



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**SEGURIDAD EN LAS INSTALACIONES DE GASES MEDICINALES: EVALUACIÓN DEL
CUMPLIMIENTO NORMATIVO NFPA 99 Y NFPA 55 DEL HMCR EN SAN PEDRO
SULA, HONDURAS**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO

INGENIERO EN BIOMÉDICA

PRESENTADO POR:

21741366 STEPHANY MICHELL MENJÍVAR MATA

ASESOR: MANUEL GAMERO

SAN PEDRO SULA, CORTÉS, HONDURAS, C.A.

DICIEMBRE, 2023

DEDICATORIA

Deseo dedicar este logro alcanzado a Dios y a mi querida madre, quienes siempre han estado presentes en mi vida, brindándome su amor y apoyo incondicional. A Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada paso de este camino, por inspirarme y darme la sabiduría para superar los desafíos que se presentaron durante esta etapa. A mi querida madre, quien ha sido mi fuente inagotable de inspiración y motivación.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, quien ha sido mi guía y protector a lo largo de este camino. También quiero expresar mi profundo agradecimiento a mi familia, quienes han sido el pilar fundamental en mi vida, brindándome amor constante y apoyo incondicional.

Asimismo, extendo mi reconocimiento y gratitud a los docentes. Su dedicación, paciencia y valiosas enseñanzas me han guiado y moldeado en este viaje de investigación. Su influencia ha sido esencial para mi éxito en este proceso.

Al establecimiento de salud Mario Catarino Rivas por darme la oportunidad de visitar sus instalaciones con el fin de recopilar la información necesaria para el desarrollo de este proyecto, a mi asesor de tesis y a todos los que colaboraron directa o indirectamente.

Con gratitud y cariño,

- Stephany Menjívar

EPÍGRAFE

"Saber que no se sabe, eso es humildad. Pensar que uno sabe lo que no sabe, eso es enfermedad."

– Laozi

RESUMEN EJECUTIVO

El suministro de gases medicinales es un fundamento en el ámbito hospitalario. Esto, debido a ser un recurso necesario para el tratamiento de los pacientes. Por lo que, la exactitud del suministro, alarmas ante adversidades, y respaldos, son indispensables para estos sistemas. La evaluación de las instalaciones de gases medicinales en el Hospital Mario Catarino Rivas, en línea con las normativas NFPA 99, NFPA 55 y las pautas de la FGI, ha revelado un panorama integral sobre la seguridad y funcionamiento de estos sistemas vitales. La inspección abarcó diversas áreas críticas, desde la identificación de posibles deficiencias en las alarmas hasta el estado de las tuberías y la disponibilidad de las fuentes de suministro. Se destacan áreas de cumplimiento satisfactorio, como el funcionamiento adecuado de las alarmas y la identificación de las tuberías, junto con recomendaciones específicas para mejorar la protección de las tuberías. El análisis integral revela un cumplimiento general con las normativas, pero también subraya oportunidades de mejora. La implementación de las recomendaciones propuestas permitirá fortalecer aún más la seguridad y eficacia de las instalaciones de gases medicinales, garantizando un entorno hospitalario más seguro y confiable para la atención médica.

Palabras claves: Suministro de gas, red troncal, red secundaria, alarmas, tuberías. Dimensionamiento, toma de gases.

ABSTRACT

The supply of medical gases is a foundation in the hospital environment. This is due to the fact that it is a necessary resource for the treatment of patients. Therefore, the accuracy of the supply, alarms in case of adversities, and backups are essential for these systems. The evaluation of the medical gas installations at Mario Catarino Rivas Hospital, in line with NFPA 99, NFPA 55 and FGI guidelines, has revealed a comprehensive picture of the safety and operation of these vital systems. The inspection covered a number of critical areas, from the identification of potential alarm deficiencies to the condition of piping and the availability of supply sources. Areas of satisfactory compliance, such as proper alarm operation and pipeline identification, are highlighted, along with specific recommendations to improve pipeline protection. The comprehensive analysis reveals overall compliance with regulations, but also highlights opportunities for improvement. Implementation of the proposed recommendations will further strengthen the safety and efficiency of medical gas facilities, ensuring a safer and more reliable hospital environment for medical care.

Key words: Gas supply, primary network, secondary network, alarms, piping, gas sampling.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	13
II. ESTADO DEL ARTE.....	14
2.1 ANTECEDENTES	14
2.1.1 <i>Teoría asociada a los sistemas de gases medicinales y las normativas</i>	<i>14</i>
2.1.2 <i>Metodologías de análisis de riesgos</i>	<i>25</i>
2.1.3 <i>Casos reales de fallas en sistemas de gases medicinales</i>	<i>30</i>
2.2 PROBLEMÁTICA.....	39
2.3 IMAGEN INTEGRADORA	39
2.4 TABLA DE LIMITACIONES.....	41
III. OBJETIVOS.....	43
3.1 OBJETIVO GENERAL	43
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	43
IV. MÉTODOS	44
4.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	44
4.2 OBJETIVOS DE LAS METODOLOGÍAS SEGUIDAS.....	45
4.3 RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO	45
4.4 MÉTRICAS DE EVALUACIÓN/VALIDACIÓN DE RESULTADOS	49
4.3.1 <i>Porcentaje de cumplimiento normativo.....</i>	<i>49</i>
4.3.2 <i>Porcentaje de distribución adecuada de la cantidad de tomas de gases.....</i>	<i>49</i>
4.3.3 <i>Porcentaje de sistemas de alarmas funcionales.....</i>	<i>50</i>
4.3.4 <i>Ubicación adecuada de paneles locales de alarma</i>	<i>51</i>
4.3.5 <i>Almacenamiento adecuado de fuentes</i>	<i>51</i>
4.3.6 <i>Dimensionamiento adecuado según cálculos</i>	<i>52</i>
4.3.8 <i>Estado y calidad de las tuberías</i>	<i>53</i>
4.1 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	55
V. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	57

5.1	RECOPIACIÓN DE DATOS	57
5.2	CÁLCULO DE FUENTE DE SUMINISTRO.....	64
5.2.1	<i>Cálculo de fuente de suministro de oxígeno</i>	<i>64</i>
5.2.2	<i>Cálculo de fuente de suministro de aire medicinal.....</i>	<i>66</i>
5.2.3	<i>Cálculo de sistema de vacío</i>	<i>67</i>
5.3	CÁLCULO DE DIÁMETRO DE TUBERÍAS.....	69
5.3.1	<i>Oxígeno.....</i>	<i>70</i>
5.3.2	<i>Vacío.....</i>	<i>82</i>
5.3.3	<i>Aire Medicinal.....</i>	<i>92</i>
5.4	CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA GASES MEDICINALES.....	95
5.4.1	<i>Tomas de gases medicinales</i>	<i>95</i>
5.4.2	<i>Sistemas de alarma.....</i>	<i>95</i>
5.4.3	<i>Tuberías.....</i>	<i>97</i>
5.4.4	<i>Sistema de suministro y respaldo.....</i>	<i>99</i>
5.4.5	<i>Válvulas del sistema y cajas de corte.....</i>	<i>101</i>
5.5	LISTA DE COTEJO.....	102
5.6	MÉTRICAS DE EVALUACIÓN	111
5.6.1.	<i>Porcentaje de cumplimiento normativo.....</i>	<i>111</i>
5.6.2.	<i>Porcentaje de distribución adecuada de la cantidad de tomas de gases</i>	<i>111</i>
5.6.3.	<i>Porcentaje de sistemas de alarmas funcionales</i>	<i>112</i>
5.6.4.	<i>Ubicación adecuada de paneles locales de alarma</i>	<i>112</i>
5.6.5.	<i>Almacenamiento adecuado de fuentes.....</i>	<i>112</i>
5.6.6.	<i>Porcentaje de tuberías correctamente identificadas.....</i>	<i>112</i>
5.6.7.	<i>Estado y calidad de las tuberías.....</i>	<i>112</i>
5.7	LISTADO DE RECOMENDACIONES/ MEJORAS.....	113
VI.	CONCLUSIONES.....	114
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	116

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Imagen Integradora.	40
Ilustración 2 Diagrama de flujo del procedimiento llevado a cabo en la investigación.	48
Ilustración 3 Gráfico de cantidad de tomas de cada gas.....	61
Ilustración 4 Tomas de gases medicinales.	95
Ilustración 5 Panel de alarma local de gases medicinales.....	96
Ilustración 6 Alarma maestra del HMCR.....	96
Ilustración 7 Identificación de tuberías de gases medicinales.....	98
Ilustración 8 Soportería de las tuberías.....	99
Ilustración 9 Tanque criogénico del HMCR.....	100
Ilustración 10 Manifold de respaldo.	100
Ilustración 11 Caja de corte de Sala Triaje acorde a normativa.....	101
Ilustración 12 Caja de corte no acorde a normativa.	102
Ilustración 13 Gráfica de Cumplimiento de Normativas de Instalación de Gases del HMCR.	110
Ilustración 14 Gráfica de Cumplimiento Según FGI en Instalación de Gases del HMCR.....	110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Colores de cilindro para identificar los gases destinados a uso médico.....	16
Tabla 2 Limitaciones de Investigaciones Previas.	41
Tabla 3 Metodología.....	44
Tabla 4 Objetivo de métodos.....	45
Tabla 5 Operacionalización de variables.....	55
Tabla 6 Consumo teórico de gases inyectados o extraídos de las tuberías.....	57

Tabla 7 Consumo teórico de oxígeno según áreas.....	58
Tabla 8 Consumo teórico de vacío según áreas.....	58
Tabla 9 Consumo teórico de aire medicinal según áreas.....	59
Tabla 10 Cantidad total de tomas de gases medicinales por área.....	60
Tabla 11 Red de oxígeno.....	61
Tabla 12 Red de vacío.....	62
Tabla 13 Red de aire medicinal.....	63
Tabla 14 Capacidades de tanques criogénicos.....	65
Tabla 15 Compensación por altitud.....	66
Tabla 16 Potencia del compresor de aire comprimido.....	67
Tabla 17 Factores de corrección para vacío.....	67
Tabla 18 Potencia de compresor de vacío.....	68
Tabla 19 Valores comerciales de tubería de cobre.....	69
Tabla 20 Evaluación de Conformidad con Normativas NFPA 99 y NFPA 55.....	102
Tabla 21 Evaluación de Conformidad con Normativa FGI.....	106
Tabla 22 Cumplimiento normativo NFPA según gas.....	109
Tabla 23 Cumplimiento normativo según guía de FGI.....	110

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Porcentaje de cumplimiento normativo.....	49
Ecuación 2 Porcentaje de distribución adecuada de tomas.....	50
Ecuación 4 Porcentaje de paneles locales de alarma ubicados correctamente.....	51
Ecuación 5 Porcentaje de fuentes almacenadas correctamente.....	51

Ecuación 6 Porcentaje de fuentes dimensionadas correctamente.	52
Ecuación 7 Porcentaje de tuberías identificadas correctamente.....	53
Ecuación 8 Porcentaje de tuberías que presentan daño o desgaste.....	53
Ecuación 9 Porcentaje de tuberías con el diámetro adecuado.....	53
Ecuación 10 Fórmula empírica para el cálculo de tubería.....	69

LISTA DE SIGLAS

CGA	Asociación de Gas Comprimido (Compressed Gas Association).
DISS	Sistema de Seguridad de Índice de Diámetro (Diameter Index Safety System).
FGI	Instituto de Directrices de Instalación (Facility Guidelines Institute).
FMEA	Análisis de Modos de Falla y Efectos (Failure Modes and Effects Analysis).
FTA	Análisis de Árbol de Fallos (Fault-Tree Analysis).
GM	Gas Medicinal.
HMCR	Hospital Mario Catarino Rivas.
HP	Caballo de fuerza (Horse Power).
ISO	Organización Internacional de Normalización (International Organization for Standardization).
MGPS	Sistema de Tuberías de Gases Medicinales (Medical Gas Pipeline System).
NFPA	Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (National Fire Protection Association).
O ₂	Oxígeno.
SCFM	Pies Cúbicos Estándar por Minuto (Standard Cubic Feet per Minute).
STPA	Análisis de Procesos Teóricos de Sistemas (Systems Theoretical Process Analysis).

UCI	Unidad de Cuidados Intensivos.
UCIN	Unidad de Cuidados Intensivos Neonatal.
UCIP	Unidad de Cuidados Intensivos Pediátrico.

I. INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la atención médica, los sistemas de gases medicinales emergen como un pilar fundamental en la operación de instituciones hospitalarias. Estos sistemas desempeñan un papel trascendental en una amplia gama de procedimientos, desde intervenciones quirúrgicas hasta terapias respiratorias, lo que los hace indispensables para garantizar la vida y la recuperación de los pacientes. El HMCR de San Pedro Sula, una de las entidades médicas más destacadas de la región, no es ajeno a esta realidad y, por ello, la calidad y normatividad de su sistema de gases medicinales se establece como una preocupación primordial.

Las normativas y estándares técnicos relacionados con sistemas de gases medicinales son criterios meticulosamente diseñados para asegurar la seguridad, eficacia y eficiencia de la administración de gases en entornos hospitalarios. Estas regulaciones se establecen considerando desde aspectos técnicos y de ingeniería hasta implicaciones médicas y éticas, buscando salvaguardar a todos los involucrados.

Pese a la existencia de estas normativas, su implementación y adherencia pueden variar considerablemente entre instituciones. El HMCR enfrenta el desafío de garantizar que su sistema de gases medicinales no solo opere de manera eficiente, sino que también cumpla con todas las regulaciones vigentes. El proyecto de investigación no solo busca aportar al HMCR un diagnóstico detallado y soluciones viables, sino también contribuir al cuerpo académico y técnico en la materia, estableciendo precedentes y recomendaciones que puedan ser aplicables en otros contextos hospitalarios similares.

En el capítulo II se abordarán antecedentes del problema y datos relevantes para dar a entender la necesidad de realizar el trabajo investigativo. Se definirá la problemática y se detallarán algunas limitaciones que investigadores anteriores han tenido en temas relacionados a esta. En el capítulo III se presentarán los objetivos que se pretenden alcanzar. La metodología por utilizar se detallará en el capítulo IV y en el capítulo V se mostrarán los resultados obtenidos. Las conclusiones se presentarán en el capítulo VI, seguidas de los agradecimientos en el capítulo VII. Finalmente, en el capítulo VIII se detallarán las fuentes bibliográficas utilizadas para el desarrollo de la investigación.

II. ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se resaltó información variada y relevante basada en previas investigaciones asociadas al tema de estudio y sus limitaciones, y cómo estas se relacionan con el presente trabajo investigativo. Así mismo, se definió la problemática de estudio y su importancia en el sector salud.

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 TEORÍA ASOCIADA A LOS SISTEMAS DE GASES MEDICINALES Y LAS NORMATIVAS

El libro de Garg & Dewan (2022) «**Manual of Hospital Planning and Designing: For Medical Administrators, Architects and Planners**» proporcionó diversa teoría asociada a los gases medicinales. En este mencionaron que los gases medicinales son uno de los principales servicios de apoyo utilizados para diversas aplicaciones médicas en los hospitales.

Así mismo, establecieron que los gases medicinales de uso común en los hospitales son oxígeno (O₂), óxido nitroso (N₂O), aire medicinal, dióxido de carbono (CO₂), nitrógeno (N₂) y vacío médico. Hicieron referencia también a diversos componentes de un sistema de gases medicinales incluyendo las fuentes de suministro, tuberías, válvulas y tomas de gases.

Definieron la fuente como el sistema mediante el cual se producen los gases para su flujo a través de redes de tuberías. Existen diferentes fuentes de gases medicinales, que varían de un gas a otro. Cada gas tiene una fuente de producción diferente.

En cuanto a las tuberías, mencionaron que todos los gases medicinales y el vacío se transportan y distribuyen en el hospital a través del sistema de distribución de tuberías de cobre para proporcionar gas o vacío en el punto final o en las unidades terminales. Las tuberías deben ser de cobre de alta calidad, sin costura y sin arsénico. Además, deben estar protegidas contra daños físicos y corrosión y codificadas por colores según el gas.

Las válvulas en el sistema de gases medicinales son utilizadas para controlar el flujo de gases. Básicamente, el sistema dispone de dos tipos de válvulas. Esas son válvulas de zona y válvulas de servicio. Las válvulas de zona se utilizan para aislar grandes áreas del sistema, como

pasillos o pisos. Estas válvulas generalmente son necesarias para cortar los gases para mantenimiento o reparación del sistema. Mientras que las válvulas de servicio se utilizan para aislar partes pequeñas del sistema como espacio para modificación y/o reparación.

También establecieron que antes de instalar el sistema de gases medicinales, el factor más importante es diseñar el sistema basándose en los requisitos actuales, así como en la planificación futura del aumento de las salidas. Y hay ciertos factores a considerar antes de diseñar el sistema como el hecho de seguir las normas emitidas por las autoridades competentes.

Así mismo, es necesario hacer un análisis del área del hospital y tomar en cuenta el número de camas en el establecimiento, el total de camas a las cuales se les debe proporcionar gases, el número de salidas que se proporcionarán en cada cama, ubicación de esas camas y, dependiendo de los usos y equipamientos decidir el tipo de gases a suministrar.

Ehrenwerth et al. (2020) en el libro «**Anesthesia Equipment: Principles and Applications**» tocaron diversos aspectos relacionados a los sistemas de gases medicinales, desde sus componentes hasta algunos riesgos asociados.

Su enfoque principal fue el sistema de tuberías de gases medicinales y los cilindros de gases. Mencionaron que los gases medicinales se almacenan en cilindros metálicos o en sistemas de almacenamiento de gases a granel. Los cilindros suelen estar conectadas a las máquinas de anestesia, mientras que los sistemas de suministro a granel utilizan tuberías para transportar los gases a la máquina de anestesia.

La mayoría de los centros en los que se administra anestesia disponen de sistemas centrales de suministro de gas. Sin embargo, el cambio hacia la prestación de cuidados fuera de los entornos hospitalarios tradicionales, como clínicas dentales o unidades médicas móviles, está aumentando la demanda de un suministro de gas seguro y continuo. En estos casos, los cilindros tipo E suelen ser la única fuente de gas, y es fundamental garantizar un suministro adecuado de cilindros de reserva y controlar sus niveles de gas para evitar que se queden sin oxígeno.

Dos tamaños de cilindros comunes son los tipos E, que son pequeñas y portátiles, y los tipo H, que son más grandes y se utilizan para sistemas de canalización pequeños o de uso poco frecuente. Los hospitales suelen almacenar cilindros de oxígeno tipo H como fuente de reserva. Los cilindros tipo H de nitrógeno pueden utilizarse para alimentar equipos médicos. En raras ocasiones, los cilindros H que contienen oxígeno, óxido nitroso o aire se conectan a máquinas de anestesia utilizando válvulas reductoras y mangueras especiales, pero esto es potencialmente peligroso y debe cumplir la normativa y las directrices.

Los autores mencionaron algunas de las características que deben tener los cilindros de gas en entornos médicos. Dentro de estas características se incluyeron:

Tamaño: Como se mencionó anteriormente, los tamaños comunes de cilindros para gases médicos son tipo H y tipo E, cada uno con especificaciones sobre sus pesos y volúmenes. Los proveedores de anestesia suelen encontrar cilindros E para oxígeno y óxido nitroso y cilindros H para diversos gases utilizados en entornos médicos.

Código de colores: Los cilindros de gases médicos se identifican por marcas de color. Esto colorimetría varía dependiendo de cada país. Mientras que a nivel internacional el blanco generalmente representa el oxígeno, en Estados Unidos se utiliza el verde para el oxígeno y el amarillo para el aire comprimido. (Tabla 1). Los anesthesiólogos de países distintos de Estados Unidos deben conocer estas diferencias de color.

Tabla 1. Colores de cilindro para identificar los gases destinados a uso médico

Nombre del gas medicinal	Estados Unidos	Canadá
Oxígeno	Verde	Blanco
Dióxido de carbono	Gris	Gris
Óxido nitroso	Azul	Azul
Ciclopropano	Naranja	Naranja
Helio	Café	Café
Nitrógeno	Negro	Negro
Aire medicinal	Amarillo	Blanco y negro

Fuente: (Ehrenwerth et al., 2020)

Marcas de los cilindros: Los cilindros de gases medicinales tienen códigos específicos estampados cerca del cuello. El Departamento de Transporte de EE. UU. (DOT) impone normas

sobre el marcado y envío de estos cilindros, incluido un código que indica el cumplimiento de las especificaciones de fabricación.

La presión de servicio, medida en libras por pulgada cuadrada manométrica (psig), también está estampada en cada cilindro y nunca debe superarse. Cada cilindro tiene un número de serie y una designación comercial únicos. El código final del cilindro suele indicar la fecha de la última inspección y la marca del inspector. Los cilindros de gases medicinales deben someterse a inspecciones al menos una vez cada 10 años, durante las cuales se comprueba su integridad estructural llenándolas hasta 1,66 veces la presión normal de servicio. La fecha de esta inspección suele marcarse con un rotulador negro para indicar que la botella ha sido revisada por el proveedor.

El almacenamiento de los cilindros de gases medicinales se rige por reglamentos y normas específicos. Por ejemplo, los cilindros llenos y los vacíos deben almacenarse por separado, cada uno en su propia "sala de tanques" si es posible. Así mismo, mencionaron que los cilindros pequeños deben colocarse en estantes no inflamables, y los grandes deben encadenarse a una pared.

En cuanto a los problemas de seguridad asociados a los cilindros de gases medicinales, en especial las conexiones incorrectas, han sido motivo de preocupación en el pasado. Por ejemplo, se han dado casos de cilindros que contenían el gas equivocado conectados por error a los sistemas de suministro de gas anestésico, lo que trae graves consecuencias. Para hacer frente a este problema, se han desarrollado sistemas de seguridad que garantizan el uso correcto de los cilindros incluidos la correcta identificación y conocimiento del personal en cuanto a los colores correspondientes a cada gas.

El estudio de Sarangi et al. (2018) titulado «**Safety of the medical gas pipeline system**» se centró en los sistemas de canalización de gases medicinales utilizados en entornos clínicos, haciendo hincapié en la importancia de la seguridad del paciente en el diseño, la instalación y el funcionamiento de estos sistemas. El estudio destacó la necesidad de un conocimiento y una concienciación exhaustivos entre los clínicos y analiza los aspectos técnicos de los MGPS.

El propósito de este fue subrayar la importancia de mantener las normas de seguridad en los MGPS, desde las fuentes de suministro hasta el punto de suministro final, y abordar la falta de concienciación entre los clínicos sobre los aspectos medicolegales.

En este estudio de tipo descriptivo, los autores recalcaron el papel fundamental de los MGPS en las aplicaciones clínicas, destacó las normas y reglamentos que deben seguirse y brindó detalles técnicos sobre el suministro de oxígeno, el aire comprimido, los sistemas de vacío y los materiales de las tuberías. Mencionaron medidas de seguridad, requisitos de equipamiento y planes de contingencia.

Como conclusión, sugirieron que el control administrativo de los MGPS se debe confiar a ingenieros biomédicos y consideraron imperativa la formación adecuada de todos los usuarios. Este estudio sirve de guía informativa sobre la importancia de los MGPS en los entornos clínicos, los aspectos técnicos implicados y la necesidad de medidas de seguridad estrictas. Así mismo, anima a clínicos e ingenieros biomédicos a mantener un alto nivel de exigencia en la gestión de los MGPS para la seguridad del paciente.

En el artículo titulado «**Analytical Determination of Medical Gases Consumption and Their Impact on Hospital Sustainability**», Gómez-Chaparro et al. (2018) tuvieron como objetivo determinar los índices de consumo real de gases medicinales en hospitales para establecer indicadores que permitan el adecuado diseño, control, gestión y optimización de las instalaciones, así como analizar los costos económicos y de mantenimiento de estas instalaciones. Con esto también buscaban promover un modelo de atención sanitaria sostenible.

Se realizó el estudio entre 2008 y 2016 en 12 hospitales españoles de diferentes tamaños. Analizaron las tasas medias de consumo anual de oxígeno, nitrógeno, aire medicinal, dióxido de carbono y protóxido de nitrógeno y correlacionaron el consumo de gases medicinales con diversas variables, como el número de altas hospitalarias, cirugías, intervenciones de urgencia, hospitalizaciones, camas de hospital, superficie del edificio y número de trabajadores.

El estudio utilizó análisis estadísticos para correlacionar el consumo de gases medicinales con las variables mencionadas. Y también hizo uso de la recopilación de datos sobre el consumo

de gases en los hospitales. Por ende, el estudio fue de naturaleza observacional y se basó en la recopilación y análisis de datos sobre el consumo de gases medicinales en hospitales. No se mencionó la realización de intervenciones o experimentos específicos.

Como resultados, el consumo anual de gases medicinales en un hospital se encontró correlacionado con factores como el número de altas hospitalarias, cirugías, intervenciones de urgencia, hospitalizaciones, camas de hospital, superficie del edificio y número de trabajadores. Se calculó el consumo anual promedio por cama de hospital para diferentes tipos de gases medicinales.

Los autores concluyeron que la actividad sanitaria se presenta como una variable adecuada para cuantificar y monitorizar el consumo de gases medicinales en los hospitales. Además, destacaron la importancia de evaluar el tamaño de las instalaciones y optimizar la gestión del mantenimiento para lograr un modelo de atención sanitaria sostenible.

La publicación «**Management of planned shutdown of medical oxygen pipeline system – A practical experience**» realizada por Ragunathan et al., (2021), tuvo su enfoque en compartir la experiencia de los autores en la gestión con éxito de una parada planificada de un sistema de tuberías de oxígeno médico para la sustitución de un tanque de oxígeno líquido. En este se abordaron los retos afrontados, las estrategias empleadas y las lecciones aprendidas durante este proceso.

Se trató de un estudio descriptivo donde los autores formaron equipos con profesionales de la anestesia, técnicos e ingenieros biomédicos e identificaron y trazaron el recorrido del sistema de tuberías de oxígeno médico desde la fuente hasta las salidas. Se establecieron válvulas de zona y medidas de reserva, y medidas adecuadas de seguridad contra incendios y de gestión de accidentes. El proceso de cierre se gestionó por etapas, desmontando el depósito existente e instalando uno nuevo.

Los autores gestionaron con éxito la parada planificada del sistema de tuberías de oxígeno médico, completando el proceso en aproximadamente 6 horas. Abordaron el paso crítico de garantizar el suministro ininterrumpido de oxígeno a las zonas vitales de los pacientes

y con esto se reforzó un nuevo sistema de colectores de reserva, dividiendo el sistema de suministro de oxígeno en dos zonas y se iniciaron simulacros periódicos.

Como conclusión, se determinó que las paradas planificadas de los sistemas de tuberías de oxígeno médico son sucesos poco frecuentes pero cruciales. La gestión del suministro ininterrumpido de oxígeno a zonas críticas es una consideración clave, por tal motivo, se requiere una planificación adecuada, la coordinación del equipo y las medidas de apoyo para el éxito de las paradas.

En este estudio de caso se proporcionó información sobre los retos prácticos y las soluciones asociadas a la gestión de una parada planificada de un sistema de tuberías de oxígeno en un centro sanitario donde los autores destacan la importancia de la preparación, las medidas de seguridad y el mantenimiento de registros para futuras consultas.

La investigación de Bhuvana et al., (2022) titulada «**Experimental investigation of valve driven transient effect in liquid nitrogen pipeline**» fue realizada con el objetivo de investigar los efectos transitorios generados por la operación de válvulas en una tubería de nitrógeno líquido en el contexto de aplicaciones criogénicas. Fue un estudio experimental centrado en la observación y registro de efectos transitorios en un sistema de transferencia de nitrógeno líquido en condiciones criogénicas por medio del cual se busca comprender cómo la apertura y cierre abruptos de estas válvulas afectan las propiedades de los fluidos criogénicos y la presión en el sistema.

Para su desarrollo se utilizaron herramientas incluyendo sensores de presión dinámica, sensores RTD (Resistencia de Temperatura de Detector), un medidor de flujo de masa Coriolis y un software de adquisición de datos para la configuración y análisis de resultados. Se desarrolló una instalación de prueba criogénica que consta de un tanque de nitrógeno líquido, una tubería con válvulas de control y sensores de medición mencionados anteriormente. Se llevaron a cabo experimentos en dos casos diferentes de presión y caudal en el tanque. Se observaron y registraron los cambios en la presión y la temperatura antes y después de la operación de la válvula.

Como resultados, se observó que la operación de la válvula en un sistema criogénico provoca una transición de fase del nitrógeno líquido antes de la válvula, lo que resulta en una caída de presión. La presión varía significativamente antes y después de la operación de la válvula, y estos cambios se asocian con la fase del nitrógeno líquido (fase única, dos fases y sobrecalentada).

Las principales conclusiones del estudio incluyeron que la operación de válvulas en sistemas criogénicos induce cambios de fase en el fluido antes de la válvula, lo que provoca una caída de presión antes de abrir la válvula. Además, se observó que la amplitud de la caída de presión es mayor que la de la presión ascendente, lo que sugiere la posibilidad de cavitación antes de la válvula.

La investigación de Mathew et al., (2022) titulada «***Effect of high fresh gas flow and pattern of breathing on rapid preoxygenation***» pretendía evaluar la eficacia de las técnicas de pre-oxigenación en el contexto de la inducción anestésica, es decir, se enfocó en el uso de los gases medicinales. Se centró específicamente en la optimización de factores como las tasas de flujo de gas fresco y los patrones de respiración para determinar qué enfoque proporcionaba una pre-oxigenación rápida y eficaz.

Fue un estudio de tipo experimental en el cual participaron 100 pacientes ASA I/II programados para cirugía electiva. Se formaron cuatro grupos en función de las tasas de FGF y los patrones de respiración y se registraron parámetros como el tiempo total, el número de respiraciones, el volumen corriente exhalado (Vte), el dióxido de carbono al final de la espiración (EtCO₂), la fracción de oxígeno inspirado (FIO₂) y la concentración de oxígeno al final de la espiración (EtO₂).

Se realizó un análisis estadístico utilizando ANOVA y la prueba HSD de Tukey para analizar los datos. El estudio llevó a cabo la pre-oxigenación utilizando máscaras de anestesia ajustadas y presión positiva continua en las vías respiratorias (CPAP) ajustada a 5 cm H₂O. Se dividieron a los participantes en cuatro grupos en función de las tasas de FGF y los patrones respiratorios. Se registraron los parámetros en cada respiración y se realizó un análisis estadístico para comparar los resultados entre los grupos.

Se determinó que la respiración profunda (DP) con un flujo mínimo de gas fresco (FGF) de 10 L/min redujo significativamente el tiempo total necesario para la pre-oxigenación en comparación con la respiración con volumen corriente (RVT).

Así mismo, el número de respiraciones necesarias para una pre-oxigenación eficaz fue significativamente inferior en los grupos de DB. El volumen corriente espirado (Vte) fue significativamente inferior en los grupos TVB.

El estudio concluyó que la respiración profunda (DB) con un FGF mínimo de 10 L/min es un método eficaz para lograr una pre-oxigenación rápida. Este enfoque reduce significativamente el tiempo requerido y el número de respiraciones necesarias para alcanzar la concentración de oxígeno al final de la marea (EtO₂) deseada del 90%.

La investigación de Castro Collantes & Pacheco Giler (2021) titulada «**Evaluación de factores de riesgos laborales en el Hospital Básico Israel Quintero Paredes del Cantón Paján para mitigar los impactos en el personal**» tuvo como objetivo evaluar los factores de riesgos laborales en el Hospital Básico Israel Quintero Paredes del Cantón Paján para mitigar impactos negativos en el personal.

En esta, se utilizó un enfoque descriptivo exploratorio con métodos cualitativos y cuantitativos, incluyendo encuestas y entrevistas. Los resultados indicaron una alta exposición a riesgos biológicos, físicos, químicos, psicosociales y ergonómicos. Dentro de esos riesgos químicos se incluyeron sustancias tóxicas o irritantes, como el caso de los gases medicinales.

Estos pueden llegar a causar diversos daños en el organismo, como ser efectos neurológicos, problemas respiratorios, tratamiento ineficaz, entre otras cosas.

Se concluyó que es necesario el desarrollo de un plan de prevención y control de riesgos laborales, con estrategias específicas para abordar deficiencias identificadas. La investigación destacó la importancia de mejorar la seguridad y salud ocupacional en el hospital para garantizar un ambiente seguro y reducir impactos negativos tanto en el personal como en los pacientes.

En cuanto a normativas, Subhan (2021) en su artículo «**Review of National Fire Protection Association 99-2018 Health Care Facilities Code, Part IV**» describió que el código de establecimientos de atención médica, NFPA 99, es un estándar importante que establece los requisitos mínimos para garantizar la protección de la vida y la propiedad en las instalaciones de atención médica. Aunque su cumplimiento no es obligatorio, se utiliza como base para el cumplimiento de códigos de seguros, construcción e incendios, y es una referencia crucial para los profesionales de la seguridad contra incendios en centros médicos.

Mencionaron que este código abarca una amplia gama de temas, como sistemas de protección contra incendios, sistemas de energía de emergencia, manejo de materiales peligrosos, incluyendo los gases medicinales, y sistemas de seguridad humana aplicados a instalaciones que contienen espacios de Categoría 1 (equipos de soporte a la vida). Al acatar estas normas, las instalaciones de atención médica pueden reducir el riesgo de incendios, explosiones y otros peligros, asegurando así la seguridad de pacientes, personal y visitantes.

Por su parte Iadanza (2020) en su libro titulado «**Clinical engineering handbook (Second edition)**», estableció que el enfoque en el verdadero consenso por parte de la NFPA ha permitido que sus códigos sean acreditados por el Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (ANSI). Esta acreditación ANSI significa que los códigos y estándares desarrollados por la NFPA se convierten en estándares de consenso a nivel nacional, lo que lleva a que agencias gubernamentales y muchas organizaciones privadas adopten automáticamente estos códigos y normas como propios.

El CMS y la JCAHO, al igual que la mayoría de las autoridades de bomberos estatales y locales, adoptan los códigos de la NFPA. Es importante destacar que los códigos y normas de la NFPA no se limitan únicamente a la seguridad humana o la seguridad contra incendios.

De hecho, bajo el ámbito de la seguridad contra incendios, los documentos de la NFPA también contienen características de diseño relevantes para la seguridad de dispositivos médicos. Por ejemplo, la norma NFPA 99 abarca estándares relacionados con el uso de gases medicinales, cámaras hiperbáricas y dispositivos de alta frecuencia. Estas normas tienen un enfoque similar a las normas de seguridad de dispositivos médicos IEC 60601 e IEC 62353.

La investigación de Aldyth & Darmawan (2019) titulada «**Evaluation of Risk Management Implementation in Medical Gas Installation Hospitals with ISO 31000: 2018 Approach**» reveló deficiencias en la gestión de las instalaciones de gases medicinales en los hospitales y subrayó la importancia de la gestión de riesgos, los procedimientos operativos normalizados y la colaboración para resolver estos problemas.

El estudio siguió un enfoque de investigación descriptiva basado en la norma ISO 31000: 2018. La gestión de riesgos, según la norma ISO 31000: 2018, tiene como objetivo crear y proteger el valor mediante la mejora del rendimiento y el apoyo a la consecución de objetivos. Se utilizó la investigación de campo para la recopilación de datos, que consistió en observar las instalaciones de gases medicinales y realizar entrevistas detalladas al personal directivo de los hospitales y al personal de las instalaciones de gases medicinales.

Los autores concluyeron que la gestión de los gases medicinales en los hospitales, especialmente en Bekasi, no era eficaz ni eficiente. Se detectaron varios problemas, como el uso de cilindros de gas médico convencionales, la insuficiencia de fondos operativos y la escasez de recursos humanos.

El estudio destacó la importancia de los recursos humanos en la gestión de los gases medicinales, haciendo hincapié en la necesidad de formación periódica y de controles logísticos. La elaboración y aplicación de procedimientos normalizados de trabajo claros se consideró vital para controlar los riesgos potenciales. Así mismo, la colaboración entre la dirección del hospital y el personal responsable se consideró crucial para prestar servicios sanitarios de alta calidad.

R. Goodman (2020) en su artículo titulado «**Chapter 102 - Hospital facility safety standards**» basado en el libro Clinical Engineering Handbook, estableció que los requisitos de seguridad en instalaciones hospitalarias son variados, abarcando normativas establecidas por entidades públicas, así como regulaciones creadas por agencias privadas que se han adoptado a nivel nacional.

Este tuvo el objetivo de dar a conocer las principales organizaciones normativas que influyen en la seguridad de las instalaciones hospitalarias, comúnmente conocidas como Normas de seguridad humana.

Mencionó que la NFPA, fundada en 1896, es una organización global sin fines de lucro centrada en la prevención de incendios y riesgos eléctricos. Sus códigos, reconocidos internacionalmente, son adoptados por diversas entidades, incluyendo CMS y JCAHO, y abarcan no solo seguridad contra incendios, sino también aspectos de seguridad de productos sanitarios.

El término "Autoridad con Jurisdicción" se refiere a la entidad local responsable de la seguridad vital, generalmente la oficina del jefe de bomberos. Los códigos de la NFPA se revisan regularmente, y las organizaciones reguladoras pueden adoptar versiones específicas.

La JCAHO, también organización sin fines de lucro acredita organizaciones sanitarias basándose en normas de rendimiento, incluyendo seguridad de dispositivos y seguridad vital. CMS, parte del Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., supervisa la seguridad de la vida mediante normas NFPA.

OSHA se encarga de normas de seguridad en el lugar de trabajo, centradas en la seguridad de los empleados. Estas normas abordan peligros como patógenos transmitidos por la sangre, equipos energizados, seguridad de escaleras y protección auditiva y ocular.

En conclusión, las normas de seguridad hospitalaria cubren diversas áreas, con énfasis en seguridad eléctrica y contra incendios. El capítulo destacó el papel de organizaciones clave y sus normas para garantizar la seguridad en centros sanitarios.

2.1.2 METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS DE RIESGOS

El estudio realizado por Shaban et al. (2022) titulado «**A systems-theoretic hazard analysis for safety-critical medical gas pipeline and oxygen supply systems**» se centró en la evaluación de riesgos y peligros asociados a los sistemas de suministro de gases medicinales, con un enfoque en un país de ingresos bajos y medianos. Este estudio fue de tipo descriptivo y utilizaron la metodología Systems Theoretical Process Analysis (STPA) para analizar los peligros relacionados con los gasoductos medicinales y los sistemas de suministro de oxígeno.

El objetivo de la investigación fue evaluar métodos alternativos para el análisis de los riesgos y peligros asociados a los gases medicinales, ya que los métodos convencionales de

evaluación de riesgos actualmente presentan deficiencias. Y, asimismo, demostrar la aplicabilidad de la metodología STPA para la gestión de un sistema de salud. Una de las mejoras que surgieron al utilizar el análisis realizado mediante el método STPA, es que este nuevo enfoque de análisis de peligros tuvo en cuenta las relaciones causales entre los componentes del sistema y sus interacciones inseguras, lo que lo hizo un método más completo y eficiente. (Shaban et al., 2022)

Los investigadores concluyeron que el uso de este tipo de metodología contribuye a identificar los peligros resultantes de la interferencia de humanos, máquinas y equipos en el sistema de gases medicinales y a estudiar el efecto inseguro de los elementos del sistema entre sí. Además, destacaron la utilidad de la metodología STPA para analizar sistemas críticos de gases medicinales en entornos de atención médica, y cómo este enfoque logra superar limitaciones de los métodos convencionales.

La investigación titulada «**Performance-Based Reliability-Centered Maintenance Planning for Hospital Facilities**», desarrollada por Salah et al. (2018) tuvo el propósito de abordar los retos a los que se enfrentan los gestores de instalaciones hospitalarias a la hora de mantener sistemas hospitalarios complejos y de misión crítica, al tiempo que tienen que lidiar con presupuestos limitados y requisitos de rendimiento cada vez mayores. El estudio propuso un enfoque de mantenimiento centrado en la fiabilidad (RCM) combinado con la optimización para desarrollar planes de mantenimiento óptimos para sistemas hospitalarios clave.

Las herramientas utilizadas durante este estudio fueron el mantenimiento centrado en la fiabilidad (RCM), un análisis modal de fallos y efectos (AMFE), simulación Monte Carlo y algoritmos genéticos.

El estudio de tipo experimental descriptivo empleó el AMFE para determinar la estrategia óptima de mantenimiento de varios componentes de cuatro sistemas hospitalarios de misión crítica: gases medicinales, HVAC primario, HVAC secundario y ascensores. Este análisis clasifica las estrategias de mantenimiento en proactivas (preventivas o predictivas) y reactivas (funcionamiento hasta el fallo).

También se realizaron entrevistas a expertos con el fin de recopilar la información con profesionales del mantenimiento con al menos 10 años de experiencia en sus respectivos campos. Estos datos fueron utilizados para realizar AMFE y estimar duraciones, costes e intervalos de fallo potenciales para varios modos de fallo de componentes.

La simulación Monte Carlo y los algoritmos genéticos se utilizaron para determinar la duración óptima de las inspecciones de los componentes del sistema, teniendo en cuenta los objetivos contradictorios de minimizar el tiempo de inactividad del sistema y minimizar los costes de mantenimiento. El resultado fue un conjunto de soluciones óptimas de Pareto entre las que los gestores de las instalaciones pueden elegir en función de la disponibilidad presupuestaria y la aceptabilidad del tiempo de inactividad del sistema.

El estudio demostró que, utilizando el enfoque RCM y de optimización, se pueden obtener ahorros en los costes de mantenimiento que oscilan entre el 6% y el 16% en comparación con los enfoques tradicionales de mantenimiento preventivo que suelen llevar a cabo los contratos de mantenimiento existentes en los hospitales. El modelo desarrollado proporcionó una herramienta eficaz para que los gestores de las instalaciones hospitalarias comprendan cómo los gastos de mantenimiento repercuten directamente en la disponibilidad general del sistema y en los servicios de atención sanitaria.

Se concluyó que el enfoque RCM, junto con la optimización, fue eficaz en la gestión de sistemas clave de edificios hospitalarios, incluyendo los gases medicinales, y la asignación de presupuestos de mantenimiento a través de múltiples sistemas, teniendo en cuenta el impacto directo en los pacientes atendidos en el hospital. La aplicación del modelo a un hospital de 5.200 m² se tradujo en un importante ahorro de costes.

Continuando con el tema de las instalaciones, la investigación «**A Probabilistic Framework to Evaluate Seismic Resilience of Hospital Buildings Using Bayesian Networks**» de Liu et al. (2022), abordó la importancia de la resiliencia sísmica en hospitales urbanos, especialmente tras terremotos, donde los daños a los edificios hospitalarios, incluyendo las instalaciones de gases medicinales, afectan la capacidad de proporcionar atención de emergencia y garantizar la seguridad de los pacientes. En esta, propusieron un marco integral

para evaluar la resiliencia sísmica de edificios hospitalarios, considerando interdependencias de componentes no estructurales.

Unidades funcionales críticas fueron seleccionadas, y se utilizó el método de red bayesiana para revelar interdependencias, proponiendo un factor de impacto. Se presentó un estudio de caso de un hospital hipotético para demostrar la aplicabilidad del marco.

La investigación destacó la importancia de la funcionalidad hospitalaria post-terremoto y aborda la falta de atención a la evaluación de riesgos de componentes críticos interdependientes en investigaciones anteriores. Se introdujo el concepto de resiliencia hospitalaria ante desastres y se propuso un enfoque de evaluación sistemática considerando componentes estructurales y no estructurales.

Mencionaron que la mayoría de las investigaciones sobre resiliencia hospitalaria se centran en aspectos operativos y organizativos, descuidando la evaluación de riesgos de componentes interdependientes. Se abordó la limitación de los enfoques basados en árboles de falla y se propuso el uso de redes bayesianas como método más flexible y adecuado para evaluar la resiliencia sísmica de edificios hospitalarios.

La investigación presentó diversas aplicaciones de las redes bayesianas en la evaluación de la resiliencia de sistemas de ingeniería y destacó la capacidad de las redes bayesianas para modelar variables de múltiples estados y evaluar la probabilidad posterior, superando limitaciones de los enfoques basados en árboles de falla. Se presentó un estudio de caso de un hospital hipotético, donde se utilizó un modelo numérico y se analizó la distribución de probabilidad de los estados de daño de los departamentos bajo condiciones sísmicas.

Brown (2020) publicó el artículo titulado «**Chapter 5 - Risk management**» basado en el libro *Clinical Engineering: A Handbook for Clinical and Biomedical Engineers*. En este estableció que la gestión y evaluación de riesgos son aspectos vitales en diversos ámbitos de la vida, y el campo de la salud reconoce cada vez más su importancia.

La salud, al ser un campo complejo, presenta una diversidad de riesgos, entre ellos clínicos, financieros, farmacéuticos, de continuidad de negocio y de relaciones públicas. Empleando diversas técnicas, los profesionales sanitarios pueden evaluar y cuantificar

eficazmente estos riesgos, facilitando el desarrollo de estrategias para minimizarlos o mitigarlos mediante la aplicación de medidas de control y barreras.

Este capítulo del libro sirvió de guía informativa, arrojando luz sobre el concepto fundamental de riesgo, que resulta de la interacción entre consecuencias y probabilidad. Además, profundizó en una revisión exhaustiva de la norma internacional de gestión de riesgos relativa a los productos sanitarios, articulada en la norma ISO 14971:2007.

Dentro de este contexto, el capítulo expuso un espectro de herramientas y técnicas utilizadas para la evaluación de riesgos, ofreciendo a los profesionales de la salud un amplio conjunto de herramientas para hacer frente a los desafíos relacionados con el riesgo. Entre estas herramientas se incluyeron el modelo de Montecarlo, el análisis de peligros y operabilidad (HAZOP), las cuadrículas de probabilidad de impacto y los mapas de riesgo, cada uno de los cuales desempeña un papel fundamental en el polifacético panorama de la gestión de riesgos sanitarios.

El modelo de Montecarlo ofreció un potente enfoque computacional para simular varios escenarios y estimar la probabilidad de distintos resultados. De este modo, permitió a los profesionales sanitarios comprender la gama de riesgos potenciales asociados a sus decisiones y acciones. Esto, a su vez, les permitió tomar decisiones informadas y desarrollar estrategias que tengan en cuenta todo el espectro de posibles consecuencias.

El análisis HAZOP, una técnica estructurada y sistemática, permitió el tener un proceso o sistema para identificar posibles peligros y desviaciones de la norma. En la atención sanitaria, este enfoque puede ser muy valioso para identificar vulnerabilidades en procedimientos clínicos, procesos de fabricación de productos farmacéuticos y otros aspectos críticos del ecosistema sanitario. Permitted a los equipos sanitarios abordar de forma proactiva los posibles problemas antes de que se conviertan en riesgos significativos.

Las cuadrículas de probabilidad de impacto y los mapas de riesgo son herramientas adicionales que ofrecen una representación visual de los riesgos. Las cuadrículas de impacto de probabilidad ayudan a evaluar la probabilidad y gravedad de los riesgos, lo que permitió a los profesionales sanitarios priorizar y asignar recursos de forma eficaz. Los mapas de riesgos, por

su parte, proporcionaron una representación geográfica o espacial de los riesgos, ofreciendo una visión clara de dónde se concentran y orientando geográficamente los esfuerzos de mitigación de riesgos.

El autor concluyó que la naturaleza polifacética del riesgo en el sector sanitario exige un enfoque matizado de la gestión y evaluación de riesgos. Este capítulo constituyó un recurso exhaustivo que proporciona a los profesionales sanitarios los conocimientos y las herramientas que necesitan para identificar, cuantificar y mitigar los riesgos de forma eficaz y, de esa forma, mejorar la calidad y la seguridad de la asistencia sanitaria.

2.1.3 CASOS REALES DE FALLAS EN SISTEMAS DE GASES MEDICINALES

Amor-García et al. (2018) realizaron un estudio investigativo titulado «**Estrategia multidisciplinar para reducir errores en el uso de los gases medicinales**», donde hacían referencia a un evento centinela en España relacionado a los sistemas de gases medicinales. Resaltaron la incorrecta administración de cierto gas medicinal a un paciente hospitalizado, lo cual le provocó un paro respiratorio. En este estudio descriptivo se utilizaron herramientas como un análisis causa-raíz multidisciplinario donde se determinaron diversos puntos de mejora asociados a la red de gases.

Este estudio tuvo como propósito redefinir el circuito de utilización de los gases medicinales en el ámbito hospitalario ya que, debido a una falta de concienciación sobre los riesgos asociados al uso de los gases medicinales tanto por parte de los profesionales como por parte de las organizaciones sanitarias, no se tenían estrategias definidas para garantizar la seguridad en su utilización.

Se identificaron nueve errores y se definieron acciones de mejora mediante el análisis causa-raíz. Dentro de estos se encontraron el realizar un cambio en cuanto al almacenamiento de los gases ya que se tenían los gases medicinales y los gases industriales en un mismo espacio. Estos fueron reorganizados en 4 almacenes y se utilizaron barreras físicas para dividirlos. De igual manera, tener una correcta identificación de los gases mediante letreros, etiquetas, códigos de color, entre otras cosas. Y, finalmente, mencionaron que también se

considera solicitar al proveedor información sobre los manómetros utilizados para administrar cada gas y por último una capacitación al personal.

Lograron concluir que la creación de un circuito que integra todas las fases de utilización de los gases medicinales e implica a todos los profesionales involucrados se presenta como la estrategia dirigida a aumentar la seguridad en la utilización de estos medicamentos.

La publicación de Siregar (2018) titulada «**Legal Protection for Consumers of Nitrogen Gas Users (Case Study of Inefficient Medical Gas)**» tuvo como objetivo analizar el uso del gas nitrógeno (N₂O) en aplicaciones médicas, incluidas la anestesia y la criocirugía.

Destacó un estudio de caso en el que se produjo un percance con la sustitución de un tubo de gas nitrógeno por otro de dióxido de carbono (CO₂) en una máquina de anestesia de un hospital. El propósito fue examinar los aspectos legales y las consecuencias de tales incidentes y la protección de los consumidores (pacientes) en el uso de gases médicos.

El texto no indicó explícitamente el tipo de estudio que se lleva a cabo, pero habla de un estudio de caso de un incidente relacionado con el uso indebido de gases médicos en un entorno hospitalario.

En este se presentó un relato cronológico del incidente relacionado con la mala colocación del tubo de N₂O con un tubo de CO₂ en la máquina de anestesia. Se hizo referencia a la normativa legal y a las normas relacionadas con el uso de gases médicos y se analizaron las posibles implicaciones jurídicas del incidente, incluidas la negligencia y la mala praxis.

Los resultados del estudio de caso tratado en el artículo incluyeron un paciente que experimentó dificultades respiratorias, fue tratado en la UCI y finalmente falleció debido al uso incorrecto de gases médicos. El texto analizó las posibles consecuencias jurídicas para los responsables del uso incorrecto de gases medicinales.

Como conclusión, el artículo sugirió que el uso incorrecto de gases medicinales puede acarrear graves consecuencias y que deberían existir protecciones legales para hacer frente a este tipo de incidentes. Planteó dudas sobre si el incidente se debió a negligencia o mala praxis. Además, subrayó la importancia de contar con reglamentos, normas y procedimientos

operativos estándar claros en los centros médicos para evitar este tipo de errores donde se pone en riesgo la vida del paciente.

En su artículo nombrado «**Medical gas pipeline system disruption during tropical cyclone 'Fani' – a clear and present danger of tropical cyclones**», Mohanty et al. (2020) estudió un caso donde se dio la interrupción del sistema de gasoductos médicos durante una catástrofe natural con el propósito de resaltar la vulnerabilidad de los sistemas de tuberías de gases medicinales durante estos sucesos. Se enfocó en hacer hincapié en la importancia de las medidas de preparación y seguridad para evitar daños a los sistemas de distribución de gases durante tales eventos.

El estudio hizo uso de la investigación de campo y la experiencia médica del personal como fuente principal de información. Fue un estudio de tipo reporte de caso donde se analizaron las causas y las deficiencias de las normas de instalación de los MGPS y se brindaron recomendaciones para salvaguardar estos sistemas durante las catástrofes naturales.

El resultado principal del estudio fue que la causa principal de esta interrupción fue el derrumbamiento de la chimenea de una unidad de caldera en el sistema de tuberías de gases medicinales, lo que demostró que no se habían respetado las normas de instalación adecuadas. Ya que los desastres naturales son inevitables e impredecibles, es necesario realizar ciertos cambios en las instalaciones para evitar complicaciones. El estudio también proporcionó una serie de recomendaciones para prevenir daños durante catástrofes similares, dentro de estas se encuentran las siguientes:

1. Las tuberías en áreas expuestas deben estar protegidas contra daños físicos.
2. Las tuberías de gas medicinal deben estar claramente identificadas por colores.
3. Se deben instalar colgadores para soportar todas las tuberías expuestas.
4. Se prefieren los gasoductos enterrados para evitar daños físicos debido a los vientos de alta velocidad. De ser así, estas tuberías deben protegerse adecuadamente contra las heladas, la corrosión y los daños físicos.
5. Debe haber cilindros de oxígeno disponibles para dos días en el colector.
6. El mantenimiento debe realizarse regularmente y cualquier daño debe ser reparado.

Además, concluyeron que es sumamente importante el cumplir con las normas de instalación, proteger las tuberías expuestas e identificar correctamente las tuberías de gases médicos. El estudio subrayó el creciente riesgo que suponen las catástrofes naturales para los MGPS y la seguridad de los pacientes. Destacaron también la necesidad de preparación y protección de los MGPS durante estos eventos y abogan por el mantenimiento periódico de los componentes de las MGPS.

Kar, A. (2021) desarrolló el trabajo investigativo titulado «**Gas pipeline error: Time to verify all the terminal central outlets?**». Este artículo se realizó con el propósito de concientizar sobre los peligros potenciales asociados a los errores en los sistemas centrales de tuberías de gas dentro de los centros médicos y hacer hincapié en la importancia de cumplir las normas de seguridad, realizar inspecciones periódicas y comunicar los cambios o reparaciones al personal para evitar incidentes en el futuro. Fue un estudio de caso descriptivo para ilustrar la importancia de mantener un alto nivel de seguridad y vigilancia en los establecimientos de salud para proteger a los pacientes y personal sanitario.

Este fue un informe de caso donde se utilizó la observación, datos de pacientes y evaluaciones del sistema de tuberías de gas en el servicio de urgencias del hospital. El sistema de tuberías de gas no estaba codificado por colores. Para los gasoductos médicos se recomendó tubos de cobre sin soldadura con soldadura de plata sin fundente.

El incidente se produjo cuando un paciente conectado a un respirador requirió la aspiración de un tubo endotraqueal. El protocolo habitual consistía en administrar oxígeno al 100% durante 1 minuto antes de la aspiración. Sin embargo, se observó una discrepancia significativa entre la fracción de oxígeno inspirado (FiO₂) establecida y la concentración real de oxígeno administrado. La tubería central de gas estaba oculta en la pared y el techo y, tras una investigación, se descubrió que las tuberías de oxígeno y aire estaban conectadas de forma cruzada a la salida terminal. Este error se corrigió, y el estudio subrayó la importancia de cumplir las normas de seguridad y la necesidad de mantenimiento y verificación periódicos de los sistemas de suministro de gases médicos.

Al finalizar, se concluyó que el incidente se produjo por un error durante la renovación de la unidad que pasó desapercibido. Por lo tanto, se brindaron ciertas recomendaciones como ser el enfatizar en la necesidad de seguir las normativas y estándares de seguridad en la instalación y mantenimiento de sistemas de tuberías de gases médicos, como el uso de tuberías de cobre sin costura y la identificación adecuada de las mismas por colores. De igual manera, realizar verificaciones regulares de los terminales de salida de gases médicos, especialmente después de trabajos de reparación o renovación en las tuberías y mantener una comunicación efectiva dentro de los hospitales para informar al personal médico sobre los trabajos de reparación en las tuberías.

En la investigación titulada «**Medical gas pipeline system as a limiting factor for hospital oxygen supply during COVID-19 outbreak**», Kumar et al. (2021) describieron un caso crítico que sucedió durante el brote inicial de COVID-19 en India en septiembre de 2020, donde los hospitales se vieron obligados a aumentar la cantidad de ventiladores y camas con salidas de oxígeno. Esto generó la necesidad de evaluar y mejorar el suministro de oxígeno médico, el sistema de conductos de emergencia y la capacidad del sistema de tuberías de gases médicos (MGPS).

El estudio empleó observaciones, mediciones del suministro de oxígeno y la aplicación de un plan de acción. También hizo referencia a los principios de diseño y mantenimiento de los MGPS, las evaluaciones del suministro de oxígeno y la gestión de riesgos.

Sin embargo, esta situación puso de manifiesto la insuficiencia del MGPS del hospital debido al aumento de ventiladores y camas con salidas de oxígeno. En la investigación sobre el caso se detalló que, inicialmente, el MGPS estaba diseñado para abastecer 60 camas de cuidados intensivos y 300 camas regulares en un hospital con 1000 camas. Pero, debido a la rápida expansión de pacientes con COVID-19, el hospital convirtió el 70% de las habitaciones en unidades de cuidados intensivos y de alta dependencia. Este cambio resultó en más pacientes necesitando ventilación y oxígeno suplementario, lo que llevó a una disminución de la presión en las salidas de oxígeno y la activación de alarmas por baja presión. Las válvulas reductoras de presión del sistema MGPS no pudieron mantener una presión suficiente para el suministro

adecuado de oxígeno. Como consecuencia, algunos pacientes tuvieron que ser trasladados a concentradores de oxígeno y cilindros portátiles para su atención.

La aplicación del plan de acción, que incluía la instalación de una nueva estación reductora de presión de mayor capacidad, resolvió con éxito el problema de la baja presión de suministro de oxígeno. Y se concluyó que la evaluación de las necesidades de suministro de oxígeno y de la capacidad de los MGPS debe ser un proceso continuo, especialmente en épocas de aumento inesperado del número de pacientes, como durante una pandemia. El estudio destacó el papel crucial de los anestesiólogos en la supervisión de los MGPS y en garantizar un suministro seguro de oxígeno. El estudio también sugirió que la formación y los planes de estudio en anestesia deberían incluir educación sobre el MGPS.

Además, la falta de utilización del conocimiento de los expertos en gestión de instalaciones en la formulación de comentarios y estrategias para evitar errores de diseño es un aspecto que merece mayor atención.

El artículo de investigación titulado «**Medical Gas Systems Maintainability Risks in Healthcare Facilities: A Design Optimization Approach**» de Alassafi et al., (2023), se centró en la importancia de la mantenibilidad de los MGPS en instalaciones de atención médica y su relación con el diseño defectuoso.

El propósito del estudio fue mejorar la mantenibilidad de estos sistemas al identificar y evaluar problemas de mantenimiento relacionados con el diseño en instalaciones de atención médica, con el fin de proporcionar una herramienta útil para que los diseñadores eviten decisiones de diseño perjudiciales para el mantenimiento.

El estudio utilizó técnicas de grupo estático (SGT) para obtener información de once expertos seleccionados en función de su experiencia en MGPS. Se realizaron entrevistas semiestructuradas para identificar y evaluar problemas de mantenimiento causados por el diseño y escalas Likert de 5 puntos para evaluar la probabilidad e impacto de los problemas de mantenimiento. Luego se realizaron cálculos de índices de riesgo y un análisis estadístico.

Este estudio fue de naturaleza cualitativa y cuantitativa, ya que combinó la recopilación de datos cualitativos a través de entrevistas con expertos y un análisis cuantitativo de riesgos y probabilidades.

Al finalizar, fueron identificados 52 problemas de mantenimiento relacionados con el diseño que representan riesgos para la mantenibilidad de los MGPS en instalaciones de atención médica. Los problemas críticos incluyeron la falta de medidas para futuras expansiones, la disponibilidad de tanques a granel alternativos y las paradas de mantenimiento que afectan la continuidad de las operaciones de atención médica. El riesgo más alto se asoció con cortes múltiples de tuberías al actualizar el sistema.

El artículo concluyó que los problemas de mantenibilidad en los MGPS están estrechamente relacionados con decisiones de diseño inadecuadas que pueden afectar negativamente la continuidad de los servicios de atención médica y generar costos significativos a lo largo del ciclo de vida de las instalaciones. Se destacó la importancia de considerar adecuadamente el mantenimiento durante la fase de diseño y se señaló que las decisiones de diseño de MGPS deben abordar la accesibilidad al mantenimiento y la preparación para futuras expansiones.

La investigación «***Systematic risk management for a planned gas shutdown in the high-care facility of a university hospital***» de Heller et al. (2023), se centró en los problemas que planteaba la interrupción del suministro central de gas medicinal en el Hospital Universitario de Dresde durante las obras.

El objetivo principal fue resolver los problemas derivados de esa interrupción del suministro durante la fase de construcción en el Hospital Universitario de Dresde, para así garantizar un suministro ininterrumpido de gases medicinales a las unidades críticas, incluidas las salas de cuidados intensivos y los quirófanos, mientras durasen las actividades de construcción.

Para hacer frente a este problema, un grupo de proyecto llevó a cabo un análisis de riesgos y elaboró planes para un suministro de gas descentralizado provisional. Se identificaron varios factores de riesgo y se aplicaron medidas para garantizar una tolerancia cero a los fallos.

La evaluación de necesidades determinó los requisitos específicos de oxígeno y aire comprimido. El suministro provisional, ejecutado un sábado con doble dotación de personal de cuidados intensivos, duró 2 horas sin afectar negativamente a los pacientes. Los índices de consumo fueron controlados, lo que reveló que los gases almacenados superaban las necesidades reales, proporcionando un colchón para circunstancias imprevistas.

Dentro de los métodos utilizados se encontraron el análisis de riesgos, donde identificaron los riesgos potenciales asociados a la parada y se establecieron contramedidas para mitigarlos. Y, la planificación del proyecto en donde se especificaron los pasos y procedimientos a seguir durante la fase de construcción. De igual manera, se llevó a cabo una evaluación de las necesidades durante un periodo de 4 horas basada en parámetros fisiológicos para determinar las cantidades necesarias de oxígeno y aire comprimido.

La investigación subrayó la importancia de una planificación cuidadosa, un trabajo en equipo eficaz y la aplicación de procedimientos establecidos de gestión de proyectos y evaluación de riesgos para intervenciones técnicas en zonas de alto riesgo.

Wood et al. (2021), en su investigación titulada «***Reducing the risk of oxygen-related fires and explosions in hospitals treating Covid-19 patients***», abordan los incendios hospitalarios relacionados con el oxígeno, especialmente en UCI, agravados por la pandemia de COVID-19. Se destacó un aumento alarmante en estos incidentes, con más de 200 muertes desde el inicio de la pandemia. Así mismo, se señaló un incidente particularmente trágico en un hospital iraquí en abril de 2021, donde 82 personas fallecieron.

El objetivo principal fue abordar y comprender los incidentes de incendios hospitalarios asociados con el oxígeno en las UCIs. Se buscó analizar la frecuencia y gravedad de estos eventos, identificar factores de riesgo y proponer estrategias de prevención y gestión de riesgos. Además, se pretendía generar conciencia sobre los peligros asociados con el uso intensivo de oxígeno, especialmente en el contexto de la pandemia de COVID-19.

Para esta investigación, se emplearon métodos tanto cuantitativos como cualitativos para alcanzar sus objetivos. Se realizó un análisis de la incidencia de incendios relacionados con el oxígeno en hospitales, con un enfoque en datos cuantitativos para evaluar la frecuencia y la

magnitud de los incidentes. Además, se llevó a cabo un análisis cualitativo para identificar factores específicos que contribuyeron a estos eventos.

Dentro de las herramientas que fueron utilizadas se encontraron el análisis de datos cuantitativos donde se recopilaron y analizaron datos sobre la frecuencia y gravedad de los incendios asociados con el oxígeno en hospitales.

Así mismo, utilizaron entrevistas con expertos en seguridad hospitalaria, personal médico y autoridades de salud pública para obtener información cualitativa sobre la preparación y respuesta a estos eventos. Además, examinaron casos específicos de incendios hospitalarios para identificar patrones, factores desencadenantes y medidas de respuesta efectivas.

Finalmente, concluyeron que algunos hospitales no estaban completamente preparados para el riesgo elevado de incendios en estas unidades debido a la gran necesidad de oxígeno para pacientes graves de COVID-19. El artículo destacó que la falta de reconocimiento y advertencia por parte de productores de gas y autoridades de salud pública contribuyó al problema.

Se resaltó también el peligro del oxígeno puro, que puede provocar incendios y explosiones, especialmente en entornos confinados. La concentración de oxígeno superior al 23% se identifica como un umbral peligroso, y el aumento en la demanda de oxígeno debido al uso intensivo de ventiladores en hospitales durante la pandemia exacerbó el riesgo. La investigación subrayó la necesidad de que la industria del gas industrial respalde activamente a los hospitales adoptando enfoques de gestión de riesgos más rigurosos.

2.2 PROBLEMÁTICA

El sistema de gases medicinales del HMCR juega un papel sumamente importante en la atención de los pacientes y en la garantía de la seguridad dentro del hospital. No obstante, existen inquietudes e incertidumbres en cuanto a su cumplimiento con las regulaciones y estándares técnicos vigentes. Estas preocupaciones abarcan diversos aspectos, desde la adecuación de las conexiones para gases, la eficiencia de los sistemas de alarma, hasta el estado de las tuberías y la confiabilidad de los sistemas de respaldo. Esta situación representa un riesgo potencial que podría afectar negativamente tanto la seguridad de los pacientes como la continuidad de las operaciones hospitalarias.

En consecuencia, una evaluación sistemática del cumplimiento normativo podría permitir identificar las áreas de mejora y potencialmente contribuir posteriormente al personal del Hospital con un plan de mejora para mitigar deficiencias detectadas en el sistema de gases medicinales. El trabajo investigativo se espera aporte con la mejora progresiva de un entorno hospitalario más seguro, apoyando en la búsqueda del HMCR de lograr un mejor cumplimiento de los estándares y regulaciones necesarios para brindar atención médica segura.

2.3 IMAGEN INTEGRADORA

En los sistemas de gases medicinales se debe tener especial cuidado para evitar errores que puedan perjudicar la salud y la seguridad de los pacientes y el personal médico. Hay errores que se cometen más frecuentemente que otros.

Para evitar errores en el sistema de gases medicinales, es fundamental cumplir con las normativas establecidas y contar con protocolos de seguridad, capacitación adecuada para el personal, sistemas de control de calidad, y la implementación de tecnologías y dispositivos que ayuden a garantizar la administración precisa de gases medicinales. La prevención de errores en este ámbito es esencial para garantizar la calidad de la atención médica y la seguridad de los pacientes. (Ilustración 1)

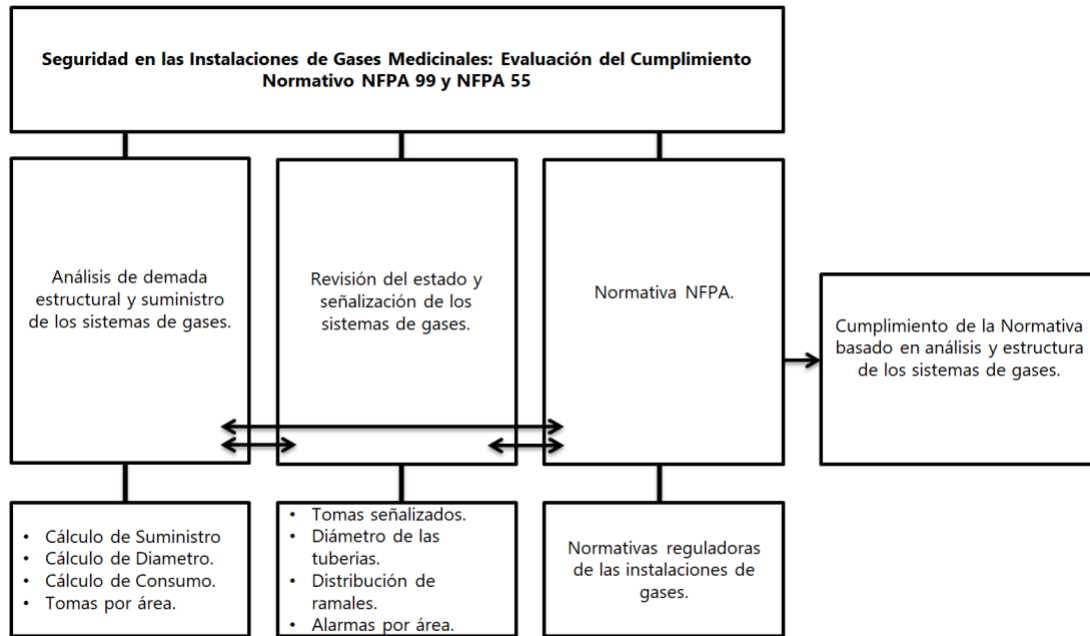


Ilustración 1 Imagen Integradora.

Fuente: (Autoría propia, 2023)

2.4 TABLA DE LIMITACIONES

En este apartado se expuso, mediante una tabla, las limitaciones identificadas en cada uno de los estudios previamente mencionados. Estableciendo el enfoque del estudio, el tipo de limitación encontrada y la descripción de la misma. (Tabla 2)

Tabla 2 Limitaciones de Investigaciones Previas.

Autor y Año	País	Enfoque	Tipo de limitación	Descripción de limitación
Amor-García et al., 2018	España	Redefinir el circuito de utilización de los GM al considerarlos medicamentos y así garantizar la seguridad en la utilización a nivel hospitalario.	Aplicabilidad	Es necesario disponer de un sistema de prescripción electrónica asistida que permita incorporar protocolos para la correcta utilización de los GM. Así mismo, se requiere personal con disponibilidad para llevar a cabo la formación.
Gómez-Chaparro et al., 2018	España	Impacto del consumo de gases medicinales en la sostenibilidad hospitalaria.	Generalización de datos	El estudio es válido para hospitales de gestión privada con menos de 200 camas. Dado que las formas de manejo y patologías atendidas en un hospital privado son similares en todos los hospitales, los datos son extrapolables a otros países con sistemas sanitarios similares.
Salah et al., 2018	Egipto	El mantenimiento centrado en la fiabilidad para el desarrollo de planes de mantenimiento óptimos para sistemas hospitalarios clave.	Incapacidad del modelo Muestra	El modelo no tiene en cuenta la redundancia del sistema integrado. El estudio se centra únicamente en cuatro sistemas de edificios hospitalarios y podría beneficiarse de la exploración de otros sistemas, como los eléctricos y los de diagnóstico médico.
Mohanty et al., 2020	India	Vulnerabilidad de los sistemas de tuberías de gases medicinales durante catástrofes naturales. Caso específico del Ciclón Fani.	Caso de estudio único Información limitada	El estudio se basa en un único caso de interrupción durante una catástrofe natural específica. Esto limita la generalización de los resultados a otros tipos de catástrofes naturales. Es posible realizar un análisis más amplio del alcance de la interrupción de los MGPS durante las catástrofes naturales. Además, la información sobre el impacto en la seguridad de los pacientes y los resultados sanitarios es limitada.

Mathew et al., 2022		Uso de gases medicinales en la eficacia de la pre-oxigenación.	Medición de parámetros		El estudio empleó mediciones no invasivas y no se evaluaron parámetros como la duración de la apnea sin desaturación (DAWD) y el análisis de gases en sangre arterial.
			Incomodidad participantes	en	Algunos participantes experimentaron incomodidad o ansiedad debido al elevado flujo de gas en la mascarilla ajustada.
Bhuvana et al., 2022	India	Efectos transitorios generados por la operación de válvulas en el contexto de aplicaciones criogénicas	Instalación		La singularidad de la instalación de prueba dificulta la comparación directa con otros equipos.
			Precisión		Se necesita realizar más experimentos para confirmar la precisión de los resultados.
			Costo		Los fluidos criogénicos presentan comportamientos distintivos que hacen que los experimentos sean complejos y costosos.
Alassafi et al., 2023	India	Optimización del diseño en los sistemas de gases medicinales para la disminución de riesgos en instalaciones sanitarias.	Limitada información		El estudio reconoce la escasez de investigaciones de referencia en este campo y señala que las limitaciones geográficas influyeron en la selección de expertos.
			Pandemia		El impacto del COVID-19 y la necesidad de adaptación rápida a situaciones de emergencia destacaron ciertos problemas que no eran prioridades en el diseño previo.

Fuente: (Autoría propia, 2023)

III. OBJETIVOS

En este capítulo se especificó el objetivo general y los objetivos específicos para tener una idea clara de lo que se pretende lograr al finalizar la investigación.

3.1 OBJETIVO GENERAL

Identificar áreas de mejora en el sistema de gases medicinales del Hospital Mario Catarino Rivas en San Pedro Sula, con base en las normativas y estándares técnicos establecidos internacionalmente.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Establecer las características y condiciones operativas de las tomas de gases medicinales en el Hospital Mario Catarino Rivas en San Pedro Sula mediante la verificación de adecuación y distribución.
2. Detectar posibles deficiencias o fallos en los sistemas de alarma de gases medicinales a través de un diagnóstico del estado actual, ubicación y funcionalidad de las alarmas que monitorean el sistema de gases en el Hospital Mario Catarino Rivas.
3. Determinar el estado general de las tuberías del sistema de gases medicinales en el Hospital Mario Catarino Rivas por medio de la identificación de áreas específicas que puedan requerir mantenimiento, actualización o reemplazo para garantizar una entrega eficiente y segura de gases medicinales.
4. Examinar la disponibilidad, funcionalidad, capacidad y seguridad de las fuentes de suministro principal y secundarias del sistema de gases del Hospital Mario Catarino Rivas.

IV. MÉTODOS

Este capítulo abarcó el objetivo de los métodos empleados para el desarrollo de la investigación y el procedimiento que se llevó a cabo durante la misma, ejemplificado mediante un diagrama de flujo para mayor entendimiento. Así mismo, se establecieron las métricas de evaluación o validación de resultados que fueron utilizadas en el proceso.

4.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación adquirió un enfoque mixto, diseño no experimental, alcance descriptivo y muestra de tipo no probabilístico. (Tabla 3)

Se optó por un enfoque mixto que fusiona aspectos cuantitativos y cualitativos, siendo los aspectos cuantitativos aquellos centrados en datos numéricos, porcentajes y rangos a cumplir. Por otro lado, los aspectos cualitativos vendrían siendo aquellos que estudian las condiciones, instalaciones y percepciones sobre el estado de la infraestructura y las tuberías.

La investigación tuvo un diseño no experimental donde se realizó un análisis basado en la observación y estudio de las instalaciones de gases medicinales y su cumplimiento normativo, sin realizar ninguna intervención o modificación en ellas. El alcance de esta investigación fue descriptivo. A través de él, se buscó exponer, describir y analizar el estado actual de las instalaciones en relación con los estándares normativos establecidos por NFPA 99 y NFPA 55.

La muestra fue de tipo no probabilística, centrada específicamente en las instalaciones y sistemas de gases medicinales del Hospital Nacional Mario Catarino Rivas. Esta elección intencionada busca un análisis más detallado y preciso de la gestión y cumplimiento de las normativas en un entorno hospitalario esencial en la región.

Tabla 3 Metodología.

Metodología de la investigación	
Enfoque	Mixto
Tipo de Diseño	No Experimental
Tipo de Alcance	Descriptivo
Tipo de Muestras	No Probabilístico

Fuente: (Autoría propia, 2023)

4.2 OBJETIVOS DE LAS METODOLOGÍAS SEGUIDAS

En este apartado, se proporcionó una visión general de los métodos utilizados para desarrollar la investigación y los objetivos de cada uno de ellos. De igual manera, se establecieron las herramientas o técnicas utilizadas para el desarrollo de cada método. (Tabla 4)

Tabla 4 Objetivo de metodología.

Metodología	Objetivo	Técnica/ Instrumento
Identificación de criterios a evaluar	Establecer los criterios más relevantes de las normativas en relación con las instalaciones de gases medicinales con el fin de realizar una evaluación precisa y exhaustiva del sistema de gases medicinales del HMCR.	NFPA 99 NFPA 55 FGI
Validación matemática	Comprobar que las fuentes de suministro estén dimensionadas correctamente para suplir la demanda y que el diámetro de las tuberías del sistema de distribución sea el adecuado para soportar las presiones y transportar los gases medicinales a todas las salas del establecimiento que lo requieran.	Fórmulas de dimensionamiento de fuentes de suministro Fórmulas de cálculo de diámetro de tubería
Evaluación de conformidad	Determinar en qué medida el HMCR cumple con las condiciones de operatividad y seguridad establecidas en las normativas y estándares asociadas a los sistemas de gases medicinales para identificar fallas y áreas de mejora para el establecimiento de salud.	Lista de cotejo Investigación de campo Entrevista

Fuente: (Autoría propia, 2023)

4.3 RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO

Con el fin de proporcionar al establecimiento de salud recomendaciones sobre las instalaciones de gases medicinales mediante un análisis descriptivo de las mismas en relación con los estándares normativos establecidos por la NFPA 99, NFPA 55 y FGI, se realizó la investigación a través de seis procesos principales de los cuales se derivan diversas actividades a realizar. (Ilustración 2)

Iniciando con el proceso de lectura de normativas vigentes asociadas a los gases medicinales, específicamente oxígeno, aire médico y vacío, para una recopilación de datos relevantes de las mismas. Para esto se realizó una búsqueda de criterios específicos a evaluar a partir de lo establecido según las pautas de los documentos NFPA 55, NFPA 99 y FGI.

Luego del análisis de los requerimientos dictados en estas normativas, correspondientes a los sistemas de gases medicinales, se elaboró una lista de cotejo dividida en diversas categorías para la comparación de los elementos con los que cuenta el hospital y los ideales. La lista de cotejo es una herramienta de evaluación estructurada que registra la presencia o ausencia de un rasgo, conducta o secuencia de acciones. (Morales López et al., 2020)

Tomando como base esa lista de cotejo, se redactaron los criterios a evaluar en forma de pregunta para luego realizar entrevistas al personal del establecimiento de salud que está en contacto con las instalaciones del sistema de gases medicinales y obtener información con base en su perspectiva.

Al mismo tiempo, mediante una investigación de campo, se realizó una recopilación exhaustiva de datos relevantes del sistema de gases medicinales del HMCR. Estos incluyen:

1. Tomas de gases medicinales: Determinar si las tomas están bien distribuidas y cumplen con las características y condiciones operativas adecuadas.
2. Sistemas de alarma: Analizar el estado, ubicación y funcionalidad de las alarmas destinadas a monitorear el sistema de gases medicinales con el propósito de identificar deficiencias o fallas que puedan afectar la seguridad y operación adecuada del sistema.
3. Sistemas de distribución: Examinar la robustez y estado general de las tuberías, identificando áreas que requieran mantenimiento o reemplazo y, así mismo, que estas estén bien identificadas según el gas.
4. Sistemas de suministro: Inspeccionar las instalaciones y determinar si el dimensionamiento de las fuentes de oxígeno, compresores de aire y bombas de vacío es el adecuado.
5. Válvulas del sistema: Determinar la condición y operatividad de las válvulas, fundamentales para regular y garantizar la seguridad del suministro.

Se decidió utilizar la investigación de campo ya que Sampieri (2014) describe esta técnica como una forma de recolectar y analizar datos que son observados. Los datos recolectados incluyen fotografías y datos de interés sobre el sistema de gases medicinales en sus diferentes partes y componentes.

En el caso del sistema de distribución y sistema de suministro, se hizo uso de una validación matemática mediante la realización de cálculos matemáticos. Se utilizaron fórmulas relacionadas con el dimensionamiento de las fuentes de suministro, incluyendo compresores y tanque criogénico. Una vez obtenidos los resultados de los cálculos se validó si coincide con las características de las fuentes actuales del sistema de gases del HMCR.

También se hizo uso de fórmulas para el cálculo de diámetro de tuberías y, de igual manera, se realizó la validación con los diámetros de las tuberías que posee el hospital.

Mediante los métodos de evaluación utilizados se facilitó la recopilación de la información necesaria para identificar las áreas de mejora en el sistema de gases medicinales desde el estado de sus instalaciones hasta los mantenimientos, los usos y otros factores. Y, de la misma manera establecer recomendaciones para el establecimiento de salud, enfocadas en los aspectos que fueron evaluados del sistema de gases medicinales.

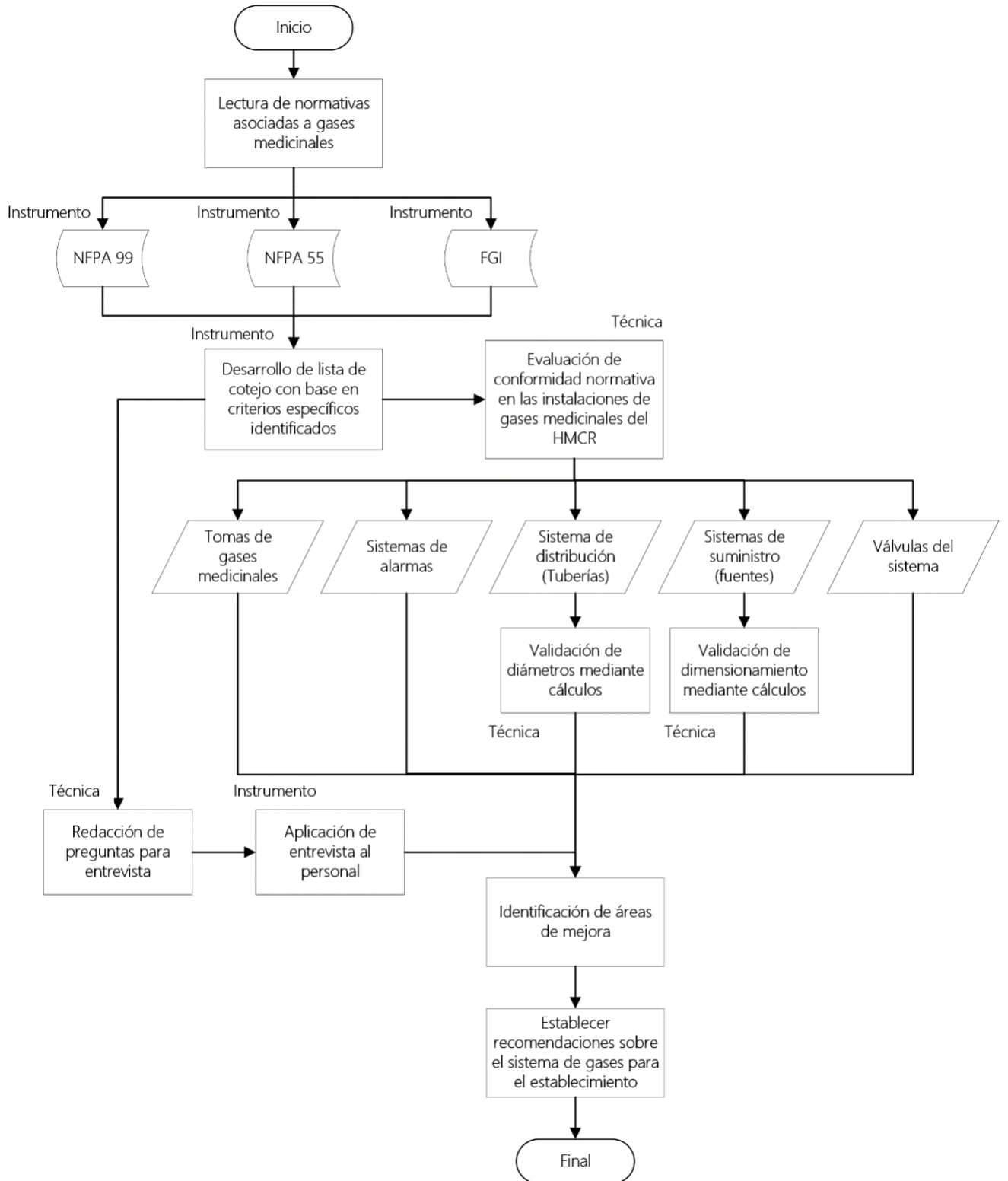


Ilustración 2 Diagrama de flujo del procedimiento llevado a cabo en la investigación.

Fuente: (Autoría propia, 2023)

4.4 MÉTRICAS DE EVALUACIÓN/VALIDACIÓN DE RESULTADOS

En esta sección, se abordaron las métricas de evaluación y validación de resultados en la investigación sobre seguridad en instalaciones de gases medicinales, centrándose en el cumplimiento de normativas.

4.3.1 PORCENTAJE DE CUMPLIMIENTO NORMATIVO

El cumplimiento adecuado de las fuentes de suministro de gases medicinales es esencial para garantizar la seguridad y eficacia de los sistemas en entornos de atención médica, siguiendo las normas y regulaciones clave, como la NFPA 55, NFPA 99 y las directrices de FGI (Institute for Healthcare Facilities Guidelines).

La NFPA 55 establece normas específicas para el almacenamiento y manejo de gases comprimidos, garantizando la protección contra riesgos de incendio y explosión. La NFPA 99 se enfoca en sistemas de gases medicinales, asegurando un diseño y operación seguros, así como la gestión adecuada de las instalaciones de atención médica. Las directrices de FGI proporcionan recomendaciones adicionales para la planificación y diseño de instalaciones de atención médica. Cumplir con estas normas y directrices garantiza la seguridad de pacientes y personal, y la confiabilidad de los suministros de gases medicinales en entornos clínicos críticos.

$$\% \text{ de cumplimiento normativo} = \frac{CT - NC}{CT} * 100$$

Ecuación 1 Porcentaje de cumplimiento normativo.

Fuente: (Autoría propia, 2023)

Siendo,

CT= Cantidad total de criterios evaluados.

NC= Cantidad total de criterios que no cumplen con la normativa.

4.3.2 PORCENTAJE DE DISTRIBUCIÓN ADECUADA DE LA CANTIDAD DE TOMAS DE GASES

El contar con una distribución adecuada de las tomas de gases medicinales en las áreas asistenciales de los establecimientos de salud es de suma importancia por diversos motivos. Uno de los principales motivos está basado en las necesidades de cada área, debido a que,

dependiendo de las aplicaciones clínicas, ciertas zonas tienden a requerir una mayor cantidad de tomas que otras.

Así mismo, una distribución adecuada contribuye al acceso rápido y eficaz del personal en situaciones de emergencia y a la optimización de recursos, como tanques de suministro y tuberías.

$$\% \text{ de distribución adecuada} = \frac{CT - DI}{CT} * 100$$

Ecuación 2 Porcentaje de distribución adecuada de tomas.

Fuente: (Autoría propia, 2023)

Siendo,

CT= Cantidad total de tomas de gases en el establecimiento.

DI= Cantidad de tomas distribuidas inadecuadamente en las diversas áreas.

4.3.3 PORCENTAJE DE SISTEMAS DE ALARMAS FUNCIONALES

Los paneles locales de alarmas de un sistema de gases medicinales deberían estar siempre funcionales para garantizar la seguridad del paciente. Su importancia radica en que estos detectan problemas en el suministro de gases e interrupción de los mismos, lo que permite abordar rápidamente cualquier problema.

Si un panel de alarma falla o no se encuentra funcional, podría haber un retraso en esa detección de problemas en el suministro de gas, lo que podría poner en peligro la salud y la seguridad de los pacientes.

$$\% \text{ de alarmas funcionales} = \frac{CT - NF}{CT} * 100$$

Siendo,

CT= Cantidad total de paneles locales del sistema de alarmas de gases.

NF= Cantidad de paneles locales de alarma no funcionales.

4.3.4 UBICACIÓN ADECUADA DE PANELES LOCALES DE ALARMA

La ubicación adecuada de los paneles locales de alarma facilita el hecho de que cualquier problema o alarma pueda ser detectado lo más rápido posible permitiendo que se tomen medidas para evitar interrupciones en el suministro de gases medicinales. Estos deberían ubicarse en lugares que sean fáciles de ver y acceder para el personal médico y de enfermería y, que, además, se evite cualquier interferencia que pueda afectar el funcionamiento de los paneles de alarma, como la exposición a condiciones ambientales adversas.

$$\% \text{ de ubicación adecuada} = \frac{CT - UI}{CT} * 100$$

Ecuación 3 Porcentaje de paneles locales de alarma ubicados correctamente.

Fuente: (Autoría propia, 2023)

Siendo,

CT= Cantidad total de paneles locales del sistema de alarmas de gases.

UI= Cantidad de paneles locales de alarma ubicados incorrectamente.

4.3.5 ALMACENAMIENTO ADECUADO DE FUENTES

El almacenamiento adecuado de las fuentes de suministro de gases medicinales es un componente fundamental en la gestión de la atención médica. Para garantizar la integridad y seguridad de estos, es esencial mantener un entorno de almacenamiento controlado, que cumpla con las normativas vigentes para evitar la degradación de los gases y garantizar la seguridad de pacientes y personal de salud.

Además, se deben considerar sistemas de etiquetado claro para asegurar el uso oportuno de los suministros más antiguos. Almacenar los gases medicinales en áreas designadas y seguras, junto con sistemas de respaldo y un monitoreo constante, es crucial para proporcionar atención médica ininterrumpida y de alta calidad a los pacientes que dependen de estos recursos.

$$\% \text{ de fuentes de suministro correctamente almacenadas} = \frac{CT - AI}{CT} * 100$$

Ecuación 4 Porcentaje de fuentes almacenadas correctamente.

Fuente: (Autoría propia, 2023)

Siendo,

CT= Cantidad total de fuentes de suministro (oxígeno, aire y vacío), incluyendo fuentes principales y de respaldo.

AI= Cantidad total de fuentes de suministro almacenadas de forma inadecuada.

4.3.6 DIMENSIONAMIENTO ADECUADO SEGÚN CÁLCULOS

El dimensionamiento adecuado de las fuentes de suministro de gases medicinales es esencial para garantizar la seguridad y disponibilidad de estos recursos vitales en entornos médicos. Este proceso implica la evaluación de la demanda actual y proyectada de gases, considerando factores como el tipo de gases requeridos, el flujo necesario y la duración del suministro. Un diseño bien planificado garantiza la continuidad de la atención médica al tiempo que minimiza el riesgo de agotamiento de suministros.

Además, se deben implementar sistemas de respaldo y protocolos de monitoreo para mantener la integridad de la cadena de suministro en situaciones de emergencia. El dimensionamiento adecuado de las fuentes de suministro de gases medicinales es crucial para asegurar una atención médica segura y efectiva.

$$\% \text{ de fuentes de suministro correctamente dimensionadas} = \frac{CT - DI}{CT} * 100$$

Ecuación 5 Porcentaje de fuentes dimensionadas correctamente.

Fuente: (Autoría propia, 2023)

Siendo,

CT= Cantidad total de fuentes de suministro (oxígeno, aire y vacío).

DI= Cantidad total de fuentes de suministro dimensionadas incorrectamente.

4.3.7 PORCENTAJE DE TUBERÍAS CORRECTAMENTE IDENTIFICADAS

La correcta identificación de las tuberías de gases medicinales garantiza que los pacientes reciban el gas correcto lo cual es indispensable ya que la administración de un gas medicinal incorrecto podría ser perjudicial o incluso mortal para el paciente.

La identificación adecuada de las tuberías también facilita el mantenimiento y las reparaciones, ya que los técnicos y el personal de mantenimiento pueden identificar y solucionar problemas con mayor eficacia.

$$\% \text{ de tuberías correctamente identificadas} = \frac{CT - II}{CT} * 100$$

Ecuación 6 Porcentaje de tuberías identificadas correctamente.

Fuente: (Autoría propia, 2023)

Siendo,

CT= Cantidad total de tuberías.

II= Cantidad total de tuberías identificadas inadecuadamente.

4.3.8 ESTADO Y CALIDAD DE LAS TUBERÍAS

La evaluación periódica del estado de las tuberías es sumamente importante ya que la integridad de las tuberías es esencial para garantizar la seguridad de los pacientes. Cualquier daño o deterioro en las tuberías podría resultar en fugas de gases medicinales, lo que pondría en riesgo la salud y la vida de los pacientes.

$$\% \text{ de tuberías desgastadas} = \frac{CT - BE}{CT} * 100$$

Ecuación 7 Porcentaje de tuberías que presentan daño o desgaste.

Fuente: (Autoría propia, 2023)

Siendo,

CT= Cantidad total de tuberías.

BE= Cantidad total de tuberías que se encuentran en buen estado en su totalidad.

No solo se debe analizar el estado general de las tuberías si no también la calidad de estas. Que estas sean del diámetro adecuado según el gas y del material correcto.

$$\% \text{ de tuberías con diámetro adecuado} = \frac{CT - DA}{CT} * 100$$

Ecuación 8 Porcentaje de tuberías con el diámetro adecuado.

Fuente: (Autoría propia, 2023)

Siendo,

CT= Cantidad total de tuberías.

DA= Cantidad total de tuberías que cuentan con un diámetro adecuado según gas.

4.1 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

La operacionalización de variables es sumamente importante para garantizar que las variables estén definidas de forma precisa y concreta, evitando ambigüedades o interpretaciones erróneas. Mediante esto, fue posible relacionar los objetivos de la investigación con la variable a estudiar y los instrumentos de medición a utilizar. (Tabla 5)

Tabla 5 Operacionalización de variables.

Objetivo General	Variable Dependiente	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores
Identificar áreas de mejora en el sistema de gases medicinales del Hospital Mario Catarino Rivas en San Pedro Sula, mediante una evaluación del nivel de cumplimiento con base en las normativas y estándares técnicos establecidos internacionalmente.	Cumplimiento normativo del sistema de gases medicinales en el HMCR.	Medida en que el HMCR cumple con los estándares y normativas estudiadas en relación con la instalación adecuada de sistemas de suministro de gases, capacitación del personal, gestión de inventarios, estado y calidad de componentes, seguridad en el almacenamiento y distribución de gases medicinales, entre otros.	Sistema de gases medicinales. Conformidad. Normativa. Estándares.	Porcentaje de cumplimiento normativo.
Objetivos Específicos	Variable Independiente	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores
Establecer las características y condiciones operativas de las tomas de gases medicinales en el Hospital Mario Catarino Rivas en San Pedro Sula mediante la verificación de adecuación y distribución de acuerdo con las normativas vigentes.	Tomas de gases medicinales.	Correcta instalación y distribución de las tomas de gases medicinales de acuerdo con las normativas y estándares vigentes en el campo de la atención médica.	Cantidad de tomas. Distribución por área.	Distribución adecuada de las tomas por área.

Continuación Tabla 5

<p>Detectar posibles deficiencias o fallos en los sistemas de alarma de gases medicinales a través de un diagnóstico del estado actual, ubicación y funcionalidad de las alarmas que monitorean el sistema de gases en el Hospital Mario Catarino Rivas.</p>	<p>Sistemas de alarma.</p>	<p>Identificación de paneles de alarma utilizados para monitorear el sistema de gases medicinales del hospital en mal estado o ubicados incorrectamente.</p>	<p>Ubicación. Funcionalidad.</p>	<p>Porcentaje de sistemas de alarmas funcionales. Porcentaje de paneles locales de alarma ubicados correctamente.</p>
<p>Examinar la disponibilidad, funcionalidad, capacidad y seguridad de las fuentes de suministro principal y secundarias del sistema de gases del Hospital Mario Catarino Rivas.</p>	<p>Fuente de suministro principal y secundarias.</p>	<p>Funcionalidad, dimensionamiento y seguridad en el almacenamiento de la fuente de suministro principal y las fuentes de suministro secundarias de gases medicinales del hospital.</p>	<p>Almacenamiento. Capacidad. Dimensionamiento. Demanda.</p>	<p>Porcentaje de fuentes almacenadas correctamente. Fuentes dimensionadas para cubrir la demanda.</p>
<p>Determinar el estado general de las tuberías del sistema de gases medicinales en el Hospital Mario Catarino Rivas por medio de la identificación de áreas específicas que puedan requerir mantenimiento, actualización o reemplazo para garantizar una entrega eficiente y segura de gases medicinales.</p>	<p>Tuberías del sistema de distribución.</p>	<p>Identificación de áreas específicas que se vean desgastadas o dañadas y que puedan requerir mantenimiento o reemplazo mediante el análisis y evaluación del estado general de las tuberías incluyendo la selección de diámetro de tubería adecuado según gas.</p>	<p>Identificación. Diámetro.</p>	<p>Porcentaje de tuberías correctamente identificadas. Porcentaje de tuberías con el diámetro adecuado.</p>

Fuente: (Autoría propia, 2023)

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se mostraron todos los resultados obtenidos a lo largo de la investigación. Esto incluye los cálculos correspondientes a las fuentes de suministro y diámetro de las tuberías de los gases medicinales, evaluación de conformidad con la normativa en cuanto a diseño, ubicación, materiales, mantenimientos, entre otras cosas.

5.1 RECOPIACIÓN DE DATOS

Se tomó en cuenta el consumo teórico y coeficiente de simultaneidad de los gases oxígeno, aire medicinal y vacío según áreas (Tabla 6). Estos tienen gran relevancia para realizar el cálculo de diámetro de las tuberías por lo que es sumamente importante conocerlos.

Tabla 6 Consumo teórico de gases inyectados o extraídos de las tuberías.

Área de Aplicación	Oxígeno		Vacío		Aire medicinal	
	L/min	Coficiente	L/min	Coficiente	L/min	Coficiente
Cama normal	6	0.2	5	0.3	-	-
Cama especial	30	0.4	10	0.3	30	0.2
Unidad coronaria	10	0.7	10	0.3	30	0.2
Terapia adultos	25	1	60	0.7	30	0.8
Terapia pediátrica	20	0.5	7	0.3	10	0.6
Quirófano	20	0.1	80	0.7	15	0.5
Sala de partos	7	0.5	15	0.3	-	-
Neonatología	20	1	10	0.5	10	0.7
Imágenes	10	0.2	20	0.1	30	0.3
Resonancia	15	0.2	25	0.2	30	0.2
Laboratorio	-	-	25	0.3	50	0.5
Quinesiología	10	0.2	5	0.3	30	0.2
Neumología	15	0.2	20	0.3	15	0.2
Guardia	15	0.5	20	0.5	10	0.2

Fuente: (Antúnez & Betancur, 2020)

Considerando las áreas con las que cuenta el hospital y con base en lo anterior, para los cálculos se tomaron Cirugía de hombre, Cirugía de mujeres, Medicina de hombre, Medicina de mujeres, Nefrología, Hematología, Maternidad, Ginecología, Pediatría, Neurocirugía y ortopedia pediátrica, Oncología pediátrica, Emergencia de cirugía adulto, Observación UCIP, Emergencia

pediátrica, Medicina Interna y URPA como camas normales, Sala de operaciones como quirófano, UCIP como terapia pediátrica, UCIN como neonatología, y UCIA como terapia adultos. De esa manera se determinó el consumo y coeficiente de simultaneidad en cada área para Oxígeno (Tabla 7), Vacío (Tabla 8) y Aire medicinal (Tabla 9).

Tabla 7 Consumo teórico de oxígeno según áreas.

Área	Consumo (lts/min)	Coficiente
Sala de operaciones	20	0.1
Cirugía de hombre	6	0.2
Cirugía de mujeres	6	0.2
Medicina de hombre	6	0.2
Medicina de mujeres	6	0.2
Nefrología	6	0.2
Hematología	6	0.2
Maternidad	6	0.2
Ginecología	6	0.2
Pediatría	6	0.2
Neurocirugía y ortopedia pediátrica	6	0.2
Oncología pediátrica	6	0.2
Emergencia de cirugía adulto	6	0.2
UCIP	20	0.5
Observación UCIP	6	0.2
Emergencia pediátrica	6	0.2
UCIN (A y B)	20	1
Medicina Interna	6	0.2
URPA	6	0.2
UCIA	25	1

Fuente: (Autoría propia, 2023)

Tabla 8 Consumo teórico de vacío según áreas.

Área	Consumo (lts/min)	Coficiente
Sala de operaciones	80	0.7
Cirugía de hombre	5	0.3
Cirugía de mujeres	5	0.3
Medicina de hombre	5	0.3
Medicina de mujeres	5	0.3
Nefrología	5	0.3
Hematología	5	0.3
Maternidad	5	0.3
Ginecología	5	0.3
Pediatría	5	0.3

Continuación Tabla 8

Área	Consumo (lts/min)	Coefficiente
Neurocirugía y ortopedia pediátrica	5	0.3
Oncología pediátrica	5	0.3
Emergencia de cirugía adulto	5	0.3
UCIP	7	0.3
Observación UCIP	5	0.3
Emergencia pediátrica	5	0.3
UCIN (A y B)	10	0.5
Medicina Interna	5	0.3
URPA	5	0.3
UCIA	60	0.7

Fuente: (Autoría propia, 2023)

Tabla 9 Consumo teórico de aire medicinal según áreas.

Área	Consumo (lts/min)	Coefficiente
Sala de operaciones	15	0.5
Cirugía de hombre	N/A	N/A
Cirugía de mujeres	N/A	N/A
Medicina de hombre	N/A	N/A
Medicina de mujeres	N/A	N/A
Nefrología	N/A	N/A
Hematología	N/A	N/A
Maternidad	N/A	N/A
Ginecología	N/A	N/A
Pediatría	N/A	N/A
Neurocirugía y ortopedia pediátrica	N/A	N/A
Oncología pediátrica	N/A	N/A
Emergencia de cirugía adulto	N/A	N/A
UCIP	10	0.6
Observación UCIP	N/A	N/A
Emergencia pediátrica	N/A	N/A
UCIN (A y B)	10	0.7
Medicina Interna	N/A	N/A
URPA	N/A	N/A
UCIA	30	0.8

Fuente: (Autoría propia, 2023)

Para calcular el consumo total teórico de cada gas, así como el consumo esperado, es necesario conocer también la cantidad de tomas en cada área de cada gas. Por lo que se visitó el establecimiento y se recopiló la información necesaria. (Tabla 10)

Tabla 10 Cantidad total de tomas de gases medicinales por área.

Área	Cantidad total de tomas de oxígeno	Cantidad total de tomas de vacío	Cantidad total de tomas de aire
Sala de operaciones	22	22	22
Cirugía de hombre	40	10	10
Cirugía de mujeres	32	-	-
Medicina de hombre	37	11	-
Medicina de mujeres	43	11	-
Nefrología	5	-	-
Hematología	4	-	-
Maternidad	10	-	-
Ginecología	11	-	-
Pediatría	63	6	43
Neurocirugía y ortopedia pediátrica	7	7	7
Oncología pediátrica	15	15	15
Emergencia de cirugía adulto	27	27	4
UCIP	24	24	24
Observación UCIP	19	13	12
Emergencia pediátrica	10	10	10
UCIN (A y B)	52	39	39
Medicina Interna	34	34	34
URPA	10	10	10
UCIA	10	10	10

Fuente: (Autoría propia, 2023)

Al mismo tiempo, se identificó que el área con la mayor cantidad de tomas de gases es UCIN, seguido de Pediatría y Medicina Interna, donde la mayor cantidad de tomas son de oxígeno. (Ilustración 3). Y aquellas que poseen la menor cantidad de tomas de gases son Nefrología, Hematología, Maternidad y Ginecología, por lo que se puede inferir que no son tan indispensables en dichas áreas o que son áreas pequeñas y por tal motivo no requieren tantas tomas.

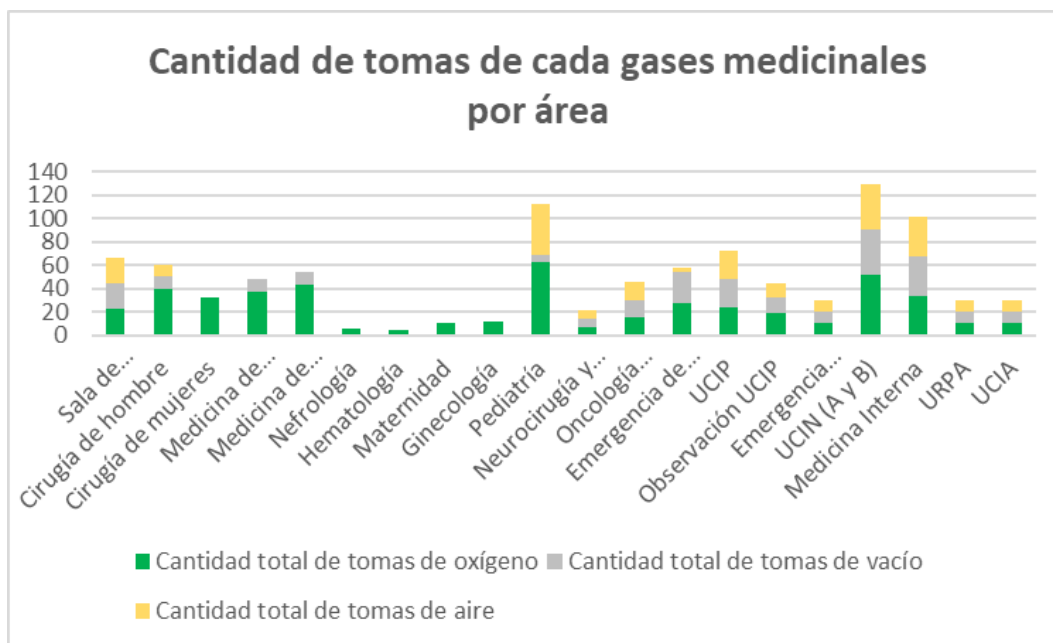


Ilustración 3 Gráfico de cantidad de tomas de cada gas.

Fuente: (Autoría propia, 2023)

Una vez identificada la cantidad de tomas en cada área, el consumo y el coeficiente de simultaneidad, se procede a realizar el cálculo de consumo teórico y consumo esperado por cada gas en las distintas áreas. (Tabla 11, 12 y 13)

Para el consumo teórico únicamente se toma el consumo en lts/min y se multiplica por la cantidad de tomas en el área. Y el coeficiente de simultaneidad es utilizado para el cálculo de consumo esperado, para este se multiplica el coeficiente con el consumo teórico obtenido.

Tabla 11 Red de oxígeno.

Área	Cantidad de Tomas	Consumo (lts/min)	Coefficiente	Consumo teórico (lts/min)	Consumo esperado (lts/min)
Sala de operaciones	22	20	0.1	440	44
Cirugía de hombre	40	6	0.2	240	48
Cirugía de mujeres	32	6	0.2	192	38.4
Medicina de hombre	37	6	0.2	222	44.4
Medicina de mujeres	43	6	0.2	258	51.6
Nefrología	5	6	0.2	30	6
Hematología	4	6	0.2	24	4.8
Maternidad	10	6	0.2	60	12
Ginecología	11	6	0.2	66	13.2
Pediatría	63	6	0.2	378	75.6

Continuación Tabla 11

Área	Cantidad de Tomas	Consumo (lts/min)	Coefficiente	Consumo teórico (lts/min)	Consumo esperado (lts/min)
Neurocirugía y ortopedia pediátrica	7	6	0.2	42	8.4
Oncología pediátrica	15	6	0.2	90	18
Emergencia de cirugía adulto	27	6	0.2	162	32.4
UCIP	24	20	0.5	480	240
Observación UCIP	19	6	0.2	114	22.8
Emergencia pediátrica	10	6	0.2	60	12
UCIN (A y B)	52	20	1	1040	1040
Medicina Interna	34	6	0.2	204	40.8
URPA	10	6	0.2	60	12
UCIA	10	25	1	250	250
			TOTAL	4,412	2,014.4

Fuente: (Autoría propia, 2023)

Tabla 12 Red de vacío.

Área	Cantidad de Tomas	Consumo (lts/min)	Coefficiente	Consumo teórico (lts/min)	Consumo esperado (lts/min)
Sala de operaciones	22	80	0.7	1232	1232
Cirugía de hombre	10	5	0.3	50	15
Medicina de hombre	11	5	0.3	55	16.5
Medicina de mujeres	11	5	0.3	55	16.5
Pediatría	6	5	0.3	30	9
Neurocirugía y ortopedia pediátrica	7	5	0.3	35	10.5
Oncología pediátrica	15	5	0.3	75	22.5
Emergencia de cirugía adulto	27	5	0.3	135	40.5
UCIP	24	7	0.3	168	50.4
Observación UCIP	13	5	0.3	65	19.5
Emergencia pediátrica	10	5	0.3	50	15
UCIN (A y B)	39	10	0.5	390	195
Medicina Interna	34	5	0.3	170	51
URPA	10	5	0.3	50	15
UCIA	10	60	0.7	60	42
			TOTAL	2,620	1,750.4

Fuente: (Autoría propia, 2023)

Tabla 13 Red de aire medicinal.

Área	Cantidad de Tomas	Consumo (lts/min)	Coefficiente	Consumo teórico (lts/min)	Consumo esperado (lts/min)
Sala de operaciones	22	15	0.5	330	165
Cirugía de hombre	10	N/A	N/A	-	-
Cirugía de mujeres	-	-	-	-	-
Medicina de hombre	-	-	-	-	-
Medicina de mujeres	-	-	-	-	-
Nefrología	-	-	-	-	-
Hematología	-	-	-	-	-
Maternidad	-	-	-	-	-
Ginecología	-	-	-	-	-
Pediatría	43	N/A	N/A	N/A	N/A
Neurocirugía y ortopedia pediátrica	7	N/A	N/A	N/A	N/A
Oncología pediátrica	15	N/A	N/A	N/A	N/A
Emergencia de cirugía adulto	4	N/A	N/A	N/A	N/A
UCIP	24	10	0.6	240	144
Observación UCIP	12	N/A	N/A	N/A	N/A
Emergencia pediátrica	10	N/A	N/A	N/A	N/A
UCIN (A y B)	39	10	0.7	390	273
Medicina Interna	34	N/A	N/A	N/A	N/A
URPA	10	N/A	N/A	N/A	N/A
UCIA	10	30	0.8	300	240
			TOTAL	1,260	822

Fuente: (Autoría propia, 2023)

En el plano del HMCR se ve señalado en color rojo la ubicación de la central de gases medicinales del establecimiento (Ilustración 4). El establecimiento actualmente cuenta con un sistema de gases medicinales que incluye oxígeno, aire medicinal, vacío quirúrgico y óxido nitroso.

Este sistema fue evaluado en relación a la capacidad o dimensionamiento, ubicación, almacenamiento, señalización y estado general. Además, se evaluaron otros dispositivos del sistema de distribución como ser tuberías, válvulas, sistema de alarmas, entre otros.

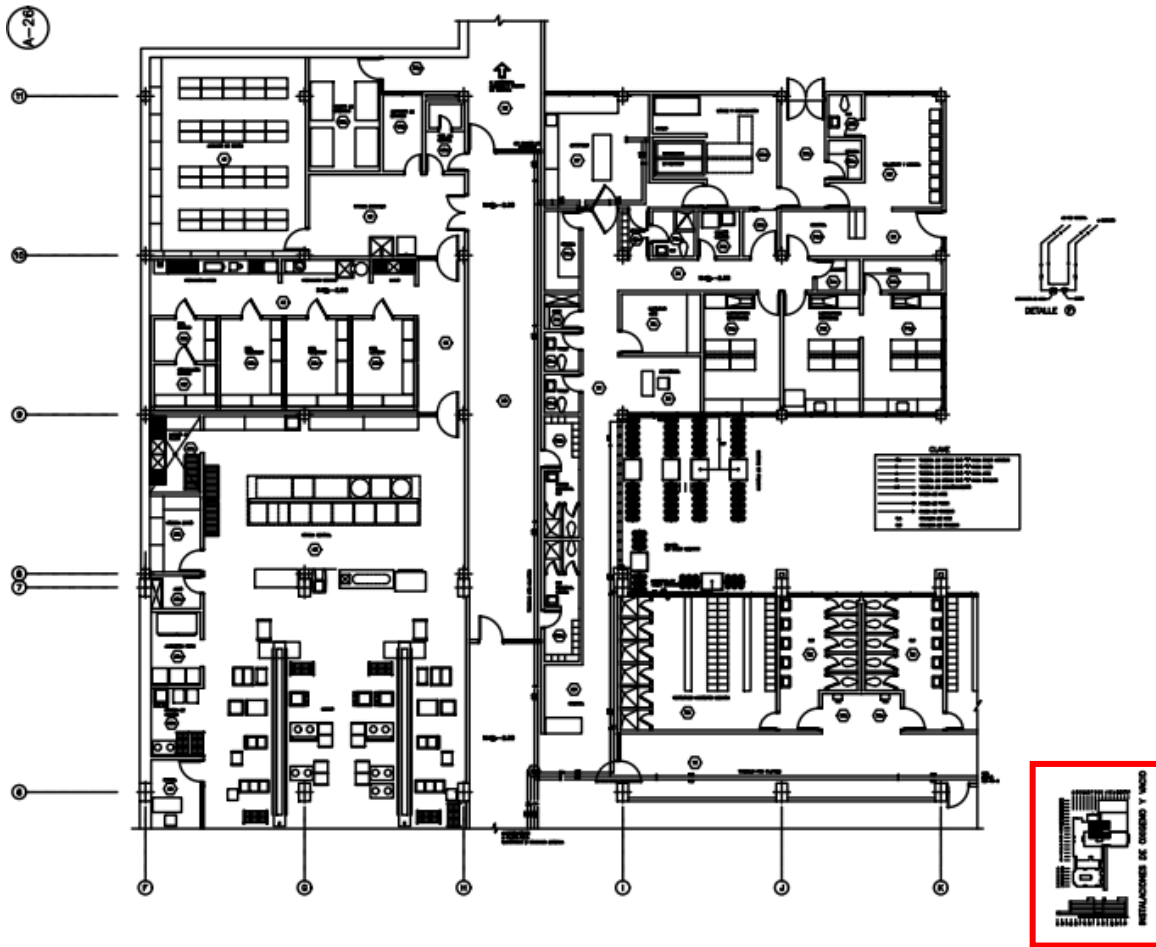


Ilustración 4 Plano HMCR.

Fuente: (HMCR, s.f.)

5.2 CÁLCULO DE FUENTE DE SUMINISTRO

Existen 3 formas de suministro de gases medicinales en una red hospitalaria; cilindros, tanques portátiles y tanques estacionarios. Se realizó el cálculo de la fuente de suministro partiendo por el consumo teórico antes calculado.

5.2.1 CÁLCULO DE FUENTE DE SUMINISTRO DE OXIGENO

Consumo teórico total= 4,412 lpm (Tabla 11)

Conversión de consumo teórico de lpm a lph

$$4,412 \frac{l}{mins} \left(\frac{60 mins}{1 hora} \right)$$

$$4,412 \frac{l}{mins} \left(\frac{60 mins}{1 hora} \right) = 264,720 \frac{l}{horas}$$

Conversión de días a horas para un abastecimiento de 7 días

$$7 \text{ días} \left(\frac{24 \text{ horas}}{1 \text{ día}} \right)$$

$$7 \cancel{\text{ días}} \left(\frac{24 \text{ horas}}{1 \cancel{\text{ día}}} \right) = 168 \text{ horas}$$

Cálculo de litros necesarios

$$lph * \text{horas de abastecimiento}$$

$$264,720 \text{ lph} * 168 \text{ horas} = 44,472,960 \text{ l}$$

Cálculo de cilindros necesarios tipo H

$$l \text{ necesarios} \left(\frac{1 \text{ cilindro tipo H}}{7080 \text{ l}} \right)$$

$$44,472,960 \cancel{\text{ l}} \left(\frac{1 \text{ cilindro}}{7080 \cancel{\text{ l}}} \right) = 6,281.49 = 6,282 \text{ cilindros}$$

Utilizando cilindros tipo H se obtuvo un resultado muy alto, por lo tanto, se opta por un tanque criogénico. Para esto, se debe conocer la capacidad del tanque a utilizar, tomando en cuenta la capacidad equivalente de gas en pies cúbicos convirtiéndolo a líquido. (Tabla 14)

Tabla 14 Capacidades de tanques criogénicos

Capacidad de Líquido (gal)	Capacidad equivalente de gas a 21 °C, 1 atm (pies ³)	
	Oxígeno	Nitrógeno
900	103590	83799
1500	172650	139665
3000	345300	279330
6000	609600	558660
13000	1496300	1210430
15000	1726500	1396650

Fuente: (INFRASAL GASES - Tanques criogénicos, s. f.)

Considerando que se tomará un tanque de 6000 galones, cuya capacidad equivalente de gas en pies cúbicos es de 609,600 procedemos a realizar la conversión a litros.

$$609,600 \cancel{\text{pies}^3} \left(\frac{28.3168 \text{ l}}{1 \cancel{\text{pies}^3}} \right) = 17,261,949.7 \text{ l}$$

Con la cantidad de litros ahora se puede calcular la cantidad de horas que el tanque de 6000 galones podrá abastecer al centro.

$$\text{Tiempo de abastecimiento} = \left(\frac{\text{l de gas}}{\text{lph}} \right)$$

$$\text{Tiempo de abastecimiento} = \left(\frac{17,261,949.71 \text{ l}}{264,720 \text{ lph}} \right) = 65.208 \text{ horas} \left(\frac{1 \text{ día}}{24 \text{ hora}} \right) = 2.72 \text{ días}$$

Por lo tanto, se definió que la capacidad del tanque apropiado para un abastecimiento de cada 3 días, aproximadamente, es de 6,000 gal.

5.2.2 CÁLCULO DE FUENTE DE SUMINISTRO DE AIRE MEDICINAL

El HMCR ubicado en SPS se encuentra a una altura de 387.139 pies sobre el nivel del mar y utilizando un factor de corrección de 1.03 (Tabla 15), podemos calcular la capacidad de la fuente.

Tabla 15 Compensación por altitud

Altitud sobre el nivel del mar (pies)	Presión Barométrica	Factor de Corrección (SCFM)
		Operación de compresor a 100 PSIG
0	29.92 mmHg	1
1	28.86 mmHg	1.01
2000	27.82 mmHg	1.03
3000	26.82 mmHg	1.05
4000	25.84 mmHg	1.06
5000	24.90 mmHg	1.08
6000	23.98 mmHg	1.1
7000	23.09 mmHg	1.12
8000	22.23 mmHg	1.15
9000	21.39 mmHg	1.17
10000	20.58 mmHg	1.19

Fuente: (Girón, 2012)

Conociendo el factor de corrección y el consumo teórico total de aire medicinal se puede realizar el cálculo respectivo para determinar las características de la fuente a utilizar para suplir la demanda.

Factor de corrección (SCFM) = 1.03 (Tabla 15)

Consumo teórico = 1,260 lpm (Tabla 13)

*Cosumo teórico con FC = Factor de corrección * Consumo teórico*

*Consumo teórico con FC = 1.03 * 1,260 lpm = 1,297.8 lpm*

Consumo en SCFM = 1,297.8 ~~lpm~~ $\left(\frac{1 \text{ SCFM}}{28.32 \text{ lpm}}\right) = 45.83 \text{ SCFM}$

Se concluye que se requiere sistema cuádruplex con tanque de 120 Gal, potencia de 5 HP y 46.5 SCFM para el suministro de Aire Medicinal. (Tabla 16)

Tabla 16 Potencia del compresor de aire comprimido

Modelo	HP	SCFM por compresor	Tamaño de tanque (gal)
Sistema Dúplex			
IPD0504	5	15.5	120
IPD0754	7.5	19.6	120
IPD1004	10	29.0	120
Sistema Tríplex			
IPT0504	5	31.0	120
IPT0754	7.5	39.2	120
IPT1004	10	58.0	200
Sistema Cuádruplex			
IPQ0504	5	46.5	120
IPQ0754	7.5	58.8	200
IPQ1004	10	87.0	240

Fuente: (IPD0504 - Sistema de compresión de aire médico by Powerex | MedicalExpo, s. f.)

5.2.3 CÁLCULO DE SISTEMA DE VACÍO

Tomando en cuenta la altura del HMCR de 387.139 pies sobre el nivel del mar, al igual que en el sistema de aire medicinal, y un factor de corrección de 1.02 (Tabla 17) podemos calcular la capacidad de la fuente.

Tabla 17 Factores de corrección para vacío

Altitud	Presión barométrica normal	Multiplicador usado
Pies	(Pulgadas de Mercurio)	para un SCFM requerido
0	29.92" Hg (760 mmHg)	1
500	29.39" Hg (760 mmHg)	1.02
1000	28.36" Hg (747 mmHg)	1.04
1500	28.33" Hg (733 mmHg)	1.06

Continuación Tabla 17

Altitud Pies	Presión barométrica normal (Pulgadas de Mercurio)	Multiplicador usado para un SCFM requerido
2000	27.82" Hg (707 mmHg)	1.08
2500	27.32" Hg (694 mmHg)	1.1
3000	26.82" Hg (681 mmHg)	1.12
3500	26.33" Hg (669 mmHg)	1.14
4000	25.84" Hg (656 mmHg)	1.16
5000	24.90" Hg (633 mmHg)	1.2
6000	23.98" Hg (609 mmHg)	1.25
7000	23.09" Hg (587 mmHg)	1.3
8000	22.23" Hg (565 mmHg)	1.35
9000	21.39" Hg (543 mmHg)	1.4
10000	20.58" Hg (523 mmHg)	1.45

Fuente: (Girón, 2012)

$$\text{Factor de corrección (SCFM)} = 1.02 \text{ (Tabla 17)}$$

$$\text{Consumo teórico} = 2,620 \text{ lpm (Tabla 12)}$$

$$\text{Consumo teórico con FC} = \text{Factor de corrección} * \text{Consumo teórico}$$

$$\text{Consumo teórico con FC} = 1.02 * 2,620 \text{ lpm} = 2,672.4 \text{ lpm}$$

$$\text{Consumo en SCFM} = 2,672.4 \text{ lpm} \left(\frac{1 \text{ SCFM}}{28.32 \text{ lpm}} \right) = 94.36 \text{ SCFM}$$

Se concluye que se requieren un sistema cuádruplex con tanque de 200 Gal, y potencia de 6.4 HP y 114 SCFM para el sistema de vacío. (Tabla 18)

Tabla 18 Potencia de compresor de vacío

Modelo	SCFM 19" Hg	HP	Tanque (gal)
Soporte deslizante modular tríplex			
CVPT0504A	58	5	120
CVPT0504B	76	6.4	120
CVPT0755A	104	7.0	200
CVPT0755B	130	9.1	200
CVPT1005	168	10	200
CVPT1505	258	15	200
Soporte deslizante modular cuádruplex			
CVPQ0505A	87	5	200
CVPQ0505B	114	6.4	200
CVPQ0755A	156	7.0	200
CVPQ0755B	195	9.1	200
CVPQ1005	252	10	200
CVPQ1505	387	15	200

Continuación Tabla 18

Modelo	SCFM 19" Hg	HP	Tanque (gal)
Soporte deslizante modular pentaplex			
CVPP1505	516	15	200

Fuente: (VVTDO151 - Sistema de vacío médico by Powerex | MedicalExpo, s. f.)

5.3 CÁLCULO DE DIÁMETRO DE TUBERÍAS

Se realizó el cálculo de diámetro mínimo de la tubería de la rama troncal y ramas secundarias para cada gas sin riesgo y con un riesgo del 25%. Para esto, se utiliza la ecuación de Lázaro E., la cual toma en consideración la velocidad de flujo, el caudal y la presión de trabajo a la cual se somete la tubería. (Ecuación 10)

$$D = 18,8 \times [Q/(V \times P)]^{1/2}$$

Ecuación 9 Fórmula empírica para el cálculo de tubería.

Fuente: (Antúnez & Betancur, 2020)

Donde,

D= diámetro interior de la tubería (mm).

Q= caudal total (m^3/h)

V= velocidad de flujo (m/seg)

P= presión a la que se somete la tubería (atm)

Así mismo, se tomaron en consideración los valores comerciales de tubería de cobre para gases medicinales. (Tabla 19)

Tabla 19 Valores comerciales de tubería de cobre.

Diámetro Nominal		Diámetro Real			
mm	pulgadas	Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior tipo M (mm)	Diámetro interior tipo L (mm)	Diámetro interior tipo K (mm)
10	3/8	12.9	11.4	10.9	10.2
13	1/2	15.9	14.4	13.8	13.3
19	3/4	22.2	20.6	19.9	18.9
25	1	28.5	26.8	26.0	25.3
32	1 ¼	39.9	32.8	32.1	31.6
38	1 ½	41.2	38.8	38.2	37.6

Fuente: (Antúnez & Betancur, 2020)

Tabla 20 Presiones operativas para sistemas de gas.

Servicio de gas	Nombre abreviado	Colores (Fondo/Text)	Presión manométrica estándar	
			kPa	psi
Aire medicinal	Aire med	Amarillo/negro	345-380	50-55
Oxígeno	O2	Verde/blanco o blanco/verde	345-380	50-55
Vacío médico-quirúrgico	Aspiradora médica	Blanco negro	380mm a 760mm	

Fuente: (NFPA 99, 2018)

5.3.1 OXÍGENO

Para el oxígeno, las variables a utilizar en el cálculo del diámetro de tubería son la velocidad con un valor de 8m/s y la presión para red troncal de 8 atm y de 5 atm para red secundaria.

5.3.1.1. Red Troncal

Para el cálculo de diámetro en la red troncal se utilizó el consumo teórico total de oxígeno para el caudal, este fue de 4,412 lts/min y se convirtió a m^3/h .

$$Q = 4,412 \frac{\text{lts}}{\text{min}} \left(\frac{1m^3}{1000\text{lts}} \right) \left(\frac{60\text{min}}{1h} \right) = 264.72 m^3/h$$

- Diámetro de tubería sin riesgo

$$D = 18,8 \left(\sqrt{\frac{264.72 m^3/h}{(8\text{atm})(8m/s)}} \right) = 38.24 mm$$

- Diámetro de tubería con riesgo del 25%

$$D = 31.15 + (31.15 \times 0.25) = 38.94mm$$

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que la tubería a utilizar para el ramal troncal, es decir, aquel que viene directamente de la fuente de suministro, el diámetro de tubería a utilizar es para tubería tipo K 1 ½" y para tubería tipo L 1 ½".

5.3.1.2. Red secundaria (Sala de Operaciones)

En el caso de la red secundaria, se utilizó el consumo esperado en cada área y se realizó el cálculo de igual manera. En quirófanos, este consumo esperado para oxígeno es de 44 lts/min.

$$Q = 44 \frac{\text{lts}}{\text{min}} \left(\frac{1\text{m}^3}{1000\text{lts}} \right) \left(\frac{60\text{min}}{1\text{h}} \right) = 2.64\text{m}^3/\text{h}$$

- Diámetro de tubería sin riesgo

$$D = 18,8 \left(\sqrt{\frac{2.64\text{m}^3/\text{h}}{(5\text{atm})(8\text{m/s})}} \right) = 4.83\text{mm}$$

- Diámetro de tubería con riesgo del 25%

$$D = 4.83 + (4.83 \times 0.25) = 6.04\text{mm}$$

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que la tubería a utilizar para el ramal secundario que abastece al área de Quirófanos es para tubería tipo K 3/8" y para tubería tipo L 3/8". Sin embargo, por normativa NFPA 99 edición 2018 tabla 5.1.4.1.6., se utiliza un diámetro mínimo de 1/2" para oxígeno.

5.3.1.3. Red Secundaria (Cirugía de hombres)

El consumo esperado en Cirugía de hombres fue 48 lts/min y se realizó la respectiva conversión para el cálculo de diámetro.

$$Q = 48 \frac{\text{lts}}{\text{min}} \left(\frac{1\text{m}^3}{1000\text{lts}} \right) \left(\frac{60\text{min}}{1\text{h}} \right) = 2.88\text{m}^3/\text{h}$$

- Diámetro de tubería sin riesgo

$$D = 18,8 \left(\sqrt{\frac{2.88\text{m}^3/\text{h}}{(5\text{atm})(8\text{m/s})}} \right) = 5.04\text{mm}$$

- Diámetro de tubería con riesgo del 25%

$$D = 5.04 + (5.04 \times 0.25) = 6.3\text{mm}$$

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que la tubería a utilizar para el ramal secundario que abastece al área de Cirugía de hombres es para tubería tipo K 3/8" y para tubería tipo L 3/8". Sin embargo, por normativa NFPA 99 edición 2018 tabla 5.1.4.1.6., se utiliza un diámetro mínimo de 1/2" para oxígeno.

5.3.1.4. Red Secundaria (Cirugía de mujeres)

El consumo esperado en Cirugía de mujeres fue 38.4 lts/min y se realizó la respectiva conversión para el cálculo de diámetro.

$$Q = 38.4 \frac{\text{lts}}{\text{min}} \left(\frac{1\text{m}^3}{1000\text{lts}} \right) \left(\frac{60\text{min}}{1\text{h}} \right) = 2.30\text{m}^3/\text{h}$$

- Diámetro de tubería sin riesgo

$$D = 18,8 \left(\sqrt{\frac{2.30\text{m}^3/\text{h}}{(5\text{atm})(8\text{m/s})}} \right) = 4.51\text{mm}$$

- Diámetro de tubería con riesgo del 25%

$$D = 4.51 + (4.51 \times 0.25) = 5.64\text{mm}$$

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que la tubería a utilizar para el ramal secundario que abastece al área de Cirugía de mujeres es para tubería tipo K 3/8" y para tubería tipo L 3/8". Sin embargo, por normativa NFPA 99 edición 2018 tabla 5.1.4.1.6., se utiliza un diámetro mínimo de 1/2" para oxígeno.

5.3.1.5. Red Secundaria (Medicina de hombre)

El consumo esperado en Medicina de hombres fue 44.4 lts/min y se realizó la respectiva conversión para el cálculo de diámetro.

$$Q = 44.4 \frac{\text{lts}}{\text{min}} \left(\frac{1\text{m}^3}{1000\text{lts}} \right) \left(\frac{60\text{min}}{1\text{h}} \right) = 2.664\text{m}^3/\text{h}$$

- Diámetro de tubería sin riesgo

$$D = 18,8 \left(\sqrt{\frac{2.66m^3/h}{(5atm)(8m/s)}} \right) = 4.85mm$$

- Diámetro de tubería con riesgo del 25%

$$D = 4.85 + (4.85 \times 0.25) = 6.06mm$$

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que la tubería a utilizar para el ramal secundario que abastece al área de Medicina de hombres es para tubería tipo K 3/8" y para tubería tipo L 3/8". Sin embargo, por normativa NFPA 99 edición 2018 tabla 5.1.4.1.6., se utiliza un diámetro mínimo de 1/2" para oxígeno.

5.3.1.6. Red Secundaria (Medicina de mujeres)

El consumo esperado en Medicina de mujeres fue 51.6 lts/min y se realizó la respectiva conversión para el cálculo de diámetro.

$$Q = 51.6 \frac{lts}{min} \left(\frac{1m^3}{1000lts} \right) \left(\frac{60min}{1h} \right) = 3.096m^3/h$$

- Diámetro de tubería sin riesgo

$$D = 18,8 \left(\sqrt{\frac{3.096m^3/h}{(5atm)(8m/s)}} \right) = 5.23mm$$

- Diámetro de tubería con riesgo del 25%

$$D = 5.23 + (5.23 \times 0.25) = 6.54mm$$

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que la tubería a utilizar para el ramal secundario que abastece al área de Medicina de mujeres es para tubería tipo K 3/8" y para tubería tipo L 3/8". Sin embargo, por normativa NFPA 99 edición 2018 tabla 5.1.4.1.6., se utiliza un diámetro mínimo de 1/2" para oxígeno.

5.3.1.7. Red Secundaria (Nefrología)

El consumo esperado en Nefrología fue 6 lts/min y se realizó la respectiva conversión para el cálculo de diámetro.

$$Q = 6 \frac{\text{lts}}{\text{min}} \left(\frac{1\text{m}^3}{1000\text{lts}} \right) \left(\frac{60\text{min}}{1\text{h}} \right) = 0.36\text{m}^3/\text{h}$$

- Diámetro de tubería sin riesgo

$$D = 18,8 \left(\sqrt{\frac{0.36\text{m}^3/\text{h}}{(5\text{atm})(8\text{m/s})}} \right) = 1.78\text{mm}$$

- Diámetro de tubería con riesgo del 25%

$$D = 1.78 + (1.78 \times 0.25) = 2.23\text{mm}$$

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que la tubería a utilizar para el ramal secundario que abastece al área de Nefrología es para tubería tipo K 3/8" y para tubería tipo L 3/8". Sin embargo, por normativa NFPA 99 edición 2018 tabla 5.1.4.1.6., se utiliza un diámetro mínimo de 1/2" para oxígeno.

5.3.1.8. Red Secundaria (Hematología)

El consumo esperado en Hematología fue 4.8 lts/min y se realizó la respectiva conversión para el cálculo de diámetro.

$$Q = 4.8 \frac{\text{lts}}{\text{min}} \left(\frac{1\text{m}^3}{1000\text{lts}} \right) \left(\frac{60\text{min}}{1\text{h}} \right) = 0.29\text{m}^3/\text{h}$$

- Diámetro de tubería sin riesgo

$$D = 18,8 \left(\sqrt{\frac{0.29\text{m}^3/\text{h}}{(5\text{atm})(8\text{m/s})}} \right) = 1.6\text{mm}$$

- Diámetro de tubería con riesgo del 25%

$$D = 1.6 + (1.6 \times 0.25) = 5\text{mm}$$

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que la tubería a utilizar para el ramal secundario que abastece al área de Hematología es para tubería tipo K 3/8" y para tubería tipo L 3/8". Sin embargo, por normativa NFPA 99 edición 2018 tabla 5.1.4.1.6., se utiliza un diámetro mínimo de 1/2" para oxígeno.

5.3.1.9. Red Secundaria (Maternidad)

El consumo esperado en el área de maternidad fue 12 lts/min y se realizó la respectiva conversión para el cálculo de diámetro.

$$Q = 12 \frac{\text{lts}}{\text{min}} \left(\frac{1\text{m}^3}{1000\text{lts}} \right) \left(\frac{60\text{min}}{1\text{h}} \right) = 0.72\text{m}^3/\text{h}$$

- Diámetro de tubería sin riesgo

$$D = 18,8 \left(\sqrt{\frac{0.72\text{m}^3/\text{h}}{(5\text{atm})(8\text{m/s})}} \right) = 2.52\text{mm}$$

- Diámetro de tubería con riesgo del 25%

$$D = 2.52 + (2.52 \times 0.25) = 3.15\text{mm}$$

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que la tubería a utilizar para el ramal secundario que abastece al área de Maternidad es para tubería tipo K 3/8" y para tubería tipo L 3/8". Sin embargo, por normativa NFPA 99 edición 2018 tabla 5.1.4.1.6., se utiliza un diámetro mínimo de 1/2" para oxígeno.

5.3.1.10. Red Secundaria (Ginecología)

El consumo esperado en Ginecología fue 13.2 lts/min y se realizó la respectiva conversión para el cálculo de diámetro.

$$Q = 13.2 \frac{\text{lts}}{\text{min}} \left(\frac{1\text{m}^3}{1000\text{lts}} \right) \left(\frac{60\text{min}}{1\text{h}} \right) = 0.79\text{m}^3/\text{h}$$

- Diámetro de tubería sin riesgo

$$D = 18,8 \left(\sqrt{\frac{0.79m^3/h}{(5atm)(8m/s)}} \right) = 2.64mm$$

- Diámetro de tubería con riesgo del 25%

$$D = 2.64 + (2.64 \times 0.25) = 3.3mm$$

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que la tubería a utilizar para el ramal secundario que abastece al área de Ginecología es para tubería tipo K 3/8" y para tubería tipo L 3/8". Sin embargo, por normativa NFPA 99 edición 2018 tabla 5.1.4.1.6., se utiliza un diámetro mínimo de 1/2" para oxígeno.

5.3.1.11. Red Secundaria (Pediatria)

El consumo esperado en Pediatría fue 75.6 lts/min y se realizó la respectiva conversión para el cálculo de diámetro.

$$Q = 75.6 \frac{lts}{min} \left(\frac{1m^3}{1000lts} \right) \left(\frac{60min}{1h} \right) = 4.54m^3/h$$

- Diámetro de tubería sin riesgo

$$D = 18,8 \left(\sqrt{\frac{4.54m^3/h}{(5atm)(8m/s)}} \right) = 6.33mm$$

- Diámetro de tubería con riesgo del 25%

$$D = 6.33 + (6.33 \times 0.25) = 7.91mm$$

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que la tubería a utilizar para el ramal secundario que abastece al área de Pediatría es para tubería tipo K 3/8" y para tubería tipo L 3/8". Sin embargo, por normativa NFPA 99 edición 2018 tabla 5.1.4.1.6., se utiliza un diámetro mínimo de 1/2" para oxígeno.

5.3.1.12. Red Secundaria (Neurocirugía y ortopedia pediátrica)

El consumo esperado en Neurocirugía y ortopedia pediátrica fue 8.4 lts/min y se realizó la respectiva conversión para el cálculo de diámetro.

$$Q = 8.4 \frac{\text{lts}}{\text{min}} \left(\frac{1\text{m}^3}{1000\text{lts}} \right) \left(\frac{60\text{min}}{1\text{h}} \right) = 0.50\text{m}^3/\text{h}$$

- Diámetro de tubería sin riesgo

$$D = 18,8 \left(\sqrt{\frac{0.50\text{m}^3/\text{h}}{(5\text{atm})(8\text{m/s})}} \right) = 2.10\text{mm}$$

- Diámetro de tubería con riesgo del 25%

$$D = 2.10 + (2.10 \times 0.25) = 2.63\text{mm}$$

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que la tubería a utilizar para el ramal secundario que abastece al área de Neurocirugía y ortopedia pediátrica es para tubería tipo K 3/8" y para tubería tipo L 3/8". Sin embargo, por normativa NFPA 99 edición 2018 tabla 5.1.4.1.6., se utiliza un diámetro mínimo de 1/2" para oxígeno.

5.3.1.13. Red Secundaria (Oncología pediátrica)

El consumo esperado en Oncología pediátrica fue 18 lts/min y se realizó la respectiva conversión para el cálculo de diámetro.

$$Q = 18 \frac{\text{lts}}{\text{min}} \left(\frac{1\text{m}^3}{1000\text{lts}} \right) \left(\frac{60\text{min}}{1\text{h}} \right) = 1.08\text{m}^3/\text{h}$$

- Diámetro de tubería sin riesgo

$$D = 18,8 \left(\sqrt{\frac{1.08\text{m}^3/\text{h}}{(5\text{atm})(8\text{m/s})}} \right) = 3.09\text{mm}$$

- Diámetro de tubería con riesgo del 25%

$$D = 3.09 + (3.09 \times 0.25) = 3.86\text{mm}$$

Con base en los resultados obtenidos, se determina que la tubería a utilizar para el ramal secundario que abastece al área de Oncología pediátrica es para tubería tipo K 3/8" y para tubería tipo L 3/8". Sin embargo, por normativa NFPA 99 edición 2018 tabla 5.1.4.1.6., se utiliza un diámetro mínimo de 1/2" para oxígeno.

5.3.1.14. Red Secundaria (Emergencia de cirugía adulto)

El consumo esperado en el área de Emergencia de adulto es 32.4 lts/min y se realizó la respectiva conversión para el cálculo de diámetro.

$$Q = 32.4 \frac{\text{lts}}{\text{min}} \left(\frac{1\text{m}^3}{1000\text{lts}} \right) \left(\frac{60\text{min}}{1\text{h}} \right) = 1.94 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Diámetro de tubería sin riesgo

$$D = 18,8 \left(\sqrt{\frac{1.94\text{m}^3/\text{h}}{(5\text{atm})(8\text{m/s})}} \right) = 4.14\text{mm}$$

- Diámetro de tubería con riesgo del 25%

$$D = 4.14 + (4.14 \times 0.25) = 5.18\text{mm}$$

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que la tubería a utilizar para el ramal secundario que abastece al área de Emergencia para adultos es para tubería tipo K 3/8" y para tubería tipo L 3/8". Sin embargo, por normativa NFPA 99 edición 2018 tabla 5.1.4.1.6., se utiliza un diámetro mínimo de 1/2" para oxígeno.

5.3.1.15. Red Secundaria (UCIP)

El consumo esperado en UCIP fue 240 lts/min y se realizó la respectiva conversión para el cálculo de diámetro.

$$Q = 240 \frac{\text{lts}}{\text{min}} \left(\frac{1\text{m}^3}{1000\text{lts}} \right) \left(\frac{60\text{min}}{1\text{h}} \right) = 14.4\text{m}^3/\text{h}$$

- Diámetro de tubería sin riesgo

$$D = 18,8 \left(\sqrt{\frac{14.4m^3/h}{(5atm)(8m/s)}} \right) = 11.28mm$$

- Diámetro de tubería con riesgo del 25%

$$D = 11.28 + (11.28 \times 0.25) = 14.1mm$$

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que la tubería a utilizar para el ramal secundario que abastece al área de UCIP es para tubería tipo K 3/4" y para tubería tipo L 3/4".

5.3.1.16. Red Secundaria (Observación UCIP)

El consumo esperado en el área de Observación UCIP es 22.8 lts/min y se realizó la respectiva conversión para el cálculo de diámetro.

$$Q = 22.8 \frac{lts}{min} \left(\frac{1m^3}{1000lts} \right) \left(\frac{60min}{1h} \right) = 1.36m^3/h$$

- Diámetro de tubería sin riesgo

$$D = 18,8 \left(\sqrt{\frac{1.36m^3/h}{(5atm)(8m/s)}} \right) = 3.47mm$$

- Diámetro de tubería con riesgo del 25%

$$D = 3.47 + (3.47 \times 0.25) = 4.34mm$$

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que la tubería a utilizar para el ramal secundario que abastece al área de Maternidad es para tubería tipo K 3/8" y para tubería tipo L 3/8". Sin embargo, por normativa NFPA 99 edición 2018 tabla 5.1.4.1.6., se utiliza un diámetro mínimo de 1/2" para oxígeno.

5.3.1.17. Red Secundaria (Emergencia pediátrica)

El consumo esperado en Emergencia pediátrica fue 7.2 lts/min y se realizó la respectiva conversión para el cálculo de diámetro.

$$Q = 7.2 \frac{lbs}{min} \left(\frac{1m^3}{1000lbs} \right) \left(\frac{60min}{1h} \right) = 0.43m^3/h$$

- Diámetro de tubería sin riesgo

$$D = 18,8 \left(\sqrt{\frac{0.43m^3/h}{(5atm)(8m/s)}} \right) = 1.95mm$$

- Diámetro de tubería con riesgo del 25%

$$D = 1.95 + (1.95 \times 0.25) = 2.44mm$$

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que la tubería a utilizar para el ramal secundario que abastece al área de Emergencia pediátrica es para tubería tipo K 3/8" y para tubería tipo L 3/8". Sin embargo, por normativa NFPA 99 edición 2018 tabla 5.1.4.1.6., se utiliza un diámetro mínimo de 1/2" para oxígeno.

5.3.1.18. Red Secundaria (UCIN (A y B))

El consumo esperado en UCIN fue 1,040 lbs/min y se realizó la respectiva conversión para el cálculo de diámetro.

$$Q = 1,040 \frac{lbs}{min} \left(\frac{1m^3}{1000lbs} \right) \left(\frac{60min}{1h} \right) = 62.4m^3/h$$

- Diámetro de tubería sin riesgo

$$D = 18,8 \left(\sqrt{\frac{62.4m^3/h}{(5atm)(8m/s)}} \right) = 23.48mm$$

- Diámetro de tubería con riesgo del 25%

$$D = 23.48 + (23.48 \times 0.25) = 29.35mm$$

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que la tubería a utilizar para el ramal secundario que abastece al área de UCIN es para tubería tipo K de 1 1/4" y para tubería tipo L de 1 1/4".

5.3.1.19. Red Secundaria (Medicina Interna)

El consumo esperado en el área de Medicina Interna fue 40.8 lts/min y se realizó la respectiva conversión para el cálculo de diámetro.

$$Q = 40.8 \frac{\text{lts}}{\text{min}} \left(\frac{1\text{m}^3}{1000\text{lts}} \right) \left(\frac{60\text{min}}{1\text{h}} \right) = 2.44 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Diámetro de tubería sin riesgo

$$D = 18,8 \left(\sqrt{\frac{2.44\text{m}^3/\text{h}}{(5\text{atm})(8\text{m/s})}} \right) = 4.64\text{mm}$$

- Diámetro de tubería con riesgo del 25%

$$D = 4.64 + (4.64 \times 0.25) = 5.8\text{mm}$$

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que la tubería a utilizar para el ramal secundario que abastece al área de Medicina Interna es para tubería tipo K 3/8" y para tubería tipo L 3/8". Sin embargo, por normativa NFPA 99 edición 2018 tabla 5.1.4.1.6., se utiliza un diámetro mínimo de 1/2" para oxígeno.

5.3.1.20. Red Secundaria (URPA)

El consumo esperado en URPA fue 12 lts/min y se realizó la respectiva conversión para el cálculo de diámetro.

$$Q = 12 \frac{\text{lts}}{\text{min}} \left(\frac{1\text{m}^3}{1000\text{lts}} \right) \left(\frac{60\text{min}}{1\text{h}} \right) = 0.72\text{m}^3/\text{h}$$

- Diámetro de tubería sin riesgo

$$D = 18,8 \left(\sqrt{\frac{0.72\text{m}^3/\text{h}}{(5\text{atm})(8\text{m/s})}} \right) = 2.52\text{mm}$$

- Diámetro de tubería con riesgo del 25%

$$D = 2.52 + (2.52 \times 0.25) = 3.15mm$$

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que la tubería a utilizar para el ramal secundario que abastece al área de URPA es para tubería tipo K 3/8" y para tubería tipo L 3/8". Sin embargo, por normativa NFPA 99 edición 2018 tabla 5.1.4.1.6., se utiliza un diámetro mínimo de 1/2" para oxígeno.

5.3.1.21. Red Secundaria (UCIA)

El consumo esperado en UCIA es 250 lts/min y se realizó la respectiva conversión para el cálculo de diámetro.

$$Q = 250 \frac{lts}{min} \left(\frac{1m^3}{1000lts} \right) \left(\frac{60min}{1h} \right) = 15m^3/h$$

- Diámetro de tubería sin riesgo

$$D = 18,8 \left(\sqrt{\frac{15m^3/h}{(5atm)(8m/s)}} \right) = 11.51mm$$

- Diámetro de tubería con riesgo del 25%

$$D = 11.51 + (11.51 \times 0.25) = 14.39mm$$

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que la tubería a utilizar para el ramal secundario que abastece al área de UCIA es para tubería tipo K 3/4" y para tubería tipo L 3/4".

5.3.2 VACÍO

Para el vacío, las variables a utilizar en el cálculo del diámetro de tubería son la velocidad con un valor de 100m/s y la presión de 1 atm tanto para red troncal como para red secundaria.

5.3.2.1. Red Troncal

Para el cálculo de diámetro en la red troncal se utilizó el consumo teórico total de vacío para el caudal, este fue de 3,148 lts/min y se convirtió a m^3/h .

$$Q = 3,148 \frac{lbs}{min} \left(\frac{1m^3}{1000lbs} \right) \left(\frac{60min}{1h} \right) = 188.88m^3/h$$

- Diámetro de tubería sin riesgo

$$D = 18,8 \left(\sqrt{\frac{188.88m^3/h}{(1atm)(100m/s)}} \right) = 25.84mm$$

- Diámetro de tubería con riesgo del 25%

$$D = 25.84 + (25.84 \times 0.25) = 32.3mm$$

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que el diámetro de la tubería a utilizar es para tubería tipo K 1 ½" y para tubería tipo L 1 ½".

5.3.2.2. Red secundaria (Sala de operaciones)

En el caso de la red secundaria, se utilizó el consumo esperado en cada área y se realizó el cálculo de igual manera. En quirófanos, este consumo esperado para oxígeno fue de 1,232 lbs/min.

$$Q = 1,232 \frac{lbs}{min} \left(\frac{1m^3}{1000lbs} \right) \left(\frac{60min}{1h} \right) = 73.92m^3/h$$

- Diámetro de tubería sin riesgo

$$D = 18,8 \left(\sqrt{\frac{73.92m^3/h}{(1atm)(100m/s)}} \right) = 16.16mm$$

- Diámetro de tubería con riesgo del 25%

$$D = 16.16 + (16.16 \times 0.25) = 20.2mm$$

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que la tubería a utilizar para el ramal secundario del área de Sala de Operaciones fue para tubería tipo K 1" y para tubería tipo L 1".

5.3.2.3. Red secundaria (Cirugía de hombre)

El consumo esperado en Cirugía de hombre fue 15 lbs/min y se realizó la respectiva conversión para el cálculo de diámetro.

$$Q = 15 \frac{lbs}{min} \left(\frac{1m^3}{1000lbs} \right) \left(\frac{60min}{1h} \right) = 0.9m^3/h$$

- Diámetro de tubería sin riesgo

$$D = 18,8 \left(\sqrt{\frac{0.9m^3/h}{(1atm)(100m/s)}} \right) = 1.78mm$$

- Diámetro de tubería con riesgo del 25%

$$D = 1.78 + (1.78 \times 0.25) = 2.23mm$$

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que la tubería a utilizar para el ramal secundario del área de Cirugía de hombre es para tubería tipo K 3/8" y para tubería tipo L 3/8". Sin embargo, por normativa NFPA 99 edición 2018 tabla 5.1.4.1.6., se utilizó un diámetro mínimo de 3/4" para vacío.

5.3.2.4. Red secundaria (Medicina de hombre)

El consumo esperado en Medicina de hombre fue 16.5 lbs/min y se realizó la respectiva conversión para el cálculo de diámetro.

$$Q = 16.5 \frac{lbs}{min} \left(\frac{1m^3}{1000lbs} \right) \left(\frac{60min}{1h} \right) = 0.99m^3/h$$

- Diámetro de tubería sin riesgo

$$D = 18,8 \left(\sqrt{\frac{0.99m^3/h}{(1atm)(100m/s)}} \right) = 1.87mm$$

- Diámetro de tubería con riesgo del 25%

$$D = 1.87 + (1.87 \times 0.25) = 2.34mm$$

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que la tubería a utilizar para el ramal secundario del área de Medicina de hombre fue para tubería tipo K 3/8" y para tubería tipo L 3/8". Sin embargo, por normativa NFPA 99 edición 2018 tabla 5.1.4.1.6., se utiliza un diámetro mínimo de 3/4" para vacío.

5.3.2.5. Red secundaria (Medicina de mujeres)

El consumo esperado en Medicina de mujeres fue 16.5 lts/min y se realizó la respectiva conversión para el cálculo de diámetro.

$$Q = 16.5 \frac{\text{lts}}{\text{min}} \left(\frac{1\text{m}^3}{1000\text{lts}} \right) \left(\frac{60\text{min}}{1\text{h}} \right) = 0.99\text{m}^3/\text{h}$$

- Diámetro de tubería sin riesgo

$$D = 18,8 \left(\sqrt{\frac{0.99\text{m}^3/\text{h}}{(1\text{atm})(100\text{m}/\text{s})}} \right) = 1.87\text{mm}$$

- Diámetro de tubería con riesgo del 25%

$$D = 1.87 + (1.87 \times 0.25) = 2.34\text{mm}$$

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que la tubería a utilizar para el ramal secundario del área de Medicina de mujeres fue para tubería tipo K 3/8" y para tubería tipo L 3/8". Sin embargo, por normativa NFPA 99 edición 2018 tabla 5.1.4.1.6., se utiliza un diámetro mínimo de 3/4" para vacío.

5.3.2.6. Red secundaria (Pediatria)

El consumo esperado en Pediatría de hombre fue 9 lts/min y se realizó la respectiva conversión para el cálculo de diámetro.

$$Q = 9 \frac{\text{lts}}{\text{min}} \left(\frac{1\text{m}^3}{1000\text{lts}} \right) \left(\frac{60\text{min}}{1\text{h}} \right) = 0.54\text{m}^3/\text{h}$$

- Diámetro de tubería sin riesgo

$$D = 18,8 \left(\sqrt{\frac{0.54\text{m}^3/\text{h}}{(1\text{atm})(100\text{m}/\text{s})}} \right) = 1.38\text{mm}$$

- Diámetro de tubería con riesgo del 25%

$$D = 1.38 + (1.38 \times 0.25) = 1.73\text{mm}$$

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que la tubería a utilizar para el ramal secundario del área de Pediatría fue para tubería tipo K 3/8" y para tubería tipo L 3/8". Sin embargo, por normativa NFPA 99 edición 2018 tabla 5.1.4.1.6., se utiliza un diámetro mínimo de 3/4" para vacío.

5.3.2.7. Red secundaria (Neurocirugía y ortopedia pediátrica)

El consumo esperado en Neurocirugía y ortopedia pediátrica de hombre fue 10.5 lts/min y se realizó la respectiva conversión para el cálculo de diámetro.

$$Q = 10.5 \frac{\text{lts}}{\text{min}} \left(\frac{1\text{m}^3}{1000\text{lts}} \right) \left(\frac{60\text{min}}{1\text{h}} \right) = 0.63\text{m}^3/\text{h}$$

- Diámetro de tubería sin riesgo

$$D = 18,8 \left(\sqrt{\frac{0.63\text{m}^3/\text{h}}{(1\text{atm})(100\text{m/s})}} \right) = 1.49\text{mm}$$

- Diámetro de tubería con riesgo del 25%

$$D = 1.49 + (1.49 \times 0.25) = 1.86\text{mm}$$

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que la tubería a utilizar para el ramal secundario del área de Neurocirugía y ortopedia pediátrica es para tubería tipo K 3/8" y para tubería tipo L 3/8". Sin embargo, por normativa NFPA 99 edición 2018 tabla 5.1.4.1.6., se utiliza un diámetro mínimo de 3/4" para vacío.

5.3.2.8. Red secundaria (Oncología pediátrica)

El consumo esperado en Oncología pediátrica de hombre fue 22.5 lts/min y se realizó la respectiva conversión para el cálculo de diámetro.

$$Q = 22.5 \frac{\text{lts}}{\text{min}} \left(\frac{1\text{m}^3}{1000\text{lts}} \right) \left(\frac{60\text{min}}{1\text{h}} \right) = 1.35\text{m}^3/\text{h}$$

- Diámetro de tubería sin riesgo

$$D = 18,8 \left(\sqrt{\frac{1.35m^3/h}{(1atm)(100m/s)}} \right) = 2.18mm$$

- Diámetro de tubería con riesgo del 25%

$$D = 2.18 + (2.18 \times 0.25) = 2.73mm$$

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que la tubería a utilizar para el ramal secundario del área de Oncología pediátrica es para tubería tipo K 3/8" y para tubería tipo L 3/8". Sin embargo, por normativa NFPA 99 edición 2018 tabla 5.1.4.1.6., se utiliza un diámetro mínimo de 3/4" para vacío.

5.3.2.9. Red secundaria (Emergencia de cirugía adulto)

El consumo esperado en Emergencia de cirugía adulto fue 40.5 lts/min y se realizó la respectiva conversión para el cálculo de diámetro.

$$Q = 40.5 \frac{lts}{min} \left(\frac{1m^3}{1000lts} \right) \left(\frac{60min}{1h} \right) = 2.43m^3/h$$

- Diámetro de tubería sin riesgo

$$D = 18,8 \left(\sqrt{\frac{2.43m^3/h}{(1atm)(100m/s)}} \right) = 2.93mm$$

- Diámetro de tubería con riesgo del 25%

$$D = 2.93 + (2.93 \times 0.25) = 3.66mm$$

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que la tubería a utilizar para el ramal secundario del área de Emergencia de cirugía adulto fue para tubería tipo K 3/8" y para tubería tipo L 3/8". Sin embargo, por normativa NFPA 99 edición 2018 tabla 5.1.4.1.6., se utiliza un diámetro mínimo de 3/4" para vacío.

5.3.2.10. Red secundaria (UCIP)

El consumo esperado en UCIP fue 50.4 lts/min y se realizó la respectiva conversión para el cálculo de diámetro.

$$Q = 50.4 \frac{\text{lts}}{\text{min}} \left(\frac{1\text{m}^3}{1000\text{lts}} \right) \left(\frac{60\text{min}}{1\text{h}} \right) = 3.02\text{m}^3/\text{h}$$

- Diámetro de tubería sin riesgo

$$D = 18,8 \left(\sqrt{\frac{3.02\text{m}^3/\text{h}}{(1\text{atm})(100\text{m}/\text{s})}} \right) = 3.27\text{mm}$$

- Diámetro de tubería con riesgo del 25%

$$D = 3.27 + (3.27 \times 0.25) = 4.09\text{mm}$$

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que la tubería a utilizar para el ramal secundario del área de UCIP es para tubería tipo K 3/8" y para tubería tipo L 3/8". Sin embargo, por normativa NFPA 99 edición 2018 tabla 5.1.4.1.6., se utiliza un diámetro mínimo de 3/4" para vacío.

5.3.2.11. Red secundaria (Observación UCIP)

El consumo esperado en Observación fue 19.5 lts/min y se realizó la respectiva conversión para el cálculo de diámetro.

$$Q = 19.5 \frac{\text{lts}}{\text{min}} \left(\frac{1\text{m}^3}{1000\text{lts}} \right) \left(\frac{60\text{min}}{1\text{h}} \right) = 1.17\text{m}^3/\text{h}$$

- Diámetro de tubería sin riesgo

$$D = 18,8 \left(\sqrt{\frac{1.17 \text{m}^3/\text{h}}{(1\text{atm})(100\text{m}/\text{s})}} \right) = 2.03\text{mm}$$

- Diámetro de tubería con riesgo del 25%

$$D = 2.03 + (2.03 \times 0.25) = 2.54\text{mm}$$

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que la tubería a utilizar para el ramal secundario del área de Observación es para tubería tipo K 3/8" y para tubería tipo L 3/8". Sin embargo, por normativa NFPA 99 edición 2018 tabla 5.1.4.1.6., se utiliza un diámetro mínimo de 3/4" para vacío.

5.3.2.12. Red secundaria (Emergencia pediátrica)

El consumo esperado en Emergencia pediátrica fue 15 lts/min y se realizó la respectiva conversión para el cálculo de diámetro.

$$Q = 15 \frac{\text{lts}}{\text{min}} \left(\frac{1\text{m}^3}{1000\text{lts}} \right) \left(\frac{60\text{min}}{1\text{h}} \right) = 0.9\text{m}^3/\text{h}$$

- Diámetro de tubería sin riesgo

$$D = 18,8 \left(\sqrt{\frac{0.9\text{m}^3/\text{h}}{(1\text{atm})(100\text{m/s})}} \right) = 1.78\text{mm}$$

- Diámetro de tubería con riesgo del 25%

$$D = 1.78 + (1.78 \times 0.25) = 2.23\text{mm}$$

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que la tubería a utilizar para el ramal secundario del área de Emergencia pediátrica fue para tubería tipo K 3/8" y para tubería tipo L 3/8". Sin embargo, por normativa NFPA 99 edición 2018 tabla 5.1.4.1.6., se utiliza un diámetro mínimo de 3/4" para vacío.

5.3.2.13. Red secundaria (UCIN (A y B))

El consumo esperado en UCIN fue 195 lts/min y se realizó la respectiva conversión para el cálculo de diámetro.

$$Q = 195 \frac{\text{lts}}{\text{min}} \left(\frac{1\text{m}^3}{1000\text{lts}} \right) \left(\frac{60\text{min}}{1\text{h}} \right) = 11.7\text{m}^3/\text{h}$$

- Diámetro de tubería sin riesgo

$$D = 18,8 \left(\sqrt{\frac{11.7\text{m}^3/\text{h}}{(1\text{atm})(100\text{m/s})}} \right) = 6.43\text{mm}$$

- Diámetro de tubería con riesgo del 25%

$$D = 6.43 + (6.43 \times 0.25) = 8.04mm$$

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que la tubería a utilizar para el ramal secundario del área de UCIN fue para tubería tipo K 3/8" y para tubería tipo L 3/8". Sin embargo, por normativa NFPA 99 edición 2018 tabla 5.1.4.1.6., se utiliza un diámetro mínimo de 3/4" para vacío.

5.3.2.14. Red secundaria (Medicina Interna)

El consumo esperado en Medicina Interna fue 51 lts/min y se realizó la respectiva conversión para el cálculo de diámetro.

$$Q = 51 \frac{lbs}{min} \left(\frac{1m^3}{1000lbs} \right) \left(\frac{60min}{1h} \right) = 3.06m^3/h$$

- Diámetro de tubería sin riesgo

$$D = 18,8 \left(\sqrt{\frac{3.06m^3/h}{(1atm)(100m/s)}} \right) = 3.29mm$$

- Diámetro de tubería con riesgo del 25%

$$D = 3.29 + (3.29 \times 0.25) = 4.11mm$$

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que la tubería a utilizar para el ramal secundario del área de Medicina Interna fue para tubería tipo K 3/8" y para tubería tipo L 3/8". Sin embargo, por normativa NFPA 99 edición 2018 tabla 5.1.4.1.6., se utiliza un diámetro mínimo de 3/4" para vacío.

5.3.2.15. Red secundaria (URPA)

El consumo esperado en URPA fue 15 lts/min y se realizó la respectiva conversión para el cálculo de diámetro.

$$Q = 15 \frac{lbs}{min} \left(\frac{1m^3}{1000lbs} \right) \left(\frac{60min}{1h} \right) = 0.9m^3/h$$

- Diámetro de tubería sin riesgo

$$D = 18,8 \left(\sqrt{\frac{0.9m^3/h}{(1atm)(100m/s)}} \right) = 1.78mm$$

- Diámetro de tubería con riesgo del 25%

$$D = 1.78 + (1.78 \times 0.25) = 2.23mm$$

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que la tubería a utilizar para el ramal secundario del área de URPA fue para tubería tipo K 3/8" y para tubería tipo L 3/8". Sin embargo, por normativa NFPA 99 edición 2018 tabla 5.1.4.1.6., se utiliza un diámetro mínimo de 3/4" para vacío.

5.3.2.16. Red secundaria (UCIA)

El consumo esperado en UCIA fue 42 lts/min y se realizó la respectiva conversión para el cálculo de diámetro.

$$Q = 42 \frac{lts}{min} \left(\frac{1m^3}{1000lts} \right) \left(\frac{60min}{1h} \right) = 26.88m^3/h$$

- Diámetro de tubería sin riesgo

$$D = 18,8 \left(\sqrt{\frac{26.88m^3/h}{(1atm)(100m/s)}} \right) = 9.75mm$$

- Diámetro de tubería con riesgo del 25%

$$D = 9.75 + (9.75 \times 0.25) = 12.19mm$$

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que la tubería a utilizar para el ramal secundario del área de UCIA es para tubería tipo K 1/2" y para tubería tipo L 1/2". Sin embargo, por normativa NFPA 99 edición 2018 tabla 5.1.4.1.6., se utiliza un diámetro mínimo de 3/4" para vacío.

5.3.3 AIRE MEDICINAL

Para el aire medicinal, las variables a utilizar en el cálculo del diámetro de tubería fueron la velocidad con un valor de 8m/s y la presión de 5 atm tanto para red troncal como para red secundaria.

5.3.3.1. Red Troncal

Para el cálculo de diámetro en la red troncal se utilizó el consumo teórico total de aire medicinal para el caudal, este fue de 1,260 lts/min y se convirtió a m^3/h .

$$Q = 1,260 \frac{\text{lts}}{\text{min}} \left(\frac{1m^3}{1000\text{lts}} \right) \left(\frac{60\text{min}}{1h} \right) = 75.6m^3/h$$

- Diámetro de tubería sin riesgo

$$D = 18,8 \left(\sqrt{\frac{75.6m^3/h}{(5\text{atm})(8m/s)}} \right) = 25.85mm$$

- Diámetro de tubería con riesgo del 25%

$$D = 25.85 + (25.85 \times 0.25) = 32.31mm$$

Con base en los resultados obtenidos, se determinó el diámetro de la tubería a utilizar es para tubería tipo K 1 1/2" y para tubería tipo L 1 1/2".

5.3.3.2. Red secundaria (Sala de Operaciones)

En el caso de la red secundaria, se utilizó el consumo esperado en cada área y se realizó el cálculo de igual manera. En sala de operaciones, este consumo esperado para aire medicinal es de 165 lts/min.

$$Q = 165 \frac{\text{lts}}{\text{min}} \left(\frac{1m^3}{1000\text{lts}} \right) \left(\frac{60\text{min}}{1h} \right) = 9.9m^3/h$$

- Diámetro de tubería sin riesgo

$$D = 18,8 \left(\sqrt{\frac{9.9m^3/h}{(5\text{atm})(8m/s)}} \right) = 9.35mm$$

- Diámetro de tubería con riesgo del 25%

$$D = 9.35 + (9.35 \times 0.25) = 11.69mm$$

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que la tubería a utilizar para el ramal secundario que abastece al área de Quirófanos fue para tubería tipo K 3/4" y para tubería tipo L 3/4". Sin embargo, por normativa NFPA 99 edición 2018 tabla 5.1.4.1.6., se utiliza un diámetro mínimo de 1/2" para aire medicinal.

5.3.3.3. Red secundaria (UCIP)

El consumo esperado en UCIP es 144 lts/min y se realizó la respectiva conversión para el cálculo de diámetro.

$$Q = 144 \frac{lts}{min} \left(\frac{1m^3}{1000lts} \right) \left(\frac{60min}{1h} \right) = 8.64m^3/h$$

- Diámetro de tubería sin riesgo

$$D = 18,8 \left(\sqrt{\frac{8.64m^3/h}{(5atm)(8m/s)}} \right) = 8.74mm$$

- Diámetro de tubería con riesgo del 25%

$$D = 8.74 + (8.74 \times 0.25) = 10.93mm$$

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que la tubería a utilizar para el ramal secundario del área de UCIP es para tubería tipo K 1/2" y para tubería tipo L 1/2".

5.3.3.4. Red secundaria (UCIN)

El consumo esperado en UCIN es 273 lts/min y se realizó la respectiva conversión para el cálculo de diámetro.

$$Q = 273 \frac{lts}{min} \left(\frac{1m^3}{1000lts} \right) \left(\frac{60min}{1h} \right) = 16.38m^3/h$$

- Diámetro de tubería sin riesgo

$$D = 18,8 \left(\sqrt{\frac{16.38m^3/h}{(5atm)(8m/s)}} \right) = 12.03mm$$

- Diámetro de tubería con riesgo del 25%

$$D = 12.03 + (12.03 \times 0.25) = 15.04mm$$

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que la tubería a utilizar para el ramal secundario del área de UCIN fue de tubería tipo K 3/4" y de tubería tipo L 3/4". Sin embargo, por normativa NFPA 99 edición 2018 tabla 5.1.4.1.6., se utiliza un diámetro mínimo de 1/2" para aire medicinal.

5.3.3.5. Red secundaria (UCIA)

El consumo esperado en UCIA es 240 lts/min y se realiza la respectiva conversión para el cálculo de diámetro.

$$Q = 240 \frac{lts}{min} \left(\frac{1m^3}{1000lts} \right) \left(\frac{60min}{1h} \right) = 14.4m^3/h$$

- Diámetro de tubería sin riesgo

$$D = 18,8 \left(\sqrt{\frac{14.4m^3/h}{(5atm)(8m/s)}} \right) = 11.28mm$$

- Diámetro de tubería con riesgo del 25%

$$D = 11.28 + (11.28 \times 0.25) = 14.1mm$$

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que la tubería a utilizar para el ramal secundario del área de UCIA fue de tubería tipo K 3/4" y de tubería tipo L 3/4". Sin embargo, por normativa NFPA 99 edición 2018 tabla 5.1.4.1.6., se utiliza un diámetro mínimo de 1/2" para aire medicinal.

5.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA GASES MEDICINALES

Se evaluaron las características de instalaciones de almacenamiento para fuentes y distribución de gases medicinales del HMCR para determinar el cumplimiento normativo de las mismas en el establecimiento de salud. Para esto se tomaron en consideración las tomas de gases medicinales, los sistemas de alarma, las tuberías, los sistemas de respaldo y las válvulas del sistema.

5.4.1 TOMAS DE GASES MEDICINALES

El HMCR cuenta con tomas de gases medicinales de tipo DISS para todos los gases, cada una de estas salidas debidamente identificadas con los colores de cada gas (Ilustración 5). Estos conectores DISS, como lo indica la NFPA 99, cumplen con el sistema de seguridad de índice de diámetro CGA V-5 lo cual los hace aptos para ser utilizados en el sistema de gases medicinales.



Ilustración 5 Tomas de gases medicinales.

Fuente: (Autoría propia, 2023)

5.4.2 SISTEMAS DE ALARMA

Los paneles locales de alarma son sumamente importantes en cada área donde se suministren los gases medicinales para mostrar las presiones de gas e indicar cuando esta es alta o baja. La colocación de estos indicadores de alarma debe ser fácilmente visibles para el personal y se debe evitar que se oculten por avisos, pantallas, entre otras cosas. En el HMCR se cumple con lo establecido por la normativa, los paneles se encuentran bien ubicados en cada

área y funcionan correctamente indicando la condición de presiones de cada gas medicinal.
(Ilustración 6)



Ilustración 6 Panel de alarma local de gases medicinales.

Fuente: (Autoría propia, 2023)

Además, se cuenta con una alarma maestra que es sumamente necesaria para monitorear las presiones de las fuentes en un mismo panel. Esta cuenta con indicadores de luz según el estado y se encuentra correctamente ubicado para ser de fácil visualización para el personal encargado de su monitoreo. (Ilustración 7)



Ilustración 7 Alarma maestra del HMCR.

Fuente: (Autoría propia, 2023)

5.4.3 TUBERÍAS

Todas las tuberías utilizadas en el sistema de gases medicinales son de cobre, lo cual coincide con la normativa.

La tubería de la red troncal o red principal del sistema de gases medicinales posee un diámetro de 1 1/4" para oxígeno y aire medicinal. Luego, para la red secundaria el diámetro se vuelve de 1/2". En el caso de vacío, en la salida de la fuente la tubería tiene un diámetro de 2" y en la red secundaria se vuelve de 3/4".

Sin embargo, según los cálculos realizados con base en la cantidad total de tomas, la velocidad de flujo, el caudal y la presión de trabajo establecidos por normativa y un riesgo del 25%, el diámetro de tubería a utilizar para la red troncal de oxígeno, aire medicinal y vacío es de mínimo 1 1/2". Por ende, en el caso del vacío si cumple con lo indicado, pero para aire y oxígeno el diámetro de la tubería se debería de considerar el ser un poco más grueso para garantizar un flujo constante y controlado de los gases tomando en cuenta riesgos como ser problemas de presión, obstrucciones o fugas.

En cuanto a las redes secundarias, en oxígeno el diámetro mínimo de 1/2" concuerda con los cálculos realizados y según lo establecido por la normativa NFPA a excepción de la red secundaria que abastece el área de UCIN A y B donde, debido a la demanda, flujos y cantidad de tomas, y a través de los cálculos considerando riesgos se estableció un diámetro mínimo de 1 1/4". Así mismo, a excepción de UCIA y UCIP cuyo diámetro en las tuberías de la red secundaria de ambas áreas debería ser mínimo de 3/4".

El ramal secundario para aire medicinal cumple en su totalidad con lo establecido según normativa, utilizando un diámetro mínimo de 1/2". Finalmente, para vacío, el establecimiento de salud posee tuberías con un diámetro de 3/4" en la red secundaria, y se logró observar que también cumple en su totalidad con este criterio.

Además de los diámetros de las tuberías, se identificó también que estas están debidamente identificadas por colores, siendo el color blanco para vacío, el color amarillo para aire medicinal, el color azul para óxido nitroso y el color verde para oxígeno. (Ilustración 8)



Ilustración 8 Identificación de tuberías de gases medicinales.

Fuente: (Autoría propia, 2023)

El HMCR también cumple los criterios de la NFPA asociados a la soportería de las tuberías, en los cuales se establece las distancias máximas entre soportes de acuerdo con los diámetros de las tuberías (Ilustración 9). Donde para tuberías de media pulgada, se establece una distancia máxima de 6 pies.

Aunque cumpla con esta norma, se recomienda aislar con plástico o neopreno aquellos tramos de tubería donde se pueda llegar a tener un posible contacto metal con metal entre el soporte y la tubería para evitar desgaste, humedad y corrosión. Además, realizar mantenimientos periódicamente e inspecciones de las tuberías, soldadura, codos y demás accesorios



Ilustración 9 Soportería de las tuberías.

Fuente: (Autoría propia, 2023)

5.4.4 SISTEMA DE SUMINISTRO Y RESPALDO

El HMCR cuenta con un tanque criogénico de 6,000 galones como fuente de suministro principal de oxígeno que abastece las diversas áreas del establecimiento de salud. (Ilustración 10)

Este se encuentra al aire libre en un recinto sin pared, cercado con verja y asegurado para mantener un acceso restringido únicamente para personal autorizado. Además, posee letreros de prohibido el paso, prohibido fumar o emplear flamas abiertas, números para llamar en caso de emergencia, entre otros.

El dimensionamiento de la fuente se realizó correctamente ya que, según los cálculos, es necesario un tanque criogénico de 6,000 galones para abastecer la demanda.



Ilustración 10 Tanque criogénico del HMCR.

Fuente: (Autoría propia, 2023)

Además, el establecimiento posee un manifold de respaldo con 2 bancadas de cilindros de oxígeno, 8 cilindros en cada bancada. Ubicado en el mismo recinto que el tanque criogénico, en la parte trasera de este. (Ilustración 11). Cabe resaltar que estos se encuentran ubicados acorde a la normativa, en un espacio con acceso restringido, señalizado y con cadenas para protegerlos de caídas.



Ilustración 11 Manifold de respaldo.

Fuente: (Autoría propia, 2023)

5.4.5 VÁLVULAS DEL SISTEMA Y CAJAS DE CORTE

La norma indica que, por razones de seguridad y operabilidad, el sistema de gases medicinales debe contar con cajas de corte para poder interrumpir el suministro en un área en específico por cualquier eventualidad o requerimiento de servicio técnico.

En el HMCR, se tiene cajas de corte empotradas en la pared y alineadas con la vertical, como se establece por la NFPA. Según la misma, estas se deben encontrar dentro de cajas metálicas con ventanillas removibles que permitan la manipulación manual de las válvulas.

Dentro de las características que deben cumplir por normativa se encuentra la correcta identificación de los tipos de gases con etiquetas visibles, nombre del gas, nombre del área que abastece las válvulas y por protección indicar que no se debe cerrar excepto en caso de emergencia.

Después de lo anterior expuesto, en el HMCR ciertos aspectos mencionados no se llegan a cumplir en algunas de las cajas de corte del establecimiento. Sin embargo, también hay algunas en donde se cumple en su totalidad la correcta identificación, uso de acrílico, señalizada el área a la que suministra, señales de protección, entre otras cosas. (Ilustración 12)



Ilustración 12 Caja de corte de Sala Triage acorde a normativa.

Fuente: (Autoría propia, 2023)

También se tiene el caso donde las cajas de válvulas no poseen el acrílico ni se tiene ningún tipo de señalización con respecto al área a la que abastecen ni la advertencia de cerrar solo en caso de emergencias. (Ilustración 13)



Ilustración 13 Caja de corte no acorde a normativa.

Fuente: (Autoría propia, 2023)

5.5 LISTA DE COTEJO

Se elaboró una lista de verificación de cumplimiento de normativas o lista de cotejo que se basó en diversas categorías como ser el diseño y construcción del sistema de gases, etiquetado e identificación, mantenimiento y pruebas, entre otras cosas. Y se determinaron aquellos criterios que se cumplían y los que no se cumplían para cada tipo de gas, tanto para la normativa NFPA (Tabla 21), como para la FGI (Tabla 22).

Tabla 21. Evaluación de Conformidad con Normativas NFPA 99 y NFPA 55

Criterio	Oxígeno		Aire Med		Vacío	
	Cumple	No cumple	Cumple	No cumple	Cumple	No cumple
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN						
Diseñado para suplir la demanda	X		X		X	
Se han instalado sistemas de detección de incendios y extinción en áreas de almacenamiento de gases medicinales	X		X		X	

Continuación Tabla 21

Criterio	Oxígeno		Aire Med		Vacío	
	Cumple	No cumple	Cumple	No cumple	Cumple	No cumple
Fuentes de suministro ubicadas en área adecuada	X		X		X	
Fuentes de suministro alejadas de fuentes de ignición y sustancias inflamables	X		X		X	
Cuenta con sistema de alerta visual y audible por fallas y presiones incorrectas	X		X		X	
Fuentes de suministro correctamente ventiladas	X		X		X	
Se implementan medidas para prevenir el acceso no autorizado a las fuentes de suministro	X		X		X	
Se respetan las distancias mínimas de separación entre los tanques de almacenamiento y otros equipos o estructuras	X		X		X	
Los materiales utilizados en los sistemas de suministro cumplen con los requisitos	X		X		X	
Instalados con acceso para mover cilindros, equipos, etc., dentro y fuera del lugar	X		X		X	
Si están al aire libre, deben estar provistos de un recinto construido con materiales no combustibles	X		X		X	
Si están al aire libre y tienen más de 18,6 m ² (200 pies ²), deberán contar con un mínimo de dos entradas/salidas	X		X		X	
Si están al aire libre, los sistemas de líquidos criogénicos deben contar con un mínimo de dos entradas/salidas	X		X		X	
Si son interiores, deberán tener acabados interiores de materiales no combustibles o de combustible limitado	X		X		X	

Continuación Tabla 21

ETIQUETADO E IDENTIFICACIÓN				
Tubería identificada por colores según gas	X		X	X
Hay letreros de advertencia para indicar presencia de gases medicinales.	X		X	X
Tomas de gases identificados según gas	X		X	X
GENERALIDADES				
Inventario actualizado de los gases		X	X	X
Almacenamiento y distribución de acuerdo con las normas	X		X	X
Separación de gases medicinales y no medicinales	X		X	X
MANIFOLDS/CILINDROS				
Manifolds claramente identificados con etiquetas y letreros	X		N/A	N/A
Almacenados en posición vertical y sujetos para prevenir caídas	X		N/A	N/A
Las conexiones de los manifolds a los cilindros se realizan de manera adecuada y segura	X		N/A	N/A
Se utilizan válvulas antirretornos para evitar el retroceso de gases a los cilindros	X		N/A	N/A
Se utilizan tapas de protección de válvula de cilindro cuando no están conectados	X		N/A	N/A
Temperatura de almacenamiento adecuada (menor a 52 °C)	X		N/A	N/A
Cilindros con gases comprimidos se mantienen alejados de radiadores, tuberías de vapor y otras fuentes de calor.	X		N/A	N/A

Continuación Tabla 21

MANTENIMIENTO Y PRUEBAS				
Se tiene un registro de las inspecciones, pruebas y mantenimientos		X	X	X
Se lleva a cabo un programa de mantenimiento periódico	X		X	X
Se realizan pruebas de presión y fugas de manera regular	X		X	X
Se realiza una inspección visual regularmente	X		X	X
Antes de su puesta en marcha se ha realizado una prueba de presión y de fugas	X		X	X
Se realizan pruebas de funcionamiento de los equipos para asegurarse que el gas fluye correctamente	X		X	X
Se siguen procedimientos para purgar el sistema antes de cambiar de un gas a otro	X		X	X
CAPACITACIÓN				
Existe un plan de acción en caso de emergencias relacionadas con los gases medicinales		X	X	X
El personal encargado de los sistemas de gases ha recibido capacitación adecuada sobre su uso y seguridad	X		X	X
Se tiene un plan de contingencia en caso de interrupción del suministro de gases medicinales	X		X	X
El personal está capacitado en la manipulación segura de cilindros de gases	X		X	X

Fuente: (Autoría propia, 2023)

Tabla 22 Evaluación de Conformidad con Normativa FGI

Criterio	Oxígeno		Aire Med		Vacío	
	Cumple	No cumple	Cumple	No cumple	Cumple	No cumple
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN						
Las instalaciones de gases medicinales deben estar diseñadas para garantizar un suministro continuo y confiable de acuerdo con la demanda prevista. Esto implica sistemas de reserva y capacidad suficiente para atender las necesidades clínicas sin interrupciones.	X		X		X	
Los sistemas son capaces de detectar cualquier anomalía o fuga.	X		X		X	
Las áreas de suministro se ubican estratégicamente para garantizar un acceso fácil y seguro a los suministros de gases medicinales. Se toma en cuenta la facilidad de mantenimiento, el acceso para reabastecimiento y la seguridad en caso de emergencias.	X		X		X	
Las instalaciones de almacenamiento y suministro de gases medicinales deben estar ubicadas estratégicamente lejos de áreas donde se manejen o almacenen materiales inflamables o fuentes de ignición, como salas de calderas, áreas con equipos eléctricos potencialmente peligrosos, etc.	X		X		X	
Cuenta con sistema de detección de fallas con alerta visual y audible.	X		X		X	
Se implementan sistemas físicos de seguridad, como cerraduras, puertas con acceso restringido, paneles de control con bloqueo, o sistemas de tarjetas de identificación, para restringir el acceso a las áreas donde se encuentran las fuentes de suministro de gases medicinales.	X		X		X	

Continuación Tabla 22

Los materiales utilizados en los sistemas de suministro cumplen con los estándares específicos de la industria.	X	X	X	
El almacenamiento de líquidos criogénicos se realiza en áreas designadas que sean seguras y estan alejadas de zonas de alto tráfico o áreas donde la manipulación pueda representar riesgos para el personal o los pacientes.	X	X	X	
ETIQUETADO E IDENTIFICACIÓN				
Las tuberías se identifican por colores según gas	X	X	X	
Se hace el uso de letreros de advertencia o señales específicas que indican la presencia de gases medicinales.	X	X	X	
Tomas de gases identificados según el suministro de gas.	X	X	X	
GENERALIDADES				
Inventario actualizado de los gases para el control de los gases disponibles del hospital.		X	X	X
Almacenamiento y distribución segura y alejada de materiales inflamables.	X	X	X	
Separación de gases medicinales y gases industriales.	X	X	X	
MANIFOLDS/CILINDROS				
Los manifolds estan claramente etiquetados con información legible que indica el tipo de gas medicinal que suministran, el número de identificación, la presión de funcionamiento, entre otros detalles relevantes.	X	N/A	N/A	
Se almacenan los cilindros de gases medicinales en posición vertical y asegurados para prevenir caídas accidentales que podrían causar daños en el cilindro o provocar fugas.	X	N/A	N/A	

Continuación Tabla 22

Las válvulas antirretorno se instalan en las líneas de suministro para evitar que los gases regresen hacia los cilindros. Esto ayuda a mantener la integridad del suministro y minimiza los riesgos de contaminación o daños en los equipos.	X	N/A	N/A	
Se utilizan tapas de protección de válvula de cilindro cuando no están conectados para evitar fugas del gas.	X	N/A	N/A	
Temperatura de almacenamiento adecuada (menor a 52 °C o 125.6 grados Fahrenheit)	X	N/A	N/A	
Cilindros con gases comprimidos se mantienen alejados de máquinas y fuentes de calor.	X	N/A	N/A	
MANTENIMIENTO Y PRUEBAS				
Se lleva un registro detallado de todas las inspecciones realizadas en los sistemas de gases medicinales, incluyendo fechas, detalles de la inspección, resultados, acciones correctivas tomadas (si corresponde) y la firma del responsable.		X	X	X
Se realiza mantenimiento periódicamente.	X		X	X
Se realizan pruebas de presión y fugas de manera periódica según calendario de mantenimiento.	X	X	X	
Se realizan inspecciones visuales sobre el estado de las instalaciones.	X	X	X	
Se limpia el sistema antes de dar a servicio otro gas.	X	X	X	
CAPACITACIÓN				
Se posee un plan de respaldo a manos de emergencias.		X	X	X
El personal se encuentra debidamente preparado y capacitado.	X	X	X	

Continuación Tabla 22

Se tiene un plan de respaldo en caso del corte de un suministro. (como cilindros o manifold)	X		X	X
El personal toma las medidas adecuadas para la manipulación de los gases.	X	X	X	

Fuente: (Autoría propia, 2023)

Con base en los resultados obtenidos mediante las listas de cotejo, se identificó que las áreas de mejora en los sistemas de gases medicinales actuales del HMCR se basan en la actualización y control de inventarios de los gases, mantener registros de las inspecciones, pruebas y mantenimientos realizados en el sistema de gases, y diseñar un plan de acción en caso de emergencias relacionadas con los gases medicinales.

En general, se puede decir que el sistema de gases medicinales del HMCR cumple en su mayoría con lo establecido en la normativa. De 38 criterios evaluados, el sistema de oxígeno medicinal del establecimiento cumple con 35 (Tabla 23), los 3 restantes se enfocan en lo mencionado anteriormente.

Para el listado de la FGI, se tomaron en consideración 29 criterios (Tabla 24). Donde, el oxígeno cumple con 26, el vacío con 18 y aire médico con 18.

En el caso del vacío y el aire medicinal, no se utilizan cilindros, por lo que solo se evaluaron 31 criterios en total. En ambos casos, se cumplen satisfactoriamente 26 de estos criterios, mientras que los 5 criterios restantes se centran en lo mencionado previamente y en la implementación regular de un programa de mantenimiento.

Tabla 23 Cumplimiento normativo NFPA según gas

	Oxígeno		Vacío		Aire Medicinal	
	Cumple	No cumple	Cumple	No cumple	Cumple	No cumple
Diseño y Construcción	14	0	14	0	14	0
Etiquetado e Identificación	3	0	3	0	3	0
Generalidades	2	1	2	1	2	1
Manifolds/Cilindros	7	0	-	-	-	-
Mantenimiento y Pruebas	6	1	5	2	5	2
Capacitación	3	1	2	2	2	2
TOTAL	35	3	26	5	26	5

Fuente: (Autoría propia, 2023)

Tabla 24 Cumplimiento normativo según guía de FGI

	Oxígeno		Vacío		Aire Medicinal	
	Cumple	No cumple	Cumple	No cumple	Cumple	No cumple
Diseño y Construcción	8	0	8	0	8	0
Etiquetado e Identificación	3	0	3	0	3	0
Generalidades	2	1	2	1	2	1
Manifolds/Cilindros	6	0	-	-	-	-
Mantenimiento y Pruebas	4	1	3	2	3	2
Capacitación	3	1	2	2	2	2
TOTAL	26	3	18	5	18	5

Fuente: (Autoría propia, 2023)

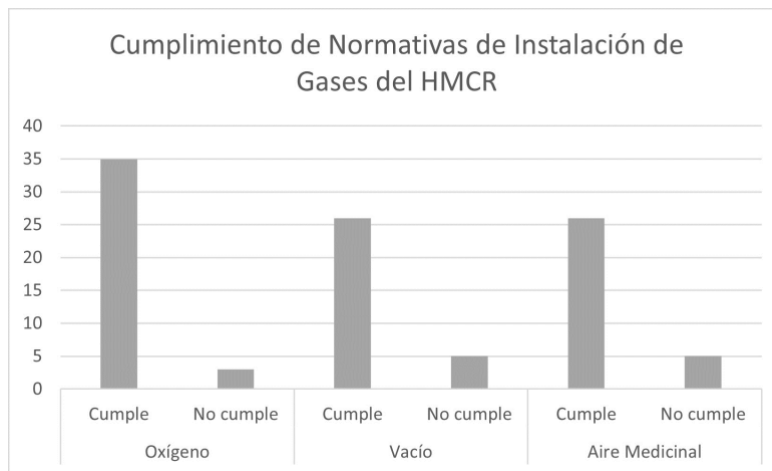


Ilustración 14 Gráfica de Cumplimiento de Normativas de Instalación de Gases del HMCR.

Fuente: (Autoría propia, 2023)

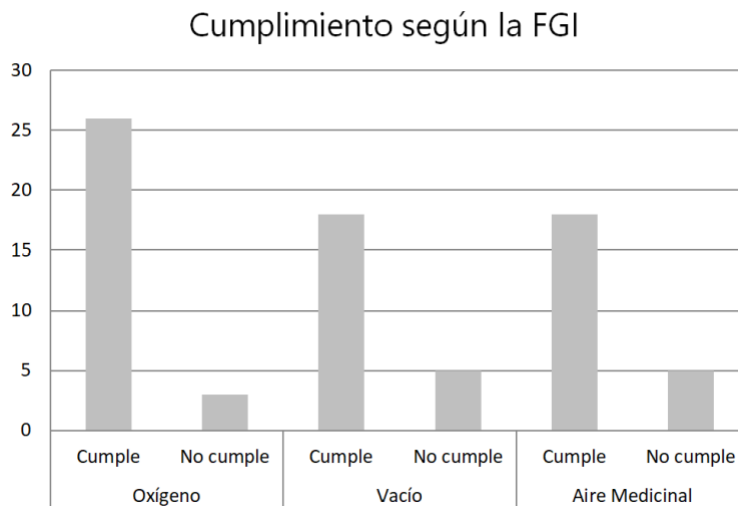


Ilustración 15 Gráfica de Cumplimiento Según FGI en Instalación de Gases del HMCR.

Fuente: (Autoría propia, 2023)

5.6 MÉTRICAS DE EVALUACIÓN

5.6.1. PORCENTAJE DE CUMPLIMIENTO NORMATIVO

En lo que respecta a los criterios establecidos por la NFPA que fueron evaluados en el presente trabajo investigativo, se evaluó la métrica "porcentaje de cumplimiento normativo" por cada gas.

En cuanto al oxígeno medicinal, de 38 criterios evaluados el HMCR cumple con 35. Por lo tanto, el porcentaje de cumplimiento normativo para este gas medicinal es de 92.11% y por tal motivo, el porcentaje de los criterios que no se cumple es de 7.89%.

Por otro lado, el porcentaje de cumplimiento normativo en el aire medicinal es de 68.42%, En este caso, se tuvieron algunos criterios que no se pudieron evaluar debido a que no aplicaban para esas instalaciones. El porcentaje de los criterios que no aplicaban fue de 18.42%, por lo que el porcentaje de criterios que no se cumplieron fue únicamente de 13.16%.

Finalmente, en el caso del sistema de vacío se dio igual que en el aire medicinal. Teniendo a las instalaciones del HMCR cumpliendo con la normativa en un 68.42%, 18.42% de los criterios no aplicaban a estas instalaciones y 13.16% no cumplió con lo establecido en la norma.

5.6.2. PORCENTAJE DE DISTRIBUCIÓN ADECUADA DE LA CANTIDAD DE TOMAS DE GASES

Con respecto a la métrica en relación con la distribución adecuada de la cantidad de tomas de gases, se han evaluado las tomas totales.

Para esto, se toman en cuenta las 475 tomas de oxígeno, las 249 tomas de vacío y 240 tomas de aire médico. Al ser tipo DISS, y el cumplimiento de cantidad de tomas correcto por área, el porcentaje de distribución se revela en un 100%, ya que, del total de 964 tomas, no se encuentran tomas distribuidos de forma inadecuada.

5.6.3. PORCENTAJE DE SISTEMAS DE ALARMAS FUNCIONALES

Todos los paneles de alarma del sistema de gases medicinales del HMCR se encuentran en buen estado físico y funcionales, indicando la presión de cada gas en pantalla. Por lo que, se puede decir que, el porcentaje de alarmas funcionales es del 100%. Sin embargo, solamente se encontraron 4 paneles de alarma en todo el hospital, esto destaca la falta de los mismos en diversas áreas asistenciales.

5.6.4. UBICACIÓN ADECUADA DE PANELES LOCALES DE ALARMA

Esta métrica se relaciona con la efectividad de la ubicación de dichos paneles. Siempre tomando la totalidad de paneles locales, el porcentaje de ubicación adecuada es del 100%, es decir, que no hay paneles situados inadecuadamente. Todos están situados en una ubicación donde le permita al personal de salud la total visualización en todo momento, sin carteles o demás artefactos que los oculten e imposibiliten su visualización.

5.6.5. ALMACENAMIENTO ADECUADO DE FUENTES

El 100% de las fuentes de gases medicinales se encuentran correctamente almacenadas en lugares de poca afluencia de personas, únicamente para personal autorizado, ventilados, y con los requerimientos de señalización debidos.

5.6.6. PORCENTAJE DE TUBERÍAS CORRECTAMENTE IDENTIFICADAS

El 100% de las tuberías se encuentran correctamente identificadas por colores correspondientes a cada gas.

5.6.7. ESTADO Y CALIDAD DE LAS TUBERÍAS

En el caso de las redes de gases principales o primarias, solamente el 33.33% de las tuberías poseen un diámetro que coincide con el valor mínimo requerido según los cálculos. El restante debería ser modificado.

Por otro lado, para la red secundaria de vacío y aire medicinal el 100% de las tuberías del ramal secundario coincide con el mínimo indicado en los cálculos. Mientras que, para el ramal secundario de oxígeno, el 90% coincide y el 10% restante debería ser incrementado.

5.7 LISTADO DE RECOMENDACIONES/ MEJORAS

En la presente sección se expusieron las recomendaciones que fueron dadas con base en las áreas de mejora identificadas, estas enlistadas por orden de prioridad, siendo la primera la de mayor reclamación.

1. Instalación de paneles de alarma locales en las áreas requeridas: Esto es indispensable para tener un control de las presiones por área y alertar al personal de salud cuando hay fallas que puedan perjudicar las terapias o procedimientos de los pacientes.
2. Mantenimiento periódico a las tuberías: Se recomienda realizar los mantenimientos y revisiones requeridas a las tuberías del sistema de gases medicinales del hospital periódicamente para garantizar la correcta distribución de estos.
3. Desarrollo de plan de emergencia: Requerido, en conjunto con una correcta capacitación, para el personal a cargo de los gases medicinales en aquellos casos donde sea necesario realizar de emergencia una interrupción del suministro de gases.
4. Llevar registros actualizados: Es importante mantener un historial de cada prueba, mantenimiento y demás actividades que sean realizadas en el sistema de gases medicinales para tener un respaldo de información en caso de ser necesario.

VI. CONCLUSIONES

1. La evaluación del sistema de gases medicinales en el Hospital Mario Catarino Rivas reveló varias oportunidades para mejorar la seguridad y eficiencia. Según lo establecido en el capítulo 4 de la NFPA 55 y el capítulo 12 de la NFPA 99, se destacó la importancia de mantener actualizado el control de inventarios, llevar registros detallados de inspecciones y mantenimientos, establecer un plan de emergencia eficaz y desarrollar un programa de mantenimiento exhaustivo para el sistema de gases.
2. Se identificó que de las 964 tomas de gases medicinales del Hospital Mario Catarino Rivas cumplen con la normativa vigente NFPA 99. Se observó que, en su mayoría, pertenecen al sistema de conexión tipo DISS, adecuado para un sistema hospitalario según normativa, esto los vuelve aptos para ser utilizados en el sistema de gases del hospital.
3. Tras realizar un diagnóstico exhaustivo del estado actual de las alarmas que monitorean el sistema de gases medicinales en el Hospital Mario Catarino Rivas, se determinó que cumplen con los requerimientos establecidos por la NFPA 99 en la sección 5.1.9. para la alarma maestra y están situadas de manera estratégica siendo visibles y audibles para el personal. En lo que respecta a los paneles de alarma locales se identificó una notable falta de los mismos en áreas indispensables, por lo que es un punto de mejora para el hospital.
4. Mediante la inspección del estado general de las tuberías del sistema de gases medicinales en el Hospital Mario Catarino Rivas, se observó que estas están debidamente identificadas según la NFPA 99 edición 2018 tabla 5.1.11., con diámetros adecuados según tabla 5.1.4.1.6. y soportes en condiciones adecuadas. A pesar de esto, se encontraron signos de desgaste, humedad y corrosión en ciertas secciones que podrían comprometer la integridad y eficiencia del sistema a largo plazo.
5. La evaluación de los sistemas secundarios o alternativos de suministro de gases en el HMCR reveló que el establecimiento de salud ha tomado medidas prudentes y efectivas para garantizar su eficacia en situaciones de fallos del sistema principal. Como fuente principal se tiene un tanque criogénico de 6,000 galones y además cuenta con un

manifold de oxígeno que posee dos bancadas de cilindros de oxígeno, un total de 8 cilindros en cada bancada. Este sistema se encuentra cuidadosamente asegurado mediante cadenas para prevenir caídas accidentales y está ubicado de manera adecuada, con acceso restringido al área correspondiente.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alassafi, H., Al-Gahtani, K. S., & Almohsen, A. S. (2023). Medical Gas Systems Maintainability Risks in Healthcare Facilities: A Design Optimization Approach. *Sustainability*, 15(12), 9204. <https://doi.org/10.3390/su15129204>
2. Aldyth, T., & Darmawan, E. (2019). *Evaluation of Risk Management Implementation in Medical Gas Installation Hospitals with ISO 31000: 2018 Approach*. 378-384. <https://doi.org/10.26911/theicph.2019.04.03>
3. Amor-García, M. Á., Ibáñez-García, S., Díaz-Redondo, A., Herranz Alonso, A., & Sanjurjo Sáez, M. (2018). Estrategia multidisciplinar para reducir errores en el uso de los gases medicinales. *Farmacia Hospitalaria*, 42(3), 103–107. <https://doi.org/10.7399/fh.10920>
4. Bhuvana, R. G., Singh Gour, A., & Ghosh, P. (2022). Experimental investigation of valve driven transient effect in liquid nitrogen pipeline. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1240(1), 012034. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1240/1/012034>
5. Bonetto, S., & Rosen, D. (2020). How to apply NFPA 99 to medical gas, telecommunication systems: Engineers should understand NFPA 99--along with other guidelines and codes--when designing health care facilities. *Consulting Specifying Engineer*, 57(5), 28-36.
6. Brown, A. S. (2020). Chapter 5—Risk management. En A. Taktak, P. S. Ganney, D. Long, & R. G. Axell (Eds.), *Clinical Engineering (Second Edition)* (pp. 49-66). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102694-6.00005-X>
7. Castro Collantes, G. M., & Pacheco Giler, H. A. (2021). Evaluación de factores de riesgos laborales en el Hospital Básico Israel Quintero Paredes del Cantón Paján para mitigar los impactos en el personal. *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional*, 6(12), 16. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i12.3413>
8. Ehrenwerth, J., Eisenkraft, J. B., & Berry, J. M. (2020). *Anesthesia Equipment E-Book: Principles and Applications*. Elsevier Health Sciences.
9. Feldman, J. M., & Lampotang, S. (2022). *Patient Safety and Low-Flow Anesthesia*.
10. Garg, A., & Dewan, A. (2022). *Manual of Hospital Planning and Designing: For Medical Administrators, Architects and Planners*. Springer Nature.

11. Gómez-Chaparro, M., García-Sanz-Calcedo, J., & Armenta Márquez, L. (2018). Analytical Determination of Medical Gases Consumption and Their Impact on Hospital Sustainability. *Sustainability*, *10*(8), 2948. <https://doi.org/10.3390/su10082948>
12. Heller, A. R., Eberlein-Gonska, M., Held, H. C., & Koch, T. (2023). [Systematic risk management for a planned gas shutdown in the high-care facility of a university hospital]. *Die Anaesthesiologie*, *72*(4), 282-292. <https://doi.org/10.1007/s00101-023-01254-8>
13. Iadanza, E. (Ed.). (2020). *Clinical engineering handbook* (Second edition). Academic Press.
14. Jabbari, M., Gholamnia, R., Esmaeili, R., Kouhpaee, H., & Pourtaghi, G. (2021). Risk assessment of fire, explosion and release of toxic gas of Siri-Assalouyeh sour gas pipeline using fuzzy analytical hierarchy process. *Heliyon*, *7*(8), e07835. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07835>
15. Jayathunga, L., & Park, H. (2020). *Safe Quantity of Open Medical Gas Storage in Healthcare Facility Smoke Compartments*.
16. Kar, A. (2021). Gas pipeline error: Time to verify all the terminal central outlets? *Indian Journal of Anaesthesia*, *65*(2), 169. https://doi.org/10.4103/ija.IJA_537_20
17. Kumar, A., Gunnam, P., Jat, B., & Kant, R. (2021). Medical gas pipeline system as a limiting factor for hospital oxygen supply during COVID-19 outbreak. *Indian Journal of Anaesthesia*, *65*(11), 834. https://doi.org/10.4103/ija.ija_683_21
18. Liu, J., Zhai, C., & Yu, P. (2022). A Probabilistic Framework to Evaluate Seismic Resilience of Hospital Buildings Using Bayesian Networks. *Reliability Engineering & System Safety*, *226*, 108644. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2022.108644>
19. Mathew, G., Manjuladevi, M., Joachim, N., & Kothari, A. (2022). Effect of high fresh gas flow and pattern of breathing on rapid preoxygenation. *Indian Journal of Anaesthesia*, *66*(3), 213. https://doi.org/10.4103/ija.ija_340_21
20. Mohanty, C. R., Ahmad, S. R., Bellapukonda, S., & Sahoo, S. (2020). Medical gas pipeline system disruption during tropical cyclone «Fani» – a clear and present danger of tropical cyclones: Are we prepared? *Indian Journal of Anaesthesia*, *64*(5), 439. https://doi.org/10.4103/ija.IJA_67_20

21. Morales López, S., Hershberger del Arenal, R., Acosta Arreguín, E., Morales López, S., Hershberger del Arenal, R., & Acosta Arreguín, E. (2020). Evaluación por competencias: ¿cómo se hace? *Revista de la Facultad de Medicina (México)*, 63(3), 46-56. <https://doi.org/10.22201/fm.24484865e.2019.63.3.08>
22. Ragunathan, A., Periasamy, R., Rathinam, V., & Ganapathy, S. (2021). Management of planned shutdown of medical oxygen pipeline system – A practical experience. *Indian Journal of Anaesthesia*, 65(12), 908. https://doi.org/10.4103/ija.ija_515_21
23. R. Goodman, G. (2020). Chapter 102—Hospital facility safety standards. En E. Iadanza (Ed.), *Clinical Engineering Handbook (Second Edition)* (pp. 728-730). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813467-2.00103-6>
24. Salah, M., Osman, H., & Hosny, O. (2018). Performance-Based Reliability-Centered Maintenance Planning for Hospital Facilities. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 32(1), 04017113. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0001112](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001112)
25. Sampieri, R. H. (2014). *Metodología de la Investigación* (6ta Edición). McGraw-Hill Education.
26. Sarangi, S., Babbar, S., & Taneja, D. (2018). Safety of the medical gas pipeline system. *Journal of Anaesthesiology Clinical Pharmacology*, 34(1), 99. https://doi.org/10.4103/joacp.JOACP_274_16
27. Shaban, A., Abdelwahed, A., Di Gravio, G., Afefy, I. H., & Patriarca, R. (2022). A systems-theoretic hazard analysis for safety-critical medical gas pipeline and oxygen supply systems. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 77, 104782. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2022.104782>
28. Siregar, R. A. (2018). *Legal Protection for Consumers of Nitrogen Gas Users (Case Study of Inefficient Medical Gas)*. 279-281. <https://doi.org/10.2991/iceml-18.2018.61>
29. Soh, Z. H. C., Abdullah, S. A. C., Shafie, M. A., & Ibrahim, M. N. (2019). *Home and Industrial Safety IoT on LPG Gas Leakage Detection and Alert System*. 11(1).
30. Subhan, A. (2021). Review of National Fire Protection Association 99-2018 Health Care Facilities Code, Part IV. *Journal of Clinical Engineering*, 46(3), 104–104. <https://doi.org/10.1097/JCE.0000000000000480>

31. Wood, M. H., Hailwood, M., & Koutelos, K. (2021). Reducing the risk of oxygen-related fires and explosions in hospitals treating Covid-19 patients. *Process Safety and Environmental Protection*, 153, 278-288. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.06.023>
32. Yarandi, M. S., Mahdinia, M., Barazandeh, J., & Soltanzadeh, A. (2021). Evaluation of the toxic effects of ammonia dispersion: Consequence analysis of ammonia leakage in an industrial slaughterhouse. *Medical Gas Research*, 11(1), 24-29. <https://doi.org/10.4103/2045-9912.310056>