

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUMINISTRO DE GASES  
MEDICINALES DE ALTO FLUJO PARA EL ABASTECIMIENTO  
DE 120 CAMAS HOSPITALARIAS EN PANDEMIA EN EL  
HOSPITAL II RAMÓN CASTILLA – LIMA. 2021”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
MECÁNICO**

MARÍN MONTOYA, BRANDON BRUCE

A handwritten signature in black ink, appearing to be "Brandon Bruce".

A handwritten signature in black ink, appearing to be "Juan Carlos Huamán Alfaro".

Callao, 2021  
PERÚ

Juan Carlos Huamán Alfaro

DNI: 40607588

Asesor



## **HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN**

### **MIEMBROS DEL JURADO**

Presidente del jurado : Dr. Juan Manuel Palomino Correa

Secretario : Mg. Carlos Zacarías Díaz Cabrera

Vocal : Mg. Vladimiro Contreras Tito

Suplente : Mg. Teodomiro Santos Flores

Asesor : Mg. Juan Carlos Huamán Alfaro

Nº de Libro : Nº 001

Nº de Folio : Nº 061

Nº de Acta : Nº 035

Fecha de Aprobación de tesis: 16.09.2021

Resolución de Consejo de Facultad: N°019-2021-C.U. del 20 de enero de 2021

## **DEDICATORIA**

Esta tesis está dedicada especialmente a mis padres María E. Montoya D. y Fernando P. Marín S. Por el eterno apoyo incondicional que siempre me han brindado y su comprensión al momento de elegir mi carrera profesional, muchas gracias por acompañarme en cada momento de mi vida.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por todo que ha me brindado en esta vida, en especial una hermosa familia.

# ÍNDICE

<b>ÍNDICE</b>	<b>1</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>4</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b>	<b>6</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>8</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>9</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>10</b>
<b>I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>11</b>
1.1 Descripción de la realidad problemática. ....	11
1.2 Formulación del problema .....	12
1.2.1 Problema General	12
1.2.2 Problemas Específicos	12
1.3 Objetivos .....	12
1.3.1 Objetivo General	12
1.3.2 Objetivos Específicos	13
1.4 Limitantes de la investigación .....	13
1.4.1 Teórico	13
1.4.2 Temporal	13
1.4.3 Espacial	14
<b>II. MARCO TEÓRICO</b>	<b>15</b>
2.1 Antecedentes: Internacional y Nacional.....	15
2.1.1 Antecedentes Internacionales	15
2.1.2 Antecedentes Nacionales	16
2.2 Bases teóricas.....	17
2.2.1 Gases medicinales	17
2.2.2 Tipos de gases medicinales	18
2.2.3 Almacenamiento y producción de gases medicinales	20
2.2.4 Suministro de gases de medicinales en hospitales	23

2.2.5 Red de distribución hidráulica para el suministro de gases medicinales	25
2.2.6 Normas de Diseño de Suministro de Gases Medicinales	32
2.2.7 Conceptos de la mecánica de fluidos en suministro de gases medicinales	35
2.3 Conceptual .....	46
2.4 Definición de términos básicos: .....	47
<b>III.HIPÓTESIS Y VARIABLES</b>	<b>50</b>
3.1 Hipótesis .....	50
3.1.1 Hipótesis General	50
3.1.2 Hipótesis Específicas	50
3.2 Definición conceptual de variables .....	50
3.2.1 Operacionalización de variable	51
<b>IV. DISEÑO METODOLÓGICO</b>	<b>53</b>
4.1 Tipo y diseño de investigación.....	53
4.2 Método de investigación .....	53
4.3 Población y muestra .....	53
4.4 Lugar de estudio y periodo desarrollado.....	53
4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de la información .....	54
4.6 Análisis y procesamiento de datos .....	55
4.6.1 Etapa 1: Parámetros del diseño	56
4.6.2 Etapa 2: Consumo de gas medicinal	57
4.6.3 Etapa 3: Selección de equipos	75
4.6.4 Etapa 4: Dimensionamiento de las tuberías	78
<b>V. RESULTADOS</b>	<b>98</b>
5.1 Resultados Descriptivos .....	98
5.1.1 Parámetros de diseño y consumo del suministro de gases medicinales.	98
5.1.2 Cálculo de consumo de gases medicinales	99
5.1.3 Selección de equipos	101
5.1.4 Dimensionamiento de las tuberías de cobre	102

<b>VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>105</b>
6.1 Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados .....	105
6.1.1 Contrastación de la hipótesis general	105
6.1.2 Contrastación de las hipótesis específicas	105
6.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares .....	108
6.2.1 Contrastación de resultados con estudios internacionales	108
6.2.2 Contrastación de resultados con estudios nacionales	108
6.3 Responsabilidad ética .....	109
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>110</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>112</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b>	<b>113</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>118</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas – LOX (Oxígeno líquido refrigerado) y O <sub>2</sub> (Oxígeno comprimido) .....	18
Tabla 2. Propiedades físicas y químicas – Aire comprimido medicinal .....	19
Tabla 3. Modelos de termos portátiles .....	20
Tabla 4. Sistema de Compresores de Aire Comprimido Medicinal .....	22
Tabla 5. Sistema de Compresores de Vacío Medicinal .....	22
Tabla 6. Niveles de atención, niveles de complejidad y categorías de establecimientos del sector salud .....	23
Tabla 7. Comparativo de las categorías de los establecimientos de salud (I) ...	24
Tabla 8. Comparativo de las categorías de los establecimientos de salud (II) ..	24
Tabla 9. Estándares de programación para nuevos proyectos arquitectónicos hospitalarios .....	25
Tabla 10. Identificación de colores para la identificación de tuberías .....	34
Tabla 11. Rugosidad dentro de la tubería con respecto a su material .....	45
Tabla 12. Tabla de indicadores de variables .....	52
Tabla 13. Lista de Ambientes Hospitalarios en Hospital II Ramón Castilla .....	57
Tabla 14. Guía de tipos de uso .....	59
Tabla 15. Gastos de oxígeno y aire comprimido medicinal en litros por minuto	60
Tabla 16. Gastos de vacío medicinal en litros por minuto .....	61
Tabla 17. Listado de cantidad de salidas de oxígeno medicinal .....	62
Tabla 18. Interpolación de gasto y número de salidas de oxígeno medicinal ....	64
Tabla 19. Factor de simultaneidad para Aire Comprimido Medicinal .....	64
Tabla 20. Listado de cantidad de salidas de Aire Comprimido Medicinal .....	65
Tabla 21. Factor de simultaneidad para Vacío Medicinal .....	67
Tabla 22. Listado de cantidad de salidas de Vacío Medicinal .....	68
Tabla 23. Factores de utilización del sistema de Oxígeno Medicinal .....	69
Tabla 24. Compensación de altitud para Aire Comprimido Medicinal .....	73
Tabla 25. Compensación de altitud para Vacío Medicinal .....	74
Tabla 26. Comparativo de Tanque criogénico de cada Empresa .....	76
Tabla 27. Dimensionamiento de tuberías con respecto a su caída de presión para oxígeno medicinal y aire comprimido medicinal .....	81

Tabla 28. Dimensionamiento de tuberías con respecto a su caída de presión para vacío medicinal .....	84
Tabla 29. Cálculo de diámetros de la red de oxígeno medicinal con respecto a su máxima pérdida de presión por fricción.....	91
Tabla 30. Cálculo de diámetros de la red de vacío medicinal con respecto a su máxima pérdida de presión por fricción.....	94
Tabla 31. Cálculo de diámetros de la red de aire medicinal con respecto a su máxima pérdida de presión por fricción .....	97
Tabla 32. Parámetros de diseño para el sistema de suministro de gases medicinales de alto flujo.....	98
Tabla 33. Máxima Demanda para Oxígeno Medicinal .....	99
Tabla 34. Máxima demanda para oxígeno medicinal en caso de emergencia	100
Tabla 35. Máxima Demanda para Aire Comprimido Medicinal .....	100
Tabla 36. Máxima Demanda para Vacío Medicinal .....	101
Tabla 37. Características de tanques criogénico comercial .....	101
Tabla 38. Resumen del sistema de aire comprimido medicinal seleccionado .	102
Tabla 39. Cuadro de resumen del sistema de vacío medicinal seleccionado ..	102
Tabla 40. Diámetro de la tubería con respecto al número de salidas para los gases de oxígeno medicinal y aire comprimido medicinal.....	103
Tabla 41. Diámetro de la tubería con respecto al número de salidas para los gases de vacío medicinal.....	103

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Formas de Suministro y Almacenamiento de Oxígeno Medicinal .....	26
Figura 2. Sistema de Vacío Medicinal y Aire Comprimido Medicinal .....	26
Figura 3. Parte interna de un Manifold .....	28
Figura 4. Diagrama Esquemático de conexión de un manifold con la bancada de oxígeno .....	29
Figura 5. Caja de Combinación de Alarma .....	29
Figura 6. Caja de válvulas vertical combinada para cada gas medicinal .....	30
Figura 7. Panel de Válvulas de control de Gases Médicos .....	30
Figura 8. Configuraciones de Toma Simple .....	31
Figura 9. Unidad de Consola Empotrado y Columna de Techo Retráctil Manual de Gases Medicinales .....	31
Figura 10. Clasificación de Riesgos según código NFPA 704 .....	33
Figura 11. Definición de Presión .....	36
Figura 12. Escala de Presión manométrica y Presión Absoluta .....	37
Figura 13. Distribución de Fluidos dentro de un Sistema .....	37
Figura 14. Carga de presión, carga de elevación, carga de velocidad y carga total dentro de un sistema .....	41
Figura 15. Sistema de flujo de fluido que representa la ecuación de general de la energía con respecto a la Ec. 18 .....	43
Figura 16. Ubicación geográfica satelital del Hospital II Ramón Castilla .....	56
Figura 17. Selección de Sistema de Aire Comprimido Medicinal - Sistema Scroll sin aceite .....	76
Figura 18. Selección de Sistema de Vacío Medicinal - Sistema de garras sin Contacto Seco .....	77
Figura 19. Ruta crítica del sistema de oxígeno medicinal .....	89
Figura 20. Señalización de la ruta crítica con sus respectivos gastos (LPM) por las cantidades de salidas de oxígeno medicinal .....	90
Figura 21. Ruta crítica del sistema de vacío medicinal .....	92

Figura 22. Señalización de la ruta crítica con sus respectivos gastos (LPM) por las cantidades de salidas de vacío medicinal .....	93
Figura 23. Ruta crítica del sistema del aire comprimido medicinal .....	95
Figura 24. Señalización de la ruta crítica con sus respectivos gastos (LPM) por las cantidades de salidas de aire comprimido medicinal .....	96

## RESUMEN

En el presente trabajo final de tesis titulado “Diseño de un Sistema de Gases Medicinales de Alto Flujo para el Abastecimiento de 120 Camas Hospitalarias en Pandemia. Hospital II Ramón Castilla – Lima. 2021”, tiene como propósito el diseño de un sistema de suministro de gases medicinales, que está conformado por tuberías de cobre, equipos de almacenamiento y equipos generadores de gases, etc. Para ello era necesario recopilar información documentada en libros de varios autores, que tratan la mecánica de fluidos incomprensibles, para analizar y realizar los cálculos hidráulicos que permiten hallar la pérdida de presión acumulada, el dimensionamiento de la tubería de cobre y finalmente la selección de equipos de almacenamiento y generadores de equipo.

El tipo de investigación es de tipo tecnológico con un Diseño transversal y descriptivo, ya que se estudia la variable independiente de una manera no deliberada. El método de estudio es el analítico y sintético, que nos ayudó analizar el objeto y estudiarla de manera sintética.

La población y muestra de estudio es el diseño de suministro de gases medicinales (oxígeno medicinal, aire comprimido medicinal y vacío medicinal), como resultado se obtiene sus gastos de cada gas medicinal para la selección de equipos de almacenamiento y equipos de suministro. Como conclusión se puede afirmar que el diseño satisface el suministro de gases medicinales, respetando las caídas de presión dentro de las tuberías de cobre.

**PALABRAS CLAVES:** Diseño, Suministro, Gases Medicinales, Abastecimiento

## **ABSTRACT**

In this thesis final work entitled "Design of a High Flow Medicinal Gas System for the Supply of 120 Hospital Beds in Pandemic. Hospital II Ramón Castilla - Lima. 2021", has as purpose the design of a medical gas supply system, which is conformed by copper piping, storage equipment and gas generator equipment, etc. To do this it was necessary to collect information documented in books by various authors, dealing with the mechanics of incompressible fluids, to analyze and perform hydraulic calculations to find the accumulated pressure loss, the sizing of the copper piping and finally the selection of storage equipment and equipment generators.

The type of research is technological with a cross-sectional and descriptive design, since the independent variable is studied in a non-deliberate way. The method of study is analytical and synthetic, which helped us to analyze the object and study it in a synthetic way.

The study population and sample is the design of medical gas supply (medical oxygen, medical compressed air and medical vacuum), as a result, the costs of each medical gas are obtained for the selection of storage equipment and supply equipment. As a conclusion it can be stated that the design satisfies the supply of medical gases, respecting the pressure drops inside the copper piping.

**KEY WORDS:** Design, Supply, Medical Gases, Procurement

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad el suministro y el uso de los gases medicinales, es pieza fundamental para el funcionamiento de los centros hospitalarios para la atención de alta demanda de pacientes. En la cual el oxígeno medicinal, vacío medicinal y aire comprimido medicinal, son lo gases medicinales que más se utilizan para que la atención del paciente sea de manera eficaz.

En el presente proyecto de investigación, titulado “Diseño de un sistema de suministro de gases medicinales de alto flujo para el abastecimiento de 120 camas hospitalarias en pandemia. HOSPITAL II RAMÓN CASTILLA – LIMA. 2021” tiene como propósito presentar el suministro de gases medicinales de alto flujo para abastecer 120 camas hospitalarias por medio de equipos de almacenamiento o generadores de gases medicinales. Un sistema que va suministrar de manera permanente y eficaz a las camas hospitalarias de las diferentes áreas del HOSPITAL II RAMÓN CASTILLA – LIMA.

Con ello se puede determinar los parámetros de diseño que va permitir obtener el consumo del suministro de gases medicinales. Calculando el consumo de cada gas medicinal, nos permitirá seleccionar los equipos de almacenamiento y generadores de gases medicinales para abastecer el consumo; y por último se dimensionará las tuberías de cobre para abastecer las 120 camas hospitalarias.

Para ello se debe analizar las necesidades que se requiere en cada área del hospital. Ya que hay áreas que no se requiere de todos los gases medicinales existentes. Después de ello, se debe resolver el problema de las caídas de presión y almacenamiento, con ayuda de las normas internacionales (NFPA 99 e IMSS) y los conceptos básicos de mecánica fluidos. Podremos solucionar la caída de presión dentro de cobre para seleccionar el diámetro correcto y seleccionar los equipos de suministro.

## **I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 Descripción de la realidad problemática.**

Actualmente la mayoría de los hospitales que tienen una alta demanda de pacientes, tienen instalaciones de suministro de gases medicinales (por lo menos uno de ellos) con el objetivo de salvaguardar la salud del paciente. Desde un principio los gases medicinales han tenido un papel fundamental para el funcionamiento de todos los hospitales, pero gran parte de los hospitales nacionales, presenta una estructura e instalaciones precarias, donde las instalaciones son ineficientes, presentando un mal funcionamiento y la falta de puntos de salidas de gases medicinales, haciendo imposible la atención a los pacientes. Señalizando estos defectos, se hace insostenible brindar un servicio de manera eficiente; más aún por motivo de la pandemia, a causa por el virus COVID – 19 (SARS – COV - 2), el consumo de oxígeno ha aumentado en un 200%, según el Ministerio de Salud (MINSa). Aumentando el nivel de la problemática en el hospital y a nivel general en todos los hospitales nacionales.

Ante esta situación, todos los centros hospitalarios tenían que ampliar áreas de manera provisional para las salas de emergencia y observación (exclusivamente para los pacientes de COVID – 19). Que en la cual no existen la cantidad necesaria de puntos de gases medicinales y tienen que utilizar balones de oxígeno. Presentando un riesgo al momento de ser transportados, puede explotar o presentar fugas, debido a una posible caída del balón y ruptura de la válvula. Otras de las advertencias que se debe considerar que los gases medicinales son altamente oxidantes que puede ocasionar explosiones cuando estén en contacto con aceite o grasa, generando una combustión espontánea.

Hospital II Ramón Castilla, ha brindado servicio de salud de manera perenne ante las dificultades de la pandemia, se ha buscado la manera de seguir sirviendo de manera eficaz. Pero ante el aumento de uso de camas hospitalarias (por pacientes con COVID – 19), se visualizó que el desabastecimiento de los gases medicinales aumento constantemente durante la pandemia y la inoperatividad del equipo de vacío medicinal

(VAC), ya que la distribución y el dimensionamiento de las tuberías de cobre, no estaba diseñadas para este tipo estado de emergencia sanitaria y menos aún para una futura ampliación o instalación de nuevos ambientes. Por ello se desarrolla un nuevo diseño de un sistema de suministro de gases medicinales de alto flujo para brindar una buena atención a los pacientes. Ya que sin ello no se solucionará el desabastecimiento de gases medicinales, la inoperatividad de los equipos y no estará preparado para una ampliación de nuevos ambientes, que en la cual requieren de los gases medicinales.

## **1.2 Formulación del problema**

### **1.2.1 Problema General**

¿Cómo diseñar un sistema de suministro de gases medicinales de alto flujo para abastecer 120 camas hospitalarias en el Hospital II Ramón Castilla de la ciudad de Lima?

### **1.2.2 Problemas Específicos**

- ¿Cuáles son los parámetros de diseño que permitan obtener el consumo del suministro de gases medicinales?
- ¿Cómo calcular el consumo de gases medicinales afín de que permita seleccionar los equipos de almacenamiento, generadores de gases medicinales y el dimensionamiento de tuberías?
- ¿Cómo seleccionar los equipos de almacenamiento y generadores de gases medicinales para abastecer el consumo calculado?
- ¿Cómo determinar el dimensionamiento de las tuberías para abastecer 120 camas hospitalarias en el Hospital II Ramón Castilla?

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar un sistema de suministro de gases medicinales de alto flujo para abastecer 120 camas hospitalarias en el Hospital II Ramón Castilla de la ciudad de Lima.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Determinar los parámetros de diseño que permitan obtener el consumo del suministro de gases medicinales
- Calcular el consumo de gases medicinales afín de que permita seleccionar los equipos de almacenamiento, generadores de gases medicinales y el dimensionamiento de tuberías
- Seleccionar los equipos de almacenamiento y generadores de gases medicinales para abastecer el consumo calculado
- Determinar el dimensionamiento de las tuberías para abastecer 120 camas hospitalarias en el Hospital II Ramón Castilla

### **1.4 Limitantes de la investigación**

#### **1.4.1 Teórico**

Para realizar el proyecto de investigación se encuentra limitaciones teóricas, ya que no se cuenta con muchas fuentes bibliográficas que nos explique el método de cálculo. Por ello acudimos de normas internacionales y nacionales, catálogos de proveedores de equipos.

Y también la información que pueda brindar el hospital es limitada (en cuestión cantidad de camas, el número de puntos de salida de gases medicinales o a un futuro proyecto de ampliación), para ello debemos solicitar un permiso al área de administración de hospital, para que nos brinden la información necesaria, nos permita hacer el estudio correspondiente y el hacer uso del nombre del Hospital II Ramón Castilla.

#### **1.4.2 Temporal**

Para (Bernal, 2010), “Es necesario determinar cuál será el período, sea retrospectivo o prospectivo, dentro del cual se realizará el estudio del hecho, la situación, el fenómeno o población investigados (p.107).

El proyecto de investigación se limita temporalmente, ya que toma básicamente un determinado tiempo de estudio general del hospital (aproximadamente 3 meses). Tiempo que en la cual se citó reuniones con doctores, enfermeros licenciados y jefes de áreas administrativas; para

saber todo el requerimiento necesario de cada área o ambiente a estudiar. Para que esta manera se pueda plantear correctamente el diseño de distribución de gases medicinales.

### **1.4.3 Espacial**

Para (Bernal, 2010), “Son aquellas demarcaciones del espacio geográfico dentro del cual tendrá lugar una investigación” (p.107).

El informe de investigación tiene limitante espacial, ya que es necesario el análisis de cada área o ambiente en específico del Hospital II Ramón Castilla, ubicada en Jr. Guillermo Dansey 390, Cercado de Lima. Sin embargo, el método de cálculo o alcance de estudio, es aplicable para cualquier proyecto hospitalario de suministro de gases medicinales.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes: Internacional y Nacional.

Durante la investigación del proyecto de tesis, existen diferentes trabajos de tesis de nivel nacional e internacional, en la cual han realizado diversos estudios de investigación. Que en la cual contribuyeron al desarrollo del presente proyecto de tesis.

#### 2.1.1 Antecedentes Internacionales

(Carmona, 2018): “**Rediseño de la red de aire grado médico para el Hospital México**”. Trabajo final de graduación para obtener el título de Licenciatura en Ingeniería Mecánica. Universidad de Costa Rica. Costa Rica.

Presenta como objetivo general en rediseñar la red de aire grado médico para el Hospital México, pero teniendo en cuenta los requerimientos de seguridad, necesarios para garantizar el funcionamiento de la red.

Para ello llego la conclusión que se debe utilizar la norma internacional NFPA 99, en la que indica la protección de las áreas de almacenamiento de gases medicinales y establece los criterios de diseño para la instalación de los gases medicinales. Pero también considera que se debe complementarse con otras normas para especificar los requerimientos del diseño.

Del presente trabajo podemos rescatar la forma del uso de la norma internacional (NFPA 99) y su recomendación en complementar con otras normas para lograr los requerimientos del diseño. Además, rescatamos su tipo de metodología de estudio; que en la cual lleva la recolección de información teórica, como fuentes bibliográficas (libros y manuales).

(Muñoz, 2019): “**Guía de Instalación de Gases Medicinales**”. Trabajo de titulación para obtener el título de Ingeniero Ejecución Mecánico de Procesos y Mantenimiento Industrial. Universidad Técnica Federico Santa María. Chile.

Presenta como objetivo general como elaborar una guía técnica de instalaciones de gases medicinales para los centros hospitalarios. En la

cual, dentro de las conclusiones, recomienda seguir las normas de gases medicinales y las técnicas de instalación para las tuberías de cobre, para garantizar su funcionamiento y evitar algún accidente producto del error humano.

El presente trabajo podemos ver su metodología de investigación se basa al levantamiento de normas, leyes y reglamento del ministerio de salud de su país de origen. Y el aporte a rescatar es su elaboración de un manual de instalación de gases medicinales, tales como el cálculo de cilindros por manifold, empleando herramientas teóricas.

(Biolato y Salómon, 2019): “**Diseño y Equipamiento de un Área de Emergencias para El Hospital Dr. José María Minella**”. Proyecto integrador para la obtener el título de Ingeniero Biomédico. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.

En este proyecto tiene como objetivo general en diseñar un área de emergencia que se pueda adaptar a la infraestructura del Hospital “Dr. José María Minella” con las instalaciones y el equipamiento necesario para lograr cubrir la demanda en la atención de los pacientes.

Se concluye que, para realizar el diseño y equipamiento de la nueva área, se debe tener conocimientos de diferentes especialidades. Y deja como recomendación, que si en el caso de una obra civil (ampliación, remodelación o construcción), se debe tener en cuenta un plan de contingencia (que debe tener instalaciones de gases medicinales) para que el funcionamiento no sea paralizado.

### **2.1.2 Antecedentes Nacionales**

(More, 2018): “**DISEÑO DE LA RED DE OXÍGENO LÍQUIDO MEDICINAL PARA LOS SERVICIOS EN EL HOSPITAL II JORGE REÁTEGUI DELGADO ESSALUD PIURA 2018**”. Trabajo de tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico. Piura – Perú.

En este trabajo de tesis, tiene como objetivo general en mejorar la atención a los pacientes que requiere oxígeno medicinal para su tratamiento. Se concluye que la capacidad del tanque criogénico del

oxígeno líquido, es proporcional con el número de salidas. Y su aporte para el trabajo de investigación es el factor de seguridad (ante un posible aumento de camas o cantidad de salidas) y la consideración a una autonomía de 20 días. Su metodología de estudio es de observación directa, considerando recopilación de datos (número de salidas, planos civiles y planos de equipamientos).

(Riojas, 2020): “**Ampliación de la Producción de la Planta de Generación de Oxígeno del Hospital Las Mercedes**”. Trabajo de tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico Electricista. Chiclayo – Perú.

Teniendo como objetivo general en satisfacer la demanda de oxígeno medicinal a todas las áreas del Hospital Las Mercedes (Carlos Eduardo Riojas Rodríguez, 2020). En este trabajo se concluye que el hospital, aunque tenga 02 generadores de oxígeno que produce 6,3 m<sup>3</sup>/h, resulta más económico en comprar en forma de cilindro (asegurando la atención del paciente) o el abastecimiento de oxígeno criogénico. El aporte que da es el entendimiento de la problemática, para después aplicar los conocimientos de cálculos teóricos para un mejoramiento a la planta de generación de oxígeno y diseño de las tuberías de cobre.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Gases medicinales**

En concepto de la medicina, el gas medicinal desempeña un rol fundamental y se utilizan en diversas situaciones como en emergencia, fines terapéuticos y diagnósticos. Para la obtención de estos gases medicinales pasan por un proceso complejo, que en la cual se obtendrá el oxígeno medicinal, aire comprimido medicinal, vacío médico, etc. (MESSER, 2020)

## 2.2.2 Tipos de gases medicinales

- **Oxígeno Medicinal (OXI)**

Siendo el gas más importante para la vida de los pacientes en cualquier momento ya sea críticos o de tratamiento (INDURA, 2019). Siendo sus principales aplicaciones en:

- ✓ Aplicación en anestesia
- ✓ Insuficiencia respiratoria
- ✓ Tratamiento de quemaduras
- ✓ Cirugía
- ✓ Terapia intensiva

**Tabla 1. Propiedades físicas y químicas – LOX (Oxígeno líquido refrigerado) y O2 (Oxígeno comprimido)**

Propiedades físicas y químicas de Oxígeno líquido y Comprimido	
Estado físico	Gas
Apariencia	Gas incoloro
Color	Líquido Azulado
Olor	Inodoro
Densidad	1,4289 kg/m <sup>3</sup> (at 21,1 °C)
Densidad relativa (agua=1)	1,1
Temperatura crítica	-118,6 °C (-181,48 °F)
Punto de fusión	-219 °C (-362,2 °F) />
Punto de solidificación (*)	-218.4 °C (-361,12 °F)
Punto de ebullición	-183 °C (-297,4 °F)
Presión crítica	50,4 bar (731,4 Psia)
Solubilidad (Agua)	39 mg/l
Propiedades comburentes	Oxidante

Fuente: Hoja de datos de seguridad de Oxígeno líquido refrigerado y comprimido.

Tomado de (Linde, 2020) y (Praxair, 2015)

(\*) El punto de solidificación es tan solo en el oxígeno líquido refrigerado

- **Aire comprimido medicinal (ACM)**

Este gas se obtiene después del proceso de purificación y filtrado de la mezcla de oxígeno (19,5% ~ 23,5%) y nitrógeno (76,5% ~ 80,5%). En la cual deben estar libres de partículas, impurezas (bacteriológicamente apto), libre de aceites y agua. Su uso más frecuente es en las Unidades

de Cuidados Intensivos (UCI) y en las Unidades de Cuidados Intensivos Neonatales (INDURA, 2019). En sus otras aplicaciones:

- ✓ Asistencia respiratoria
- ✓ Vehículo transportador de medicamentos y anestesia
- ✓ Fluido motriz para herramientas neumáticas de traumatología
- ✓ Permite formar mezclas con otros gases

**Tabla 2. Propiedades físicas y químicas – Aire comprimido medicinal**

Propiedades físicas y químicas de Aire Comprimido Medicinal	
Estado físico	Gas
Color	Incoloro
Olor	Inodoro
Densidad (21,1 °C y 1 atm)	1,2 kg/m <sup>3</sup>
Gravedad específica (aire=1) (21,1 °C y 1 atm)	1
Solubilidad en agua (vol./vol.) (0 °C y 1 atm)	0,292%
Punto de solidificación (10 Psig / 68,9 kPa)	-216,2 °C (-357,16 °F)
Punto de ebullición (10 Psig / 68,9 kPa)	-194,3 °C (-317,74°F)
Porcentaje de materia volátil en volumen	100 %

Fuente: Hoja de datos de seguridad de Aire Comprimido medicinal. Tomado de (Linde, 2020)

- **Vacío medicinal (VAC)**

Se incluye en las ramas de gases medicinales ya que forma parte en las instalaciones del central de gases de medicinales. A comparación de los demás gases medicinales (oxígeno medicinal y aire comprimido medicinal) que en la cual expulsa el gas medicinal desde el centro de gases hacia el punto de salida (el paciente). Mientras el vacío medicinal se utiliza para la limpieza y extracción de residuos, llevándolos desde el paciente hacia los contenedores.

En la cual técnicamente hablando es una depresión aire atmosférico que en la cual se obtiene mediante bombas de vacío. En sus otras aplicaciones:

- ✓ Drenaje de sangre y otras secreciones
- ✓ Limpieza del área de trabajo dentro del quirófano
- ✓ Limpieza de vías respiratorias
- ✓ Limpieza de heridas en cirugía

### 2.2.3 Almacenamiento y producción de gases medicinales

- **Oxígeno Medicinal**

Puede estar almacenado en diferentes recipientes:

- ✓ **Balones**

Con capacidad volumétrica de almacenamiento que varía entre 9 m<sup>3</sup> a 15 m<sup>3</sup>, que en la cual pueden estar individualmente para su transporte a diferentes ambientes del centro hospitalario o pueden estar en bloques (con la cantidad mayor de 12 balones de 10 m<sup>3</sup> cada uno) para su abastecimiento a los puntos de gas en caso de emergencia o desabastecimiento del tanque criogénico.

- ✓ **Termo Portátiles o Ranger**

Con capacidad volumétrica de almacenamiento que varía con respecto al modelo.

**Tabla 3. Modelos de termos portátiles**

	MODELO	CAPACIDAD
	PGS	125 Nm <sup>3</sup>
	PT – 6	480 m <sup>3</sup>
	STARCYL 600/24 BAR	479 m <sup>3</sup>
	230/22 RB	182 Nm <sup>3</sup>
	230/22 SB	182 Nm <sup>3</sup>
	600/24	500 Nm <sup>3</sup>
	1000/24	756 Nm <sup>3</sup>
MICROBULK	1000/37	751 Nm <sup>3</sup>
	1500/24	1156 Nm <sup>3</sup>
	1500/37	1142 Nm <sup>3</sup>
	2000/24	1541 Nm <sup>3</sup>
	2000/37	1524 Nm <sup>3</sup>

Fuente: Forma de suministro más habituales. Tomado de (Praxair, 2015)

(\*) El Nm<sup>3</sup> es el valor estándar del volumen ocupado por la materia. En las siguientes condiciones normales 0 °C ó 273 °K y 1 presión atmosférica o 1013,25 mbar. (CanGas, 2019)

No existe mucha diferencia del termo portátil con los balones, tan solo en la capacidad de almacenamiento de oxígeno comprimido. Pero igual que balones que deben ser reemplazados y llevados para el llenado del oxígeno.

✓ Tanques estacionarios o recipientes de alta capacidad

Su capacidad volumétrica es muy variable con respecto al diámetro y altura del tanque, puede variar a partir de los 500 galones o 1900 m<sup>3</sup> a más. Pero su mayor característica es que el tanque es estático (inamovible) y su abastecimiento de oxígeno líquido criogénico a granel, es por un tiempo prolongado de 15 días a más.

• **Aire Comprimido Medicinal (ACM)**

Su almacenamiento:

✓ Balones

Tal como en el oxígeno medicinal su capacidad volumétrica de almacenamiento viene hacer igual, que varía entre 9 m<sup>3</sup> a 15 m<sup>3</sup>, que en la cual pueden estar individualmente para su transporte a diferentes ambientes del centro hospitalario o pueden estar en bloques (con la cantidad mayor de 12 balones de 10 m<sup>3</sup> cada uno) para su abastecimiento a los puntos de gas para su funcionamiento o en caso de emergencia cuando su compresora de aire medicinal deje de funcionar por diferentes motivos.

Existe centros hospitalarios que no se abastecen con simplemente con bloques de balones de aire comprimido. En la cual se va necesitar maquinas compresoras de aire medicinal. En la cual puede variar por algunas características. Esto se ve en la Tabla 4

• **Vacío Medicinal (VAC)**

Durante el sistema de distribución para el abastecimiento de la red desde el almacenamiento y producción hasta su punto de salida. En el sistema de suministro y de distribución pasa por unos ciertos componentes. Esto se ve en la Tabla 5.

**Tabla 4. Sistema de Compresores de Aire Comprimido Medicinal**

Characteristics	Scroll	Dry Reciprocating	Lubricated Reciprocating	Rotary Screw
Características	Despliegue	Reciprocante en Seco	Reciprocante Lubricado	Tornillo Giratorio
Formato	Apilado Modular	Apilado Modular	Apilado Modular	
	Montaje de tanque horizontal	Montaje de tanque horizontal	Montaje de tanque horizontal	Unidad cerrada
	Montaje en patines	Montaje en patines	Montaje en patines	
Lubricación	Libre de aceite	Libre de aceite	Lubricado	Libre de aceite
Decibeles	74 dBa	84 dBa	82 dBa	72 dBa
Alta Presión Aplicada	Moderada	Moderada	Muy buena	Baja
Mantenimiento	Baja	Moderada	Moderada	Alta
Ventajas	Compacto y de bajo peso	Configuración Personalizada	Aplicación de alta presión	Encerrado en un gabinete Menor temperatura de funcionamiento
	Fiable	Muy fiable	Muy fiable	
	Bajo nivel de ruido (muy silencioso y sin vibraciones) No se necesita aceite	Capaz de producir una gran potencia con un solo compresor No se necesita aceite	Poco desgaste	Adecuado para aplicaciones de alta demanda

Fuente: Guía de Diseño de Gases Medicinales. Tomado de (Amico Corporation, 2019)

**Tabla 5. Sistema de Compresores de Vacío Medicinal**

Characteristics	Contact - Less Claw	Liquid Ring - Water Sealed	Lubricated Rotary Vane	Oil Free Rotary Vane	Rotary Screw
Características	Garra sin Contacto	Anillo de líquido - Sellado de agua	Paletas rotativas lubricadas	Paletas rotativas sin aceite	Tornillo Giratorio
Fiabilidad en el mantenimiento	Buena	Excelente	Buena	Moderada	Buena
Duración de la bomba	Buena	Excelente	Buena	Moderada	Buena
Altitud	Pobre	Excelente	Sin límites	Pobre	Pobre
Decibeles	83 dBa	76 dBa	76 dBa	81 dBa	89 dBa
Mantenimiento	Baja y fácil	Baja y puede ser complejo	Alta y puede ser complejo	Moderada y fácil	Alta y puede ser complejo
Eficiencia	Muy alta	Baja	Alta	Moderada	Baja
Ventajas	Excelente opción para el sistema de evacuación de anestesia dedicada	Excelente opción para el sistema de evacuación de anestesia dedicada	Alto vacío	Bajo mantenimiento	Buena para aplicaciones de alta potencia
	Bajo mantenimiento		Larga vida útil de las paletas	Baja temperatura baja	Unidad cerrada

Fuente: Guía de Diseño de Gases Medicinales. Tomado de (Amico Corporation, 2019)

## 2.2.4 Suministro de gases de medicinales en hospitales

- **Hospital**

Un hospital se define como un establecimiento de salud cuyos servicios permanecen accesibles y funcionando a su máxima capacidad. Dicho establecimiento debe tener los servicios de suministro de agua potable, energía eléctrica. Garantizando su funcionamiento continuo y lograr absorber la demanda adicional de atención médica. (OPS, 2009)

- **Tipos de centro Hospitalario**

Existen niveles de atención o categorías, en la cual se diferenciará por la asistencia médica a los pacientes, por la cantidad de camas y el grado de complejidad.

**Tabla 6. Niveles de atención, niveles de complejidad y categorías de establecimientos del sector salud**

Niveles de atención	Niveles de complejidad	Categorías de establecimientos de salud
Primer Nivel de Atención		I – 1
		I – 2
		I – 3
		I – 4
Segundo Nivel de Atención	Establecimientos de salud de Atención General	II – 1
	Establecimientos de Salud de Atención General	II – 2
Tercer Nivel de Atención	Establecimiento de Salud de Atención General	II - E
	Establecimiento de Salud de Atención General	III – 1
	Establecimiento de Salud de Atención Especializada	III - E
		III – 2

Fuente: Categorías de Establecimiento del Sector Salud. Tomado de (MINSA, 2011)

**Tabla 7. Comparativo de las categorías de los establecimientos de salud (I)**

Categorías	MINSA	EsSalud	PNP
I – 1	Puesto de salud		Puesto sanitario
I – 2	Puesto de salud con médico	Posta médica	Posta médica
I – 3	Centro de salud sin internamiento	Centro médico	Policlínico B
I – 4	Centro de salud con internamiento	Policlínico	
II – 1	Hospital I	Hospital I	Policlínico A
II – 2	Hospital II	Hospital II	Hospital regional
III – 1	Hospital III	Hospital III y IV	Hospital nacional
III – 2	Instituto especializado	Instituto	

Fuente: Establecimientos Asistenciales del Sector Salud. Tomado de (Salaverry y Cárdenas, 2009)

**Tabla 8. Comparativo de las categorías de los establecimientos de salud (II)**

Categorías	FAP	Naval	Privado
I – 1		Enfermería servicios de sanidad	Consultorio
I – 2	Posta médica	Departamento de sanidad posta naval	Consultorio médico
I – 3	Departamento sanitario		Policlínico
I – 4		Policlínico naval	Centro médico
II – 1	Hospital zonal	Clínica naval	Clínica
II – 2	Hospital regional		Clínica
III – 1	Hospital Central FAP	Hospital Naval Buque Hospital	Clínica
III – 2			Instituto

Fuente: Establecimientos Asistenciales del Sector Salud. Tomado de (Salaverry y Cárdenas, 2009)

- **Áreas de abastecimiento de gases medicinales**

Dentro del documento que da lineamientos e indicadores para la elaboración de programas de áreas por metro cuadrado, según por categorías de centros asistenciales, para ser aplicados en los estudios de pre - inversión y expedientes técnicos. (EsSalud, 2008).

En la cual indica el siguiente cuadro:

**Tabla 9. Estándares de programación para nuevos proyectos arquitectónicos hospitalarios**

Ambientes De Las Unidades De Servicio	Estándar De Áreas Mínimas Por Ambientes En Proyectos Hospitalarios (m <sup>2</sup> )							
	HOSPITAL I		HOSPITAL II		HOSPITAL III		HOSPITAL IV	
	CANT	ÁREA	CANT	ÁREA	CANT	ÁREA	CANT	ÁREA
Central de oxígeno y óxido nitroso	1	36 m <sup>2</sup>	1	36 m <sup>2</sup>	1	36 m <sup>2</sup>	1	36 m <sup>2</sup>
Central de aire medicinal	1	21 m <sup>2</sup>	1	21 m <sup>2</sup>	1	21 m <sup>2</sup>	1	21 m <sup>2</sup>
Central de aire comprimido dental	1	12 m <sup>2</sup>	1	12 m <sup>2</sup>	1	12 m <sup>2</sup>	1	12 m <sup>2</sup>
Central de vacío	1	20 m <sup>2</sup>	1	20 m <sup>2</sup>	1	20 m <sup>2</sup>	1	20 m <sup>2</sup>

Fuente: Estándares de Programación para Nuevos Proyectos Arquitectónicos Hospitalarios (EsSalud, 2008)

### 2.2.5 Red de distribución hidráulica para el suministro de gases medicinales

- **Almacenamiento y producción:**

Con el almacenamiento se toma en cuenta el oxígeno criogénico que en la cual es un gas que no se puede producir dentro de un centro hospitalario, tan solo puede ser llenado por empresas que lo produce y lo transporta en forma de granel hacia los centros hospitalarios. Su almacenamiento del oxígeno criogénico en forma de granel será en los tanques estacionarios, termos y balones.

Los siguientes modelos son:

- ✓ Botellas (Unidades y bloques)
- ✓ Termos (PGS, STARCYL y Microbulk)
- ✓ Tanques estacionarios



Figura 1. Formas de Suministro y Almacenamiento de Oxígeno Medicinal

Fuente: Praxair Envases y Conexiones (Praxair, 2015)

Y para la producción de gases medicinales si es posible que se encuentre dentro de las instalaciones del centro hospitalario, donde se puede encontrar la sala de máquinas de compresión de aire comprimido medicinal y mezclador de aire medicinal. Y también se encuentra las bombas de vacío para la succión de desechos.



Figura 2. Sistema de Vacío Medicinal y Aire Comprimido Medicinal

Fuente: Equipos Primarios (Amico Corporation, 2019)

- **Tubería y soldadura**

Para la distribución y abastecimiento de gases medicinales (oxígeno medicinal, vacío medicinal, aire medicinal, etc.). Es a través de una red de tubería de cobre tipo L.

Las tuberías de cobre son muy resistentes a la corrosión (son perfectas para instalaciones exteriores, enterradas y empotradas). Y otras ventajas de la tubería de cobre son por su acción bactericida y fungicida.

Para el sistema de oxígeno medicinal, aire medicinal y óxido nitroso, está compuesto de tuberías de cobre tipo k desde 1/2" Ø hasta 2" Ø y para el sistema de vacío medicinal está compuesto de tuberías de cobre tipo L desde 3/4"Ø hasta 4" Ø

Para la unión de la tubería cobre y con sus accesorios, se utiliza una soldadura blanda con varillas de plata entre 15% a 45%.

Para las instalaciones se debe tener en cuenta la norma (NFPA 99, 2005) Edition. Health Care Facilities. En la cual tiene como concepto de seguridad en el manejo de los gases basándose en el diseño, funcionamiento apropiado y satisfactorio de los equipos utilizados para la distribución de gases.

Para la limpieza de tuberías se debe considerar el siguiente proceso para todos los tubos y conexiones:

- ✓ Son lavados antes de instalarse con el fin de remover la grasa, el aceite y la suciedad.
- ✓ Después del lavado, se debe soplar todas las tuberías y accesorios con nitrógeno o aire seco en alta presión.
- ✓ Finalmente, todas las tuberías y accesorios deben ser protegidos y almacenados debidamente contra el polvo y la suciedad.

Luego de las instalaciones de tuberías y antes de instalarlo con las válvulas o paneles en los puntos de consumo. Se deberá someterá una prueba de presión para verificar que no haya ninguna fuga. Se debe realizar lo siguiente:

- ✓ Lo primera de debe cargar de aire limpio de aceite y seco o nitrógeno, a la tubería con los accesorios soldados.
- ✓ Después, se debe golpear levemente con un martillo de goma a todas las conexiones soldadas. Con el objetivo de que cualquier mala soldadura ceda inmediatamente o mala unión pueda ser reparada
- ✓ Inmediatamente se aplica agua jabonosa con una brocha pequeña a la conexión que se está revisando, en el caso que se forman burbujas, significara que la soldadura no es hermética y hay que repetir el mismo proceso hasta que no exista la fuga.
- ✓ Y por último se debe soplar con el gas médico que va conducir, a fin de asegurar la expulsión del gas con el que se realizó la prueba de redes.

- **Manifolds:**

El manifold se encuentra conectado entre la rama principal y el conjunto de cilindros de oxígeno medicinal. En la cual está diseñada para que el suministro de oxígeno medicinal no sea interrumpido a la red de tubería del centro hospitalario en caso de emergencia.

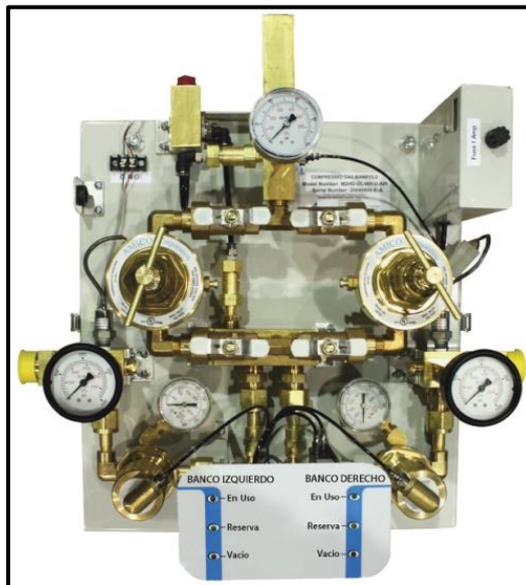


Figura 3. Parte interna de un Manifold

Fuente: Equipos Primarios (Amico Corporation, 2019)

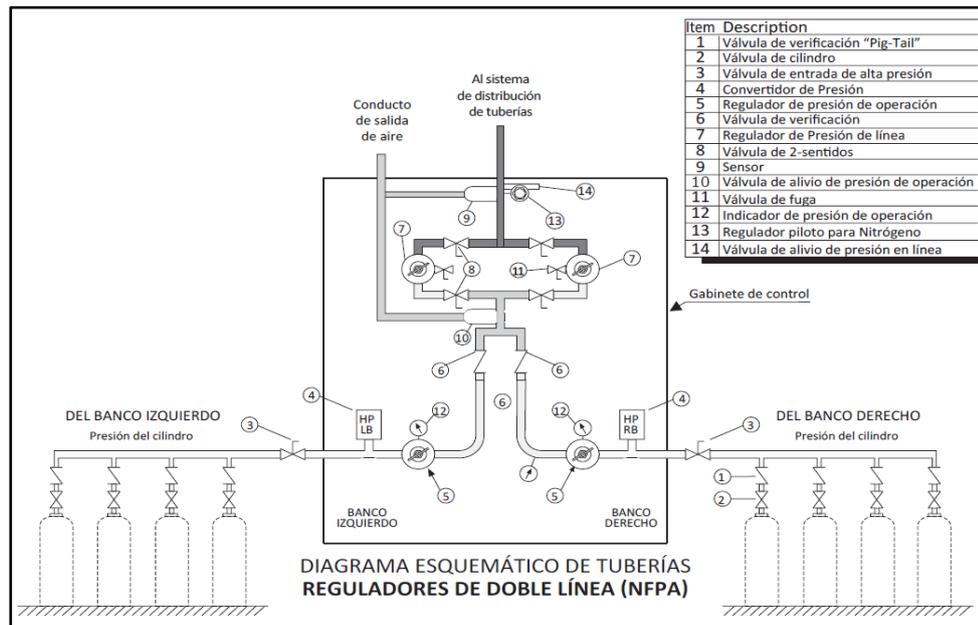


Figura 4. Diagrama Esquemático de conexión de un manifold con la bancada de oxígeno

Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento (Amico Corporation, 2018)

- **Alarma:**

Su función principal es dar señal de aviso por medio del sonido y luces, que en la cual mide y monitorea la presión (ya sea cuando la presión este por debajo o sobre del rango normal) de los diferentes gases médicos. Este equipo está ubicado generalmente en las estaciones de enfermeras, salas de operación y algunas veces en conjunto a la caja de válvulas.



Figura 5. Caja de Combinación de Alarma

Fuente: Equipos Primarios (Amico Corporation, 2019)

- **Caja de válvulas o de corte:**

Generalmente están ubicados en las estaciones de enfermeras y algunas veces acompañados con alarmas sonoras. Está equipado por un juego de válvulas de corte por cada gas medicinal.

Su función general es la interrupción del recorrido del gas en caso de cualquier eventualidad, ya sea de emergencia o de un trabajo de mantenimiento técnico.

La distribución de las cajas de corte dependerá de la cantidad de salidas que alimenta cada válvula (aproximadamente 10 o 15 salidas por cada gas medicinal), y también se considera una válvula de corte para las salas de suma importancia como las salas de operación.

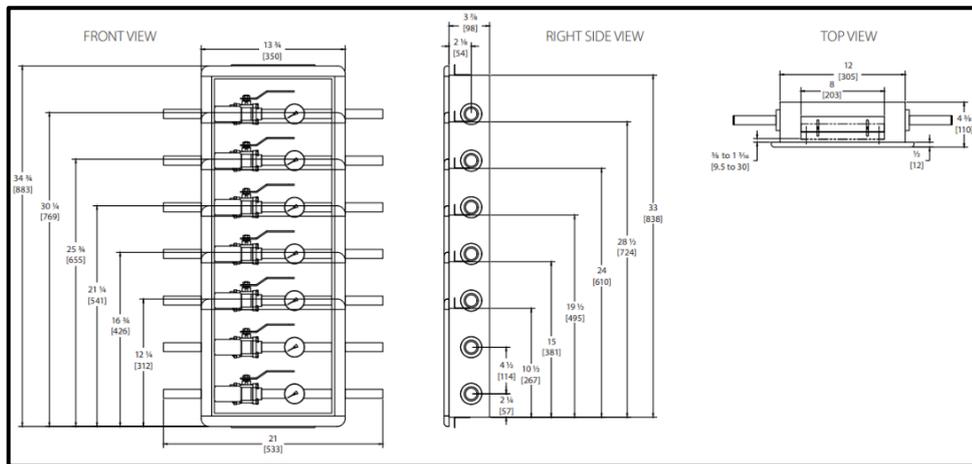


Figura 6. Caja de válvulas vertical combinada para cada gas medicinal

Fuente: Equipos Primarios (Amico Corporation, 2019)

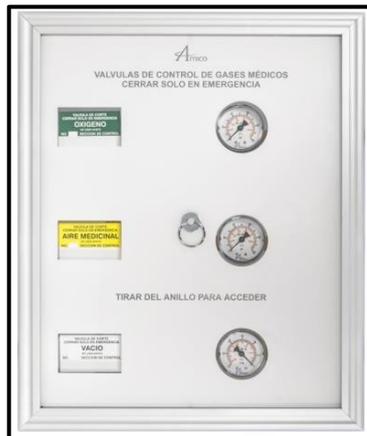


Figura 7. Panel de Válvulas de control de Gases Médicos

Fuente: Equipos Primarios (Amico Corporation, 2019)

- **Tomas de gases medicinales:**

Es donde termina el recorrido del gas medicinal desde su punto de almacenamiento hacia diferentes tipos de conexión, tales como:

- Ohmeda
- DISS
- Puritan Bennett
- Chemetron
- Salida Compacta
- Estándar Inglés



Figura 8. Configuraciones de Toma Simple

Fuente: Equipos Primarios (Amico Corporation, 2019)

Y también está disponible para diferentes tipos de montaje, tales como:

- Paredes
- Cabeceras
- Consolas
- Techos
- Columnas de techo



Figura 9. Unidad de Consola Empotrado y Columna de Techo Retráctil Manual de Gases Medicinales

Fuente: Equipos Primarios (Amico Corporation, 2019)

## 2.2.6 Normas de Diseño de Suministro de Gases Medicinales

- **Normas internacionales**

### **NFPA**

En sus siglas en inglés National Fire Protection Association (NFPA), es una asociación que se dedica a desarrollar códigos y normas de protección contra incendios y seguridad humana. En la cual cuenta más de 360 códigos y normas de consenso destinados a minimizar la posibilidad y los efectos del fuego y otros riesgos. Entre las normas que se tomara en cuenta son:

- ✓ NFPA 99 Health Care Facilities Code

La (NFPA 99, 2005) es el código de establecimientos de atención médica que establece criterios para los niveles de servicios o sistemas de atención médica basados en el riesgo para los pacientes, el personal o lo visitantes en las instalaciones de atención médica para minimizar los riesgos de incendio, explosión y electricidad. En los siguientes capítulos son lo más referentes de gases medicinales (instalación, equipos, etc.)

#### Capítulo 5: Sistemas de gas y vacío

Todos los requisitos que registran en esta norma se aplicarán a las instalaciones de atención médica.

- ✓ NFPA 55 (Compressed Gases and Cryogenic Fluids Code)

Lo siguiente facilita la protección contra riesgos fisiológicos de sobre presurización, explosivos e inflamabilidad asociados con gases comprimidos y fluidos criogénicos.

- ✓ NFPA 704 (Compressed Gases and Cryogenic Fluids Code)

Es donde se explica el “rombo de seguridad”, que en la cual explica con detalles los riesgos de los materiales peligrosos. Esto se emplea mayormente en el transporte de productos envasados o granel.



Figura 10. Clasificación de Riesgos según código NFPA 704

Fuente: Nation Fire Protection Association (NFPA 704, 2020)

### Norma mexicana-Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS, 2017)

Con las siguientes normas establecen los criterios que sirven para la elaboración de proyectos de las instalaciones hidráulicas, sanitarias y especiales. En los siguientes capítulos que se toman en cuenta son:

- ✓ Capítulo 13 (Suministro y Distribución de Oxígeno)
- ✓ Capítulo 14 (Suministro y Distribución de Aire Comprimido)
- ✓ Capítulo 15 (Vacío – Succión Central)

En la cual cada capítulo se fundamenta el cálculo de los equipos y redes de distribución de cada gas medicinal especificada, desarrollándose de forma racional y con criterios uniformes.

- **Normas Nacionales**

#### (NTP 399.013, 2012)

“COLORES DE IDENTIFICACIÓN DE GASES INDUSTRIALES CONTENIDOS EN ENVASES A PRESIÓN, TALES COMO CILINDROS, BALONES, BOTELLAS Y TANQUES”

En esta norma se establece un conjunto de colores destinados a identificar cada gas o mezcla de gases contenidos en envases a presión destinados exclusivamente a uso medicinal. Estos colores deberán ser los usados para identificar los mismos gases en las tuberías cuando se transporten y

se aplicarán a ellas en forma de anillos o bandas sobre el color de identificación básico. Con normas consultadas:

- ✓ NTP 399.099: Colores Patrones Utilizados en Señales y Colores de Seguridad
- ✓ NTP 399.012: Colores de Identificación de Tuberías para Transporte de Fluidos en Estado Gaseoso o Líquido en Instalaciones Terrestres y en Naves.

**Tabla 10. Identificación de colores para la identificación de tuberías**

GAS	FÓRMULA QUÍMICA	COLOR	CÓDIGO ITINTEC
Anhídrido carbónico	CO <sub>2</sub>	Aluminio	ITINTEC S15
Ciclopropano	C <sub>3</sub> H <sub>3</sub>	Amarillo-ocre	ITINTEC S3
Etileno	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	Violeta	ITINTEC S11
Helio	He	Marrón claro	ITINTEC S6
Oxígeno	O <sub>2</sub>	Verde	ITINTEC S7
Protóxido de nitrógeno	N <sub>2</sub> O	Azul oscuro	ITINTEC S2
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	Cuerpo y tapa amarillo	ITINTEC S2
		Hombro blanco	ITINTEC S12
Oxígeno con anhídrido carbónico	O <sub>2</sub> +CO <sub>2</sub>	Cuerpo y tapa verde	ITINTEC S7
		Hombro aluminio	ITINTEC S15
Oxígeno y helio	O <sub>2</sub> +H <sub>2</sub>	Cuerpo y tapa marrón claro	ITINTEC S6
		Hombro verde	ITINTEC S7
Aire	--	Negro	ITINTEC S13

Fuente: Norma Técnica Peruana

**NTP 512.001: 1989 (Revisada el 2012)**

“GASES COMPRIMIDOS. Requisitos de almacenaje, transporte, manejo y trasvase”.

Esta norma establece los requisitos generales que deben cumplir los gases comprimidos para su almacenaje, transporte, manejo y trasvase en cilindros. Con normas consultadas:

- ✓ NTP 399.013: Colores de Identificación de Gases Industriales Contenidos en Envases a Presión tales como Cilindros, Balones, Botellas y Tanques.

### **NTP 342.526: 2019 (Revisada el 2020)**

“COBRE Y SUS ALEACIONES. Tubos de cobre sin costura para conducción de gases de uso medicinal”

En esta norma establece los requisitos para los tubos redondos de cobre sin costura, en tramos rectos, de cédulas de dos espesores de pared especialmente limpios, identificados como tipo K y L, apropiados para sistemas de conducción de gases de uso medicinal. Y su instalación debe estar de acuerdo con la norma internacional como la NFPA 99.

## **2.2.7 Conceptos de la mecánica de fluidos en suministro de gases medicinales**

### **Caudal o flujo volumétrico (Q)**

Para (Mott y Untener, 2015) “El flujo volumétrico es el volumen de fluido que circula en una sección por unidad de tiempo”. Se Define con la siguiente ecuación:

$$Q = A \cdot v \quad \text{Ec. 1}$$

donde:

- A= Área de la sección
- v= Velocidad del fluido que circula dentro de la sección
- Unidades del SI:  $m^3/s$
- Ecuación adimensional:  $[Q] = [L]^3[T]^{-1}$

### **Presión (P)**

En los conceptos básicos de la mecánica de fluidos, la presión se relaciona con la fuerza normal de compresión que actúa sobre un área (Potter, Wiggert y Ramadan, 2015). La presión P se define de esta manera:

$$P = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_n}{\Delta A}$$

Ec. 2

donde:

- P: Presión (KPa, Bar, Psi)
- F: Fuerza (N, kg\*m/s<sup>2</sup>, lbf)
- A: Área (m<sup>2</sup>, pulg<sup>2</sup>)

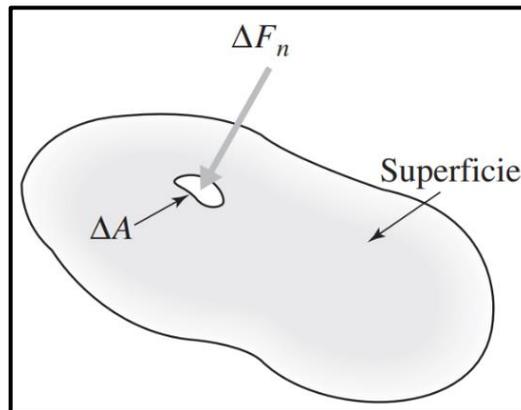


Figura 11. Definición de Presión

Fuente: Mecánica de Fluidos (Potter, Wiggert y Ramadan, 2015)

Siendo  $\Delta F_n$  es la fuerza compresiva normal incremental que en la cual actúa sobre el área incremental  $\Delta A$  (Potter, Wiggert y Ramadan, 2015).

### Presión Absoluta y Manométrica

En el momento que se realiza los cálculos que involucren la presión de un fluido, se deben efectuar en relación con otras presiones de referencia. Tales como la presión atmosférica y la presión manométrica; y la suma de ellas dan como resultado la presión absoluta (Mott y Untener, 2015).

Una ecuación sencilla que relaciona los dos sistemas de medición de la presión es:

$$P_{abs} = P_{man} + P_{atm}$$

Ec. 3

donde:

- $P_{abs}$  = Presión absoluta
- $P_{man}$  = Presión manométrica

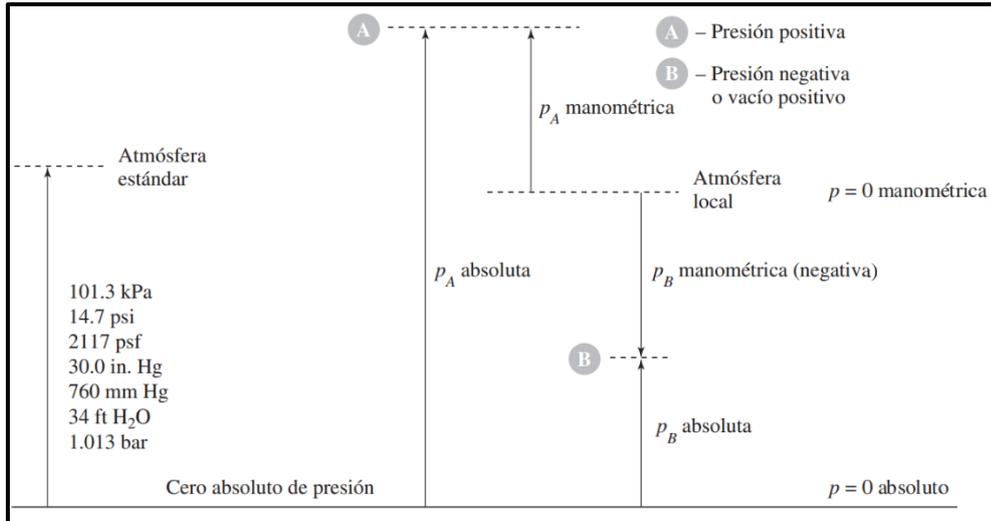


Figura 12. Escala de Presión manométrica y Presión Absoluta  
 Fuente: Mecánica de Fluidos (Potter, Wiggert y Ramadan, 2015)

### La Ecuación de Continuidad

Para el cálculo de la velocidad del flujo de un fluido dentro de una tubería dependerá del principio de continuidad. En la Figura 13, el fluido fluye desde el punto 1 hasta el punto 2 del sistema a una velocidad constante. Además, si dentro del sistema no se añade, almacena o elimina fluido en un determinado tiempo, se da a conocer que el flujo es constante (Mott y Untener, 2015).

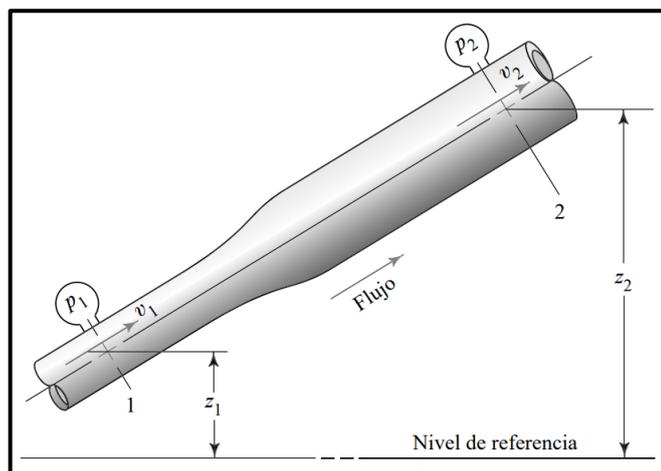


Figura 13. Distribución de Fluidos dentro de un Sistema  
 Fuente: Mecánica de Fluidos (Mott y Untener, 2015)

En la Figura 13. Se muestra un sistema de distribución de un fluido, en el cual se puede mostrar las variaciones en la velocidad, presión y elevación.

Ya que el fluido es un flujo constante, su rapidez del flujo ( $M$ ) se puede expresar de esta manera:

$$M_1 = M_2 \quad \text{Ec. 4}$$

Tomando la Ec. 4 la rapidez de flujo ( $M$ ) también puede ser representado de esta manera:

$$M_1 = M_2$$
$$\rho_1 * A_1 * v_1 = \rho_2 * A_2 * v_2 \quad \text{Ec. 5}$$

donde:

- ✓  $\rho$ = Densidad del fluido
- ✓  $A$ = Área del flujo
- ✓  $v$ = Velocidad del flujo

En caso que el fluido se considere incompresible, las densidades  $\rho_1$  y  $\rho_2$  son iguales y pueden cancelarse. Esta fórmula matemática, se puede aplicar para todos los fluidos (gases o líquidos), pero en caso el fluido es un gas, que debe tener una velocidad menor a 100 m/s (Mott y Untener, 2015).

Tomando en cuenta la Ec. 5

$$\rho_1 * A_1 * v_1 = \rho_2 * A_2 * v_2$$

Se elimina las densidades  $\rho_1$  y  $\rho_2$

$$A_1 * v_1 = A_2 * v_2 \quad \text{Ec. 6}$$

Se sabe que  $Q = A * v$ , se reemplaza en la Ec. 6 y se obtiene:

$$Q_1 = Q_2 \quad \text{Ec. 7}$$

donde:

- ✓  $Q$ = Rapidez del flujo de volumen

## **Conservación de la Energía – Ecuación de Bernoulli**

En la física se aprendió el principio de conservación de la energía que no se crea ni se destruye, solo se puede transformar de una forma a otra. Este es un enunciado de la ley de conservación de la energía. En la cual hay 03 formas de energía que se considera en el análisis del flujo dentro de una tubería (Mott y Untener, 2015).

- **Energía potencial (PE):**

La energía potencial del fluido es efectuada por su elevación o la diferencia de altura del punto 1 a punto 2, tal como la Figura 13. Con respecto a un nivel de referencia.

$$PE = w * z \quad \text{Ec. 8}$$

donde:

- ✓  $z$  = Elevación
- ✓  $w$  = Peso del elemento

- **Energía cinética (KE):**

La energía cinética del fluido es efectuada por su velocidad de cada punto dentro del sistema. Ver Figura 13

$$KE = \frac{w * v^2}{2 * g} \quad \text{Ec. 9}$$

donde:

- ✓  $v$  = Velocidad del elemento
- ✓  $w$  = Peso del elemento
- ✓  $g$  = Gravedad

- **Energía de flujo (FE):**

La energía de flujo también es conocida como energía de presión o flujo de trabajo, en la cual representa la cantidad de trabajo que se necesita para mover el fluido dentro de una sección determinada contra la presión  $p$ .

$$FE = \frac{w * p}{\gamma} \quad \text{Ec. 10}$$

donde:

- ✓  $p$  = Presión
- ✓  $w$  = Peso del elemento
- ✓  $\gamma$  = Densidad específica

La cantidad total de energía se obtiene con la suma de la energía de flujo, energía potencial y la energía cinética. De esta forma se obtiene la energía (E), donde:

$$E = FE + PE + KE \quad \text{Ec. 11}$$

En la expresión matemático de la Ec. 11, se reemplaza la Ec. 8, Ec. 9 y Ec. 10. Obtenido:

$$E = FE + PE + KE$$

$$E = \frac{w * p}{\gamma} + w * z + \frac{w * v^2}{2 * g} \quad \text{Ec. 12}$$

En la Ec. 12 se aplica en la sección 1 y sección 2 de la figura aa. En la cual se obtiene las siguientes ecuaciones:

$$E_1 = \frac{w * p_1}{\gamma} + w * z_1 + \frac{w * v_1^2}{2 * g} \quad \text{Ec. 13}$$

$$E_2 = \frac{w * p_2}{\gamma} + w * z_2 + \frac{w * v_2^2}{2 * g} \quad \text{Ec. 14}$$

Igualando las ecuaciones de las energías de la sección 1 ( $E_1$ ) Ec. 13 y la sección 2 ( $E_2$ ) Ec. 14, se obtiene la siguiente expresión:

$$E_1 = E_2 \quad \text{Ec. 15}$$

En la Ec. 15 se reemplaza la Ec. 13 y la Ec. 14

$$\frac{w * p_1}{\gamma} + w * z_1 + \frac{w * v_1^2}{2 * g} = \frac{w * p_2}{\gamma} + w * z_2 + \frac{w * v_2^2}{2 * g} \quad \text{Ec. 16}$$

En la Ec. 16 se simplifica el peso del elemento ( $w$ ), obteniendo la Ecuación de Bernoulli

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2 * g} = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2 * g} \quad \text{Ec. 17}$$

donde:

- ✓  $p/\gamma$ : Se llama carga de presión
- ✓  $z$ : Se llama carga de elevación
- ✓  $v^2/2 * g$ : Se llama carga de velocidad

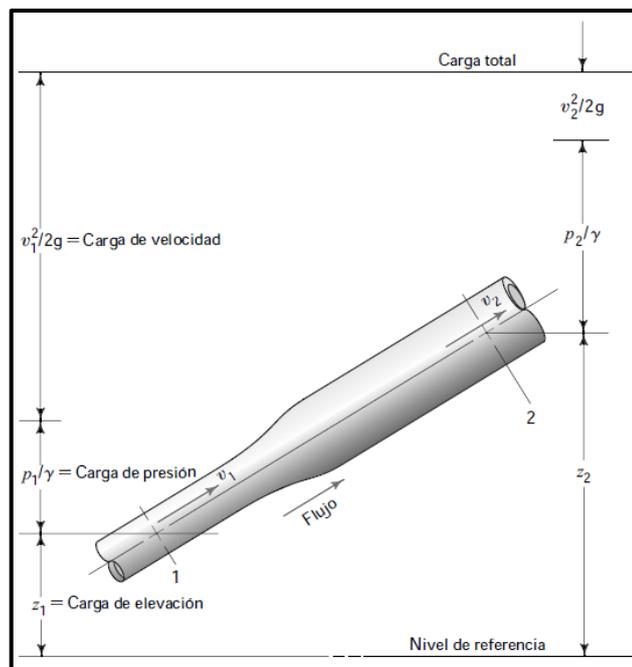


Figura 14. Carga de presión, carga de elevación, carga de velocidad y carga total dentro de un sistema

Fuente: Mecánica de Fluidos (Mott y Untener, 2015)

### Ecuación general de la energía

En la Ec. 17. La Ecuación de Bernoulli no toman en cuenta las otras formas de energía (Mott y Untener, 2015).

Para ello se deben considerar lo siguiente:

- La pérdida de energía dentro de un sistema debido por la fricción generada por el fluido mientras fluye por las tuberías
- La pérdida de energía mientras el fluido mientras fluye por las válvulas o accesorios (codos, reducción, etc.), que en la cual afecte la trayectoria, la aceleración o desaceleración del fluido.
- La ganancia de energía que se obtiene al momento de instalar una bomba, que en la cual proporcionara impulso al fluido para que desplace por todo el sistema y aumente la presión del fluido
- Y por último la energía eliminada del sistema que se obtiene por medio de motores o turbinas, que en la cual sirve para conducir el fluido a otros sistemas mecánicos.

Para ello las pérdidas y ganancias de energía producidas en un sistema, se le conoce como cargas.

Las siguientes cargas son:

- $h_A$ = Es la energía que se añade al fluido mediante un dispositivo mecánico, como por ejemplo una bomba.
- $h_R$ = Es la energía removida de un fluido mediante el dispositivo mecánico, como por ejemplo un motor o turbina
- $h_L$ = Es la energía que se pierde dentro del sistema debido a la fricción que se genera en la tubería y en las válvulas y accesorios.

Después de conocer todas las cargas de pérdidas y ganancias, podemos aplicarlo con la ecuación de Bernoulli y dar a conocer la fórmula de la ecuación general de la energía (Mott y Untener, 2015).

La siguiente ecuación, es la unión de la Ecuación de Bernoulli (Ec. 17) y la suma de todas las energías que se puede encontrar en el sistema

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2 * g} + h_A - h_R - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2 * g} \quad \text{Ec. 18}$$

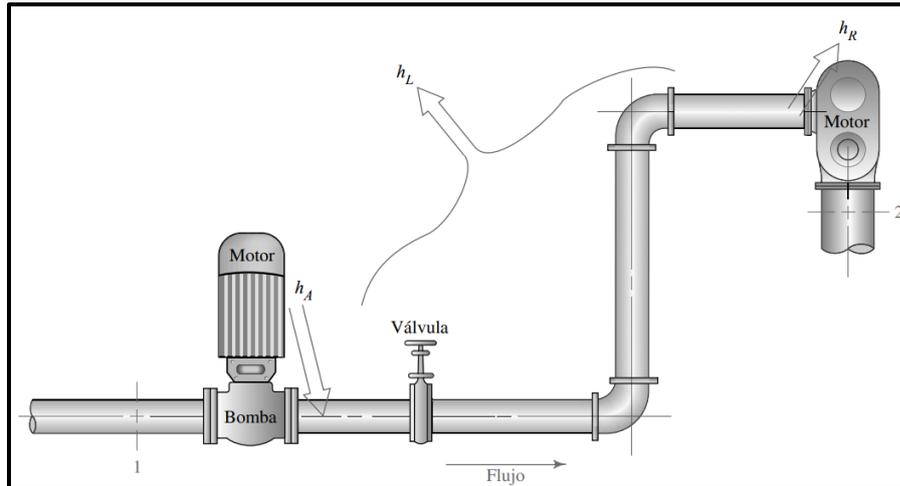


Figura 15. Sistema de flujo de fluido que representa la ecuación de general de la energía con respecto a la Ec. 18.

Fuente: Mecánica de Fluidos (Mott y Untener, 2015)

### Número de Reynolds

Es un número adimensional que lo descubrió el ingeniero británico Osborne Reynolds, donde se observa que el régimen de un flujo dependerá de la razón entre la fuerza inercial y la fuerza viscosa del fluido. Esto se expresa de un flujo que se encuentra dentro de una tubería circular (Çengel y Cimbala, 2012).

Su fórmula es:

$$Re = \frac{\text{Fuerzas inerciales}}{\text{Fuerzas viscosas}} = \frac{V * D}{\nu} = \frac{\rho * V * D}{\mu} \quad \text{Ec. 19}$$

donde:

- ✓  $Re$  = Número de Reynolds
- ✓  $V$  = Velocidad del flujo
- ✓  $D$  = Diametro interno de la tubería
- ✓  $\nu$  = Viscosidad cinemática del fluido
- ✓  $\rho$  = Densidad del fluido
- ✓  $\mu$  = Viscosidad dinámica del fluido

### Valores del número de Reynolds

Para la definición del número de Reynolds de un fluido, dependerá de la perturbación del flujo por la rugosidad de la superficie, vibraciones de la tubería y fluctuaciones en el flujo de entrada (Çengel y Cimbala , 2012)

Dichos números de Reynolds con respecto con su flujo son:

- Flujo laminar  $Re \leq 2300$
- Flujo transicional  $2300 \leq Re \leq 4000$
- Flujo turbulento  $Re \geq 4000$

### Ecuación de Darcy para la pérdida de energía

Esta representación matemática se puede utilizarse para calcular la pérdida de energía debido a la fricción dentro de las tuberías redondas del sistema. Esta fórmula se puede utilizar para fluidos con flujo laminar y para flujo turbulento (Mott y Untener, 2015)

La fórmula de ecuación de Darcy es:

$$h_L = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2 * g} \quad \text{Ec. 20}$$

donde:

- ✓  $h_L$ = Pérdida de energía debida a la fricción dentro de la tubería redonda
- ✓  $f$ = factor de fricción
- ✓  $L$  = Longitud de la tubería
- ✓  $D$ = Diámetro de la tubería
- ✓  $V$ = Velocidad del flujo

### Pérdida de Energía por Fricción

Formula desarrollada por P.K. Swamee y A.K. Jain, exclusivamente para fluidos que tengan un flujo turbulento (Çengel y Cimbala , 2012).

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7 * (D/\varepsilon)} + \frac{5.74}{N_R^{0.9}} \right) \right]^2} \quad \text{Ec. 21}$$

donde:

- ✓  $f$  = factor de fricción
- ✓  $D/\varepsilon$  = Rugosidad relativa
- ✓  $N_R$  = Número de Reynolds

**Tabla 11. Rugosidad dentro de la tubería con respecto a su material**

Material	Rugosidad $\varepsilon$ (m)	Rugosidad $\varepsilon$ (ft)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	$3,0 \times 10^{-7}$	$1,0 \times 10^{-6}$
Tubo estirado; cobre, latón, acero	$1,5 \times 10^{-6}$	$5,0 \times 10^{-6}$
Acero, comercial o soldado	$4,6 \times 10^{-5}$	$1,5 \times 10^{-4}$
Hierro galvanizado	$1,5 \times 10^{-4}$	$5,0 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil - revestido	$1,2 \times 10^{-4}$	$4,0 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil - sin revestir	$2,4 \times 10^{-4}$	$8,0 \times 10^{-4}$
Concreto, bien hecho	$1,2 \times 10^{-4}$	$4,0 \times 10^{-4}$
Acero remachado	$1,8 \times 10^{-3}$	$6,0 \times 10^{-3}$

Fuente: Mecánica de Fluidos (Mott y Untener, 2015)

### Caída de Presión

La caída de presión es ocasionada por el efecto viscoso que representa una pérdida de presión por fricción.

$$\Delta P_L = f * \frac{L}{D} * \rho * \frac{V^2}{2} \quad \text{Ec. 22}$$

donde:

- ✓  $f$  = factor de fricción
- ✓  $L$  = Longitud de la tubería
- ✓  $D$  = Diámetro de la tubería
- ✓  $\rho$  = Densidad del fluido
- ✓  $V$  = Velocidad del flujo

## 2.3 Conceptual

En el presente marco conceptual se observará el desarrollo de la investigación del trabajo de tesis. En la cual se expondrá los conceptos del objeto de estudio y en la cual servirá como sustento teórico.

En la presente investigación daremos seguimiento en la definición de los conceptos relacionados con el “Diseño de un Sistema de Suministro de Gases Medicinales de Alto Flujo para el Abastecimiento de 120 Camas Hospitalarias en Pandemia”, en la cuales son:

- Diseño

Según ICSID (Internacional Council of Societies of Industries Design, 2005) El diseño, cuya actividad creatividad tiene como propósito es establecer las cualidades multifacéticas de objetos, procesos, servicios en su ciclo completo de vida. Siendo el factor principal de la humanización innovadora de las tecnologías y el factor crítico del intercambio cultural y económico.

- Sistema

El sistema es un conjunto de elementos organizados que interactúan para lograr un objetivo. El sistema recibe datos, energía o materia del ambiente y el sistema provee información, energía o materia (respectivamente).

- Suministro

Se entiende por suministro la parte de la logística que trata sobre las actividades que se desarrollan para la adquisición. El almacenamiento y el suministro a los pacientes de un hospital y a todos sus trabajadores, tanto de los medicamentos, los alimentos, como de los demás elementos de uso sanitario y administrativo, de manera oportuna, en las cantidades exacta, con la calidad óptima y en el lugar apropiado, de tal forma que el hospital cumpla plenamente con sus objetivos y metas en cuanto prevención, diagnóstico, tratamiento y recuperación de la salud.

- Gases Medicinales

Se puede definir un medicamento cuando entre en contacto con un paciente, en la cual se puede usar o administrar con el fin de restaurar y corregir las funciones fisiológicas establecidas por un diagnóstico médico. Estos gases están constituidos por uno más componentes gaseosos.

- Abastecimiento

La función de abastecimiento es la encargada de suministrar los recursos y también adquiere un valor fundamental en el desempeño de una organización, condicionado a costos productivos y la respuesta del consumidor.

- Camas Hospitalarias

Es un equipo disponible dentro de las instalaciones para atención del paciente durante las 24 horas del día.

- Pandemia

Según la OMS, la pandemia es un brote epidémico que afecta de manera global. Para tener esta denominación, el brote debe tener un grado de infectividad y un fácil traslado de un sector a otro.

#### **2.4 Definición de términos básicos:**

- Ambiente

Es el espacio físico limitado por paredes, piso y techo

- Ambiente prestacional

Es el ambiente donde se desarrollan prestaciones de salud para los usuarios en un establecimiento de salud

- Área de un ambiente

Es la superficie, dentro de un ambiente, asignado para el desarrollo específico de una prestación o actividad de salud o administrativa

- Área mínima

Es la superficie determinada en metros cuadrados (m<sup>2</sup>), necesaria para el desarrollo de las prestaciones ya actividades de salud y administrativas, considerando la disposición de equipamiento y mobiliario, funciones y cantidad de usuarios

- Equipamiento

Es el conjunto de bienes de un establecimiento de salud necesarios para el desarrollo de prestaciones de salud o actividades administrativas. Comprende: Equipos, mobiliario, instrumental y vehículo

- Equipo médico

Es el equipo que se usa con fines diagnósticos o tratamiento de enfermedades o de rehabilitación después de una enfermedad o lesión; se les puede usar individualmente con cualquier accesorio o consumible, o con otro equipo médico. Requieren calibración y mantenimiento, actividades que deben ser realizadas por ingenieros o técnicos de la especialidad

- Especificaciones técnicas

Es la descripción de un componente físico o virtual de un proyecto. Contiene la información de las características básicas, exigencias normativas procedimiento de uso. Puede ser aplicada en la elaboración de estudios, ejecución y supervisión de obra, y fabricación de equipos. Cada una de las características técnicas del equipo, deben tener un numeral que las identifique.

- Establecimientos de salud

Son aquellos donde se realizan atención de salud de régimen ambulatorio o de internamiento, con fines de prevención, promoción, diagnóstico, tratamiento y rehabilitación, para mantener o restablecer el estado de salud de las personas. El establecimiento de salud constituye la Unidad Operativa de la oferta de servicios de salud, según nivel de atención y clasificado en una categoría; esta implementado con recursos humano, materiales y

equipos, realiza actividades de promoción de la salud, prevención de riesgos y control de daños de la salud, asistenciales y de gestión para brindar atenciones de salud a la persona, familia y comunidad.

En el Reglamento Nacional de Edificaciones se les clasifica como edificaciones esenciales.

- Establecimiento de salud de atención general

Es el establecimiento de salud del segundo y tercer nivel de atención que desarrolla servicios de salud en diversas especialidades

- Establecimiento de salud de atención especializada

Es el establecimiento de salud del segundo y tercer nivel de atención que desarrolla servicios de salud en un campo clínico y/o grupo etario, en una o más especialidades pudiendo contar con subespecialidades

- Fundente

Sustancia química que se mezcla con otra para facilitar la fusión de esta, en procesos de soldadura

- Prestación de salud

Es la unidad básica que de manera general engloba los procedimientos que se brindan a los usuarios de los establecimientos de salud

- RNE

Siglas que corresponden al “Reglamento Nacional de Edificaciones”

### **III. HIPÓTESIS Y VARIABLES**

#### **3.1 Hipótesis**

##### **3.1.1 Hipótesis General**

Si se diseña un sistema de suministro de gases medicinales de alto flujo para su posterior construcción, se abastecerá 120 camas hospitalarias en el Hospital II Ramón Castilla

##### **3.1.2 Hipótesis Específicas**

- Si se determinan los parámetros de diseño, permitirá obtener el consumo del suministro de gases medicinales
- Si se calcula el consumo de gases medicinales, permitirá la selección los equipos de almacenamiento, generadores de gases medicinales y el dimensionamiento de tuberías
- Si se seleccionan los equipos de almacenamiento y generadores de gases medicinales, permitirá abastecer el consumo calculado
- Si se determinar el dimensionamiento de las tuberías para su posterior instalación, se abastecerá 120 camas hospitalarias en el Hospital II Ramón Castilla

#### **3.2 Definición conceptual de variables**

Teniendo como una variable independiente que en la cual da inicio como objeto de estudio.

La variable “Sistema de suministro de gases medicinales de alto flujo”, donde citaremos a los diccionarios reconocidos como LA REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, donde la palabra DISEÑO tiene como definición “Concepción original de un objeto u obra destinados a la producción en serie” y “Descripción o bosquejo verbal de algo”.

Y en el diccionario enciclopédico LAROUSSE, tiene como definición “Descripción o bosquejo de alguna cosa hecho en palabras. Diseño Asistido por Computadora, conjunto de técnicas informáticas de ayuda a la concepción y gestión de proyectos de diseño de nuevos productos”.

Y en la variable “Abastecimiento de 120 camas hospitalarias en pandemia” Se entiende por abastecimiento y suministros la parte de la logística que trata sobre las actividades que se desarrollan para la adquisición. El almacenamiento y el suministro a los pacientes de un hospital y a todos sus trabajadores, tanto de los medicamentos, los alimentos, como de los demás elementos de uso sanitario y administrativo, de manera oportuna, en las cantidades exacta, con la calidad óptima y en el lugar apropiado, de tal forma que el hospital cumpla plenamente con sus objetivos y metas en cuanto prevención, diagnóstico, tratamiento y recuperación de la salud. (Instituto de Desarrollo de Recursos Humanos (IDREH), Programa de Gerencia de Servicios de Salud, Administración Hospitalaria, p.103).

### **3.2.1 Operacionalización de variable**

En el siguiente cuadro podremos visualizar las variables independientes y dependientes, observando sus indicadores y dimensiones.

**Tabla 12. Tabla de indicadores de variables**

Variables	Dimensiones	Indicadores	Índices	Método	Técnica
Sistema de Suministro de Gases Medicinales de Alto Flujo	Parámetros del diseño	Área preliminar de ubicación de los equipos de suministro de gases medicinales y puntos de salidas de gases medicinales	Áreas (m <sup>2</sup> )	Analítico - Sintético	Documental y empírico
		Tipo de gas medicinal (OXI, ACM, VAC) para cada cama hospitalaria (propuesto por el hospital)	Oxígeno Medicinal (OXI), Aire comprimido medicinal (ACM) o vacío medicinal (VAC)		
		Cantidad de puntos	Número de puntos de salidas de gases medicinales		
	Consumo	Gasto del gas en función al número de salidas	LPM		
		Consumo diario del gas Capacidad de almacenamiento	m <sup>3</sup> /d Galones (gal)		
Selección de equipos de almacenamiento y generadores de gases medicinales	Tanque de almacenamiento Generador de gases medicinales	Galones (gal) Equipos (scfm)			
Dimensionamiento de las tuberías	Línea de oxígeno medicinal Línea de vacío medicinal Línea de aire comprimido medicinal	Diámetro Longitud Tipo de tubería			
Abastecimiento de 120 camas hospitalarias en pandemia	Verificación del flujo o caudal	De acuerdo a las normas es el caudal de operatividad final: oxígeno medicinal y aire comprimido medicinal (100 LPM) y vacío medicinal (42,6 LPM)	Caudal final (LPM)		

Fuente: Elaboración propia, en base los objetivos y las variables dependiente e independiente de trabajo de investigación

## **IV. DISEÑO METODOLÓGICO**

### **4.1 Tipo y diseño de investigación**

Pero también en este trabajo utilizaremos la investigación tecnológica, porque gracias a ella podemos resolver los problemas de la vida cotidiana, ahorrando esfuerzos al momento de realizar un trabajo (Valderrama, 2013). El trabajo de tesis es una investigación no experimental ya que se realiza su estudio sin manipular de manera deliberada la variable independiente. Y su diseño es transversal y descriptivo, ya que describe los variables y analiza su incidencia de un objeto que en la cual proporciona su descripción (Valderrama, 2013)

### **4.2 Método de investigación**

El método de investigación de la presente tesis es de analítico y sintético, que estudia los hechos, descomponiendo el objeto de estudio para estudiarlo de forma individual (análisis) y después juntar esas partes para estudiarlas de forma general e integral (síntesis)

### **4.3 Población y muestra**

Según (Alan y Cortez , 2018) la población o universo comprende la totalidad de sujetos y objetos a los cuales se va a investigar, su selección se da en función a ciertas características que pueden contribuir ven la obtención de información relevante para estudiar el problema.

Por ello nuestra población de estudio y muestra es el sistema de suministros de gases medicinales de alto flujo.

### **4.4 Lugar de estudio y periodo desarrollado**

El lugar de estudio del presente trabajo de investigación de tesis será en los **Hospital II Ramón Castilla**. Con dirección actual Jr. Guillermo Dansey N.º 390., donde se plantea el diseño de un Sistema de Suministro de Gases Medicinales de Alto Flujo

#### 4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

Para (Espinoza, 2010) “La técnica documental nos permite la recolección de evidencias y datos para demostrar nuestras hipótesis propuestas en la investigación”. Esta técnica cuenta con instrumentos de recolección de documentos distintos como: memorias, actas, revistas y cualquier documento de alguna institución o empresas que registren datos de funcionamiento.

Planteamiento del Problema	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fichas Bibliográficas (Libro y tesis)</li> <li>Fichas técnicas (NPA e IMSS)</li> </ul>	Documental
Marco Conceptual	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fichas Bibliográficas (tesis nacionales e internacionales, normativas técnicas)</li> <li>Fichas Bibliográficas (Mott, Potter)</li> <li>Fichas documentales (MINSA)</li> </ul>	Documental
Hipótesis y Variables	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fichas Bibliográficas (tesis)</li> <li>Fichas técnicas (NPA e IMSS)</li> </ul>	Documental
Diseño Metodológico	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fichas Bibliográficas (Valderrama, Bernal y Espinoza)</li> <li>Fichas técnicas (IMSS)</li> </ul>	Documental
Parámetros de Diseño	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fichas técnicas (IMSS)</li> <li>Inspección Visual</li> </ul>	Documental y Empírica
Consumo de gas medicinal	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fichas técnicas (IMSS y NFPA)</li> <li>Fichas electrónicas (AMICO)</li> <li>Guías de observación</li> </ul>	Documental
Selección de equipos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fichas electrónicas (AMICO, LINDE)</li> <li>Fichas técnicas (NFPA)</li> </ul>	Documental
Dimensionamiento de las tuberías	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fichas técnicas (IMSS y NFPA)</li> <li>Fichas electrónicas (AMICO)</li> <li>Fichas Bibliográficas (tesis nacionales e internacionales, normativas técnicas)</li> <li>Fichas Bibliográficas (Mott, Potter)</li> </ul>	Documental

Figura 16. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

Fuente: Elaboración Propia

#### **4.6 Análisis y procesamiento de datos**

Con los datos recopilados se podrá empezar los cálculos para determinar las máximas pérdidas de presión, para que el proyecto del nuevo centro hospitalario sea aceptado.

Y teniendo en cuenta los conocimientos de las teorías fundamentales de la dinámica de fluidos y otros manuales de diferentes concesiones, para realizar toda la investigación necesaria.

Etapa 1: Parámetros del diseño

- ✓ Determinación del área preliminar para la ubicación de los equipos de suministro de gases medicinales.
- ✓ Plano arquitectónicos y de equipamiento, donde definen los puntos de salida de gas medicinal en cada área hospitalaria.
- ✓ Determinación la ubicación de las cajas de válvulas de corte en cada estación de enfermeros.

Etapa 2: Consumo de gas medicinal

- ✓ Listado de ambientes hospitalario
- ✓ Determinación el gasto total de gas medicinal
- ✓ Determinación el consumo diario de gas medicinal
- ✓ Determinación la capacidad del consumo

Etapa 3: Selección de equipos

- ✓ Selección de Equipos de almacenamiento de gases medicinales
- ✓ Selección de Generadores de gases medicinales

Etapa 4: Dimensionamiento de las tuberías

- ✓ Determinamos el diámetro de cada tubería de cobre para cada gas medicinal, con respecto a la cantidad de número de salidas de cada tramo y su longitud
- ✓ Determinamos la máxima pérdida de presión por fricción del sistema de cada gas medicinal

#### 4.6.1 Etapa 1: Parámetros del diseño

- **Determinación del área preliminar para la ubicación de los equipos de suministro de gases medicinales.**

Se inició con la ubicación geográfica del centro hospitalario Hospital II Ramón Castilla, mediante la ubicación en Google Earth.

La dirección del Hospital II Ramón Castilla, está ubicado en el Jr. Guillermo Dansey N.º 390, Distrito de Cercado de Lima.



Figura 17. Ubicación geográfica satelital del Hospital II Ramón Castilla  
Fuente: Imagen tomado por Google Earth (Google Earth, 2021)

Datos:

- ✓ Longitud : -77.04389 o en grados: O -77°2'38.36"
- ✓ Latitud : 12.04439 o en grados: S 12°2'40.81"
- ✓ Altitud : 132,712 msnm

Después de la ubicación geográfica, también se da ubicación dentro de la localidad, para el centro de gases medicinales. Con ello se apoya con los planos arquitectónicos.

- **Plano arquitectónico y de equipamiento**

Con los planos brindados por parte de la administración del Hospital, se definirá las cantidades de camas. Y en los planos de equipamiento nos definirá exclusivamente que tipo de gas medicinal requiere y la cantidad de puntos en cada área hospitalaria.

- **Determinación la ubicación de las cajas de válvulas de corte**

Por la recomendación de varios hospitales, la caja de válvula de corte se ubique cerca a la estación de enfermeros para que vigilen la presión de suministro por cada área del hospital.

Según el (IMSS, 2017), también recomienda ubicar en:

- ✓ La parte exterior de cada sala de operación
- ✓ Las salas de cuidados intensivos y recuperación postoperatoria, en la cual cada válvula es por cada 4 camas
- ✓ En las salas de observación, en la cual cada válvula es por cada 10 camas

#### 4.6.2 Etapa 2: Consumo de gas medicinal

- **Listado de ambientes hospitalario**

En este inicio de la segunda etapa, se genera un listado donde indique la cantidad de camas hospitalarias y cuantos puntos de gases medicinales necesite cada uno de ellos, se obtendrá definidos por los planos de arquitectónicos y de equipamiento.

**Tabla 13. Lista de Ambientes Hospitalarios en Hospital II Ramón Castilla**

UBICACIÓN	CANTIDAD			
	CAMAS	OXIGENO	VAC	ACM
1ER PISO				
AREA COVID 19 - OBSERVACIÓN	11	X	X	
AREA COVID 19 - UVI 1	3	X	X	
AREA COVID 19 - UVI 2	7	X	X	
AREA COVID 19 - UVI - TRAUMA SHOCK	2	X	X	
AREA COVID 19 - TOPICO INYECTABLE	1	X		X
AREA COVID 19 - NEBULIZACIÓN	4	X		X
TÓPICO GINECOLOGIA	2	X	X	
OBSERVACION DE PEDIATRÍA	2	X	X	
TÓPICO CIRUGIA	2	X		
TÓPICO PEDIATRIA	2	X		
INMUNIZACION	2	X		
SALA DE OPERACIÓN 01	1	X	X	X
SALA DE OPERACIÓN 02	1	X	X	X
SALA DE OPERACIÓN 03	1	X	X	X
SALA DE RECUPERACIÓN	4	X	X	X

UBICACIÓN	CANTIDAD			
	CAMAS	OXIGENO	VAC	ACM
UCI NEONATOLOGIA	7	X	X	X
NEONATOLOGIA	1	X	X	X
OBSERVACION DE GINECO OBSTETRA	3	X	X	
HOSPITALIZACION GINECO OBSTETRA	7	X	X	
SALA DILATACIÓN	3	X		
SALA DE PARTO 01	1	X	X	X
TOPICO DE PARTO	1	X	X	X
SALA DE PARTO 02	1	X	X	X
HOSPITALIZACION PEDIATRIA 01	3	X		
HOSPITALIZACION PEDIATRIA 02	4	X		
TRAUMASHOCK	1	X		
HOSPITALIZACION	2	X		
<b>2DO PISO</b>				
HOSPITALIZACION MEDICINA	18	X	X	
HOSPITALIZACION CIRUGIA	13	X	X	
ZONA DE AISLADO 1	1	X	X	
ZONA DE AISLADO 2	1	X	X	
UNIDAD DE CUIDADO INTERNO	4	X	X	
UNIDAD DE VIGILANCIA INTERNA	4	X	X	

Fuente: Elaboración propia. En base a los ambientes hospitalarias del Hospital II Ramón Castilla

Nota:

- X indica los gases medicinales que son requeridos en ese ambiente
- VAC, indica gas de vacío clínico
- ACM, indica gas de aire comprimido medicinal

Pero también vamos a tener en cuenta el tipo de uso de cada área hospitalaria, la Tabla 14. Nos servirá como apoyo, en saber cuáles son las áreas hospitalarias que tienen la máxima importancia en el uso de los gases medicinales.

**Tabla 14. Guía de tipos de uso**

Local / Áreas Hospitalarias	Tipo se Uso	Local / Áreas Hospitalarias	Tipo de Uso
Sala de cirugía	A	Cunero fisiológico	B
Sala de cirugía de gineco	A	Cunero patológico	B
Sala de expulsión	A	C.E.Y.E.	B
Recuperación post-operatorio	A	Laboratorio clínico	B
Cuidados intensivos	A	Prematuros	B
Trabajo de parto	A	Estomatología	B
Recuperación postparto	A	Bomba de cobalto	B
Cuidados intermedios	A	Diálisis	B
Terapia intracavitaria	A	Hemodiálisis	B
Observación urgencias adultos	A	Inhaloterapia	B
Rehidratación mesa Karam	A	Quimioterapia	B
Aislados adultos en H.G.Z.	A	Endoscopia	B
Aislados adultos en H.G.E.	A	Tomografía	B
Aislados pediatría en H.G.Z.	A	Resonancia magnética	B
Aislados pediatría en H.G.E.	A	Rayos "X"	B
Observación pediatría	A	Hemodinámica	B
Cuarto de shock	B	Centellografía	B
Recuperación de transición cuneros	B	Gammagrafía	B
Encamados adultos H.G.Z.	B	Cirugía ambulatoria	B
Encamado gineco	B	Puerperio de bajo riesgo	B
Encamado generales pediatría	B	Primer contacto	B
Encamado generales pediatría gineco	B	Curaciones	B

Fuente: Guía de salidas murales. Tomado de Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS, 2017)

Para ello existen áreas hospitalarias de tipo A y tipo B, entonces la mejor solución para hacer los siguientes cálculos, será la siguiente:

- ✓ Las áreas hospitalarias de **tipo A**, se transformarán en áreas hospitalarias de **tipo B**, tan solo se multiplicará con un factor de 2.

También nos apoyaremos con la Tabla 15, para saber el gasto total de cada cantidad de puntos que se obtiene al momento de hacer los cálculos de oxígeno y aire comprimido medicinal

**Tabla 15. Gastos de oxígeno y aire comprimido medicinal en litros por minuto**

Nº de salidas	Gasto L/min						
1	100	31	541	72	790	180	1148
2	148	32	549	74	800	185	1161
3	181	33	557	76	809	190	1174
4	210	34	565	78	818	195	1187
5	237	35	572	80	827	200	1200
6	261	36	579	82	836	210	1225
7	283	37	586	84	845	220	1249
8	302	38	593	86	854	230	1273
9	320	39	600	88	863	240	1296
10	336	40	607	90	872	250	1319
11	350	41	614	92	881	260	1341
12	364	42	621	94	890	270	1363
13	376	43	628	96	899	280	1384
14	388	44	635	98	907	290	1405
15	399	45	642	100	915	300	1425
16	409	46	649	105	932	320	1461
17	419	47	656	110	949	340	1495
18	429	48	663	115	964	360	1527
19	439	49	670	120	979	380	1558
20	448	50	676	125	994	400	1588
21	457	52	687	130	1009	420	1618
22	466	54	698	135	1024	440	1647
23	475	56	709	140	1039	460	1675
24	484	58	720	145	1054	480	1702
25	493	60	730	150	1068	500	1728
26	501	62	740	155	1082	550	1788
27	509	64	750	160	1096	600	1847
28	517	66	760	165	1109	650	1904
29	525	68	770	170	1122	700	1958
30	533	70	780	175	1135	750	2011

Fuente: Gastos de oxígeno en función del número de salidas. Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS, 2017)

También nos apoyaremos con la Tabla 15, para saber el gasto total de cada cantidad de puntos que se obtiene al momento de hacer los cálculos de oxígeno y aire comprimido medicinal.

**Tabla 16. Gastos de vacío medicinal en litros por minuto**

N° de salidas	Gasto L/min						
1	42,6	36	260,5	71	335,4	130	421,9
2	80,0	37	263,0	72	337,2	135	428,9
3	103,8	38	265,5	73	339,0	140	435,9
4	119,6	39	267,9	74	340,7	145	443,0
5	132,4	40	270,3	75	342,4	150	450,0
6	142,7	41	272,7	76	344,1	155	457,0
7	153,0	42	275,1	77	345,8	160	464,0
8	160,0	43	277,5	78	347,5	165	471,0
9	166,6	44	279,8	79	349,1	170	478,0
10	173,5	45	282,1	80	350,7	175	485,0
11	179,8	46	284,4	81	352,3	180	492,0
12	185,5	47	286,7	82	353,9	185	499,0
13	190,7	48	289,0	83	355,5	190	506,0
14	195,5	49	291,2	84	357,0	195	513,1
15	199,8	50	293,4	85	358,5	200	520,1
16	203,9	51	295,6	86	360,0	210	534,1
17	207,6	52	297,8	87	361,5	220	548,1
18	211,2	53	300,0	88	363,0	230	262,1
19	214,5	54	302,1	89	363,4	240	576,2
20	217,6	55	304,2	90	365,8	250	590,2
21	220,7	56	306,3	91	367,2	260	604,2
22	223,6	57	308,4	92	368,6	270	618,2
23	226,4	58	310,5	93	370,0	280	632,3
24	229,2	59	312,5	94	371,4	290	646,3
25	231,9	60	314,5	95	372,8	300	660,3
26	234,6	61	316,5	96	374,2	310	674,3
27	237,3	62	318,5	97	375,6	320	688,3
28	240,0	63	320,5	98	377,0	330	702,4
29	242,6	64	322,4	99	378,4	340	716,4
30	245,2	65	324,3	100	379,9	350	730,4

N° de salidas	Gasto L/min						
31	247,8	66	326,2	105	386,9	360	744,4
32	250,4	67	328,1	110	393,9	370	758,5
33	253,0	68	330,0	115	400,9	380	772,5
34	255,5	69	331,8	120	407,9	390	786,5
35	258,0	70	333,6	125	414,9	400	800,5

Fuente: Gastos de vacío medicinal en función del número de salidas. Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS, 2017)

- **Determinación el gasto total de gas medicinal**

- ✓ **Oxígeno**

- Gasto total**

El total del gasto  $Gasto_{total}$ , se define como la cantidad de salidas y después de hacer el cambio de tipo de uso hospitalario (tipo A hacia tipo B). Con respecto a la Tabla 14.

**Tabla 17. Listado de cantidad de salidas de oxígeno medicinal**

OXÍGENO MEDICINAL					
HOSPITAL II RAMON CASTILLA					
Descripción	Cantidad de salidas	Tipo de uso	Número de salidas	Factor conversión al tipo "B"	Total, salidas tipo "B"
1ER PISO					
AREA COVID 19 - OBSERVACIÓN	11	A	1	2	22
AREA COVID 19 - UVI 1	3	A	1	2	6
AREA COVID 19 - UVI 2	7	A	1	2	14
AREA COVID 19 - UVI - TRAUMA SHOCK	2	A	1	2	4
AREA COVID 19 - TOPICO INYECTABLE	1	A	1	2	2
AREA COVID 19 - NEBULIZACIÓN	4	A	1	2	8
TÓPICO GINECOLOGIA	2	B	1	1	2
OBSERVACION DE PEDIATRÍA	2	B	1	1	2
TÓPICO CIRUGIA	2	B	1	1	2
TÓPICO PEDIATRIA	2	B	1	1	2
INMUNIZACION	2	B	1	1	2
SALA DE OPERACIÓN 01	1	A	4	2	8
SALA DE OPERACIÓN 02	1	A	4	2	8
SALA DE OPERACIÓN 03	1	A	4	2	8
SALA DE RECUPERACIÓN	4	A	1	2	8
UCI NEONATOLOGIA	7	B	1	1	7

OXÍGENO MEDICINAL					
HOSPITAL II RAMON CASTILLA					
Descripción	Cantidad de salidas	Tipo de uso	Número de salidas	Factor conversión al tipo "B"	Total, salidas tipo "B"
NEONATOLOGIA	1	B	1	1	1
OBSERVACION DE GINECO OBSTETRA	3	A	1	2	6
HOSPITALIZACION GINECO OBSTETRA	7	B	1	1	7
SALA DILATACIÓN	3	B	1	1	3
SALA DE PARTO 01	1	A	1	2	2
TOPICO DE PARTO	1	A	1	2	2
SALA DE PARTO 02	1	A	1	2	2
HOSPITALIZACION PEDIATRIA 01	3	B	1	1	3
HOSPITALIZACION PEDIATRIA 02	4	B	1	1	4
TRAUMASHOCK	1	A	1	2	2
HOSPITALIZACION	2	B	1	1	2
2DO PISO					
HOSPITALIZACION MEDICINA	18	B	1	1	18
HOSPITALIZACION CIRUGIA	13	B	1	1	13
ZONA DE AISLADO 1	1	A	1	2	2
ZONA DE AISLADO 2	1	A	1	2	2
UNIDAD DE CUIDADO INTERNO	4	A	2	2	16
UNIDAD DE VIGILANCIA INTERNA	4	B	2	2	16
TOTAL, DE PUNTOS					206

Fuente: Elaboración propia. Cálculo número de salidas en base en la norma Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS, 2017)

En la Tabla 17, el tipo A y el tipo B realizando el tipo de factor, se obtiene el "factor de salida tipo B", cuya suma total indica el número total de puntos que define el gasto total de la forma:

$$\text{Gasto}_{\text{total}} = \# \sum \text{Puntos de oxígeno (Lt/min)} \quad \text{Ec. 23}$$

donde:

- $\# \sum \text{Puntos de oxígeno}$ = Sumatoria de la cantidad de puntos de oxígeno tiene un gasto, obtenida en la Tabla 15

Para obtener el valor del gasto en 206 puntos de oxígeno, se usó la interpolación de datos de la Tabla 15 y obteniéndose la Tabla 18.

**Tabla 18. Interpolación de gasto y número de salidas de oxígeno medicinal**

N.º de salidas	Gasto L/min
200	1200
206	x
210	1225

Fuente: Elaboración propia. En base al número de salidas con respecto a la Tabla 15

El valor del gasto total es x:

$$\frac{210 - 200}{210 - 206} = \frac{1225 - 1200}{1225 - x}$$

$$\frac{10}{4} = \frac{25}{1225 - x}$$

$$x = 1215$$

$$\text{Gasto}_{\text{total}} = x = 1215 \text{ Lt}/\text{min} \quad \text{Ec. 24}$$

✓ **Aire Comprimido Medicinal (ACM)**

**Gasto total**

El total del gasto  $\text{Gasto}_{\text{total}}$ , se define como la cantidad de salidas y después de hacer el cambio de tipo de uso hospitalario (tipo A hacia tipo B). con respecto a la Tabla 14. Pero también afectara su factor de simultaneidad por cada ambiente hospitalaria. Con respecto a la Tabla 19.

**Tabla 19. Factor de simultaneidad para Aire Comprimido Medicinal**

Ambiente Hospitalaria	Factor de simultaneidad (%)
Ubicación de anestesia	
Cirugía especial y cardiovascular	100
Cirugía mayor y ortopédica	100
Cirugía menor	75
Cirugía emergencia	25
Radiología	10
cateterización cardíaca	10
Ventiladores	100
Sala de parto	100

Ambiente Hospitalaria	Factor de simultaneidad (%)
Lugar de cuidados intensivos	
Sala de recuperación / Quirúrgico	25
U.C.I / UCC	50
Sala de emergencia	10
U.C.I Neonatal	75
Unidad de diálisis	10
Sala de recuperación / Observación	25
Atención al paciente sub agudo	
Enfermería	25
Habitación de pacientes	10
Examen & tratamiento	10
Espera pre-operatorio	10
Cuidado respetaría	50
Laboratorio de función pulmonar	50
EEG & EKG	50
Sala de parto	50
Otros	
Sala de anestesia	10
Sala de trabajo para el cuidado de la respiración	10
Pediatría	10
Reparación de equipos	10
Laboratorio médico	25

Fuente:

Tabla de cálculo SCFM para Aire Comprimido Medicinal. Master Specification Design Guide (Amico Corporation, 2019)

**Tabla 20. Listado de cantidad de salidas de Aire Comprimido Medicinal**

AIRE COMPRIMIDO MEDICINAL							
HOSPITAL II RAMON CASTILLA							
Descripción	Cantidad	Tipo de uso	Número de salidas	N.º Equi. de salidas	Caudal (LPM)	Factor de Simulta. (F.S.)	Gasto Litros/min
PRIMER PISO							
AREA COVID 19 - TOPICO INYECTABLE	1	A	2	2	148	0,1	14,8
AREA COVID 19 - NEBULIZACIÓN	4	A	2	8	302	0,5	151
SALA DE OPERACIÓN 01	1	A	4	4	210	1	210
SALA DE OPERACIÓN 02	1	A	4	4	210	1	210

SALA DE OPERACIÓN 03	1	A	4	4	210	1	210
SALA DE RECUPERACIÓN UCI	1	B	1	1	100	0,25	25
NEONATOLOGIA	7	A	2	14	386,4	0,75	289,8
NEONATOLOGIA	1	B	1	1	100	0,75	75
TOPICO DE PARTO	1	A	2	2	148	0,75	111
SALA DE PARTO 01	1	A	2	2	148	1	148
SALA DE PARTO 02	1	A	2	2	148	1	148
Gasto Final							1592,60

Fuente: Elaboración propia. Cálculo número de salidas en base en la norma Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS, 2017)

En la Tabla 20, el tipo A y el tipo B realizando el tipo de factor, se obtiene el “factor de salida tipo B” y el gasto de cada ambiente es multiplicado por un factor de simultaneidad, cuya suma total indica el gasto final de la forma:

$$\text{Gasto}_{\text{total}} = \# \sum \text{Gasto final de aire comprimido medicinal (Lt/min)} \quad \text{Ec. 25}$$

donde:

- $\# \sum \text{Gasto final de aire comprimido medicinal} = \text{Sumatoria de gasto final de aire comprimido medicinal}$

$$\text{Gasto}_{\text{total}} = 1592,60 \text{ Lt/min} \quad \text{Ec. 26}$$

#### ✓ Vacío Medicinal (VAC)

##### Gasto total

El total del gasto  $\text{Gasto}_{\text{total}}$ , se define como la cantidad de salidas y después de hacer el cambio de tipo de uso hospitalario (tipo A hacia tipo B), con respecto a la Tabla 14. Pero también afectara su factor de simultaneidad por cada ambiente hospitalaria. Con respecto a la Tabla 21.

**Tabla 21. Factor de simultaneidad para Vacío Medicinal**

Ambiente Hospitalaria	Factor de simultaneidad (%)
Ubicación de anestesia	
Sala de operaciones	100
Cistoscopia	100
Sala de parto	100
Procedimiento especial (corazón abierto, trasplante, etc.)	100
Emergencia/Sala de trauma mayor	100
Sala de anestesia	100
Vacío de evacuación	100
Lugar de cuidados intensivos (no anestesia)	
Sala de recuperación	50
U.C.I (Excepto el cardíaco)	75
U.C.I Cardíaco	50
Sala de emergencia	100
Procedimientos especiales (Rayos X, diálisis, etc.)	30
Laboratorio de cateterismo	10
Sala de escisión quirúrgica	10
U.C.I Neonatal	50
Atención al paciente sub agudo (no anestesia)	
Sala de pacientes - Quirúrgica	15
Sala de pacientes - Médico	10
Sala de examen y tratamiento	10
Pediatría	10
Pediatría prematura	25
Otras salas de pacientes	
Departamento de cuidados respiratorios	10
Enseñanza	10
Autopsia	10

Fuente: Tabla de cálculo SCFM para Vacío Medicinal. Master Specification Design Guide (Amico Corporation, 2019)

**Tabla 22. Listado de cantidad de salidas de Vacío Medicinal**

VACÍO CLÍNICO							
HOSPITAL II RAMON CASTILLA							
Descripción	Cantidad	Tipo de uso	Número de salidas	N.º Equi. de salida	Caudal (LPM)	Factor de Simulta (F.S.)	GASTO litros/min
<b>PRIMER PISO</b>							
AREA COVID 19 - OBSERVACIÓN	11	A	2	22	223,60	0,75	167,70
AREA COVID 19 - UVI 1	3	A	2	6	142,70	0,75	107,03
AREA COVID 19 - UVI 2	7	A	2	14	195,50	0,75	146,63
AREA COVID 19 - UVI - TRAUMA SHOCK TÓPICO	2	A	2	4	119,60	1,00	119,60
GINECOLOGIA	2	B	1	2	80,00	0,30	24,00
OBSERVACION DE PEDIATRÍA	2	B	1	2	80,00	0,10	8,00
SALA DE OPERACIÓN 01	1	A	5	5	132,40	1,00	132,40
SALA DE OPERACIÓN 02	1	A	5	5	132,40	1,00	132,40
SALA DE OPERACIÓN 03	1	A	5	5	132,40	1,00	132,40
SALA DE RECUPERACIÓN	4	A	2	8	80,00	0,50	40,00
UCI NEONATOLOGIA	7	A	2	14	195,50	0,75	146,63
NEONATOLOGIA	1	B	1	1	42,60	0,75	31,95
OBSERVACION DE GINECO OBSTETRA	3	A	2	6	142,70	0,15	21,41
HOSPITALIZACION GINECO OBSTETRA	7	B	1	7	153,00	0,10	15,30
TOPICO DE PARTO	1	A	2	2	80,00	0,30	24,00
SALA DE PARTO 01	2	A	2	4	119,60	1,00	119,60
SALA DE PARTO 02	2	A	2	4	119,60	1,00	119,60
<b>SEGUNDO PISO</b>							
HOSPITALIZACION 1	18	B	1	18	211,20	0,10	21,12
HOSPITALIZACION 2	13	B	1	13	190,70	0,10	19,07
ZONA DE AISLADO 1	1	A	2	2	80,00	0,15	12,00
ZONA DE AISLADO 2	1	A	2	2	80,00	0,15	12,00
UNIDAD DE CUIDADO INTERNO	4	A	2	8	160,00	0,15	24,00
UNIDAD DE VIGILANCIA INTERNA	4	B	1	4	119,60	0,15	17,94
<b>TOTAL, DE PUNTOS</b>	<b>98</b>					<b>Gasto Final</b>	<b>1594,76</b>

Fuente: Elaboración propia. Cálculo de gasto final en base en la norma Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS, 2017)

En la Tabla 22, el tipo A y el tipo B realizando el tipo de factor, se obtiene el “factor de salida tipo B” y el gasto de cada ambiente es multiplicado

por un factor de simultaneidad, cuya suma total indica el gasto final de la forma:

$$\text{Gasto}_{\text{total}} = \# \sum \text{Gasto final de VAC de cada área hospitalaria} \quad (\text{Lt}/\text{min}) \quad \text{Ec. 27}$$

donde:

- $\# \sum \text{Gasto final de VAC de cada área hospitalaria} = \text{Sumatoria de gasto final vacío clínico.}$

$$\text{Gasto}_{\text{total}} = 1594,76 \text{ Lt}/\text{min} \quad \text{Ec. 28}$$

- **Determinación el consumo diario de gas medicinal**
- ✓ **Oxígeno Medicinal**

#### **Consumo de oxígeno medicinal diario:**

El consumo diario del oxígeno medicinal ( $\text{Consumo}_{\text{diario}}$ ), es el producto del gasto total de la Ec. 24 y el factor de simultaneidad:

$$\text{Consumo}_{\text{diario}} = \frac{\text{Gasto}_{\text{total}} * 60 * \text{f. s}}{1000} \quad (\text{m}^3/\text{d}) \quad \text{Ec. 29}$$

**Tabla 23. Factores de utilización del sistema de Oxígeno Medicinal**

Número de puntos de salidas	Porcentaje de uso
1 - 3	100%
4 - 12	75%
13 - 20	50%
21 - 40	31%
40 a más	25%

Fuente: Introduction to plumbing and medical gas systems for medical facilities (Guyer, 2009)

donde:

- $\text{f. s} = 0,25$ ; llamado factor de simultaneidad. Con respecto a la Tabla 23.

Reemplazando la Ec. 24 y  $\text{f. s}$ , en la ecuación Ec. 29.

$$\text{Consumo}_{\text{diario}} = \frac{1215 * 60 * 0,25 * 24}{1000} \left( \text{m}^3 / \text{d} \right)$$

$$\text{Consumo}_{\text{diario}} = 437,4 \left( \text{m}^3 / \text{d} \right) \quad \text{Ec. 30}$$

✓ **Aire Comprimido Medicinal (ACM)**

**Gasto máxima demanda diaria:**

El gasto máxima demanda diaria ( $\text{Gasto}_{\text{Máxima d.}}$ ) es el producto del gasto total de la Ec. 26 y el factor de conversión para convertir de L/min a scfm (standar cubic feet per minute).

$$\text{Gasto}_{\text{Máxima d.}} = \text{Gasto}_{\text{total}} * f_c \text{ altitud (scfm)} \quad \text{Ec. 31}$$

donde:

- $f_c$  lpm a scfm = 0,0354; llamado factor de L/min a scfm

$$\text{Gasto}_{\text{Máxima d.}} = 1592,6 * 0,0354 \text{ (scfm)}$$

$$\text{Gasto}_{\text{Máxima d.}} = 56,378 \text{ scfm} \quad \text{Ec. 32}$$

✓ **Vacío Clínico (VAC)**

**Gasto máxima demanda diaria**

El gasto máxima demanda diaria ( $\text{Gasto}_{\text{Máxima d.}}$ ), es el producto del gasto total de la Ec. 28 y el factor de conversión para convertir de L/min a scfm (standar cubic feet per minute).

$$\text{Gasto}_{\text{Máxima d.}} = \text{Gasto}_{\text{total}} * f_c \text{ altitud (scfm)} \quad \text{Ec. 33}$$

donde:

- $f_c$  lpm a scfm = 0,0354; llamado factor de L/min a scfm

$$\text{Gasto}_{\text{Máxima d.}} = 1594,76 * 0,0354 \text{ (scfm)}$$

$$\text{Gasto}_{\text{Máxima d.}} = 56,454 \text{ scfm} \quad \text{Ec. 34}$$

- **Determinación la capacidad del consumo**

- ✓ **Oxígeno**

**Consumo de oxígeno en total:**

El consumo total del oxígeno ( $\text{Consumo}_{\text{total}}$ ), es el producto del gasto diario de la Ec. 30 y el factor de d

$$\text{Consumo}_{\text{total}} = \text{Consumo}_{\text{diario}} * d \text{ (m}^3\text{)} \quad \text{Ec. 35}$$

donde:

- $d = 15$  días; es el número de días para el almacenamiento. Según el reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos (APQ) y las Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC MIE – APQ 1).

$$\text{Consumo}_{\text{total}} = 437,4 * 15 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$\text{Consumo}_{\text{total}} = 6561 \text{ m}^3 \quad \text{Ec. 36}$$

**Consumo de oxígeno líquido en total:**

El consumo de oxígeno líquido en total ( $\text{Consumo}_{\text{líquido}}$ ), es el producto del consumo total del oxígeno ( $\text{Consumo}_{\text{total}}$ ) de la Ec. 36 y con el factor de conversión de gas a líquido y dividido con el factor de conversión de litros a galones.

$$\text{Consumo}_{\text{Líquido}} = \frac{\text{Consumo}_{\text{total}} * f_c \text{ gas a liquido}}{f_c \text{ litros a galones}} \text{ (galones)} \quad \text{Ec. 37}$$

donde:

- $f_c \text{ gas a liquido} = 1,173 \text{ l/m}^3$ ; factor de conversión de gas a líquido
- $f_c \text{ litros a galones} = 3,8 \text{ l/gal}$ ; factor de conversión de litros a galones

$$\text{Consumo}_{\text{Líquido}} = \frac{6561 * 1,173}{3,8} \text{ (galones)} \quad \text{Ec. 38}$$

$$\text{Consumo}_{\text{Líquido}} = 2025,277 \text{ galones} \quad \text{Ec. 39}$$

### Volumen de oxígeno líquido:

El volumen de oxígeno líquido ( $Volumen_{Líquido}$ ) es el producto consumo de oxígeno líquido ( $Consumo_{Líquido}$ ) de la Ec. 39 con el factor de sobredimensionamiento.

$$Volumen_{Líquido} = Consumo_{Líquido} * f_{sobred.} \text{ (galones)} \quad \text{Ec. 40}$$

donde:

- $f_{sobred.} = 1,15$ ; factor de sobredimensionamiento. Según el reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos (APQ) y las Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC MIE – APQ 1).

$$Volumen_{Líquido} = 2025,277 * 1,15 \text{ (galones)}$$

$$Volumen_{Líquido} = 2329,068 \text{ galones} \quad \text{Ec. 41}$$

### Cálculo para el número de cilindros

Teniendo en cuenta que cada balón de oxígeno medicinal tiene una capacidad es de  $10 \text{ m}^3$ , para ello se debe calcular el consumo del oxígeno medicinal en caso de emergencia ( $Consumo_{emergencia}$ ) para un determinado tiempo  $t$  (horas).

$$Consumo_{emergencia} = \frac{Gasto_{total} * t * 60 * f.s}{1000} (m^3) \quad \text{Ec. 42}$$

dónde:

- $t = 12$  horas; factor de tiempo
- $f.s = 0,25$ ; llamado factor de simultaneidad. Con respecto a la Tabla 23.

El  $Gasto_{total}$  con respecto con la Ec. 24, el factor de tiempo y el factor de simultaneidad. Se reemplazará en la Ec. 42

$$Consumo_{emergencia} = \frac{1215 * 12 * 60 * 0,25}{1000} (m^3) \quad \text{Ec. 43}$$

$$Consumo_{emergencia} = 218,7 \text{ m}^3 \quad \text{Ec. 44}$$

Para calcular el número de cilindros ( $N^{\circ}_{\text{cilindros}}$ ), se debe dividir el consumo del oxígeno medicinal en caso de emergencia ( $\text{Consumo}_{\text{emergencia}}$ ), con respecto a la Ec. 44, entre el volumen del balón de oxígeno.

$$N^{\circ}_{\text{cilindros}} = \frac{\text{Consumo}_{\text{emergencia}}}{\text{Volumen del balón de oxígeno}} \quad \text{Ec. 45}$$

dónde:

- Volumen del balón de oxígeno es de  $10 \text{ m}^3$

El  $\text{Consumo}_{\text{emergencia}}$  con respecto con la Ec. 44 y el volumen del balón de oxígeno. Se reemplazará en la Ec. 45

$$N^{\circ}_{\text{cilindros}} = \frac{218,7}{10} \approx 22 \text{ balones} \quad \text{Ec. 46}$$

Nota:

- El número de cilindros es por bancada en uso y otra bancada en emergencia
- También se recomienda, la misma cantidad de balones en almacén

#### ✓ Aire Comprimido Medicinal (ACM)

##### **Gasto máximo total**

Para calcular el gasto máximo total para el aire comprimido medicinal ( $\text{Gasto}_{\text{Máxima total}}$ ), se necesita el producto del gasto máxima diaria ( $\text{Gasto}_{\text{Máxima d.}}$ ) Ec. 32, con el factor de compensación de altitud (ubicación geográfica) en la Tabla 24.

**Tabla 24. Compensación de altitud para Aire Comprimido Medicinal**

Altitud		Factor de compensación de altitud
pies	metros	
Nivel del mar		1,00
1000'	305 m	1,01
2000'	609 m	1,03
3000'	900 m	1,05
4000'	1219 m	1,06
5000'	1525 m	1,08
6000'	1828 m	1,10

Altitud		Factor de compensación de altitud
pies	metros	
7000'	2133 m	1,12
8000'	2438 m	1,15
9000'	2743 m	1,17
10000'	3048 m	1,19

Fuente: Tabla de compensación de altitud para Aire Comprimido Medicinal. Tomado de Master Specification Design Guide (Amico Corporation, 2019)

$$\text{Gasto}_{\text{Máxima total}} = \text{Gasto}_{\text{Máxima d.}} * f_{c\text{altitud}} \text{ (acfm)} \quad \text{Ec. 47}$$

donde:

- $f_{c\text{altitud}} = 1$ ; factor de compensación de altitud. Con respecto a la Tabla 24. Ya que, la altitud geográfica del Hospital II Ramón Castilla es 132,712 msnm.

En la Ec. 47, se reemplazará la Ec. 32 y el factor de compensación de altitud

$$\text{Gasto}_{\text{Máxima total}} = 56,378 * 1 \text{ (acfm)}$$

$$\text{Gasto}_{\text{Máxima total}} = 56,378 \text{ acfm} \quad \text{Ec. 48}$$

## Vacío Medicinal (VAC)

### Gasto máximo total

Para calcular el gasto máximo total para el vacío clínico ( $\text{Gasto}_{\text{Máxima total}}$ ), se necesita el producto del gasto máxima diaria ( $\text{Gasto}_{\text{Máxima d.}}$ ) Ec. 34, con el factor de corrección por altitud (ubicación geográfica) en la Tabla 25.

**Tabla 25. Compensación de altitud para Vacío Medicinal**

Altitud		Presión barométrica normal		Factor de compensación de altitud
pies	metros			
Nivel del mar		760 mmHg	29,92 inHg	1,00
500'	152 m	747 mmHg	29,39 inHg	1,02
1000'	305 m	733 mmHg	28,86 inHg	1,04
1500'	457 m	720 mmHg	28,33 inHg	1,06
2000'	609 m	707 mmHg	27,82 inHg	1,08
2500'	762 m	694 mmHg	27,32 inHg	1,10

3000'	900 m	681 mmHg	26,82 inHg	1,12
3500'	1067 m	669 mmHg	26,33 inHg	1,14
4000'	1219 m	656 mmHg	25,84 inHg	1,16
5000'	1525 m	633 mmHg	24,90 inHg	1,20
6000'	1828 m	609 mmHg	23,98 inHg	1,25
7000'	2133 m	587mmHg	23,09 inHg	1,30
8000'	2438 m	565 mmHg	22,23 inHg	1,35
9000'	2743 m	543 mmHg	21,93 inHg	1,40
10000'	3048 m	523 mmHg	20,58 inHg	1,45

Fuente: Tabla de compensación de altitud para Vacío Medicinal. Master Specification Design Guide (Amico Corporation, 2019)

$$\text{Gasto}_{\text{Máxima total}} = \text{Gasto}_{\text{Máxima}} * f_{c,\text{altitud}} \text{ (acfm)} \quad \text{Ec. 49}$$

donde:

- $f_{c,\text{altitud}} = 1$ ; factor de compensación de altitud. Con respecto a la Tabla 25. Ya que, la altitud geográfica del Hospital II Ramón Castilla es 132,712 msnm.

En la Ec. 49, se reemplazará la Ec. 34 y el factor de compensación de altitud.

$$\text{Gasto}_{\text{Máxima total}} = 56,454 * 1 \text{ (acfm)}$$

$$\text{Gasto}_{\text{Máxima total}} = 56,454 \text{ acfm} \quad \text{Ec. 50}$$

#### 4.6.3 Etapa 3: Selección de equipos

- **Selección de Equipos de almacenamiento de gases medicinales**

##### **Oxígeno:**

La capacidad del tanque de almacenamiento de oxígeno criogénico se definido en la Ec. 41,  $\text{Volumen}_{\text{Líquido}} = 2329,068$  galones. En la cual, convirtiendo a litros,  $\text{Volumen}_{\text{Líquido}} = 8816,481$  litros

Para la selección del tanque dependerá del  $\text{Volumen}_{\text{Líquido}}$ , en la cual cada concesionaria tiene sus tanques de diferentes dimensiones y capacidades de almacenamiento

**Tabla 26. Comparativo de Tanque criogénico de cada Empresa**

Empresas	 CARBUROS METÁLICOS Grupo Air Products	 PRAXAIR	 EDASAINFRA
Capacidad del tanque	2641,72 galones	3175 galones	3046 galones
	10000 litros	12065 litros	11533 litros
Diámetro	2,2 metros	2,4 metros	2,44 metros
Altura	6,15 metros	5.18 metros	5,09 metros
Pesos aprox. Vacío	7000 kg.	8000 kg.	6680 kg.

Fuentes: Características generales de los tanques (Carbueros Metálicos , 2015), (Praxair, 2015) y (EDASAINFRA, 2015)

- Selección de Generadores de gases medicinales**

**Aire Comprimido Medicinal:**

Para la selección de equipo del aire comprimido medicinal (ACM) se define con el  $Gasto_{Máxima\ total} = 56,378\ acfm$ , con respecto a la Ec. 48.

Model	System Layout	HP (kW)	NFPA System Capacities SCFM (LPM)		Complete System Dimensions* inches (metres)			
			at 50 psig	at 120 psig	Width	Length	Height	Total Sq. Ft. Required (M <sup>2</sup> )
<b>Modular Stacking (SS) Configuration</b>								
A-SCD-D-200P-SS-N-020	Modular Stacking Duplex	2 (1.49)	6.2 (176)	5.6 (159)	67 (1.70)	74 (1.88)	91 (2.31)	34.4 (3.20)
A-SCD-D-200P-SS-N-030	Modular Stacking Duplex	3 (2.24)	9.2 (261)	8.5 (241)	67 (1.70)	74 (1.88)	91 (2.31)	34.4 (3.20)
A-SCD-D-200P-SS-N-050	Modular Stacking Duplex	5 (3.73)	15.2 (430)	14.1 (399)	67 (1.70)	74 (1.88)	91 (2.31)	34.4 (3.20)
A-SCD-D-200P-SS-N-075	Modular Stacking Duplex	7.5 (5.59)	25.2 (714)	24.0 (680)	67 (1.70)	74 (1.88)	91 (2.31)	34.4 (3.20)
A-SCD-D-200P-SS-N-100	Modular Stacking Duplex	10 (7.46)	34.8 (985)	32.0 (906)	67 (1.70)	74 (1.88)	91 (2.31)	34.4 (3.20)
A-SCD-D-200P-SS-N-150	Modular Stacking Duplex	15 (11.2)	50.4 (1427)	48.0 (1359)	67 (1.70)	74 (1.88)	91 (2.31)	34.4 (3.20)
A-SCD-D-200P-SS-N-200	Modular Stacking Duplex	20 (14.9)	69.6 (1971)	64.0 (1812)	67 (1.70)	74 (1.88)	91 (2.31)	34.4 (3.20)
A-SCD-T-200P-SS-N-020	Modular Stacking Triplex	2 (1.49)	12.4 (351)	11.2 (317)	100 (2.54)	74 (1.88)	91 (2.31)	51.4 (4.78)
A-SCD-T-200P-SS-N-030	Modular Stacking Triplex	3 (2.24)	18.4 (521)	17.0 (481)	100 (2.54)	74 (1.88)	91 (2.31)	51.4 (4.78)
A-SCD-T-200P-SS-N-050	Modular Stacking Triplex	5 (3.73)	30.4 (861)	28.2 (799)	100 (2.54)	74 (1.88)	91 (2.31)	51.4 (4.78)
A-SCD-T-200P-SS-N-075	Modular Stacking Triplex	7.5 (5.59)	50.4 (1427)	48.0 (1359)	100 (2.54)	74 (1.88)	91 (2.31)	51.4 (4.78)
A-SCD-T-200P-SS-N-100	Modular Stacking Triplex	10 (7.46)	69.6 (1971)	64.0 (1812)	100 (2.54)	74 (1.88)	91 (2.31)	51.4 (4.78)
A-SCD-T-200P-SS-N-150	Modular Stacking Triplex	15 (11.2)	100.8 (2854)	96.0 (2718)	133 (3.38)	55 (1.40)	91 (2.31)	50.8 (4.73)
A-SCD-T-200P-SS-N-200	Modular Stacking Triplex	20 (14.9)	139.2 (3942)	128.0 (3625)	133 (3.38)	55 (1.40)	91 (2.31)	50.8 (4.73)

Figura 18. Selección de Sistema de Aire Comprimido Medicinal - Sistema Scroll sin aceite

Fuente: Master Specification Design Guide. Tomado de (Amico Corporation, 2019)

En la Figura 18. Resalta la selección del modelo A-SCD-T-200P-SS-N-100, señalando el diseño del sistema cuádruple apilamiento modular. Con las siguientes características:

- Potencia: 10 HP (7,46 kW)
- Capacidad del sistema a 50 Psig: 69,6 SCFM (1971 LPM)
- Dimensiones del sistema:
  - Ancho: 100 pulgadas (2,54 metros)
  - Largo: 74 pulgadas (1,88 metros)
  - Alto: 91 pulgadas (2.31 metros)
- Área requerida: 51,4 ft<sup>2</sup> (4,78 m<sup>2</sup>)

**Vacío Medicinal:**

Para la selección de equipo del vacío medicinal (VAC) se define con el  $Gasto_{M\acute{a}xima\ total} = 56,454\ acfm$ , con respecto a la Ec. 50.

Model	System Layout	HP (kW)	NFPA SYSTEM CAPACITIES SCFM (LPM)		Complete System Dimensions* inches (metres)			
			50 Hz Motor	60 Hz Motor	Width	Length	Height	Total Sq. Ft. Required (M <sup>2</sup> )
<b>Modular Stacking (SS) Configuration</b>								
V-CCD-D-200P-SS-N-020	Modular Stacking Duplex	2 (1.49)	13.3 (377)	16.0 (453)	67 (1.70)	55 (1.40)	91 (2.31)	25.6 (2.38)
V-CCD-D-200P-SS-N-030	Modular Stacking Duplex	3 (2.24)	17.5 (496)	21.0 (595)	67 (1.70)	55 (1.40)	91 (2.31)	25.6 (2.38)
V-CCD-D-200P-SS-N-040	Modular Stacking Duplex	4 (2.98)	24.2 (685)	29.0 (821)	67 (1.70)	55 (1.40)	91 (2.31)	25.6 (2.38)
V-CCD-D-200P-SS-N-050	Modular Stacking Duplex	5 (3.73)	31.7 (898)	38.0 (1076)	67 (1.70)	55 (1.40)	91 (2.31)	25.6 (2.38)
V-CCD-D-200P-SS-N-064	Modular Stacking Duplex	6.4 (4.77)	43.3 (1226)	52.0 (1472)	67 (1.70)	55 (1.40)	91 (2.31)	25.6 (2.38)
V-CCD-D-200P-SS-N-075	Modular Stacking Duplex	7.5 (5.59)	54.2 (1535)	65.0 (1841)	67 (1.70)	55 (1.40)	91 (2.31)	25.6 (2.38)
V-CCD-D-200P-SS-N-090	Modular Stacking Duplex	9 (6.71)	60.8 (1722)	73.0 (2067)	67 (1.70)	65 (1.65)	91 (2.31)	30.2 (2.81)
V-CCD-D-200P-SS-N-100	Modular Stacking Duplex	10 (7.46)	72.5 (2053)	87.0 (2464)	74 (1.88)	67 (1.70)	91 (2.31)	34.4 (3.20)
V-CCD-D-200P-SS-N-150	Modular Stacking Duplex	15 (11.2)	107.5 (3044)	129.0 (3653)	74 (1.88)	75 (1.91)	91 (2.31)	66.7 (6.19)
V-CCD-T-200P-SS-N-020	Modular Stacking Triplex	2 (1.49)	26.7 (756)	32.0 (906)	67 (1.70)	55 (1.40)	95 (2.41)	25.6 (2.38)
V-CCD-T-200P-SS-N-030	Modular Stacking Triplex	3 (2.24)	35 (991)	42.0 (1189)	67 (1.70)	55 (1.40)	95 (2.41)	25.6 (2.38)
V-CCD-T-200P-SS-N-040	Modular Stacking Triplex	4 (2.98)	48.3 (1368)	58.0 (1642)	67 (1.70)	55 (1.40)	95 (2.41)	25.6 (2.38)

Figura 19. Selección de Sistema de Vacío Medicinal - Sistema de garras sin Contacto Seco

Fuente: Master Specification Design Guide (Amico Corporation, 2019)

En la Figura 19. Resalta la selección del modelo V-CCD-Q-200P-SS-N-075, señalando el diseño del sistema cuádruple apilamiento modular. Con las siguientes características:

- Potencia: 7,5 HP (5,59 kW)
- Capacidad del sistema a 60 Hz: 65 SCFM (1841 LPM)
- Dimensiones del sistema:
  - Ancho: 67 pulgadas (1,70 metros)
  - Largo: 55 pulgadas (1,40 metros)
  - Alto: 91 pulgadas (2,31 metros)
- Área requerida: 25,6 ft<sup>2</sup> (2,38 m<sup>2</sup>)

#### 4.6.4 Etapa 4: Dimensionamiento de las tuberías

##### Longitud equivalente

Para la longitud equivalente se representa en forma matemática considerando las pérdidas primarias y secundarias, generadas por la tubería y los accesorios de la red de suministro.

$$L_{\text{equi}} = k * L_{\text{real}} \quad \text{Ec. 51}$$

donde

- K= 1,5; indica el factor de conversión validada por las empresas (Amico Corporation, 2019) y por (Copper Development Association Inc., 2020). Donde las longitudes equivalentes, es basada por la fórmula de pérdida por fricción de Haze-Williams en un factor de 150.

##### Máximas pérdidas de presión

##### Oxígeno – Aire Comprimido Medicinal

Para el dimensionamiento de tuberías de transporte de gases medicinales (Oxígeno Medicinal y Aire Comprimido Medicinal), se debe respetar la máxima pérdida de presión. Para ello se puede calcular:

$$M. P. P. F_{OX-ACM} = 0,28 * \left( \frac{P_i}{4,548} \right) \text{ kg/cm}^2 \quad \text{Ec. 52}$$

Donde,  $P_i$  es la presión absoluta de operación en el interior del tubo, con respecto a la altitud de la localidad. En la cual se expresa de esta manera:

$$P_i = (P_{atmosferica} + 3,515) \text{ kg/cm}^2 \quad \text{Ec. 53}$$

donde:

- $P_{atmosférica}$  = Presión atmosférica

La Ec. 53 se reemplaza en la Ec. 52, para calcular la máxima pérdida de presión ( $M.P.P.F_{OX-ACM}$ ) para las tuberías que transportan oxígeno medicinal y aire comprimido medicinal.

$$M.P.P.F_{OX-ACM} = 0,28 * \left( \frac{P_{atmosférica} + 3,515}{4,548} \right) \text{ kg/cm}^2 \quad \text{Ec. 54}$$

Con respecto a la ubicación del Hospital II Ramón Castilla se ubica el hospital que es 132,712 msnm.

Según (Senamhi, 2021), aproximadamente la presión atmosférica ( $P_{atmosférica}$ ) de Lima es de 988,96 milibares (1,008 kg/cm<sup>2</sup>), donde afecta a la Ec. 53.

Entonces, la presión atmosférica ( $P_{atmosférica}$ ) de Lima es de 1,008 kg/cm<sup>2</sup> y afecta a la Ec. 54.

$$M.P.P.F_{OX-ACM} = 0,28 * \left( \frac{1,008 + 3,515}{4,548} \right) \text{ kg/cm}^2$$

$$M.P.P.F_{OX-ACM} = 0,28 * \left( \frac{4,523}{4,548} \right) \text{ kg/cm}^2$$

$$M.P.P.F_{OX-ACM} = 0,2784 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{Ec. 55}$$

## Vacío Medicinal

Para el dimensionamiento de la red de vacío medicinal, se debe respetar la máxima pérdida de presión que nos indica la norma (IMSS, 2017). Donde la máxima pérdida de presión por fricción para vacío medicinal ( $M.P.P.F_{VAC}$ ), en cualquier rama de tubería de cobre será de 76,2 mmHg. Pero para la selección de tabla se necesita calcular la presión absoluta para utilizar la tabla monograma

$$P_{abs} = P_{atmosférica} - 380 \text{ (mmHg)} \quad \text{Ec. 56}$$

Según (Senamhi, 2021), aproximadamente la presión atmosférica ( $P_{atmosférica}$ ) de Lima es de 988.96 milibares (741,78 mmHg), donde afecta a la Ec. 56.

$$P_{abs} = 741.78 - 380 \text{ (mmHg)}$$

$$P_{abs} = 361,78 \text{ mmHg} \quad \text{Ec. 57}$$

- **Determinamos el diámetro de cada tubería de cobre para cada gas medicinal**

### Oxígeno – Aire Comprimido Medicinal

Para el dimensionamiento de tuberías se debe considerar las siguientes características:

- ❖ La viscosidad dinámica del oxígeno es  $2,05 \times 10^{-6} \text{ N.s/m}^2$
- ❖ La densidad del oxígeno  $1,337 \text{ kg/m}^3$
- ❖ La rugosidad de la tubería del cobre es  $1,5 \times 10^{-6} \text{ m}$ . Esto es con respecto a la Tabla 11
- ❖ Para ello sirve para el cálculo de número de Reynolds (Ec. 19), la pérdida de energía por fricción “f” (Ec. 21), pérdida de energía “h” (Ec. 20) y caída de presión “ $\Delta P$ ” (Ec. 22).
- ❖ La velocidad de los gases medicinales esta entre 8 m/s a 15 m/s (Betancur, Antúnez, 2020)

**Tabla 27. Dimensionamiento de tuberías con respecto a su caída de presión para oxígeno medicinal y aire comprimido medicinal**

N° SALIDAS	LPM	Re	f	h (m)	Ø	ΔP (kg/cm <sup>2</sup> )
1	100	10670,05	0,0306	1902,36	1/2"	0,25443
2	148	15781,45	0,0277	563,57	3/4"	0,07537
3	181	19295,54	0,0263	801,52	3/4"	0,10720
4	210	22362,38	0,0254	1038,90	3/4"	0,13895
5	237	25237,54	0,0247	1285,93	3/4"	0,17199
6	261	27793,24	0,0241	386,71	1"	0,05172
7	283	30157,27	0,0237	446,86	1"	0,05977
8	302	32137,93	0,0234	500,24	1"	0,06690
9	320	34054,71	0,0231	554,45	1"	0,07415
10	336	35779,81	0,0228	605,37	1"	0,08097
11	350	37249,34	0,0226	650,32	1"	0,08698
12	364	38782,76	0,0224	698,77	1"	0,09346
13	376	40060,61	0,0223	740,34	1"	0,09902
14	388	41338,46	0,0221	782,99	1"	0,10472
15	399	42488,52	0,0220	822,29	1"	0,10998
16	409	43574,69	0,0219	860,21	1"	0,11505
17	419	44596,97	0,0217	896,59	1"	0,11992
18	429	45683,15	0,0216	936,00	1"	0,12519
19	439	46769,32	0,0215	976,18	1"	0,13056
20	448	47727,71	0,0214	294,55	1,1/4"	0,03940
21	457	48686,10	0,0213	305,22	1,1/4"	0,04082
22	466	49644,48	0,0213	316,07	1,1/4"	0,04227
23	475	50602,87	0,0212	327,08	1,1/4"	0,04375
24	484	51561,26	0,0211	338,27	1,1/4"	0,04524
25	493	52519,65	0,0210	349,62	1,1/4"	0,04676
26	501	53350,25	0,0209	359,60	1,1/4"	0,04810
27	509	54180,85	0,0209	369,71	1,1/4"	0,04945
28	517	55075,35	0,0208	380,74	1,1/4"	0,05092
29	525	55905,95	0,0207	391,11	1,1/4"	0,05231
30	533	56736,55	0,0207	401,60	1,1/4"	0,05371
31	541	57631,05	0,0206	413,05	1,1/4"	0,05524
32	549	58461,65	0,0206	423,81	1,1/4"	0,05668
33	557	59292,25	0,0205	434,69	1,1/4"	0,05814
34	565	60186,75	0,0204	446,56	1,1/4"	0,05973
35	572	60889,57	0,0204	455,98	1,1/4"	0,06099
36	579	61656,28	0,0203	466,36	1,1/4"	0,06237
37	586	62422,99	0,0203	476,85	1,1/4"	0,06378
38	593	63125,80	0,0202	486,56	1,1/4"	0,06508
39	600	63892,51	0,0202	497,25	1,1/4"	0,06651
40	607	64659,22	0,0201	508,05	1,1/4"	0,06795

N° SALIDAS	LPM	Re	f	h (m)	Ø	ΔP (kg/cm2)
41	614	65362,04	0,0201	518,04	1,1/4"	0,06929
42	621	66128,75	0,0201	529,04	1,1/4"	0,07076
43	628	66895,46	0,0200	540,15	1,1/4"	0,07224
44	635	67598,28	0,0200	550,42	1,1/4"	0,07362
45	642	68364,99	0,0199	561,73	1,1/4"	0,07513
46	649	69131,70	0,0199	573,14	1,1/4"	0,07665
47	656	69834,52	0,0198	583,69	1,1/4"	0,07807
48	663	70601,23	0,0198	595,31	1,1/4"	0,07962
49	670	71367,94	0,0198	607,03	1,1/4"	0,08119
50	676	72006,86	0,0197	616,87	1,1/4"	0,08250
52	687	73156,93	0,0197	634,78	1,1/4"	0,08490
54	698	74306,99	0,0196	652,91	1,1/4"	0,08732
56	709	75520,95	0,0195	672,31	1,1/4"	0,08992
58	720	76671,02	0,0195	690,93	1,1/4"	0,09241
60	730	77757,19	0,0194	300,11	1,1/2"	0,04014
62	740	78779,47	0,0194	307,28	1,1/2"	0,04110
64	750	79865,64	0,0193	314,99	1,1/2"	0,04213
66	760	80951,82	0,0193	322,78	1,1/2"	0,04317
68	770	81974,10	0,0192	330,20	1,1/2"	0,04416
70	780	83060,27	0,0192	338,16	1,1/2"	0,04523
72	790	84146,44	0,0191	346,21	1,1/2"	0,04630
74	800	85168,72	0,0191	353,87	1,1/2"	0,04733
76	809	86127,11	0,0191	361,12	1,1/2"	0,04830
78	818	87085,50	0,0190	368,44	1,1/2"	0,04928
80	827	88043,88	0,0190	375,82	1,1/2"	0,05026
82	836	89002,27	0,0189	383,27	1,1/2"	0,05126
84	845	89960,66	0,0189	390,79	1,1/2"	0,05227
86	854	90919,05	0,0189	398,38	1,1/2"	0,05328
88	863	91877,43	0,0188	406,03	1,1/2"	0,05430
90	872	92857,12	0,0188	413,92	1,1/2"	0,05536
92	881	93794,21	0,0188	421,54	1,1/2"	0,05638
94	890	94752,60	0,0187	429,39	1,1/2"	0,05743
96	899	95710,99	0,0187	437,31	1,1/2"	0,05849
98	907	96605,48	0,0187	444,77	1,1/2"	0,05949
100	915	97436,08	0,0186	451,74	1,1/2"	0,06042
105	932	99225,07	0,0186	466,93	1,1/2"	0,06245
110	949	101077,96	0,0185	482,91	1,1/2"	0,06459
115	964	102675,27	0,0185	496,88	1,1/2"	0,06646
120	979	104272,58	0,0184	511,03	1,1/2"	0,06835
125	994	105869,90	0,0183	525,37	1,1/2"	0,07027
130	1009	107467,21	0,0183	539,90	1,1/2"	0,07221
135	1024	109064,52	0,0183	140,63	2"	0,01881
140	1039	110661,83	0,0182	144,41	2"	0,01931

N° SALIDAS	LPM	Re	f	h (m)	Ø	ΔP (kg/cm2)
145	1054	112259,15	0,0182	148,23	2"	0,01982
150	1068	113728,67	0,0181	151,79	2"	0,02030
155	1082	115198,20	0,0181	155,38	2"	0,02078
160	1096	116731,62	0,0180	159,18	2"	0,02129
165	1109	118073,37	0,0180	162,53	2"	0,02174
170	1122	119479,00	0,0180	166,08	2"	0,02221
175	1135	120884,64	0,0179	169,66	2"	0,02269
180	1148	122226,38	0,0179	173,12	2"	0,02315
185	1161	123632,01	0,0179	176,77	2"	0,02364
190	1174	125037,65	0,0178	180,46	2"	0,02414
195	1187	126379,39	0,0178	184,02	2"	0,02461
200	1200	127785,03	0,0178	187,78	2"	0,02511
210	1225	130468,51	0,0177	195,05	2"	0,02609
220	1249	133024,21	0,0176	202,10	2"	0,02703
230	1276	135899,38	0,0176	210,17	2"	0,02811
240	1296	138007,83	0,0175	216,18	2"	0,02891
250	1319	140435,75	0,0175	223,20	2"	0,02985
260	1341	142799,77	0,0174	230,13	2"	0,03078
270	1363	145163,79	0,0174	237,16	2"	0,03172
280	1384	147400,03	0,0173	243,91	2"	0,03262
290	1405	149636,27	0,0173	250,74	2"	0,03354
300	1425	151744,72	0,0172	257,26	2"	0,03441
320	1461	155578,27	0,0172	269,32	2"	0,03602
340	1495	159220,14	0,0171	281,02	2"	0,03759
360	1527	162606,45	0,0171	292,11	2"	0,03907
380	1558	165928,86	0,0170	303,18	2"	0,04055
400	1588	169123,48	0,0169	314,00	2"	0,04200
420	1618	172318,11	0,0169	325,01	2"	0,04347
440	1647	175384,95	0,0169	335,74	2"	0,04490
460	1675	178387,90	0,0168	346,41	2"	0,04633
480	1702	181263,06	0,0168	356,77	2"	0,04772
500	1728	184010,44	0,0167	366,80	2"	0,04906

Fuente: Elaboración Propia. Cálculos de diámetros con respecto al número de salidas de oxígeno medicinal y aire comprimido medicinal Tabla 15

### Vacío Medicinal

Para el dimensionamiento de tuberías se debe considerar las siguientes características:

- ❖ La viscosidad dinámica del aire es  $1,76 \times 10^{-6}$  N.s/m<sup>2</sup>
- ❖ La densidad del aire  $1,247$  kg/m<sup>3</sup>
- ❖ La rugosidad de la tubería del cobre es  $1,5 \times 10^{-6}$  m. Esto es con

respecto a la Tabla 11

- ❖ Para ello sirve para el cálculo de número de Reynolds (Ec. 19), la pérdida de energía por fricción “f” (Ec. 21), pérdida de energía “h” (Ec. 20) y caída de presión “ $\Delta P$ ” (Ec. 22).
- ❖ La pérdida de presión dentro de la tubería por cada tramo debe ser pasar de 0,66 inHg (16,764 mmHg), con respecto (Frankel, 2010).

**Tabla 28. Dimensionamiento de tuberías con respecto a su caída de presión para vacío medicinal**

N° SALIDAS	LPM	Re	f	h	Ø	$\Delta P$ (mmHg)
1	42,6	3371,42	0,0429	72,2	3/4"	6,62406
2	80	6331,3	0,0354	53,23	1"	4,8842
3	103,8	8214,86	0,0328	83,2	1"	7,63337
4	119,6	9465,3	0,0316	106,21	1"	9,74415
5	132,4	10478,31	0,0307	126,61	1"	11,61583
6	142,7	11293,46	0,0301	144,14	1"	13,22485
7	153	12108,62	0,0296	162,66	1"	14,92413
8	160	12662,6	0,0292	175,81	1"	16,12988
9	166,6	13184,94	0,0289	54,88	1,1/4"	5,03523
10	173,5	13731,01	0,0286	58,9	1,1/4"	5,40362
11	179,8	14229,6	0,0283	62,67	1,1/4"	5,74988
12	185,5	14680,71	0,0281	66,17	1,1/4"	6,07126
13	190,7	15092,24	0,0279	69,44	1,1/4"	6,37112
14	195,5	15472,12	0,0277	72,52	1,1/4"	6,65353
15	199,8	15812,43	0,0276	75,33	1,1/4"	6,91108
16	203,9	16136,91	0,0274	78,05	1,1/4"	7,16065
17	207,6	16429,73	0,0273	80,54	1,1/4"	7,3892
18	211,2	16714,64	0,0272	82,99	1,1/4"	7,6146
19	214,5	16975,8	0,0271	85,28	1,1/4"	7,82383
20	217,6	17221,14	0,027	87,44	1,1/4"	8,02265
21	220,7	17466,48	0,0269	89,63	1,1/4"	8,22367
22	223,6	17695,99	0,0268	91,7	1,1/4"	8,41369
23	226,4	17917,59	0,0267	93,72	1,1/4"	8,59898
24	229,2	18139,18	0,0266	95,76	1,1/4"	8,78604
25	231,9	18352,86	0,0266	97,75	1,1/4"	8,9681
26	234,6	18566,54	0,0265	99,75	1,1/4"	9,15181
27	237,4	18788,14	0,0264	101,84	1,1/4"	9,34405
28	240	18993,91	0,0263	103,81	1,1/4"	9,52414

N° SALIDAS	LPM	Re	f	h	Ø	ΔP (mmHg)
29	242,6	19199,67	0,0263	105,79	1,1/4"	9,70574
30	245,2	19405,44	0,0262	107,78	1,1/4"	9,88886
31	247,8	19611,21	0,0261	109,8	1,1/4"	10,07348
32	250,4	19816,98	0,0261	111,82	1,1/4"	10,25961
33	253	20022,74	0,026	113,87	1,1/4"	10,44725
34	255,5	20220,6	0,0259	115,85	1,1/4"	10,62908
35	258	20418,45	0,0259	117,85	1,1/4"	10,8123
36	260,5	20616,3	0,0258	119,86	1,1/4"	10,9969
37	263	20814,16	0,0258	121,89	1,1/4"	11,18288
38	265,5	21012,01	0,0257	123,93	1,1/4"	11,37024
39	267,9	21201,95	0,0256	125,9	1,1/4"	11,5514
40	270,3	21391,89	0,0256	127,89	1,1/4"	11,73383
41	272,7	21581,83	0,0255	129,89	1,1/4"	11,91751
42	275,1	21771,77	0,0255	131,91	1,1/4"	12,10246
43	277,5	21961,71	0,0254	133,94	1,1/4"	12,28867
44	279,8	22143,73	0,0254	135,9	1,1/4"	12,4683
45	282,1	22325,76	0,0253	137,87	1,1/4"	12,64909
46	284,4	22507,78	0,0253	139,85	1,1/4"	12,83102
47	286,7	22689,81	0,0252	141,85	1,1/4"	13,01411
48	289	22871,83	0,0252	143,85	1,1/4"	13,19834
49	291,2	23045,94	0,0251	145,79	1,1/4"	13,37564
50	293,4	23220,05	0,0251	147,73	1,1/4"	13,55398
51	295,6	23394,16	0,025	149,69	1,1/4"	13,73337
52	297,8	23568,27	0,025	151,65	1,1/4"	13,91381
53	300	23742,38	0,025	153,63	1,1/4"	14,09528
54	302,1	23908,58	0,0249	155,53	1,1/4"	14,26949
55	304,2	24074,78	0,0249	157,44	1,1/4"	14,44464
56	306,3	24240,97	0,0248	159,36	1,1/4"	14,62073
57	308,4	24407,17	0,0248	161,29	1,1/4"	14,79778
58	310,5	24573,37	0,0247	163,23	1,1/4"	14,97576
59	312,5	24731,65	0,0247	165,08	1,1/4"	15,14615
60	314,5	24889,93	0,0247	166,95	1,1/4"	15,3174
61	316,5	25048,22	0,0246	168,83	1,1/4"	15,4895
62	318,5	25206,5	0,0246	170,71	1,1/4"	15,66245
63	320,5	25364,78	0,0246	172,61	1,1/4"	15,83625
64	322,4	25515,15	0,0245	174,41	1,1/4"	16,00216
65	324,3	25665,52	0,0245	176,23	1,1/4"	16,16883
66	326,2	25815,89	0,0245	178,06	1,1/4"	16,33627
67	328,1	25966,25	0,0244	179,89	1,1/4"	16,50447
68	330	26116,62	0,0244	76,95	1,1/2"	7,0602
69	331,8	26259,08	0,0244	77,69	1,1/2"	7,12828

N° SALIDAS	LPM	Re	f	h	Ø	ΔP (mmHg)
70	333,6	26401,53	0,0243	78,44	1,1/2"	7,19665
71	335,4	26543,99	0,0243	79,19	1,1/2"	7,26531
72	337,2	26686,44	0,0243	79,94	1,1/2"	7,33426
73	339	26828,89	0,0242	80,69	1,1/2"	7,4035
74	340,7	26963,43	0,0242	81,41	1,1/2"	7,46916
75	342,4	27097,97	0,0242	82,13	1,1/2"	7,53508
76	344,1	27232,51	0,0242	82,85	1,1/2"	7,60125
77	345,8	27367,05	0,0241	83,57	1,1/2"	7,66768
78	347,5	27501,59	0,0241	84,3	1,1/2"	7,73437
79	349,1	27628,22	0,0241	84,99	1,1/2"	7,79737
80	350,7	27754,85	0,024	85,68	1,1/2"	7,8606
81	352,3	27881,47	0,024	86,37	1,1/2"	7,92405
82	353,9	28008,1	0,024	87,06	1,1/2"	7,98773
83	355,5	28134,73	0,024	87,76	1,1/2"	8,05164
84	357	28253,44	0,0239	88,41	1,1/2"	8,11176
85	358,5	28372,15	0,0239	89,07	1,1/2"	8,17208
86	360	28490,86	0,0239	89,73	1,1/2"	8,2326
87	361,5	28609,57	0,0239	90,39	1,1/2"	8,29331
88	363	28728,28	0,0239	91,06	1,1/2"	8,35423
89	363,4	28759,94	0,0238	91,23	1,1/2"	8,37051
90	365,8	28949,88	0,0238	92,3	1,1/2"	8,46847
91	367,2	29060,68	0,0238	92,93	1,1/2"	8,52585
92	368,6	29171,48	0,0238	93,55	1,1/2"	8,5834
93	370	29282,27	0,0237	94,18	1,1/2"	8,64112
94	371,4	29393,07	0,0237	94,81	1,1/2"	8,69902
95	372,8	29503,87	0,0237	95,45	1,1/2"	8,75708
96	374,2	29614,67	0,0237	96,08	1,1/2"	8,81532
97	375,6	29725,46	0,0237	96,72	1,1/2"	8,87374
98	377	29836,26	0,0236	97,36	1,1/2"	8,93232
99	378,4	29947,06	0,0236	98	1,1/2"	8,99108
100	379,9	30065,77	0,0236	98,69	1,1/2"	9,05422
105	386,9	30619,76	0,0235	101,93	1,1/2"	9,35149
110	393,9	31173,75	0,0234	105,21	1,1/2"	9,65303
115	400,9	31727,74	0,0233	108,55	1,1/2"	9,95883
120	407,9	32281,73	0,0232	111,92	1,1/2"	10,26889
125	414,9	32835,72	0,0231	115,35	1,1/2"	10,58318
130	421,9	33389,71	0,023	118,82	1,1/2"	10,9017
135	428,9	33943,7	0,023	122,34	1,1/2"	11,22443
140	435,9	34497,68	0,0229	125,9	1,1/2"	11,55136
145	443	35059,59	0,0228	129,56	1,1/2"	11,88724
150	450	35613,58	0,0227	133,22	1,1/2"	12,22261

N° SALIDAS	LPM	Re	f	h	Ø	ΔP (mmHg)
155	457	36167,57	0,0226	136,92	1,1/2"	12,56214
160	464	36721,55	0,0226	140,67	1,1/2"	12,90583
165	471	37275,54	0,0225	144,46	1,1/2"	13,25366
170	478	37829,53	0,0224	148,29	1,1/2"	13,60564
175	485	38383,52	0,0223	152,17	1,1/2"	13,96174
180	492	38937,51	0,0223	156,1	1,1/2"	14,32197
185	499	39491,5	0,0222	160,07	1,1/2"	14,6863
190	506	40045,49	0,0221	164,09	1,1/2"	15,05473
195	513,1	40607,39	0,0221	168,21	1,1/2"	15,4326
200	520,1	41161,38	0,022	172,31	1,1/2"	15,80926
210	534,1	42269,36	0,0219	45,81	2"	4,20288
220	548,1	43377,34	0,0217	47,97	2"	4,40111
230	562,1	44485,31	0,0216	50,17	2"	4,60343
240	576,1	45593,29	0,0215	52,42	2"	4,80984
250	590,2	46709,18	0,0214	54,73	2"	5,02183
260	604,2	47817,16	0,0213	57,07	2"	5,23638
270	618,2	48925,14	0,0212	59,46	2"	5,45496
280	632,3	50041,03	0,0211	61,9	2"	5,67917
290	646,3	51149,01	0,021	64,37	2"	5,90581
300	660,3	52256,99	0,0209	66,88	2"	6,13645
310	674,3	53364,97	0,0208	69,44	2"	6,37106
320	688,3	54472,94	0,0207	72,04	2"	6,60964
330	702,4	55588,84	0,0206	74,7	2"	6,85393
340	716,4	56696,81	0,0205	77,39	2"	7,10044
350	730,4	57804,79	0,0204	80,12	2"	7,35089
360	744,4	58912,77	0,0204	82,89	2"	7,60526
370	758,5	60028,66	0,0203	85,73	2"	7,86539
380	772,5	61136,64	0,0202	88,59	2"	8,1276
390	786,5	62244,62	0,0201	91,49	2"	8,39369
400	800,5	63352,6	0,0201	94,43	2"	8,66367
420	828,6	65576,47	0,0199	100,46	2"	9,21722
440	856,6	67792,42	0,0198	106,64	2"	9,78422
460	884,7	70016,29	0,0197	113,01	2"	10,36867
480	912,7	72232,25	0,0195	119,53	2"	10,96633
500	940,8	74456,12	0,0194	126,23	2"	11,5814

Fuente: Elaboración Propia. Cálculos de diámetros con respecto al número de salidas de vacío medicinal Tabla 16

- **Determinamos la máxima pérdida de presión por fricción del sistema de cada gas medicinal**

### **Oxígeno Medicinal y Aire Comprimido Medicinal**

Para calcular la máxima pérdida de presión por fricción dentro del sistema para oxígeno medicinal y aire comprimido medicinal. Se debe tener los siguientes pasos:

- Encontrar la ruta crítica del sistema de cada gas medicinal (desde el central de gases medicinales hacia el último punto de salida más crítica)
- Calcular la longitud equivalente. Con respecto Ec. 51
- Diámetro de tubería con respecto al número de salida. Respecto a la Tabla 27
- Pérdida de presión con respecto el anexo 01

La máxima pérdida de presión por fricción total del sistema dentro de la tubería de cobre para los gases medicinales (oxígeno y aire comprimido medicinal) no debe ser superior a  $0,2784 \text{ kg/cm}^2$ , esto es con respecto a la Ec. 55.

### **Vacío Medicinal**

Para calcular la máxima pérdida de presión por fricción dentro del sistema para vacío medicinal. Se debe tener los siguientes pasos:

- Encontrar la ruta crítica del sistema del vacío medicinal (desde el central de gases medicinales hacia el último punto de salida más crítica)
- Calcular la longitud equivalente. Con respecto Ec. 51
- Diámetro de tubería con respecto al número de salida. Respecto a la Tabla 28
- Pérdida de presión con respecto el anexo 02

La máxima pérdida de presión por fricción total del sistema dentro de la tubería de cobre para el vacío medicinal no debe ser superior a  $76,2 \text{ mmHg.}$ , esto es con respecto a la norma mexicana (IMSS, 2017).

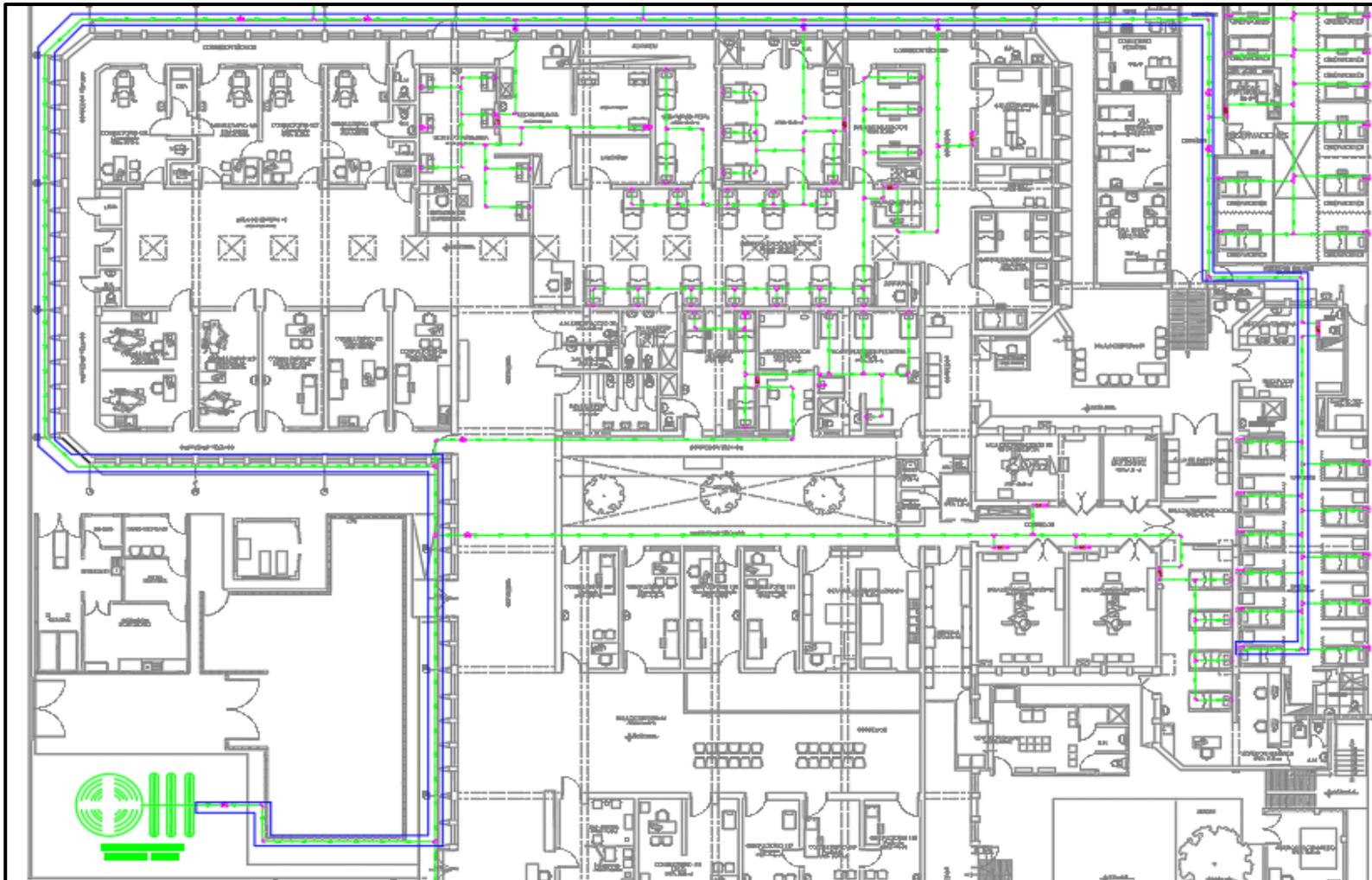


Figura 20. Ruta crítica del sistema de oxígeno medicinal

Fuente: Tomado del plano de instalaciones de gases medicinales de oxígeno medicinal

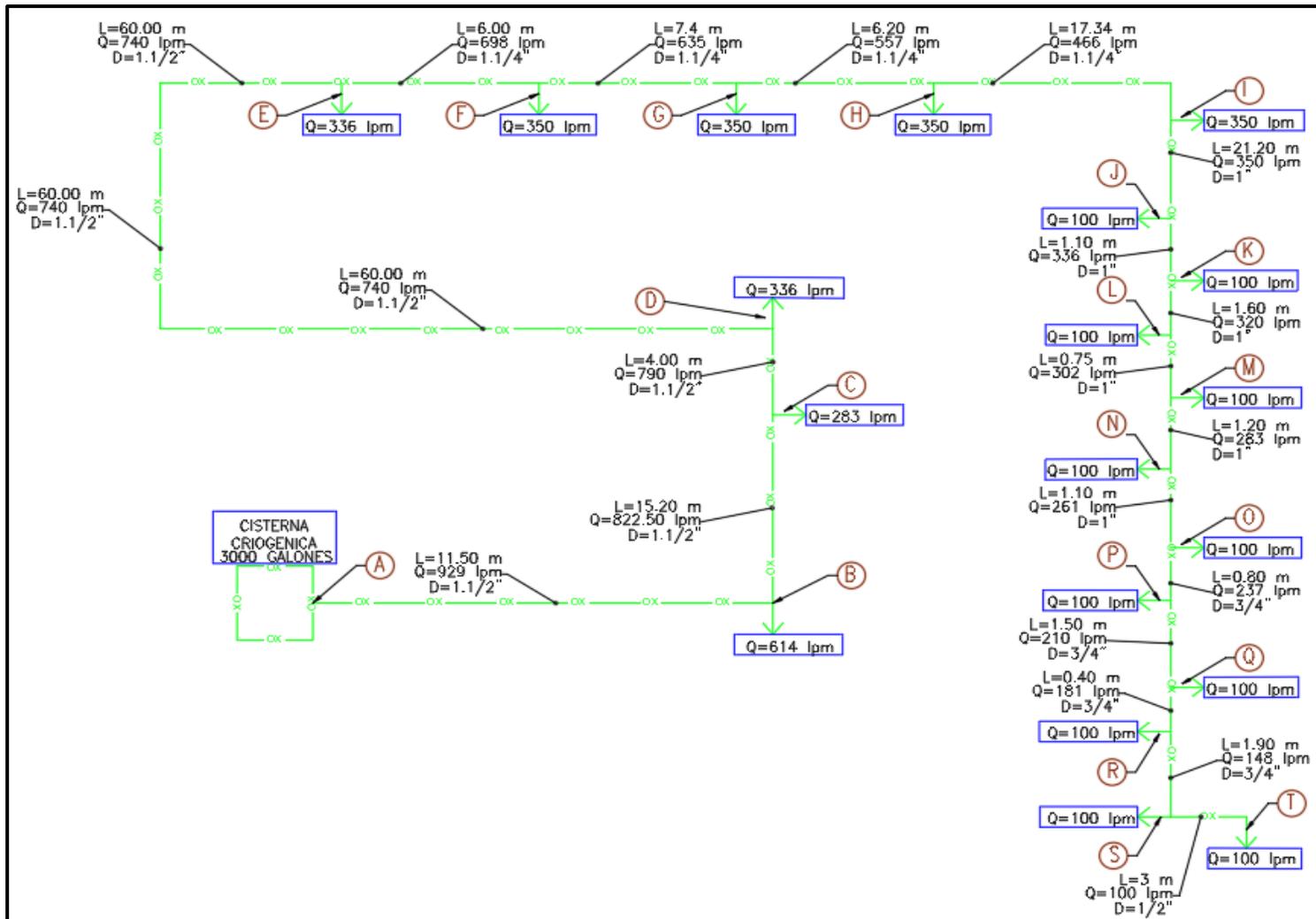


Figura 21. Señalización de la ruta crítica con sus respectivos gastos (LPM) por las cantidades de salidas de oxígeno medicinal

Fuente: Tomado del plano de instalaciones de gases medicinales (oxígeno medicinal). Con respecto a la Figura 20

**Tabla 29. Cálculo de diámetros de la red de oxígeno medicinal con respecto a su máxima pérdida de presión por fricción**

TRAMO	DIÁMETRO	LONGITUD TUBERIA	LONGITUD EQUIVALENTE	Nº DE SALIDAS EQUIVALENTES	GASTO ACUMULADO	PERDIDA CADA 100 m (ANEXO 1)	PERDIDA TRAMO POR C/METRO	(*) MÁXIMA PERDIDA
	(pulg.)	(m)	(m)		LPM	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )
A - B	1,1/2"	11,50	17,25	120	929,00	0,018	0,00302	0,003
B - C	1,1/2"	15,20	22,80	79	822,50	0,015	0,00342	0,006
C - D	1,1/2"	4,00	6,00	72	790,00	0,015	0,00090	0,007
D - E	1,1/2"	60,00	90,00	62	740,00	0,013	0,01125	0,019
E - F	1,1/4"	6,00	9,00	54	698,00	0,025	0,00225	0,021
F - G	1,1/4"	7,40	11,10	44	635,00	0,023	0,00250	0,023
G - H	1,1/4"	6,20	9,30	33	557,00	0,015	0,00140	0,025
H - I	1,1/4"	17,34	26,01	22	466,00	0,011	0,00286	0,028
I - J	1"	21,20	31,80	11	350,00	0,019	0,00604	0,034
J - K	1"	1,10	1,65	10	336,00	0,018	0,00030	0,034
K - L	1"	1,60	2,40	9	320,00	0,017	0,00041	0,034
L - M	1"	0,75	1,13	8	302,00	0,015	0,00017	0,035
M - N	1"	1,20	1,80	7	283,00	0,008	0,00014	0,035
N - O	1"	1,10	1,65	6	261,00	0,008	0,00013	0,035
O - P	3/4"	0,80	0,80	5	237,00	0,035	0,00028	0,035
P - Q	3/4"	1,50	2,25	4	210,00	0,027	0,00061	0,036
Q - R	3/4"	0,40	0,60	3	181,00	0,025	0,00015	0,036
S - T	3/4"	1,90	2,85	2	148,00	0,018	0,00051	0,036
T - U	1/2"	3,00	4,50	1	100,00	0,045	0,00203	0,038

(\*) Las pérdidas acumuladas por fricción (0,038 kg/cm<sup>2</sup>) son aceptables por ser menores a 0,2784 kg/cm<sup>2</sup> (según Norma Mexicana del IMSS).

Fuente: Elaboración Propia. Con respecto a la Figura 21

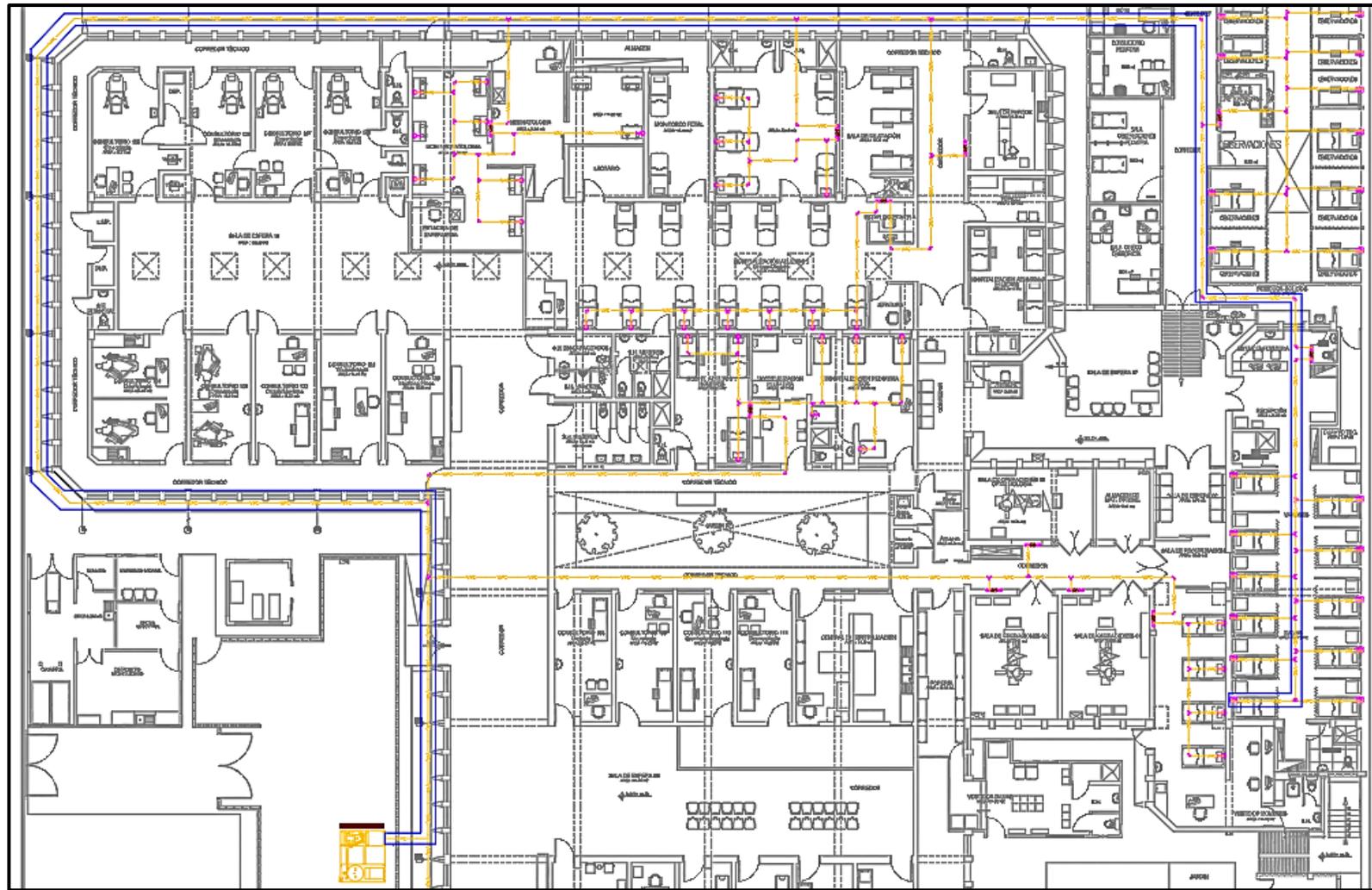


Figura 22. Ruta crítica del sistema de vacío medicinal  
 Fuente: Tomado del plano de instalaciones de gases medicinales

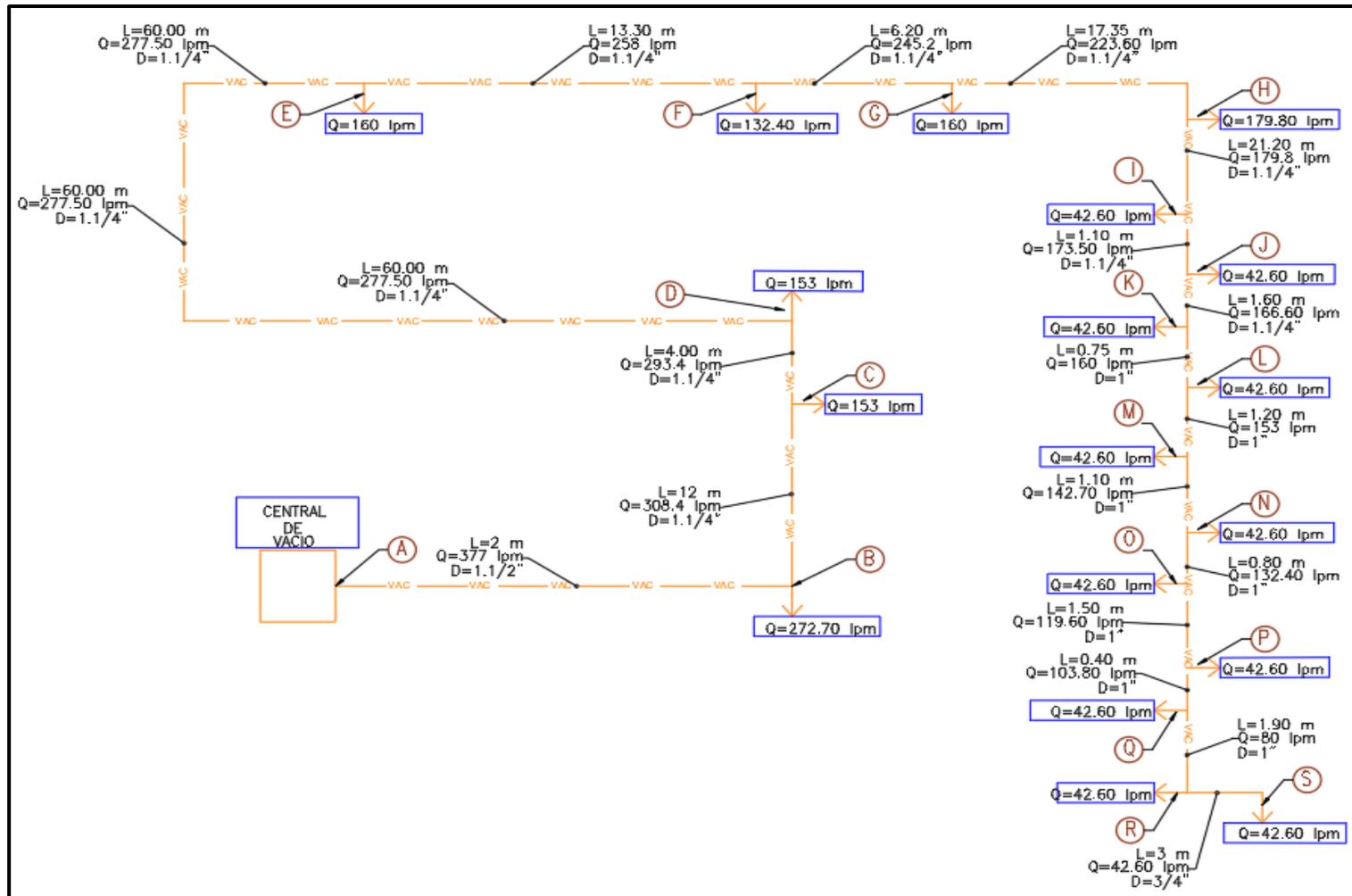


Figura 23. Señalización de la ruta crítica con sus respectivos gastos (LPM) por las cantidades de salidas de vacío medicinal

Fuente: Tomado del plano de instalaciones de gases medicinales (oxígeno medicinal). Con respecto a la Figura 22

**Tabla 30. Cálculo de diámetros de la red de vacío medicinal con respecto a su máxima pérdida de presión por fricción**

TRAMO	DIÁMETRO	LONGITUD TUBERIA	LONGITUD EQUIVALENTE	Nº DE SALIDAS EQUIVALENTES	GASTO ACUMULADO	PERDIDA CADA 100 m (ANEXO 2)	PERDIDA TRAMO POR C/METRO	(*) MÁXIMA PERDIDA
	pulg.	(m)	(m)		LPM	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)
A - B	1,1/2"	2,00	3,00	98	377,00	25,000	0,75000	0,750
B - C	1,1/4"	12,00	18,00	57	308,40	39,000	7,02000	7,770
C - D	1,1/4"	4,00	6,00	50	293,40	32,000	1,92000	9,690
D - E	1,1/4"	60,00	90,00	43	277,50	31,000	27,90000	37,590
E - F	1,1/4"	13,30	19,95	35	258,00	27,500	5,48625	43,076
F - G	1,1/4"	6,20	9,30	30	245,20	25,000	2,32500	45,401
G - H	1,1/4"	17,35	26,03	22	223,60	22,000	5,72550	51,127
H - I	1,1/4"	21,20	31,80	11	179,80	15,000	4,77000	55,897
I - J	1,1/4"	1,10	1,65	10	173,50	14,000	0,23100	56,128
J - K	1,1/4"	1,60	2,40	9	166,60	13,000	0,31200	56,440
K - L	1"	0,75	1,13	8	160,00	30,000	0,33750	56,777
L - M	1"	1,20	1,80	7	153,00	29,000	0,52200	57,299
M - N	1"	1,10	1,65	6	142,70	26,000	0,42900	57,728
N - O	1"	0,80	1,20	5	132,40	23,000	0,27600	58,004
O - P	1"	1,50	2,25	4	119,60	18,000	0,40500	58,409
P - Q	1"	0,40	0,60	3	103,80	16,000	0,09600	58,505
Q - R	1"	1,90	2,85	2	80,00	9,000	0,25650	58,762
R - S	3/4"	3,00	4,50	1	42,60	10,300	0,46350	59,225

(\*) Las pérdidas acumuladas por fricción (59,225 mmHg) son aceptables por ser menores a 76,2 mm de columna de Mercurio (según Norma Mexicana del IMSS).

Fuente: Elaboración Propia. Con respecto a los puntos críticos de la Figura 23

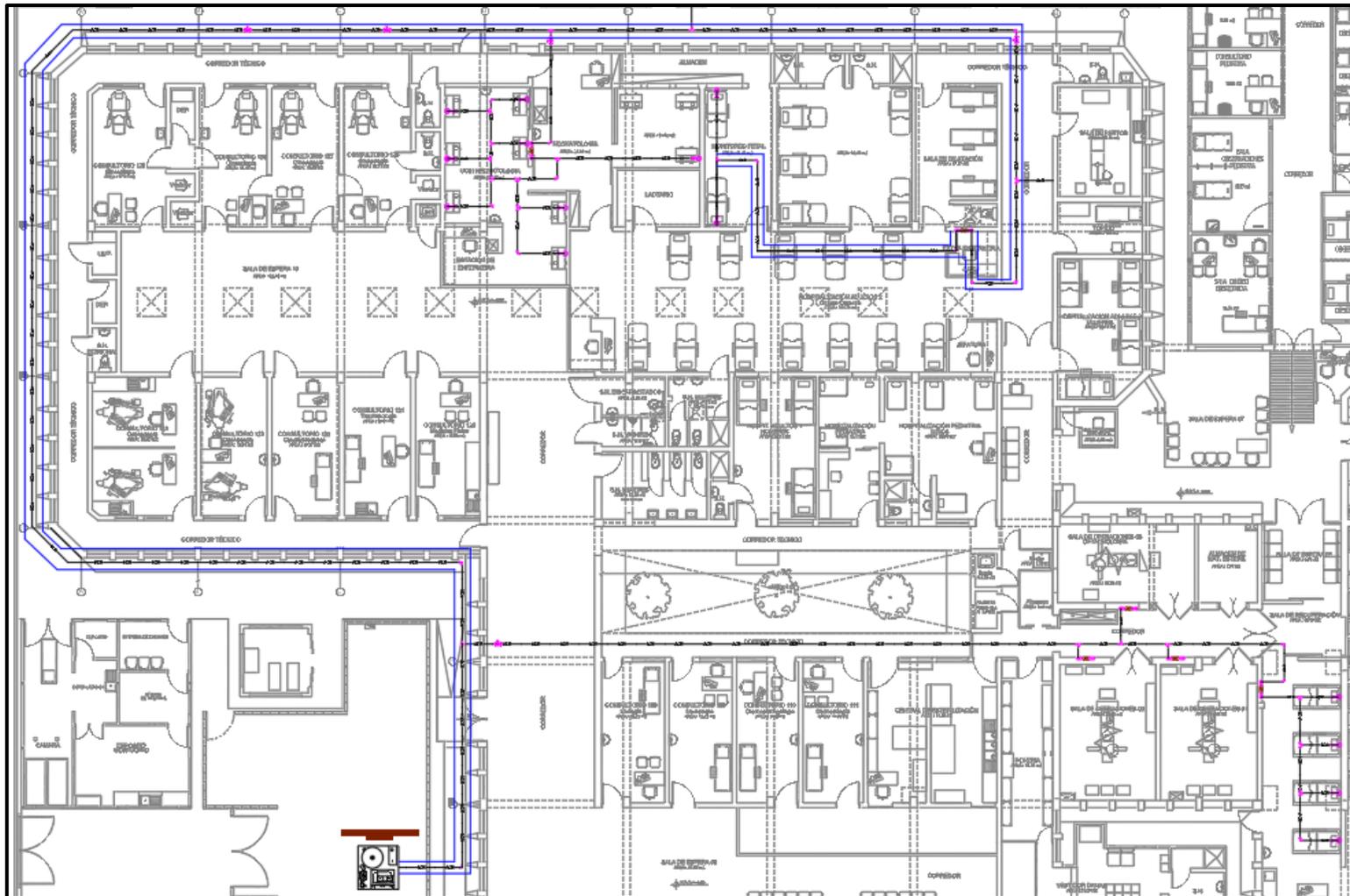


Figura 24. Ruta crítica del sistema del aire comprimido medicinal  
 Fuente: Tomado del plano de instalaciones de gases medicinales

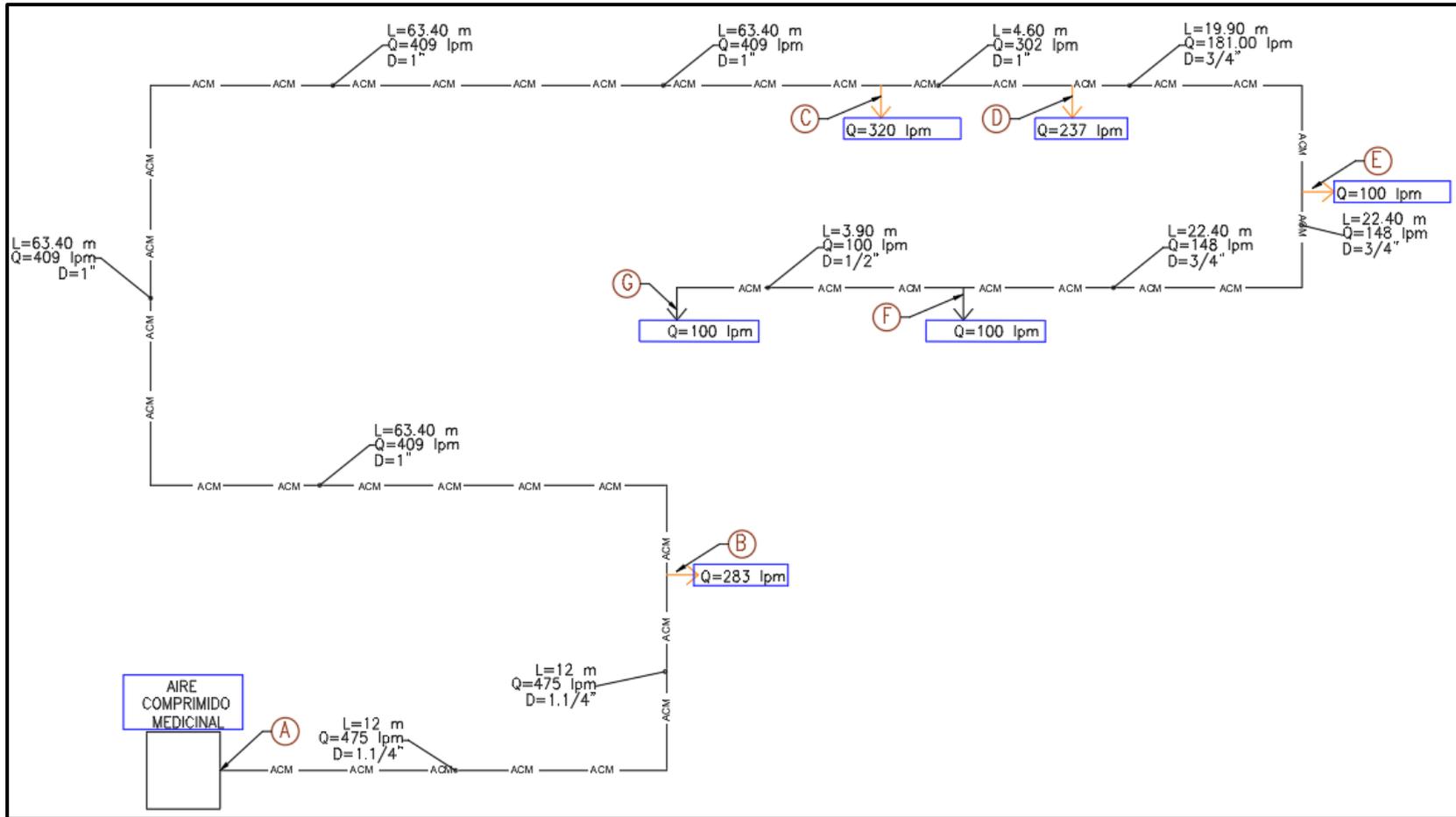


Figura 25. Señalización de la ruta crítica con sus respectivos gastos (LPM) por las cantidades de salidas de aire comprimido medicinal

Fuente: Tomado del plano de instalaciones de gases medicinales (oxígeno medicinal). Con respecto a la Figura 24

**Tabla 31. Cálculo de diámetros de la red de aire medicinal con respecto a su máxima pérdida de presión por fricción**

TRAMO	DIÁMETRO	LONGITUD TUBERIA	LONGITUD EQUIVALENTE (m)	N° DE SALIDAS EQUIVALENTES	GASTO ACUMULADO	PERDIDA CADA 100 m (ANEXO 1)	PERDIDA TRAMO POR C/METRO	(*) MÁXIMA PERDIDA
	pulg.	(m)	(m)		LPM	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )
A - B	1,1/4"	12,00	18,00	23	475,00	0,013	0,00234	0,002
B - C	1"	63,40	95,10	16	409,00	0,025	0,02378	0,026
C - D	1"	4,60	6,90	8	302,00	0,015	0,00104	0,027
D - E	3/4"	19,90	29,85	3	181,00	0,040	0,01194	0,039
E - F	3/4"	22,40	33,60	2	148,00	0,018	0,00588	0,045
F - G	1/2"	2,60	3,90	1	100,00	0,042	0,00164	0,047

(\*) Las pérdidas acumuladas por fricción (0,047 kg/cm<sup>2</sup>) son aceptables por ser menores a 0,28 kg/cm<sup>2</sup> (según Norma Mexicana del IMSS).

Fuente: Elaboración Propia. Con respecto a los puntos críticos de la Figura 25

## V. RESULTADOS

Para el siguiente capítulo de la tesis de investigación, mencionamos los resultados de cada objetivo específico del Capítulo III.

### 5.1 Resultados Descriptivos

#### 5.1.1 Parámetros de diseño y consumo del suministro de gases medicinales.

Se determinó los parámetros de diseño convenientes, dados por el Hospital II Ramón Castilla, teniendo como resultado la siguiente Tabla 32, donde se puede apreciar el suministro de gases medicinales (oxígeno medical, aire comprimido medicinal y vacío medicinal) de cada ambiente hospitalaria.

**Tabla 32. Parámetros de diseño para el sistema de suministro de gases medicinales de alto flujo**

Nombre del Proyecto: Sistema de suministro de gases medicinales de alto flujo		
Realizado por: Brandon Bruce Marín Montoya		
Dirección de local: Jr. Guillermo Dansey N.º 390 - Lima - Lima		
Datos Geográficos		
Altitud: 132,712 msnm		
Longitud: -77,04389	Grados Oeste: -77° 2' 38,36"	
Latitud: 12,04439	Grados Sur: 12° 2' 40,81"	
Departamento	Provincia	Ciudad
Lima	Lima	Lima
Parámetros de Diseño		
Cantidad de camas proyectados: 120 camas		
Especialidad: Instalación de Gases Medicinales		
Descripción de Ambientes Hospitalarios		
1º Piso		
ÁREA COVID 19 - UVI 1	ÁREA COVID 19 - OBSERVACIÓN	
ÁREA COVID 19 - UVI 2	ÁREA COVID 19 - NEBULIZACIÓN	
ÁREA COVID 19 - UVI - TRAUMA SHOCK	ÁREA COVID 19 - TÓPICO INYECTABLE	
TÓPICO GINECOLOGÍA	OBSERVACIÓN DE PEDIATRÍA	
TÓPICO CIRUGÍA	INMUNIZACIÓN	
SALA DE OPERACIÓN 01	SALA DE OPERACIÓN 02	
SALA DE OPERACIÓN 03	SALA DE RECUPERACIÓN	
NEONATOLOGÍA	UCI NEONATOLOGÍA	
OBSERVACIÓN DE GINECO OBSTETRA	HOSPITALIZACIÓN GINECO OBSTETRA	
SALA DILATACIÓN	SALA DE PARTO 01	
TÓPICO DE PARTO	SALA DE PARTO 02	
HOSPITALIZACIÓN PEDIATRÍA 01	HOSPITALIZACIÓN PEDIATRÍA 02	
TRAUMASHOCK	HOSPITALIZACIÓN	
2º Piso		
HOSPITALIZACIÓN MEDICINA	HOSPITALIZACIÓN CIRUGÍA	
ZONA DE AISLADO 1	ZONA DE AISLADO 2	
UNIDAD DE CUIDADO INTERNO	UNIDAD DE VIGILANCIA INTERNA	

Fuente: Elaboración Propia. Con respecto al parámetro de diseño

Con respecto a la Tabla 32, se puede observar los parámetros de diseño y la descripción de los ambientes hospitalarios. Donde la altitud nos servirá como dato principal para saber la presión atmosférica por medio de Senamhi y con ello se podrá calcular la máxima pérdida de presión por fricción. Tal como se ve en la ecuación Ec. 54 para (oxígeno medicinal y aire comprimido medicinal) y Ec. 56. (vacío medicinal)

### 5.1.2 Cálculo de consumo de gases medicinales

Al haber determinado los parámetros de diseño y la descripción de ambientes hospitalarios que requieran de los gases medicinales, con sus respectivas cantidades de camas y puntos de salidas de gases medicinales. Tal como se demuestra en la Tabla 13. Con ello se pudo calcular el consumo total de cada gas medicinal.

#### Cálculo de máxima demanda para oxígeno medicinal

Teniendo en cuenta la Tabla 17, que indica el uso de oxígeno medicinal en cada ambiente hospitalaria (tipo de uso y cantidad de puntos de salida), con ello se puede obtener la máxima demanda y se demuestra en la Tabla 33.

**Tabla 33. Máxima Demanda para Oxígeno Medicinal**

<b>CÁLCULO DE LA MÁXIMA DEMANDA</b>		
NÚMEROS DE CAMAS	120	
GASTO TOTAL DE OXÍGENO:	1215,00	LPM
TIEMPO DE USO DIARIO:	24	h/d
FACTOR DE SIMULTANEIDAD: F.S.	0,25	
CONSUMO DE GAS DIARIO:	437,4	m <sup>3</sup> /d
NÚMERO DE DÍAS DE ALMACENAMIENTO DE OXÍGENO	15	días
CONSUMO DE GAS:	6561,00	m <sup>3</sup>
<b>CÁLCULO DEL VOLUMEN DE OXÍGENO LÍQUIDO REQUERIDO</b>		
FACTOR DE CONVERSIÓN GAS A LÍQUIDO:	1,173	l/m <sup>3</sup>
CONSUMO DE LÍQUIDO:	7696,05	litros
FACTOR DE CONVERSIÓN A GALONES:	3,8	l/gal
CONSUMO DE LÍQUIDO:	2025,28	galones
FACTOR DE SOBREDIMENSIONADO: 15%	1,15	
VOLUMEN DE OXÍGENO LÍQUIDO	2329,07	galones

Fuente: Elaboración Propia. Resultados con respecto a la máxima demanda del oxígeno medicinal

### **Cálculo de máxima demanda para oxígeno medicinal en caso de emergencia**

Teniendo en cuenta la Ec. 42, donde indica la representación matemática para calcular el consumo de oxígeno en caso de emergencia con una duración de 12 horas, dando como resultado de 22 cilindros de 10 m<sup>3</sup> por cada percha o bancada. Este resultado se ve en la Ec. 46

**Tabla 34. Máxima demanda para oxígeno medicinal en caso de emergencia**

<b>CÁLCULO DE LA CAPACIDAD Y NÚMERO DE CILINDROS</b>		
TIEMPO DE ABASTECIMIENTO DE EMERGENCIA:	12	horas/día
FACTOR DE SIMULTANEIDAD: F.S.	0,25	
CONSUMO DE GAS PARA EMERGENCIA:	218,7	m3/d
ABASTECIMIENTO CON CILINDROS: (C/CILINDRO)	10	m3
Nº DE CILINDROS:	22	Cilindros
Nº DE CILINDROS EN SERVICIO POR BANCADA	22	Cilindros
Nº DE CILINDROS RESERVA PARA EMERGENCIA (1/2 día)	22	Cilindros

Fuente: Elaboración Propia. Resultados con respecto a la máxima demanda del oxígeno medicinal en caso de emergencia

### **Cálculo de máxima demanda para Aire Comprimido Medicinal**

Teniendo en cuenta la Tabla 20, que indica el uso de aire comprimido medicinal en cada ambiente hospitalaria (tipo de uso, cantidad de puntos de salida e indicando su factor de simultaneidad), con ello se puede obtener la máxima demanda y se demuestra en la Tabla 35.

**Tabla 35. Máxima Demanda para Aire Comprimido Medicinal**

GASTO TOTAL DE AIRE COMPRIMIDO MEDICINAL	1592,6	LPM
FACTOR DE CONVERSIÓN:	0,0354	
GASTO MÁXIMA DEMANDA DIARIA (SCFM):	56,378	SCFM
ALTITUD	132,712	msnm
CORRECCIÓN POR ALTITUD: 132,712 msnm	1	
GASTO MÁXIMA DEMANDA CORREGIDO POR ALTITUD:	56,378	ACFM

Fuente: Elaboración Propia. Resultados con respecto a la máxima demanda para Aire Comprimido Medicinal

### **Cálculo de máxima demanda para Vacío Medicinal**

Teniendo en cuenta la Tabla 22, que indica el uso de aire comprimido medicinal en cada ambiente hospitalaria (tipo de uso, cantidad de puntos de salida e indicando su factor de simultaneidad), con ello se puede obtener la máxima demanda y se demuestra en la Tabla 35.

**Tabla 36. Máxima Demanda para Vacío Medicinal**

GASTO TOTAL DE VACÍO MEDICINAL	1594,76	LPM
FACTOR DE CONVERSIÓN PARA OBTENER SCFM	0,0354	
GASTO MÁXIMA DEMANDA DIARIA (SCFM):	56,455	SCFM
ALTITUD	132,712	msnm
CORRECCIÓN POR ALTITUD: 132,712 msnm	1	
GASTO MÁXIMA DEMANDA CORREGIDO POR ALTITUD:	56,45	ACFM

Fuente: Elaboración Propia. Resultados con respecto a la máxima demanda para Vacío Medicinal

### 5.1.3 Selección de equipos

- **Tanque criogénico de oxígeno medicinal**

Para la selección del tanque criogénico se tomará en cuenta la Ec. 41, donde señala que el volumen líquido del oxígeno criogénico es de 2329,068 galones (8816,481 litros). Con ello, servirá para la selección del tanque criogénico de diferentes empresas que se encuentran detallados en la Tabla 26. Con la información obtenida se elabora un cuadro de resumen con las siguientes características, en la Tabla 37

**Tabla 37. Características de tanques criogénico comercial**

Volumen líquido del Oxígeno Criogénico del proyecto	2329,068 galones	8816,481 litros
Capacidad del tanque criogénico – comercial	2641,72 galones - 3175 galones	
	10000 litros - 12065 litros	
Diámetro del tanque criogénico - comercial	2,4 metros - 2,2 metros	
Altura del tanque criogénico - comercial	5,18 metros - 6,15 metros	
Peso aprox. del tanque criogénico vacío- comercial	7000 kg - 8000 kg	

Fuente: Elaboración Propia. Resumen con respecto a la Tabla 37

- **Resultados selección de generadores de gases medicinales**

Para la selección de los equipos de aire comprimido medicinal y vacío medicinal, vamos a tener en cuenta los gastos máximos totales de cada uno. Teniendo en cuenta la Ec. 48 ( $Gasto_{Máxima\ total} = 56,378\ acfm$ ) del sistema de aire comprimido medicinal y la Ec. 50 ( $Gasto_{Máxima\ total} = 56,454\ acfm$ ) del sistema de vacío medicinal.

Para la selección de los equipos, se seleccionará con respecto su gasto máximo total (acfm), pero en la selección del equipo en la guía de diseño (Amico Corporation, 2019), la unidad acfm (actual cubic foot per minute) pasa a scfm (standard cubic peet per minute) para la selección del equipo.

**Tabla 38. Resumen del sistema de aire comprimido medicinal seleccionado**

Gasto Máximo total del proyecto		56,378 acfm	
Modelo		A-SCD-T-200P-SS-N-100	
Potencia		10 HP	7,46 kW
Capacidad del sistema a 50 Psig		69,6 SCFM	1971 LPM
Dimensiones del sistema	Ancho	100 pulgadas	2,54 metros
	Largo	74 pulgadas	1,88 metros
	Alto	91 pulgadas	2,31 metros
Área requerida		51,4 ft <sup>2</sup>	4,78 m <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración Propia. Resumen con respecto a la Figura 18

**Tabla 39. Resumen del sistema de vacío medicinal seleccionado**

Gasto Máximo total del proyecto		56,454 acfm	
Modelo		V-CCD-Q-200P-SS-N-075	
Potencia		7,5 HP	5,59 kW
Capacidad del sistema a 50 Psig		65 SCFM	1841 LPM
Dimensiones del sistema	Ancho	67 pulgadas	1,70 metros
	Largo	55 pulgadas	1,40 metros
	Alto	91 pulgadas	2,31 metros
Área requerida		25,6 ft <sup>2</sup>	2,38 m <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración Propia. Resumen con respecto a la Figura 19

#### 5.1.4 Dimensionamiento de las tuberías de cobre

- **Determinación del diámetro respecto al número de salidas**

##### **Oxígeno Medicinal y Aire Comprimido Medicinal**

En la Tabla 27, se puede verificar el dimensionamiento de las tuberías con respecto con la caída de presión y con la cantidad de salidas para los gases medicinales (oxígeno medicinal y aire comprimido medicinal).

Y se determina de la siguiente manera:

**Tabla 40. Diámetro de la tubería con respecto al número de salidas para los gases de oxígeno medicinal y aire comprimido medicinal**

N.º de salidas	Diámetro (Ø)
01	1/2"
02 - 05	3/4"
06 - 19	1"
20 - 58	1.1/4"
60 - 130	1.1/2"
135 - 500	2"

Fuente: Elaboración Propia. Resumen con respecto a la Tabla 27

### **Vacío Medicinal**

En la Tabla 28, se puede verificar el dimensionamiento de las tuberías con respecto con la caída de presión y con la cantidad de salidas para el vacío medicinal. Y se determina de la siguiente manera:

**Tabla 41. Diámetro de la tubería con respecto al número de salidas para los gases de vacío medicinal**

N.º de salidas	Diámetro (Ø)
01	3/4"
02 - 08	1"
09 - 67	1.1/4"
68 - 200	1.1/2"
210 - 500	2"

Fuente: Elaboración Propia. Resumen con respecto a la Tabla 28

- **Determinación de la máxima pérdida de presión por fricción**

#### **Oxígeno Medicinal y Aire Comprimido Medicinal**

Con respecto a la Ec. 55, la máxima pérdida de presión por fricción para el oxígeno medicinal y aire comprimido medicinal, con respecto a la altitud que se ubica el hospital es de 0,2784 kg/cm<sup>2</sup>.

En la Tabla 29, se calcula la máxima pérdida de presión por fricción acumulada en el sistema de oxígeno medicinal es de 0,038 kg/cm<sup>2</sup>.

En la Tabla 31, se calcula la máxima pérdida de presión por fricción acumulada en el sistema de aire comprimido medicinal es de 0,047 kg/cm<sup>2</sup>.

### **Vacío Medicinal**

La máxima pérdida de presión por fricción para el vacío medicinal es de 76,8 mmHg con respecto al Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS, 2017).

En la Tabla 30, se calcula la máxima pérdida de presión por fricción acumulada en el sistema de vacío medicinal es de 59,225 mmHg.

## **VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **6.1 Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados**

#### **6.1.1 Contrastación de la hipótesis general**

En la hipótesis general, se planteó lo siguiente: “Si se diseña un sistema de suministro de gases medicinales de alto flujo para su posterior construcción, se abastecerá 120 camas hospitalarias en el Hospital II Ramón Castilla”.

El sistema de suministro de gases medicinales diseñada para el Hospital II Ramón Castilla, contara con 03 gases medicinales (oxígeno medicinal, aire comprimido medicinal y vacío medicinal). Que estarán diseñadas con la norma NFPA 99 (capítulo N.º 5), para que el abastecimiento sea de manera constante y eficiente.

Con los siguientes resultados del volumen del oxígeno criogénico que es de 2329,07 galones y los gastos finales de aire comprimido (56,378 acfm) y vacío medicinal (56,45 acfm) se garantiza el abastecimiento a 120 camas hospitalarias.

El resultado del dimensionamiento de las tuberías, con respecto a la máxima pérdida de presión por fricción de oxígeno medicinal es de 0,038 kg/cm<sup>2</sup> y del aire comprimido medicinal es de 0,047 kg/cm<sup>2</sup>, es aceptable, ya que la máxima pérdida de presión por fricción para ambos gases medicinales es de 0,2784 kg/cm<sup>2</sup>. Y la máxima pérdida de presión por fricción de vacío medicinal es de 59,225 mmHg, es aceptable, ya que la máxima pérdida de presión por fricción es de 76,8 mmHg.

Por lo que la hipótesis general se acepta

#### **6.1.2 Contrastación de las hipótesis específicas**

- En la hipótesis específico, se planteó lo siguiente: “Si se determinan los parámetros de diseño, permitirá obtener el consumo del suministro de gases medicinales”

Se comprobó que es necesario conocer los parámetros de diseño, que en la cual nos permitirá abastecer de gases medicinales a los ambientes

hospitalarias que requieran de este producto, tal como lo demuestra en la Tabla 13. En la cual siempre se inicia con la ubicación geográfica del hospital, que nos dará a conocer su altitud geográfica (132,712 msnm), dato importante para los cálculos de consumo y el dimensionamiento de la tubería, el diseño arquitectónico que sirve como base para proyectar el recorrido de las tuberías de cobre y la ubicación de los accesorios que constituyen en el diseño.

Por lo que la hipótesis planteada se acepta

- En siguiente hipótesis específico, se planteó lo siguiente: “Si se calcula el consumo de gases medicinales, permitirá la selección los equipos de almacenamiento, generadores de gases medicinales y el dimensionamiento de tuberías”

Se comprueba que obtenido la información de los parámetros de diseño (ubicación geográfica, ambientes hospitalarios y planos de arquitectura). Se logra hacer los cálculos correspondientes para calcular volumen requerido en el tanque criogénico y el consumo total de cada gas medicinal. Para el oxígeno medicinal, corresponden la Ec. 41 (volumen del líquido criogénico es de 2329,07 galones) y la Ec. 46 (cantidad de balones de oxígeno, en caso de emergencia es de 22 balones). Para el aire comprimido medicinal, corresponde la Ec. 48 (gasto máximo total es de 56,378 ACFM) y por último el vacío medicinal, corresponde la Ec. 50 (gasto máximo total es de 56,454 ACFM).

Por lo que la hipótesis planteada se acepta

- En siguiente hipótesis específico, se planteó lo siguiente: “Si se seleccionan los equipos de almacenamiento y generadores de gases medicinales, permitirá abastecer el consumo calculado”

Se comprueba que los cálculos finales de gasto máximo y el volumen final del líquido, se logra seleccionar los equipos de almacenamiento y equipos de generadores de gases medicinales.

Se comprueba que la selección de los equipos y de los equipos generadores de gases medicinales, tiene como un sobre dimensionamiento de un 15% con respecto al volumen del oxígeno criogénico y sus gastos máximo total de aire comprimido medicinal y vacío medicinal se multiplicara un factor de corrección por altitud tal como se indica en la Tabla 24 (para aire comprimido medicinal) y la Tabla 25 (para vacío medicinal). Ya que con ese sobredimensionamiento (debido a las características del producto, hechas de fabrica) se puede aumentar algunos puntos de salida de gases medicinales, para su posterior construcción a un proyecto de ampliación de un nuevo ambiente hospitalario.

Por lo que la hipótesis planteada se acepta

- Por último, en la siguiente hipótesis específico, se planteó lo siguiente: “Si se determinar el dimensionamiento de las tuberías para su posterior instalación, se abastecerá 120 camas hospitalarias en el Hospital II Ramón Castilla”

Se logra comprobar que el dimensionamiento de las tuberías de cobre del diseño, es la correcta. Ya que la máxima pérdida de presión por fricción, es aceptable con respecto a la norma del Instituto Mexicano del Seguro social. Tal como se indica la Ec. 55, donde la máxima de pérdida de presión por fricción para el sistema de oxígeno medicinal y aire comprimido medicinal es de  $0,278 \text{ kg/cm}^2$ . El dimensionamiento del diseño del sistema del oxígeno medicinal es aceptable ya que su máxima pérdida presión por fricción es de  $0,038 \text{ kg/cm}^2$  y el dimensionamiento del diseño del sistema del aire comprimido medicinal es de  $0,047 \text{ kg/cm}^2$ .

La máxima de pérdida de presión por fricción para el sistema de vacío medicinal es de  $76,8 \text{ mmHg}$  según IMSS. El dimensionamiento del diseño del sistema del vacío medicinal es de  $59,225 \text{ mmHg}$ .

Por lo que la hipótesis planteada se acepta

## **6.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares**

### **6.2.1 Contrastación de resultados con estudios internacionales**

- En el trabajo de investigación de Carmona (2018) en su tesis titulada: “Rediseño de la red de aire grado médico para el Hospital México”. Ya que el presente trabajo de investigación indica que es necesario el uso de la norma internacional (NFPA 99) y su recomendación en complementar con otras normas para lograr los requerimientos del diseño. Y nos indica su metodología de estudio que es recopilar información teórica, como fuentes bibliográficas (libros y manuales). Y con ello fue necesario para determinar los parámetros de diseño para el diseño del sistema de suministro de gases medicinales.
- En el trabajo de investigación de Muñoz (2019) en su tesis titulada: “Guía de Instalación de Gases Medicinales”. Ya que en el presente trabajo de investigación nos indica su metodología de investigación, se basa en normas, leyes y reglamento de ministerio de salud de su país y su empleo de herramientas teóricas para el cálculo de cilindros. Y con ello fue necesario para determinar el consumo de oxígeno medicinal y cálculo de número de cilindros por manifold.
- En el trabajo de investigación de Nilda y Salomón (2019) en su tesis titulada: “Diseño y Equipamiento de un Área de Emergencias para El Hospital Dr. José María Minella”. Y con ello fue necesario para determinar las áreas hospitalarias y tener conocimiento de las diferentes especialidades para determinar el consumo de cada área hospitalaria.

### **6.2.2 Contrastación de resultados con estudios nacionales**

- En el trabajo de investigación de More (2018) en su tesis titulada: “DISEÑO DE LA RED DE OXÍGENO LÍQUIDO MEDICINAL PARA LOS SERVICIOS EN EL HOSPITAL II JORGE REÁTEGUI DELGADO ESSALUD PIURA 2018”. Y con ello fue necesario para determinar la autonomía del tanque de oxígeno por una cierta cantidad de días y para una futura ampliación de ambientes en el hospital.

- En el trabajo de investigación de Riojas (2020) en su tesis titulada: “Ampliación de la Producción de la Planta de Generación de Oxígeno del Hospital Las Mercedes”. Y con ello fue necesario para determinar o tener en cuenta en su recomendación que para mantener la atención al paciente y de una manera más económica, es de tener un tanque criogénico y tener los conocimientos de cálculos teóricos para el diseño de la tubería de cobre.

### **6.3 Responsabilidad ética**

El Bach. Brandon Bruce Marín Montoya, autor del presente informe final de tesis titulado: “DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUMINISTRO DE GASES MEDICINALES DE ALTO FLUJO PARA EL ABASTECIMIENTO DE 120 CAMAS HOSPITALARIAS EN PANDEMIA EN EL HOSPITAL II RAMÓN CASTILLA – LIMA. 2021”, se responsabiliza por la información emitida en el informe final y está de acuerdo a las normas y reglamentos de la Universidad Nacional del Callao.

## CONCLUSIONES

- El sistema de suministro de gases medicinales diseñada para el Hospital II Ramón Castilla, contara con 03 gases medicinales (oxígeno medicinal, aire comprimido medicinal y vacío medicinal). Dicho diseño estará guiado con norma NFPA 99 (capitulo N.º 5) para que el abastecimiento sea de manera constante y eficiente
- Se logró diseñar el sistema de gases medicinales, entre ellos son oxígeno medicinal, vacío medicinal y aire comprimido medicinal, en el Hospital II Ramón Castilla. Mediante los parámetros de diseño, que son relevantes para el inicio de cálculo de consumo de cada gas medicinal de cada ambiente hospitalario.

Entre ellas, es la ubicación geográfica (132,712 msnm) y conocer los ambientes hospitalarios con respecto a la Tabla 13

- Se determinó el volumen final del oxígeno criogénico con un abastecimiento con una autonomía de 15 días, para después seleccionar el tanque de almacenamiento para el oxígeno criogénico (2329,7 galones). Pero también se determinó la cantidad de 22 balones que se debe utilizar cada percha o bancada para una duración de 24 horas.

Se logro determinar los gastos finales de aire comprimido medicinal (56,378 acfm) y vacío medicinal para la selección del sistema (56,454 acfm), que en la cual se selecciona un sistema de caudal mayor (scfm), para satisfacer los gastos finales requeridos por el sistema.

- Se concluye que para la selección de los equipos de almacenamiento es necesario saber el volumen del oxígeno criogénico (2329,7 galones). Y los equipos de aire comprimido medicinal y vacío medicinal, es necesario saber sus respectivos gastos finales 56,378 acfm (ACM) y 56,454 acfm (VAC)
- Se concluye que, para el dimensionamiento de la tubería de cobre para cada gas medicinal, se debe considerar algunos parámetros como la velocidad de flujo o la mínima caída de presión que debe existir dentro de la tubería. Para determinar las cantidades de salida para cada diámetro de tubería. Esto se puede verificar en la Tabla 40 y Tabla 41

Se concluye que el dimensionamiento de los diámetros con respecto a sus salidas es correcto, ya que en el análisis de la máxima pérdida de presión

por fricción dentro del sistema de los gases medicinales están debajo de las máximas pérdidas por fricción, tal como lo pide la norma IMSS.

Según la Ec. 55, la máxima pérdida de presión por fricción para oxígeno medicinal y aire comprimido medicinal es de  $0,2784 \text{ kg/cm}^2$ .

En la Tabla 29, se demuestra que la máxima pérdida de presión por fricción para el sistema de oxígeno medicinal es de  $0,038 \text{ kg/cm}^2$ . (Es aceptable)

En la Tabla 31, se demuestra que la máxima pérdida de presión por fricción para el sistema de aire comprimido medicinal es de  $0,047 \text{ kg/cm}^2$ . (Es aceptable)

En la Tabla 30, se demuestra que la máxima pérdida de presión por fricción para el sistema de vacío medicinal es de  $59,225 \text{ mmHg}$ . (Es aceptable)

## RECOMENDACIONES

- Para realizar el diseño se debe recopilar todos los datos necesarios que se debe tomar. Entre ellas:
  - Ubicación geográfica (altitud)
  - Cantidad de puntos de salidas de gases medicinales
  - Planos de equipamiento, brindado por los arquitectos o sala de administración
  - Hacer un listado de los ambientes hospitalarios que requieren de los gases medicinales
  - Tener conocimiento de otras instalaciones de otras especialidades para evitar incidentes laborales
- Se recomienda tener conocimientos de los tipos de uso de cada ambiente hospitalaria para clasificarlo como tipo A o tipo B, guiándonos de la Tabla 14. Con ello podemos trabajar en un solo tipo, exclusivamente el de tipo B. Y los que son de tipo A, se multiplica un factor de 2, para que se conviertan a tipo B. Para ello podemos calcular el gasto total de cada gas medicinal con respecto a los puntos de salidas en total
- Se recomienda tener conocimiento de los factores de simultaneidad de cada ambiente hospitalaria, para que el cálculo de gasto final se ha correcto.
- Se recomienda que la selección de los equipos de almacenamiento y generadores de equipos, deben tener un sobredimensionamiento que puede servir para una ampliación a nuevos ambientes hospitalarios.
- Para hallar las máximas pérdidas de presión se debe considerar la presión atmosférica (altitud) y considerar las Tabla 40 y Tabla 41. Para el dimensionamiento correcto y obtener la máxima pérdida de presión por fricción debajo del límite permitido.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALAN Y CORTEZ . 2018.** Procesos y fundamentos de la investigación científica. Machala : UTMACH, 2018.
- AMICO CORPORATION. 2019.** Equipos Primarios. Sistema de vacío y aire medicinal. [En línea] 12 de Noviembre de 2019. [Citado el: 12 de Agosto de 2021.]  
[https://www.amico.com/sites/default/files/category/downloads/acp\\_br\\_pipeline\\_brochure\\_es.pdf](https://www.amico.com/sites/default/files/category/downloads/acp_br_pipeline_brochure_es.pdf).
- AMICO CORPORATION. 2018.** Manifold Automático para Gases Medicinales. Manual de operación y mantenimiento. [En línea] 23 de Setiembre de 2018. [Citado el: 04 de Setiembre de 2021.]  
[https://www.amico.com/sites/default/files/products/acp\\_oper\\_maint\\_dl\\_mani\\_nfpa\\_analog\\_es.pdf](https://www.amico.com/sites/default/files/products/acp_oper_maint_dl_mani_nfpa_analog_es.pdf).
- AMICO CORPORATION. 2019.** Medical Gas Design Guide. [En línea] 19 de Setiembre de 2019. [Citado el: 23 de Agosto de 2021.]  
<https://www.amico.com/sites/default/files/category/downloads/as-medical-gas-design-guide.pdf>.
- ARIAS CHÁVEZ, DENNIS. 2019.** Manual para citar y referenciar fuentes en textos de ingeniería según la norma ISO 690-2. 1º Edición Huancayo : Fondo Editorial, 2019. 978-612-4443-04-6.
- BERNAL, CÉSAR A. 2010.** Metodología de la Investigación. Bogotá : Prentice Hall, 2010. Vol. 3º Edición.
- BETANCUR, ANTÚNEZ. 2020.** Gases Medicinales: Cálculos y emplazamiento de cañerías de NEA ingeniería para hospitales públicos . +INGENIO. [En línea] Junio de 2020. [Citado el: 30 de Agosto de 2021.]  
<https://revistas.fio.unam.edu.ar/index.php/masingenio/article/view/217/532>. 2618-5520.
- BIOLATO Y SALÓMON. 2019.** Diseño y equipamiento de un área de emergencia para el Hospital "Dr. José María Minella". [aut. libro] Fernanda María Nilda Biolato y José María Salomón Corvalán. Proyecto Integrador(Título de Ingeniera Biomédica). Córdoba-Argentina : Universidad Nacional de Córdoba, 2019, pág. 266.

- CANGAS. 2019.** CanGas Air Separation Solutions. Diferencia entre NM3 y M3. [En línea] 24 de Mayo de 2019. [Citado el: 05 de 07 de 2021.] <http://www.cangas-systems.es/info/difference-between-nm3-and-m-38957976.html>.
- CARBUROS METÁLICOS . 2015.** Depósitos Criogénicos Estáticos. [En línea] Carburos Metálicos, 2015. [Citado el: 23 de Agosto de 2021.] <http://www.carburos.com/~media/Files/PDF/microsites/instalaciones/cryogenics.pdf?la=es-ES>.
- CARMONA. 2018.** Rediseño de la red de aire grado médico para el Hospital México. [aut. libro] Zhurelly Carmona Sandoval. Tesis(Licenciado en Ingeniería Mecánica). Costa Rica : Universidad de Costa Rica, 2018, pág. 200.
- ÇENGEL Y CIMBALA . 2012.** Mecánica de Fluidos Fundamentos y Aplicaciones. México D.F. : Mc Graw Hill, 2012. 978-607-15-0779-2.
- COPPER DEVELOPMENT ASSOCIATION INC. 2020.** Copper Tube Handbook. Equivalent Length of Tube. Washington, USA : s.n., 2020.
- CORPORATION, AMICO. 2019.** Manuel de operación y mantenimiento. Unidad combinada válvula vertical. [En línea] 15 de Mayo de 2019. [Citado el: 22 de Agosto de 2021.] [https://www.amico.com/sites/default/files/product/downloads/acp\\_instal\\_maint\\_alrm\\_vlv\\_combo\\_unit\\_es.pdf](https://www.amico.com/sites/default/files/product/downloads/acp_instal_maint_alrm_vlv_combo_unit_es.pdf).
- EDASAINFRA. 2015.** Tanques Criogénicos. [En línea] 25 de Enero de 2015. [Citado el: 23 de Agosto de 2021.] <http://edasainfra.com/assets/tanquescriogenicos2.pdf>.
- ESSALUD. 2008.** Resolución de Oficina Central de Planificación y Desarrollo N°038-OCPD-ESSALUD-2008. Seguro Social de Salud del Perú. [En línea] 23 de Mayo de 2008. [Citado el: 22 de Julio de 2021.] [https://ww1.essalud.gob.pe/compendio/pdf/0000002835\\_pdf.pdf](https://ww1.essalud.gob.pe/compendio/pdf/0000002835_pdf.pdf).
- FRANKEL. 2010.** Facility Piping Systems Handbook. United States of America : McGraw-Hill, 2010. 978-0-07-159721-0.
- GOOGLE EARTH. 2021.** Google Earth 2021. Ubicación geográfica satelital . [En línea] 2021. [Citado el: 01 de Agosto de 2021.]

<https://earth.google.com/web/@-12.04451908,-77.04404299,133.13445764a,154.57693799d,35y,29.68975367h,50.53778119t,-0r>.

**GUYER. 2009.** CEDengineering.com. Introduction to plumbing and medical gas systems for medical facilities . [En línea] 2009. [Citado el: 30 de Agosto de 2021.]

<https://www.cedengineering.com/userfiles/An%20Intro%20to%20Med%20Plumb%20&%20Gas.pdf>.

**IMSS. 2017.** Instituto Mexicano del Seguro Social. Normas de Diseño de Ingeniería Electromecánica. México : s.n., 2017.

**LINDE. 2020.** Linde Aire Comprimido Medicinal. Aire Comprimido Medicinal - Aire Sintético Comprimido. [En línea] 16 de Diciembre de 2020. <https://www.linde.pe/-/media/corporate/praxair-peru/documents/hojas-de-datos-de-seguridad/aire-sintetico-comprimido-2020.pdf?la=es-pe>.

**LINDE. 2020.** Linde Oxígeno Líquido Refrigerado. [En línea] 16 de Diciembre de 2020. [Citado el: 20 de Agosto de 2021.] <https://www.linde.pe/-/media/corporate/praxair-peru/documents/hojas-de-datos-de-seguridad/oxigeno-liquido-2020.pdf?la=es-pe>.

**MESSER. 2020.** Messer Iberica de Gases S.A. Gases Medicinales. [En línea] 26 de Junio de 2020. [Citado el: 22 de Julio de 2021.] <https://www.messer.es/gases-medicinales>.

**MINSA. 2011.** Norma técnica de salud. Categorías de establecimientos del sector salud. [En línea] Resolución Ministerial N°546-2011/MINSA, 2011. [Citado el: 30 de Agosto de 2021.] [https://www.digemid.minsa.gob.pe/upload/uploaded/pdf/atencionfarmaceutica/categorizacion-upss\\_farmacia.pdf](https://www.digemid.minsa.gob.pe/upload/uploaded/pdf/atencionfarmaceutica/categorizacion-upss_farmacia.pdf).

**MORE. 2018.** Diseño de la red de oxígeno líquido medicinal para los servicios en el Hospital II Jorge Reátegui Delgado Essalud Piura 2018. [aut. libro] José Arturo More Tello. Tesis(Título de Ingeniero Industrial). Piura-Perú : Universidad César Vallejo, 2018, pág. 66.

**MOTT Y UNTENER. 2015.** Mecánica de Fluidos. Séptima Edición. México : PEARSON, 2015.

- MUÑOZ. 2019.** Guía de Instalación de Gases Medicinales. [aut. libro] Nicolas Muñoz González. Tesis(Título de Ingeniero Ejecución Mecánico de Procesos y Mantenimiento Industrial). Chile : Universidad Técnica Federico Santa María Sede de Concepción - Rey Balduino de Bélgica, 2019, pág. 79.
- NFPA 704. 2020.** National Fire Protection Association. [En línea] 29 de Setiembre de 2020. [Citado el: 15 de Agosto de 2021.] <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=704>.
- OPS. 2009.** Organización Panamericana de la Salud. Hospitales Seguros. [En línea] Setiembre de 2009. [Citado el: 22 de Julio de 2021.] <https://www.paho.org/es/emergencias-salud/hospitales-seguros>.
- POTTER, WIGGERT Y RAMADAN. 2015.** Mecánica de Fluidos. Cuarta Edición. México : CENGAGE LEARNING, 2015.
- PRAXAIR. 2015.** Instalaciones Depósitos Criogénicos de Gases del Aire. Especificación general. [En línea] 16 de Marzo de 2015. [Citado el: 23 de Agosto de 2021.] <https://www.ucm.es/data/cont/docs/3-2015-03-16-FichaTecnicaGasesdelAire.pdf>.
- PRAXAIR. 2015.** Praxair Envases y Conexiones. Praxair envases y conexiones. [En línea] 16 de Marzo de 2015. [Citado el: 02 de Setiembre de 2021.] <https://www.ucm.es/data/cont/docs/3-2015-03-16-PRAXAIR%20ENVASES%20Y%20CONEXIONES.pdf>.
- PRAXAIR. 2015.** Praxair Oxígeno Comprimido. Oxígeno comprimido. [En línea] 06 de Junio de 2015. <https://www.linde.mx/-/media/corporate/praxair-mexico/documents/safety-data-sheets/oxigeno-oxigeno-medipure-hds-p4638-2015.pdf?la=es-mx>.
- RIOJAS. 2020.** Ampliación de la producción de la planta de generación de oxígeno del Hospital Las Mercedes. [aut. libro] Carlos Eduardo Riojas Rodríguez. Tesis(Título de Ingeniero Mecánico Eléctrico). Chiclayo-Perú : Universidad César Vallejo, 2020, pág. 76.
- SALAVERRY Y CÁRDENAS. 2009.** Establecimientos asistencias del sector salud, PERÚ 2009. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud

Pública 2009, 26(2). [En línea] 2, 2009. [Citado el: 30 de Agosto de 2021.]  
[https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=36311630023.1726-4642.](https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=36311630023.1726-4642)

**SENAMHI. 2021.** Dirección de Redes de Observación y Datos . Estación Von Humoldt - Lima. [En línea] Agosto de 2021. [Citado el: 24 de Agosto de 2021.]  
[https://www.senamhi.gob.pe/mapas/mapa-estaciones/\\_dat\\_esta\\_tipo.php?estaciones=472AC278.](https://www.senamhi.gob.pe/mapas/mapa-estaciones/_dat_esta_tipo.php?estaciones=472AC278)

**VALDERRAMA. 2013.** Pasos para elaborar proyectos de investigación científica. Lima : San Marcos, 2013.

## ANEXOS

Anexo 01: Diagrama monograma para el cálculo de Oxígeno medicinal y aire comprimido medicinal

### CAPÍTULO 13 ABASTECIMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE OXIGENO Y OXIDO NITROSO

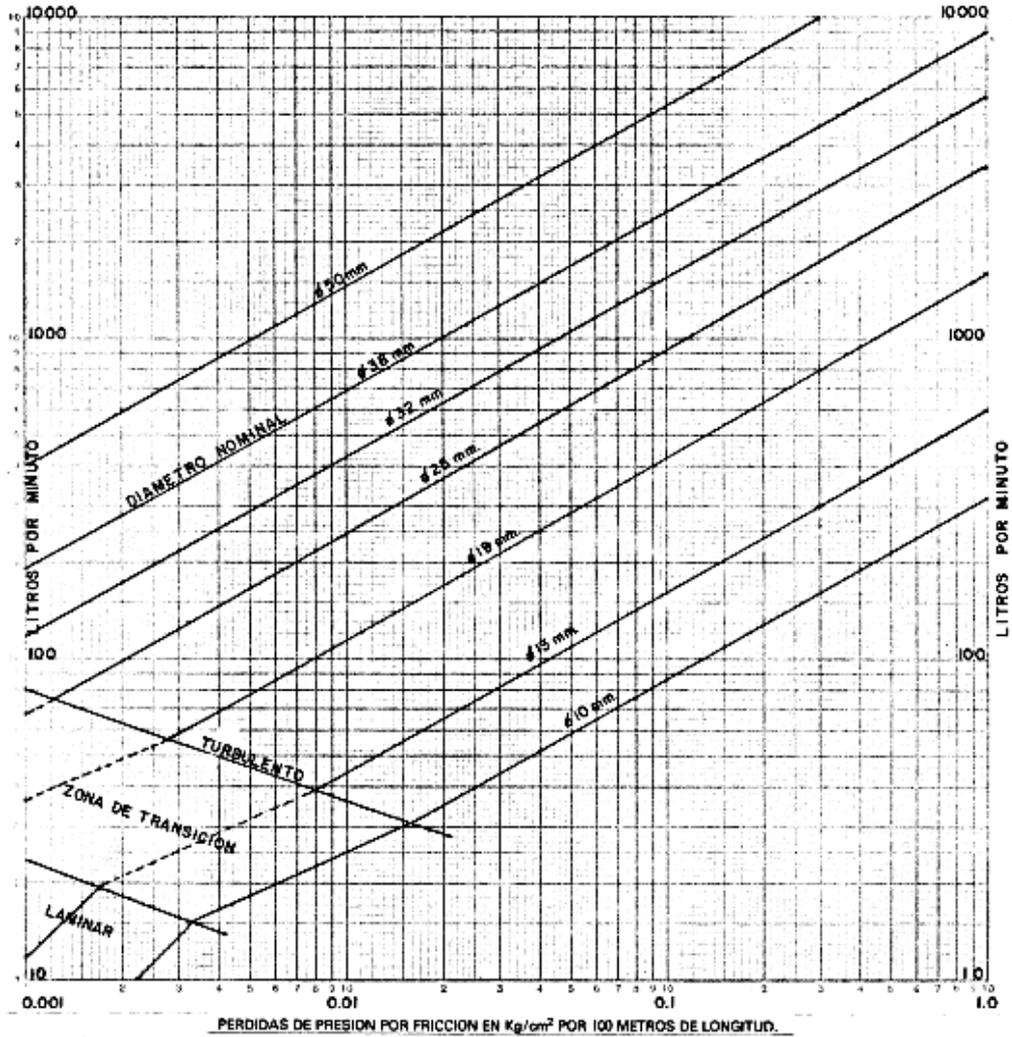


Figura 13.1 Oxígeno. Para presiones de 3.87 a 3.52 Kg/cm<sup>2</sup> Manométricas al nivel del mar (tubo de cobre tipo "L")

Fuente: Tomado del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS, 2017)

Anexo 02: Diagrama monograma para el cálculo de vacío medicinal

CAPÍTULO 15  
SUCCIÓN CENTRAL (VACÍO)

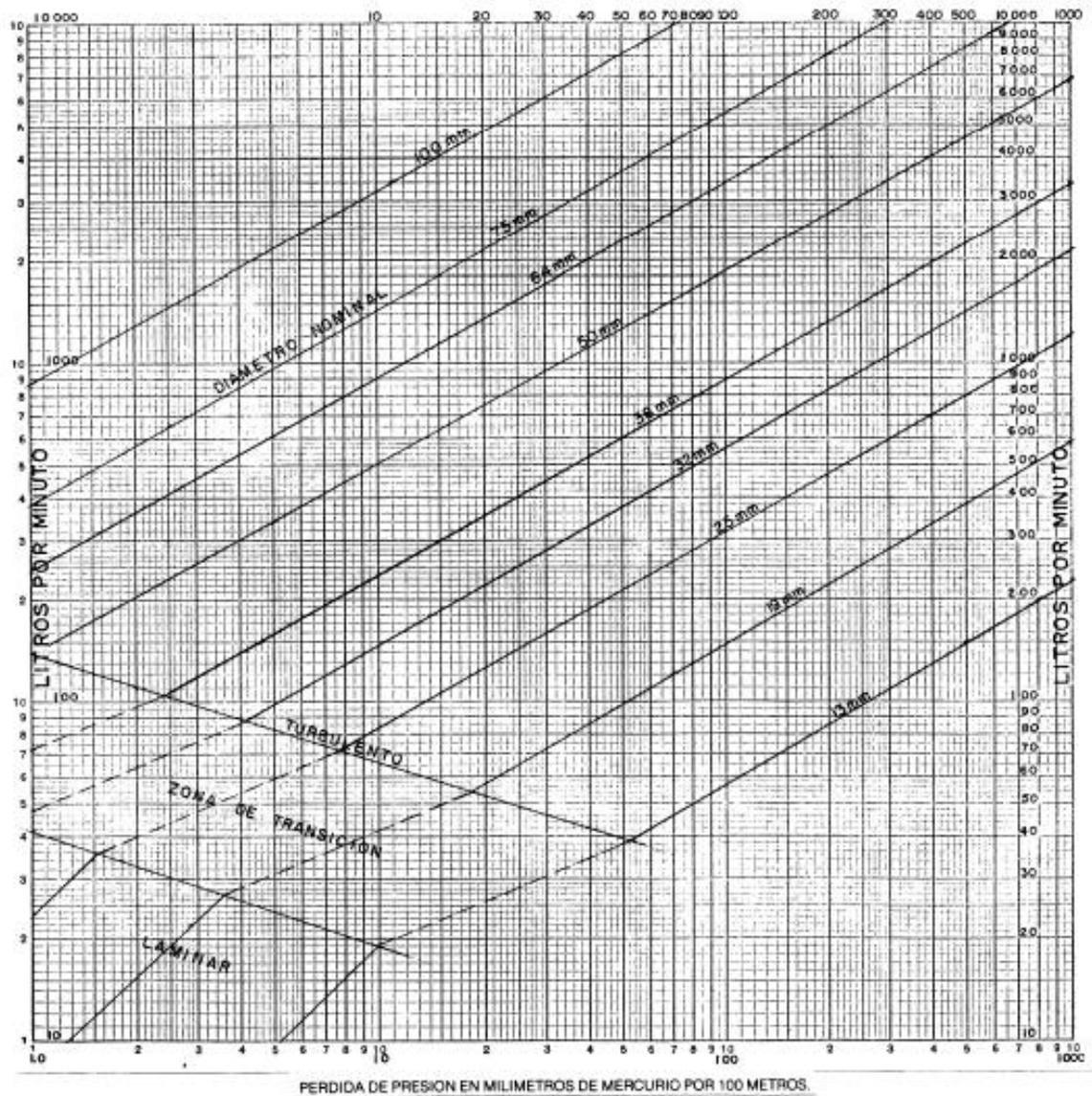
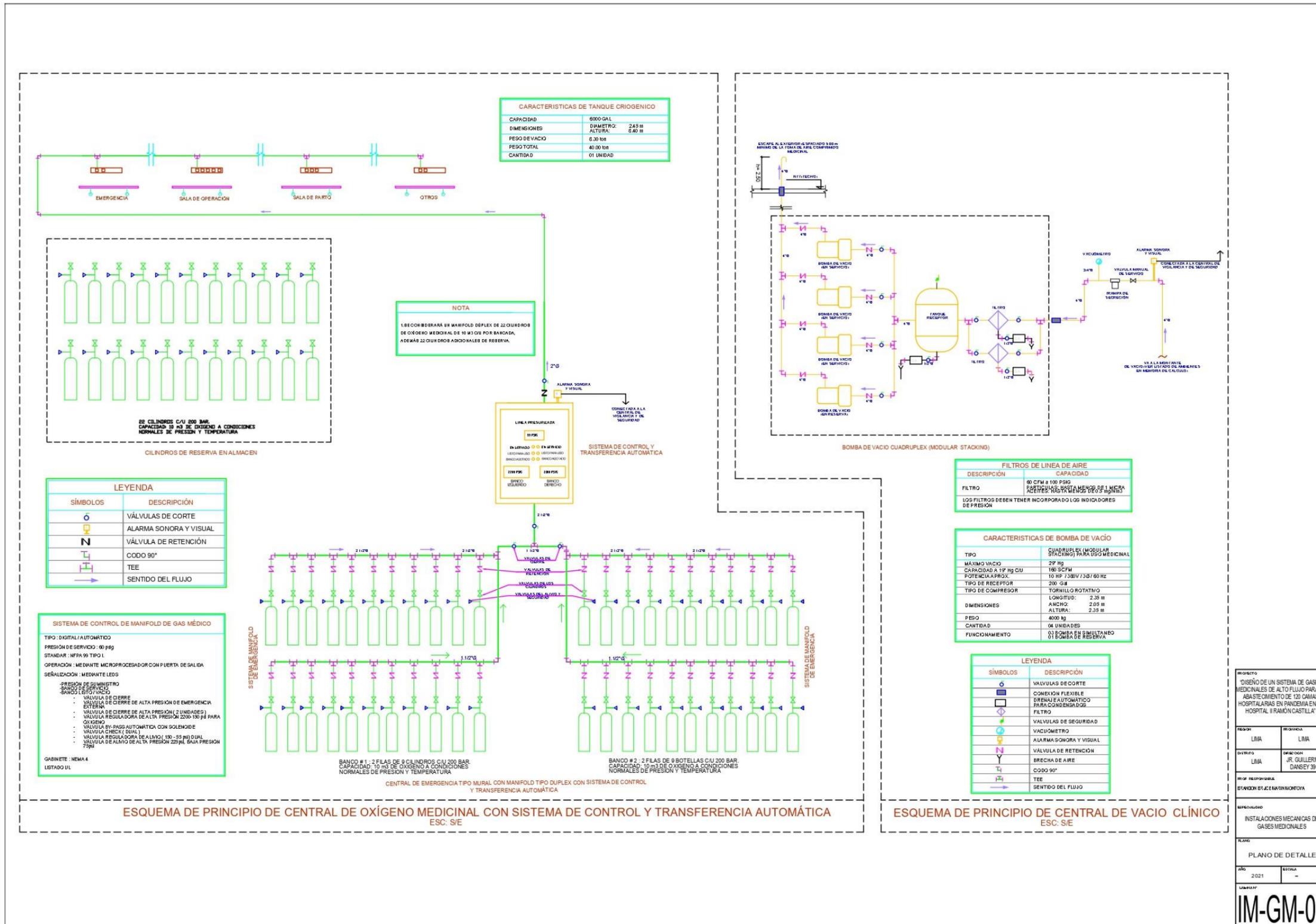


Figura 15.1 Vacío o succión. Para presiones de 380.0 a 342.0 mm de mercurio absolutas

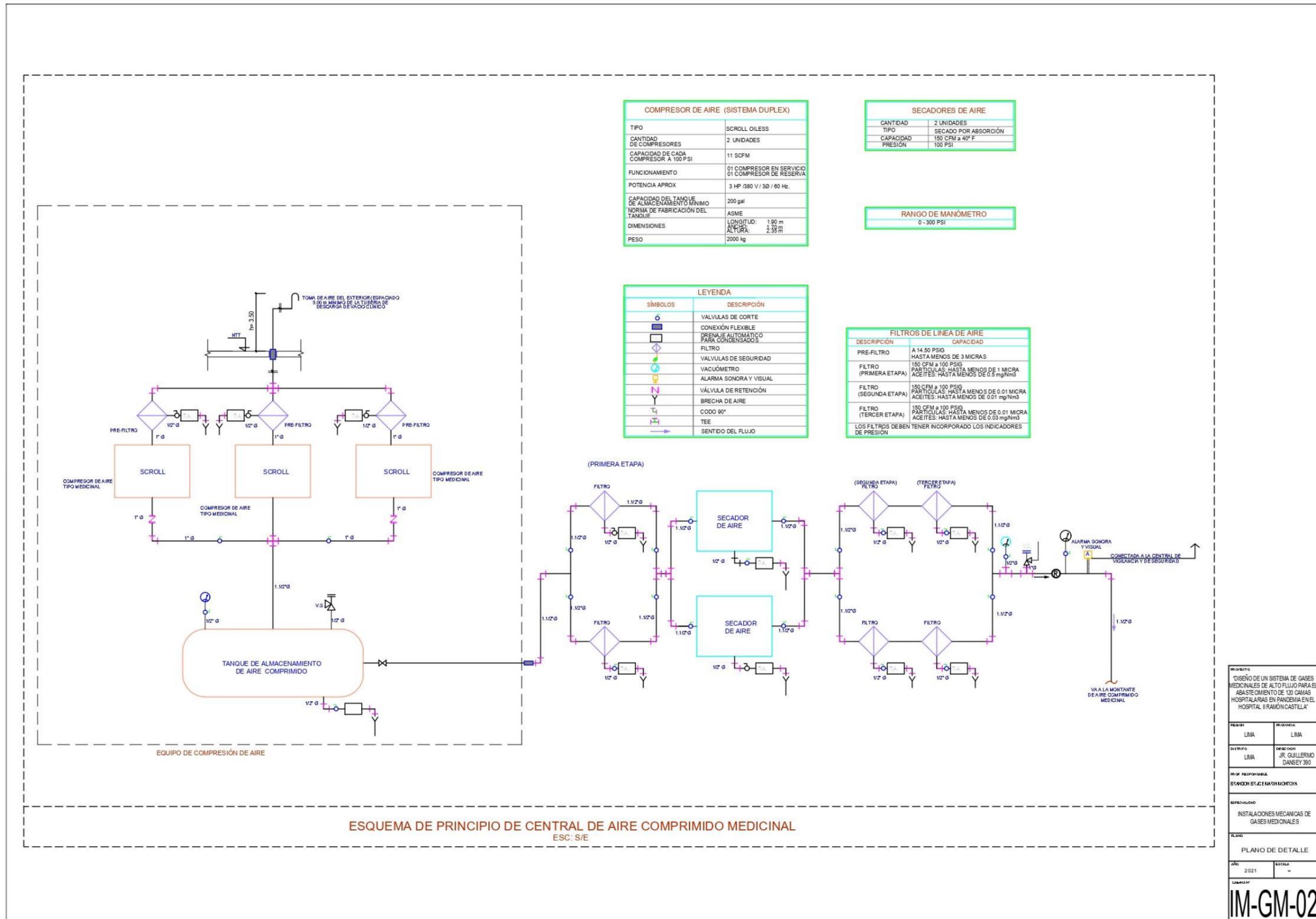
Fuente: Tomado del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS, 2017)

# Anexo 03: Plano de detalle electromecánico de oxígeno medicinal y vacío medicinal



Fuente: Elaboración propia

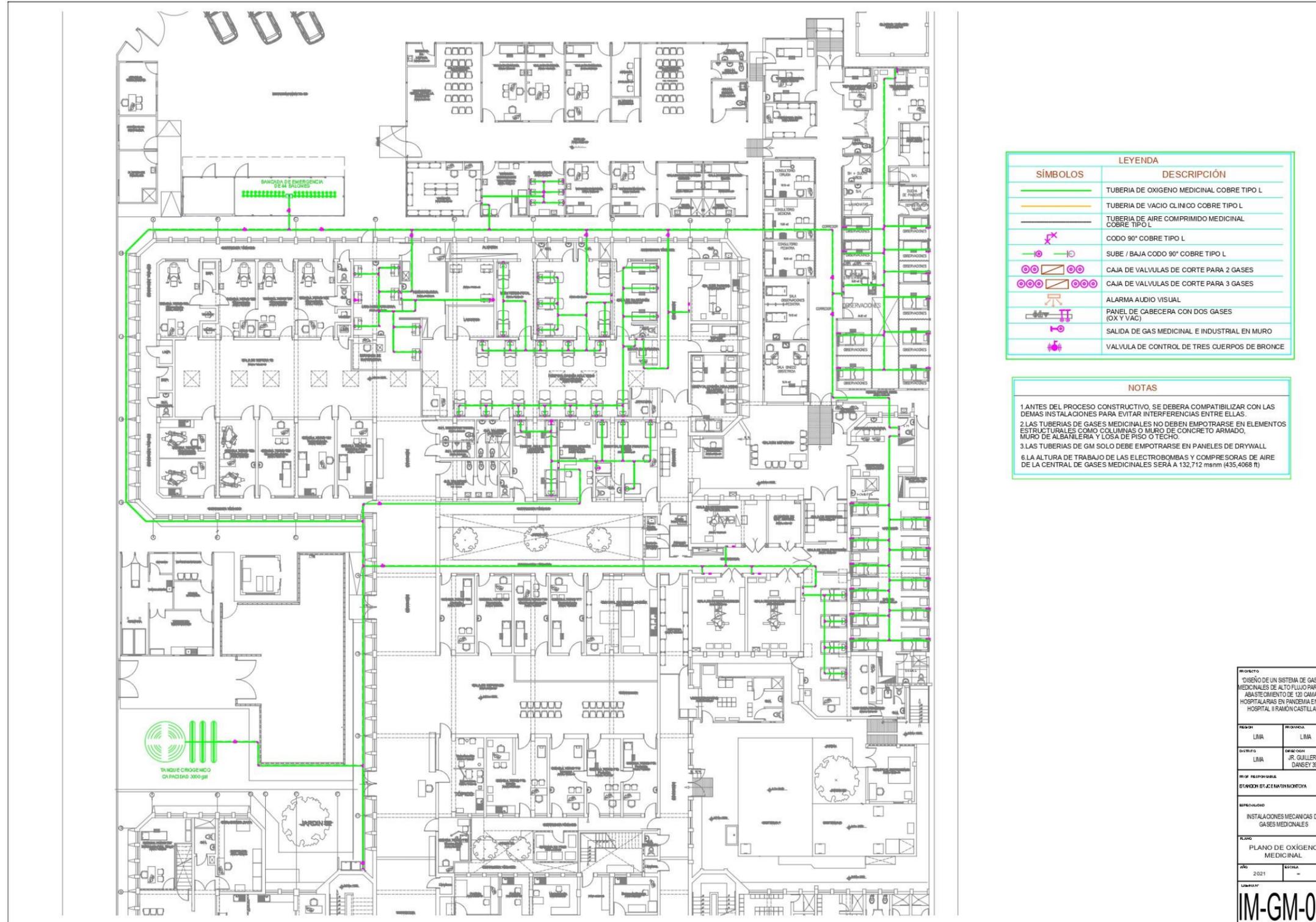
# Anexo 04: Plano de detalle electromecánico de aire comprimido medicinal



PROYECTO	
"DISEÑO DE UN SISTEMA DE GASES MEDICINALES DE ALTO FLUJO PARA EL ABASTECIMIENTO DE 120 CAMAS HOSPITALARIAS EN PANCEJAMA EN EL HOSPITAL II RAMÓN CASTILLA"	
REGION	PROYECTOS
LIMA	LIMA
DISEÑO	DISEÑO
LIMA	JR. GUILLERMO DANSEY 390
PROYECTO RESPONSABLE	
GONZALEZ, JUAN CARLOS	
ESPECIALIDAD	
INSTALACIONES MECANICAS DE GASES MEDICINALES	
PLANO	
PLANO DE DETALLE	
AÑO	ESCALA
2021	-
LIBRERÍA	
IM-GM-02	

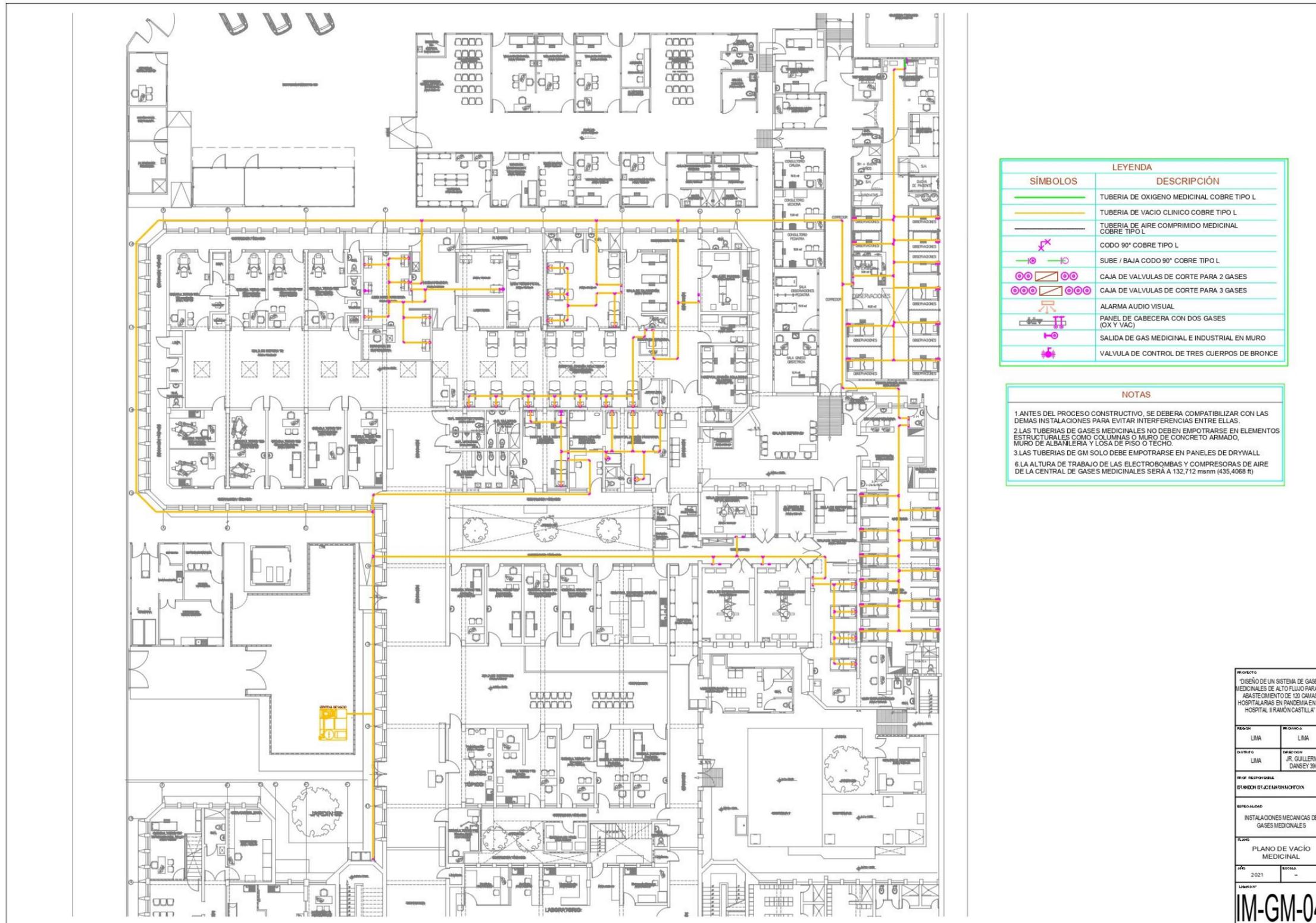
Fuente: Elaboración propia

# Anexo 05: Plano de recorrido de tubería de oxígeno medicinal



Fuente: Elaboración propia

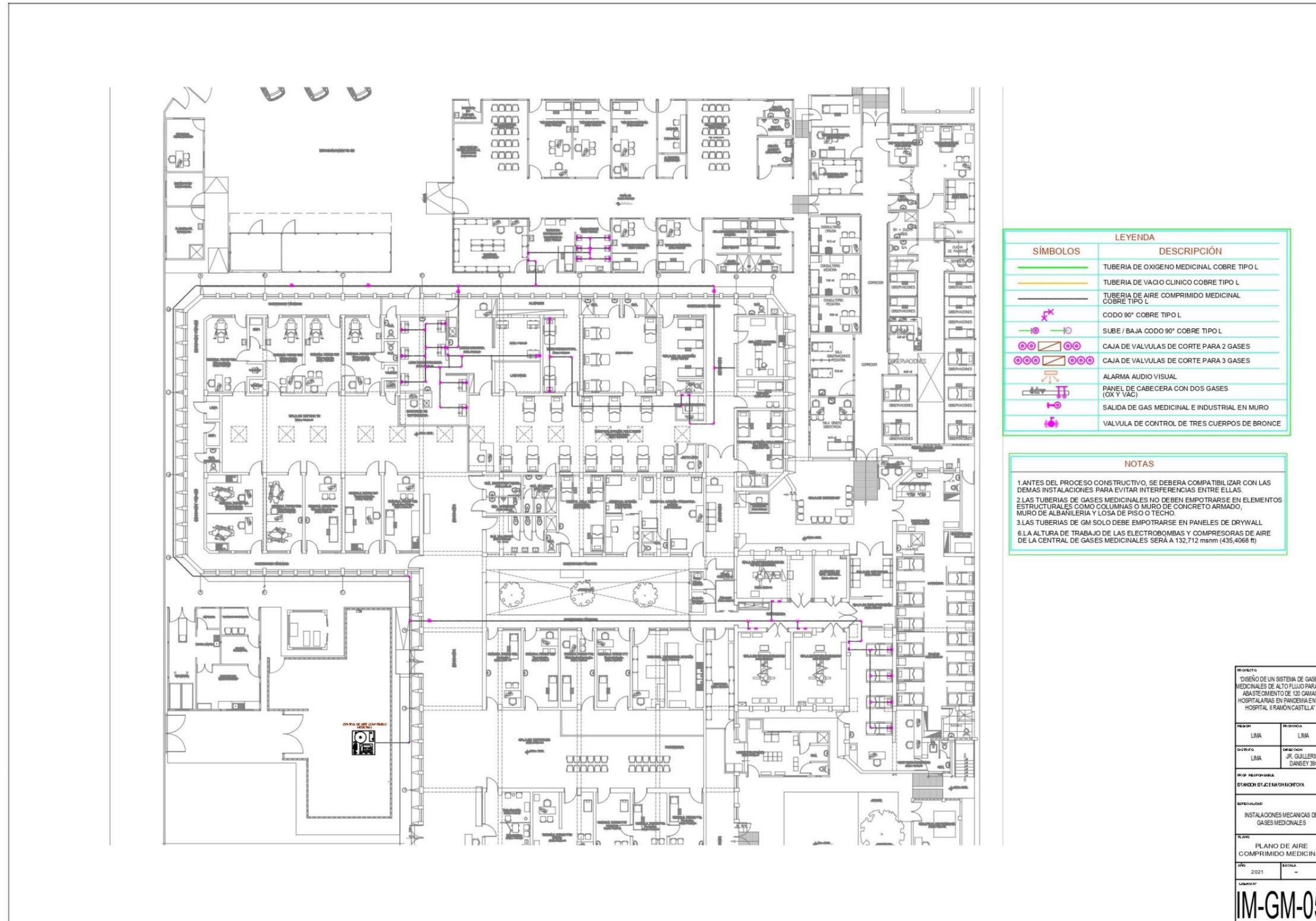
Anexo 06: Plano de recorrido de tubería de vacío medicinal



<b>PROYECTO</b> DISEÑO DE UN SISTEMA DE GASES MEDICINALES DE ALTO FLUJO PARA EL ABASTECIMIENTO DE 120 CAMAS HOSPITALARIAS EN PANDEMIA EN EL HOSPITAL II RAMÓN CASTILLA	
<b>REGION</b> LIMA	<b>REGIONIA</b> LIMA
<b>DISTRITO</b> LIMA	<b>DISEÑADOR</b> JR. GUILLERMO DANSEY 380
<b>PROF. RESPONSABLE</b> ESTANISLAO E. VASIMORFOVA	
<b>ESPECIALIDAD</b> INSTALACIONES MECANICAS DE GASES MEDICINALES	
<b>PLANO</b> PLANO DE VACIO MEDICAL	
<b>AÑO</b> 2021	<b>ESCALA</b> -
<b>LIBRADO</b> IM-GM-04	

Fuente: Elaboración propia

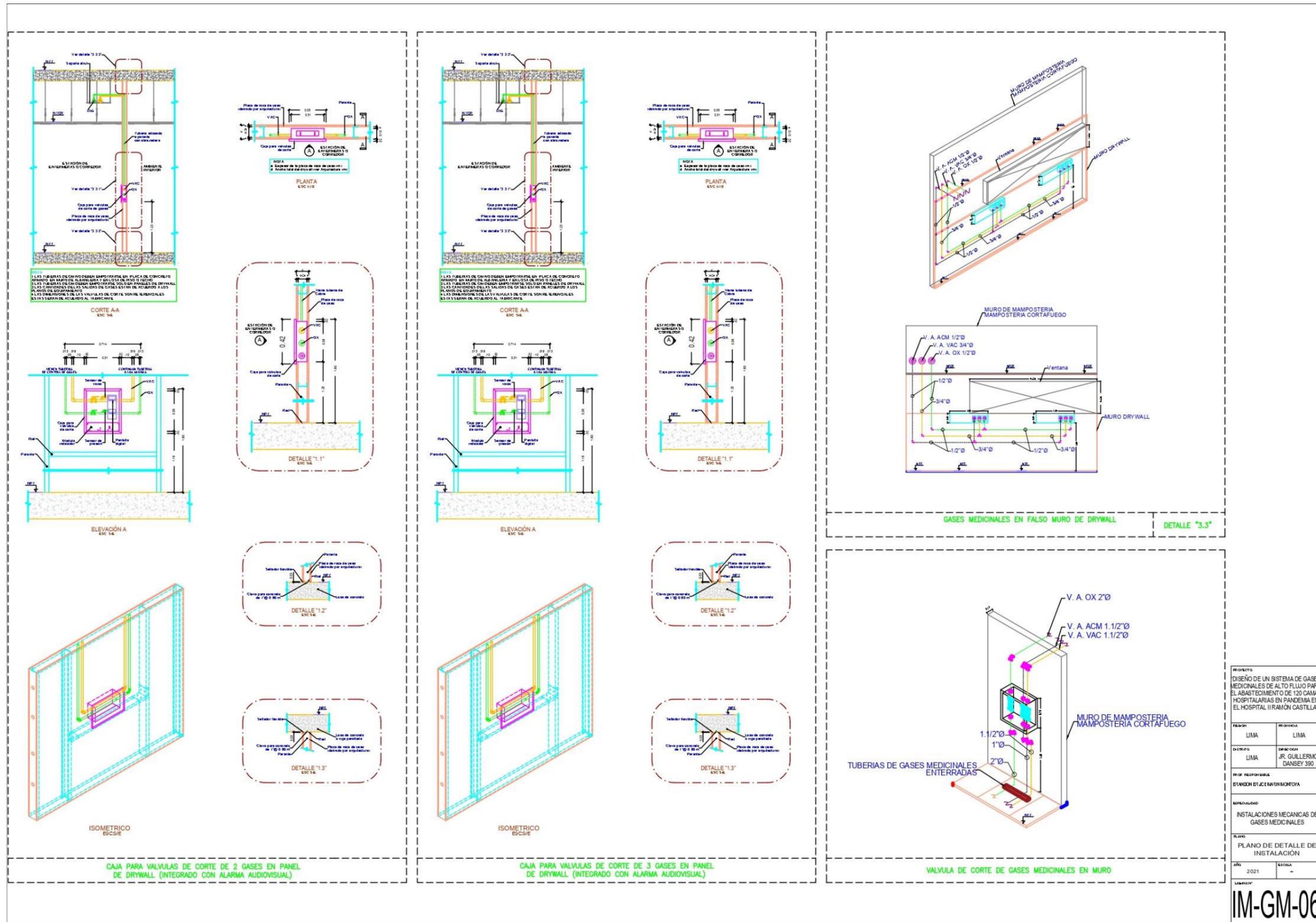
Anexo 07: Plano de recorrido de tubería de aire comprimido medicinal



Fuente: Elaboración propia

PROYECTO	
"DISEÑO DE UN SISTEMA DE GASES MEDICINALES DE ALTO FLUJO PARA EL ABASTECIMIENTO DE 120 CAMAS HOSPITALARIAS EN PANDEMIAS EN EL HOSPITAL "RAMÓN CASTILLA"	
REGIÓN	PROVINCIA
LIMA	LIMA
DISTRITO	DIRECCIÓN
LIMA	JR. GUILLERMO DANSEY 390
PROF. RESPONSABLE	
STANWON STAJCENJAK MORTCOVA	
ESPECIALIDAD	
INSTALACIONES MECANICAS DE GASES MEDICINALES	
PLANO	
PLANO DE AIRE COMPRIMIDO MEDICINAL	
AÑO	ESCALA
2021	-
LAYOUT	
IM-GM-05	

# Anexo 08: Plano de detalle de instalaciones de tuberías



Fuente: Elaboración propia

Anexo 09: Matriz de consistencia

Formulación del Problema	Objetivos	Hipótesis y Variables		Técnicas de recopilación e instrumentos de medición	Diseño metodológico
		Hipótesis	Variables		Tipo y diseño metodológico
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Independiente		Tipo de investigación
¿Cómo diseñar un sistema de suministro de gases medicinales de alto flujo para abastecer 120 camas hospitalarias en el Hospital II Ramón Castilla de la ciudad de Lima?	Diseñar un sistema de suministro de gases medicinales de alto flujo para abastecer 120 camas hospitalarias en el Hospital II Ramón Castilla de la ciudad de Lima.	Si se diseña un sistema de suministro de gases medicinales de alto flujo para su posterior construcción, se abastecerá 120 camas hospitalarias en el Hospital II Ramón Castilla	Diseño de sistema de suministro de gases medicinales	Documental e Instrumental	Tecnológico
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Dependientes		
¿Cuáles son los parámetros de diseño que permitan obtener el consumo del suministro de gases medicinales?	Determinar los parámetros de diseño que permitan obtener el consumo del suministro de gases medicinales	Si se determinan los parámetros de diseño, permitirá obtener el consumo del suministro de gases medicinales		Observación (inspección visual)	Analítico—Sintético
¿Cómo calcular el consumo de gases medicinales afín de que permita seleccionar los equipos de almacenamiento, generadores de gases medicinales y el dimensionamiento de tuberías?	Calcular el consumo de gases medicinales afín de que permita seleccionar los equipos de almacenamiento, generadores de gases medicinales y el dimensionamiento de tuberías	Si se calcula el consumo de gases medicinales, permitirá la selección los equipos de almacenamiento, generadores de gases medicinales y el dimensionamiento de tuberías		Fichas Bibliográficas	Analítico—Sintético
¿Cómo seleccionar los equipos de almacenamiento y generadores de gases medicinales para abastecer el consumo calculado?	Seleccionar los equipos de almacenamiento y generadores de gases medicinales para abastecer el consumo calculado	Si se seleccionan los equipos de almacenamiento y generadores de gases medicinales, permitirá abastecer el consumo calculado	Abastecimiento de 120 camas hospitalarias en pandemia	Fichas Bibliográficas	Analítico—Sintético
¿Cómo determinar el dimensionamiento de las tuberías para abastecer 120 camas hospitalarias en el Hospital II Ramón Castilla?	Determinar el dimensionamiento de las tuberías para abastecer 120 camas hospitalarias en el Hospital II Ramón Castilla	Si se determinar el dimensionamiento de las tuberías para su posterior instalación, se abastecerá 120 camas hospitalarias en el Hospital II Ramón Castilla		Fichas Bibliográficas	Analítico—Sintético

Fuente: Elaboración propia

Anexo 10: Presupuesto

<b>OXIGENO MEDICINAL</b>				
<b>Material</b>	<b>Metrado (m)</b>	<b>Precio unit.</b>	<b>Precio total.</b>	
Tubería de cobre tipo "L" de 1/2"	224.1	\$ 4.12	\$ 923.29	
Tubería de cobre tipo "L" de 3/4"	95.04	\$ 6.36	\$ 604.45	
Tubería de cobre tipo "L" de 1"	121.55	\$ 11.30	\$ 1,373.52	
Tubería de cobre tipo "L" de 1.1/4"	38.85	\$ 14.97	\$ 581.58	
Tubería de cobre tipo "L" de 1.1/2"	100	\$ 19.77	\$ 1,977.00	
<b>Equipo</b>	<b>Metrado (und)</b>	<b>Precio unit.</b>	<b>Precio total.</b>	
Tanque criogénico 3000 gal	1	\$ 2,678.03	\$ 2,678.03	
<b>VACÍO MEDICINAL</b>				
<b>Material</b>	<b>Metrado (m)</b>	<b>Precio unit.</b>	<b>Precio total.</b>	
Tubería de cobre tipo "L" de 3/4"	215.136	\$ 6.36	\$ 1,368.26	
Tubería de cobre tipo "L" de 1"	102.59	\$ 11.30	\$ 1,159.27	
Tubería de cobre tipo "L" de 1.1/4"	125.8	\$ 14.97	\$ 1,883.23	
Tubería de cobre tipo "L" de 1.1/2"	4	\$ 19.77	\$ 79.08	
<b>Equipo</b>	<b>Metrado (und)</b>	<b>Precio unit.</b>	<b>Precio total.</b>	
Equipo de aire comprimido medicinal	1	\$ 2,372.88	\$ 2,372.88	
<b>AIRE COMPRIMIDO MEDICINAL</b>				
<b>Material</b>	<b>Metrado (m)</b>	<b>Precio unit.</b>	<b>Precio total.</b>	
Tubería de cobre tipo "L" de 1/2"	41	\$ 4.12	\$ 168.92	
Tubería de cobre tipo "L" de 3/4"	58	\$ 6.36	\$ 368.88	
Tubería de cobre tipo "L" de 1"	108	\$ 11.30	\$ 1,220.40	
Tubería de cobre tipo "L" de 1.1/4"	12	\$ 14.97	\$ 179.64	
<b>Equipo</b>	<b>Metrado (und)</b>	<b>Precio unit.</b>	<b>Precio total.</b>	
Equipo de vacío medicinal	1	\$ 1,355.93	\$ 1,355.93	
			<b>SUB TOTAL</b>	<b>\$18,294.36</b>
			<b>I.G.V(18%)</b>	<b>\$ 3,292.99</b>
			<b>TOTAL</b>	<b>\$21,587.35</b>

Fuente: Elaboración propia