain / Purgador Automático Interno	007.0384-0
3. External Automatic Condensate Drain* / Purgador Automático Externo*	007.0434-0

- * Exclusive in FS 925 and FS 1325 models
- * Exclusivo en los modelos FS 925 y FS 1325



* Optional / Opcional

Fuente: Schulz. Compressed Air Treatment General Catalogue p. 7.

Anexo 3. Especificaciones del grado de filtración

Filtration Grade / Grado de Filtraje

GRADE GRADO	REMOVAL OF PARTICLES LARGER THAN REMOCIÓN DE PARTÍCULAS SUPERIOR A	REMOVAL OF OIL AT 20°C OVER REMOCIÓN DE ACEITE A 20°C SUPERIOR A	INITIAL PRESSURE LOSS PÉRDIDA DE CARGA NOMINAL INICIAL
U (pre-filter) U (pre-filtro)	1 micron	0.1 mg/m ³	0.05 bar
H (after filter) H (post-filtro)	0.01 micron	0.01 mg/m ³	0.09 bar
C (activated carbon) C (carbón activado)	-	0.003 mg/m ³	0.10 bar

- Compressed air maximum temperature = 70°C
- Ambient maximum temperature = 45°C
- Minimum operating temperature = 1°C
- Filtering element material = borosilicate and/or activated carbon
- Housing material = aluminum
- Viton o-rings

- *Temperatura máxima del aire comprimido = 70°C*
- *Temperatura máxima ambiente = 45°C*
- *Temperatura mínima de operación = 1°C*
- *Material del elemento = borosilicato y/o carbón activado*
- *Material de la carcasa = aluminio*
- *Anillo junta en vitón*

Fuente: Schulz. *Compressed Air Treatment General Catalogue* p. 7.

Anexo 4. Datos del secador de aire

Technical Specifications / Características Técnicas											
Model / Modelo	Flow / Caudal			Nominal Air Pressure / Presión Nominal	Máx. Air Pressure / Máx. Presión	Electric Voltage / Tensión Eléctrica	Nominal Voltage / Corriente	Conductor / Conductor	Refrigerant Fluid / Fluido Refrigerante	Dimensions / Dimensiones	Net Weight / Peso Líquido
	scfm	l/min	m³/h	psig (barg)	psig (barg)	V	A	mm²	type / tipo	HxWxD / AxLxC	lb (kg)
ADS 10	10	283	17	100 (7)	232 (16)	1/115/60	2,5	1,5	R134a	435 x 305 x 345 mm 17.1/8" x 12.3/16" x 12"	46 (21)
ADS 15	15	425	25			1/230/60	1,1	1,5			
ADS 20	20	566	34			1/115/60	2,6	1,5			
						1/230/60	1,2	1,5			
ADS 35	35	991	59			1/115/60	2,7	1,5			
						1/230/60	1,2	1,5			
ADS 50	50	1.415	85			1/115/60	3,2	2,5			
					1/230/60	1,6	1,5				
ADS 75	75	2.123	127		1/115/60	3,4	2,5				
					1/230/60	1,7	1,5				
ADS 100	100	2.830	170		1/115/60	5,1	2,5				
					1/230/60	2,7	1,5				
ADS 125	125	3.538	212		1/115/60	8,0	2,5				
					1/230/60	4,0	1,5				
ADS 150	150	4.245	255	1/115/60	7,6	4,0					
				1/230/60	4,4	1,5					
ADS 175	175	4.953	297	1/115/60	7,7	4,0					
				1/230/60	4,5	1,5					
ADS 220	220	6.226	374	1/115/60	7,7	4,0					
				1/230/60	4,9	1,5					
ADS 300	300	8.490	509	203 (14)	5,2	1,5	R407C	885 x 555 x 580 mm 34.13/16" x 21.7/8" x 22.13/16"	119 (54)		
										123 (56)	
ADS 375	375	10.613	637		5,9	2,5		975 x 555 x 625 mm 38.3/8" x 21.7/8" x 24.5/8"	207 (94)		
										212 (96)	
ADS 480	480	13.584	815		1/230/60	9,1		4,0	1105 x 665 x 725 mm 43.1/2" x 26.3/16" x 28.9/16"		317 (114)
					212 (96)						
ADS 480	480	13.584	815			9,4		4,0	1105 x 665 x 725 mm 43.1/2" x 26.3/16" x 28.9/16"	317 (114)	
					212 (96)						

Fuente: Schulz. *Compressed Air Dryer, Schulz of America, Inc p. 3.*

Anexo 5. Capacidad de bomba de vacío

Duplex Lubricated Vane										
MODEL	HP¹	SCFM @ 19" Hg Each	NFPA System Capacity¹	TANK SIZE	BTU/HR²	dB(A) LEVEL³	SYSTEM F.L.A.			SYSTEM WEIGHT
							208V	230V	460V	
DLV075-120B	7-1/2	52	52	120	19,095	79	44	43	23	1,895
DLV100-120B	10	77	77	120	25,460	81	55	53	28	2,170
DLV150-200B	15	111	111	200	38,190	83	102	100	51	3,095
DLV200-200B	20	137	137	200	50,920	84	110	102	52	4,480
DLV250-200B	25	168	168	200	63,650	85	138	126	64	4,865

Notes:

- 1- HP and NFPA System Capacity are shown with one or more pumps in reserve per NFPA 99
- 2 - BTU/HR levels are shown with reserve pump(s) on standby
- 3 - dB(A) is shown with one pump in reserve per NFPA 99

Fuente: Chemetron. *Medical Vacuum Systems: Lubricated Vane, product specification.* p. 5.

Dado que ya no se proporciona las especificaciones de las bombas utilizadas debido a su antigüedad, se utilizaron los datos del modelo de la bomba más cercana, dado su ínfima variabilidad.

Anexo 6. **Tabla C.13.5 Volumen y peso del contenido disponible de cilindros de gases médicos típicos**

Cylinder Style and Dimensions	Nominal Volume (in. ³ /L)	Contents	Name of Gas									
			Air	Carbon Dioxide	Cyclopropane	Helium	Nitrogen	Nitrous Oxide	Oxygen	Mixtures of Oxygen		
										Helium	CO ₂	
B 3½ in. O.D. × 13 in. 8.89 × 33 cm	87/1.43	psig		838	75					1900		
		L		370	375					200		
		lb-oz		1-8	1-7¼					—		
		kg		0.68	0.66					—		
D 4½ in. O.D. × 17 in. 10.8 × 43 cm	176/ 2.88	psig	1900	838	75	1600	1900	745	1900	*	*	
		L	375	940	870	300	370	940	400	300	400	
		lb-oz	—	3-13	3-5½	—	—	3-13	—	—	*	*
		kg	—	1.73	1.51	—	—	1.73	—	—	*	*
E 4¼ in. O.D. × 26 in. 10.8 × 66 cm	293/ 4.80	psig	1900	838		1600	1900	745	1900	*	*	
		L	625	1590		500	610	1590	660	500	660	
		lb-oz	—	6-7		—	—	6-7	—	—	*	*
		kg	—	2.92		—	—	2.92	—	—	*	*
M 7 in. O.D. × 43 in. 17.8 × 109 cm	1337/21.9	psig	1900	838		1600	2200	745	2200	*	*	
		L	2850	7570		2260	3200	7570	3450	2260	3000	
		lb-oz	—	30-10		—	—	30-10	122 ft ³	—	*	*
		kg	—	13.9		—	—	13.9	—	—	*	*
C 8½ in. O.D. × 51 in. 21.6 × 130 cm	2370/38.8	psig	1900	838		1600		745		*	*	
		L	5050	12,300		4000		13,800		4000	5330	
		lb-oz	—	50-0		—		56-0		—	*	*
		kg	—	22.7		—		25.4		—	*	*
H or K 9¼ in. O.D. × 51 in. 23.5 × 130 cm	2660/43.6	psig	2200			2200	2200	745	2200†			
		L	6550			6000	6400	15,800	6900			
		lb-oz	—			—	—	64	244 ft ³			
		kg	—			—	—	29.1				

Notes: These are computed contents based on nominal cylinder volumes and rounded to no greater variance than ±1%.

* The pressure and weight of mixed gases will vary according to the composition of the mixture.

†275 ft³/7800 L cylinders at 2490 psig are available upon request.

Source: With permission from the Compressed Gas Association, Inc.

Anexo 7. **Tabla 5.1.12.3.11 Concentración de gases**

Table 5.1.12.3.11 Gas Concentrations

Medical Gas	Concentration
Oxygen	≥97% oxygen
Nitrous oxide	≥99% nitrous oxide
Nitrogen	≤1% oxygen or ≥99% nitrogen
Medical air	19.5–23.5% oxygen
Other gases	Concentration as specified by ±1% unless otherwise specified.

Fuente: National Fire Protection Association. *Norma NFPA 99*. p. 65

De acuerdo con la errata de la norma NFPA 99 inciso 4, se indica lo siguiente:

- En la tabla 5.1.12.3.11 cambiar la concentración de oxígeno de “>97 % a >99 %”.