

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,
INFORMÁTICA Y MECÁNICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA



TESIS

**DISEÑO DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN DE OXÍGENO PARA
OPTIMIZAR LA ATENCIÓN MÉDICA EN EL CUARTO Y
QUINTO PISO DEL HOSPITAL REGIONAL DE CUSCO**

PRESENTADO POR:

Br. JHON EDGAR QUIÑONES MASSA

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO MECÁNICO**

ASESOR:

Ing. PERCY MIGUEL RUEDA PUELLES

CUSCO – PERÚ

2026



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor PERCY MIGUEL RUEDA PUELLES
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada: DISEÑO DE UNA RED DE DISTRIBU
CIÓN DE OXIGENO PARA OPTIMIZAR LA ATENCIÓN
MÉDICA EN EL CUARTO Y QUINTO PISO DEL HOSPITAL
REGIONAL DE CUSCO

Presentado por: JOHN EDGAR QUIJONES MASSA DNI N° 73982999 ;
presentado por: DNI N°:
Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO MECANICO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de**
Similitud en la UNSAAC y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 9.....%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	<u>X</u>
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto**
las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 30 de JULIO de 2026.....

Firma

Post firma PERCY MIGUEL RUEDA PUELLES

Nro. de DNI 23852830

ORCID del Asesor 0000-0001-8141-4405

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: 27259:611351728

Jhon Edgar Quiñones Massa

DISEÑO DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN DE OXÍGENO PARA OPTIMIZAR LA ATENCIÓN MÉDICA EN EL CUARTO Y QUINTO...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:611351728

Fecha de entrega

30 jul 2026, 10:49 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

30 jul 2026, 10:53 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

Jhon Quiñones TUNITI FINAL.pdf

Tamaño del archivo

12.1 MB

195 páginas

34.032 palabras

190.158 caracteres

9% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 7%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 5%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

PRESENTACIÓN

Señores autoridades universitarias de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Informática y Mecánica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

En cumplimiento del Art. 13 del Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad, para optar al título de Ingeniero Mecánico, presento la siguiente investigación realizada, titulada:

“DISEÑO DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN DE OXÍGENO PARA OPTIMIZAR LA ATENCIÓN MÉDICA EN EL CUARTO Y QUINTO PISO DEL HOSPITAL REGIONAL DE CUSCO”.

Atentamente, Bach. Jhon Edgar Quiñones Massa.

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación va dedicado a mis padres, Gerardo Quiñones Huillca, nuestro querido *Papucho*, y Valentina Massa Cahuana, mi amada *Mamatina*.

A ustedes les debo todo lo que soy y todo lo que llegaré a ser. Gracias por su amor inmenso, por sus sacrificios silenciosos, por su fuerza inquebrantable y por enseñarme, cada día, el verdadero significado de la humildad, la perseverancia y la familia. Esta meta también es de ustedes, porque su apoyo ha sido mi mayor impulso y su confianza, mi mayor motivación.

A mis seis hermanos mayores, quienes siempre me cuidaron y guiaron con el cariño y la experiencia que solo la familia puede brindar. Ser el menor ha sido una bendición gracias a ustedes; cada uno me ha enseñado algo valioso que llevo conmigo.

A mis sobrinos, y a mi pequeña ahijada, cuya alegría ilumina mis días y me recuerda la importancia de seguir adelante con esperanza.

A mis amigos y compañeros, quienes estuvieron conmigo tanto en los momentos más difíciles como en los más felices. Gracias por la compañía, por las risas, por la comprensión y por nunca dejarme solo en este camino.

Esta dedicatoria es un pequeño reflejo de lo mucho que los llevo en el corazón.

Gracias por caminar conmigo.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la fortaleza, la salud y la sabiduría necesarias para culminar esta etapa tan importante de mi vida. Sin Su guía, nada de esto habría sido posible.

A la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, y en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, por brindarme una formación académica sólida y por abrirme las puertas al conocimiento, la investigación y el desarrollo profesional.

A todos mis docentes, quienes con dedicación compartieron su experiencia y me orientaron a lo largo de mi carrera. Mi gratitud es profunda y sincera.

De manera especial, expreso mi agradecimiento a mi asesor de tesis, Ing. **Percy Miguel Rueda Puelles**, por su paciencia, orientación, exigencia académica y por impulsarme siempre a mejorar. Su apoyo ha sido fundamental para alcanzar esta meta.

Extiendo también mi reconocimiento a todas las personas que forman parte de la planta de oxígeno del Hospital Regional de Cusco, por brindarme las facilidades, la información y las herramientas necesarias para desarrollar esta tesis. Su colaboración y disposición hicieron posible este trabajo.

A todos quienes, de una u otra forma, contribuyeron en este proceso, les agradezco profundamente.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo diseñar una red de distribución de oxígeno medicinal para optimizar la atención médica en las áreas de Medicina C, Neurociencia, Medicina A, Oncología y Pediatría, ubicadas en el cuarto y quinto piso del Hospital Regional de Cusco. Actualmente, el suministro de oxígeno se realiza mediante el traslado manual de cilindros presurizados, lo que ocasiona limitaciones en la disponibilidad continua del suministro, incrementa los tiempos de atención al paciente y eleva los costos operativos asociados a su distribución.

La investigación es de enfoque cuantitativo, tipo aplicada, nivel descriptivo y diseño no experimental. La información se obtuvo mediante observación directa, visitas técnicas, revisión bibliográfica, encuestas al personal de salud y análisis de los registros históricos de consumo de oxígeno del periodo 2022–2025.

Con los parámetros de diseño determinados, se dimensionó la red aplicando principios de mecánica de fluidos, considerando pérdidas de presión y criterios establecidos por la NFPA 99 y la NTS N.º 119. Los resultados fueron validados mediante el software Pipe Flow Expert y el modelado tridimensional se desarrolló en Revit.

Los resultados demostraron que la red propuesta garantiza el suministro continuo de oxígeno medicinal para las 124 camas hospitalarias consideradas, mejora la disponibilidad del servicio y reduce los costos operativos. Se concluye que el diseño constituye una alternativa técnica y económicamente viable para optimizar la atención médica y la eficiencia operativa del Hospital Regional de Cusco.

Palabras clave: Oxígeno medicinal, Red de distribución, Disponibilidad del suministro, Atención médica, Modelado tridimensional.

ABSTRACT

This research aimed to design a medical oxygen distribution network to optimize medical care in the Medicine C, Neuroscience, Medicine A, Oncology, and Pediatrics wards, located on the fourth and fifth floors of the Cusco Regional Hospital. Currently, oxygen is supplied via the manual transport of pressurized cylinders, which limits continuous supply availability, increases patient care times, and raises distribution-related operating costs.

The study employed a quantitative approach, applied research, a descriptive level, and a non-experimental design. Data were gathered through direct observation, technical site visits, a literature review, surveys of healthcare staff, and an analysis of historical oxygen consumption records from 2022 to 2025.

Based on the established design parameters, the network was sized using fluid mechanics principles, accounting for pressure losses and criteria set by NFPA 99 and NTS No. 119. The results were validated using Pipe Flow Expert software, and three-dimensional modeling was performed in Revit.

The results demonstrated that the proposed network ensures a continuous supply of medical oxygen for the 124 hospital beds included in the study, improves service availability, and reduces operating costs. It is concluded that the design represents a technically and economically viable alternative for optimizing medical care and operational efficiency at the Cusco Regional Hospital.

Keywords: Medical oxygen, Distribution network, Supply availability, Medical care, Three-dimensional modeling.

INTRODUCCIÓN

El oxígeno medicinal constituye uno de los recursos terapéuticos más importantes dentro de los establecimientos de salud, debido a que su disponibilidad resulta indispensable para la atención de pacientes con afecciones respiratorias, enfermedades crónicas, emergencias médicas y tratamientos hospitalarios que requieren soporte de oxigenoterapia. Por esta razón, los sistemas de suministro y distribución de oxígeno deben garantizar continuidad y disponibilidad permanente en los diferentes servicios hospitalarios.

En el Hospital Regional de Cusco, las áreas de Neurociencia, Medicina C, Medicina A, Oncología y Pediatría ubicadas en el cuarto y quinto piso presentan un sistema de distribución basado en el traslado de cilindros de oxígeno medicinal mediante carretas desde las plantas generadoras hacia los puntos de consumo. Si bien esta distribución permite abastecer temporalmente las necesidades de los pacientes, presenta limitaciones relacionadas con la disponibilidad continua del suministro, tiempos de respuesta ante emergencias, riesgos durante la manipulación de cilindros y mayores costos operativos derivados de su transporte y reposición.

Frente a esta problemática, surge la necesidad de desarrollar una alternativa técnica que permita mejorar la distribución del oxígeno medicinal mediante un sistema centralizado que garantice un suministro continuo y seguro. En este contexto, la presente investigación propone el diseño de una red de distribución de oxígeno mediante tuberías de cobre, conectada a las fuentes de suministro existentes del hospital y orientada a cubrir la demanda de las áreas hospitalarias objeto de estudio.

Para el desarrollo de la investigación se realizó el análisis histórico de la demanda del oxígeno registrado durante el periodo 2022–2025, permitiendo determinar la demanda de diseño requerida para el dimensionamiento del sistema. Asimismo, se aplicaron principios de

mecánica de fluidos y normativas especializadas para la selección de diámetros de tuberías, cálculo de pérdidas de presión y definición de los parámetros de operación de la red.

Complementariamente, se desarrolló un modelo tridimensional de las instalaciones mecánicas permitiendo visualizar la integración del sistema dentro de la infraestructura hospitalaria existente.

La investigación busca demostrar que el diseño de una red de distribución de oxígeno medicinal no solo mejora la disponibilidad del suministro, sino que también contribuye a reducir los tiempos de atención al paciente, optimizar los recursos operativos y generar ahorros económicos para la institución hospitalaria.

INDICE

CAPÍTULO I:	1
ASPECTOS GENERALES	1
1.1. ÁMBITO GEOGRÁFICO	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2.1. Descripción del problema	2
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.3.1. Problema general	3
1.3.2. Problemas específicos	3
1.4. OBJETIVOS	3
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	4
1.4.2. Objetivos específicos	4
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.5.1 Justificación teórica	4
1.5.2. Justificación social	5
1.5.3. Justificación económica	5
1.6. HIPÓTESIS	5
1.6.1. Hipótesis general	5
1.6.2. Hipótesis específicas	6
1.7. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	6
1.7.1. Enfoque de la investigación	6
1.7.2. Tipo de investigación	6
1.7.3. Nivel de la investigación	6
1.7.4. Diseño de la investigación	7
1.8. POBLACIÓN Y MUESTRA	7
1.8.1. Recolección de datos	7
1.8.1.1. Técnica	7
1.8.1.2. Instrumentos	7

1.9. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN	8
1.9.1. <i>Variable independiente</i>	8
1.9.2. <i>Variable dependiente</i>	8
1.10. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN	8
1.11. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	9
CAPÍTULO II:	10
MARCO TEÓRICO	10
2.1. ANTECEDENTES	10
2.1.1. <i>Antecedentes internacionales</i>	10
2.1.2. <i>Antecedentes nacionales</i>	12
2.2. OBTENCIÓN DEL OXÍGENO MEDICINAL	14
2.2.1. <i>Método por Destilación Criogénica</i>	15
2.2.2. <i>Método por adsorción por cambio de presión</i>	17
2.3. OXIGENO COMO GAS MEDICINAL	19
2.4. ECUACIONES QUE GOBIERNAN EL MOVIMIENTO DEL FLUIDO EN LAS TUBERÍAS.	21
2.4.1. <i>Ecuación general de la energía</i>	21
2.4.1.1. <i>Perdidas mayores por fricción en las tuberías</i>	22
2.4.1.2. <i>Perdidas menores por los accesorios en las tuberías</i>	24
2.5. NORMATIVAS PARA EL DISEÑO DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN DE OXÍGENO.	26
2.5.1. <i>Normativa nacional</i>	26
2.5.2. <i>Normativa Internacional</i>	26
CAPITULO III:	28
CAPACIDAD PRODUCTIVA Y LA DEMANDA DEL OXÍGENO EN EL HOSPITAL REGIONAL DE CUSCO ..	28
3.1. CAPACIDAD PRODUCTIVA DEL OXÍGENO EN EL CENTRO HOSPITALARIO	29
3.1.1. <i>Manifolds o bancadas</i>	29
3.1.2. <i>Tanque criogénico</i>	30
3.1.3. <i>Plantas generadoras de oxígeno con tecnología PSA</i>	31
3.2. ANÁLISIS DEMANDA DEL OXÍGENO EN EL CENTRO HOSPITALARIO EN EL PERIODO 2022-2025	32

3.2.1. Comportamiento de la demanda del oxígeno	33
3.2.2. Análisis estadístico de la demanda del oxígeno	36
3.2.2.1. Percentil (90)	36
3.2.2.2. Tasa de crecimiento anual acumulado.	38
3.3. ANÁLISIS DE LA DEMANDA DEL OXÍGENO PARA EL CUARTO Y QUINTO PISO	39
3.3.1. Áreas de salud con mayor consumo de oxígeno	39
3.3.2. Cantidad de camas disponibles	42
3.3.3. Estudio de los planos arquitectónicos	42
3.5. DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA DE DISEÑO Y CUANTIFICACIÓN DE TOMAS DE OXÍGENO.	44
3.5.1. Determinación de la demanda de diseño según el criterio de Church	44
3.5.2. Determinación de la demanda de diseño según el criterio de la normativa IMSS.....	45
3.5.3. Determinación de la demanda de diseño según el criterio de la normativa NFPA 99	46
3.5.4. Comparación y selección del criterio de diseño.....	46
CAPITULO IV:	48
CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE PRESIÓN CON LOS PARÁMETROS DE DISEÑO PARA EL	
DIMENSIONAMIENTO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN	48
4.1. PARÁMETROS DE DISEÑO PARA UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE OXÍGENO	48
4.1.1. Presión de operación	49
4.1.2. Velocidad del gas en las tuberías.....	49
4.1.3. Clase de tubería	50
4.2. MEMORIA DE CALCULO	51
4.2.1. Método efectuando principios de mecánica de fluidos.	52
4.2.1.1. Consideraciones preliminares	52
4.2.1.2. Perdida de presión por tuberías.....	58
4.2.1.3. Perdida de presión por accesorios.	61
4.2.2. Método efectuando tablas para caídas de presión.....	64
4.2.3. Validación de cálculos mediante software computacional.....	65
4.3. PERDIDA DE PRESIÓN PARA LA RUTA CRITICA.....	71
4.3.1. Perdida de presión por tuberías para la ruta crítica	71

4.3.2. <i>Perdida de presión por accesorios para la ruta crítica</i>	71
4.3.3. <i>Perdida de presión por reductores para la ruta crítica.</i>	73
4.4. PERDIDA DE PRESIÓN PARA LA RED GENERALIZADA.....	75
CAPITULO V:.....	76
MODELADO TRIDIMENSIONAL DE LAS INSTALACIONES MECANICAS	76
5.1. SELECCIÓN DE EQUIPOS Y ACCESORIOS Y TUBERÍAS	77
5.1.1. <i>Sistema de suministro de oxígeno</i>	77
5.1.1.1. Planta generadora de oxígeno.	78
5.1.1.2. Tanque criogénico de oxígeno líquido.	78
5.1.1.3. Manifold de cilindros de oxígeno.	78
5.1.2. <i>Equipo de control</i>	80
5.1.2.1. Válvulas de alivio de presión.	80
5.1.2.2. Válvulas de seccionamiento.	81
5.1.2.3. Válvula antirretorno.	81
5.1.3. <i>Red de tuberías y accesorios</i>	81
5.1.3.1. Tuberías para oxígeno medicinal	81
5.1.3.2. Accesorios de conexión.	82
5.1.4. <i>Puntos terminales</i>	82
5.1.4.1. Tomas murales de oxígeno medicinal.....	82
5.1.4.2. Flujómetros terminales.....	83
5.1.5. <i>Equipos de control y monitoreo.</i>	83
5.1.5.1. Caja corte.....	83
5.1.5.2. Sistema de alarma.....	84
5.1.6. <i>Elementos de soporte y colgantes para tubería.</i>	85
5.2. CRITERIOS TÉCNICOS Y NORMATIVOS PARA LA LOCALIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LAS INSTALACIONES MECÁNICAS.	85
5.2.1. <i>Espaciamiento de soportes colgantes horizontales y verticales.</i>	86
5.2.2. <i>Alturas para los elementos empotrables de un sistema de gases medicinales.</i>	86
5.3. MODELADO DE LAS INSTALACIONES MECÁNICAS.	87

5.4. OBTENCIÓN DE CANTIDADES A PARTIR DEL MODELADO.....	88
5.5. PREPARACIÓN Y MONTAJE DE LAS TUBERÍAS.	91
5.5.1. <i>Limpieza de la tubería</i>	91
5.5.2. <i>Tipo de soldadura para sistema de gases medicinales</i>	92
5.5.3. <i>Recubrimiento con pintura anticorrosiva</i>	92
5.5.4. <i>Instalación de tuberías subterráneas y empotradas y adosadas en sistemas de gases medicinales</i>	93
5.6. PRUEBAS DEL SISTEMA DE LA RED Y SU HERMETICIDAD	94
5.6.1. <i>Pruebas del sistema de la red</i>	95
5.6.2. <i>Pruebas de hermeticidad del sistema</i>	96
5.7. VERIFICACIÓN MECÁNICA DE LA TUBERÍA SELECCIONADA	97
5.8. VERIFICACIÓN DE LA FLEXIBILIDAD EN EL SISTEMA DE LAS TUBERÍAS.	100
5.8.1. <i>Determinación del desplazamiento térmico</i>	101
5.8.2. <i>Aplicación del criterio empírico de ASME B31.3</i>	102
CAPITULO VI:.....	105
INFLUENCIA DEL DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN OXÍGENO EN LA DISPONIBILIDAD DEL SUMINISTRO	105
6.1. DISPONIBILIDAD DEL SUMINISTRO ACTUALMENTE.....	105
6.1.1. <i>Monitoreo de la disponibilidad el suministro actualmente</i>	105
6.2. CANTIDAD DE CAMAS CON SUMINISTRO CONTINUO ACTUALMENTE	109
6.3. TIEMPO DE ATENCIÓN AL PACIENTE ACTUALMENTE	109
6.4. INFLUENCIA DEL DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE OXÍGENO FRENTE LA DISPONIBILIDAD DEL SUMINISTRO	110
6.4.1. <i>Incremento en la cantidad de camas con suministro continuo</i>	111
6.4.2. <i>Reducción del tiempo en la atención para aplicar oxígeno al paciente</i>	111
CAPITULO VII:.....	112
EVALUACION ECONÓMICA A PARTIR DE LOS AHORROS OPERATIVOS GENERADOS POR EL DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN	112
7.1. DETERMINACIÓN DE PRESUPUESTO DEL PROYECTO.	112

7.1.1. Costos directos.	113
7.1.2. Costos indirectos.	114
7.2. DETERMINACIÓN DE LOS FLUJOS ECONÓMICOS.	115
7.2.1. Inversión inicial.	115
7.2.2. Flujos positivos.	115
7.2.3. Horizonte de evaluación.	117
7.2.4. Tasa de descuento.	117
7.3. FLUJO DE CAJA PROYECTADO.	117
7.4. PRESUPUESTO DE EFECTIVO SIMPLIFICADO.	118
7.5. INDICADORES DE EVALUACIÓN ECONÓMICA.	119
7.5.1. Valor actual neto (VAN).	119
7.5.2. Tasa interna de retorno (TIR).	120
CONCLUSIONES.	122
RECOMENDACIONES.	124
BIBLIOGRAFIA	125

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Propiedades del oxígeno</i>	20
Tabla 2 <i>Ecuaciones para hallar el factor de fricción</i>	23
Tabla 3 <i>Capacidad productiva del oxígeno en el centro hospitalario</i>	32
Tabla 4 <i>Demanda del oxígeno para el periodo 2022 al 2025</i>	33
Tabla 5 <i>Resultados de los percentiles para cada periodo anual</i>	38
Tabla 6 <i>Proyección de la demanda del consumo del oxígeno</i>	41
Tabla 7 <i>Resumen de las demandas registradas</i>	41
Tabla 8 <i>Factores de simultaneidad de acuerdo al número de salidas y demandas mínimos a respetar</i>	45
Tabla 9 <i>Comparación de los criterios de diseño para la red de distribución de oxígeno</i>	47
Tabla 10 <i>Longitud equivalente en diámetro de tubería</i>	63
Tabla 11 <i>Perdida de presión a 55 psi cada 100 ft</i>	64
Tabla 12 <i>Comparación de resultados</i>	70
Tabla 13 <i>Perdida de presión por tuberías para la ruta crítica.</i>	71
Tabla 14 <i>Perdida de presión por accesorio para la ruta crítica – h_{L22}</i>	73
Tabla 15 <i>Perdida de presión por contracción súbita en ruta crítica</i>	75
Tabla 16 <i>Espaciamiento de los soportes de las tuberías.</i>	86
Tabla 17 <i>Recuento de accesorios de tubería.</i>	89
Tabla 18 <i>Recuento de equipos mecánicos.</i>	89
Tabla 19 <i>Recuento de tuberías.</i>	90
Tabla 20 <i>Recuento de uniones de tubería.</i>	90
Tabla 21 <i>Expansión térmica total</i>	102
Tabla 22 <i>Monitoreo por cada área medica</i>	106
Tabla 23 <i>Toma de datos para el monitoreo actual</i>	107

Tabla 24 <i>Tiempo restante de oxígeno para diferentes camas</i>	108
Tabla 25 <i>Cantidad de camas con suministro continuo</i>	109
Tabla 26 <i>Costos operativos para la distribución de oxígeno en el Hospital Regional De Cusco</i>	115
Tabla 27 <i>Costos de mantenimiento anual de red de distribución de oxígeno</i>	116
Tabla 28 <i>Flujo de caja proyectado de la red de distribución de oxígeno</i>	118
Tabla 29 <i>Presupuesto de efectivo simplificado</i>	118
Tabla 30 <i>Cálculo del valor actual neto (VAN)</i>	120
Tabla 31 <i>Flujo neto de caja</i>	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Ubicación geográfica del centro de investigación</i>	1
Figura 2 <i>Composición del aire atmosférico</i>	14
Figura 3 <i>Esquema de una planta productora de oxígeno líquido</i>	17
Figura 4 <i>Esquema de una planta productora de oxígeno gaseoso</i>	19
Figura 5 <i>Coeficiente de resistencia para contracción súbita</i>	25
figura 6 <i>Distribución del oxígeno mediante carretas</i>	29
Figura 7 <i>Bancada para suministrar el oxígeno a los pacientes hospitalizados</i>	30
Figura 8 <i>Tanque criogénico para suministrar el oxígeno a los pacientes hospitalizados</i>	31
Figura 9 <i>Planta de producción de oxígeno</i>	32
Figura 10 <i>Demanda anual del oxígeno</i>	34
Figura 11 <i>Consumos máximos por día de cada mes</i>	35
Figura 12 <i>Máximo consumo de oxígeno registrado en el cuarto y quinto piso</i>	40
Figura 13 <i>Distribución Arquitectónica Del Cuarto Piso</i>	43
Figura 14 <i>Distribución Arquitectónica Del Quinto Piso</i>	43
Figura 15 <i>Presiones de trabajo y perdidas de presión para diferentes gases</i>	49
Figura 16 <i>Diámetros mínimos requeridos por la NFPA 99</i>	50
Figura 17 <i>Diámetros para tubería de cobre</i>	51
Figura 18 <i>Trazado de la ruta crítica del sistema</i>	52
Figura 19 <i>Diagrama de Moody para halla el factor de fricción</i>	60
Figura 20 <i>Diagrama de Moody para calcular el ft</i>	62
Figura 21 <i>Inserción de un tanque presurizado y un tramo de tubería</i>	66
Figura 22 <i>Datos de entrada en el tanque presurizado</i>	66
Figura 23 <i>Datos de la tubería</i>	67
Figura 24 <i>Datos de salida</i>	67

Figura 25 <i>Datos del fluido.....</i>	68
Figura 26 <i>Inserción de accesorios en el tramo de la tubería</i>	68
Figura 27 <i>Configuración para efectuar los cálculos</i>	69
Figura 28 <i>Presentación de resultados</i>	69
Figura 29 <i>Diagrama de Moody para calcular el ft para diferentes tramos.</i>	72
Figura 30 <i>Coeficiente de resistencia K para el tramo 3--3a</i>	74
Figura 31 <i>Modelado arquitectónico del hospital y las plantas de oxígeno</i>	76
Figura 32 <i>Espacio para el suministro de la red de distribución de oxígeno.....</i>	77
Figura 33 <i>Válvula de alivio de presión</i>	80
Figura 34 <i>Válvula de bola de tres piezas.</i>	81
Figura 35 <i>Válvula antirretorno</i>	81
Figura 36 <i>Tubería de cobre tipo K</i>	82
Figura 37 <i>Accesorios de conexión.....</i>	82
Figura 38 <i>Toma de oxígeno tipo diss.....</i>	83
Figura 39 <i>Flujómetros clínicos.</i>	83
Figura 40 <i>Caja de corte.....</i>	84
Figura 41 <i>Sistema de alarma audiovisual.</i>	84
Figura 42 <i>Soporte y colgantes para tuberías de cobre.</i>	85
Figura 43 <i>Alturas para los elementos empotrables de un sistema de gases medicinales.</i>	87
Figura 44 <i>Modelado de las instalaciones mecánicas.</i>	88
Figura 45 <i>Soldadura en tubería de cobre para uso de gases medicinales.....</i>	92
Figura 46 <i>Protección para evitar contacto tubería de cobre con soporte base.</i>	93
Figura 47 <i>Instalación subterránea para sistema de gases medicinales.</i>	94
Figura 48 <i>Pruebas de purga a la salida de las tuberías.</i>	96
Figura 49 <i>Presiones permitidas para tuberías de cobre tipo K</i>	99

Figura 50	<i>Localización de los anclajes en el sistema de tuberías</i>	100
Figura 51	<i>Identificación de los datos de un cilindro de oxígeno</i>	107
Figura 52	<i>Resultado del cuestionario a los 25 participantes.....</i>	110
Figura 53	<i>Evolución del saldo final del proyecto a lo largo de cinco años.</i>	119

CAPÍTULO I:

ASPECTOS GENERALES

1.1. Ámbito geográfico

La presente investigación se desarrolló en el Hospital Regional de Cusco, ubicado en el distrito, provincia y región Cusco. Geográficamente, se encuentra a una altitud de 3345 m s. n. m., con coordenadas de latitud sur $13^{\circ}31'25.46''$ y longitud oeste $71^{\circ}57'20.28''$.

Asimismo, presenta una presión atmosférica de 68850 Pa y una temperatura promedio de 15 °C.

Figura 1

Ubicación geográfica del centro de investigación



Nota. Imagen obtenida de Google Earth para la ubicación geográfica del centro de investigación.

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Descripción del problema

En el Hospital Regional de Cusco se presenta la problemática en la distribución de oxígeno medicinal, especialmente en las áreas de Neurociencia y Medicina C, ubicadas en el quinto piso, así como en Medicina A, Oncología y Pediatría, ubicadas en el cuarto piso de la infraestructura hospitalaria.

La distribución del oxígeno medicinal se inicia mediante las plantas generadoras de oxígeno tipo PSA, las cuales permiten el llenado de cilindros a una presión aproximada de 2500 psi. Posteriormente, los cilindros son trasladados manualmente en carretas hacia las diferentes áreas hospitalarias mencionadas.

Entre las principales causas de la ineficiencia del sistema de distribución mediante cilindros se encuentran el incremento de la demanda del oxígeno medicinal, la poca capacidad en la disponibilidad continua del suministro y el tiempo requerido para el traslado de los cilindros hacia las áreas de atención. Asimismo, la manipulación manual durante el transporte representa una dificultad e inadecuada operación laboral.

Como consecuencia, no se logra cubrir adecuadamente la demanda del oxígeno medicinal, lo que limita la disponibilidad oportuna del suministro para los pacientes y genera tiempos de respuesta tardíos en la atención médica, poniendo en riesgo la salud y la vida de los pacientes. Además, la manipulación inadecuada de los cilindros incrementa el riesgo de accidentes, como caídas o incidentes asociados a la presión del gas contenido. Del mismo modo, el esfuerzo físico realizado por el personal encargado de la distribución podría ocasionar futuras afectaciones a su salud ocupacional.

Asimismo, existe la posibilidad de desabastecimiento total debido a fallas en las plantas generadoras de oxígeno, evidenciando la ausencia de un sistema centralizado de

distribución que garantice la continuidad del suministro.

En este contexto, la presente investigación propone el diseño de una red de distribución de oxígeno medicinal mediante tuberías hacia las áreas mencionadas, con la finalidad de mejorar la disponibilidad continua del suministro, reducir los tiempos de respuesta en la atención al paciente y generar ahorros económicos en los costos operativos asociados al sistema actual de distribución mediante carretas a los puntos de consumo.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

- ¿De qué manera el diseño de una red de distribución de oxígeno influye en la optimización de la atención médica en el cuarto y quinto piso del Hospital Regional de Cusco?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿Cómo se determina la demanda de diseño del oxígeno a partir del análisis de la demanda registrada durante el período 2022–2025?
- ¿Cómo se desarrolla el cálculo con los parámetros de diseño para el dimensionamiento adecuado de la red de distribución de oxígeno?
- ¿Cómo se modela tridimensionalmente las instalaciones mecánicas de la red de distribución de oxígeno?
- ¿Cómo se evalúa la influencia del diseño de la red de distribución de oxígeno en la disponibilidad del suministro?
- ¿Cómo se efectúa la evaluación económica a partir de los ahorros operativos generados por el diseño de red de distribución de oxígeno?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Diseñar una red de distribución de oxígeno para optimizar la atención médica en el cuarto y quinto piso del Hospital Regional de Cusco.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la demanda de diseño del oxígeno a partir del análisis de la demanda registrada durante el período 2022–2025.
- Desarrollar el cálculo con los parámetros de diseño para el dimensionamiento de la red de distribución de oxígeno.
- Modelar tridimensionalmente las instalaciones mecánicas de la red de distribución de oxígeno.
- Evaluar la influencia del diseño de la red de distribución de oxígeno en la disponibilidad del suministro.
- Efectuar la evaluación económica a partir de los ahorros operativos generados por el diseño de la red de distribución de oxígeno.

1.5. Justificación de la investigación

1.5.1 Justificación teórica

La presente investigación se justifica teóricamente porque permitirá integrar principios de mecánica de fluidos, guías técnicas de instalaciones mecánicas y normativas nacionales e internacionales aplicadas al diseño y dimensionamiento de redes de distribución de oxígeno medicinal. Asimismo, permitirá desarrollar el modelado tridimensional de las instalaciones mecánicas para la visualización integral de la red de distribución propuesta.

Del mismo modo, la investigación contribuirá como referencia técnica para futuros estudios relacionados con el diseño de redes de distribución de oxígeno en infraestructuras hospitalarias, fortaleciendo el conocimiento aplicado a la optimización de la atención médica.

1.5.2. Justificación social

La presente investigación se justifica socialmente porque el diseño de una red de distribución de oxígeno contribuirá a mejorar la atención médica en las áreas de Neurociencia, Medicina C, Medicina A, Oncología y Pediatría del cuarto y quinto piso del Hospital Regional de Cusco, las cuales cuentan con un total de 124 camas hospitalarias.

Asimismo, el diseño permitirá garantizar una mayor disponibilidad y continuidad del suministro de oxígeno medicinal, reduciendo los tiempos de respuesta en la atención de pacientes que requieren oxigenoterapia. Esto beneficiará directamente a los pacientes hospitalizados y facilitará el trabajo del personal médico y asistencial, mejorando las condiciones del servicio hospitalario y la eficiencia en la atención médica.

1.5.3. Justificación económica

La presente investigación se justifica económicamente porque el diseño de una red de distribución de oxígeno permitirá reducir los costos operativos asociados al uso de cilindros presurizados, como transporte, manipulación y reemplazo continuo dentro del hospital.

Asimismo, la propuesta permitirá evaluar la viabilidad económica del sistema mediante indicadores financieros como el valor actual neto, la tasa interna de retorno y los ahorros económicos anuales, contribuyendo a un uso más eficiente de los recursos hospitalarios.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis general

- El diseño de una red de distribución de oxígeno permitirá optimizar la atención médica, en términos de disponibilidad del suministro y costos operativos, en el cuarto y quinto piso del Hospital Regional de Cusco.

1.6.2. Hipótesis específicas

- El análisis de la demanda del oxígeno registrado durante el período 2022–2025 permitirá determinar la demanda de diseño requerida para el sistema de distribución de oxígeno
- El desarrollo del cálculo con los parámetros de diseño permitirá dimensionar adecuadamente la red de tuberías para distribuir oxígeno.
- El modelado tridimensional mediante software especializado permitirá visualizar y cuantificar los elementos de las instalaciones mecánicas de la red de distribución de oxígeno.
- El diseño de la red de distribución de oxígeno incrementará la cantidad de camas con suministro continuo y reducirá el tiempo de atención al paciente.
- La evaluación económica permitirá determinar los ahorros anuales y la viabilidad del diseño de la red de distribución de oxígeno mediante los ahorros operativos generados

1.7. Metodología de la investigación

1.7.1. Enfoque de la investigación

(Fernández & Baptista, 2014), La investigación se centra en un enfoque cuantitativo ya que intenta medir los fenómenos y establecer vínculos entre variables mediante métodos estadísticos y datos numéricos.

1.7.2. Tipo de investigación

(Serna, 2018), La investigación es aplicada ya que se utiliza el conocimiento adquirido para generar soluciones prácticas, mejorar procesos, o crear soluciones a necesidades reales.

1.7.3. Nivel de la investigación

(Arias, 2006). La investigación es descriptiva ya que se orienta a detallar y representar las particularidades de un fenómeno, hecho, persona o colectivo, con el propósito de

identificar cómo está conformado y cómo actúa.

1.7.4. Diseño de la investigación

(Martinez,2020). La investigación adoptará un diseño no experimental, dado que no se alteran las variables, sino que se examinan los fenómenos tal y como suceden.

1.8. Población y muestra

La población estuvo conformada por el personal de salud que labora en las áreas de Neurociencia, Medicina C, Medicina A, Oncología y Pediatría del cuarto y quinto piso del Hospital Regional de Cusco, involucrados en la atención de pacientes que requieren suministro de oxígeno medicinal.

La muestra estuvo conformada por 25 trabajadores del personal de salud del Hospital Regional de Cusco, considerando 5 trabajadores por cada una de las áreas de Neurociencia, Medicina C, Medicina A, Oncología y Pediatría.

1.8.1. Recolección de datos

1.8.1.1. Técnica. Para esta investigación las técnicas que se utilizaron son:

- Encuesta
- Observación
- Visitas al centro hospitalario
- Revisión bibliográfica

1.8.1.2. Instrumentos. Para esta investigación los instrumentos que se utilizaron son:

- Cuestionario
- Excel
- AutoCAD
- Revit

- Pipe Flow Expert

1.9. Variables de la investigación

1.9.1. Variable independiente

Para esta investigación la variable independiente es el diseño de una red de distribución de oxígeno. La variable independiente involucra:

- Demanda de diseño del oxígeno
- Rutas de acceso de las tuberías mediante la adaptación de la infraestructura hospitalaria existente.
- Selección de diámetros de tuberías
- Pérdida de presión en la red
- Visualización completa de la instalación mecánica de la red

1.9.2. Variable dependiente

Para esta investigación la variable dependiente es la optimización de la atención médica ya que esta es la variable que se espera que cambie o mejore debido a la intervención del diseño de la red de distribución de oxígeno en las áreas de salud especificadas, esta variable dependiente involucra:

- La cantidad de camas con suministro continuo de oxígeno
- El tiempo en la atención para aplicar oxígeno al paciente
- Ahorros económicos basados en los costos operativos

1.10. Alcances de la investigación

La presente investigación considera el análisis de la demanda de oxígeno medicinal correspondiente al periodo 2022–2025. A partir de esta información, se aplicarán criterios estadísticos para determinar la demanda de diseño requerida para el dimensionamiento de la

red de distribución de oxígeno.

Asimismo, el dimensionamiento de la red se desarrollará mediante la aplicación de principios de mecánica de fluidos y será validado computacionalmente utilizando el software Pipe Flow Expert, considerando el cumplimiento de la normativa nacional NTS N.º 119 y la normativa internacional NFPA 99 para sistemas de gases medicinales.

El modelado tridimensional de la red de distribución de oxígeno se realizará mediante el software Revit, integrando los espacios arquitectónicos existentes con las instalaciones mecánicas propuestas, permitiendo la visualización integral de la red y la cuantificación de los elementos que la conforman.

1.11. Limitaciones de la investigación

La presente investigación se limita al diseño de una red de distribución de oxígeno medicinal, sin considerar otros gases medicinales utilizados en establecimientos de salud.

Asimismo, el estudio se desarrolla exclusivamente en las áreas de Neurociencia, Medicina C, Medicina A, Oncología y Pediatría del cuarto y quinto piso del Hospital Regional de Cusco. Las demás áreas hospitalarias no son consideradas debido a restricciones de acceso y permisos institucionales, lo que implicaría una ampliación del tiempo de investigación.

La optimización de la atención médica se limita al análisis de la disponibilidad del suministro de oxígeno medicinal y los ahorros económicos derivados de los costos operativos asociados al diseño propuesto. En consecuencia, se excluyen variables clínicas relacionadas con el diagnóstico médico, la calidad del tratamiento, la satisfacción del paciente y el desempeño del personal de salud.

CAPÍTULO II:

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

Ortega (2022), en la investigación titulada “Propuesta de Diseño de Red de Gases Medicinales para el Hospital Juan Manuel Gálvez”, desarrolló una propuesta de diseño para la distribución de gases medicinales aplicando los criterios establecidos en la norma NFPA 99 para la determinación de la demanda de diseño. Asimismo, empleó una ecuación empírica que permite estimar directamente los diámetros nominales de las tuberías a partir del caudal de diseño, considerando una velocidad del fluido de 8 m/s y una presión de operación de 8 bar.

Los resultados determinaron una red compuesta por 159 tomas murales de oxígeno, con una demanda de diseño de 71.01 m³/hora en la red principal y un diámetro nominal de 1¼ pulgadas. Este estudio constituye un referente metodológico para la presente investigación debido a la aplicación de la NFPA 99 en la estimación de la demanda de oxígeno medicinal. Sin embargo, el dimensionamiento de las tuberías se fundamenta principalmente en una ecuación empírica, sin profundizar en el análisis de pérdidas de presión por fricción. En contraste, la presente investigación incorpora el análisis de parámetros de diseño orientados al dimensionamiento de la red de distribución de oxígeno para el Hospital Regional de Cusco.

Sánchez y Zacarías (2010), en la investigación denominada “Sistema de Conducción de Gases de un Hospital de 120 Camas Situado en la Región Costa que Pertenece al Ministerio de Salud Pública del Ecuador”, el estudio realizó una comparación entre las normas británicas, mexicanas y la NFPA 99 para el diseño de sistemas de oxígeno medicinal,

aire medicinal y vacío clínico. Para el dimensionamiento de las tuberías, los autores evaluaron diferentes metodologías de cálculo, entre ellas el método de Eduardo Lázaro, las ecuaciones basadas en Darcy-Weisbach y el método de Swamee-Jain. Como resultado, determinaron que para un hospital de 120 camas se requerían 73 tomas de oxígeno, una demanda de diseño de 72 m³/hora, una presión de servicio de 55 psi y una tubería para la red principal de 2 pulgadas de diámetro para una longitud de 33 metros. Asimismo, establecieron una pérdida de presión máxima permisible de 0,2 psi y una velocidad del fluido inferior a 15 m/s.

La investigación aporta criterios técnicos relevantes para la selección de metodologías de cálculo y parámetros de diseño. No obstante, se enfoca en la comparación de normativas y procedimientos de dimensionamiento, sin considerar proyecciones de consumo basadas en registros históricos. La presente investigación complementa dichos aspectos mediante el análisis del consumo real del oxígeno correspondiente al periodo 2022–2025 y su aplicación al diseño de la red de distribución.

Escalante, Pleitez y Fernández (2010), en el estudio titulado “Análisis del Sistema Actual y Propuesta de Diseño del Sistema de Gases Médicos del Hospital Nacional Dr. Juan José Fernández Zacamil”, realizaron una evaluación de la demanda existente y proyectaron el crecimiento de la red de oxígeno medicinal para un horizonte de diseño de 15 años. Para la determinación de los parámetros de diseño emplearon los criterios establecidos en la norma NFPA 99. Con el propósito de dimensionar las tuberías, aplicaron los métodos CHEMETRON y MEDAES. Mediante el método CHEMETRON obtuvieron una red de 195 tomas de oxígeno con una demanda de diseño de 117 m³/hora, una tubería principal de 1½ pulgadas y una pérdida de presión de 0,0919 psi para un tramo de 17,374 m, registrando una pérdida total de 2,3703 psi en toda la red. Por otro lado, utilizando el método MEDAES determinaron una demanda de diseño de 58.5 m³/hora con el mismo diámetro nominal, una

pérdida de presión de 0,048 psi en el tramo analizado y una pérdida total de 1,919 psi.

Este antecedente resulta relevante debido a la comparación de dos metodologías de dimensionamiento aplicadas a una misma red hospitalaria. Sin embargo, el estudio se centra principalmente en la evaluación técnica de alternativas de diseño y no incorpora herramientas de modelado tridimensional para la visualización integral del sistema. La presente investigación complementa este enfoque mediante el diseño y modelado de la red de distribución de oxígeno.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Marín (2021), en la investigación titulada “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”. La investigación desarrolló el diseño de los sistemas de oxígeno medicinal, aire comprimido medicinal y vacío clínico, considerando el comportamiento del oxígeno como un fluido incompresible para fines de cálculo. Asimismo, aplicó los lineamientos de las normas NFPA 99 e IMSS para el dimensionamiento de la red. Los resultados determinaron una demanda de diseño de 55.74 m³/hora para 120 tomas de oxígeno, una tubería principal de 1½ pulgadas para un tramo de 17,88 m y una pérdida de presión de 0,04267 psi. Además, se seleccionó un tanque criogénico de 2329,7 galones de oxígeno líquido con una autonomía de abastecimiento de 15 días

Este estudio fue desarrollado bajo condiciones de emergencia sanitaria asociadas a la pandemia, por lo que las demandas de consumo difieren de las condiciones operativas actuales. La presente investigación se enfoca en una demanda basada en registros históricos recientes del Hospital Regional de Cusco, permitiendo una estimación más representativa de las necesidades reales de consumo.

Albújar (2019), en la investigación denominada “Ampliación de la Planta de

Generación de Oxígeno en el Hospital Regional Docente Las Mercedes de Chiclayo-Lambayeque”, El estudio aplicó principios de mecánica de fluidos considerando el comportamiento del oxígeno a presión constante dentro de tuberías de cobre. Asimismo, utilizó las ecuaciones de Darcy-Weisbach para el cálculo de pérdidas de presión por fricción y las normas NFPA 99 e IMSS para el dimensionamiento del sistema. Los resultados determinaron una red de 166 tomas de oxígeno con una demanda de diseño de $52.2 \text{ m}^3/\text{hora}$, una tubería principal de 2 pulgadas para un tramo de 12,6 m y una pérdida de presión de 0,0344 psi.

La investigación se orienta principalmente a la ampliación de una planta de generación de oxígeno y no al diseño integral de una red de distribución en áreas hospitalarias específicas. Por ello, la presente investigación se enfoca en el dimensionamiento de la red de distribución para los pisos cuarto y quinto del Hospital Regional de Cusco.

Zelaya (2013), en la investigación titulada “Criterios de Diseño y Cálculo de Sistemas de Suministro y Distribución de Gases Medicinales para un Hospital”, desarrolló un procedimiento de diseño basado en los criterios establecidos por las normas NFPA 99 e IMSS para la determinación de la cantidad de tomas de oxígeno y la demanda de diseño requerida por la infraestructura hospitalaria. Para el dimensionamiento de las tuberías empleó un método basado en tablas de pérdidas de presión por cada 100 pies de tubería, permitiendo seleccionar los diámetros nominales adecuados para cada tramo de la red. Los resultados determinaron una red de 154 tomas de oxígeno, una demanda de diseño de $65.76 \text{ m}^3/\text{hora}$, una tubería principal de $1\frac{1}{4}$ pulgadas para una longitud de 60,83 m y una pérdida de presión de 0,36 psi. Asimismo, se estableció la necesidad de un tanque criogénico con capacidad de 6877,18 litros y recargas programadas cada quince días.

Este antecedente proporciona criterios técnicos para el cálculo de demandas y la

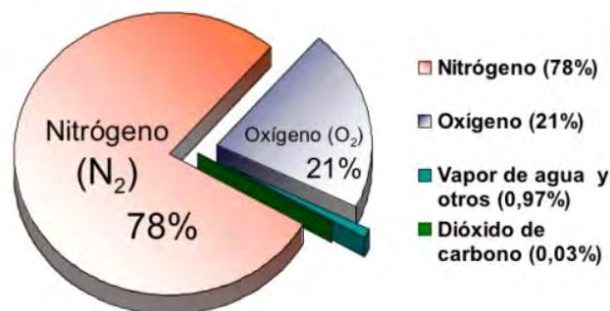
selección de diámetros en redes de gases medicinales. Sin embargo, se basa principalmente en procedimientos tabulados de diseño, no considera un análisis de consumo histórico, ni la validación de resultados mediante software especializado. En contraste, la presente investigación complementa dichos aspectos mediante el análisis estadístico de la demanda de oxígeno entre los años 2022 y 2025, y la validación de los cálculos de dimensionamiento mediante el software Pipe Flow Expert, permitiendo entender el comportamiento de la red en términos de la demanda de diseño, velocidad y pérdidas de presión bajo condiciones operativas reales.

2.2. Obtención del oxígeno medicinal.

El oxígeno medicinal se obtiene principalmente a partir del aire atmosférico, el cual constituye la fuente más utilizada para su producción debido a su abundancia, disponibilidad y fácil acceso para los procesos de obtención y purificación. Estas características permiten una producción eficiente y sostenible, garantizando el abastecimiento de oxígeno requerido en los establecimientos de salud para la atención de los pacientes.

Figura 2

Composición del aire atmosférico



Nota. La imagen representa los porcentajes de los componentes en las que se encuentra el aire atmosférico de forma natural. Tomado de *Composición Del Aire Atmosférico* por E, Santos. 2024.

2.2.1. Método por Destilación Criogénica

Para Gates (2021). En su informe técnico describe que para la obtención de oxígeno altamente purificado con niveles de pureza de 99% a 99.5% o superiores se necesita una unidad criogénica de separación de aire que es una tecnología que utiliza un proceso denominado destilación fraccionada criogénica, en la cual los elementos del aire se separan al comprimir el gas hasta licuarlo a temperaturas extremadamente bajas que oscilan entre -173 °C y -193 °C, y posteriormente destilar hasta su punto de ebullición.

Martínez (2017). En su trabajo de investigación describe las etapas por las que pasa el aire hasta obtención de oxígeno líquido. Estas etapas son las siguientes:

1) Compresor de aire

- El aire atmosférico se aspira y comprime
- El compresor suele ser un compresor centrífugo o de pistón.
- El objetivo es aumentar la presión y eliminar parte del vapor de agua.

2) Unidad de preenfriamiento y separador de agua

- Donde se reduce la temperatura saliente del aire caliente del compresor.
- Se condensa el vapor de agua y puede eliminarse

3) unidad de Purificación del aire

- El aire comprimido pasa por filtros y absorbedores para eliminar vapor de agua aun existente y dióxido de carbono.
- Esto es importante porque si no se eliminan, podrían congelarse en las etapas posteriores.

4) Intercambiador de calor

- En esta etapa el aire se enfría gradualmente mediante un intercambiador de calor

criogénico, usando el aire frío de retorno de salida.

- La temperatura baja hasta cerca de $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$.

5) Unidad de licuefacción / Expansor (Turbina de expansión)

- Aquí el aire se expande rápidamente, lo que provoca un descenso brusco de temperatura (efecto Joule-Thomson).
- Parte del aire se licúa (se convierte en aire líquido).

6) Columna de destilación fraccionada (Columna criogénica)

- Es el corazón del sistema.
- En esta torre, el aire líquido se separa en sus componentes:
- El nitrógeno (más volátil) se evapora primero (punto de ebullición $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$).
- El oxígeno (menos volátil) se queda como líquido (punto de ebullición $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$).
- Se usan dos columnas a veces (alta y baja presión) para mejorar la pureza.

7) Condensador-evaporador

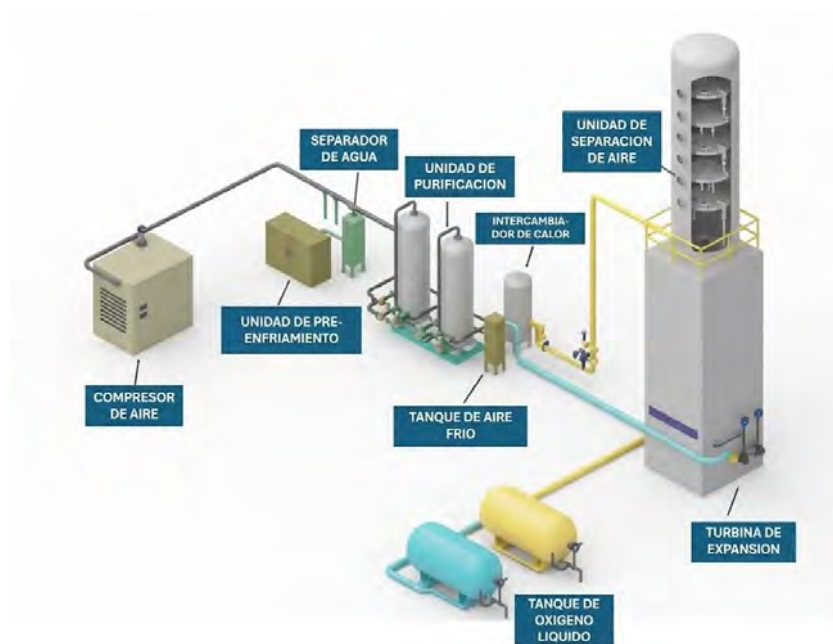
- Intercambia calor entre las columnas.
- Permite que parte del oxígeno se condense y parte del nitrógeno se evapore, ayudando a la separación continua.

8) Tanque criogénico de almacenamiento

- El oxígeno líquido purificado se almacena en un tanque criogénico a $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Este tanque está hecho de acero inoxidable con aislamiento al vacío.
- Desde ahí se transporta en cisternas criogénicas o se gasifica para hospitales.

Figura 3

Esquema de una planta productora de oxígeno líquido



Nota. Esta figura fue Adaptado de *Grupo de tecnología Hangzhou Nuzhuo*, por H. Nuzhuo, 2023.

2.2.2. Método por adsorción por cambio de presión

Para Gates (2021). En su informe técnico describe que para la obtención de oxígeno gaseoso con una pureza de $93\% \pm 3\%$ se puede usar la tecnología de absorción por oscilación de presión (PSA), en la cual consiste en una serie de procesos donde el aire se seca y se eliminan las impurezas, como el dióxido de carbono, los hidrocarburos y el vapor de agua existente. El aire seco previamente tratado pasa por dos cilindros de absorción a presión equipados con válvulas interconectadas que contienen zeolita, un mineral poroso que absorbe preferentemente el nitrógeno mientras que permite el paso del oxígeno.

Para obtener oxígeno gaseoso mediante tecnología PSA, estas son las diferentes etapas por las que pasa el aire hasta su obtención.

1) Captación de aire ambiental.

- Entrada de aire desde el exterior mediante conducto con rejilla y pre-filtros (protección contra insectos, polvo grueso).

2) Compresión del aire.

- Compresor de pistón o tornillo que eleva la presión del aire a la requerida por el sistema PSA. Incluye separador de agua y aceite si el compresor es lubricado.

3) Tratamiento del aire comprimido

- Filtro de carbón activo para eliminar hidrocarburos y olores.
- Secador (adsorción o refrigeración) para bajar punto de rocío y evitar que humedad degrade el tamiz molecular.

4) Tanque amortiguador / acumulador de aire.

- Un tanque entre secador y unidad PSA estabiliza flujo y reduce pulsaciones. También mejora eficiencia del PSA.

5) Columnas con tamiz molecular adsorbente.

- La unidad PSA tiene dos columnas llenas de zeolita o tamiz molecular. Mientras una columna está en fase de adsorción (retiene Nitrógeno), la otra se despresuriza y se purga para regenerar el adsorbente. El sistema alterna continuamente entre ambas para producir flujo continuo de Oxígeno.

6) Ciclo PSA (operación básica).

- Presurización: aire comprimido entra a la torre A; la zeolita adsorbe nitrógeno.
- Suministro de oxígeno: el gas no adsorbido (rico en Oxígeno) sale por la salida.

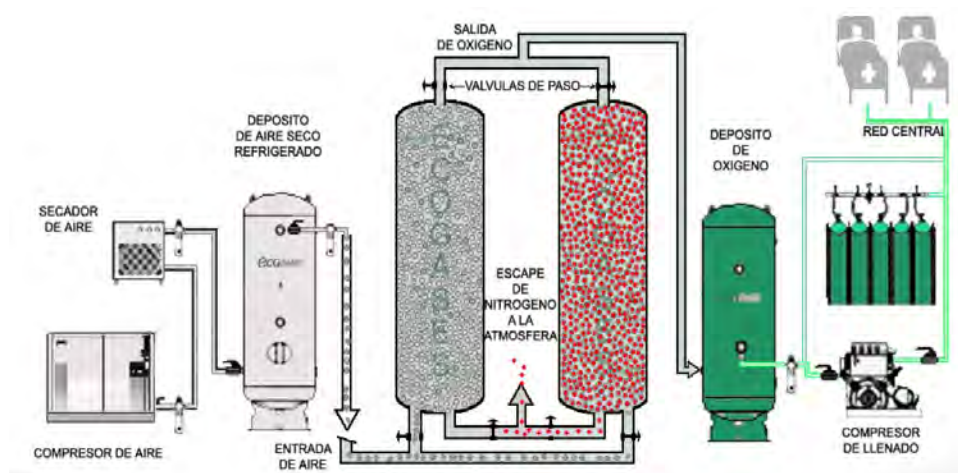
- Cambio de torre y despresurización: al quedarse saturada, la torre A se despresuriza y se purga (pequeña fracción de Oxígeno se usa para purgar Nitrogeno).
- Regeneración: la torre A queda lista para el siguiente ciclo; se repite alternancia.

7) Tanque acumulador de oxígeno.

- El oxígeno producto se almacena en un tanque acumulador y desde ahí se distribuye a la red hospitalaria o a cilindros de llenado según el diseño.

Figura 4

Esquema de una planta productora de oxígeno gaseoso



Nota. Esta imagen fue tomada de *Plantas Generadoras De Oxígeno KMO2*, por Modasa, 2021

2.3. Oxígeno como gas medicinal.

Según Domínguez (2005), en su artículo científico menciona que un gas medicinal es aquel, ya sea puro o en mezcla, que está diseñado para entrar en contacto directo con el cuerpo humano. Se utiliza porque posee propiedades que ayudan a prevenir, diagnosticar, tratar, aliviar o curar diversas enfermedades. Entre los más comunes en el ámbito de la salud se encuentran el oxígeno, el óxido nitroso, el aire medicinal, el vacío, dióxido de carbono.

En esta investigación se desarrollará todo lo relacionado al gas medicinal que es el oxígeno. Para Céspedes y Arancibia (2011), este gas es considerado esencial en la práctica clínica. Ya que su aplicación resulta imprescindible en pacientes que requieren oxigenación adicional a la propia, debido a la disminución de oxígeno en la sangre. Asimismo, se emplea en terapias de soporte vital, situaciones de emergencia y en el tratamiento de enfermedades de origen respiratorio.

El oxígeno en concentraciones normales en el aire es del 21% y es indispensable para la vida. Ahora según Sánchez y Zacarías (2010), la variación de dicha concentración afecta de manera directa al ser humano como se verán a continuación

- 75-100% toxicidad, si se mantiene durante varias horas o días, puede producir toxicidad pulmonar (inflamación del tejido pulmonar, tos, dificultad para respira)
- 17-21% sin riesgo
- 12-17% riesgo de asfixia
- < 12% desvanecimiento y muerte

En cuanto a las propiedades que tiene el oxígeno, se mostraran en la siguiente tabla:

Tabla 1

Propiedades del oxigeno

Propiedades Del Oxigeno	Valor
Densidad del gas a 1 Atm a (0 -50) °C	(1.4277 – 1.2068) kg/m ³
Viscosidad dinámica a 1 Atm a (0 -50) °C	(1.916 - 2.194).10 ⁻⁵ kg/m.s
Punto de ebullición a 1 Atm	-183 °C
Punto de congelamiento a 1 Atm	-218.8 °C
Densidad del liquido	1141 kg/m ³

Nota. Estas propiedades fueron obtenidas mediante el libro de *Mecánica De Fluidos*. (p.887-896) por Cengel & Cimbala, 2006, ver **Anexo 1.1** y **Anexo 1.2**

2.4. Ecuaciones que gobiernan el movimiento del fluido en las tuberías.

En el diseño de una red de distribución de cualquier gas presurizado el enfoque esencial es evitar la caída de presión en dicho circuito, entonces en esta investigación prestaremos mayor atención en las ecuaciones que nos ayudan a calcular la caída de presión en sistemas de gases presurizados.

2.4.1. Ecuación general de la energía.

Según Mott & Untener (2015). Menciona sobre la ecuación de la energía general que hace referencia a la conservación de la energía cinética, potencial y la energía de flujo de un fluido, con la presencia de pérdidas y adiciones de energía, la cual se menciona como la expansión de la ecuación de Bernoulli y se expresa de la siguiente manera:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + h_A - h_R - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

Donde:

h_A = energía agregada al fluido como una bomba

h_R =energía retirada del fluido mediante un motor de fluido

h_L = pérdida de energía por parte del sistema debidas a fricción en los conductos, o pérdidas menores debida a la presencia de válvulas y conectores.

Entonces está claro que en esta ecuación prestaremos mayor atención a h_L y dejaremos a un lado a h_A y h_R , ya que en un sistema de fluido presurizado como una red de oxígeno no necesita de dichos elementos. En cuanto a la pérdida de energía generados por parte del sistema puede expresar de la siguiente manera:

$$P_1 = P_2 + \gamma h_L$$

$$h_L = h_{L1} + h_{L2}$$

Donde:

h_{L1} = Pérdidas mayores por fricción en las tuberías

h_{L2} = Pérdidas menores por los accesorios en las tuberías

2.4.1.1. Pérdidas mayores por fricción en las tuberías. En las tuberías el flujo de los fluidos está siempre acompañado del rozamiento de las partículas entre sí y con las mismas paredes de la tubería. La ecuación general de pérdida de presión en las tuberías fue estudiada por Darcy cuya ecuación establecida se expresa de la siguiente manera:

$$h_{L1} = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

f = factor de fricción (adimensional)

L = longitud del conducto

D = diámetro del conducto

V = velocidad del flujo

g = gravedad

Para poder determinar el factor de fricción f , lo que se debe conocer primeramente es saber si el flujo que estamos analizando es de tipo laminar o turbulento, con ayuda del número de Reynolds podremos saberlo.

Según Cengel & Cimbala (2006). El número de Reynolds es un valor sin unidades que se usa en física e ingeniería para saber el tipo régimen del fluido. Dicha expresión es la siguiente:

$$Re = \frac{V_{prom} D}{\nu} = \frac{\rho V_{prom} D}{\mu}$$

Donde:

V_{prom} = velocidad promedio del fluido

D = longitud característica de la geometría del diámetro

$\nu = \frac{\rho}{\mu}$ = viscosidad cinemática del fluido

μ = viscosidad dinámica del fluido

ρ = densidad del fluido

Entonces sí:

$$Re \leq 2300 \rightarrow \text{flujo laminar}$$

$$2300 \leq Re \leq 4000 \rightarrow \text{flujo transitorio}$$

$$Re \geq 4000 \rightarrow \text{flujo turbulento}$$

Teniendo en claro el régimen del flujo se puede determinar el factor de fricción mediante las siguientes ecuaciones:

Tabla 2

Ecuaciones para hallar el factor de fricción

Régimen del flujo	Ecuación para hallar (f)	Descripción
Laminar	$f = \frac{64}{Re}$	poiseville
Turbulento	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1.8 \log \left(\frac{6.9}{Re} + \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} \right)^{1.1} \right)$	Haaland

Nota. Estas son las ecuaciones para hallar el factor de fricción dependiendo del régimen de flujo en el que se encuentre.

En la ecuación para flujo turbulento se nota la expresión $\frac{\varepsilon}{D}$ que representa la rugosidad relativa, en las cuales los valores de la rugosidad dependen del material de la tubería.

El factor de fricción f también se puede obtener mediante el diagrama de Moody tanto para un flujo laminar o flujo turbulento, para ello basta con conocer la rugosidad relativa $\frac{\varepsilon}{D}$ y el número de Reynolds. Ver **Anexo 1.3**

2.4.1.2. Pérdidas menores por los accesorios en las tuberías. La pérdida de energía en este tipo de condiciones se debe a fenómenos físicos bastantes complejos, la predicción teórica de la magnitud de esta pérdida también es compleja, y, por lo tanto, usualmente se utilizan datos experimentales.

Según Mott & Untener (2015). Menciona que Las pérdidas de energía dependen directamente de la carga asociada a la velocidad del fluido cuando este circula a través de un codo, una ampliación o reducción del área de flujo, o de una válvula. Usualmente, los resultados experimentales de estas pérdidas se expresan mediante un coeficiente de resistencia, K , definido de la siguiente forma.

$$h_{L2} = K \frac{V^2}{2g}$$

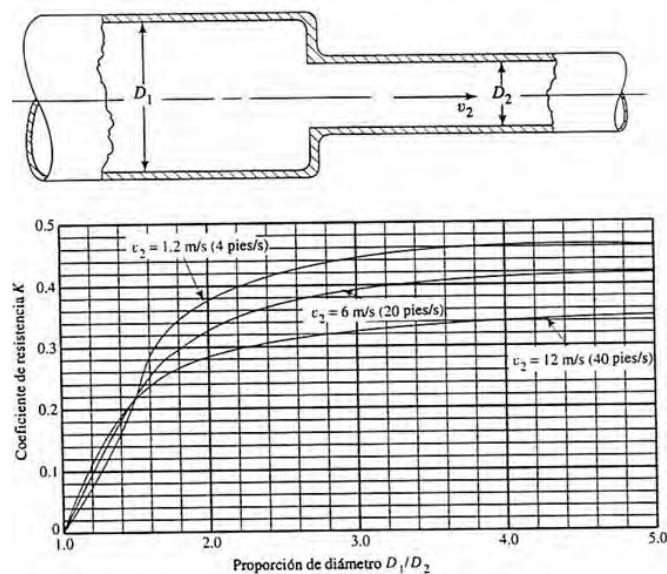
De manera general obtendremos el coeficiente de resistencia los accesorios que intervienen en una red de distribución de gases presurizados.

a) Accesorios para reducción. Para determinar este coeficiente de resistencia depende de la razón entre los diámetros de contracción súbita y la velocidad en la corriente hacia abajo del conducto menor. La ecuación se expresa de la siguiente manera.

$$h_{L2.1} = K \frac{V_2^2}{2g}$$

Figura 5

Coefficiente de resistencia para contracción súbita



Nota. Esta imagen fue tomada de *Mecánica De Fluidos*. (p.234) por Mott & Untener, 2015.

b) Accesorios para válvulas y juntas. La pérdida de energía que ocurre cuando un fluido pasa por una válvula o juntera se calcula usando un método distinto para hallar el coeficiente de resistencia, el cual se expresa mediante la siguiente ecuación

$$K = f_t \left(\frac{L_e}{D} \right)$$

Donde:

$\frac{L_e}{D}$ = proporción de longitud equivalente

f_t = factor de fricción en el conducto al cual está conectada a la válvula o juntera

Entonces f_t se calcula mediante la rugosidad relativa $\frac{\varepsilon}{D}$, utilizando el diagrama de Moody en la zona de turbulencia completa, por consiguiente, la ecuación queda de la siguiente manera.

$$h_{L2.2} = f_t \left(\frac{L_e}{D} \right) \frac{V^2}{2g}$$

2.5. Normativas para el diseño de una red de distribución de oxígeno.

El diseño de una red de distribución de oxígeno medicinal se fundamenta en el cumplimiento de normativas tanto a nivel nacional como internacional, con el propósito de garantizar la seguridad, eficiencia y calidad del suministro en los establecimientos de salud. A nivel nacional, se consideran las disposiciones emitidas por el Ministerio de Salud del Perú y sus Normas Técnicas de Salud vigentes. Complementariamente, se adoptan estándares internacionales reconocidos, como la Asociación Nacional de Protección contra Incendios - National Fire Protection Association (NFPA 99), los cuales establecen criterios para el diseño, instalación y seguridad de sistemas de gases medicinales.

2.5.1. Normativa nacional.

El Hospital Regional del Cusco, es un establecimiento de salud considerado con la categoría nivel III-1, dicho de este modo se utiliza las normas técnicas de salud emitidas por el ministerio de salud del Perú.

Según las normativas técnicas de salud en infraestructura y equipamiento de los establecimientos de salud del tercer nivel de atención, NTS N° 119. Mencionan sobre el sistema de gases medicinales lo siguiente: ver **Anexo 2**

Como se puede observar esta norma técnica de salud aun no fue actualizada desde el 2015, también no brinda detalles sobre los parámetros de diseño como: presiones dentro de las tuberías, pérdidas de presión permitidas, factores de simultaneidad para encontrar la demanda de diseño y también no brinda información sobre la preparación y montaje de las tuberías y pruebas del sistema de la red. Es por ello que se recurre a normativas internacionales mejor detalladas.

2.5.2. Normativa Internacional.

Según la National Fire Protection Association, a través de la norma NFPA 99, se

establecen los criterios para el diseño, instalación y seguridad de sistemas en establecimientos de salud, incluyendo los sistemas de gases medicinales como el oxígeno. Esta normativa tiene como objetivo principal garantizar la seguridad de los pacientes, el personal médico y las instalaciones hospitalarias mediante la prevención de riesgos asociados a fallas, incendios o fugas en dichos sistemas.

Cabe resaltar que para capítulos posteriores como los capítulos III, IV, V, se hará uso de estas normativas nacionales como internacionales, con apoyo de criterios técnicos de instalación de sistema de gases medicinales.

CAPITULO III:

CAPACIDAD PRODUCTIVA Y LA DEMANDA DEL OXÍGENO EN EL HOSPITAL REGIONAL DE CUSCO

El oxígeno medicinal constituye uno de los recursos más importantes para la atención de pacientes en establecimientos de salud, por lo que garantizar su disponibilidad continua y segura resulta fundamental para el funcionamiento hospitalario. En el Hospital Regional de Cusco, la capacidad de producción de oxígeno mediante las plantas generadoras existentes es técnicamente factible para cubrir la demanda actual del establecimiento. Sin embargo, se presentan limitaciones en la forma de distribución del oxígeno producido, lo que afecta la eficiencia del suministro hacia las áreas de atención.

Actualmente, el hospital cuenta con tres modalidades de abastecimiento y distribución de oxígeno. La primera corresponde al sistema de manifolds de cilindros, el cual dispone de una red de distribución centralizada mediante tuberías independientes. La segunda modalidad está conformada por el tanque criogénico, que igualmente cuenta con un sistema centralizado y una red de tuberías diseñada para suministrar oxígeno a los diferentes servicios hospitalarios. Ambos sistemas permiten una distribución continua y segura del gas medicinal hacia los puntos de consumo.

La tercera modalidad corresponde a las plantas generadoras de oxígeno tipo PSA, cuya producción tiene la capacidad de satisfacer los requerimientos de consumo del hospital. No obstante, este sistema no dispone de una red de distribución centralizada ni de una infraestructura de tuberías que permita transportar directamente el oxígeno hacia las áreas usuarias. Como consecuencia, el suministro se realiza mediante el traslado de cilindros presurizados en carretas, generando mayores tiempos de operación, esfuerzos logísticos adicionales y limitaciones en la continuidad del servicio.

figura 6

Distribución del oxígeno mediante carretas



Nota. La imagen es una fotografía realiza a un trabajador del Hospital Regional de Cusco

3.1. Capacidad productiva del oxígeno en el centro hospitalario.

3.1.1. Manifolds o bancadas.

El Hospital Regional de Cusco cuenta actualmente con tres bancadas distribuidas estratégicamente en el primer piso de la infraestructura hospitalaria. La bancada 1 abastece oxígeno al servicio de medicina – B con 22 tomas de oxígeno, la bancada 2 abastece oxígeno al servicio de emergencia con 17 tomas de oxígeno y la bancada 3 abastece oxígeno al servicio de cirugía – A, con 34 tomas de oxígeno y también al servicio de traumatología con 37 tomas de oxígeno. Su distribución esta centralizada mediante una red de tuberías que garantizan su disponibilidad oportuna.

Figura 7

Bancada para suministrar el oxígeno a los pacientes hospitalizados



Nota. La imagen es una fotografía realiza de la bancada 2 del Hospital Regional de Cusco.

3.1.2. Tanque criogénico.

El Hospital Regional de Cusco actualmente cuenta con un tanque criogénico que abastece oxígeno al servicio de centro quirúrgico con 13 tomas de oxígeno y al servicio de neonatología con 31 tomas de oxígeno y al servicio de UCI con 15 tomas de oxígeno, también mencionar que la recarga del tanque criogénico se realiza cada 10 días aproximadamente, cabe resaltar que, dentro del tanque criogénico, el oxígeno se encuentra en dos estados líquido y gaseoso, en tal sentido el llenado de este tanque debe ser como máximo 140 in WC a presión hidrostática del oxígeno en estado líquido lo que permite inferir la masa de oxígeno que hay dentro del tanque y a una presión estática de vapor no superior a los 150 psi por recomendaciones técnicas. Su distribución esta centralizada mediante una red de tuberías que garantizan su disponibilidad oportuna.

Figura 8

Tanque criogénico para suministrar el oxígeno a los pacientes hospitalizados.



Nota. La imagen es una fotografía del tanque criogénico del Hospital Regional de Cusco

3.1.3. Plantas generadoras de oxígeno con tecnología PSA.

El Hospital Regional de Cusco cuenta con tres plantas generadoras de oxígeno, pero solo dos de ellas están operativas la tercera tiene problemas de mantenimiento y problemas administrativos ya que fue donación por una institución ajena a la investigación, por ello la inoperatividad de dicha planta. Cabe resaltar que cada planta puede producir cilindros presurizados a 2500 psi y una pureza mayor del 93%. Estos cilindros serán distribuidos a los diferentes servicios de la infraestructura hospitalaria mediante carretas que hacen que su distribución sea muy ineficaz y también peligrosa ya que puede explotar por la caída accidental al momento de su manipulación. La capacidad de producción de estas plantas se especifica en la tabla 3. Su distribución no está centralizada mediante una red de tubería,

Tabla 3

Capacidad productiva del oxígeno en el centro hospitalario

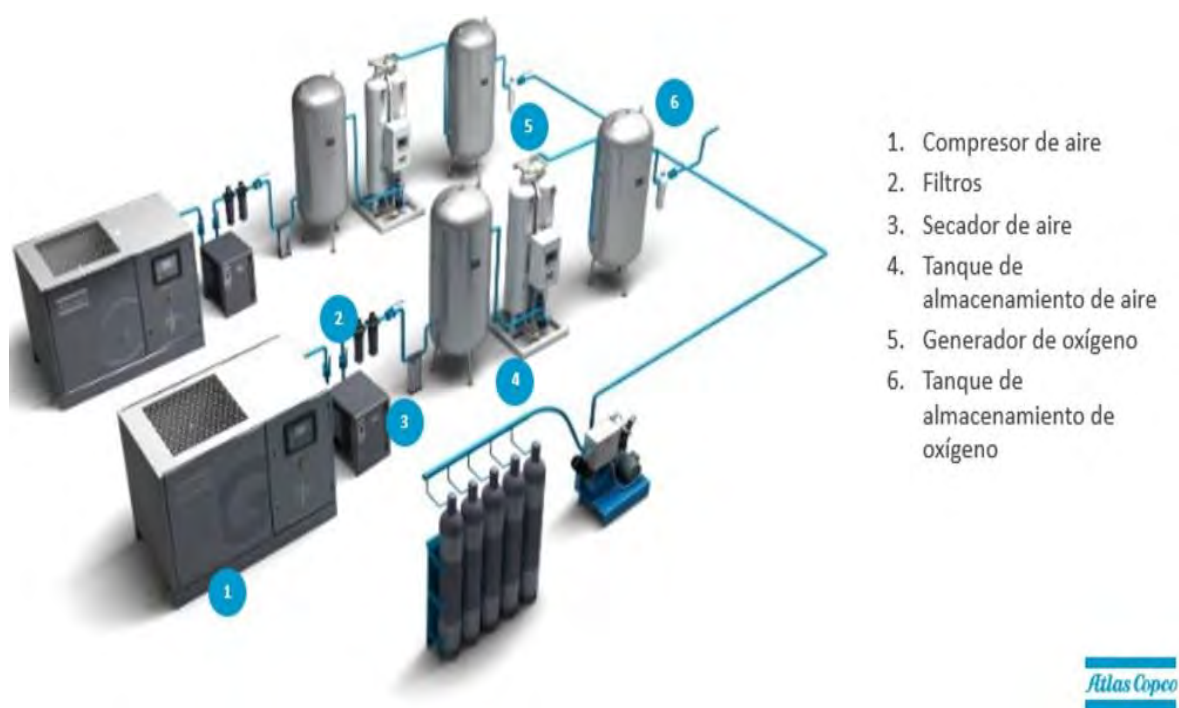
Plantas	Descripción	Estado	Capacidad
planta 1	UNI - MINSA	operativa	20 m ³ / hora
planta 2	Arzobispado	operativa	22.7 m ³ / hora
planta 3	Donación juegos panamericanos	inoperativa	20 m ³ / hora

Nota. Esta tabla es elaboración propia, los datos fueron obtenidos mediante el **Anexo 9**

Entonces se da como resultado la capacidad de producción de oxígeno en el centro hospitalario, el valor de 42.7 m³/ hora.

Figura 9

Planta de producción de oxígeno



Nota. La imagen fue tomada del portafolio de *Atlas Copco* (p.5)

3.2. Análisis Demanda del oxígeno en el centro hospitalario en el periodo 2022-2025

La presente investigación cuenta con una base de dato real de la demanda del oxígeno

medicinal correspondiente al periodo comprendido entre los años del 2022 al 2025. La información fue obtenida a partir de los registros cuantificables del consumo de oxígeno que maneja el centro hospitalario, garantizando la validez y confiabilidad de los datos utilizados.

El oxígeno medicinal suministrado durante este periodo es distribuido en cilindros presurizados hacia las diferentes áreas asistenciales del hospital. El análisis de esta demanda real de oxígeno resulta de gran relevancia, ya que permite identificar las áreas con mayor consumo. A partir de esta información, se podrá proyectar las demandas futuras de oxígeno medicinal en función a un factor de seguridad a través de demanda real del oxígeno. Esta data constituye una herramienta fundamental para mejorar la planificación del abastecimiento.

3.2.1. Comportamiento de la demanda del oxígeno

Para entender de mejor manera el comportamiento de la demanda del oxígeno a lo largo de los años, se recopilaron los registros de consumo mensual y diario correspondientes a los años de estudio. Se prestó especial atención a los días con mayores niveles de consumo, ya que estos permiten identificar los momentos de mayor consumo dentro del centro hospitalario. A partir de esta información, se obtuvo la suma total anual, lo que permitió determinar la demanda global por cada año y analizar si dicha demanda ha mostrado un incremento progresivo con el paso del tiempo. En la siguiente tabla se entenderá de mejor manera lo mencionado.

Tabla 4

Demanda del oxígeno para el periodo 2022 al 2025

	2022		2023		2024		2025	
Mes	Maxima demanda por día (m3)	Demanda por mes (m3)	Maxima demanda por día (m3)	Demanda por mes (m3)	Maxima demanda por día (m3)	Demanda por mes (m3)	Maxima demanda por día (m3)	Demanda por mes (m3)
Enero	230	5380	194.71	3886.18	205	4653.1	215.81	4653.1
Febrero	240	4610	221.95	3165.96	213	4471.25	277.88	5900.64
Marzo	250	3980	283.21	5241.94	233.85	4460.5	358.56	7086.64

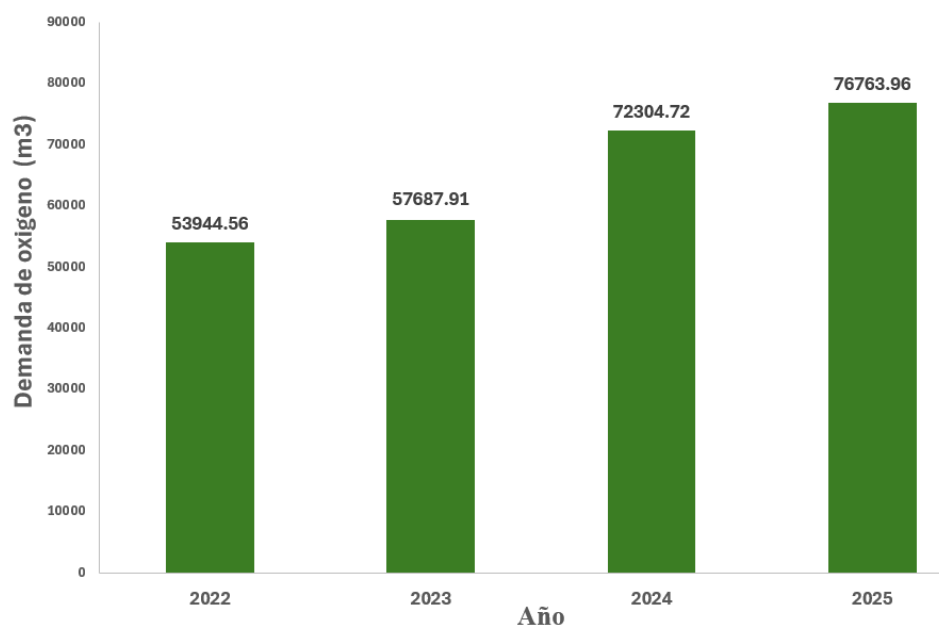
Abril	210	3730	295.94	6024.31	289.73	5564.24	383.04	6942.2
Mayo	300	4830	284.21	6191.67	300.06	6685.94	336.84	6953.08
Junio	300	4830	337.95	5758.48	327.84	6536.93	339.6	7825.84
Julio	246	4872.1	247.22	5208.34	290	5876.75	353.04	8245.72
Agosto	224.1	4727.28	280.00	4875.55	442.8	7944.12	372	6950.58
Setiembre	289.08	4908.24	197.21	3959.4	299.31	6776.26	324.08	7064.2
Octubre	241.14	4450.84	215.79	4068.16	225	6043.75	287.88	6276.76
Noviembre	272.65	4228.17	230.36	4306.84	364.08	7231.24	209.96	4358.6
Diciembre	198.68	3397.93	244.80	5001.08	293.4	6060.64	260.64	4506.6
Total		53944.56		57687.91		72304.72		76763.96

Nota. Esta tabla nos brinda la información necesaria para identificar la demanda del oxígeno comprendida entre los años 2022 al 2025.

Ahora bien, a pesar de que estos datos muestran un incremento anual, no es apropiado analizar de manera anual el comportamiento de la demanda real ya que los datos anuales son insuficientes y las variaciones temporales varia significativamente

Figura 10

Demanda anual del oxigeno



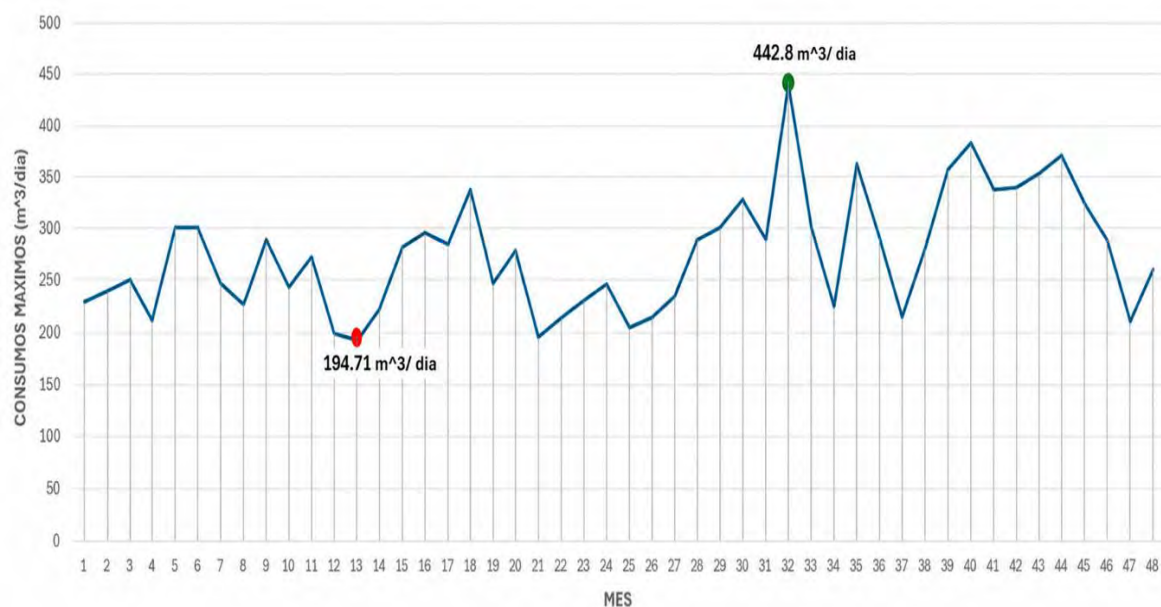
Nota. Esta tabla se puede apreciar el incremento de la demanda del oxígeno

Para sistemas de suministro de oxígeno medicinal, el análisis basado únicamente en valores anuales no es suficiente para identificar con precisión el comportamiento real de la demanda. Dado que el consumo de oxígeno presenta variaciones estacionales, picos de consumo. Entonces es más adecuado usar series temporales de mayor impacto, como datos mensuales o diarios.

En este contexto, resulta preferible utilizar un análisis de datos diarios y la identificación de picos de consumo, ya que estas herramientas permiten detectar patrones recurrentes y evaluar comportamientos reales en la demanda. En este sentido se proporciona una representación más fiel del comportamiento del sistema en el tiempo y genera tendencias más robustas y confiables que las que se pueda obtener mediante un análisis anual.

Figura 11

Consumos máximos por día de cada mes



Nota. Esta grafica representa los valores altos más de consumo de oxígeno a lo largo de 48 meses obtenidas de la **tabla 4**.

3.2.2. Análisis estadístico de la demanda del oxígeno

3.2.2.1. Percentil (90). Con la finalidad de identificar la evolución de la demanda a lo largo del tiempo, el análisis estadístico se efectuó de manera independiente para cada año. Este procedimiento permite evaluar el comportamiento de la demanda en cada periodo y detectar tendencias de crecimiento que podrían quedar ocultas al analizar todos los datos de forma conjunta como los datos anuales.

Dentro de las medidas estadísticas disponibles para caracterizar una serie de datos se encuentran la media aritmética, la mediana, y los percentiles. Sin embargo, para el dimensionamiento de sistemas hospitalarios de suministro de oxígeno, la utilización exclusiva de la media aritmética presenta limitaciones debido a que representa únicamente el comportamiento promedio de los consumos. De igual manera, la mediana identifica el valor central de la distribución, pero no refleja adecuadamente los escenarios de alto consumo que la red debe ser capaz de abastecer.

Por otro lado, el empleo del valor máximo histórico como criterio de diseño puede conducir a un sobredimensionamiento de la instalación, debido a que dicho valor puede corresponder a una condición excepcional que no representa el comportamiento habitual del sistema.

En consecuencia, se adoptó el percentil 90 (P90) como indicador de demanda de diseño, debido a que permite considerar condiciones elevadas de consumo sin llegar a los valores extremos. Este criterio establece que el 90 % de los registros históricos presentan valores iguales o inferiores al percentil calculado, mientras que únicamente el 10 % de los datos superan dicho valor. Por esta razón, el percentil 90 constituye una herramienta estadística adecuada para representar escenarios de alta demanda manteniendo un equilibrio común en los datos. El percentil 90 se expresa de la siguiente manera:

$$posicion = k * (N - 1) + 1$$

Donde:

k = Es el percentil deseado, expresado como decimal

N = Es el número total de datos.

A partir de esta posición calculada, la fórmula interpola matemáticamente entre el valor que está justo antes y justo después de esa posición para devolverte el resultado exacto.

Entonces para el año 2022 se tiene los siguientes datos:

$$posicion = k * (N - 1) + 1$$

$$posicion = 0.9 * (12 - 1) + 1$$

$$posicion = 10.9$$

La posición 10.9 está entre la posición 10 y 11: Interpolando

$$\text{Posición 10} = 289.08$$

$$\text{Posición 10.9} = x$$

$$\text{Posición 11} = 300$$

$$x = 289.08 + (300 - 289.08) * 0.9$$

$$x = 298.908 / \text{percentil (90)}$$

Los resultados que se muestran en la **tabla 5** dan una tendencia general de incremento de la demanda de oxígeno durante el periodo de estudio. Si bien existen variaciones propias del comportamiento operativo del hospital, los percentiles calculados evidencian que los requerimientos de oxígeno han aumentado progresivamente, alcanzando su valor más alto en el año 2025.

Tabla 5*Resultados de los percentiles para cada periodo anual*

Año/ posición	2022 (m³/día)	2023 (m³/día)	2034 (m³/día)	2025 (m³/día)
posición 1	198.68	194.71	205	209.96
posición 2	210	197.21	213	215.81
posición 3	224.1	215.79	225	260.64
posición 4	230	221.95	233.85	277.88
posición 5	240	230.36	289.73	287.88
posición 6	241.14	244.80	290	324.08
posición 7	246	247.22	293.4	336.84
posición 8	250	280.00	299.31	339.6
posición 9	272.65	283.21	300.06	353.04
posición 10	289.08	284.21	327.84	358.56
posición 11	300	305.94	364.08	372
posición 12	300	337.95	442.8	383.04
percentil (90)	298.908	302.767	360.456	370.656

Nota. Esta tabla fue de elaboración propia.

3.2.2.2. Tasa de crecimiento anual acumulado. Con el propósito de estimar los requerimientos futuros de suministro y garantizar que la demanda de diseño responda adecuadamente al crecimiento esperado, se realizó una proyección de la demanda para un horizonte de cinco años. Para ello, se empleó la Tasa de Crecimiento Anual Compuesta (TCAC), utilizando los datos calculados de los percentiles 90 obtenidos para cada año analizado

La tasa de crecimiento anual compuesta se determinó mediante la siguiente expresión:

$$TCAC = \left(\frac{V_f}{V_i} \right)^{\frac{1}{n}} - 1$$

donde:

V_f es el valor final de la serie analizada.

V_i es el valor inicial de la serie analizada.

n es el número de intervalos de crecimiento considerados.

$$TCAC = \left(\frac{370.656}{298.908} \right)^{\frac{1}{3}} - 1$$

$$TCAC = 7.43\%$$

3.3. Análisis de la demanda del oxígeno para el cuarto y quinto piso

3.3.1. Áreas de salud con mayor consumo de oxígeno

Para poder identificar las áreas de mayor consumo se debe recurrir a los reportes mensuales, como también a los reportes diarios en la cual se identificó un patrón común entre todos ellos, las cuales las áreas de salud con mayor consumo fueron: Medicina- C y Medicina-A ubicados en el quinto piso y cuarto piso respectivamente de la infraestructura hospitalaria. Ver **Anexo 3.** se detalla de mejor manera.

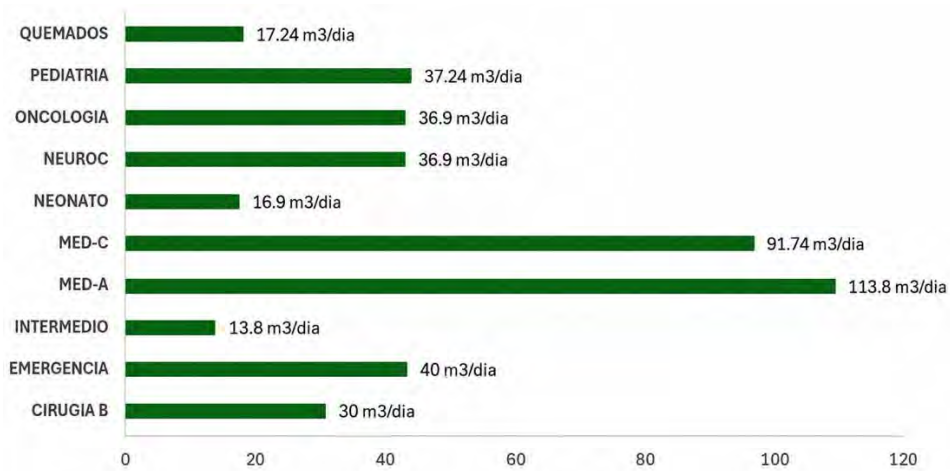
Tras identificar las áreas con mayor demanda de oxígeno, se determinó la necesidad de ampliar el análisis hacia los niveles del hospital donde se concentra este consumo. En particular, destacan las áreas de Neurociencia ubicadas en el quinto piso conjuntamente con el área de Medicina- C, así como las áreas de Oncología y Pediatría en el cuarto piso en donde también se encuentra Medicina- A.

Por esta razón, se plantea el diseño de una red de distribución de oxígeno específicamente para los pisos cuarto y quinto, con el fin de asegurar un suministro adecuado y acorde a las necesidades reales de estos servicios.

Ahora teniendo en claro las áreas de estudio se procedió a identificar y prestar mayor atención al día que mayor consumo de oxígeno se registró para dichas áreas, en la cual se identificó tal fecha que el 15 de agosto del 2024 tuvo una demanda hospitalaria general de 434.52 m³/día y para las áreas del cuarto y quinto piso la demanda de 316.58 m³/día.

Figura 12

Máximo consumo de oxígeno registrado en el cuarto y quinto piso



Nota. Esta grafica representa al día de mayor consumo de oxígeno en el cuarto y quinto piso del hospital a lo largo de un periodo de 48 meses.

Ahora teniendo el valor 316.58 m³/día, se realizará su proyección en un periodo de 5 años. A partir de la tasa obtenida, la demanda futura fue proyectada utilizando el modelo de crecimiento compuesto:

$$D_t = D_0 * (1 + r)^t$$

donde:

D_t es la demanda proyectada para el año futuro.

D_0 es la demanda base correspondiente al periodo 2022-2025.

r es la tasa de crecimiento anual compuesta.

t es el número de años proyectados.

$$D_t = 316.58 * (1 + 0.0743)^1$$

$$D_t = 340.10 \text{ m}^3/\text{día}$$

Tabla 6*Proyección de la demanda del consumo del oxígeno*

Año	Percentil proyectado (m³/día)
2026	340.10
2027	365.37
2028	392.52
2029	421.68
2030	453.01

Nota. Esta tabla fue de elaboración propia.

La aplicación de este procedimiento permitió estimar la evolución de la demanda de oxígeno para los cinco años posteriores al periodo de estudio, obteniéndose una demanda proyectada de 453.01 m³/día para el año 2030. Este valor constituye la referencia utilizada para el dimensionamiento de la red de distribución de oxígeno, ya que incorpora tanto el comportamiento histórico de la demanda como su tasa de crecimiento anual compuesto

A modo de resumen se presenta la siguiente tabla de los valores de las demandas de oxígeno halladas.

Tabla 7*Resumen de las demandas registradas*

Demandas para el cuarto y quinto piso		
Actual(máxima)	316.58 m ³ /día	13.19 m ³ /hora
Tasa de crecimiento	7.43%	
Proyectada al 2030	453.01 m ³ /día	18.87 m ³ /hora

Nota. Esta tabla nos permitirá entender de mejor manera el comportamiento del consumo de oxígeno en el hospital y nos servirá para no sobredimensionar la red de distribución de oxígeno.

3.3.2. Cantidad de camas disponibles

La presente investigación se centra en las áreas de Neurociencia, Medicina C, Medicina A, Oncología y Pediatría, ubicados en el cuarto y quinto piso de la infraestructura hospitalaria. Estas áreas fueron seleccionadas debido a que representan el mayor consumo de oxígeno medicinal dentro del hospital, constituyendo los principales puntos de demanda para el diseño de la red de distribución. En conjunto disponen de 124 camas hospitalarias y constituyen las áreas consideradas para el análisis de la demanda y el posterior dimensionamiento de la red de distribución de oxígeno medicinal.

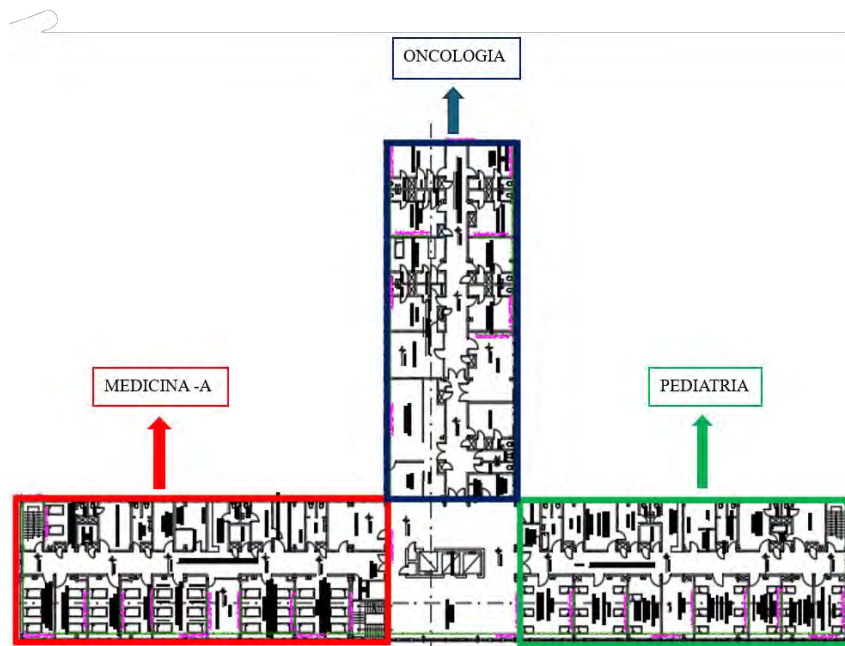
- Neurociencia, actualmente cuenta con 20 camas disponibles.
- Medicina -C, actualmente cuenta con 22 camas disponibles.
- Medicina-A, actualmente cuenta con 32 camas disponibles.
- Oncología, actualmente cuenta con 21 camas disponibles.
- Pediatría, actualmente cuenta con 29 camas disponibles.

3.3.3. Estudio de los planos arquitectónicos

Para el estudio de los planos arquitectónicos fue necesario gestionar previamente la autorización correspondiente por parte de la institución a investigar, en este caso el Hospital Regional del Cusco. Dicho permiso se obtuvo mediante el cumplimiento de los reglamentos y procedimientos establecidos por la entidad, los cuales resultaban indispensables para acceder a la información requerida. Esta autorización permitió analizar y comprender de manera precisa la infraestructura hospitalaria, especialmente en lo referente a la red de distribución de oxígeno medicinal. Contar con los planos autorizados posibilitó realizar una adecuada sectorización de la red, la localización de las camas médicas, garantizando que el diseño y la planificación cumplieran con los estándares normativos y de seguridad exigidos para este tipo de instalaciones. Ver **Anexo 12**

Figura 13

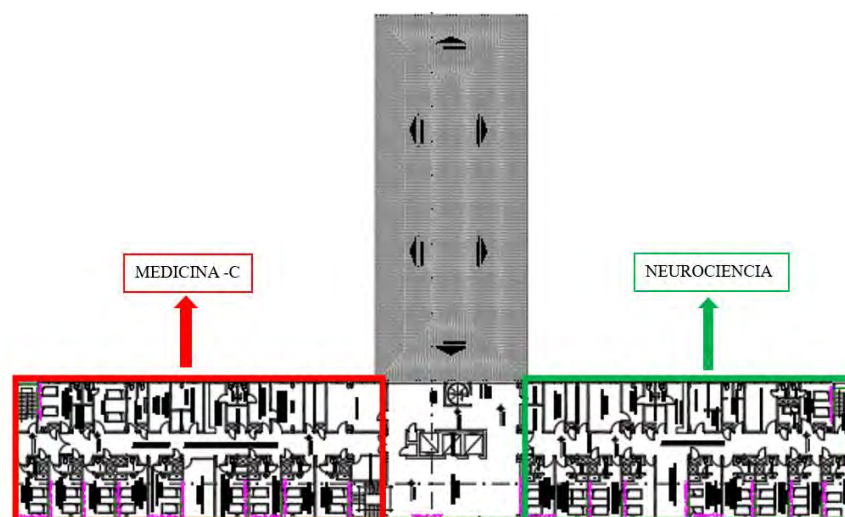
Distribución Arquitectónica Del Cuarto Piso



Nota. Distribución arquitectónica del cuarto piso donde se pretende llevar la red de distribución de oxígeno

Figura 14

Distribución Arquitectónica Del Quinto Piso



Nota. Distribución arquitectónica del quinto piso donde se pretende llevar la red de distribución de oxígeno

3.5. Determinación de la demanda de diseño y cuantificación de tomas de oxígeno.

Existen diversos criterios para determinar la cantidad de tomas de oxígeno y la correspondiente demanda de diseño en establecimientos de salud. Sin embargo, los resultados obtenidos pueden diferir significativamente dependiendo del criterio empleado, lo que podría conducir al sobredimensionamiento de la red de distribución y, en consecuencia, al incremento de los costos de instalación.

Con el propósito de seleccionar el criterio más adecuado para el presente estudio, se realizó una comparación entre los diferentes criterios tomando como base la demanda real de oxígeno previamente determinada para las áreas ubicadas en el cuarto y quinto piso del hospital, la cual fue de 13.19 m³/h. A partir de esta demanda real se evaluó el factor de seguridad asociado a cada criterio de diseño, permitiendo identificar aquel que representa de manera más adecuada las condiciones reales de operación del establecimiento.

3.5.1. *Determinación de la demanda de diseño según el criterio de Church*

El criterio propuesto por Church establece lineamientos para la cuantificación de tomas de oxígeno y la determinación de la demanda de diseño en áreas de hospitalización. Entre las principales consideraciones se encuentran las siguientes:

- Habitaciones de pacientes (médicas y quirúrgicas), a veces una toma de oxígeno por cada cama y a veces una toma de oxígeno por cada dos camas, este criterio depende del diseñador
- Donde se usa oxígeno para ventiladores controlados por fluidos, el volumen debe ser de 40 LPM con un factor de simultaneidad del 100%
- Los factores de simultaneidad para estos espacios, la primera salida debe ser de 20LPM con un factor de uso de 100%. para salidas adicionales se debe usar 10LPM con los siguientes factores de simultaneidad. Ver **Anexo 4**

Tabla 8

Factores de simultaneidad de acuerdo al número de salidas y demandas mínimos a respetar

Salidas	Porcentaje	LPM
1 a 3	100%	
4 a 12	75%	min. 45
13 a 20	50%	min. 115
21 a 40	33%	min. 125
40 a mas	25%	min. 155

Nota. Esta tabla fue adoptada de *Practical Plumbing Design Guide*. (p.185-187) por Church, 1979.

Considerando la distribución actual de los servicios hospitalarios y las 124 camas existentes en los ambientes del cuarto y quinto piso, se determinó la instalación de 97 tomas de oxígeno estratégicamente ubicadas. Aplicando el criterio de Church, se obtuvo una demanda de diseño de 662.3 LPM, equivalente a 39.74 m³/h. Ver **Apéndice A**

Con la finalidad de comparar esta demanda con el consumo real actual, se calculó el factor de seguridad mediante la siguiente expresión:

$$F_s = \frac{\text{demanda de diseño}}{\text{demanda actual}}$$

$$F_s = \frac{39.74 \text{ m}^3/\text{hora}}{13.19 \text{ m}^3/\text{hora}}$$

$$F_s = 3$$

3.5.2. Determinación de la demanda de diseño según el criterio de la normativa IMSS

La normativa IMSS establece que cada cama hospitalaria debe contar con una toma de oxígeno, por lo que para las 124 camas existentes se requieren 124 tomas. Aplicando los criterios de simultaneidad y demanda establecidos por dicha normativa, se obtuvo una demanda de diseño de 994 LPM, equivalente a 59.64 m³/h. Ver **Anexo 5**.

El factor de seguridad correspondiente es:

$$F_s = \frac{\text{demanda de diseño}}{\text{demanda actual}}$$

$$F_s = \frac{59.64 \text{ m}^3/\text{hora}}{13.19 \text{ m}^3/\text{hora}}$$

$$F_s = 4.5$$

3.5.3. Determinación de la demanda de diseño según el criterio de la normativa NFPA 99

La normativa NFPA 99 también considera una toma de oxígeno por cada cama hospitalaria; por lo tanto, para las 124 camas existentes se requieren 124 tomas. Asimismo, establece una capacidad de 20 LPM por toma y la aplicación de factores de simultaneidad en función del número total de salidas. Para el presente caso corresponde un factor de simultaneidad del 50 %. Aplicando dichos criterios se obtuvo una demanda de diseño de 1240 LPM, equivalente a 74.4 m³/h. Ver **Anexo 6**.

El factor de seguridad correspondiente es:

$$F_s = \frac{\text{demanda de diseño}}{\text{demanda actual}}$$

$$F_s = \frac{74.4 \text{ m}^3/\text{hora}}{13.19 \text{ m}^3/\text{hora}}$$

$$F_s = 5.6$$

3.5.4. Comparación y selección del criterio de diseño

Con la finalidad de seleccionar el criterio más adecuado para el dimensionamiento de la red de distribución de oxígeno medicinal, se compararon las demandas de diseño obtenidas mediante el criterio de Church, la normativa IMSS y la normativa NFPA 99. La evaluación se realizó considerando la demanda real actual, la demanda proyectada al año 2030 para los

ambientes del cuarto y quinto piso, así como la capacidad de producción de la planta generadora de oxígeno del hospital.

Tabla 9

Comparación de los criterios de diseño para la red de distribución de oxígeno

Descripción	Church	IMSS	NFPA 99
Demanda de diseño del oxígeno (m ³ /h)	39.74	59.64	74.4
Factor de seguridad respecto a la demanda actual (13.19 m ³ /h)	3	4.5	5.6
Factor de seguridad respecto a la demanda proyectada al 2030 (18.87 m ³ /h)	2.11	3.16	3.94
Compatible con la capacidad de producción de 42.7 m ³ /h	Sí	No	No

Nota. Esta tabla fue de elaboración propia.

Como se observa en la **Tabla 9**, el criterio de Church presenta la mejor correspondencia con la demanda real y proyectada del hospital, manteniendo un margen de seguridad adecuado y siendo compatible con la capacidad de producción de oxígeno instalada. En consecuencia, este criterio fue adoptado para el dimensionamiento de la red de distribución de oxígeno medicinal

CAPITULO IV:

CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE PRESIÓN CON LOS PARÁMETROS DE DISEÑO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

En este capítulo se determinaron los parámetros de diseño que deben respetarse para el dimensionamiento de la red de oxígeno medicinal. Con base en la demanda de diseño del oxígeno y los diámetros previamente seleccionados, se calcularon las pérdidas de presión de la red con el fin de verificar el adecuado funcionamiento del sistema.

Para ello, se emplearon dos métodos: el primero basado en los principios de la mecánica de fluidos, considerando las pérdidas por fricción y accesorios; y el segundo basado en tablas de diseño, utilizando la caída de presión por longitud de tubería. Posteriormente, los resultados obtenidos fueron comparados y validados mediante el software Pipe Flow Expert, con el fin de evaluar la concordancia entre los cálculos analíticos y computacionales, así como justificar las diferencias y márgenes de error obtenidos, verificando la confiabilidad de los criterios adoptados para el dimensionamiento de la red

En el **Apéndice B** se presenta un flujograma que resume y detalla la secuencia de la memoria de cálculo desarrollada en el presente capítulo, facilitando la comprensión del procedimiento empleada

4.1. Parámetros de diseño para un sistema de distribución de oxígeno

El diseño de los sistemas de distribución de oxígeno exige el cumplimiento parámetros establecidos. Estos parámetros, basados en normativas nacionales e internacionales y guías técnicas especializadas, permiten definir valores esenciales relacionados con presión de línea, caídas de presión, velocidades permitidas, materiales, entre otros. De esta manera, se garantiza que tanto la red primaria como las redes secundarias operen de manera confiable, eficiente y acorde con las necesidades clínicas del servicio.

4.1.1. Presión de operación

Para el correcto diseño del sistema de distribución de oxígeno medicinal, se considera que la red primaria debe operar típicamente 3.5 bar, entonces la presente investigación se empleó la presión de 55 psi para el desarrollo de los cálculos correspondientes, cabe resaltar que estas presiones de trabajo son manométricas. Ahora con respecto a la caída de presión del sistema queda como permitido un valor menor de 5 psi.

Figura 15

Presiones de trabajo y perdidas de presión para diferentes gases

SUMINISTRO	PRESIÓN DE SALIDA A LOS SERVICIOS	CAÍDA DE PRESIÓN DEL SISTEMA
Oxígeno	50 a 55 PSI	< 5 PSI
Óxido nitroso	50 a 55 PSI	< 5 PSI
Aire comprimido	50 a 55 PSI	< 5 PSI
Vacío	15 Pulg. Hg	< 4 Pulg. Hg o 3 Pul Hg

Nota. Esta imagen fue tomada de *Sistema De Gases Médicos: Una Guía Práctica Para El Diseño*, (p.17) por Godofredo, 2012.

4.1.2. Velocidad del gas en las tuberías

Según Lázaro (2008), para garantizar un funcionamiento adecuado en las tuberías destinadas al transporte de gases medicinales, se recomienda que la velocidad del fluido no exceda los 15 m/seg, ya que valores superiores pueden incrementar significativamente las caídas de presión, el ruido y las vibraciones dentro de la red, además de elevar el riesgo de erosión en las superficies internas de las conducciones. Sin embargo, el autor enfatiza que, en condiciones de diseño óptimas, es preferible trabajar con velocidades de 8 m/seg o menores, pues estos niveles permiten mantener un flujo más estable, reducir el desgaste de los

componentes y asegurar que la entrega del gas se realice de manera segura, continua y eficiente. Esta recomendación también contribuye a mejorar la vida útil del sistema y minimizar la probabilidad de fallas operativas, especialmente en redes hospitalarias donde la confiabilidad del suministro es crítica.

4.1.3. Clase de tubería

Según la normativa NFPA99 menciona que para instalaciones de gases medicinales la tubería deberá ser de cobre sin costura de tipo K y también recomienda los diámetros mínimos para dichas instalaciones.

Figura 16

Diámetros mínimos requeridos por la NFPA 99

Diámetros Mínimos Requeridos por la NFPA 99	
GAS	DIÁMETRO MÍNIMO
Oxígeno	1/2"
Aire comprimido	1/2"
Óxido nitroso	1/2"
Vacío	3/4"

Nota. Esta imagen fue tomada de *Sistema De Gases Médicos: Una Guía Práctica Para El Diseño*, (p.16) por Godofredo, 2012.

En la Figura 17 se presentan los diámetros comerciales de las tuberías de cobre sin costura utilizadas en instalaciones de gases medicinales. La NFPA 99 establece el uso de tuberías de cobre para estos sistemas, mientras que la ASTM B88 clasifica dichas tuberías en los tipos K, L y M, de acuerdo con el espesor de su pared y sus dimensiones. Generalmente, estas tuberías se comercializan en tramos rectos de 6 m de longitud, facilitando su instalación en obra.

Figura 17*Diámetros para tubería de cobre*

Tamaño nominal pulgada	Diámetro exterior, pulgada todos los tipos	Diámetro interior pulgada	Diámetro interior milímetros	Diámetro interior metros	Diámetro interior pulgada	Diámetro interior milímetros	Diámetro interior metros	Diámetro interior pulgada	Diámetro interior milímetros	Diámetro interior metros
		K			L			M		
1/4	0,375	0,305	7,747	0,0077	0,315	8,001	0,008	—	—	—
3/8	0,500	0,402	10,211	0,0102	0,430	10,922	0,011	0,450	11,430	0,0114
1/2	0,625	0,527	13,386	0,0134	0,545	13,843	0,014	0,569	14,453	0,014
5/8	0,750	0,652	16,561	0,0166	0,666	16,916	0,017	—	—	—
3/4	0,875	0,745	18,923	0,0189	0,785	19,939	0,020	0,811	20,599	0,021
1	1,125	0,995	25,273	0,0253	1,025	26,035	0,026	1,055	26,797	0,027
1 1/4	1,375	1,245	31,623	0,0316	1,265	32,131	0,032	1,291	32,791	0,033
1 1/2	1,625	1,481	37,617	0,0376	1,505	38,227	0,038	1,527	38,786	0,039
2	2,125	1,959	49,759	0,0498	1,985	50,419	0,050	2,009	51,029	0,051
2 1/2	2,625	2,435	61,849	0,0618	2,465	62,611	0,063	2,495	63,373	0,063
3	3,125	2,907	73,838	0,0738	2,945	74,803	0,075	2,981	75,717	0,076
3 1/2	3,625	3,385	85,979	0,0860	3,425	86,995	0,087	3,459	87,859	0,088
4	4,126	3,857	97,968	0,0980	3,905	99,187	0,099	3,931	99,847	0,100
5	5,126	4,805	122,047	0,1220	4,875	123,825	0,124	4,907	124,638	0,125
6	6,125	5,741	145,821	0,1458	5,741	145,821	0,146	5,881	149,377	0,149
8	8,125	7,583	192,608	0,1926	7,583	192,608	0,193	7,785	197,739	0,198

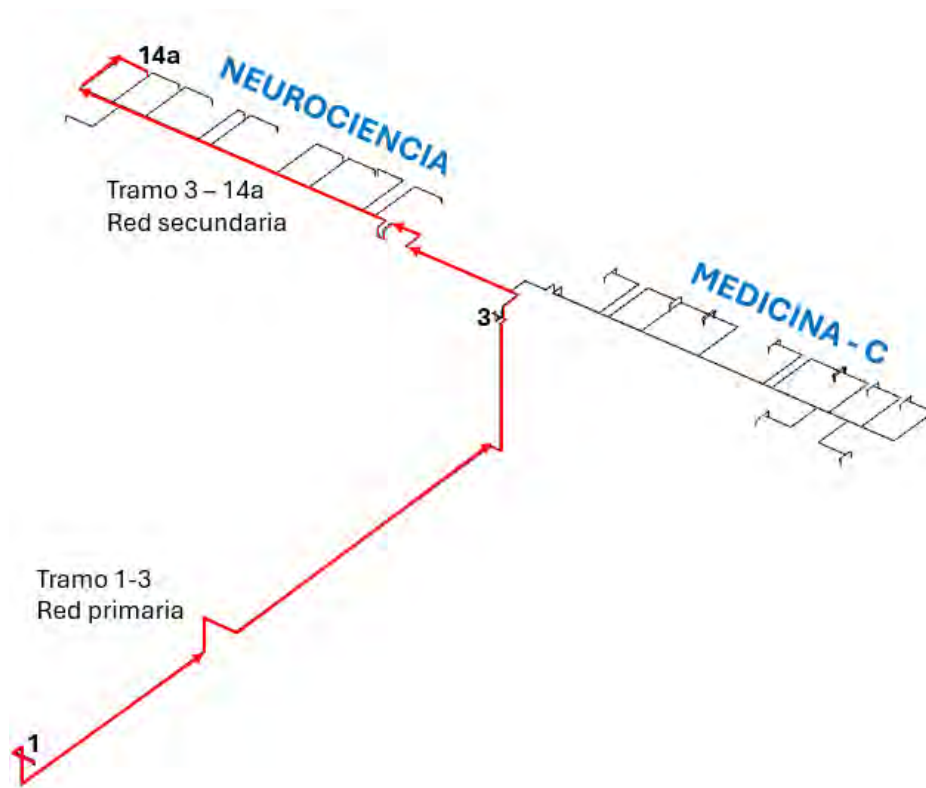
Nota. Esta imagen fue tomada de *Sistema De Conducción De Gases De Un Hospital De 120 Camas Situado En La Región Costa Que Pertenece Al Ministerio De Salud Pública Del Ecuador*, (p.82) por Sánchez & Zacarías, 2010.

4.2. Memoria de calculo

ara el desarrollo de la memoria de cálculo se establece la ruta crítica del sistema, definida como el recorrido hidráulicamente más desfavorable de la red de distribución de oxígeno medicinal. Esta ruta corresponde al tramo donde se presentan las mayores pérdidas de presión, debido a la mayor longitud de tubería, la cantidad de accesorios y las condiciones de operación del fluido. La identificación de la ruta crítica permite evaluar el comportamiento del sistema bajo las condiciones más exigentes, verificando que la presión disponible en el punto más desfavorable cumpla con los criterios de diseño establecidos para garantizar un suministro seguro y continuo. Asimismo, este análisis permite dimensionar adecuadamente los diámetros de tubería y verificar que las pérdidas de presión en red de tuberías.

Figura 18

Trazado de la ruta crítica del sistema



Nota. Esta imagen fue de elaboración propia mediante la interfaz de software Revit.

4.2.1. Método efectuando principios de mecánica de fluidos.

4.2.1.1. Consideraciones preliminares. Para poder estudiar el transporte de gases medicinales mediante tuberías dentro del hospital, en nuestro caso es para el oxígeno medicinal, para efectos de cálculos deben ser considerados con un comportamiento adiabático e isotérmico y con un flujo estacionario y también incompresibles. Como se indican a continuación.

a) Comportamiento adiabático e isotérmico en gases

Según Mott & Untener (2015). Menciona que cuando el flujo de un gas ocurre muy lentamente, es probable que se transfiera calor de los alrededores hacia o desde el gas para mantener su temperatura constante. Dicho flujo se conoce como isotérmico. Por otro lado,

cuando el flujo se produce muy rápidamente o cuando el sistema está muy bien aislado, se puede transferir muy poco calor hacia o desde el gas. Bajo condiciones ideales, sin calor transferido, el flujo se llama adiabático. En los sistemas reales se comportan de alguna manera intermedia entre isotérmica y adiabática.

Interpretación:

- En una red de tuberías presurizada el flujo interno ocurre lentamente lo que significa que el gas mantiene una temperatura constante con el medio que lo rodea tendiendo a un comportamiento isotérmico
- Si el gas se expande súbitamente como en una válvula reductora de presión su temperatura baja. lo cual explica el enfriamiento y la formación de hielo observados en las paredes de los reductores. Lo cual tiende a un comportamiento adiabático. Sin calor transferido
- En un sistema real de oxígeno medicinal combina ambos comportamientos, isotérmico en la red de tuberías y adiabático en los puntos de expansión rápida

Entonces para efectos de cálculos la temperatura del oxígeno medicinal en la red se encontrará a 15⁰C y su viscosidad dinámica no se verá afectado por la presión manométrica de diseño. Ya que trabajara como un gas ideal. ver **Anexo 1.2**

b) Flujo estacionario en gases

Según Cengel & Boles (2015). Menciona que, durante un proceso de flujo estacionario, las propiedades del fluido dentro del volumen de control podrían cambiar con la posición, pero no con el tiempo.

Interpretación:

- Se espera que el caudal no cambie con el tiempo y las presiones sean estables.

- No hay pulsos ni variaciones bruscas en la demanda del gas.
- Se diseña la red asumiendo la demanda de diseño y se calcula como si todo permaneciera constante
- Esto no significa que en la vida real el flujo no varíe; simplemente para diseño se usa el estado más exigente.

Entonces para efectos de cálculos el flujo se mantendrá constante y no cambiara con el tiempo, por lo que la demanda de diseño es de 39.74 m³/hora a presión atmosférica local de Cusco y que la presión manométrica de diseño se mantendrá estable la cual para la red es de 55 psi.

c) Fluido incompresible en gases

Según Cengel & Cimbala (2006). Menciona que la incompresibilidad es una aproximación y se dice que el flujo es incompresible si la densidad permanece aproximadamente constante a lo largo de todo el flujo. También menciona que para que un gas se comporte de manera incompresible deben cumplir dos criterios, uno de ellos es que las variaciones de densidad sean insignificantes, por lo general los cambios no deben superar el 5 %, ahora el segundo criterio es que el número de Mach deber cumplir el siguiente parámetro.

$$Ma = \frac{V}{c} = \frac{\text{velocidad del flujo}}{\text{velocidad del sonido}} < 0.3$$

Interpretación:

- En ingeniería, incompresible no significa que el gas no se comprime; significa que se puede aproximar como si su densidad fuera casi constante dentro del cálculo.
- La caída de presión entre la fuente y el punto de consumo suele ser muy pequeña comparada con la presión del sistema.

- Usar la densidad constante reduce el cálculo a fórmulas como Darcy–Weisbach para flujo incompresible.

Entonces Para que tenga validez esta aplicación se debe cumplir los dos criterios la cual es que $\Delta_p < 5\%$ y $Ma < 0.3$.

Ahora según Mott & Untener (2015). Menciona cuando se presentan grandes cambios en la presión o en la temperatura de un gas comprimido a lo largo de un sistema de flujo, se debe considerar los cambios correspondientes en el peso específico. Entonces para cualquier condición de presión y temperatura se puede calcular a partir de la ley de los gases ideales de la termodinámica, la cual define que.

$$\frac{P_{abs}}{\gamma T_{abs}} = constante = R$$

Donde:

P_{abs} = presión absoluta del gas

γ = peso específico del gas

T_{abs} = temperatura absoluta del gas, es decir temperatura por encima del cero absoluto

R = constante del gas en cuestión.

Entonces para poder seguir con los cálculos se realizó la comprobación de las consideraciones preliminares. Para ello la consideración que tiene mayor relevancia es que el fluido se comporte de manera incompresible, para ello debe cumplir los dos criterios establecidos.

➤ **Para el primer criterio**

Se supone que para la red primaria es de 80 psi y que máxima pérdida de presión es de 5 psi, entonces el peso específico se puede expresar de la siguiente manera.

$$\gamma = \frac{P_{abs}}{RT_{abs}}$$

1) A presión de 55 psi es equivalente a $379.21 * 10^3 \text{ pa}$.

$$P_{abs} = P_{atm} + P_a = 68.85 * 10^3 \text{ pa} + 379.21 * 10^3 \text{ pa} = 448.06 * 10^3 \text{ pa}$$

$$T_{abs} = (t + 273) = 15 ^\circ C + 273 = 288 \text{ K}$$

$$R = 26.5 \text{ Nm/NK (ver Anexo 7.1.)}$$

$$\gamma = \frac{448.06 * 10^3 \text{ pa}}{26.5 \text{ Nm/NK} * 288 \text{ K}} = 58.71 \text{ N/m}^3$$

$$\rho = \frac{\gamma}{g}$$

$$\rho = \frac{58.71 \text{ N/m}^3}{9.81 \text{ m/seg}^2} = 5.98 \text{ kg/m}^3$$

2) A presión de 52 psi es equivalente a $358.527 * 10^3 \text{ pa}$.

$$P_{abs} = P_{atm} + P_a = 68.85 * 10^3 \text{ pa} + 358.527 * 10^3 \text{ pa} = 427.377 * 10^3 \text{ pa}$$

$$T_{abs} = (t + 273) = 15 ^\circ C + 273 = 288 \text{ K}$$

$$R = 26.5 \text{ Nm/NK}$$

$$\gamma = \frac{427.377 * 10^3 \text{ pa}}{26.5 \text{ Nm/NK} * 288 \text{ K}} = 55.998 \text{ N/m}^3$$

$$\rho = \frac{\gamma}{g}$$

$$\rho = \frac{55.998 \text{ N/m}^3}{9.81 \text{ m/seg}^2} = 5.708 \text{ kg/m}^3$$

Entonces el cambio de densidad en porcentajes viene dado por:

$$\% \Delta \rho = \left(\frac{\rho_{55} - \rho_{52}}{\rho_{52}} \right) * 100 \%$$

$$\% \Delta \rho = \left(\frac{5.98 - 5.708}{5.708} \right) * 100 \%$$

$$\% \Delta \rho = 4.8\% < 5\% / \text{si cumple el criterio}$$

➤ **Para el segundo criterio**

Se puso como parámetro de diseño a la velocidad de fluido dentro de la tubería la cual no debe superar los 15 *m/seg* y que la velocidad del sonido queda establecida como 340 *m/seg*, entonces el segundo criterio viene formulado por la siguiente ecuación.

$$Ma = \frac{V}{c} = \frac{\text{velocidad del flujo}}{\text{velocidad del sonido}} < 0.3$$

$$Ma = \frac{15 \text{ m/seg}}{340 \text{ m/seg}} < 0.3$$

$$Ma = 0.044 < 0.3 \text{ /si cumple el criterio}$$

Mott & Untener (2015). También menciona sobre la rapidez del flujo para líneas de gas comprimido, esto quiere decir que la cantidad de suministro del gas en condiciones atmosféricas reales, en nuestro caso la demanda de diseño del oxígeno se comporta de diferente forma bajo efectos de presión y temperatura. La cual se expresa como.

$$Q_a = Q_s * \frac{P_{atm-s}}{P_{atm} + P_a} * \frac{T_{abs}}{T_s}$$

Donde:

Q_a = rapidez del flujo de volumen en condiciones reales

Q_s = rapidez del flujo de volumen en condiciones normales

P_{atm-s} = presión atmosférica absoluta estándar

P_{atm} = presión atmosférica absoluta real

P_a = presión manométrica real

T_{abs} = temperatura absoluta real

T_s = temperatura absoluta estándar = 520°R o 285K

Continuando con los cálculos se determinará la rapidez del flujo para líneas de gas comprimido, esto quiere decir que la cantidad de suministro del gas en condiciones atmosféricas reales, en nuestro caso demanda de diseño se comporta de diferente forma bajo efectos de presión y temperatura.

$$Q_a = Q_s * \frac{P_{atm-s}}{P_{atm} + P_a} * \frac{T_{abs}}{T_s}$$

$$Q_s = 662.3 \text{ LPM} = 39.74 \text{ m}^3/\text{hora} = 0.0110389 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$P_{atm-s} = 101.3 * 10^3 \text{ pa}$$

$$P_{atm} + P_a = 68.85 * 10^3 \text{ pa} + 379.21 * 10^3 \text{ pa} = 448.06 * 10^3 \text{ pa}$$

$$T_{abs} = (t + 273) = 15^\circ\text{C} + 273 = 288 \text{ K}$$

$$T_s = 285 \text{ K}$$

$$Q_a = 0.0110389 \text{ m}^3/\text{seg} * \frac{101.3 * 10^3 \text{ pa}}{620.43 * 10^3 \text{ pa}} * \frac{288 \text{ K}}{285 \text{ K}}$$

$$Q_a = 9.079 \text{ m}^3/\text{hora} = 0.002522 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Una vez definidas las condiciones preliminares del oxígeno medicinal, operando a una presión manométrica de 55 psi dentro de la tubería de la red primaria correspondiente a un tramo de la ruta crítica, se procederá al cálculo de las pérdidas de presión por tuberías y accesorios. Dichos cálculos se realizarán con el objetivo de no sobrepasar la pérdida máxima permisible de 5 psi. Para ello, mediante la adecuada selección de los diámetros de tubería, se garantizará el cumplimiento de estos parámetros de diseño

4.2.1.2. Perdida de presión por tuberías. Para determinar la perdida de presión por tuberías, se debe conocer si el flujo tiene comportamiento laminar o turbulento con el fin de conocer su factor de fricción en tal sentido se calculará de manera tabularia teniendo en cuenta los diámetros internos de las tuberías de cobre tipo K.

a) Número de Reynolds

$$Re = \frac{\rho V_{prom} D}{\mu}$$

$$\rho = 5.98 \text{ kg/m}^3$$

$$V_{prom} = \frac{Q_a}{\text{area de la tubería}} = \frac{0.002522 \text{ m}^3/\text{seg}}{\pi * \left(\frac{0.031623 \text{ m}}{2}\right)^2} = 3.21 \text{ m/seg}$$

$$D = 1 \frac{1}{4} \text{ pulg} = 0.031623 \text{ m}$$

$$\mu = 1.9994 * 10^{-5} \text{ kg/m. seg (este valor fue tabulado para } 15^{\circ}\text{C}$$

ver **Anexos 1.2 y 7.2**)

$$Re = \frac{5.98 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 3.21 \frac{\text{m}}{\text{seg}} * 0.031623 \text{ m}}{1.9994 * 10^{-5} \text{ kg/m. seg}}$$

$$Re = 30370.629$$

$$Re \geq 4000 \rightarrow \text{flujo turbulento}$$

b) Factor de fricción mediante la ecuación de Haaland

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1.8 \log \left(\frac{6.9}{Re} + \left(\frac{\varepsilon}{3.7} \right)^{1.1} \right)$$

$$Re = 30370.629$$

$$\varepsilon = 15 * 10^{-7} \text{ m (ver Anexo 1.3.)}$$

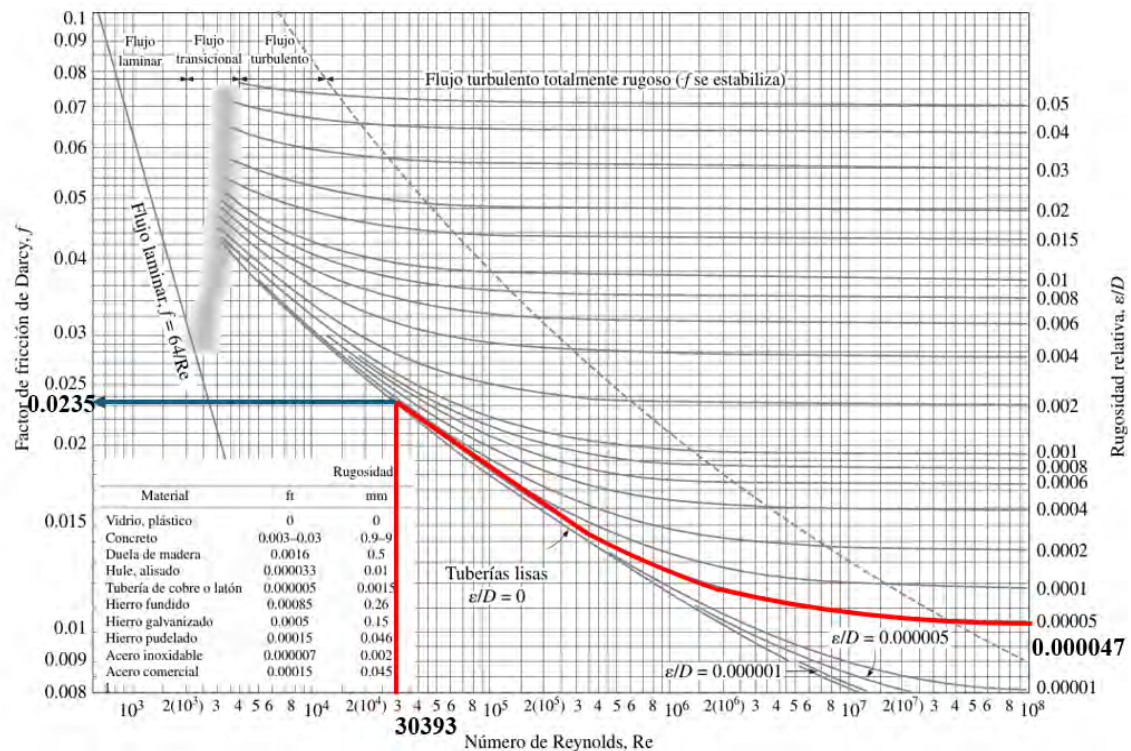
$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{15 * 10^{-7} \text{ m}}{0.031623 \text{ m}} = 4.74 * 10^{-5}$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1.8 \log \left(\frac{6.9}{30370.629} + \left(\frac{4.74 * 10^{-5}}{3.7} \right)^{1.1} \right)$$

$$f = 23.34 * 10^{-3}$$

Figura 19

Diagrama de Moody para halla el factor de fricción.



Nota. Esta imagen fue tomada de *Mecánica De Fluidos: Fundamentos Y Aplicaciones*, (p.898) por Gengel & Cimbala, 2006.

- Factor de fricción mediante el diagrama de Moody: 0.0235
- Factor de fricción mediante la ecuación de Haaland: 0.02334

Entonces está claro que ambos resultados son muy próximos. Lo cual indica una correcta valoración de cálculos.

c) Pérdida de presión mediante la ecuación de Darcy.

La ecuación de Darcy se puede expresar de la siguiente manera multiplicando por el peso específico con el fin de obtener dicha pérdida en términos de presión (Pa, psi) y no en término de cargas (m).

$$h_{L1}(\gamma) = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} (\gamma)$$

$$h_{L1}(\gamma) = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2} (\rho)$$

$$f = 23.34 * 10^{-3}$$

$$L = 85.94 \text{ m}$$

$$V_{prom} = 3.21 \text{ m/seg}$$

$$D = 1 \frac{1}{4} \text{ pulg} = 0.031623 \text{ m}$$

$$\rho = 5.98 \text{ kg/m}^3$$

$$h_{L1}(\gamma) = 23.34 * 10^{-3} * \frac{85.94 \text{ m} * \left(3.21 \frac{\text{m}}{\text{seg}}\right)^2}{0.031623 \text{ m} * 2} * (5.98 \text{ kg/m}^3)$$

$$h_{L1}(\gamma) = 1957.42 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{seg}^2}$$

$$h_{L1}(\gamma) = 1957.42 \text{ Pa} = 0.283 \text{ psi}$$

4.2.1.3. Pérdida de presión por accesorios. Luego de calcular las pérdidas por tuberías, ahora se procederá a calcular las pérdidas que están conformadas por los accesorios que posee en dicho tramo. Este valor se puede expresar de la siguiente manera.

$$h_{L2.2}(\gamma) = f_t \left(\frac{L_e}{D}\right) \frac{V^2}{2g} (\gamma)$$

$$h_{L2.2}(\gamma) = f_t \left(\frac{L_e}{D}\right) \frac{V^2}{2} (\rho)$$

Entonces ahora se procederá a encontrar los valores que faltan como es el factor de fricción en el conducto al cual está conectada a la válvula o juntera (f_t) y proporción de longitud equivalente $\left(\frac{L_e}{D}\right)$.

Entonces f_t se calcula mediante la rugosidad relativa $\frac{\varepsilon}{D}$, utilizando el diagrama de

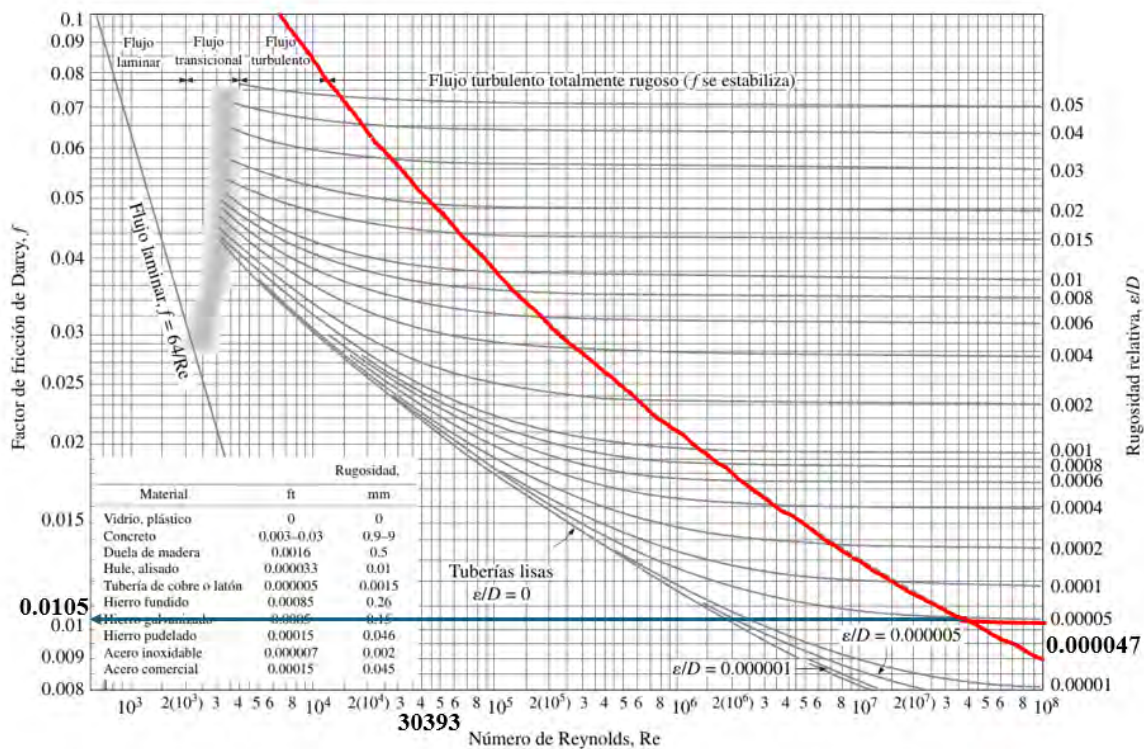
Moody en la zona de turbulencia completa, en la siguiente imagen se detallará de mejor manera.

- Para el tramo donde el diámetro nominal es de 1 ¼ in.

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{15 * 10^{-7} m}{0.031623 m} = 4.74 * 10^{-5}$$

Figura 20

Diagrama de Moody para calcular el f_t



Nota. Esta imagen fue tomada de *Mecánica De Fluidos: Fundamentos Y Aplicaciones*, (p.898) por Gengel & Cimbala, 2006.

los valores de $\left(\frac{L_e}{D}\right)$ se obtienen a partir del **Anexo 7.4**, el cual presenta los valores asignados para distintos tipos de accesorios. Sin embargo, este anexo presenta la limitación de no incluir ciertos dispositivos específicos, como las cajas de corte. Por tal motivo, fue necesario adoptar un valor aproximado, seleccionando accesorios de características similares.

Tabla 10

Longitud equivalente en diámetro de tubería

Tipo		Longitud equivalente en diámetros de tubería L_e/D
Válvula de globo —totalmente abierta		340
Válvula de ángulo —totalmente abierta		150
Válvula de compuerta —totalmente abierta		8
—abierto $\frac{1}{4}$		35
—abierto $\frac{1}{2}$		160
—abierto $\frac{3}{4}$		900
Válvula antirretorno	Válvula de retención —tipo oscilante	100
	Válvula de retención —tipo bola	150
Válvula de tres cuerpos tipo bola	Válvula de mariposa —totalmente abierta, 2-8 in	45
	—10-14 in	35
	—16-24 in	25
	Válvula de pie —tipo disco de vástago	420
	Válvula de pie —tipo disco de bisagras	75
Codo de cobre para cualquier diámetro	Codo estándar de 90°	30
	Codo de 90° y radio largo	20
	Codo de 90° para calle	50
	Codo estándar de 45°	16
	Codo de 45° para calle	26
	Doble de retorno cerrado	50
Te de cobre para cualquier diámetro	Te estándar —con flujo por la línea principal	20
	—con flujo por la ramificación	60

Nota. Esta imagen fue adaptada de *Mecánica De Fluidos*. (p.242) por Mott & Untener, 2015.

$$10 \text{ codos estandar de } 90^\circ: \quad \frac{L_e}{D} = 10(30) = 300$$

$$2 \text{ tee estandar por la linea principal :} \quad \frac{L_e}{D} = 2(20) = 40$$

$$1 \text{ valvula tipo bola:} \quad \frac{L_e}{D} = 1(150) = 150$$

$$1 \text{ valvula tipo oscilante:} \quad \frac{L_e}{D} = 1(100) = 100$$

$$\text{Total: } 590$$

reemplazando los valores a dicha ecuación.

$$h_{L2.2}(\gamma) = f_t \left(\frac{L_e}{D} \right) \frac{V^2}{2} (\rho)$$

$$f_t = 0.0105$$

$$\frac{L_e}{D} = 590$$

$$V = 3.21 \text{ m/seg}$$

$$\rho = 5.98 \text{ kg/m}^3$$

$$h_{L2.2}(\gamma) = 0.0105 * (590) \frac{\left(3.21 \frac{\text{m}}{\text{seg}}\right)^2}{2} * (5.98 \text{ kg/m}^3)$$

$$h_{L2.2}(\gamma) = 190.863 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{seg}^2}$$

$$h_{L2.2}(\gamma) = 190.863 \text{ Pa} = 0.027 \text{ psi}$$

Los resultados anteriores corresponden a una porción de la ruta crítica

$$h_L(\gamma)(\text{tramo } 1 - 3) = h_{L1}(\gamma) + h_{L2.2}(\gamma) = 0.283 \text{ psi} + 0.028 \text{ psi}$$

$$h_L(\gamma)(\text{tramo } 1 - 3) = 0.311 \text{ psi}$$

4.2.2. Método efectuando tablas para caídas de presión

Para este método existen diversas tablas que efectúan las pérdidas de presión que facilitan la memoria de cálculo, pero el principio de esta investigación es que se comprendan dichos valores mediante los conceptos de mecánica de fluidos, entonces es por ello que se eligió una tabla acorde al diseño de la red primaria que se encuentra 80 psi de presión y una demanda de diseño de 662.3 LPM.

Tabla 11

Perdida de presión a 55 psi cada 100 ft

LPM	SCFM	1/2"	3/4"			
400	14.12	2.298	0.438	0.110		
450	15.89	2.837	0.539	0.135		
500	17.66	3.426	0.650	0.163	1 1/4"	
550	19.42		0.771	0.193	0.066	
600	21.19		0.900	0.225	0.077	
650	22.95		1.038	0.260	0.089	
700	24.72		1.185	0.296	0.101	

Nota. Esta imagen fue tomada de *Análisis del Sistema Actual y Propuestas de Diseño del Sistema de Gases Médicos del Hospital Nacional "Dr. Juan José Fernández" Zacamil.* (p.190) por, Escalante y Pleitez y Fernandez .2010. (ver **Anexo 8**)

Nuestra demanda de diseño es de 662.3 LPM es por ello que se procedió a tabular dicho valor en la tabla.

$$\frac{700 - 662.3}{700 - 650} = \frac{0.101 - X}{0.101 - 0.089}$$

$$X = 0.0919 \text{ psi}$$

Esta pérdida de presión ocurre cada 100 ft lo que equivale a 30.48 m, entonces para nuestra longitud requerida, la pérdida de presión será:

$$h_L(\gamma)(\text{tramo } 1 - 3)^1 = \frac{0.0919 \text{ psi}}{30.48 \text{ m}} * (85.94 \text{ m}) = 0.259 \text{ psi}$$

4.2.3. Validación de cálculos mediante software computacional

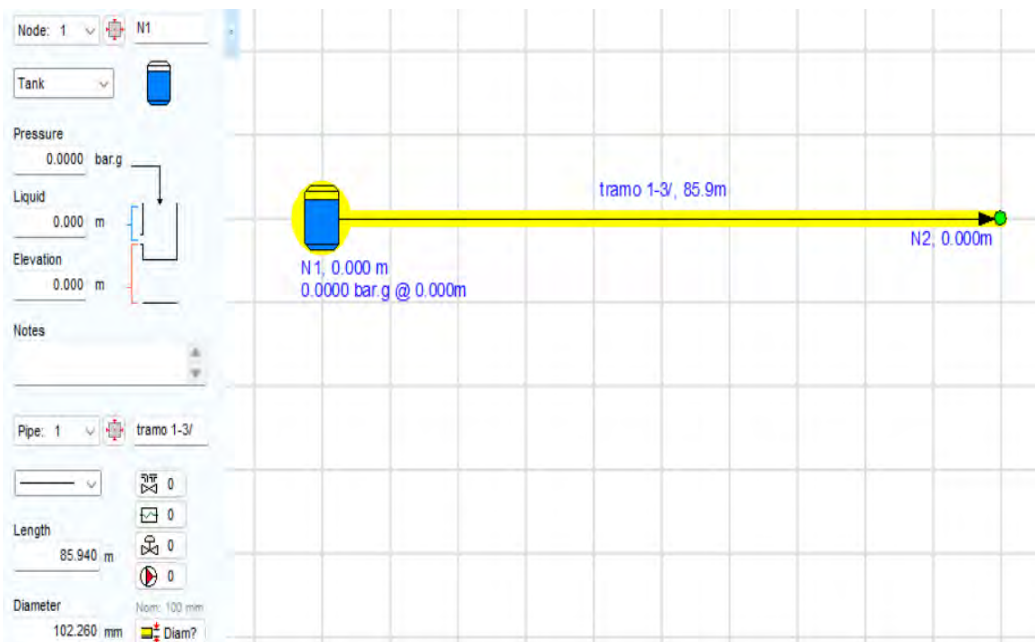
La validación de los cálculos se realizó mediante el uso de una herramienta computacional especializada, como el software Pipe Flow Expert, reconocido por su capacidad para analizar el comportamiento de fluidos en sistemas de tuberías, con el fin de garantizar la precisión y confiabilidad de los resultados obtenidos.

Este software permite calcular pérdidas de presión, caudales y velocidades en cada tramo, considerando las condiciones de operación establecidas para el sistema. De esta manera, facilita la comparación entre los resultados obtenidos mediante los dos métodos anteriores y los resultados generados por el software, contribuyendo a una validación más rigurosa del diseño de la red de distribución de oxígeno. Asimismo, permite verificar la coherencia de los valores calculados, evaluar el comportamiento hidráulico del tramo analizado y confirmar que los resultados sean consistentes con las condiciones de diseño establecidas.

Para ello, se debe seguir una serie de pasos para la obtención de la pérdida de presión correspondiente al mismo tramo en análisis, utilizando las herramientas y parámetros definidos dentro del software para desarrollar el procedimiento de validación.

Figura 21

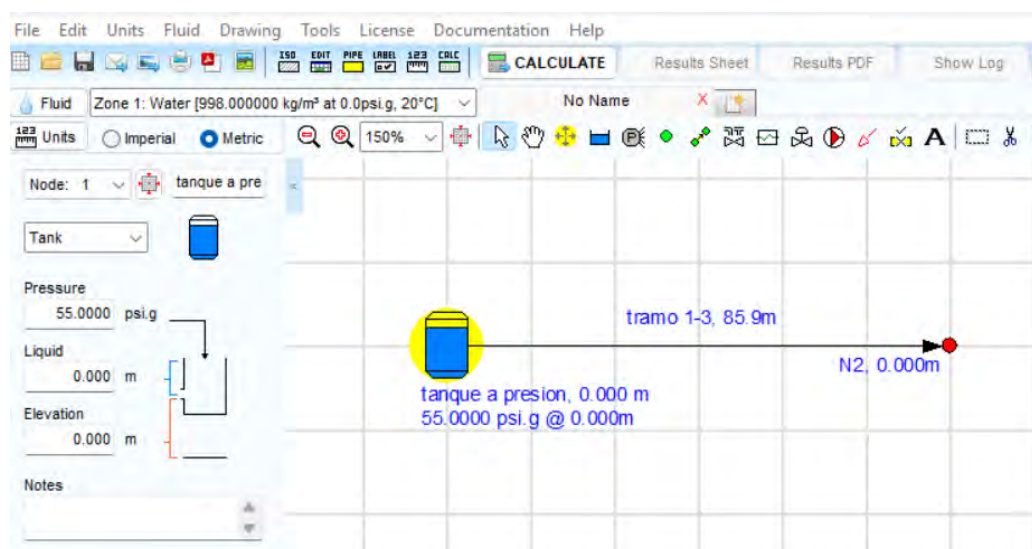
Inserción de un tanque presurizado y un tramo de tubería



Nota. Esta tabla fue de elaboración propia, mediante la interfaz de software Pipe Flow Expert.

Figura 22

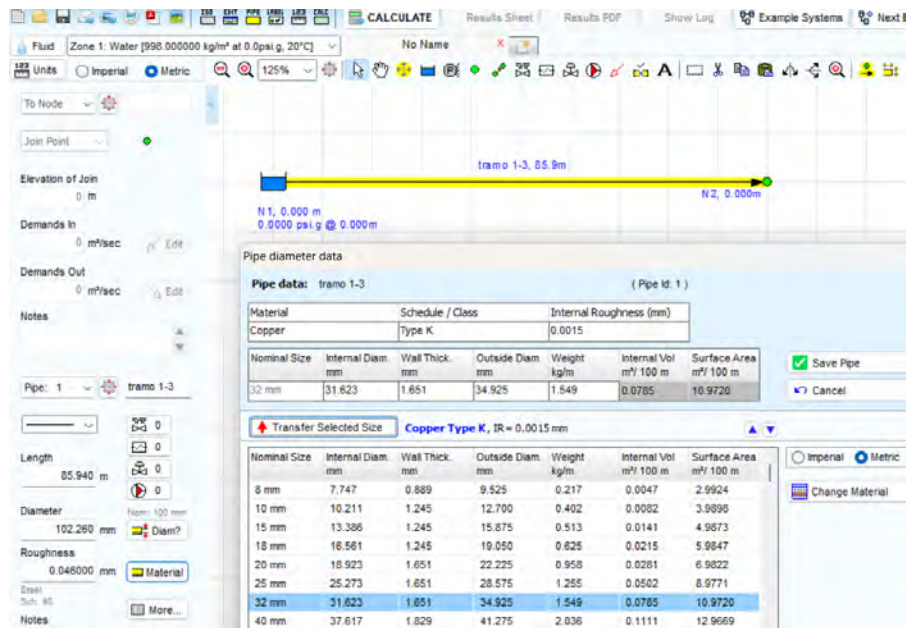
Datos de entrada en el tanque presurizado



Nota. Esta tabla fue de elaboración propia, mediante la interfaz de software Pipe Flow Expert.

Figura 23

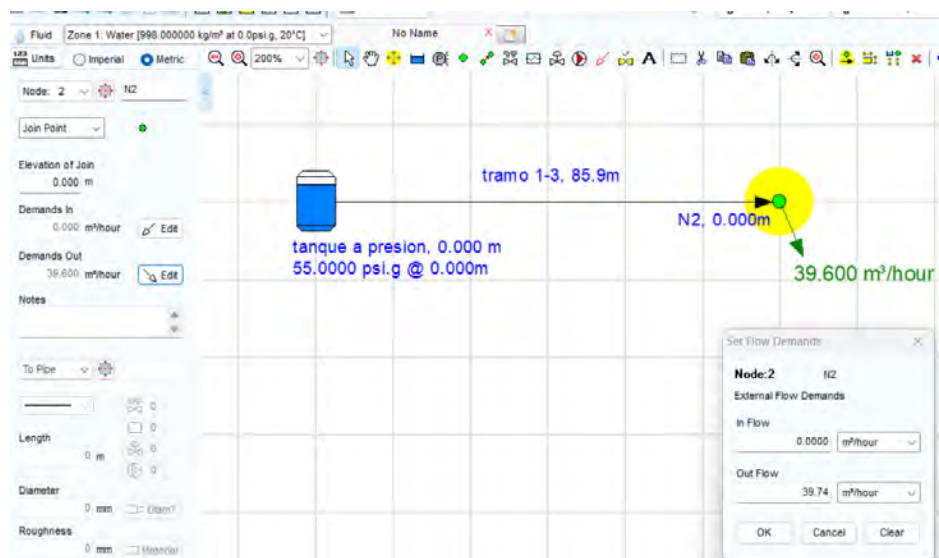
Datos de la tubería



Nota. Esta tabla fue de elaboración propia, mediante la interfaz de software Pipe Flow Expert.

Figura 24

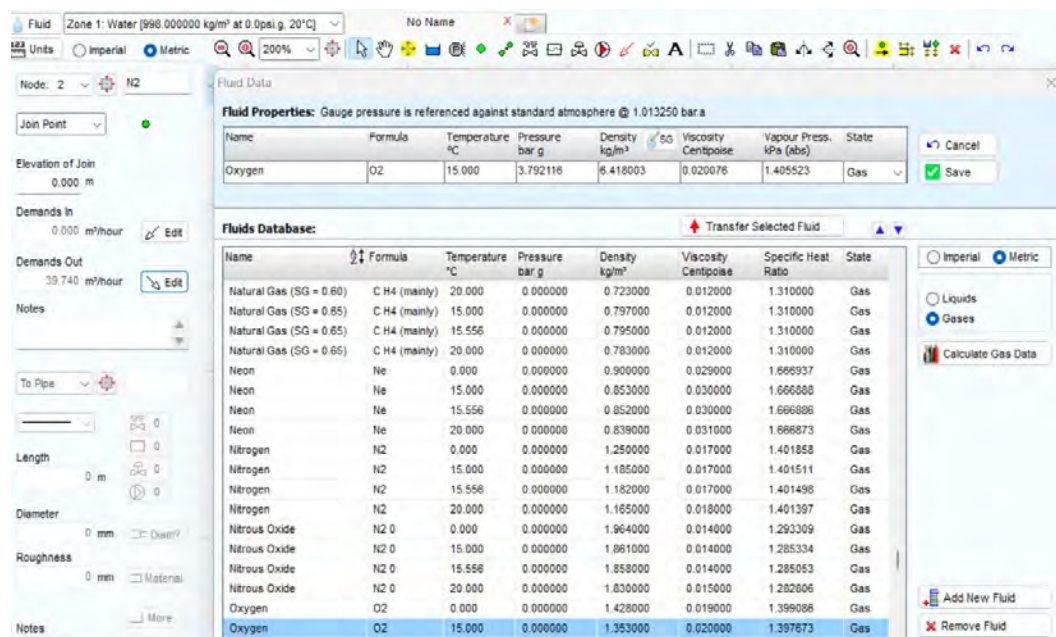
Datos de salida



Nota. Esta tabla fue de elaboración propia, mediante la interfaz de software Pipe Flow Expert.

Figura 25

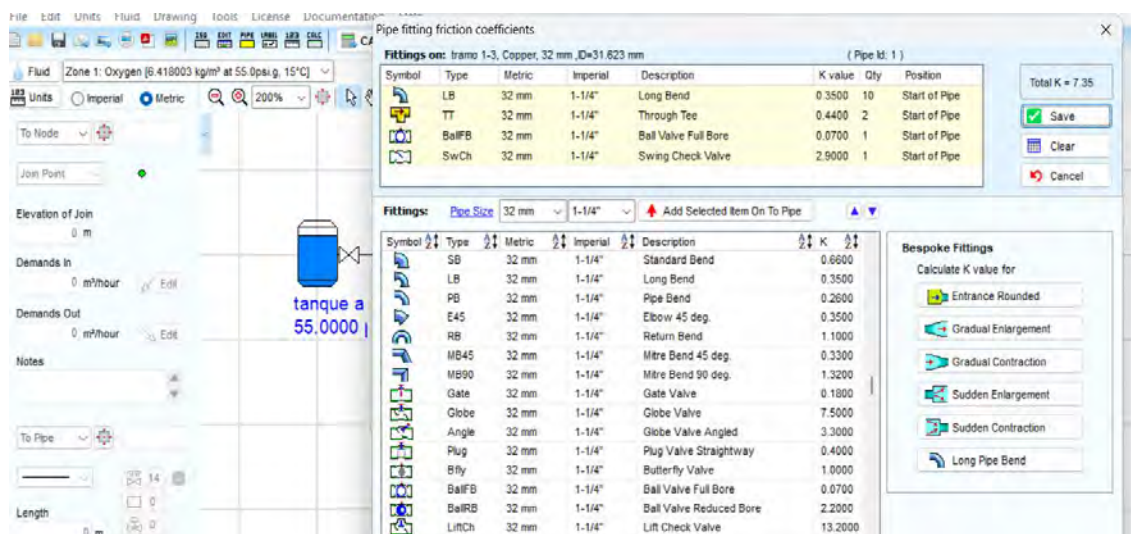
Datos del fluido



Nota. Esta tabla fue de elaboración propia, mediante la interfaz de software Pipe Flow Expert.

Figura 26

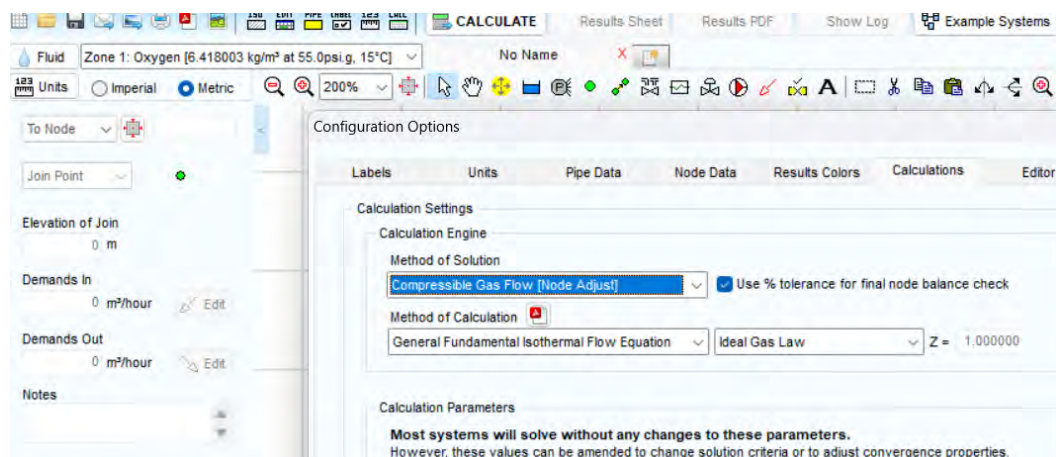
Insertión de accesorios en el tramo de la tubería



Nota. Esta tabla fue de elaboración propia, mediante la interfaz de software Pipe Flow Expert.

Figura 27

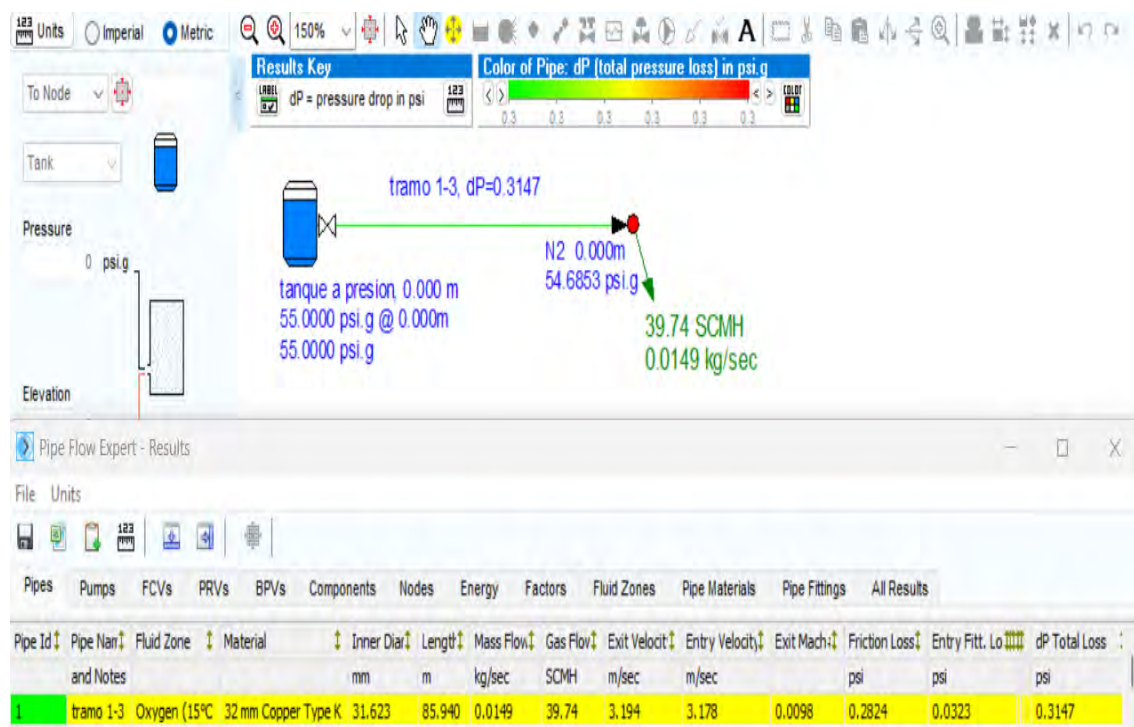
Configuración para efectuar los cálculos



Nota. Esta tabla fue de elaboración propia, mediante la interfaz de software Pipe Flow Expert.

Figura 28

Presentación de resultados



Nota. Esta tabla fue de elaboración propia, mediante la interfaz de software Pipe Flow Expert.

Como se puede observar la pérdida de presión total hallada por el software Pipe Flow Expert para el tramo 1-3 es igual a 0.3147 psi. Este valor servirá para validar los cálculos y elegir el método apropiado para proseguir con los cálculos posteriores.

$$h_L(\gamma)(\text{tramo } 1 - 3)^{\text{pipe flow expert}} = 0.3147 \text{ psi}$$

$$h_L(\gamma)(\text{tramo } 1 - 3) = 0.311 \text{ psi}$$

$$h_L(\gamma)(\text{tramo } 1 - 3)^1 = 0.259 \text{ psi}$$

Método por mecánica de fluidos

método por tablas

Entonces observando los resultados encontrados de las caídas de presión para el mismo tramo se procede a la selección y comparación de resultados.

Tabla 12

Comparación de resultados

Método	Resultado	Diferencia absoluta	Error relativo (%)
Método 1	0.311	0.0037	1.17%
Método 2	0.259	0.0557	17.69%

Nota. Esta tabla fue de elaboración propia.

El cálculo del error relativo se da bajo la siguiente expresión:

$$\text{Error relativo} = \frac{|valor_{\text{metodo}} - valor_{\text{software}}|}{valor_{\text{software}}} \times 100\%$$

➤ **Para el método 1**

$$\text{Error relativo} = \frac{|0.311 - 0.3147|}{0.3147} \times 100\% = 1.17\%$$

➤ **Para el método 2**

$$\text{Error relativo} = \frac{|0.259 - 0.3147|}{0.3147} \times 100\% = 17.69\%$$

Entonces, se seleccionó el Método 1, la cual es mediante principios de mecánica de fluidos como método de solución para el cálculo de los demás tramos de la red, debido a que

presentó la menor diferencia respecto al valor obtenido mediante Pipe Flow Expert.

4.3. Pérdida de presión para la ruta crítica

4.3.1. Pérdida de presión por tuberías para la ruta crítica

Los resultados anteriores corresponden a una parte de la ruta crítica; por ello, el mismo procedimiento se aplica a los demás tramos que la conforman.

Tabla 13

Pérdida de presión por tuberías para la ruta crítica.

Tramo	Longitud (m)	Densidad (kg/m ³)	Diámetro nominal (pulg)	Velocidad (m/seg)	Factor de fricción	h _l (psi)
1--3	85.94	5.98	1 ¼	3.21	0.02335	0.28374
3--3a	0.31	5.98	1 ¼	1.21	0.02981	0.00019
3a--3b	2.86	5.98	1	1.90	0.02811	0.00498
3b--4	3.82	5.98	1	1.90	0.02811	0.00665
4--4a	14.08	5.98	1	0.66	0.03773	0.00402
4a--5	6.65	5.98	¾	1.18	0.03465	0.00741
5--6	1.24	5.98	¾	0.91	0.03741	0.00089
6--7	5.52	5.98	¾	0.81	0.03877	0.00324
7--8	3.37	5.98	¾	0.71	0.04040	0.00158
8--9	6.81	5.98	¾	0.61	0.04243	0.00246
9--10	1.24	5.98	¾	0.51	0.04502	0.00033
10--11	5.48	5.98	¾	0.41	0.04854	0.00101
11--12	2.49	5.98	¾	0.30	0.05372	0.00028
12--13	0.81	5.98	¾	0.20	0.06256	0.00005
13--14	3.32	5.98	¾	0.10	0.08370	0.00007
14--14a	8.01	5.98	½	0.20	0.07200	0.0008
						0.31764

Nota. Esta tabla fue de elaboración propia.

4.3.2. Pérdida de presión por accesorios para la ruta crítica

Es necesario obtener los f_l de cada tramo ya que estos dependen de la rugosidad relativa $\frac{\varepsilon}{D}$ utilizando el diagrama de Moody en la zona de turbulencia completa. Se entenderá de mejor manera.

- Para el tramo donde el diámetro nominal es de 1 in.

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{15 * 10^{-7} m}{0.025273 m} = 5.93 * 10^{-5}$$

- Para el tramo donde el diámetro nominal es de 3/4 in.

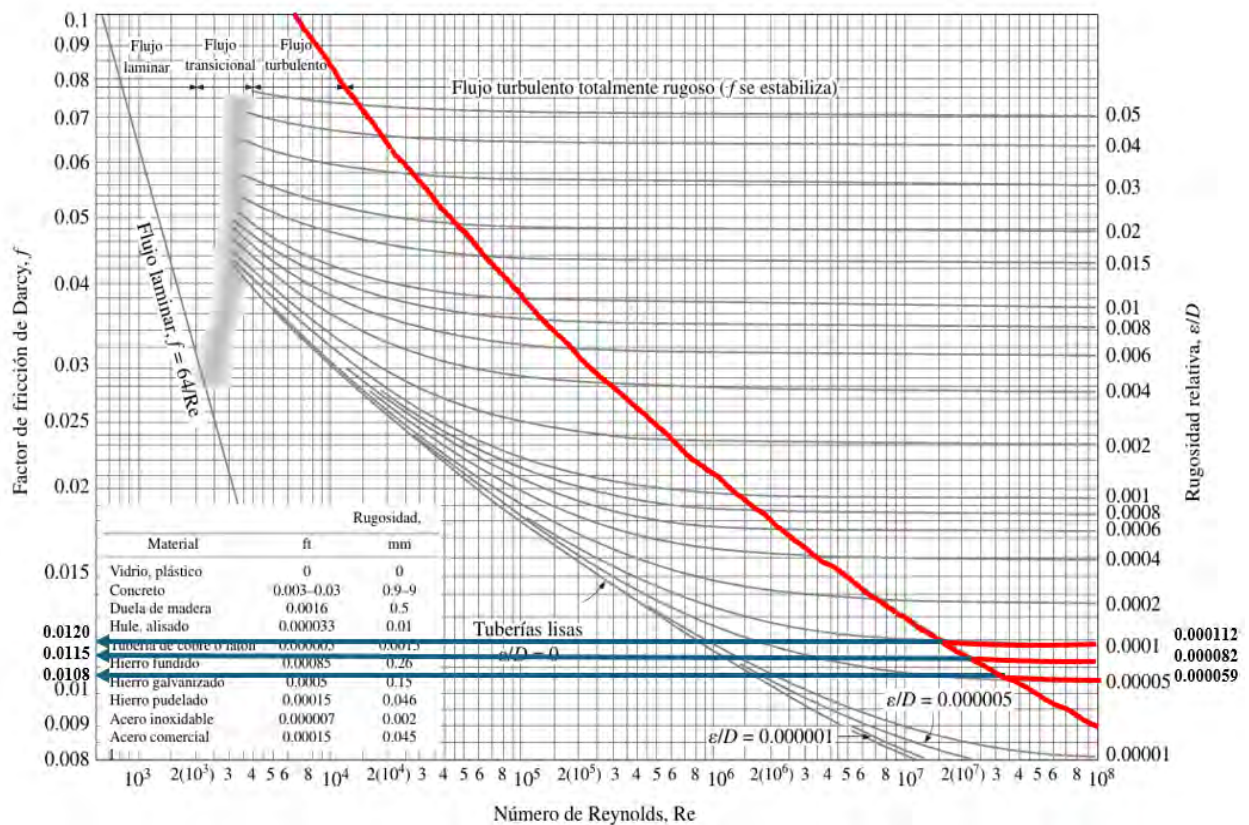
$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{15 * 10^{-7} m}{0.018923 m} = 8.21 * 10^{-5}$$

- Para el tramo donde el diámetro nominal es de 1/2 in.

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{15 * 10^{-7} m}{0.013386 m} = 1.12 * 10^{-4}$$

Figura 29

Diagrama de Moody para calcular el f_t para diferentes tramos.



Nota. Esta imagen fue tomada de *Mecánica De Fluidos: Fundamentos Y Aplicaciones*, (p.898) por Gengel & Cimbala, 2006.

Luego de encontrar los f_t para diferentes tramos se procede a calcular las perdidas por accesorios h_{L22} para resto de los tramos de la ruta crítica. En la siguiente tabla se detallan los accesorios que se encuentran por cada tramo.

Tabla 14

Perdida de presión por accesorio para la ruta crítica – h_{L22}

Tramo	f_t	Codo	Tee	Válvula bola	Válvula antirretorno	Equipo especial	Reductor	h_{L22} (psi)
1 -- 3	0.0105	10	2	1	1	0	0	0.027701
3--3a	0.0105	0	0	0	0	0	1	0.000000
3a--3b	0.0105	4	0	1	0	1	0	0.019764
3b--4	0.0108	3	1	0	0	1	0	0.017061
4--4a	0.0115	2	0	0	0	0	1	0.000132
4a--5	0.0115	6	1	0	0	1	0	0.007699
5--6	0.0115	0	1	0	0	0	0	0.000083
6--7	0.0115	0	1	0	0	0	0	0.000066
7--8	0.0115	0	1	0	0	0	0	0.000050
8--9	0.0115	0	1	0	0	0	0	0.000037
9--10	0.0115	0	1	0	0	0	0	0.000026
10--11	0.0115	0	1	0	0	0	0	0.000016
11--12	0.0115	0	1	0	0	0	0	0.000009
12--13	0.0115	0	1	0	0	0	0	0.000004
13--14	0.0115	1	0	0	0	0	0	0.000002
14--14a	0.012	2	0	1	0	0	1	0.000045
								0.072695

Nota. Esta tabla fue de elaboración propia.

4.3.3. *Perdida de presión por reductores para la ruta crítica.*

Está claro que para el tramo 3--3a y 4--4a, existen reductores respectivamente para obtener sus pérdidas. Este valor se puede expresar de la siguiente manera.

$$h_{L2.1}(\gamma) = K \frac{V_2^2}{2g}(\gamma)$$

$$h_{L2.1}(\gamma) = K \frac{V_2^2}{2}(\rho)$$

Entonces ahora se procederá a encontrar el valor que falta como es el coeficiente de

resistencia para contracción súbita (K), este valor depende la de la relación de D_1/D_2 y la velocidad de salida de la contracción V_2 , Para el tramo 3--3a , estos son los siguientes valores.

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{1 \frac{1}{4}}{1} = 1.25$$

$$V_2 = 1.90 \text{ m/seg}$$

$$\rho = 5.98 \text{ kg/m}^3$$

$$K = 0.09$$

$$h_{L2.1}(\gamma) = K \frac{V_2^2}{2} (\rho)$$

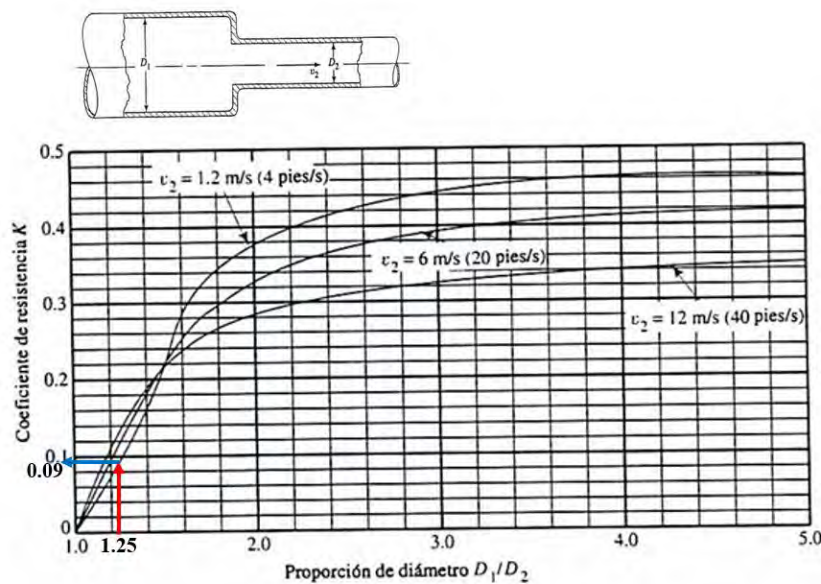
$$h_{L2.1}(\gamma) = 0.09 * \frac{\left(1.90 \frac{\text{m}}{\text{seg}}\right)^2}{2} * (5.98 \text{ kg/m}^3)$$

$$h_{L2.1}(\gamma) = 0.97145 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{seg}^2}$$

$$h_{L2.1}(\gamma) = 0.97145 \text{ Pa} = 0.00014 \text{ psi}$$

Figura 30

Coeficiente de resistencia K para el tramo 3--3a



Nota. Esta imagen fue adaptada de *Mecánica De Fluidos*. (p.234) por Mott & Untener, 2015.

Entonces de forma similar se procederá a calcular la pérdida de presión por una contracción súbita de diámetros en la ruta crítica.

Tabla 15

Perdida de presión por contracción súbita en ruta crítica.

Tramo	Densidad (kg/m ³)	Relación de diámetros	Velocidad de salida (m/seg)	Reductor	K	h_{L21} (psi)
3--3a	5.98	1.25	1.9	1	0.09	0.00014
4--4a	5.98	1.33	1.18	1	0.12	0.00007
						0.00021

Nota. Esta tabla fue de elaboración propia.

Ahora si se tienen todas las pérdidas de presión concernientes a la ruta crítica, lo que prosigue es realizar la sumatoria de todas las pérdidas y observar el valor final. Este valor vine expresado de la siguiente manera:

$$h_{L \text{ ruta critica}} = h_{L1} + h_{L21} + h_{L22}$$

$$h_L(\gamma) \text{ ruta critica} = h_{L1}(\gamma) + h_{L21}(\gamma) + h_{L22}(\gamma)$$

$$h_L(\gamma) \text{ ruta critica} = 0.31764 \text{ psi} + 0.00021 \text{ psi} + 0.07269 \text{ psi}$$

$$h_L(\gamma) \text{ ruta critica} = 0.39055 \text{ psi}$$

4.4. Perdida de presión para la red generalizada

Entonces está claro el procedimiento que se realiza para la obtención de pérdidas de presión es por ello que ahora se dará la pérdida de presión para la red generalizada la cual se detalla en el **Apéndice C**.

$$h_{L \text{ red generaliza}} = h_{L1} + h_{L21} + h_{L22}$$

$$h_L(\gamma) \text{ red generalizada} = h_{L1}(\gamma) + h_{L21}(\gamma) + h_{L22}(\gamma)$$

$$h_L(\gamma) \text{ red generalizada} = 0.43961 \text{ psi} + 0.00079 \text{ psi} + 0.15868 \text{ psi}$$

$$h_L(\gamma) \text{ red generalizada} = 0.5991 \text{ psi}$$

CAPITULO V:

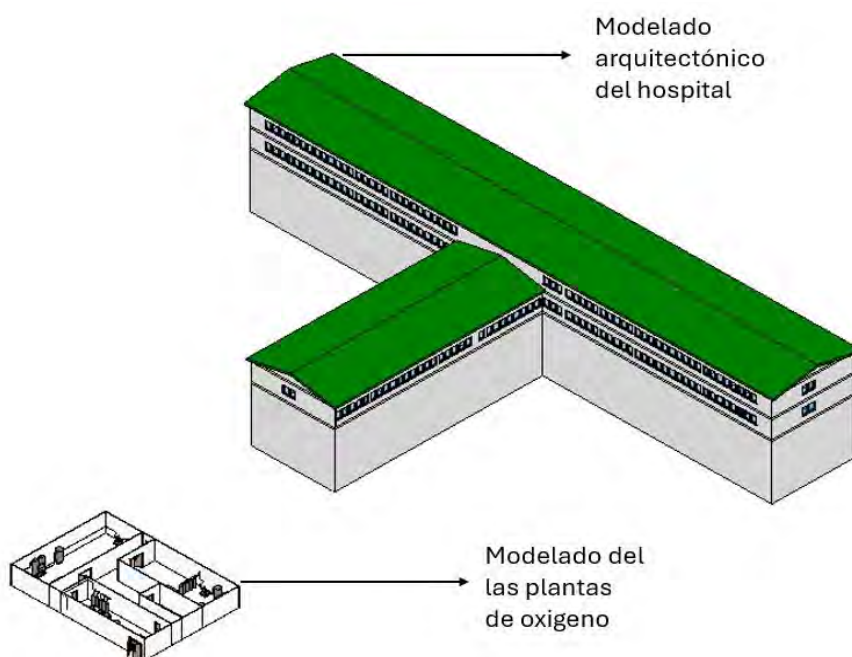
MODELADO TRIDIMENSIONAL DE LAS INSTALACIONES MECANICAS

En este capítulo se desarrollará todo lo concerniente al modelado tridimensional de las instalaciones mecánicas, así como los procedimientos y medios empleados para su elaboración. Para ello, se realizaron visitas técnicas al centro de investigación ver **Apéndice D**, lo que permitió modelar de manera referencial los espacios arquitectónicos del hospital.

Este modelado tuvo como finalidad la ubicación estratégica de los equipos, respetando en todo momento los criterios técnicos y normativos establecidos para la correcta localización de equipos, accesorios y el trazado de la red de tuberías. Asimismo, se hace referencia al uso del software Autodesk Revit, mediante el cual fue posible vincular el modelo arquitectónico con las instalaciones mecánicas, garantizando una adecuada coordinación entre especialidades.

Figura 31

Modelado arquitectónico del hospital y las plantas de oxígeno

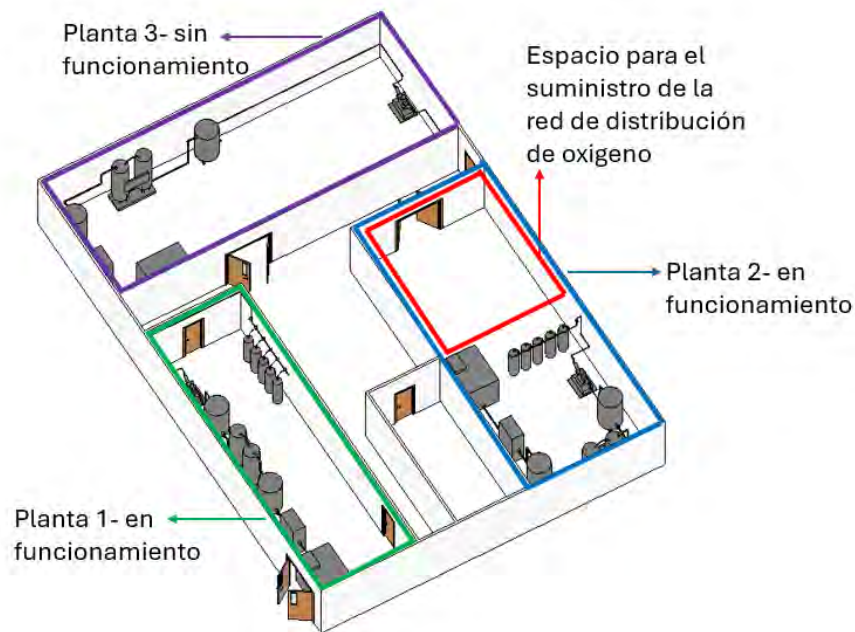


Nota. Esta imagen fue de elaboración propia, mediante la interfaz de software Revit.

Luego de haber elaborado el modelado de los espacios arquitectónicos y el modelado de las plantas de oxígeno con ayuda de los planos obtenidos del Hospital Regional de Cusco se procedió a identificar el espacio más accesible y viables para el suministro de la red de distribución de oxígeno la cual fue en la planta número dos, dicho suministro será enviado hasta los niveles del cuarto y quinto piso del hospital.

Figura 32

Espacio para el suministro de la red de distribución de oxígeno



Nota. Esta imagen fue de elaboración propia, mediante la interfaz de software Revit.

5.1. Selección de equipos y accesorios y tuberías

5.1.1. Sistema de suministro de oxígeno

Considerando que la red de distribución de oxígeno medicinal presenta una demanda de máxima de diseño de $39,74 \text{ m}^3/\text{h}$ y que la demanda máxima registrada en los pisos para la investigación de $13,19 \text{ m}^3/\text{h}$ y presiones de línea del sistema de 80 psi y 55 psi, se evaluaron diferentes alternativas de suministro, incluyendo una planta generadora de oxígeno tipo PSA

que posee el Hospital Regional de Cusco y un sistema de almacenamiento criogénico de oxígeno líquido y un manifold de cilindros de oxígeno.

5.1.1.1. Planta generadora de oxígeno. la capacidad producción de las plantas generadoras de oxígeno es de 42,7 m³/h y operan a presiones de salida de 45 a 65 psi según datos obtenidos por la ficha técnica del fabricante (ver **Anexo 9**), entonces, teóricamente Supera la demanda de diseño, pero la presión que se requiere a la salida del sistema de suministro debe ser de 55 psi a presión constante no oscilante Además, Requiere la dependencia energética permanente. Entonces es Técnicamente limitada Podría operar solo como fuente parcial, pero no como suministro principal único.

5.1.1.2. Tanque criogénico de oxígeno líquido. Destinados a instalaciones con consumos elevados y continuos, e implican altos costos de inversión y exigencias de seguridad, no depende de energía eléctrica, lo que significa la confiabilidad ante fallas eléctricas. Para los niveles de demanda determinados en este estudio, su implementación resulta técnicamente innecesaria y económicamente ineficiente, lo cual estaría altamente sobredimensionado.

En consecuencia, el suministro de oxígeno puede ser cubierto adecuadamente mediante sistemas alternativos de menor escala, garantizando la continuidad, seguridad y eficiencia del servicio sin recurrir al uso de un tanque criogénico.

5.1.1.3. Manifold de cilindros de oxígeno. Este sistema no depende de energía eléctrica para la suministrar oxígeno, lo que incrementa la confiabilidad ante fallas eléctricas. Asimismo, es capaz de abastecer consumos simultáneos, incluso superiores a los registrados, siempre que se mantengan dentro del límite de diseño de la red. La configuración de manifolds permite además una redundancia total del sistema con baterías primarias y baterías de reserva, garantizando la continuidad del servicio sin interrupciones.

Asimismo, el empleo de manifolds ofrece ventajas como menor inversión inicial, facilidad de instalación, mantenimiento simplificado y alta confiabilidad operativa, lo que los convierte en una alternativa adecuada para instalaciones con niveles de consumo similares a los determinados en esta investigación.

Por lo tanto, para la selección final del sistema de suministro de oxígeno medicinal, se determina que el uso de un manifold de cilindros, conformado por una batería primaria y una batería secundaria de reserva, cada una compuesta por 14 cilindros cargados por las plantas de oxígeno del Hospital Regional de Cusco, constituye la alternativa más adecuada, ya que permite cubrir la demanda de diseño sin incurrir en sobredimensionamiento, garantizando la continuidad de los servicios de salud, la confiabilidad operativa y menor costo para la propuesta de implementación del suministro del sistema.

Al ser cargado estos cilindros en las plantas de oxígeno que posee el Hospital Regional de Cusco, estos tendrán una capacidad de almacenamiento, por lo tanto, la presión interna que posee cada cilindro de oxígeno es de 2500 psi. Dicho de este modo el tiempo de renovación de las baterías que conforma el manifold se desarrolla de la siguiente manera.

$$V (m^3) = \frac{P * V_b}{1000}$$

P = Presión interna o manométrica del balón de oxígeno en bar.

V_b = Capacidad interna de balón de oxígeno en litros de agua

1bar equivale a 14.5 psi

Entonces 2500 psi equivalen a 172.4 bar

$$V (m^3) = \frac{172.4 * 50}{1000}$$

$$V (m^3) = 8.6$$

Ahora se procederá a calcular el tiempo de renovación de las baterías de cilindros que

conforman el manifold.

$$\frac{\text{capacidad de almacenamiento}}{\text{demanda actual}} = \text{tiempo (hora)}$$

$$\frac{8.6 \text{ m}^3 * 14 \text{ cilindros} * 2}{13.19 \text{ m}^3/\text{hora}} = \text{tiempo (hora)}$$

$$18.2 = \text{tiempo (hora)}$$

Cabe resaltar que este tiempo de renovación son viables hasta cierto grado ya que mientras vaya aumento el consumo simultaneo hasta llegar a la demanda de diseño. Esta renovación será más frecuente.

$$\frac{8.6 \text{ m}^3 * 14 \text{ cilindros} * 2}{39.74 \text{ m}^3/\text{hora}} = \text{tiempo (hora)}$$

$$6 = \text{tiempo (hora)}$$

5.1.2. Equipo de control

5.1.2.1. Válvulas de alivio de presión. Esta válvula se activa cuando, debido a fallas en los elementos de regulación de presión, los parámetros de diseño se ven superados. Por ello, se instalan válvulas de alivio a lo largo de la red de tuberías, considerando una presión manométrica de 75 psi en la red, con el fin de proteger el sistema y garantizar su operación segura

Figura 33

Válvula de alivio de presión



Nota. Esta imagen fue tomada de *Productos- Válvulas*, por Pattonsmedical, 2025.

5.1.2.2. Válvulas de seccionamiento. Esta válvula se utiliza para permitir el mantenimiento en las zonas individuales de las tomas murales y el cierre en general de las redes principales y secundarias.

Figura 34

Válvula de bola de tres piezas.



Nota. Esta imagen fue tomada de *Gaseoductos De Gases Medicinales*, por Amcaremed, 2025

5.1.2.3. Válvula antirretorno. Estas válvulas están diseñadas para utilizarse en flujos unidireccionales y evitar reflujos que dañen los equipos y sistemas médicos

Figura 35

Válvula antirretorno



Nota. Esta imagen fue tomada de *Gaseoductos De Gases Medicinales*, por Amcaremed, 2025

5.1.3. Red de tuberías y accesorios

5.1.3.1. Tuberías para oxígeno medicinal. Deben ser de cobre sin costura, desengrasadas, limpias internamente y aptas para uso médico, conforme a normas técnicas vigentes. Estas características aseguran un transporte seguro del oxígeno, sin contaminación ni fugas, en las redes hospitalarias.

Figura 36

Tubería de cobre tipo K



Nota. Esta imagen fue tomada de *Gaseoductos De Gases Medicinales*, por Amcaremed, 2025

5.1.3.2. Accesorios de conexión. Son codos, tees, reducciones concéntricas y uniones, se utilizan para direccionar, distribuir y adaptar el flujo de oxígeno dentro de la red. Estos accesorios deben ser de cobre compatible con oxígeno medicinal y asegurar uniones firmes, herméticas y seguras.

Figura 37

Accesorios de conexión



Nota. Esta imagen fue tomada de *Gaseoductos De Gases Medicinales*, por Amcaremed, 2025

5.1.4. Puntos terminales

5.1.4.1. Tomas murales de oxígeno medicinal. Son dispositivos instalados en paredes o cabeceras hospitalarias que permiten la conexión segura de equipos médicos al sistema de suministro de oxígeno. Están diseñadas para garantizar un flujo controlado, seguro y confiable para la atención del paciente.

Figura 38

Toma de oxígeno tipo diss



Nota. Esta imagen fue tomada de *Gaseoductos De Gases Medicinales*, por Amcaremed, 2025

5.1.4.2. Flujómetros terminales. Son dispositivos instalados en las tomas de oxígeno medicinal que permiten regular y medir el caudal de oxígeno suministrado al paciente.

Existen flujómetros simples y dobles, de bajo flujo con escala de 1 a 15 L/min, y de alto flujo con rangos de 10 a 70 L/min, según los requerimientos clínicos.

Figura 39

Flujómetros clínicos.



Nota. Esta imagen fue tomada de *Gaseoductos De Gases Medicinales*, por Amcaremed, 2025.

5.1.5. Equipos de control y monitoreo.

5.1.5.1. Caja corte. Es un conjunto dispositivos mecánicos instalado en la red de oxígeno medicinal que incorpora una válvula de seccionamiento y un manómetro analógico, permitiendo aislar sectores de la red y controlar la presión de operación. Su función es

facilitar el mantenimiento, la seguridad y la supervisión del sistema sin interrumpir el suministro general.

Figura 40

Caja de corte



Nota. Esta imagen fue tomada de *Gaseoductos De Gases Medicinales*, por Amcaremed, 2025

5.1.5.2. Sistema de alarma. Es un conjunto de dispositivos que monitorea continuamente la presión del oxígeno en la red y emite señales audiovisuales cuando los valores se encuentran fuera de los rangos establecidos. Su función es alertar oportunamente al personal para prevenir fallas y garantizar la seguridad y continuidad del suministro.

Figura 41

Sistema de alarma audiovisual.



Nota. Esta imagen fue tomada de *Gaseoductos De Gases Medicinales*, por Amcaremed, 2025.

5.1.6. Elementos de soporte y colgantes para tubería.

Estos elementos sirven para sostener, fijar y estabilizar las tuberías dentro de un sistema de conducción. Su función principal es soportar el peso propio de la tubería y del fluido transportado, mantener la alineación adecuada, absorber vibraciones. Además, contribuyen a garantizar la seguridad, durabilidad y correcto funcionamiento del sistema.

Figura 42

Soporte y colgantes para tuberías de cobre.



Nota. Esta imagen fue tomada de *Sección De Productos- Fijadores*, por Selpesa, 2025.

5.2. Criterios técnicos y normativos para la localización de los elementos de las instalaciones mecánicas.

Los criterios técnicos y normativos para la localización de los elementos de las instalaciones mecánicas corresponden al conjunto de disposiciones, recomendaciones de diseño y requisitos establecidos por criterios técnicos que determinan la ubicación adecuada de los equipos, accesorios y componentes dentro de un sistema. Estos criterios buscan garantizar la seguridad, accesibilidad para operación y mantenimiento, eficiencia del sistema y cumplimiento de las regulaciones vigentes, como las establecidas en normas especializadas de instalaciones hospitalarias.

5.2.1. *Espaciamiento de soportes colgantes horizontales y verticales.*

En las instalaciones de gases medicinales, los soportes y colgadores de las tuberías deben colocarse conforme a los planos, especificaciones técnicas y recomendaciones del fabricante, garantizando la protección de la tubería frente a daños o movimientos. De acuerdo con la NFPA99, se establecen distancias máximas entre soportes según el diámetro de la tubería de cobre para asegurar la estabilidad del sistema.

Tabla 16

Espaciamiento de los soportes de las tuberías.

Diámetro tubería nominal	Soporte horizontal máximo	Soporte vertical máximo
1/2"	1.8 m (6 ft)	1.8 m (6 ft)
3/4"	2.4 m (8 ft)	1.8 m (6 ft)
1"	2.4 m (8 ft)	2.4 m (8 ft)
1¼"	3.0 m (10 ft)	2.4 m (8 ft)
1½"	3.0 m (10 ft)	2.4 m (8 ft)
≥ 2"	3.0 m (10 ft)	3.0 m (10 ft)

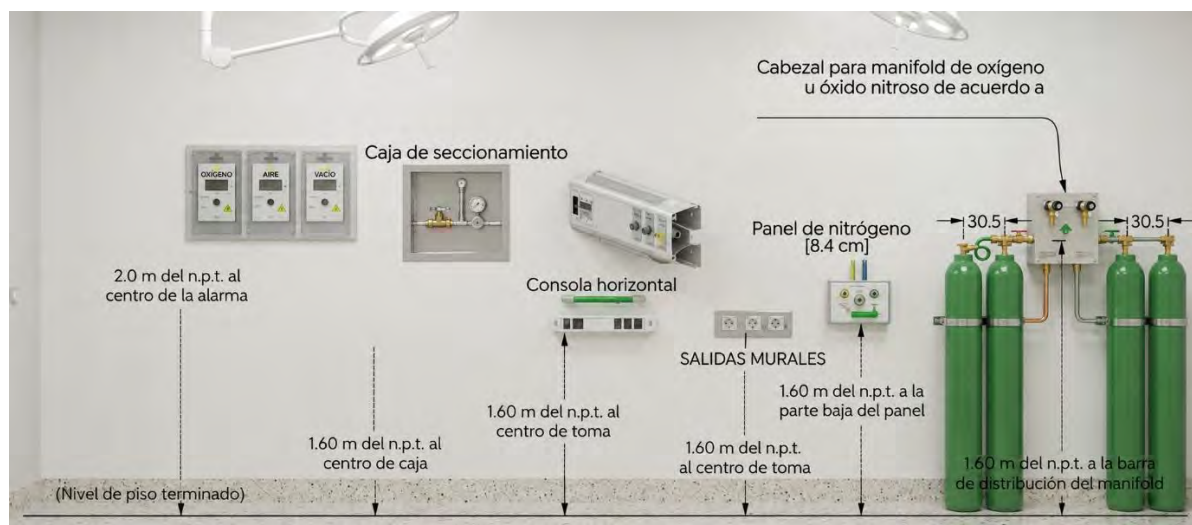
Nota. Esta tabla fue adaptada de *Sistemas De Gases Medicinales*, por BCcampus, 2025.

5.2.2. *Alturas para los elementos empotrables de un sistema de gases medicinales.*

Las alturas de los elementos de un sistema de gases medicinales corresponden a lineamientos técnicos utilizados para determinar la posición adecuada de equipos, tomas, cajas de seccionamiento y alarmas, garantizando seguridad, accesibilidad y correcto funcionamiento del sistema. Normas como la NFPA 99 establecen requisitos de diseño e instalación; sin embargo, no siempre especifican de forma directa dimensiones o alturas exactas, por lo que estas suelen definirse con base en criterios técnicos de instalación, buenas prácticas de ingeniería y recomendaciones de fabricantes.

Figura 43

Alturas para los elementos empotrables de un sistema de gases medicinales.



Nota. Esta imagen fue adaptada de *Detalle de Montaje Sobre Plafón de Equipamiento Para Gases Medicinales*, por Cruz Verde Sur, 2023.

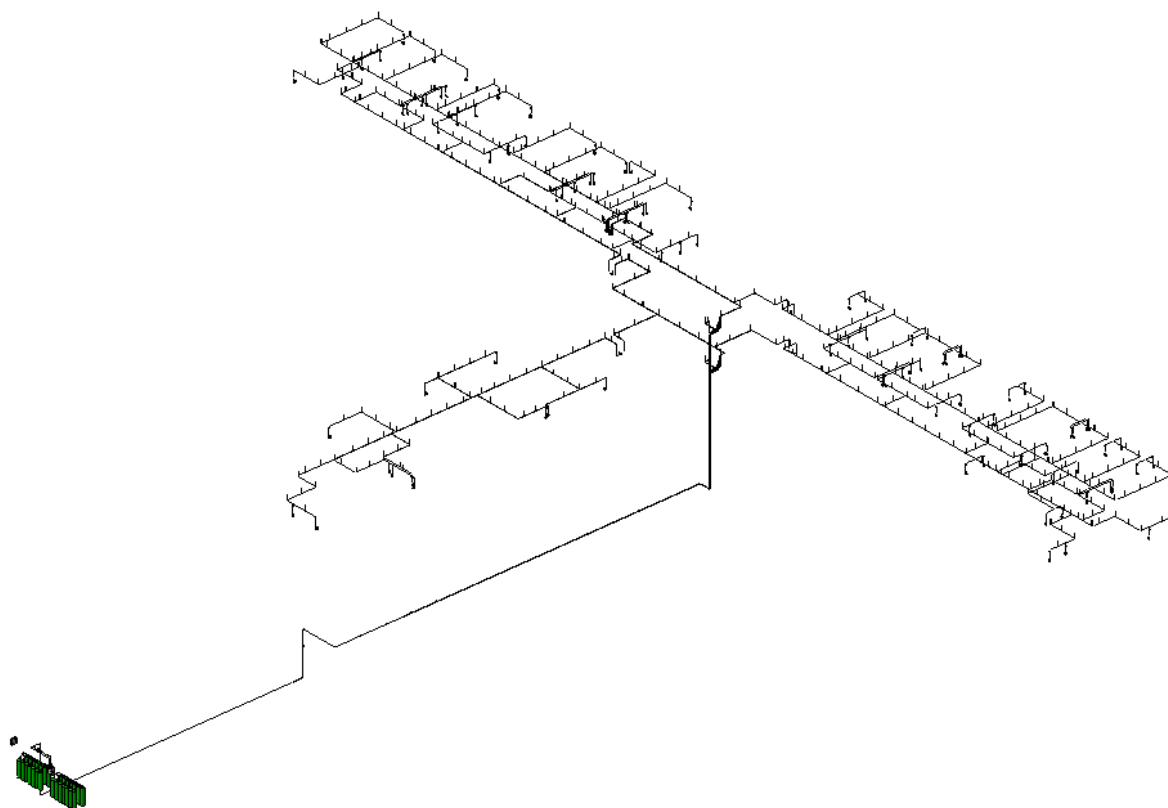
5.3. Modelado de las instalaciones mecánicas.

El modelado de las instalaciones mecánicas se desarrolló utilizando el software Autodesk Revit como herramienta principal para la representación tridimensional y el análisis de la ruta del sistema de gas medicinal, específicamente de la red de distribución de oxígeno.

El modelado permitió integrar la disciplina arquitectónica con la disciplina MEP, enfocándose en las instalaciones mecánicas y no en las instalaciones eléctricas, garantizando la compatibilidad espacial entre los diferentes elementos constructivos, la optimización del trazado de tuberías y la reducción de interferencias con otras especialidades. Asimismo, facilitó la revisión del diseño, la elaboración de los planos constructivos del proyecto y la representación precisa de los componentes, permitiendo una mejor coordinación durante el proceso de diseño y planificación de la red, así como la verificación del recorrido de las tuberías antes de su implementación.

Figura 44

Modelado de las instalaciones mecánicas.



Nota. Esta imagen fue de elaboración propia, mediante la interfaz de software Revit.

5.4. Obtención de cantidades a partir del modelado.

La obtención de cantidades de la red de distribución de oxígeno se realizó haciendo uso del software Autodesk Revit, en la especialidad MEP, en la cual permite obtener de manera automática e instantánea las cantidades de los elementos modelados. Al tratarse de un modelo tridimensional los componentes del sistema como tuberías, válvulas, accesorios y puntos de consumo, etc. Contiene información asociada a sus dimensiones, materiales y características técnicas, lo que garantiza que los recuentos se actualicen de forma inmediata ante cualquier modificación del diseño. De esta manera, el uso de Revit MEP asegura mayor precisión en el cálculo de cantidades, reduce errores propios de los recuentos manuales y mejora la confiabilidad de la información utilizada para la estimación de costos del proyecto.

Tabla 17

Recuento de accesorios de tubería.

002 - DISTRIBUCION DEL OXIGENO...			Tabla De Recuento
<Tabla De Recuento De Accesorios De Tuberías>			
A	B	C	
Tipo de accesorio	Tamaño de diámetro nominal	Recuento	
caja de corte 3/4 in-3/4 in			
caja de corte	3/4 in-3/4 in	5	
regulador de presión 1 in-1 in			
regulador de presión	1 in-1 in	2	
válvula antirretorno 1 1/4 in-1 1/4 in			
válvula antirretorno	1 1/4 in-1 1/4 in	1	
válvula de 3 cuerpos 1/2 in-1/2 in			
válvula de 3 cuerpos	1/2 in-1/2 in	97	
válvula de 3 cuerpos de piso 1 in-1 in			
válvula de 3 cuerpos de piso	1 in-1 in	2	
válvula de alivio 1/2 in			
válvula de alivio	1/2 in	3	
		110	

Nota. Esta tabla fue de elaboración propia, mediante la interfaz de software Revit.

Tabla 18

Recuento de equipos mecánicos.

{3D}		Tabla de recuento
<Tabla de recuento de equipos mecánicos>		
A	B	
Tipo de equipamiento mecánico	Recuento	
alarma audio visual alarma audio visual	1	
colgador de media pulgada colgador de media pulgada	234	
colgador de tres cuartos de pulgadas colgador de tres cuartos de pulgadas	124	
colgador de una de pulgadas colgador de una de pulgadas	56	
manifoldeador suministro manifoldeador suministro	1	
soporte de pared soporte de pared	27	
toma de oxígeno DISS- doble toma de oxígeno DISS- doble	26	
toma de oxígeno DISS-simple toma de oxígeno DISS-simple	71	

Nota. Esta tabla fue de elaboración propia, mediante la interfaz de software Revit.

Tabla 19*Recuento de tuberías.*

<Tabla de recuento de tuberías>		
A	B	C
Tipo de tubería	Diámetro nominal	Longitud
tubería de cobre tipo K	1 1/4 in	85.94 m
tubería de cobre tipo K	1 in	96.35 m
tubería de cobre tipo K	3/4 in	183.54 m
tubería de cobre tipo K	1/2 in	406.30 m

Nota. Esta tabla fue de elaboración propia, mediante la interfaz de software Revit.

Tabla 20*Recuento de uniones de tubería.*

<Tabla De Recuento De Uniones De Tubería>		
A	B	C
Tipo de union	Tamaño de diametro nominal	Recuento
CODO DE COBRE		
1 1/4 ine-1 1/4 ine		
CODO DE COBRE	1 1/4 ine-1 1/4 ine	10
1 ine-1 ine		
CODO DE COBRE	1 ine-1 ine	32
1/2 ine-1/2 ine		
CODO DE COBRE	1/2 ine-1/2 ine	196
3/4 ine-3/4 ine		
CODO DE COBRE	3/4 ine-3/4 ine	32
REDUCCION DE COBRE		
1 1/4 ine-1 ine		
REDUCCION DE COBRE	1 1/4 ine-1 ine	4
1 1/4 ine-1/2 ine		
REDUCCION DE COBRE	1 1/4 ine-1/2 ine	1
1 ine-1/2 ine		
REDUCCION DE COBRE	1 ine-1/2 ine	4
1 ine-3/4 ine		
REDUCCION DE COBRE	1 ine-3/4 ine	20
1/2 ine-3/8 ine		
REDUCCION DE COBRE	1/2 ine-3/8 ine	97
3/4 ine-1/2 ine		
REDUCCION DE COBRE	3/4 ine-1/2 ine	50
cople de union de tres cuartos		
3/4 ine-3/4 ine		
cople de union de tres cuartos	3/4 ine-3/4 ine	14
cople de union de una pulgada		
1 ine-1 ine		
cople de union de una pulgada	1 ine-1 ine	5
cople de union de una pulgada y un cuarto		
1 1/4 ine-1 1/4 ine		
cople de union de una pulgada y un cuarto	1 1/4 ine-1 1/4 ine	13

TEE DE COBRE		
1 1/4 in-1 1/4 in-1 1/4 in		
TEE DE COBRE	1 1/4 in-1 1/4 in-1 1/4 in	2
1 in-1 in-1 in		
TEE DE COBRE	1 in-1 in-1 in	12
1/2 in-1/2 in-1/2 in		
TEE DE COBRE	1/2 in-1/2 in-1/2 in	45
3/4 in-3/4 in-3/4 in		
TEE DE COBRE	3/4 in-3/4 in-3/4 in	40

Nota. Esta tabla fue de elaboración propia, mediante la interfaz de software Revit.

5.5. Preparación y montaje de las tuberías.

La preparación y montaje de las tuberías en los sistemas de gases medicinales constituye una etapa importante para garantizar la seguridad, pureza del gas y confiabilidad operativa de la red. De acuerdo con las recomendaciones de la NFPA 99, así como las prácticas técnicas de instalación, las tuberías deben prepararse, instalarse y someterse a pruebas siguiendo procedimientos técnicos que eviten la contaminación del sistema y aseguren la hermeticidad de la red.

Estas actividades comprenden la limpieza interna de las tuberías, la correcta ejecución de las uniones mediante soldadura aprobada para gases medicinales, la protección anticorrosiva de las superficies expuestas y la instalación adecuada de tramos subterráneos cuando la red lo requiera. Finalmente, una vez concluido el montaje, se deben realizar pruebas de presión, hermeticidad y verificación del sistema para confirmar que la instalación cumple con los requisitos de funcionamiento y seguridad establecidos por la normativa aplicable.

5.5.1. Limpieza de la tubería.

Antes de su instalación, las tuberías de cobre destinadas al transporte de gases medicinales deben encontrarse libres de aceite, grasa, humedad y partículas contaminantes.

Según la NFPA 99, las tuberías deben ser desengrasadas para servicio de oxígeno y mantenerse selladas en sus extremos hasta el momento de la instalación para evitar

contaminación interna.

Durante el proceso de montaje también se recomienda realizar purga con nitrógeno seco al momento de la soldadura, con el fin de evitar la formación de óxidos en el interior de la tubería.

5.5.2. Tipo de soldadura para sistema de gases medicinales.

Las uniones de tuberías de cobre en sistemas de gases medicinales según la NTS N°119 deben realizarse mediante soldadura con contenido de plata del 45 % de plata, cobre al 30% y zinc al 25% , y que el fundente a emplearse será para soldadura fuerte de aleación plata sin cadmio, y enfatiza no usar la mezcla de borax y alcohol.

Figura 45

Soldadura en tubería de cobre para uso de gases medicinales



a) Representa una soldadura utilizando fundentes la cual existe Residuos contaminantes como Oxido Cúprico y no se usaron las purgas de nitrógeno para su limpieza



b) Representa la misma soldadura usando fundente, pero haciendo una limpieza con las purgas de nitrógeno, La cual existen menos residuos contaminantes.

Nota. Esta imagen fue tomada de *Sistema De Gases Medicinales Y Vacío Médico Quirúrgico*, (p.73) por Sepúlveda & Algarra, 2005.

5.5.3. Recubrimiento con pintura anticorrosiva.

Las tuberías expuestas deben contar con protección superficial para evitar la corrosión causada por la humedad o condiciones ambientales. En redes de gases medicinales se recomienda aplicar pintura anticorrosiva o recubrimientos protectores cuando la

tubería se encuentre expuesta a ambientes potencialmente corrosivos.

En el caso de líneas de oxígeno, frecuentemente se utiliza identificación con color verde, de acuerdo con los sistemas de identificación utilizados en instalaciones hospitalarias. Esta identificación permite reconocer fácilmente el tipo de gas transportado y facilita las labores de operación y mantenimiento.

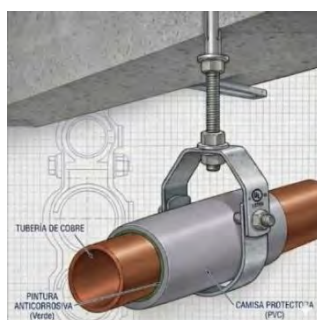
5.5.4. Instalación de tuberías subterráneas y empotradas y adosadas en sistemas de gases medicinales.

Según la normativa NFPA 99, las tuberías de gases medicinales pueden instalarse sujetas a paredes, dentro de muros o de forma subterránea, siempre que estén adecuadamente protegidas contra daños físicos, contacto con sustancias contaminantes y condiciones ambientales adversas. Además, cuando las tuberías se instalan empotradas en concreto o subterráneamente, deben colocarse dentro de un conducto o camisa protectora continua que evite la corrosión.

Para tuberías empotradas y adosas se recomienda colocar una pintura anticorrosiva y un material aislante como una camisa de PVC, para evitar contacto directo soporte base a tubería de cobre o concreto a tubería de cobre.

Figura 46

Protección para evitar contacto tubería de cobre con soporte base.



Nota. Esta imagen fue de elaboración propia, mediante inteligencia artificial.

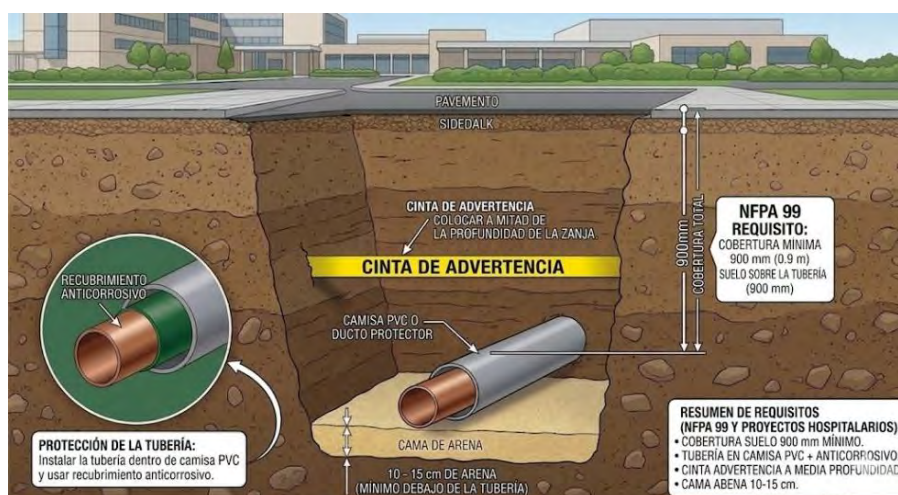
Para tuberías subterráneas Según NFPA 99, las tuberías enterradas fuera de edificios deben cumplir con una cobertura mínima de 900 mm suelo sobre la tubería. Las recomendaciones técnicas usadas en proyectos hospitalarios

- Protección de la tubería: instalar la tubería dentro de camisa PVC o ducto protector y usar recubrimiento anticorrosivo.
- Señalización: colocar cinta de advertencia a mitad de la profundidad de la zanja.
- Cama de arena: colocar 10 a 15 cm de arena debajo de la tubería para evitar daños de esfuerzos mecánicos y contacto con elementos punzantes del suelo.

Estas medidas permiten preservar la integridad de la tubería y prolongar la vida útil del sistema de distribución de gases medicinales.

Figura 47

Instalación subterránea para sistema de gases medicinales.



Nota. Esta imagen fue de elaboración propia, mediante inteligencia artificial.

5.6. Pruebas del sistema de la red y su hermeticidad.

Las pruebas del sistema de redes de gases medicinales se realizan después de la instalación de las tuberías y accesorios con el fin de verificar que la red se encuentre

correctamente instalada, limpia, libre de fugas y apta para su operación segura en establecimientos de salud. Estas pruebas permiten garantizar la integridad del sistema y la correcta identificación de los gases antes de su puesta en servicio. De acuerdo con la NFPA 99, deben efectuarse diferentes verificaciones como pruebas de presión, flujo y hermeticidad, las cuales deben ser realizadas por personal calificado independiente del instalador

5.6.1. Pruebas del sistema de la red.

Una vez concluida la red de tuberías de distribución, pero antes de la instalación de salidas murales u otros componentes como sistema de alarmas, indicadores de presión, y válvulas de escape de presión. Esta instalación debe ser barridos por medio de nitrógeno seco, libres, este requisito es conforme a los establecidos por la NFPA 99.

- **Prueba de presión inicial.** Las secciones de tuberías del sistema de gas medicinal deberán ser sometidos a pruebas de presión es de 1.5 veces de la presión de trabajo del sistema, pero no menos de una presión media estándar de 150 psi. Para esta prueba las válvulas deber permanecer completamente cerradas. La presión de prueba debe mantenerse mientras se revisa cada unión para detectar fugas, usando agua jabonosa u otro método seguro y adecuado para sistemas de oxígeno.
- **Prueba de conexión cruzada,** Tiene como finalidad comprobar que cada salida suministre únicamente el gas correspondiente y que no existan conexiones incorrectas entre diferentes sistemas. Para esta verificación ya deberán estar instaladas todos los componentes concernientes a una red de distribución de oxígeno para ello se presuriza la red con nitrógeno seco libre de aceite a 50 psi y se revisa cada punto de consumo.
- **Pruebas de purga a la salida de las tuberías.** Las salidas del sistema de tuberías de gases médicos deben purgarse para eliminar partículas o impurezas acumuladas. Este procedimiento se realiza utilizando adaptadores adecuados, aplicando un flujo

intermitente de gas a alto volumen hasta que no se observe suciedad o decoloración en un paño blanco limpio. La purga debe iniciarse en la salida más cercana a la válvula de zona y continuar progresivamente hasta la más alejada dentro de la misma zona. Se debe usar un adaptador adecuado proporcionado por la instalación, asegurando que cada salida alcance un flujo de purga mínimo de 225 NI/min.

Figura 48

Pruebas de purga a la salida de las tuberías.



Aquí podemos observar los manómetros de prueba así como el flujometro que utiliza el Verificador en la prueba de purga

Nota. Esta imagen fue tomada de *Sistema De Gases Medicinales Y Vacío Médico Quirúrgico*, (p.97) por Sepúlveda & Algarra, 2005.

5.6.2. Pruebas de hermeticidad del sistema.

Las pruebas de hermeticidad tienen como objetivo comprobar que la red de tuberías no presenta fugas en uniones, accesorios o conexiones. Para este punto ya deberían estar instalados todos los componentes del sistema de distribución de gas medicinal.

De acuerdo con la NFPA 99, una vez instalado el sistema completo se debe realizar una prueba de presión estática que consiste en:

- El sistema se presuriza utilizando nitrógeno seco libre de aceite como gas de prueba y que la válvula de origen deber estará cerrada durante esta prueba.
- La presión de prueba debe ser aproximadamente 20 % mayor que la presión normal

de operación del sistema.

- El sistema debe mantenerse presurizado durante un periodo mínimo de 24 horas. Durante este tiempo, la presión debe permanecer estable; cualquier disminución significativa puede indicar la presencia de fugas en la instalación.
- Si se detectan fugas, estas deben localizarse, repararse y repetir nuevamente la prueba hasta asegurar la completa hermeticidad del sistema.

Además, la normativa establece que las variaciones de presión durante el ensayo se pueden atribuirse a cambios de temperatura ambiental y no siempre a pérdidas de gas en la red. Estas pruebas deben ser documentadas y registradas como parte del proceso de verificación del sistema antes de su puesta en funcionamiento.

5.7. Verificación mecánica de la tubería seleccionada

La selección de la tubería para la red de distribución de oxígeno medicinal se realizó de conformidad con la Norma Técnica de Salud N.º 119-MINSA/DGIEM-V.01, la cual establece que las redes de gases medicinales deben instalarse utilizando tuberías de cobre rígido Tipo K, sin costura, fabricadas conforme a la ASTM B88. Esta especificación normaliza las dimensiones, espesores de pared, propiedades mecánicas y requisitos de fabricación de las tuberías de cobre empleadas en este tipo de instalaciones.

- Tipo K: Tiene la pared más gruesa. Se utiliza para aplicaciones subterráneas, redes de distribución de agua municipales y líneas con alta presión o entornos químicos exigentes.
- Tipo L: Es el tipo más común para uso residencial. Se utiliza tanto en instalaciones interiores como exteriores expuestos a la intemperie.
- Tipo M: Tiene la pared más delgada de las tres. Su uso suele restringirse a líneas de

presión más baja dentro de sistemas de calefacción o suministro de agua doméstico

En la presente investigación se adoptó tubería de cobre Tipo K sin costura, conforme a la ASTM B88, en cumplimiento de los requisitos establecidos por la NTS N.º 119 para redes de distribución de oxígeno medicinal. La utilización de una tubería normalizada garantiza que sus características mecánicas han sido previamente establecidas por la norma de fabricación, asegurando un comportamiento adecuado frente a las presiones de servicio previstas para este tipo de sistemas.

Asimismo, la NFPA 99 establece los requisitos para el diseño, instalación y verificación de los sistemas de gases medicinales. Como parte del proceso de aceptación del sistema, la norma exige realizar una prueba de presión inicial con una presión equivalente a 1,5 veces la presión de trabajo, pero no menor de 150 psi, con el propósito de verificar la integridad mecánica de la red, la hermeticidad de las uniones y la ausencia de fugas antes de su puesta en servicio. En el presente diseño, cuya presión de operación es de 55 psi, la presión mínima de ensayo resulta de 150 psi, al ser superior al valor de $1,5 \times 55 \text{ psi} = 82.5 \text{ psi}$. Esta condición demuestra que la tubería seleccionada debe soportar presiones de ensayo considerablemente mayores que las de operación, constituyendo una verificación adicional de su capacidad mecánica.

Por consiguiente, la verificación mecánica de la tubería seleccionada se fundamenta en el cumplimiento de las especificaciones de fabricación establecidas por la ASTM B88, en los requisitos de instalación y ensayo de la NFPA 99 y de la NTS N.º 119, así como en la comparación de la presión de diseño del sistema con la presión máxima de trabajo indicada en los catálogos técnicos de fabricantes de tubería de cobre Tipo K. Estos catálogos corroboran que la presión de ensayo de la investigación 150 psi se encuentra ampliamente por debajo de la presión admisible del material

Según Nacobre (2010), en su manual técnico de cobre, menciona que para la tubería de cobre tipo k tiene como recomendación de presión de 852 psi para una presión constante, este valor es superior a la presión de ensayo de la NFPA 99 de 150 psi, por lo tanto, la verificación mecánica de la tubería queda validada.

Figura 49

Presiones permitidas para tuberías de cobre tipo K

2.1.3. Tubería tipo "K"

Es la denominación para las tuberías que por sus características se recomienda usar en instalaciones de tipo industrial, conduciendo líquidos y gases en condiciones más severas de presión y temperatura.

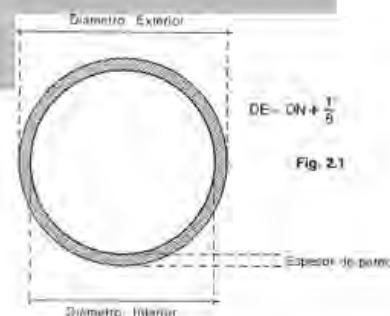
Característica	Tubería Tipo "K"
Temple	Rígido
Color de identificación	Verde
Grabado (bajo relieve)	Sí
Longitud del tramo	6.10 m
Diámetros	3/8" a 2"

Tubería de cobre de temple rígido Tipo "K"

Medida Nominal	Diámetro Exterior	Diámetro Interior	Espesor de Pared	Peso	Peso por tramo	Presión Máxima	Presión Constante
Pulgadas	Pulgadas	Pulgadas	Pulgadas	Lb/pie	libras	PSI	PSI
milímetros	milímetros	milímetros	milímetros	kg/m	kilogramos	kg/cm ²	kg/cm ²
3/8"	0.500"	0.402"	0.049"	0.269	5.385	8,820	1,760
0.49 mm	12.700	10.200	1.245	0.400	9.144	520.84	104.166
1/2"	0.625"	0.527"	0.049"	0.344	6.890	7,056	1,411
12.7 mm	15.875	13.385	1.245	0.512	3.128	486.03	99.18
3/4"	0.750"	0.745"	0.065"	0.640	12.813	6,685	1,337
19 mm	22.225	18.923	1.651	0.954	5.817	469.95	93.98
1"	1.125"	0.995"	0.065"	0.840	16.799	5,200	1,040
25 mm	28.575	25.273	1.651	1.250	7.627	209.00	73.11
1 1/4"	1.375"	1.245"	0.065"	1.041	20.824	4,260	852
32 mm	34.925	31.623	1.651	1.549	9.454	299.47	59.89
1 1/2"	1.625"	1.481"	0.072"	1.361	27.231	3,988	797
38 mm	41.275	37.617	1.829	2.026	12.363	280.35	56.02
2"	2.125"	1.959"	0.083"	2.062	41.249	3,515	703
51 mm	53.975	49.759	2.108	3.070	18.727	247.10	49.42

Los diámetros de las tuberías rígidas son nominales (de nombre). para conocer el diámetro exterior correspondiente se debe aumentar 1/8" al diámetro nominal, y si se quiere conocer el diámetro interior, bastará con restar 2 veces el espesor de pared correspondiente (Fig. 2.1.).

Las presiones máximas dadas, son las que soporta cada una de las tuberías, recomendándose no llegar nunca a éstas. Las presiones constantes de trabajo son las recomendadas a utilizar en la instalación durante toda la vida útil, esta presión es cinco veces menor que la máxima, para dar seguridad y duración en el servicio.



Nota. Esta imagen fue tomada de *Manual técnico de cobre*, (p.4) por Nacobre, 2010.

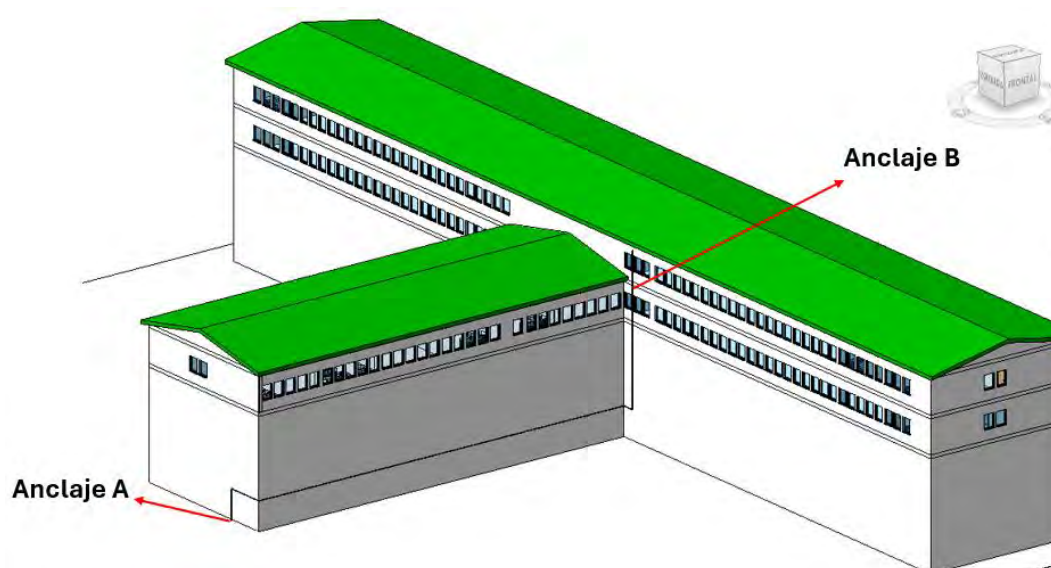
5.8. Verificación de la flexibilidad en el sistema de las tuberías.

Además del dimensionamiento hidráulico de la red de distribución de oxígeno medicinal, es necesario verificar el comportamiento mecánico del sistema frente a las deformaciones originadas por las variaciones de temperatura. Cuando una tubería experimenta cambios térmicos, el material tiende a expandirse o contraerse. Si estos desplazamientos son restringidos por anclajes que generan esfuerzos adicionales que pueden afectar la integridad mecánica de la instalación. Por esta razón, la norma ASME B 31.3, establece criterios para verificar que el sistema posea la flexibilidad suficiente para absorber dichos desplazamientos sin exceder los esfuerzos admisibles del material.

Para la evaluación se seleccionó el tramo principal de la red de distribución, comprendido entre dos puntos de anclaje considerados rígidos, debido a que este representa el recorrido de mayor longitud y, por consiguiente, el más susceptible a desarrollar desplazamientos por expansión térmica.

Figura 50

Localización de los anclajes en el sistema de tuberías



Nota. Esta imagen fue de elaboración propia, mediante la interfaz de software Revit.

En el presente estudio, se realizó la verificación de la flexibilidad de los tramos de la red de distribución de oxígeno medicinal mediante el criterio empírico establecido de la normativa ASME B31.3. Este procedimiento permite comprobar que la configuración geométrica de la tubería es capaz de absorber la expansión térmica prevista bajo las condiciones de operación del sistema.

5.8.1. Determinación del desplazamiento térmico

Para evaluar la flexibilidad del sistema de tuberías, se determinó el desplazamiento térmico que puede experimentar el tramo principal de la red debido a las variaciones de temperatura. Con el propósito de realizar una verificación apropiada, se adoptó como condición de diseño el rango de temperaturas ambientales extremas registradas en la ciudad del Cusco, comprendido entre $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ como temperatura mínima y $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ como temperatura máxima, entonces sus equivalentes de grados Celsius a Fahrenheit son:

$$-3\text{ }^{\circ}\text{C} = 26.6\text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$22\text{ }^{\circ}\text{C} = 71.6\text{ }^{\circ}\text{F}$$

De acuerdo con la normativa ASME B31.3, el desplazamiento térmico se determina a partir de la diferencia algebraica de los valores de expansión térmica total, correspondientes a la temperatura mínima y máxima consideradas durante el ciclo de operación. Para ello se empleó la Tabla 21 de la Expansión térmica total para tuberías de cobre.

Interpolando valores

$$-3\text{ }^{\circ}\text{C} = 26.6\text{ }^{\circ}\text{F} = -0.4821 * (\text{pulgadas}/100\text{ pies})$$

$$22\text{ }^{\circ}\text{C} = 71.6\text{ }^{\circ}\text{F} = 0.0181 * (\text{pulgadas}/100\text{ pies})$$

$$e_{\text{max}} - e_{\text{min}} = (0.0181 + 0.4821) * (\text{pulgadas}/100\text{ pies})$$

$$e_{\text{max}} - e_{\text{min}} = (0.5002) * (\text{pulgadas}/100\text{ pies})$$

Tabla 21

Expansión térmica total

Tabela C-1 Expansão Térmica Total, Unidades dos EUA, para Metais
Expansão Térmica Linear Total entre 70 °F e a Temperatura Indicada, pol. /100 pé

Temp., °F	Material							Cobre e Ligas de Cobre
	Aço Carbono Carbono-Moly- Baixo-Cromo (Até 3Cr-Mo)	5Cr-Mo até 9Cr-Mo	Aços Inox Austeníticos 18Cr-8Ni	12Cr, 17Cr, 27Cr	25Cr-20Ni	UNS N04400 Monel 67Ni-30Cu	3 ¹ / ₂ Ni	
-450	...	...	...	...	...	...	...	-3.93
-425	...	...	...	...	...	...	...	-3.93
-400	...	...	...	...	...	...	...	-3.91
-375	...	...	...	...	...	...	...	-3.87
-350	...	...	...	...	...	...	...	-3.79
-325	-2.37	-2.22	-3.85	-2.04	...	-2.62	-2.25	-3.67
-300	-2.24	-2.10	-3.63	-1.92	...	-2.50	-2.17	-3.53
-275	-2.11	-1.98	-3.41	-1.80	...	-2.38	-2.07	-3.36
-250	-1.98	-1.86	-3.19	-1.68	...	-2.26	-1.96	-3.17
-225	-1.85	-1.74	-2.96	-1.57	...	-2.14	-1.86	-2.97
-200	-1.71	-1.62	-2.73	-1.46	...	-2.02	-1.76	-2.76
-175	-1.58	-1.50	-2.50	-1.35	...	-1.90	-1.62	-2.53
-150	-1.45	-1.37	-2.27	-1.24	...	-1.79	-1.48	-2.30
-125	-1.30	-1.23	-2.01	-1.11	...	-1.59	-1.33	-2.06
-100	-1.15	-1.08	-1.75	-0.98	...	-1.38	-1.17	-1.81
-75	-1.00	-0.94	-1.50	-0.85	...	-1.18	-1.01	-1.56
-50	-0.84	-0.79	-1.24	-0.72	...	-0.98	-0.84	-1.30
-25	-0.68	-0.63	-0.98	-0.57	...	-0.77	-0.67	-1.04
0	-0.49	-0.46	-0.72	-0.42	...	-0.57	-0.50	-0.77
25	-0.32	-0.30	-0.46	-0.27	...	-0.37	-0.32	-0.50
50	-0.14	-0.13	-0.21	-0.12	...	-0.20	-0.15	-0.22
70	0	0	0	0	0	0	0	0
100	0.23	0.22	0.34	0.20	0.32	0.28	0.23	0.34
125	0.42	0.40	0.62	0.36	0.58	0.52	0.42	0.63
150	0.61	0.58	0.90	0.53	0.84	0.75	0.61	0.91

Nota. Esta imagen fue tomada de *Process Piping*. (p.241) por ASME B31.3, 2016.

5.8.2. Aplicación del criterio empírico de ASME B31.3

La norma ASME B31.3, en el párrafo 319.4.1, establece que no es necesario realizar un análisis formal de flexibilidad cuando el sistema de tuberías presenta una configuración simple, de diámetro uniforme, con únicamente dos puntos de anclaje, sin restricciones intermedias y cuya geometría cumple con los límites establecidos por la ecuación empírica de flexibilidad. Este criterio permite efectuar una verificación preliminar de la capacidad del sistema para absorber los desplazamientos ocasionados por la expansión o contracción térmica, evitando la necesidad de recurrir a métodos de análisis más complejos.

En el presente estudio se seleccionó el tramo principal de la red de distribución de oxígeno medicinal, comprendido entre dos anclajes rígidos, debido a que representa el recorrido de mayor longitud y, por consiguiente, el más crítico frente a los desplazamientos térmicos. Para verificar su flexibilidad se empleó la ecuación empírica propuesta por ASME B31.3:

$$\frac{D * Y}{(L - U)^2} \leq K_I$$

Donde:

D = diámetro externo de tubo, [mm] (pulg.)

L = longitud de tubería desarrollada entre los anclajes, m ([pies])

U = distancia del ancla, línea recta entre los anclajes, m ([pies])

K_I = 208.3 para unidades SI registradas anteriormente

= 0,03 para unidades EE.UU. habituales registradas anteriormente entre paréntesis

Y = resultante de tensiones del desplazamiento totales, [mm] (pulg), para ser absorbidas por el sistema de la tubería

La aplicación de esta ecuación permite verificar si la geometría del tramo analizado proporciona la flexibilidad suficiente para absorber los desplazamientos térmicos sin requerir un análisis formal de esfuerzos.

Datos del tramo analizado:

D = 34.93 mm

L = 50.82 m

U = 36.86 m

K_I = 208.3

Y = [(0.5002) *(pulgadas/100 pies)]*[50.82 metros]= 21.19 mm

Reemplazando en la formula empírica:

$$\frac{D * Y}{(L - U)^2} \leq K_I$$

$$\frac{34.93 * 21.19}{(50.82 - 36.86)^2} \leq 208.3$$

$$3.82 \leq 208.3$$

Cumple con el criterio empírico de flexibilidad establecido por ASME B31.3.

se verifica que el sistema de tuberías cumple ampliamente con el criterio empírico de flexibilidad. Este resultado indica que la configuración geométrica del tramo analizado posee la capacidad suficiente para absorber los desplazamientos producidos por la expansión y contracción térmica sin generar esfuerzos excesivos en la tubería. Desde el punto de vista mecánico, el cambio de dirección de la tubería entre los puntos de anclaje proporciona una flexibilidad natural que permite disipar las deformaciones térmicas, reduciendo la transmisión de esfuerzos hacia los anclajes, soportes y accesorios. En consecuencia, la probabilidad de que se presenten deformaciones permanentes, fisuras en las uniones soldadas o esfuerzos elevados sobre los elementos de la instalación es mínima bajo las condiciones de diseño consideradas.

Asimismo, el amplio margen existente entre el valor calculado 3.82 y el límite permisible 208.3 demuestra que el tramo evaluado posee una reserva significativa de flexibilidad, por lo que no es necesario incorporar elementos adicionales de compensación de expansión, como lazos o juntas de expansión, para las condiciones de operación analizadas.

CAPITULO VI:

INFLUENCIA DEL DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN OXÍGENO EN LA DISPONIBILIDAD DEL SUMINISTRO

La disponibilidad del suministro será medida en la cantidad de camas con suministro continuo de oxígeno y el tiempo en la atención para aplicar oxígeno al paciente

6.1. Disponibilidad del suministro actualmente

En el tema de investigación se especificaron las áreas medicas que se encuentran el cuarto y quinto piso de la infraestructura hospitalaria las cuales disponen una cantidad limitada de camas, pero no todas ellas gozan de un suministro continuo y oportuno sin demoras en su atención

- Neurociencia, actualmente cuenta con 20 camas disponibles.
- Medicina -C, actualmente cuenta con 22 camas disponibles.
- Medicina-A, actualmente cuenta con 32 camas disponibles.
- Oncología, actualmente cuenta con 21 camas disponibles.
- Pediatría, actualmente cuenta con 29 camas disponibles

6.1.1. Monitoreo de la disponibilidad el suministro actualmente.

El monitoreo actual que realiza el Hospital Regional de Cusco para la disponibilidad de oxígeno medicinal es mediante el ingreso por guardias diurnas y nocturnas, donde el personal monitorea y registra los valores de presión y flujo en las diferentes áreas médicas. Con ello se elabora un informe que permite conocer el estado del suministro y determinar el momento oportuno para realizar el cambio de un cilindro vacío por uno lleno. Este procedimiento contribuye a mantener la continuidad del abastecimiento de oxígeno medicinal y facilita el control permanente de la disponibilidad del sistema en las distintas áreas asistenciales del hospital.

Tabla 22*Monitoreo por cada área medica*

Numero de cama	Presión (Psi)	Flujo (LPM)	Observación
Medicina C – 5^{to} piso			
501 al 522			
Neurociencia – 5^{to} piso			
523 al 542			
Medicina A – 4^{to} piso			
401 al 432			
Oncología – 4^{to} piso			
450 al 470			
Pediatría – 4^{to} piso			
335 al 363			

Nota. Esta tabla utiliza el trabajador de la planta de oxígeno para realizar los cambios de cilindros de oxígeno de acuerdo a la presión y flujo de consumo.

Para tener mayor veracidad de la investigación se utilizó dicho informe, en el cual se revisó el monitoreo y se extrajeron los datos que ayudaron a comprender la logística de trabajo que se realiza en el Hospital Regional de Cusco. Ver **Anexo 10**.

Dicho de ese modo, se extraen los datos concernientes al quinto piso, específicamente del área médica de Medicina C, los cuales sirven como base para el análisis de la disponibilidad del suministro de oxígeno medicinal y la evaluación de las condiciones de operación del sistema. Asimismo, permiten respaldar el desarrollo de la investigación con información obtenida directamente del monitoreo realizado por el personal responsable.

Tabla 23

Toma de datos para el monitoreo actual

Numero de cama	Presión (Psi)	Flujo (LPM)
503	500	2
504	1700	3
505	600	1
506	1000	5
507	1700	2
510	1000	2
511	1000	2
512	500	3
517	2300	2
521	1600	10

Nota. Esta tabla refleja la logística de trabajo que se realiza en el hospital regional del cusco

Entonces para calcular el tiempo utilizable de un cilindro de oxígeno en función de su presión y su flujo se puede realizar mediante la identificación de los sellos impresos en el cilindro de oxígeno, en la siguiente imagen se detallan los datos comunes que posee cada cilindro

Figura 51

Identificación de los datos de un cilindro de oxígeno



Nota. Esta imagen fue tomada de *Especificaciones de los cilindros de oxígeno*, por Kallpa care import SAC, 2022.

Ahora conociendo sus datos, el valor que nos interesa es el volumen interior del cilindro de oxígeno en litros y transformar su presión de psi a bar, con el fin de calcular el tiempo del oxígeno restante para ello se podrá usar la siguiente formula:

$$tiempo (horas) = \frac{P * V_b}{Q * 60}$$

Donde:

P = Presión interna o manométrica del cilindro de oxígeno en bar.

V_b = Capacidad interna de cilindro de oxígeno en litros.

Q = flujo de consumo de oxígeno en litros/min.

Ahora para efectos de cálculo tomaremos los datos de la **tabla 22**. Teniendo en cuenta que 1bar equivale a 14.5 psi, para la cama 503.

$$Tiempo (horas) = \frac{34.48 * 50}{2 * 60}$$

$$Tiempo (horas) = 3.703 = 3 \text{ horas y } 42 \text{ min}$$

Ahora teniendo en claro la forma de como calcular los tiempos restantes de oxígeno se procederá a calcular para las demás camas de la **tabla 21**. Cabe señal que el Hospital Regional de Cusco utiliza este método de cálculo para todos pacientes que requieran oxigeno de las diferentes áreas de salud.

Tabla 24

Tiempo restante de oxígeno para diferentes camas

Numero de cama	Presión (Psi)	Flujo (LPM)	Tiempo restante (hora)
503	500	2	14.37
504	1700	3	32.57
505	600	1	34.48
506	1000	5	11.49
507	1700	2	48.85
510	1000	2	28.74
511	1000	2	28.74

512	500	3	9.58
517	2300	2	66.09
521	1600	10	9.20

Nota. Esta tabla representa los diferentes tiempos restantes de oxígeno, en la cuales deben ser reemplazados por cilindros llenos.

6.2. Cantidad de camas con suministro continuo actualmente

Como se mencionó anteriormente la disponibilidad será medido en la cantidad de camas con suministro continuo, para obtener tales datos se apoyó con los datos del **Anexo 10**.

Tabla 25

Cantidad de camas con suministro continuo

Área medica	Camas disponibles actualmente	Camas con suministro actualmente
Medicina C	22	10
Neurociencia	20	4
Medicina A	32	19
Oncología	21	5
Pediatría	29	14
Total	124	52

Nota. Esta tabla representa las camas disponibles frente a camas con suministro continuo

Entonces es correcto indicar que la cantidad de camas con suministro continuo actualmente no cubre la totalidad de camas disponible,

6.3. Tiempo de atención al paciente actualmente

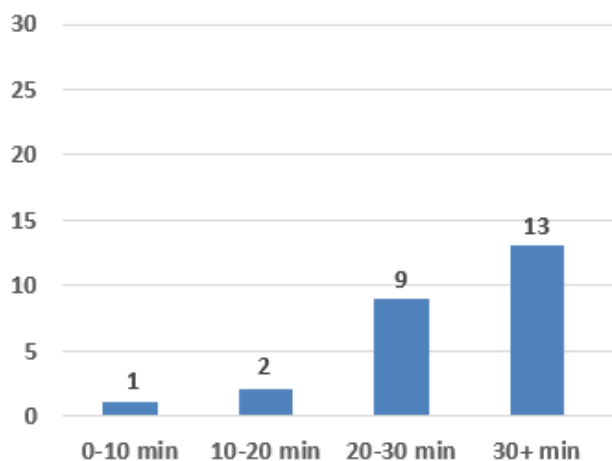
Si bien es cierto cuando un paciente necesita oxígeno inmediato, la logística de trabajo que aplica el Hospital Regional de Cusco es lenta e ineficiente, lo que implica un tiempo de atención prolongado, entonces para poder identificar dicho valor se tuvo que aplicar una encuesta al personal de salud, esta encuesta consta de un cuestionario de una sola pregunta puntal que se verá a continuación:

1. ¿Actualmente el tiempo de atención para suministrar oxígeno al paciente es?
- a) 0 – 10 minutos b) 10 – 20 minutos c) 20 – 30 minutos d) más de 30 minutos

Este cuestionario, fue aplicada a médicos, enfermeras y técnicos en salud que atienden directamente a pacientes hospitalizados, con el fin de identificar el problema y ver la realidad que ocurre en el hospital regional de cusco. En total, participaron 25 profesionales, considerando cinco por cada área de estudio. Ver **Apéndice D**.

Figura 52

Resultado del cuestionario a los 25 participantes



Nota. Estos resultados nos indican que existe el problema en los tiempos de atención para suministrar oxígeno al paciente.

6.4. Influencia del diseño de la red de distribución de oxígeno frente la disponibilidad del suministro

El diseño de una red de distribución de oxígeno medicinal al ser un conjunto de procedimientos destinados a determinar el dimensionamiento óptimo de tuberías, equipos y puntos de suministro que permitan transportar oxígeno desde la fuente de abastecimiento hasta las áreas asistenciales de un establecimiento de salud, garantizando el caudal, presión y

continuidad requeridos para la atención de los pacientes. Entonces dicho de este modo, el diseño de la red de oxígeno incrementará la cantidad de camas con suministro continuo y se reducirá el tiempo en la atención para aplicar oxígeno al paciente

6.4.1. Incremento en la cantidad de camas con suministro continuo

Con el diseño de la red de distribución de oxígeno permite garantizar el suministro continuo de oxígeno medicinal para las 124 camas disponibles, ubicadas en el cuarto y quinto piso del Hospital Regional de Cusco con un total de 97 tomas de oxígeno previamente determinadas.

6.4.2. Reducción del tiempo en la atención para aplicar oxígeno al paciente.

Actualmente, sin la red de distribución, las encuestas indican que el tiempo de atención para suministrar oxígeno al paciente puede alcanzar hasta 30 minutos; con el diseño de la red de distribución de oxígeno, el suministro será inmediato, reduciendo a cero minutos el tiempo de atención en situaciones de emergencia.

CAPITULO VII:

EVALUACION ECONÓMICA A PARTIR DE LOS AHORROS OPERATIVOS GENERADOS POR EL DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

La evaluación económica aporta una herramienta clave para proyectos de inversión en el sector salud, ya que permite entender la conveniencia de asignar recursos públicos financieros a una determinada intervención, considerando no solo los costos asociados a su implementación, sino también los beneficios sociales derivados de la optimización en la atención médica.

En el caso de los establecimientos de salud públicos, como el Hospital Regional de Cusco, la evaluación económica no se orienta a la obtención de ganancia financiera, sino a la optimización del uso de los recursos públicos, la reducción de costos operativos, la mejora en la continuidad del servicio y el impacto positivo en la atención médica. En este contexto, los indicadores VAN y TIR son válidos, siempre que los flujos económicos sean interpretados como ahorros netos generados por el proyecto y no como ganancias financieras.

7.1. Determinación de presupuesto del proyecto.

La determinación del presupuesto del proyecto consiste en la estimación económica total necesaria para la propuesta de ejecución de la instalación. Para ello se consideran los costos asociados a la mano de obra, materiales, equipos y herramientas requeridos durante el proceso constructivo, los cuales conforman el costo directo del proyecto. Asimismo, se incluyen los gastos generales y la utilidad del contratista, que representan los costos indirectos vinculados a la administración y ejecución de la obra.

El presupuesto constituye el monto base para la evaluación económica posterior, ya que permite identificar el desembolso inicial requerido para la ejecución del proyecto. Este cálculo es fundamental para analizar la viabilidad financiera y la planificación adecuada de

los recursos económicos necesarios para la propuesta de implementación del sistema. Para obtener el monto total del presupuesto del proyecto se emplea la siguiente relación:

$$\text{Presupuesto Total} = (\text{Costo Directo} + \underbrace{\text{Gastos Generales} + \text{Utilidad}}_{\text{Costos Indirectos}}) + \text{IGV}$$

Donde:

- **Costo directo (CD):** Suma de los costos de materiales, mano de obra, equipos y herramientas utilizados en la ejecución del proyecto.
- **Gastos generales (GG):** Costos administrativos y operativos necesarios para la gestión y supervisión de la obra.
- **Utilidad (U):** Beneficio económico esperado por el contratista por la ejecución del proyecto.
- **IGV:** Impuesto general a las ventas aplicado al subtotal del presupuesto.

De esta manera, el presupuesto final del proyecto representa el costo económico total requerido para la ejecución completa del sistema de instalación.

7.1.1. Costos directos.

Los costos directos del proyecto corresponden a aquellos asociados de manera inmediata con la ejecución de la red de distribución de oxígeno. Estos costos se calcularon a partir de los metrados obtenidos en el modelo Revit MEP y los precios unitarios correspondientes a cada componente de la red de oxígeno. El costo directo se determina mediante la siguiente relación:

$$\text{Costo Directo} = \text{Metrado} \times \text{Precio Unitario}$$

En este análisis se consideran como componentes del costo directo:

- Materiales.

- Mano de obra.
- Equipos y herramientas.

El costo directo hallado es de S/ 249,548.49, este valor está detallado en el **Apéndice E**

7.1.2. Costos indirectos.

Los costos indirectos corresponden a aquellos gastos necesarios para la ejecución del proyecto que no están directamente relacionados con una actividad específica de construcción, pero que son indispensables para el correcto desarrollo y administración de la obra. Dentro de estos costos se incluyen principalmente los gastos generales y la utilidad del contratista, los cuales permiten cubrir las actividades administrativas, supervisión, logística y gestión necesarias durante la ejecución del proyecto. Para determinar los costos indirectos se emplea la siguiente relación:

$$\text{Costos Indirectos (CI)} = \text{Gastos Generales (GG)} + \text{Utilidad (U)}$$

En proyectos de ingeniería y construcción, estos valores suelen estimarse como un porcentaje del costo directo, considerando generalmente los siguientes rangos:

- Gastos Generales (GG) $\approx$ 10 % del Costo Directo
- Utilidad (U) $\approx$ 10 % del Costo Directo

Por lo tanto, las expresiones para su cálculo pueden representarse de la siguiente manera:

$$CI = (0.10 \times CD) + (0.10 \times CD)$$

$$CI = (0.10 \times \text{S/ } 249,548.49) + (0.10 \times \text{S/ } 249,548.49)$$

$$CI = \text{S/ } 49,909.70$$

Entonces con estos costos hallados, podemos obtener el presupuesto final a la propuesta de implementación de una red distribución de oxígeno para el cuarto y quinto piso del Hospital Región De Cusco.

$$\text{Presupuesto Total} = (\text{Costo Directo} + \underbrace{\text{Gastos Generales} + \text{Utilidad}}_{\text{Costos Indirectos}}) + \text{IGV}$$

Presupuesto total = (S/ 249,548.49 + S/ 49,909.70) + (S/ 249,548.49 + S/ 49,909.70) * 18%

Presupuesto total = S/ 353,360.66

7.2. Determinación de los flujos económicos.

Los flujos económicos permiten analizar la viabilidad del proyecto a lo largo del tiempo y constituyen la base para el cálculo de los indicadores económicos. Los flujos económicos del proyecto se establecieron considerando:

7.2.1. Inversión inicial.

Correspondiente al presupuesto total del proyecto la cual se halló previamente teniendo el monto de inversión inicial a S/ 353,360.66

7.2.2. Flujos positivos.

Los flujos positivos del proyecto están representados por los ahorros económicos anuales generados a partir de la propuesta de implementación de la red de distribución de oxígeno medicinal. Estos beneficios se reflejan principalmente en la reducción de costos operativos, especialmente por la disminución del personal necesario para la manipulación y traslado de cilindros de oxígeno, y el costo de mantenimiento de la red de distribución.

a) Ahorro por reducción del personal operativo.

Tabla 26

Costos operativos para la distribución de oxígeno en el Hospital Regional De Cusco.

Descripción De Rol De Trabajo	Tipo De Contrato	Cantidad	Sueldo Mensual
Jefe de área del de planta de oxígeno.	CAS	1	No se especifica

Personal operario de planta y distribución de oxígeno.	CAS COVID	6	No se especifica
Personal de apoyo.	Servicios por recibos de honorarios	5	S/ 1,800.00

Nota. Esta tabla fue de elaboración propia, representa los costos operativos para la distribución de oxígeno en el Hospital Regional De Cusco para el periodo de 31/07/2025.

Entonces lo que pretende la investigación es reducir el personal al momento de la propuesta de implementación de la red de distribución de oxígeno, esta reducción de personal se debe entender como ahorros económicos operativos y no a la obtención de ganancias financieras. En tal sentido este ahorro será en la reducción de los 5 personales de apoyo con el tipo de contrato de servicios por recibo de honorarios. Entonces el ahorro anual viene expresado de la siguiente manera.

$$\text{Ahorro anual} = (\text{Cantidad del personal de apoyo}) * (\text{Sueldo mensual}) * (12 \text{ meses})$$

$$\text{Ahorro anual} = (5) * (\text{S/ } 1,800.00) * (12)$$

$$\text{Ahorro anual} = \text{S/ } 108,000.00$$

b) Costos de mantenimiento de la red de distribución de oxígeno.

Tabla 27

Costos de mantenimiento anual de red de distribución de oxígeno.

Concepto	Costo Aproximado Anual
Mano de obra técnica	S/ 2,000.00
Instrumentos de medición	S/ 1,200.00
Inspección de tuberías	S/ 300.00
Prueba de fugas	S/ 400.00
Verificación de válvulas	S/ 300.00
Revisión de tomas de gases medicinales	S/ 200.00
Revisión del sistema de alarmas	S/ 300.00
Calibración de reguladores y manómetros	S/ 200.00
Purga y limpieza de línea	S/ 300.00
	S/ 5,200.00

Nota. Esta tabla fue de elaboración propia.

7.2.3. Horizonte de evaluación.

El horizonte de evaluación corresponde al período de tiempo durante el cual se analizan los costos y beneficios generados por la propuesta de la implementación del proyecto, con el objetivo de determinar su viabilidad económica. Este período debe estar relacionado con la vida útil del sistema, la estabilidad de los costos operativos y la confiabilidad de las proyecciones económicas.

En el presente estudio se ha considerado un horizonte de evaluación de 5 años, debido a que este periodo permite estimar de manera razonable los ahorros operativos generados por la propuesta de implementación de la red de distribución de oxígeno medicinal, especialmente aquellos relacionados con la reducción de costos operativos del personal.

7.2.4. Tasa de descuento.

La tasa de descuento permite actualizar a valor presente los costos y beneficios futuros de un proyecto, considerando el valor del dinero en el tiempo y el costo de oportunidad de los recursos públicos. En esta evaluación se utiliza una tasa del 10 %, comúnmente aplicada en proyectos de inversión pública, la cual facilita el cálculo de indicadores como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), permitiendo determinar si la propuesta de implementación de la red de distribución de oxígeno es viable o no, lo que justifican la inversión realizada.

7.3. Flujo de caja proyectado.

El flujo de caja proyectado es una herramienta financiera que permite observar, año tras año, los ingresos y egresos de dinero relacionados con el proyecto. En el año 0 solo se considera la inversión inicial destinada a la propuesta de implementación de la red de distribución de oxígeno, por lo que el flujo resulta negativo al representar una salida importante de efectivo. A partir del año 1 hasta el año 5, se incorporan los ahorros

anuales generados por la puesta en marcha del proyecto.

Tabla 28

Flujo de caja proyectado de la red de distribución de oxígeno.

Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inversión inicial	-353360.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ahorros operativos en la distribución de oxígeno	0.00	108000.00	108000.00	108000.00	108000.00	108000.00
Costos de mantenimiento de la red de distribución de oxígeno	0.00	-5200.00	-5200.00	-5200.00	-5200.00	-5200.00
Flujo Neto De Caja	-353360.66	102800.00	102800.00	102800.00	102800.00	102800.00

Nota. Esta tabla fue de elaboración propia.

7.4. Presupuesto de efectivo simplificado.

El presupuesto de efectivo simplificado permite estimar la disponibilidad de dinero en caja tanto al inicio como al final de cada año del proyecto. En el año 0 se presenta un saldo negativo debido a la elevada inversión inicial requerida para la propuesta de implementación. No obstante, durante los años posteriores los flujos netos de caja positivos contribuyen a disminuir gradualmente dicho déficit. Para el año 4 el saldo se vuelve positivo, lo que evidencia la recuperación de la inversión realizada. A partir de ese momento, el proyecto empieza a generar excedentes de efectivo que pueden destinarse a futuras inversiones o a cubrir posibles contingencias.

Tabla 29

Presupuesto de efectivo simplificado.

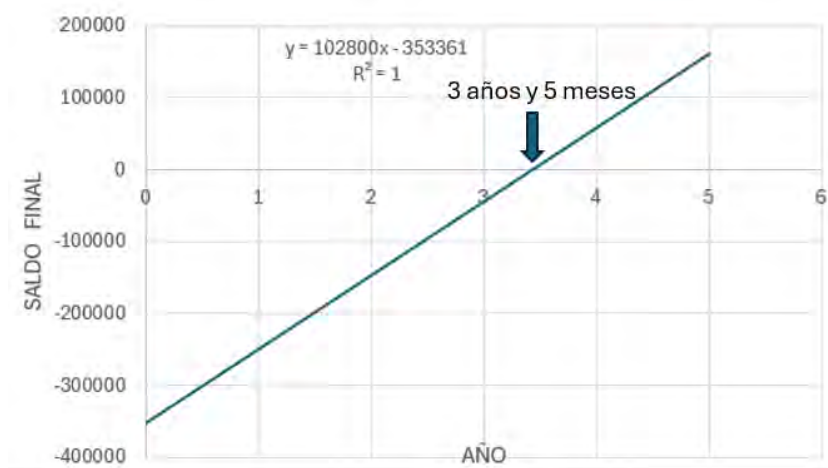
Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Saldo inicial	0	-353360.66	-250560.66	-147760.66	-44960.66	57839.34
Flujo neto de caja	-353360.66	102800.00	102800.00	102800.00	102800.00	102800.00
Saldo Final	-353360.66	-250560.66	-147760.66	-44960.66	57839.34	160639.34

Nota. Esta tabla fue de elaboración propia.

Para tener mayor exactitud del tiempo donde se recupera la inversión en la siguiente grafica se visualizará de mejor manera.

Figura 53

Evolución del saldo final del proyecto a lo largo de cinco años.



Nota. Esta grafica fue de elaboración propia.

7.5. Indicadores de evaluación económica.

7.5.1. Valor actual neto (VAN).

El Valor actual neto (VAN) es un indicador que permite evaluar la conveniencia económica del proyecto, comparando el valor actual de los beneficios económicos futuros con la inversión inicial requerida.

En el contexto del presente estudio, un VAN positivo indica que los ahorros generados por la red de distribución de oxígeno superan la inversión realizada, justificando económicamente su implementación en el establecimiento de salud. El VAN se puede determinar mediante la siguiente expresión:

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=1}^N \frac{C_n}{(1+r)^n}$$

I_0 = inversión inicial.

C_n = flujo de caja por la inversión en cada periodo.

N = número total de periodos.

n = año donde se van obteniendo los beneficios de cada periodo.

r = tasa de descuento

Interpretación: $VAN > 0$ (Proyecto viable),

$VAN < 0$ (Proyecto no viable)

$$VAN = -353360.66 + \frac{102800.00}{(1 + 0.1)^1} + \frac{102800.00}{(1 + 0.1)^2} + \frac{102800.00}{(1 + 0.1)^3} + \frac{102800.00}{(1 + 0.1)^4} + \frac{102800.00}{(1 + 0.1)^5}$$

$$VAN = S/36332.22$$

Tabla 30

Cálculo del valor actual neto (VAN).

Año	Flujo Neto De Caja	Factor De Descuento (10%)	Flujo Descontado
0	-353360.66	1.000	-353360.66
1	102800.00	0.909	93454.55
2	102800.00	0.826	84958.68
3	102800.00	0.751	77235.16
4	102800.00	0.683	70213.78
5	102800.00	0.621	63830.71
Valor Actual Neto (VAN)			36332.22

Nota. Esta tabla fue de elaboración propia.

7.5.2. Tasa interna de retorno (TIR).

La Tasa interna de retorno (TIR) representa la tasa de descuento para la cual el VAN del proyecto es igual a cero. Este indicador permite determinar el nivel de rentabilidad económica del proyecto en términos de ahorro de recursos públicos.

Cuando la TIR es superior a la tasa de descuento considerada, la cual fue del 10%, el proyecto se considera económicamente rentable, evidenciando que la propuesta de implementación de la red de distribución de oxígeno genera beneficios económicos en términos de ahorro suficientes para justificar la inversión.

Tabla 31

Flujo neto de caja.

Año	Flujo Neto De Caja
0	-353360.66
1	102800.00
2	102800.00
3	102800.00
4	102800.00
5	102800.00

Nota. Esta tabla fue de elaboración propia.

Entonces para encontrar la TIR del proyecto se empleará la siguiente expresión:

$$0 = -I_0 + \sum_{n=1}^N \frac{C_n}{(1 + TIR)^n}$$

$$0 = -353360.66 + \frac{102800.00}{(1 + TIR)^1} + \frac{102800.00}{(1 + TIR)^2} + \frac{102800.00}{(1 + TIR)^3} + \frac{102800.00}{(1 + TIR)^4} + \frac{102800.00}{(1 + TIR)^5}$$

$$TIR = 13.95\%$$

$$TIR = 13.95\% > 10\%$$

$$TIR = \text{rentable}$$

CONCLUSIONES

El análisis de la demanda de oxígeno registrada durante el período 2022–2025 permitió determinar la demanda de diseño del sistema de distribución de oxígeno medicinal mediante el uso del percentil 90 y la tasa de crecimiento anual compuesta de 7.43%. Los resultados evidenciaron una tendencia creciente en el consumo de oxígeno, obteniéndose una demanda máxima actual de 13.19 m³/hora para las áreas de estudio y una demanda proyectada de 18.87 m³/hora para el año 2030. La comparación de los criterios de diseño demostró que el criterio de Church genera una demanda de diseño de 39.74 m³/hora, valor que proporciona el factor de seguridad de 3 adecuado y es compatible con la capacidad de producción de oxígeno del hospital.

El desarrollo del cálculo utilizando los parámetros de diseño establecidos permitió dimensionar adecuadamente la red de distribución de oxígeno medicinal, definiendo las rutas de acceso de las tuberías de acuerdo con la infraestructura existente del Hospital Regional de Cusco, seleccionando diámetros de tubería de cobre tipo K entre 1¼", 1", ¾" y ½", y verificando que las pérdidas de presión obtenidas en la ruta crítica de 0.3905 psi y en la red generalizada 0.599 psi se mantienen por debajo del límite máximo permisible de 5 psi.

El modelado tridimensional de las instalaciones mecánicas de la red de distribución de oxígeno, desarrollado mediante el software Autodesk Revit, permitió visualizar de manera integral la ubicación y distribución de los componentes del sistema dentro de la infraestructura del Hospital Regional del Cusco, garantizando la compatibilidad entre las especialidades arquitectónica y mecánica. Asimismo, el modelo facilitó la localización técnica de los equipos, accesorios, tuberías y puntos terminales, así como la obtención automática y precisa de las cantidades de elementos modelados, mejorando la confiabilidad de la información para la implementación de la red.

La evaluación de la influencia del diseño de la red de distribución de oxígeno demostró que su propuesta de implementación mejora significativamente la disponibilidad del suministro en las áreas de estudio del Hospital Regional de Cusco. Actualmente, de las 124 camas disponibles, solo 52 cuentan con suministro continuo de oxígeno, debido a la dependencia del abastecimiento mediante cilindros y a las limitaciones operativas asociadas. Con el diseño propuesto, se garantiza el suministro continuo para la totalidad de las 124 camas, mediante la instalación de 97 tomas de oxígeno estratégicamente distribuidas. Asimismo, mientras que el tiempo de atención para suministrar oxígeno al paciente puede alcanzar hasta 30 minutos bajo el sistema actual, la red de distribución permitirá una atención inmediata, reduciendo este tiempo a cero minutos.

La evaluación económica de la propuesta de implementación de la red de distribución de oxígeno, considerando un horizonte de evaluación de 5 años, permitió determinar la viabilidad económica del proyecto. El presupuesto total de inversión fue de S/ 353,360.66, mientras que los ahorros anuales generados por la reducción de costos operativos alcanzaron S/ 108,000.00. Asimismo, se obtuvo un Valor Actual Neto (VAN) de S/ 36,332.22 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 13.95 %, siendo esta superior a la tasa de descuento del 10 %. Estos resultados demuestran que los ahorros operativos generados por el diseño de la red permiten recuperar la inversión y hacen económicamente viable y contribuye a mejorar la eficiencia operativa y la optimización de atención médica del centro hospitalario

RECOMENDACIONES

Se recomienda al Hospital Regional de Cusco sustituir el sistema distribución actual basado en el transporte de cilindros presurizado mediante carretas de por el sistema centralizado propuesto, debido a que este reduce riesgos operativos, mejora los tiempos de respuesta y optimiza el trabajo del personal de salud.

Se recomienda al Hospital Regional de Cusco implementar un programa de mantenimiento preventivo a las plantas generadoras de oxígeno ya que de ellos dependen el abastecimiento de suministro de oxígeno para todos los pacientes del hospitalizados.

Se recomienda promover el aprendizaje y uso de Autodesk Revit en la formación académica, debido a que permite desarrollar competencias en modelado y coordinación de proyectos, mejorando la capacidad de los estudiantes para diseñar y gestionar sistemas de ingeniería de manera eficiente.

Se recomienda que para futuras investigaciones se evalúe la integración de otros gases medicinales, como aire medicinal y vacío, con el propósito de lograr una gestión más eficiente del recurso y una modernización integral de la infraestructura hospitalaria.

BIBLIOGRAFIA

1. Albújar, C. (2019). *Ampliación de la planta de generación de oxígeno en el Hospital Regional Docente las Mercedes de Chiclayo-Lambayeque* [Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/9017>
2. ASME B31.3. (2016). *Process Piping*. [sitio web]. <https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/b31-3-process-piping>
3. Amcaremed. (2025). *Sección de Productos*. [sitio web]. <https://amcaremed.com/product/medical-gas-source/?lang=es>
4. Arias, F. (2006). *El Proyecto De Investigación* (Editorial Episteme, Ed.; 6ta edición). <https://abacoenred.org/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf-1.pdf>
5. Atlas Copco. (2021). *Portafolio de equipos para generación de oxígeno*. [Documento PDF]. https://www.atlascopco.com/content/dam/atlas-copco/local-countries/peru/documents/Plantas%20de%20oxigeno%20Atlas%20Copco_FEB2021.pdf
6. Céspedes, J., & Arancibia, F. (2011). *Oxigenoterapia y rehabilitación respiratoria en el paciente con enfermedad pulmonar obstructiva crónica*. [Sociedad Chilena de Enfermedades Respiratorias]. <https://revchilenfermrespir.cl/index.php/RChER/article/view/437>
7. Cengel, Y. & Boles, M. (2015). *Termodinámica*. (8.^a ed.). McGraw-Hill, Interamericana. https://www.academia.edu/44436306/Termodin%C3%A1mica_8va_Edicion
8. Cengel, Y.& Cimbala, J. (2006). *Mecánica De Fluidos Fundamentos Y Aplicaciones*. (3.^a ed.). McGraw-Hill, Interamericana.

- https://www.academia.edu/25669790/Mecanica_de_Fluidos_Fundamentos_y_Aplicaciones_Yunus_Cengel_y_John_Cimbala_Primer_Edicion
9. Church, J. (1979). *Practical Plumbing Design Guide*. McGraw-Hill, U.S.A
<https://es.slideshare.net/slideshow/practical-plumbing-design-guide/64207223>
 10. Cruz Verde Sur, (2023). *Detalle de Montaje Sobre Plafón de Equipamiento Para Gases Medicinales*. [sitio web]. https://www.zapopan.gob.mx/wp-content/uploads/2023/10/GASES-MEDICINALES-DETALLES-GM_04.pdf?utm_source
 11. Domínguez, A. (2005). *Gases medicinales, nuevos medicamentos*. [sociedad española de farmacia hospitalaria]. [https://doi.org/10.1016/S1130-6343\(05\)73683-7](https://doi.org/10.1016/S1130-6343(05)73683-7)
 12. Escalante, H. & Pleitez, P. & Fernández, J. (2010). *Análisis Del Sistema Actual Y Propuesta De Diseño Del Sistema De Gases Médicos Del Hospital Nacional “Dr. Juan José Fernández” Zacamil*. [Universidad Don Bosco].
<https://rd.udb.edu.sv/server/api/core/bitstreams/775b7373-772d-4848-884c-9eb78b2cd9c8/content>
 13. Fernández, C., & Baptista. (2014). *Metodología De La Investigación*.
https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf
 14. Gates, M. (2021). *Oxygen Generation and Storage*. [Informe técnico de Gates Foundation]
https://media.path.org/documents/O2_generation_and_storage_report_V8_Jun2021.pdf
 15. Godofredo, E. (2012). *Sistema De Gases Médicos: Una Guía Práctica Para El Diseño*. [reporte de investigación].

<https://rd.udb.edu.sv/server/api/core/bitstreams/934c9fcc-202e-4dcc-a4a4-446b70273161/content>

16. IMSS. (1997). *Norma De Instalaciones Sanitarias Hidráulicas Y Especiales*. [sitio web]. <https://es.scribd.com/document/773867179/Imss-Normas-de-Instalaciones-Sanitarias-Hidra>
17. Kallpa care import SAC. (2022). *Especificaciones de los balones de oxígeno*. [sitio web]. <https://bebesysalud.com/producto/balon-10m3-de-oxigeno-medicinal-valvula-cga-540-nuevo/>
18. Lázaro. E. (2008). *Gases Medicinales. Clasificación, Aplicaciones, Almacenamiento, Suministro, Calculo De Redes Y Mantenimiento*. (1ra ed.).
<https://pdfcoffee.com/bioediciones-gases-medicinales-gases-med-pdf-pdf-free.html>
19. Marín, B. (2021). *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*.
<https://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/6441>
20. Martínez. P. (2017). *Diseño Y Análisis De Una Planta De Separación De Aire* [Universidad Politécnica De Madrid]
https://oa.upm.es/48874/1/TFG_PABLO_CERRADA_MARTINEZ.pdf
21. Martínez, R. (2020). *El Secreto Detrás De La Tesis* (1ra ed.).
https://www.sancristoballibros.com/libro/el-secreto-detras-de-una-tesis_97644
22. Ministerio de salud del Perú. (2015). *Norma Técnica De Salud N° 119*. [sitio web].
<https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/1848025-862-2015-minsa>
23. Modasa. (2021). *Plantas Generadoras De Oxígeno KMO2*. [sitio web].
<https://modasa.com.pe/wp-content/uploads/2021/12/presentacion-plantas-de-oxigeno.pdf>

24. Mott, R.& Untener, J. (2015). *Mecánica De Fluidos*. (7.^a ed.). PERSON EDUCACION, México.
https://www.academia.edu/43741728/Mecanica_de_Fluidos_7a_ed_Mott
25. Nacobre. (2010). *Manual técnico de cobre*, [sitio web].
https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/figutut112/manual_tecnico_cobre.pdf
26. NFPA 99, chapter 13. (2014). *Health Care Facilities and MEDICAL GAS and Vacuum SYSTEMS*. [sitio web]. <https://www.oregon.gov/bcd/codes-stand/Documents/pl-14opsc-chapter13.pdf>
27. Nuzhuo, H. (2023). *Grupo de tecnología Hangzhou Nuzhuo*. [sitio web].
https://es.made-in-china.com/co_hznuzhuo/product_Nuzhuo-Liquid-Nitrogen-Plant-Flow-Diagram-Process-Liquid-Nitrogen-Plant_uouggygirgu.html
28. Ortega, E. (2022). *Propuesta De Diseño De Red De Gases Medicinales Para El Hospital Juan Manuel Gálvez* [Universidad Tecnológica Centroamericana].
<https://repositorio.unitec.edu/items/ab52abbf-b4fb-4af4-904c-9fbe7cb334bc>
29. Oxicali. (2023). *Clasificación De Los Gases*. [sitio web].
<https://www.oxicali.com.co/nuevo-sitio/>
30. Pattonsmedical, (2025). *Sección de Productos*. [sitio web].
https://www.pattonsmedical.com/pipeline/valves/pressure-relief-valve/?utm_source
31. Respira medical. (2024). *Producto- Balon de Oxígeno NORRIS*. [sitio web].
<https://respiramedical.com.pe/producto/balon-de-oxigeno-americano-usa-norris/>
32. Sánchez, E., & Zacarías, J. (2010). *Sistema De Conducción De Gases De Un Hospital De 120 Camas Situado En La Región Costa Que Pertenece Al Ministerio De Salud Pública Del Ecuador*. [Escuela Politécnica Nacional].
<https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/9017>

33. Santos, E. (2024). *Composición Del Aire Atmosférico*. [sitio web].
<https://www.unprofesor.com/ciencias-naturales/cual-es-la-composicion-del-aire-que-respiramos-2585.html>
34. Selpesa, (2025). *Sección De Productos- Fijadores*. [sitio web]
<https://www.selpesa.com/mpwt/productos.php>
35. Sepúlveda, J. & Algarra, A. (2005). *Sistema De Gases Medicinales Y Vacío Médico Quirúrgico*. (5.^a ed.). <https://es.scribd.com/document/628980989/GASES-MEDICIONALES-nfpa-99-espaNol>
36. Serna, E. (2018). *Metodología de investigación aplicada*. (1.^a ed.).
https://www.researchgate.net/publication/331500917_Metodologia_de_investigacion_aplicada/link/5c7d5b3e299bf1268d3904f0/download?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19
37. BCcampus, (2025). *Sistemas De Gases Medicinales*. [sitio web]
https://opentextbc.ca/plumbing4a/chapter/install-piping-medical-gas-systems/?utm_source
38. Zela Castro, J. C. (2013). *Criterios De Diseño Y Cálculo De Sistemas De Suministro Y Distribución De Gases Medicinales Para Un Hospital* [Universidad Nacional De Ingeniería].https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_3bdc1f83062a89bfdb015377ee84c3e6
39. Zelaya, J. (2013). *Criterios De Diseño Y Cálculo De Sistemas De Suministro Y Distribución De Gases Medicinales Para Un Hospital*. [universidad nacional de ingeniería]. <https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/3794>

APENDICES

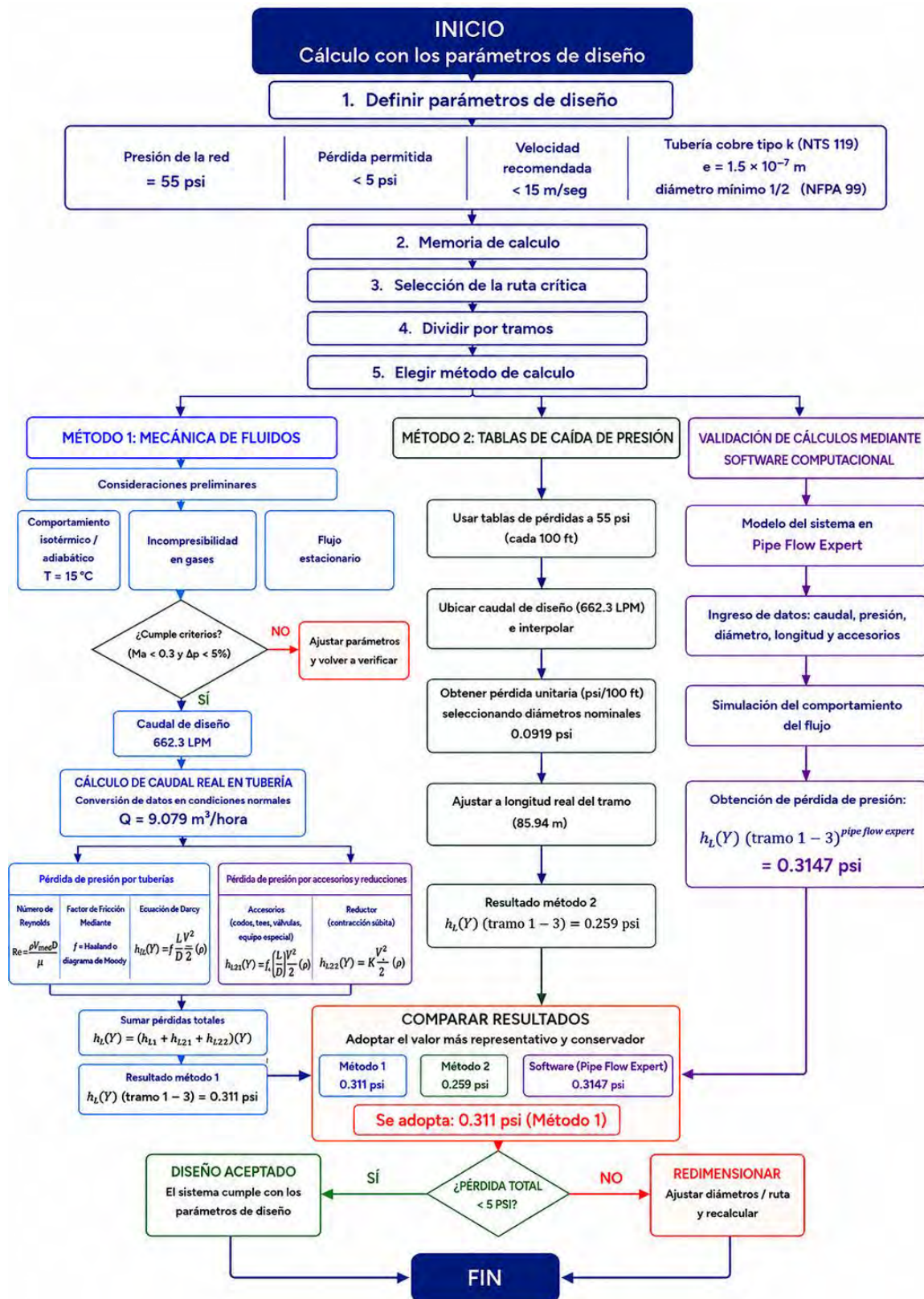
Apéndice A. Desarrollo para la demanda de diseño según el criterio de Church

Áreas de salud	Cantidad de salas	Cantidad de camas	Propuesta de tomas	LPM por toma	Factor de simultaneidad	Demanda de diseño LPM
MEDICINA – C	sala 1	2	1	20	100%	20
			1	40	100%	40
	sala 2	2	1	10	33%	3.3
			1	40	100%	40
	sala 3	2	2	10	33%	6.6
	sala 4	2	2	10	33%	6.6
	sala 5	2	2	10	33%	6.6
	sala 6	2	2	10	33%	6.6
	sala 7	2	2	10	33%	6.6
	sala 8	2	2	10	33%	6.6
	sala 9	2	2	10	33%	6.6
	sala 10	2	2	10	33%	6.6
	sala 11	2	2	10	33%	6.6
	subtotal	22	22			162.7
NEUROCIENCIA	sala 1	2	1	20	100%	20
	sala 2	2	1	10	75%	7.5
	sala 3	2	1	10	75%	7.5
	sala 4	2	1	10	75%	7.5
	sala 5	2	1	10	75%	7.5
	sala 6	2	1	10	75%	7.5
	sala 7	2	1	10	75%	7.5
	sala 8	2	1	10	75%	7.5
	sala 9	2	1	10	75%	7.5
	sala 10	2	1	10	75%	7.5
	subtotal	20	10			87.5

MEDICINA – A			1	20	100%	20
	sala 1	6	1	40	100%	40
			3	10	33%	9.9
	sala 2	6	1	40	100%	40
			4	10	33%	13.2
	sala 3	6	4	10	33%	13.2
	sala 4	3	2	10	33%	6.6
	sala 5	3	2	10	33%	6.6
	sala 6	3	2	10	33%	6.6
	sala 7	3	2	10	33%	6.6
	sala 8	2	2	10	33%	6.6
	subtotal	32	24			169.3
ONCOLOGÍA	sala 1	4	1	20	100%	20
			1	10	75%	7.5
	sala 2	2	1	10	75%	7.5
	sala 3	3	2	10	75%	15
	sala 4	3	2	10	75%	15
	sala 5	3	2	10	75%	15
	sala 6	2	1	10	75%	7.5
	sala 7	4	2	10	75%	15
	subtotal	21	12			102.5
PEDIATRÍA	sala 1	6	1	20	100%	20
			5	10	33%	16.5
	sala 2	6	6	10	33%	19.8
	sala 3	2	1	40	100%	40
			1	10	33%	3.3
	sala 4	6	6	10	33%	19.8
	sala 5	3	3	10	33%	9.9
	sala 6	3	3	10	33%	9.9
	sala 7	3	3	10	33%	9.9
	subtotal	29	29			140.3
total		124	97			662.3

Nota. Esta tabla refleja la cantidad de tomas de oxígeno propuesta y la demanda de diseño

Apéndice B. Flujograma del desarrollo de la memoria de calculo



Nota. Este flujograma es una guía del desarrollo de la memoria de calculo

Apéndice C. Pérdida de presión para la red generalizada

Apéndice C.1. Pérdidas de presión por tuberías para la red generalizada.

Tramo	Longitud m	Densidad Kg/m ³	Caudal m ³ /seg	Diámetro m	Velocidad m/seg	Reynolds	Factor De Fricción	h1 psi
RUTA CRITICA – NEUROCIENCIA								
1 -- 3	85.94	5.98	2.521998E-03	0.031623	3.21	30370.59	0.02335	0.28374
3--3a	0.31	5.98	9.526975E-04	0.031623	1.21	11472.65	0.02981	0.00019
3a--3b	2.86	5.98	9.526975E-04	0.025273	1.90	14355.22	0.02811	0.00498
3b--4	3.82	5.98	9.526975E-04	0.025273	1.90	14355.22	0.02811	0.00665
4--4a	14.08	5.98	3.331768E-04	0.025273	0.66	5020.30	0.03773	0.00402
4a--5	6.65	5.98	3.331768E-04	0.018923	1.18	6704.96	0.03465	0.00741
5--6	1.24	5.98	2.570227E-04	0.018923	0.91	5172.41	0.03741	0.00089
6--7	5.52	5.98	2.284646E-04	0.018923	0.81	4597.70	0.03877	0.00324
7--8	3.37	5.98	1.999065E-04	0.018923	0.71	4022.99	0.04040	0.00158
8--9	6.81	5.98	1.713485E-04	0.018923	0.61	3448.27	0.04243	0.00246
9--10	1.24	5.98	1.427904E-04	0.018923	0.51	2873.56	0.04502	0.00033
10--11	5.48	5.98	1.142323E-04	0.018923	0.41	2298.85	0.04854	0.00101
11--12	2.49	5.98	3.567423E-04	0.018923	0.30	1724.14	0.05372	0.00028
12--13	0.81	5.98	1.711616E-04	0.018923	0.20	1149.42	0.06256	0.00005
13--14	3.32	5.98	9.855808E-05	0.018923	0.10	574.71	0.08370	0.00007
14--14a	8.01	5.98	7.705808E-05	0.013386	0.20	812.44	0.07200	0.0008
								0.31764
MEDICINA – C								
4--14	12.38	5.98	6.38559E-04	0.025273	1.27	9621.78	0.03128	0.0108
14--15	0.87	5.98	3.91054E-04	0.025273	0.78	5892.39	0.03596	0.0003
15--16	3.09	5.98	2.26180E-04	0.018923	0.80	4551.72	0.03889	0.0018
16-17	5.93	5.98	2.01049E-04	0.018923	0.71	4045.98	0.04033	0.0028
17--18	5.97	5.98	1.75918E-04	0.018923	0.63	3540.23	0.04207	0.0023
18--19	0.83	5.98	1.50787E-04	0.018923	0.54	3034.48	0.04422	0.0002
19--20	4.75	5.98	1.25656E-04	0.018923	0.45	2528.73	0.04699	0.0010
20--21	1.09	5.98	1.00524E-04	0.018923	0.36	2022.99	0.05075	0.0002
21--22	1.96	5.98	7.53933E-05	0.018923	0.27	1517.24	0.05629	0.0002
22--23	1.33	5.98	5.02622E-05	0.018923	0.18	1011.49	0.06581	0.0001
23--24	3.36	5.98	2.51311E-05	0.018923	0.09	505.75	0.08875	0.0001
24--24a	8.08	5.98	2.51311E-05	0.013386	0.18	714.94	0.07602	0.0006
								0.0203
PEDIATRIA								
2--2a	0.29	5.98	1.569170E-03	0.031623	2.00	18896.38	0.02619	0.0004
2a--2b	2.79	5.98	1.569170E-03	0.025273	3.13	23644.22	0.02480	0.0116
2b--25	2.15	5.98	1.569170E-03	0.025273	3.13	23644.22	0.02481	0.0090
25-26	6	5.98	9.243679E-04	0.025273	1.84	13928.35	0.02833	0.0099
26--27	15.13	5.98	5.677346E-04	0.025273	1.13	8554.61	0.03231	0.0107
27--28	6	5.98	4.285996E-04	0.025273	0.85	6458.13	0.03501	0.0026
28--29	6	5.98	3.532063E-04	0.025273	0.70	5322.10	0.03707	0.0019
29--30	6	5.98	1.884833E-04	0.018923	0.67	3793.10	0.04116	0.0025

30--31	4.11	5.98	1.130900E-04	0.018923	0.40	2275.86	0.04871	0.0007
31--32	5.11	5.98	7.539333E-05	0.018923	0.27	1517.24	0.05629	0.0005
32--33	1.43	5.98	3.769666E-05	0.018923	0.13	758.62	0.07410	0.0000
33--33a	8.45	5.98	3.769666E-05	0.013386	0.27	1072.42	0.06431	0.0013
0.0512								
ONCOLOGIA								
26--26a	1.96	5.98	3.902937E-04	0.025273	0.78	5880.94	0.03599	0.0007
26a-34	11.7	5.98	3.902937E-04	0.018923	1.39	7854.40	0.03312	0.0171
34--35	5.51	5.98	2.855808E-04	0.018923	1.02	5747.12	0.03625	0.0047
35--36	0.89	5.98	2.570227E-04	0.018923	0.91	5172.41	0.03741	0.0006
36--37	7.15	5.98	1.999065E-04	0.018923	0.71	4022.99	0.04040	0.0033
37--38	0.35	5.98	1.713485E-04	0.018923	0.61	3448.27	0.04243	0.0001
38--39	5.43	5.98	1.142323E-04	0.018923	0.41	2298.85	0.04854	0.0010
39--40	3.36	5.98	5.711616E-05	0.018923	0.20	1149.42	0.06256	0.0002
40--40a	7.68	5.98	5.711616E-05	0.013386	0.41	1624.87	0.05491	0.0023
0.0301								
MEDICINA – A								
25--41	14.3	5.98	6.446358E-04	0.025273	1.29	9713.35	0.03120	0.0126
41--42	6	5.98	3.784882E-04	0.025273	0.75	5703.05	0.03631	0.0021
42--43	8.68	5.98	1.759178E-04	0.018923	0.63	3540.23	0.04207	0.0033
43--44	3.32	5.98	1.256555E-04	0.018923	0.45	2528.73	0.04699	0.0007
44--45	3.37	5.98	1.005244E-04	0.018923	0.36	2022.99	0.05075	0.0005
45--46	4.57	5.98	7.539333E-05	0.018923	0.27	1517.24	0.05629	0.0004
46--47	1.02	5.98	5.026222E-05	0.018923	0.18	1011.49	0.06581	0.0000
47--48	1.04	5.98	2.513111E-05	0.018923	0.09	505.75	0.08875	0.0000
48--48a	7.6	5.98	2.513111E-05	0.013386	0.18	714.94	0.07602	0.0006
0.0203								
0.4396								

Apéndice C.2. *Perdidas de presión por accesorios para la red generalizada.*

Tramo	Ft	Codo	Tee	Válvula Bola	Válvula Antirretorno	Equipo Especial	Reductor	H22	K	h21
ruta crítica – Neurociencia										
1 -- 3	0.0105	10	2	1	1	0	0	0.027701		0.00000
3--3a	0.0105	0	0	0	0	0	1	0.000000	0.09	0.00014
3a--3b	0.0108	4	0	1	0	1	0	0.019764		0.00000
3b--4	0.0108	3	1	0	0	1	0	0.017061		0.00000
4--4a	0.0115	2	0	0	0	0	1	0.000132	0.12	0.00007
4a--5	0.0115	6	1	0	0	1	0	0.007699		0.00000
5--6	0.0115	0	1	0	0	0	0	0.000083		0.00000
6--7	0.0115	0	1	0	0	0	0	0.000066		0.00000
7--8	0.0115	0	1	0	0	0	0	0.000050		0.00000
8--9	0.0115	0	1	0	0	0	0	0.000037		0.00000
9--10	0.0115	0	1	0	0	0	0	0.000026		0.00000
10--11	0.0115	0	1	0	0	0	0	0.000016		0.00000
11--12	0.0115	0	1	0	0	0	0	0.000009		0.00000
12--13	0.0115	0	1	0	0	0	0	0.000004		0.00000
13--14	0.0115	1	0	0	0	0	0	0.000002		0.00000
14--14a	0.012	2	0	1	0	0	1	0.000045	0.1	0.00001
								0.072695		0.00022
MEDICINA – C										
4--14	0.0108	5	0	0	0	1	0	0.007968		0.00000
14--15	0.0108	0	1	0	0	0	0	0.000057		0.00000
15--16	0.0115	0	1	0	0	0	1	0.000065	0.1	0.00002
16-17	0.0115	0	1	0	0	0	0	0.000051		0.00000
17--18	0.0115	0	1	0	0	0	0	0.000039		0.00000
18--19	0.0115	0	1	0	0	0	0	0.000029		0.00000
19--20	0.0115	0	1	0	0	0	0	0.000020		0.00000
20--21	0.0115	0	1	0	0	0	0	0.000013		0.00000
21--22	0.0115	0	1	0	0	0	0	0.000007		0.00000
22--23	0.0115	0	1	0	0	0	0	0.000003		0.00000
23--24	0.0115	0	1	0	0	0	0	0.000001		0.000000
24--24a	0.012	1	0	0	0	0	1	0.000005	0.1	0.000001
								0.008257		0.000024
PEDIATRIA										
2--2a	0.0105	0	0	0	0	0	1	0.000000	0.1	0.000424
2a--2b	0.0108	4	0	0	0	1	0	0.046742		0.000000
2b--25	0.0108	3	1	0	0	0	0	0.005041		0.000000
25-26	0.0108	0	1	0	0	0	0	0.000318		0.000000
26--27	0.0108	6	1	0	0	1	0	0.006599		0.000000
27--28	0.0108	0	1	0	0	0	0	0.000068		0.000000
28--29	0.0108	0	1	0	0	0	1	0.000046	0.1	0.000019
29--30	0.0115	0	1	0	0	0	0	0.000045		0.000000
30--31	0.0115	0	1	0	0	0	0	0.000016		0.000000
31--32	0.0115	0	1	0	0	0	0	0.000007		0.000000
32--33	0.0115	1	0	0	0	0	0	0.000003		0.000000

33--33a	0.012	3	1	0	0	0	1	0.000041	0.1	0.00003
								0.058926		0.000447
ONCOLOGIA										
26--26a	0.0108	0	0	0	0	0	1	0.000000	0.1	0.000084
26a-34	0.0115	4	1	0	0	1	0	0.009989		0.000000
34--35	0.0115	0	1	0	0	0	0	0.000103		0.000000
35--36	0.0115	0	1	0	0	0	0	0.000083		0.000000
36--37	0.0115	0	1	0	0	0	0	0.000050		0.000000
37--38	0.0115	0	1	0	0	0	0	0.000037		0.000000
38--39	0.0115	0	1	0	0	0	0	0.000016		0.000000
39--40	0.0115	1	0	0	0	0	0	0.000006		0.000000
40--40a	0.012	3	1	0	0	0	1	0.000094	0.1	0.000007
								0.010380		0.000091
MEDICINA – A										
25--41	0.0108	5	1	0	0	1	0	0.008275		0.000000
41--42	0.0108	0	1	0	0	0	1	0.000053	0.1	0.000017
42--43	0.0115	0	1	0	0	0	0	0.000039		0.000000
43--44	0.0115	0	1	0	0	0	0	0.000020		0.000000
44--45	0.0115	0	1	0	0	0	0	0.000013		0.000000
45--46	0.0115	0	1	0	0	0	0	0.000007		0.000000
46--47	0.0115	0	1	0	0	0	0	0.000003		0.000000
47--48	0.0115	1	0	0	0	0	0	0.000001		0.000000
48--48a	0.012	3	1	0	0	0	1	0.000018	0.1	0.000001
								0.008430		0.000018
								0.158688		0.00079

Nota. Esta tabla refleja la cantidad de tomas de oxígeno propuesta y la demanda de diseño

Apéndice D. Fotografías tomadas en las instalaciones del Hospital Regional de Cusco



a)

b)



c)

d)

Nota. Estas fotografías representan lo siguiente:

- a) Encuesta realizada a los 25 personales de salud de las áreas de estudio.*
- b) Medidas para la localización del sistema de alarma.*
- c) Localización de balones de oxígeno por cada paciente.*
- d) Medidas para la localización del sistema de válvulas de corte por área*

Apéndice E. Medrado de la red de distribución de oxígeno para la obtención del costo

directo.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Parcial
1	MANO DE OBRA				
1.1.	Jefe de obra	mh	1	S/ 3,400.00	S/ 3,400.00
1.2.	Técnico electromecánico	mh	3	S/ 2,500.00	S/ 7,500.00
1.3.	Técnico en Soldadura	mh	7	S/ 2,500.00	S/ 17,500.00
1.4.	Ayudante	mh	5	S/ 2,200.00	S/ 11,000.00
2	MATERIALES				
2.1.	Equipamiento Especial Mecánicos				
2.1.1.	Colgador de 1/2 in	und	234	S/ 7.73	S/ 1,808.82
2.1.2.	Colgador de 3/4 in	und	124	S/ 10.05	S/ 1,246.20
2.1.3.	Colgador 1 in	und	56	S/ 11.73	S/ 656.88
2.1.4.	Soporte de pared 1 1/4 in	und	27	S/ 12.41	S/ 335.07
2.1.5.	Toma de oxígeno mural tipo DISS	und	97	S/ 200.00	S/ 19,400.00
2.1.6.	Flujómetro-simple tipo DISS	und	71	S/ 180.00	S/ 12,780.00
2.1.7.	Flujómetro-doble tipo DISS	und	26	S/ 600.00	S/ 15,600.00
2.1.8.	Alarma audio visual	und	6	S/ 3,605.18	S/ 21,631.08
2.1.9.	Manifold suministro rampa de 14x14	und	1	S/ 41,830.00	S/ 41,830.00
2.2.	Accesorios De Tuberías				
2.2.1.	Caja de corte de área 3/4 in	und	5	S/ 980.00	S/ 4,900.00
2.2.2.	Válvula antirretorno de 1 1/4 in	und	1	S/ 51.10	S/ 51.10
2.2.3.	Caja de corte de piso 1 in	und	2	S/ 350.00	S/ 700.00
2.2.4.	Válvula tipo bola de bronce de 1 in, incluye conexiones soldables	und	2	S/ 67.94	S/ 135.88
2.2.5.	Válvula tipo bola de bronce de 1/2 in, incluye conexiones soldables	und	97	S/ 48.16	S/ 4,671.52
2.2.6.	Válvula de alivio de 1/2 in	und	3	S/ 244.36	S/ 733.08
2.3.	Dimensión De Tubería				
2.3.1.	Tubería de cobre tipo K de 1 1/4 in	m	85.94	S/ 111.31	S/ 9,565.69
2.3.2.	Tubería de cobre tipo K de 1 in	m	96.35	S/ 93.94	S/ 9,051.28
2.3.3.	Tubería de cobre tipo K de 3/4 in	m	183.54	S/ 72.24	S/ 13,258.01
2.3.4.	Tubería de cobre tipo K de 1/2 in	m	406.3	S/ 38.97	S/ 15,833.51
2.4.	Uniones De Tubería				
2.4.1.	Codo de cobre de 1 1/4 in	und	10	S/ 17.22	S/ 172.20
2.4.2.	Codo de cobre de 1 in	und	32	S/ 7.63	S/ 244.16
2.4.3.	Codo de cobre de 3/4 in	und	32	S/ 3.94	S/ 126.08
2.4.4.	Codo de cobre de 1/2 in	und	196	S/ 2.71	S/ 531.16
2.4.5.	Unión de cobre de 1 1/4 in	und	13	S/ 11.70	S/ 152.10
2.4.6.	Unión de cobre de 1 in	und	5	S/ 7.45	S/ 37.25
2.4.7.	Unión de cobre de 3/4 in	und	14	S/ 3.90	S/ 54.60
2.4.8.	Tee de cobre de 1 1/4 in	und	2	S/ 23.21	S/ 46.42

2.4.9.	Tee de cobre de 1 in	und	12	S/ 20.15	S/ 241.80
2.4.10.	Tee de cobre de 3/4 in	und	40	S/ 11.83	S/ 473.20
2.4.11.	Tee de cobre de 1/2 in	und	45	S/ 6.11	S/ 274.95
2.4.12.	Reducción de cobre de 1 1/4 in - 1 in	und	4	S/ 27.59	S/ 110.36
2.4.13.	Reducción de cobre de 1 1/4 in - 1/2 in	und	1	S/ 27.00	S/ 27.00
2.4.14.	Reducción de cobre de 1 in -1/2 in	und	4	S/ 3.67	S/ 14.68
2.4.15.	Reducción de cobre de 1 in -3/4 in	und	20	S/ 6.50	S/ 130.00
2.4.16.	Reducción de cobre de 3/4 in -1/2 in	und	50	S/ 4.55	S/ 227.50
2.4.17.	Reducción de cobre de 1/2 in -3/8 in	und	97	S/ 1.50	S/ 145.50
2.5.	Materiales De Unión				
2.5.1.	Soldadura de aleación con plata al 45%, 30% de cobre y 20% zinc	kg	6	S/ 2,200.00	S/ 13,200.00
2.5.2.	Oxígeno y acetileno	gbl	1	S/ 1,000.00	S/ 1,000.00
2.6.	Pruebas De Limpieza Y Hermeticidad				
2.6.1.	Nitrógeno industrial gaseoso	m ³	50	S/ 46.00	S/ 2,300.00
2.7.	Acabados Finales				
2.7.1.	Pintura para tubería color verde	m	780	S/ 5.60	S/ 4,368.00
2.7.2.	Sticker autoadhesivo para oxígeno C/6m	gbl	130	S/ 62.18	S/ 8,083.40
3	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS				
3.1.	Equipos y herramientas menores para instalación de gases medicinales	gbl	1	S/ 4,000.00	S/ 4,000.00
					S/ 249,548.49

Nota. Estos precios unitarios se detallan de mejor manera en el **Anexo11**. Donde se realizó las respectivas cotizaciones para los precios actuales para el periodo 03/2026

Apéndice F. Matriz de consistencia y operacionalización de variables

Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variables	Metodología
¿De qué manera el diseño de una red de distribución de oxígeno influye en la optimización de la atención médica en el cuarto y quinto piso del Hospital Regional de Cusco?	Diseñar una red de distribución de oxígeno para optimizar la atención médica en el cuarto y quinto piso del Hospital Regional de Cusco	El diseño de una red de distribución de oxígeno permitirá optimizar la atención médica, en términos de disponibilidad del suministro y costos operativos, en el cuarto y quinto piso del Hospital Regional de Cusco.	Variable independiente	Enfoque: Cuantitativo Tipo: aplicada Nivel: Descriptiva Diseño: No experimental.
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Diseño de la red de distribución de oxígeno	
¿Cómo se determina la demanda de diseño del oxígeno a partir del análisis de la demanda registrada durante el período 2022–2025?	Determinar la demanda de diseño del oxígeno a partir del análisis de la demanda registrada durante el período 2022–2025.	El análisis de la demanda del oxígeno registrado durante el período 2022–2025 permitirá determinar la demanda de diseño requerida para el sistema de distribución de oxígeno		
¿Cómo se desarrolla el cálculo con los parámetros de diseño para el dimensionamiento adecuado de la red de distribución de oxígeno?	Desarrollar el cálculo con los parámetros de diseño para el dimensionamiento de la red de distribución de oxígeno	El desarrollo del cálculo con los parámetros de diseño permitirá dimensionar adecuadamente la red de tuberías para distribuir oxígeno.		
¿Cómo se modela tridimensionalmente las instalaciones mecánicas de la red de distribución de oxígeno?	Modelar tridimensionalmente las instalaciones mecánicas de la red de distribución de oxígeno	El modelado tridimensional mediante software especializado permitirá visualizar y cuantificar los elementos de las instalaciones mecánicas de la red de distribución de oxígeno.		
			Variable dependiente	

¿Cómo se evalúa la influencia el diseño de la red de distribución de oxígeno en la disponibilidad del suministro?	Evaluar la influencia del diseño de la red de distribución de oxígeno en la disponibilidad del suministro.	El diseño de la red de distribución de oxígeno incrementará la cantidad de camas con suministro continuo y reducirá el tiempo de atención al paciente.	Optimización de la atención médica	
¿Cómo se efectúa la evaluación económica a partir de los ahorros operativos generados por el diseño de red de distribución de oxígeno?	Efectuar la evaluación económica a partir de los ahorros operativos generados por el diseño de la red de distribución de oxígeno	La evaluación económica permitirá determinar los ahorros anuales y la viabilidad del diseño de la red de distribución de oxígeno mediante los ahorros operativos generados.		

Variables	Dimensionamiento	Indicador	Unidad
Diseño de la red de distribución de oxígeno	Consumo del oxígeno a partir de la distribución actual mediante cilindros de oxígeno	Demanda de diseño	metros ³ /hora
	Dimensionamiento del sistema de tuberías	Rutas de acceso de las tuberías mediante la adaptación de la infraestructura hospitalaria existente	metros
		Selección de diámetro de tuberías	pulgadas
		Perdida de presión en la red	psi
	Modelado tridimensional de la red	Visualización completa de la instalación mecánica de la red	Cantidad de elementos modelados
Optimización de la atención médica	Disponibilidad del suministro	Camas con suministro continuo de oxígeno	Cantidad de camas
		Tiempo en la atención para aplicar oxígeno al paciente	minutos
	Ahorros económicos basados en los costos operativos	Ahorros anuales	soles
		Valor actual neto	soles
		Tasa de interna de retorno	%

ANEXOS

Anexo 1. Tomado del libro de Cengel & Cimbala

Anexo 1.1. Propiedades de puntos de ebullición y de congelación de diferentes sustancias.

Propiedades de puntos de ebullición y de congelación

Sustancia	Datos de ebullición a 1 atm		Datos de congelación		Propiedades de líquido		
	Punto de ebullición normal, °C	Calor latente de vaporización h_{fg} , kJ/kg	Punto de congelación, °C	Calor latente de fusión h_{if} , kJ/kg	Temperatura, °C	Densidad ρ , kg/m ³	Calor específico c_p , kJ/kg · K
Aceite (ligero)					25	910	1.80
Agua	100	2257	0.0	333.7	0	1000	4.22
					25	997	4.18
					50	988	4.18
					75	975	4.19
					100	958	4.22
Alcohol etílico	78.6	855	-156	108	20	789	2.84
Amoníaco	-33.3	1357	-77.7	322.4	-33.3	682	4.43
					-20	665	4.52
					0	639	4.60
					25	602	4.80
Argón	-185.9	161.6	-189.3	28	-185.6	1394	1.14
Benceno	80.2	394	5.5	126	20	879	1.72
<i>n</i> -Butano	-0.5	385.2	-138.5	80.3	-0.5	601	2.31
Dióxido de carbono	-78.4*	230.5 (a 0°C)	-56.6		0	298	0.59
Etanol	78.2	838.3	-114.2	109	25	783	2.46
Etilenglicol	198.1	800.1	-10.8	181.1	20	1109	2.84
Glicerina	179.9	974	18.9	200.6	20	1261	2.32
Helio	-268.9	22.8	—	—	-268.9	146.2	22.8
Hidrógeno	-252.8	445.7	-259.2	59.5	-252.8	70.7	10.0
Isobutano	-11.7	367.1	-160	105.7	-11.7	593.8	2.28
Mercurio	356.7	294.7	-38.9	11.4	25	13,560	0.139
Metano	-161.5	510.4	-182.2	58.4	-161.5	423	3.49
					-100	301	5.79
Metanol	64.5	1100	-97.7	99.2	25	787	2.55
Nitrógeno	-195.8	198.6	-210	25.3	-195.8	809	2.06
					-160	596	2.97
Octano	124.8	306.3	-57.5	180.7	20	703	2.10
Oxígeno	-183	212.7	-218.8	13.7	-183	1141	1.71
Petróleo	—	230-384			20	640	2.0
Propano	-42.1	427.8	-187.7	80.0	-42.1	581	2.25
					0	529	2.53
					50	449	3.13
Queroseno	204-293	251	-24.9	—	20	820	2.00
Refrigerante-134a	-26.1	216.8	-96.6	—	-50	1443	1.23
					-26.1	1374	1.27
					0	1295	1.34
					25	1207	1.43
Salmuera (20 por ciento cloruro de sodio, porcentaje másico)	103.9	—	-17.4	—	20	1150	3.11

Nota. Esta imagen fue tomada de *Mecánica De Fluidos: Fundamentos Y Aplicaciones*, (p.887) por Gengel & Cimbala, 2006.

Anexo 1.2. Propiedades de los gases a 1 atm de presión

Propiedades de gases a 1 atm de presión (continuación)

Temp. $T, ^\circ\text{C}$	Densidad $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico c_p $\text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica $\alpha, \text{m}^2/\text{s}$	Viscosidad dinámica $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl Pr
<i>Nitrógeno, N_2</i>							
-50	1.5299	957.3	0.02001	1.366×10^{-5}	1.390×10^{-5}	9.091×10^{-6}	0.6655
0	1.2498	1035	0.02384	1.843×10^{-5}	1.640×10^{-5}	1.312×10^{-5}	0.7121
50	1.0564	1042	0.02746	2.494×10^{-5}	1.874×10^{-5}	1.774×10^{-5}	0.7114
100	0.9149	1041	0.03090	3.244×10^{-5}	2.094×10^{-5}	2.289×10^{-5}	0.7056
150	0.8068	1043	0.03416	4.058×10^{-5}	2.300×10^{-5}	2.851×10^{-5}	0.7025
200	0.7215	1050	0.03727	4.921×10^{-5}	2.494×10^{-5}	3.457×10^{-5}	0.7025
300	0.5956	1070	0.04309	6.758×10^{-5}	2.849×10^{-5}	4.783×10^{-5}	0.7078
400	0.5072	1095	0.04848	8.727×10^{-5}	3.166×10^{-5}	6.242×10^{-5}	0.7153
500	0.4416	1120	0.05358	1.083×10^{-4}	3.451×10^{-5}	7.816×10^{-5}	0.7215
1000	0.2681	1213	0.07938	2.440×10^{-4}	4.594×10^{-5}	1.713×10^{-4}	0.7022
1500	0.1925	1266	0.11793	4.839×10^{-4}	5.562×10^{-5}	2.889×10^{-4}	0.5969
2000	0.1502	1297	0.18590	9.543×10^{-4}	6.426×10^{-5}	4.278×10^{-4}	0.4483
<i>Oxígeno, O_2</i>							
-50	1.7475	984.4	0.02067	1.201×10^{-5}	1.616×10^{-5}	9.246×10^{-6}	0.7694
0	1.4277	928.7	0.02472	1.865×10^{-5}	1.916×10^{-5}	1.342×10^{-5}	0.7198
50	1.2068	921.7	0.02867	2.577×10^{-5}	2.194×10^{-5}	1.818×10^{-5}	0.7053
100	1.0451	931.8	0.03254	3.342×10^{-5}	2.451×10^{-5}	2.346×10^{-5}	0.7019
150	0.9216	947.6	0.03637	4.164×10^{-5}	2.694×10^{-5}	2.923×10^{-5}	0.7019
200	0.8242	964.7	0.04014	5.048×10^{-5}	2.923×10^{-5}	3.546×10^{-5}	0.7025
300	0.6804	997.1	0.04751	7.003×10^{-5}	3.350×10^{-5}	4.923×10^{-5}	0.7030
400	0.5793	1025	0.05463	9.204×10^{-5}	3.744×10^{-5}	6.463×10^{-5}	0.7023
500	0.5044	1048	0.06148	1.163×10^{-4}	4.114×10^{-5}	8.156×10^{-5}	0.7010
1000	0.3063	1121	0.09198	2.678×10^{-4}	5.732×10^{-5}	1.871×10^{-4}	0.6986
1500	0.2199	1165	0.11901	4.643×10^{-4}	7.133×10^{-5}	3.243×10^{-4}	0.6985
2000	0.1716	1201	0.14705	7.139×10^{-4}	8.417×10^{-5}	4.907×10^{-4}	0.6873
<i>Vapor de agua, H_2O</i>							
-50	0.9839	1892	0.01353	7.271×10^{-6}	7.187×10^{-6}	7.305×10^{-6}	1.0047
0	0.8038	1874	0.01673	1.110×10^{-5}	8.956×10^{-6}	1.114×10^{-5}	1.0033
50	0.6794	1874	0.02032	1.596×10^{-5}	1.078×10^{-5}	1.587×10^{-5}	0.9944
100	0.5884	1887	0.02429	2.187×10^{-5}	1.265×10^{-5}	2.150×10^{-5}	0.9830
150	0.5189	1908	0.02861	2.890×10^{-5}	1.456×10^{-5}	2.806×10^{-5}	0.9712
200	0.4640	1935	0.03326	3.705×10^{-5}	1.650×10^{-5}	3.556×10^{-5}	0.9599
300	0.3831	1997	0.04345	5.680×10^{-5}	2.045×10^{-5}	5.340×10^{-5}	0.9401
400	0.3262	2066	0.05467	8.114×10^{-5}	2.446×10^{-5}	7.498×10^{-5}	0.9240
500	0.2840	2137	0.06677	1.100×10^{-4}	2.847×10^{-5}	1.002×10^{-4}	0.9108
1000	0.1725	2471	0.13623	3.196×10^{-4}	4.762×10^{-5}	2.761×10^{-4}	0.8639
1500	0.1238	2736	0.21301	6.288×10^{-4}	6.411×10^{-5}	5.177×10^{-4}	0.8233
2000	0.0966	2928	0.29183	1.032×10^{-3}	7.808×10^{-5}	8.084×10^{-4}	0.7833

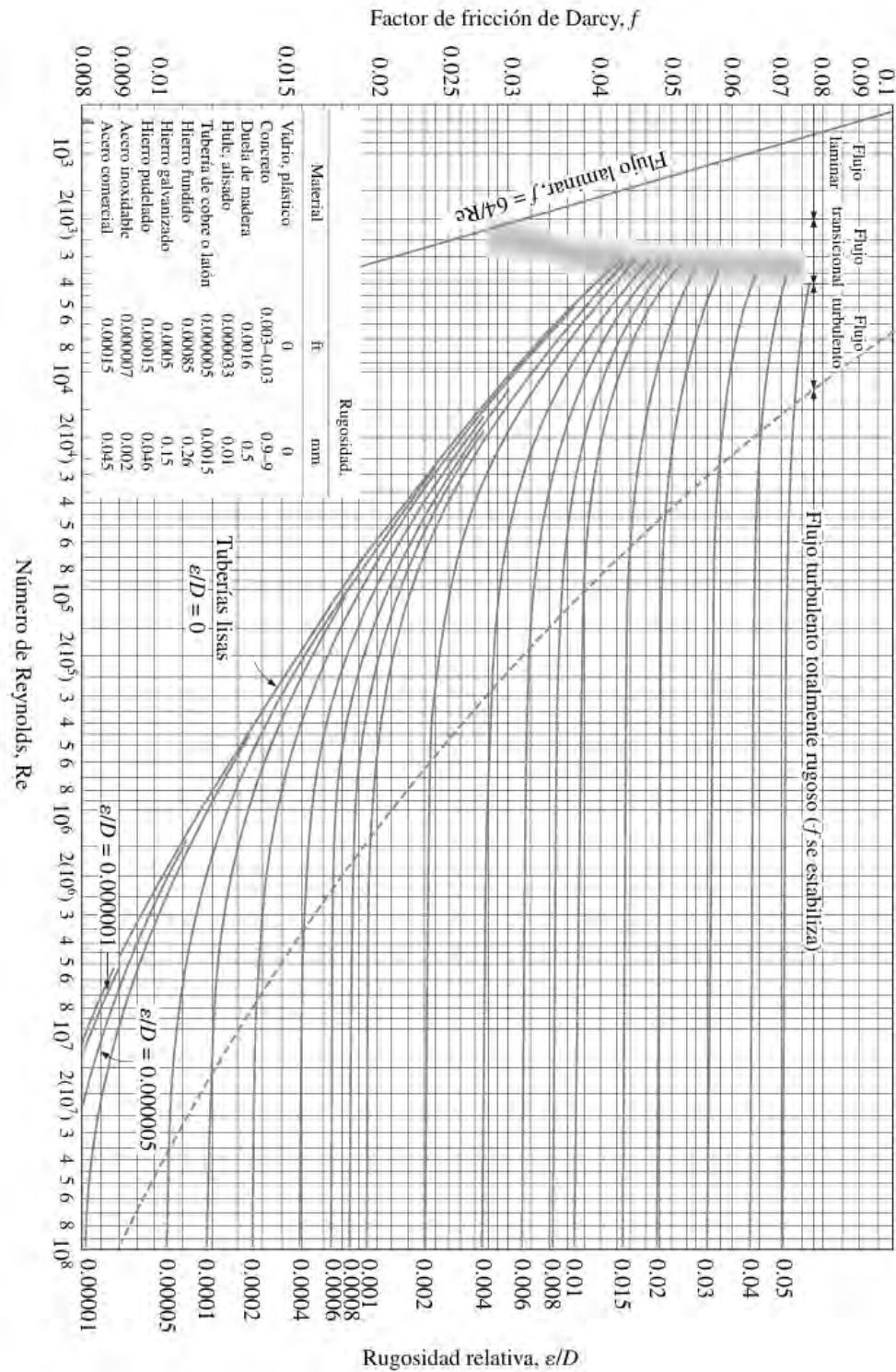
Nota: Para gases ideales, las propiedades c_p , k , μ y Pr son independientes de la presión. Las propiedades ρ , ν , y α a una presión P distinta a 1 atm se determinan cuando se multiplican los valores de ρ a la temperatura dada por P (en atm) y cuando se dividen ν y α entre P (en atm).

Fuente: Datos generados a partir del Software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Originalmente con base en diversas fuentes.

Nota. Esta imagen fue tomada de *Mecánica De Fluidos: Fundamentos Y Aplicaciones*, (p.896)

por Gengel & Cimbala, 2006.

Anexo 1.3. Diagrama De Moody Para El Factor Fricción Para Flujo Totalmente Desarrollado En Tuberías Circulares.



Nota. Esta imagen fue tomada de *Mecánica De Fluidos: Fundamentos Y Aplicaciones*, (p.898) por Gengel & Cimbala, 2006.

Anexo 2. Norma técnica de salud NTS N0 119.

6.2.5.5 Sistema de Gases Medicinales

Para las instalaciones de gases medicinales, se considerarán las especificaciones técnicas mínimas para el suministro e instalación de gases medicinales, contemplando los requerimientos necesarios de acuerdo a los distintos ambientes.

- Cajas de Válvulas de Corte

Por razones de seguridad y operatividad, el sistema de gases medicinales debe estar equipado con cajas de válvulas de corte por zonas, de tal forma que el suministro de gas sea fácilmente cerrado ante cualquier eventualidad o requerimiento de servicio técnico.

- Alarma de Gases Medicinales

Se debe contar con alarma maestra y alarma por servicio, visual y auditiva.

Se instalarán alarmas por servicio en las diferentes estaciones de enfermeras y en sala de operaciones. Su propósito es asegurar una vigilancia continua y responsable en todas las áreas de distribución de gases medicinales.

- Válvulas de piso o servicio

Es un accesorio de la tubería instalado, con el fin de interrumpir el suministro de gas en forma instantánea, en un determinado nivel de la edificación, zona o área específica, por razones de seguridad o mantenimiento.

Las líneas principales de suministro, que suben por el ducto a cada piso contarán con una válvula de corte localizada, en un lugar fácilmente accesible en caso de emergencia. Así mismo estarán debidamente señalizadas.

Para los establecimientos de salud con más de un nivel de edificación, las válvulas de corte se instalarán en líneas principales del ducto a la subida de cada nivel de edificación y se dispondrán de tal manera que al cerrarlas no interrumpan el suministro de gases medicinales al resto de los servicios. El cierre o apertura del suministro deberá efectuarse mediante un giro a 90° de la manija.

Las válvulas a emplearse para instalaciones de gases medicinales, serán del tipo esférico de 3 cuerpos, de tal manera que se pueda realizar un fácil mantenimiento.

- Tomas de evacuación

Las tomas de evacuación de gases, serán ubicadas en los sitios donde se utilicen gases anestésicos, como es el caso de las salas de operaciones, entre otros. Estas van conectadas al sistema de suministro de aire con succión, a través del efecto de Venturi de extracción¹⁹, el cual recoge los gases anestésicos sobrantes y van a una



¹⁹ Se define como un efecto del fluido cuando atraviesa un ducto o tubería a una mayor velocidad debido a la disminución de la sección de la tubería, disminuyendo la presión del fluido.

NTS N° 119 -Minsa/DGIEM-V01
NORMA TÉCNICA DE SALUD "INFRAESTRUCTURA Y EQUIPAMIENTO DE LOS ESTABLECIMIENTOS DE SALUD DEL
TERCER NIVEL DE ATENCIÓN"

red independiente, la cual evacúa al exterior para retirar los desechos de gases sobrantes.

A. Sistema de Oxígeno Medicinal

- Estará conformado por la central de oxígeno, las tuberías y accesorios que conforman la red de distribución de oxígeno, sistema de alarma audio visual y puntos de salida de oxígeno para los ambientes que lo necesitan.
- El ambiente para la central de oxígeno tendrá una ventilación adecuada, pudiendo tener una ventilación natural y/o tener la instalación de un sistema de ventilación mecánica.
- El oxígeno medicinal para el establecimiento de salud, será suministrado principalmente a través de tanque criogénico de oxígeno medicinal; de no existir la factibilidad de este servicio, se podrá optar por otro sistema alternativo de generación de oxígeno medicinal, el cual deberá tener redundancia, respaldo de energía eléctrica y de mantenimiento de dicho sistema alternativo.
- Los sistemas de suministro de oxígeno medicinal, deben estar dimensionados de acuerdo a la demanda del establecimiento de salud y deben estar conectado al sistema de batería de balones de oxígeno medicinal, que se encuentra en la central de gases medicinales.
- La central de oxígeno, está conformado por un sistema de batería de balones de oxígeno medicinal, con reguladores automáticos y conectados a la red de tuberías.
- Los ambientes e instalaciones deberán estar alejados de daños mecánicos, líneas de energía eléctrica, tuberías de gases y líquidos inflamables. Todas las tuberías de distribución, deberán ser de cobre con soldadura de latón en los puntos de acoplamiento. No podrán ser instaladas en los ambientes de ropa sucia.
- Cada ramal de alimentación, tendrá una válvula de seccionamiento en un lugar visible y de fácil acceso.
- Asimismo, las instalaciones deberán considerar las siguientes especificaciones:
 - o Las tuberías de oxígeno, deberán ser de cobre sin costura de Tipo "K".
 - o Los accesorios de conexión para las tuberías, deberán ser de cobre Tipo "K" forjado o fundido, fabricados para uniones soldadas.
 - o La soldadura a emplear en las uniones serán de aleación de 45 % plata, 30% de cobre y 25% de zinc u otra que tenga equivalente punto de fusión y propiedades físicas.
 - o El fundente a emplearse será para soldadura fuerte de aleación plata sin cadmio y otro similar de propiedades. Está absolutamente prohibido usar mezcla de bórax y alcohol.
 - o Las válvulas para derivaciones deberán ser de bronce y del tipo "esférica", con doble sello de buna-no teflón, que sean adecuadas para una presión mínima de 300 psig y libre de choque. Estas válvulas deberán tener conexiones para fácil armado a la tubería.
 - o Cada válvula de interrupción deberá ser debidamente identificada, con una señal o etiqueta metálica colocada en la vecindad inmediata de la válvula.
 - o Las señales para válvulas en las montantes que abastecen sala de operaciones, deberán decir "oxígeno para cirugía, no cerrar".
 - o Esta etiqueta deberá quedar firmemente sujeta a la tubería, sin posibilidad de que caiga, y debe quedar plenamente visible.

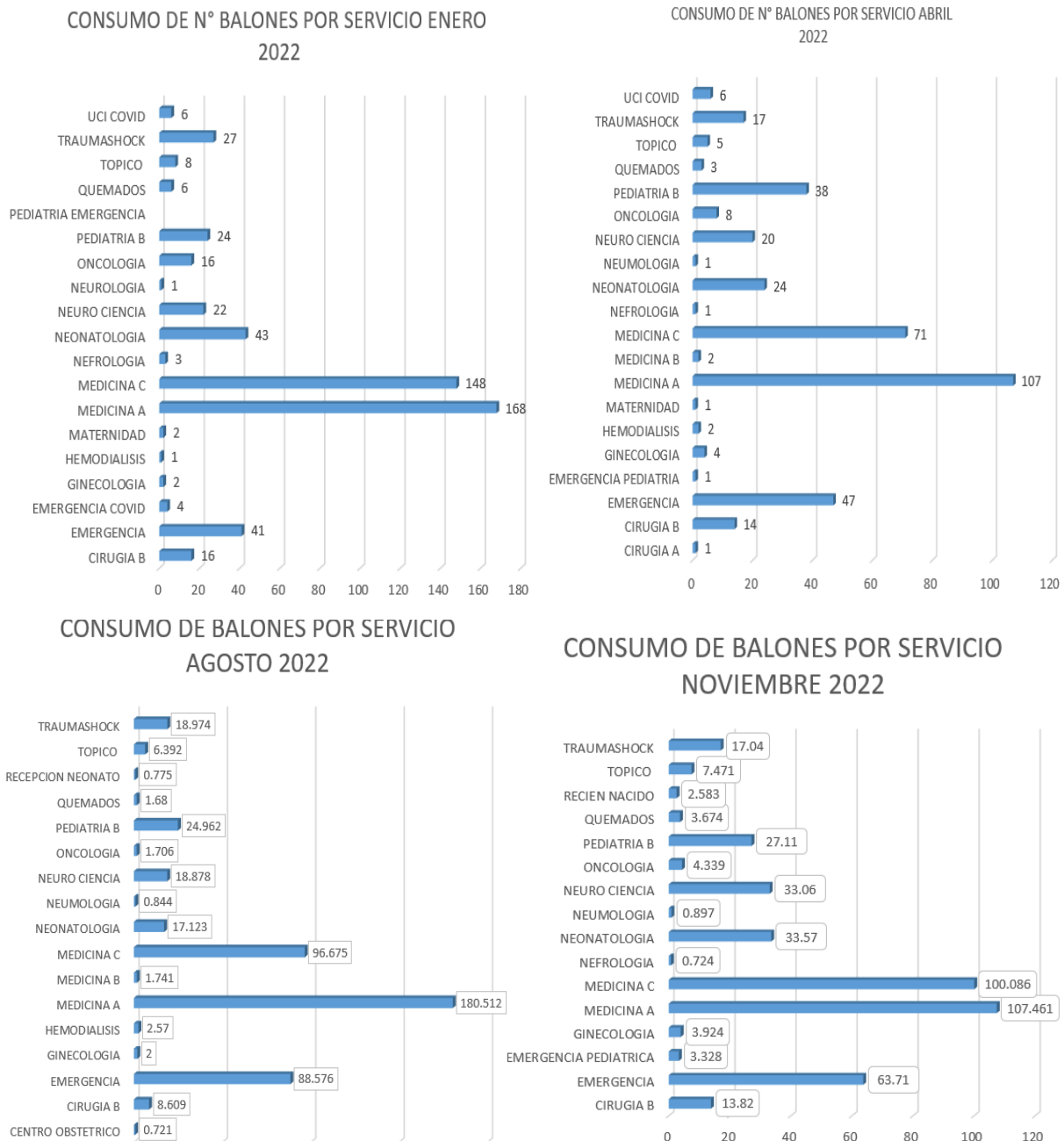


- Los puntos de oxígeno son el ensamble de los componentes: tubería, accesorios como codos y adaptadores, y soldadura instalado empotrado en las paredes y piso, considerado desde la derivación de la troncal de oxígeno hasta la ubicación del dispositivo de uso de oxígeno. Cada salida deberá terminar en placa para empotrar y válvula check diss y/o podrá estar instalado en paneles toma murales adosados a la pared y columnas de gases.
- Todas las redes de oxígeno visibles, se pintarán del color indicado en la cartilla de colores Pantone 360, similar a color verde claro.
- Los puntos de toma de oxígeno, deberán distribuirse considerándose lo siguiente:
 - En la UPSS Hospitalización:
 - Adultos, medicina, cirugía y gineco-obstetricia, al 100% del número de camas.
 - Pediatría, al 100% del número de camas.
 - En todos los cuartos de aislamiento.
 - Atención al recién nacido sano, al 100% del número de cunas. Las salidas para las tomas de oxígeno en este ambiente deberán estar concentradas en una sola área.
 - Atención al recién nacido con patología, al 100% de las cunas o incubadoras.
 - En la UPSS Cuidados Intensivos, al 100% del número de camas.
 - En la UPSS Emergencia, 100% del número de camas de observación de adultos y niños, así como en sala de nebulizaciones y camillas de atención.
 - En la UPSS Centro Obstétrico, al 100% del número de camas de la Sala de Parto y Sala de Recuperación Post Parto. Las tomas estarán dispuestas junto con las de aire comprimido, vacío, óxido nitroso y electricidad.
 - En la UPSS Centro Quirúrgico, al 100% del número de mesas de Operaciones y camillas de Sala de Recuperación Post Operatoria. Las tomas estarán dispuestas junto con las de aire comprimido, vacío, óxido nitroso, escape de gases anestésicos y electricidad.
 - UPSS Patología Clínica: Laboratorios una por toma de flánómetro.

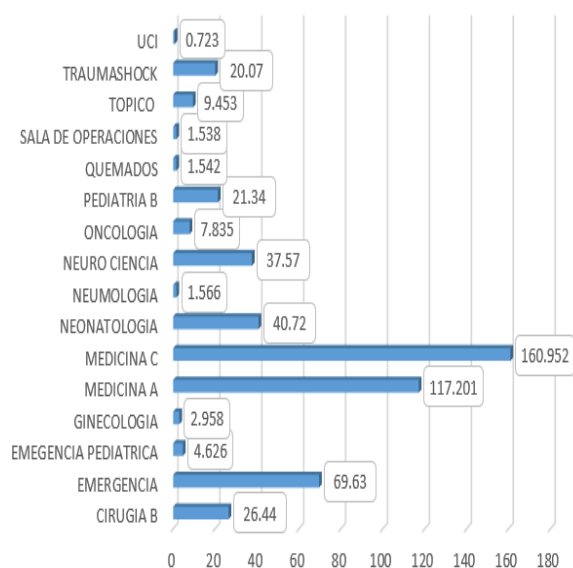


Nota. Esta imagen fue tomada de Norma Técnica De Salud N° 119. (p.51-53) por, Ministerio de salud del Perú, 2015.

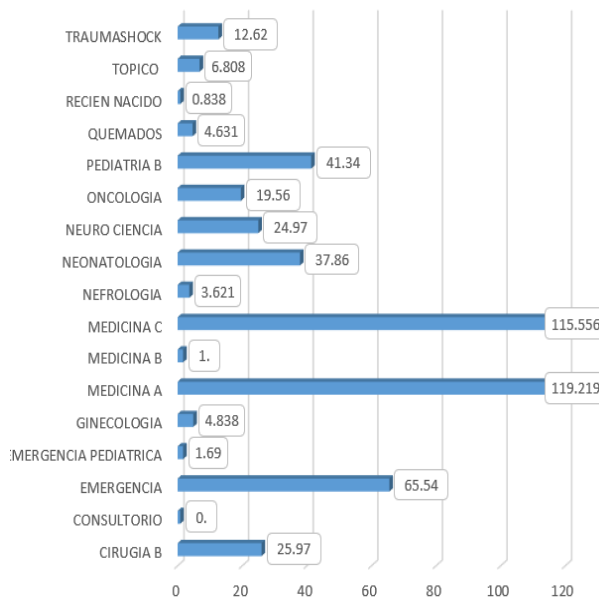
Anexo 3. Reporte de las áreas de salud con mayor consumo de oxígeno en el Hospital Regional de Cusco.



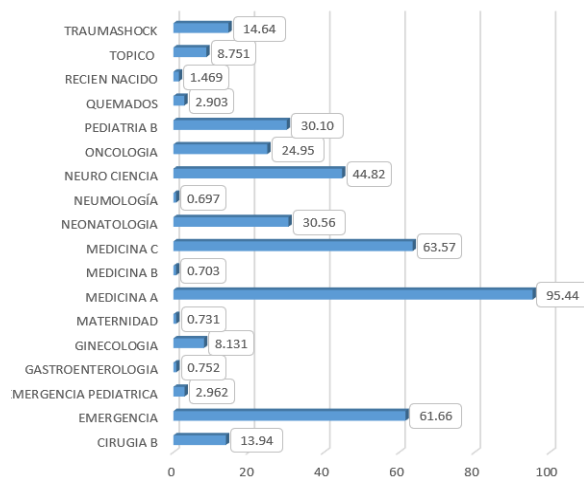
CONSUMO DE BALONES POR SERVICIO
MARZO 2023



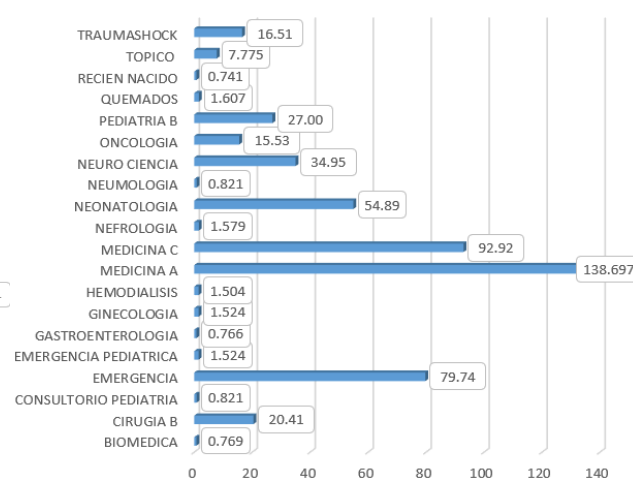
CONSUMO DE BALONES POR SERVICIO
AGOSTO 2023



CONSUMO DE BALONES POR SERVICIO
OCTUBRE 2023



CONSUMO DE BALONES POR SERVICIO
DICIEMBRE 2023



Nota. Esta imagen fue tomada de manera aleatoria de los reportes mensuales, la cuales destacan con mayor consumo las áreas de Medicina-C y Mediana-A

Anexo 4. Criterio de Church.

Location	Simultaneous - use factor	Volume (Lpm)
Firts operating room (far end of a section of piping and all individual branches to operating rooms)	100	50 per operating room ^a (two outlets per operating room)
Firts operating room (on a section of piping)	100	30 per operating room ^a (two outlets per operating room)
Each additional operating room (on a section of piping)	100	20 per operating room ^a (two outlets per operating room)
Emergency rooms ^b	100	Same as operating room
Trauma rooms	100	Same as operating room
Delivery rooms	100	Same as operating room
Cystoscopy and special procedures rooms	100	Same as operating room
Recovery rooms (one outlet per bed):		20 per outlet
One to eight outlets	100	
Plus nine to twelve outlets	60	
Plus thirteen to sixteen outlets	50	
Plus additional outlets	45	
ICU rooms (two outlets per bed)	100	20 per outlet ^c
CCU rooms (two outlets per bed)	100	20 per outlet ^c
Other spaces such as:		20 per outlet ^c
Patient rooms (Medical and surgical) (bedside outlets)		
Sometimes one outlet per bed		
Sometimes one outlet per two beds		
Labor rooms		
Sometimes one outlet per bed		
Sometimes one outlet per two beds		
Nurseries (check program for number of outlets)		
Special care nursery (one outlet per incubator)		
Examination and treatmet rooms		

Operating room bed holding areas		
Surgical preparation rooms		
Blood donor rooms		
Anesthesia work rooms		
Plaster (fracture) rooms		
Dental surgery		
Cardiac and heart catheterization rooms		
Deep therapy rooms		
Inhalation therapy rooms		
Electroencephalogram (EEG) rooms		
Electrocardiogram (ECG) rooms		
Electromyogram (EMG) rooms		
Fluoroscopy rooms		
High-level radioisotope rooms		
Low-level radiation rooms		
X-ray rooms		
Endoscopy room		
^a Where oxygen is used to power fluidically controlled anesthesia ventilators, increase Lpm volume by 40 percent.		
^b All outlets in the emergency department (area) should have 100 percent simultaneous - use factors.		
^c Where oxygen is used to power fluidically controlled ventilators, volume should be 40Lpm.		
^d Simultaneous - use factors for other spaces: The first outlet on the end section of piping 20 Lpm, 100 percent use factor. For additional outlets on the section of piping 10 Lpm with the following use factors:		

Outlets	Percent	Lpm
1 - 3	100	
4 - 12	75	Min. 45
13 - 20	50	Min. 115
21 - 40	33	Min. 125
40 and over	25	Min. 155

Nota. Esta imagen fue tomada de *Practical Plumbing Design Guide* (p.185 -187) por Church, 1979.

Anexo 5. Criterio de la normativa del instituto mexicano del seguro social (IMSS)



INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL

NORMAS DE DISEÑO
DE INGENIERÍA

INGENIERÍA HIDRAULICA SANITARIA Y ESPECIALES

CAPÍTULO 13

ABASTECIMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE OXIGENO Y OXIDO NITROSO

Tabla 13.2 Gastos de oxígeno en litros por minuto en función del número de salidas

No. de salidas	Gasto Lt/min	No. de salidas	Gasto Lt/min	No de salidas	Gasto Lt/min	No. de salidas	Gasto Lt/min
1	100	36	579	92	881	320	1461
2	148	37	586	94	890	340	1495
3	181	38	593	96	899	360	1527
4	210	39	600	98	907	380	1558
5	237	40	607	100	915	400	1588
6	261	41	614	105	932	420	1618
7	283	42	621	110	949	440	1647
8	302	43	628	115	964	460	1675
9	320	44	635	120	979	480	1702
10	336	45	642	125	994	500	1728
11	350	46	649	130	1009	550	1788
12	364	47	656	135	1024	600	1847
13	376	48	663	140	1039	650	1904
14	388	49	670	145	1054	700	1958
15	399	50	676	150	1068	750	2011
16	409	52	687	155	1082	800	2062
17	419	54	698	160	1096	850	2112
18	429	56	709	165	1109	900	2160
19	439	58	720	170	1122	950	2206
20	448	60	730	175	1135	1000	2250
21	457	62	740	180	1148	1100	2330
22	466	64	750	185	1161	1200	2405
23	475	66	760	190	1174	1300	2475
24	484	68	770	195	1187	1400	2540
25	493	70	780	200	1200	1500	2600
26	501	72	790	210	1225	1600	2658
27	509	74	800	220	1249	1700	2715
28	517	76	809	230	1273	1800	2771
29	525	78	818	240	1296	1900	2826
30	533	80	827	250	1319	2000	2880
31	541	82	836	260	1341		
32	549	84	845	270	1363		
33	557	86	854	280	1384		
34	565	88	863	290	1405		
35	572	90	872	300	1425		

Nota. Esta imagen fue tomada de *Normativa De Instalaciones Sanitarias, Hidráulicas Y Especiales*, (p.595 -605) por la IMSS, 1997.

Anexo 6. Criterio de la *Normativa de la National Fire Protection Association -Asociación Nacional de Protección contra Incendios-(NFPA 99)*

TABLE 13-1
Standard Designation Colors and Operating Pressures for Gas and Vacuum Systems
[NFPA 99: Table 5.1.11]

Gas Service	Abbreviated Name	Colors (Background/Text)	Standard Gauge Pressure
Medical air	Med Air	Yellow/black	50–55 psi (345–380 kPa)
Carbon dioxide	CO ₂	Gray/black or gray/white	50–55 psi (345–380 kPa)
Helium	He	Brown/white	50–55 psi (345–380 kPa)
Nitrogen	N ₂	Black/white	160–185 psi (1,100–1,275 kPa)
Nitrous oxide	N ₂ O	Blue/white	50–55 psi (345–380 kPa)
Oxygen	O ₂	Green/white or white/green	50–55 psi (345–380 kPa)
Oxygen/carbon dioxide mixture	O ₂ /CO ₂ n (n is % of CO ₂)	Green/white	50–55 psi (345–380 kPa)
Medical–surgical vacuum	Med Vac	White/black	15 in. to 30 in. HgV (360 mm to 760 mm)
Waste anesthetic gas disposal	WAGD	Violet/white	Varies with system type
Other mixtures	Gas A%/ Gas B%	Colors as above Major gas for background/ minor gas for text	None
Nonmedical air (level 3 gas-powered device)		Yellow-and-white diagonal stripe/black	None
Nonmedical and Level 3 vacuum		White-and-black diagonal stripe/black boxed	None

TABLE 13-2
Minimum Flow Rates

Oxygen	.71 CFM per outlet ¹ (20 LPM)
Nitrous Oxide	.71 CFM per outlet ¹ (20 LPM)
Medical Compressed Air	.71 CFM per outlet ¹ (20 LPM)
Nitrogen	15 CFM (0.42 m ³ /min.) free air per outlet
Vacuum	1 SCFM (0.03 sm ³ /min.) per inlet ²
Carbon Dioxide	.71 CFM per outlet ¹ (20 LPM)
Helium	.71 CFM per outlet (20 LPM)

TABLE 13-3 Minimum Outlets/Inlets per Station							
Location	Oxygen	Medical Vacuum	Medical Air	Nitrous Oxide	Nitrogen	Helium	Carbon Dioxide
Patient rooms for medical/surgical, obstetrics, and pediatrics	1/bed	1/bed	1/bed	—	—	—	—
Examination/treatment for nursing units	1/bed	1/bed	—	—	—	—	—
Intensive care (all)	3/bed	3/bed	2/bed	—	—	—	—
Nursery ¹	2/bed	2/bed	1/bed	—	—	—	—
General operating rooms	2/room	3/room ⁴	2/room	1/room	1/room	—	—
Cystoscopic and invasive special procedures	2/room	3/room ⁴	2/room	—	—	—	—
Recovery delivery and labor/delivery/recovery rooms ²	2/bed 2/room	2/bed 3/room ⁴	1/bed 1/room	—	—	—	—
Labor rooms	1/bed	1/bed	1/bed	—	—	—	—
First aid and emergency treatment ³	1/bed	1/bed ⁴	1/bed	—	—	—	—
Autopsy	—	1/station	1/station	—	—	—	—
Anesthesia workroom	1/station	—	1/station	—	—	—	—

TABLE 13-4 System Sizing – Flow Requirements for Station Inlet/Outlet ¹			
Number of Inlet/Outlet Terminal Units per Facility	Diversity Percentage of Average Flow per Inlet/Outlet Terminal Units	Minimum Permissible System Flow ²	
		SCFM	
		(liters/minute) All Pressurized Medical Gas Systems	Vacuum Systems
1–10	100%	Actual Demand	See
11–25	75%	7.0 (200)	Table
26–50	60%	13.1 (375)	13-5
51–130	50%	17.5 (500)	

Nota. Esta imagen fue tomada de *Health Care Facilities And Medical Gas And Vacuum Systems* (p.29 -31) por la NFPA 99 chapter 13, 2014.

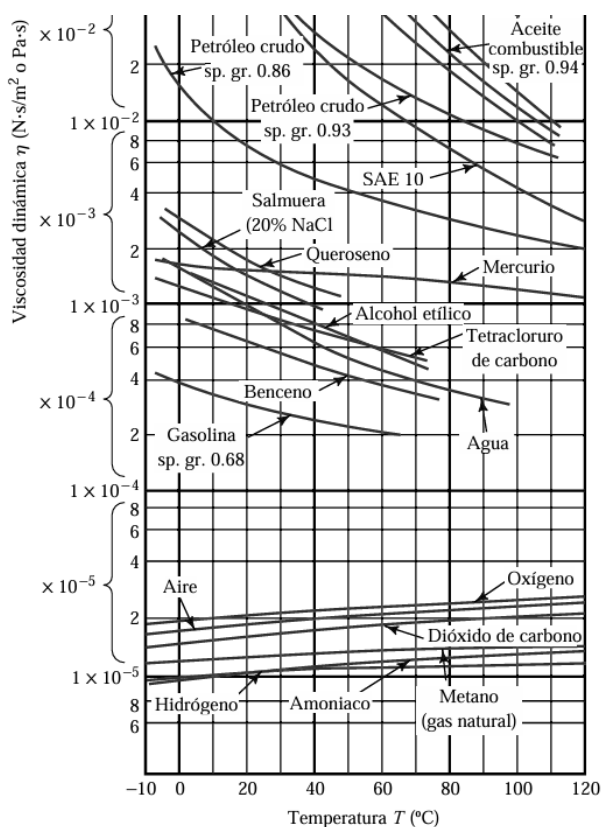
Anexo 7. Tomado del libro de Mott & Untener

Anexo 7.1. Constante de gas, exponente adiabático y relación de presión crítico para gases seleccionados

Gas	Constante de gas R		k	Relación de presión crítica
	ft·lb lb·°R	N·m N·K		
Aire	53.3	29.2	1.40	0.528
Amoniaco	91.0	49.9	1.32	0.542
Dióxido de carbono	35.1	19.3	1.30	0.546
Gas natural (típico; depende del gas)	79.1	43.4	1.27	0.551
Nitrógeno	55.2	30.3	1.41	0.527
Oxígeno	48.3	26.5	1.40	0.528
Propano	35.0	19.2	1.15	0.574
Refrigerante 12	12.6	6.91	1.13	0.578

Nota. Esta imagen fue tomada de *Mecánica De Fluidos*. (p.515) por Mott & Untener, 2015.

Anexo 7.2. Grafica de la viscosidad dinámica y temperatura.



Nota. Esta imagen fue tomada de *Mecánica De Fluidos*. (p.495) por Mott & Untener, 2015.

Anexo 7.3. Coeficiente de resistencia para contracción súbita.

D_2/D_1	Velocidad v_2								
	0.6 m/s 2 ft/s	1.2 m/s 4 ft/s	1.8 m/s 6 ft/s	2.4 m/s 8 ft/s	3 m/s 10 ft/s	4.5 m/s 15 ft/s	6 m/s 20 ft/s	9 m/s 30 ft/s	12 m/s 40 ft/s
1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.1	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06
1.2	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.09	0.10	0.11
1.4	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.19	0.20
1.6	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25	0.25	0.24
1.8	0.34	0.34	0.34	0.33	0.33	0.32	0.31	0.29	0.27
2.0	0.38	0.37	0.37	0.36	0.36	0.34	0.33	0.31	0.29
2.2	0.40	0.40	0.39	0.39	0.38	0.37	0.35	0.33	0.30
2.5	0.42	0.42	0.41	0.40	0.40	0.38	0.37	0.34	0.31
3.0	0.44	0.44	0.43	0.42	0.42	0.40	0.39	0.36	0.33
4.0	0.47	0.46	0.45	0.45	0.44	0.42	0.41	0.37	0.34
5.0	0.48	0.47	0.47	0.46	0.45	0.44	0.42	0.38	0.35
10.0	0.49	0.48	0.48	0.47	0.46	0.45	0.43	0.40	0.36
∞	0.49	0.48	0.48	0.47	0.47	0.45	0.44	0.41	0.38

Nota. Esta imagen fue tomada de *Mecánica De Fluidos*. (p.235) por Mott & Untener, 2015.

Anexo 7.4. Resistencia en válvulas y accesorios expresada como la longitud equivalente en diámetros de tubería, L_e/D

TABLA 10.4 Resistencia en válvulas y accesorios expresada como la longitud equivalente en diámetros de tubería, L_e/D

Tipo	Longitud equivalente en diámetros de tubería L_e/D
Válvula de globo —totalmente abierta	340
Válvula de ángulo —totalmente abierta	150
Válvula de compuerta —totalmente abierta	8
—abierta $\frac{3}{4}$	35
—abierta $\frac{1}{2}$	160
—abierta $\frac{1}{4}$	900
Válvula de retención —tipo oscilante	100
Válvula de retención —tipo bola	150
Válvula de mariposa —totalmente abierta, 2-8 in	45
—10-14 in	35
—16-24 in	25
Válvula de pie —tipo disco de vástago	420
Válvula de pie —tipo disco de bisagras	75
Codo estándar de 90°	30
Codo de 90° y radio largo	20
Codo de 90° para calle	50
Codo estándar de 45°	16
Codo de 45° para calle	26
Doble de retorno cerrado	50
Te estándar —con flujo por la línea principal	20
—con flujo por la ramificación	60

(Reproducido con autorización de Crane Co. *Flow of Fluids through Valves, Fittings and Pipe*, artículo técnico núm. 410, 2011. Todos los derechos reservados).

Nota. Esta imagen fue tomada de *Mecánica De Fluidos*. (p.242) por Mott & Untener, 2015.

Anexo 8. Pérdida de presión a 55 psi en tramos de 100 pies.

LPM	SCFM	1/2"	3/4"			
10	0.35	0.004	0			
20	0.71	0.013	0.003			
30	1.06	0.025	0.005			
40	1.41	0.041	0.008			
50	1.77	0.060	0.012			
60	2.12	0.082	0.016			
70	2.47	0.107	0.021			
80	2.82	0.135	0.026			
90	3.18	0.166	0.032			
100	3.53	0.199	0.039			
120	2.24	0.274	0.053			
140	4.94	0.359	0.069			
160	5.65	0.454	0.087			
180	6.36	0.558	0.107	1"		
200	7.06	0.672	0.129	0.033		
220	7.77	0.795	0.153	0.039		
240	8.47	0.927	0.178	0.045		
260	9.18	1.068	0.205	0.052		
280	9.89	1.218	0.233	0.059		
300	10.59	1.377	0.263	0.066		
350	12.36	1.811	0.346	0.087		
400	14.12	2.298	0.438	0.110		
450	15.89	2.837	0.539	0.135		
500	17.66	3.426	0.650	0.163	1 1/4"	
550	19.42		0.771	0.193	0.066	
600	21.19		0.900	0.225	0.077	
650	22.95		1.038	0.260	0.089	
700	24.72		1.185	0.296	0.101	
800	28.25		1.505	0.375	0.128	
900	31.78		1.859	0.463	0.156	1 1/2"
1000	35.31		2.247	0.559	0.191	0.083
1100	38.84		2.667	0.663	0.226	0.099
1200	42.37		3.121	0.775	0.264	0.115
1300	45.90		3.607	0.895	0.305	0.133
1400	49.44	2"	4.125	1.022	0.348	0.151
1500	52.97	0.045		1.157	0.394	0.171
1600	56.50	0.050		1.299	0.442	0.192
1700	60.03	0.056		1.449	0.493	0.214
1800	63.56	0.062		1.507	0.546	0.237
1900	67.09	0.068	2 1/2"	1.772	0.602	0.261
2000	70.62	0.075	0.026	1.944	0.660	0.287
2300	81.21	0.096	0.034	2.503	0.849	0.368
2600	91.81	0.120	0.042	3.127	1.059	0.459
2900	102.40	0.146	0.051	3.813	1.290	0.559
3200	112.99	0.174	0.061	3"	1.542	0.667
3500	123.59	0.204	0.072	0.031	1.814	0.785
3800	134.18	0.237	0.083	0.036	2.107	0.911
4100	144.77	0.271	0.095	0.041	2.419	1.045
4400	155.37	0.308	0.108	0.046	2.751	1.188
4700	165.96	0.347	0.122	0.052	3.102	1.339
5000	176.55	0.388	0.136	0.058		1.498
5300	187.15	0.431	0.151	0.065		1.665
5600	197.74	0.477	0.167	0.071		1.841

Nota. Esta imagen fue tomada de *Análisis del Sistema Actual y Propuestas de Diseño del Sistema de Gases Médicos del Hospital Nacional "Dr. Juan José Fernández" Zacamil*. (p.190) por, Escalante y Pleitez y Fernandez .2010.

Anexo 9. Ficha técnica de las plantas de oxígeno.



1.1. Especificaciones técnicas

Los datos de esta sección se refieren a los concentradores de oxígeno estándar. Los concentradores de oxígeno pueden utilizar aire de alimentación con especificaciones fuera de las mostradas; sin embargo, el uso de dicho aire de alimentación puede requerir la modificación de los concentradores de oxígeno en la fábrica SPEAL® para garantizar que el oxígeno del producto cumpla con las especificaciones de diseño. Consulte a su representante de ventas para determinar si su concentrador de oxígeno requiere modificaciones para su aplicación.

Flujo de producto:	22.7 Nm ³ / hr o 376,3 LPM, (801,5 SCFH)
Presión del producto:	310-448 kPa (45-65 psig) 1
Concentración de producto (nominal):	95% ± 1%
Punto de rocío del producto:	-43 ° C
Peso:	250 Kg

Conexiones físicas

Entrada de aire comprimido:	1,1/2" NPT
Salida de gas del producto:	1/2" NPT

Nota. Esta imagen fue tomada de *Manual Operativo Para Concentración De Oxígeno Con Tecnología PSA*. (p.7) por Speal, 2015.

Equipamiento permite optimizar abastecimiento diario para más de 120 pacientes con COVID-19_



15 de abril de 2021 - 4:34 p. m.

La planta móvil de oxígeno medicinal instalada en el Hospital Regional del Cusco en el marco de un convenio entre el Ministerio de Salud (MINSA) y la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) inició su funcionamiento al 100 % de su capacidad.

Jorge Luis Galdos Tejada, director ejecutivo del nosocomio cusqueño, precisó que la producción del principal insumo de tratamiento contra el COVID-19, fue estandarizada por un equipo técnico de la UNI. Dijo que los peritos realizaron la configuración del sistema productivo mediante ajustes y calibraciones de adaptación hasta su punto óptimo.

Carlos Miranda Camarena, responsable del equipo técnico de la UNI, señaló que dicha planta funcionará de manera permanente las 24 horas y permitirá optimizar el abastecimiento de oxígeno medicinal al producir 20 metros cúbicos de oxígeno por hora. "Significa llenar, en un día por lo menos 40 balones de 10 metros cúbicos cada uno, no se puede más debido a los tiempos que se necesita para los recambios de balones", aseveró el especialista.

Nota. Esta imagen fue tomada mediante el [sitio web]

<https://www.gob.pe/institucion/regioncusco/noticias/482871-planta-de-oxigeno-del-hospital-regional-opera-al-100>

Anexo 10.

INFORME DE PRESIÓN Y FLUJOS DE PISO EN 03 MAY 2023

Personal de Turno: _____ Fecha: _____

MEDICINA C 5TO PISO			
CAMA	PSI	FLUJO	OBSERVACIONES
501			
502			
503	500	2	
504	1500	3	
505	1000	1	5/4
506	1000	1	
507	1000	5	
508			
509			
510	1000	2	
511	1000	2	
512	500	3	
513			
514			
515			
516			
517	1500	2	
518			
519			
520			
521	1000	10	
522			
NUEVO ESCUELA 5DO PISO			
CAMA	PSI	FLUJO	OBSERVACIONES
523	2500	1	5/4 100
524			
525			
526			
527	2000	1	5/4 1100
528			
529			
530	1000	2	
531			
532			
533			
534			
535			
536			
537			
538			
539			
540			
541			
542			
543			
544			
545			
546			
547			
548			
549			
550			
551			
552			
553			
554			
555			
556			
557			
558			
559			
560			
561			
562			
563			
564			
565			
566			
567			
568			
569			
570			
571			
572			
573			
574			
575			
576			
577			
578			
579			
580			
581			
582			
583			
584			
585			
586			
587			
588			
589			
590			
591			
592			
593			
594			
595			
596			
597			
598			
599			
600			
NUEVA A 4TO PISO			
CAMA	PSI	FLUJO	OBSERVACIONES
401	2000	1	
402			
403	1000	15	
404	1500	2	
405	2000	2	
406			
407	4000	2	
408	1500	3	
409	4500	2	
410	1200	12	
411	500	2	
412	400	2	
413			
414			
415	0	23	
416	1000	3	
417	2000	4	
418			
419			
420	1000	2	
421			
422			
423			
424			
425			
426	1000	2	
427	1500	3	
428	2000	1	
429	2000	3	5/4
430	1000	2	
431			
432			
ONCLOGIA 4TO PISO			
CAMA	PSI	FLUJO	OBSERVACIONES
433			
434	1000	4	
435			
436	400	1	5/4
437			
438			
439	1500	1	5/4 1100
440	1000	1	5/4
441	2000	1	5/4
442			
SALUD MENTAL 4TO PISO			
CAMA	PSI	FLUJO	OBSERVACIONES
443			
444			
445			
446			
447			
448			
449			
450			
451			
452			
453			
454			
455			
456			
457			
458			
459			
460			
461			
462			
463			
464			
465			
466			
467			
468			
469			
470			
471			
472			
473			
474			
475			
476			
477			
478			
479			
480			
481			
482			
483			
484			
485			
486			
487			
488			
489			
490			
491			
492			
493			
494			
495			
496			
497			
498			
499			
500			

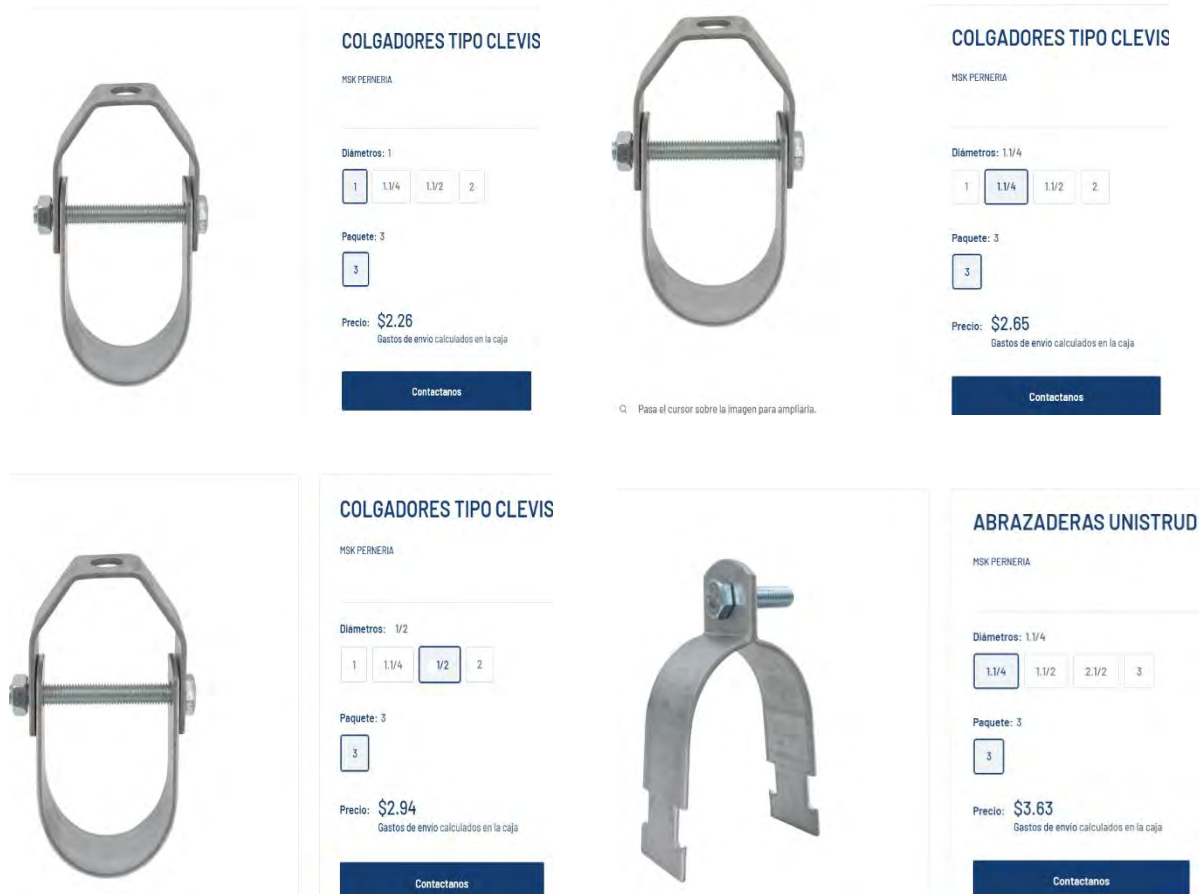
MATERNIDAD 1ER PISO			
CAMA	PSI	FLUJO	OBSERVACIONES
101			
102			
103			
104			
105			
106			
107			
108			
109			
110			
111			
112			
113			
114			
115			
116			
117			
118			
119			
120			
121			
122			
123			
124			
125			
126			
127			
128			
129			
130			
131			
132			
133			
134			
135			
136			
137			
138			
139			
140			
141			
142			
143			
144			
145			
146			
147			
148			
149			
150			
151			
152			
153			
154			
155			
156			
157			
158			
159			
160			
161			
162			
163			
164			
165			
166			
167			
168			
169			
170			
171			
172			
173			
174			
175			
176			
177			
178			
179			
180			
181			
182			
183			
184			
185			
186			
187			
188			
189			
190			
191			
192			
193			
194			
195			
196			
197			
198			
199			
200			

PEDIATRIA B 2DO PISO			
CAMA	PSI	FLUJO	OBSERVACIONES
201			
202			
203			
204			
205			
206			
207			
208			
209			
210			
211			
212			
213			
214			
215			
216			
217			
218			
219			
220			
221			
222			
223			
224			
225			
226			
227			
228			
229			
230			
231			
232			
233			
234			
235			
236			
237			
238			
239			
240			
241			
242			
243			
244			
245			
246			
247			
248			
249			
250			
251			
252			
253			
254			
255			
256			
257			
258			
259			
260			
261			
262			
263			
264			
265			
266			
267			
268			
269			
270			
271			
272			
273			
274			
275			
276			
277			
278			
279			
280			
281			
282			

EMERGENCIA INTERMEDIO 1ER PISO			
CAMA	PSI	FLUJO	OBSERVACIONES
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			
61			
62			
63			
64			
65			
66			
67			
68			
69			
70			
71			
72			
73			
74			
75			

Anexo 11. Precios unitarios para los componentes de la red de distribución de oxígeno.

Anexo 11.1. Precios unitarios de colgadores y abrazaderas.



Nota. Esta imagen fue tomada mediante el [sitio web]

<https://multistock.com.pe/products/colgadores-tipo-clevis?variant=38179597090968>

Anexo 11.2. Precios unitarios de flujómetros dobles y simples.



Nota. Esta imagen fue tomada mediante el [sitio web]

https://respiramedical.com.pe/?s=Flujometro+Oxigeno&post_type=product&dgwt_wcas=1

Anexo 11.3. Precios unitarios de caja de corte y toma mural de oxígeno.



COTIZACION N°2026-0020

CLIENTE: JHON EDGAR
RUC:
TLF: 976057095
CONTACTO: JHON EDGAR
DIRECCION: CUSCO - CUSCO

REPRESENTANTE: DIANA MACEDO
CODIGO DE VENEDOR: DM
FECHA DE EMISION: 09/03/2026
COTIZACION VALIDA HASTA: 10 DIAS

Estimado (a) en atencion a su solicitud me permito enviarle la cotizacion correspondiente a los productos de su interes:

ITEM	CANT	DESCRIPCION	ENTREGA	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	5	CAJA DE VALVULA DE UN GAS - 3/4"	10 DIAS HABILES	S/ 980.00	S/ 4,900.00

CONTIENE:

- 01 RELOJ DE PRESION DE 0-100 PSI PARA OXIGENO
- 01 VALVULA DE TRES CUERPOS DE 3/4"
- MARCA: NIGO/TAIWAN PARA OXIGENO
- TUBERIA TIPO K DE 3/4" IMPORTADA
- CAJA CON PUERTA BATIENTE

PROCEDENCIA: NACIONAL



FOTO REFERENCIAL

2	97	PLACA TOMA MURAL DE OXIGENO DISS	02 DIAS HABILES	S/ 200.00	S/ 19,400.00
---	----	----------------------------------	-----------------	-----------	--------------

PLACA MURAL DE OXIGENO (DISS)

NORMA: NFPA 99 Y CERTIFICACION UL

CON 3 PIEZAS PARA EMPERNAR SOLDAR Y ROSCAR

CON CONEXIÓN DISS 1240

VALVULA CHECK INCORPORADA (INTERNAEXTERNA)

COLOR DE PLACA VERDE SEGÚN NORMA INTERNACIONAL

Marca : Gentec

Modelo : 3822U-O

Procedencia : USA



Nota. Esta imagen fue tomada de una cotización realizada a la empresa Oximedic Import.

Anexo 11.4. Precios unitarios de sistema de alarma para gas medicinal.



Nota. Esta imagen fue tomada mediante el [sitio web]

https://cbmttec.en.made-in-china.com/product/pxeUzsqYYDkH/China-Medical-Gas-AreaAlarmSystem-with-LED-Panel-for-5-Gas-Medical-Gas-Alarm-System-730-00.html?utm_source

Anexo 11.5. Precios unitarios para sistema suministro tipo manifold.



COTIZACION N°2026-00013

CLIENTE: JHON EDGAR
RUC: 107398299998
DIRECCION: CUZCO
CONTACTO: JHON EDGAR
TELEFONO: 976057095

REPRESENTANTE: DIANA MACEDO
CODIGO DE VENDEDOR: DM
FECHA DE EMISION: 06/03/2026
COTIZACION VALIDA HASTA: 07 DIAS

Estimado (a) en atencion a su solicitud me permito enviarle la cotizacion correspondiente a los productos de su interes:

ITEM	CANT	DESCRIPCION	ENTREGA	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	1	MANIFOLD DE OXIGENO 14"14	07 DIAS HABILES/SUJETO A STOCK	S/ 41,830.00	S/ 41,830.00

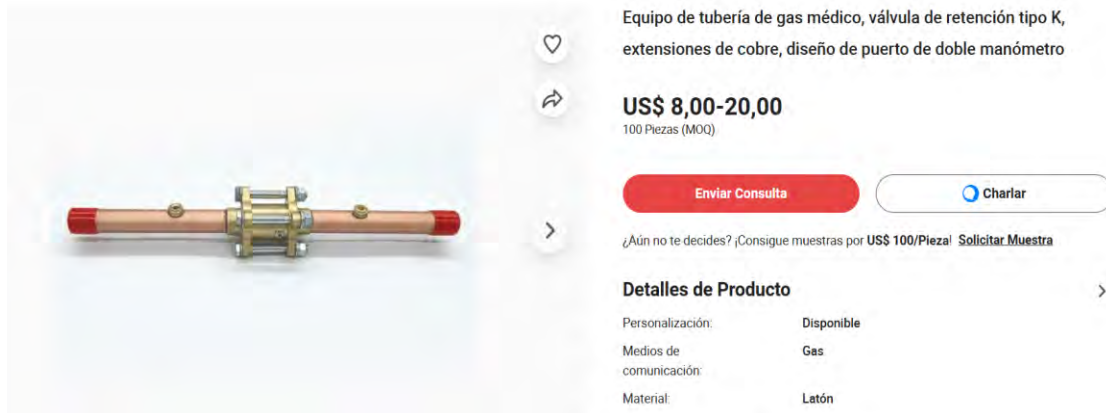
MANIFOLD AUTOMATICO PARA 28 CILINDROS
TUBERIA DE BRONCE 3/4 (PRESION DE TRABAJO 3000 PSI)
02 VALVULAS DE CORTE TIPO AGUJA DE 5000PSI
28 VALVULAS DE 3/4 CGA-540 MARCA SHERWOOD/USA
28 PORTAVALVULAS
28 PIGTAIL FLEXIBLES DE 24" CON CONEXIONES CGA540 A AMBOS LADOS MARCA: WESTERN/USA
BASE ESTRUCTURAL PARA EL MANIFOLD
BASE ESTRUCTURAL PARA CILINDROS
03 MANOMETROS
01 VALVULA DE TRES CUERPOS DE 1/2
01 VALVULA DE TRES CUERPO DE 1"

MARCA GENTEC/USA
MODELO: GM2-D-L-02
NO INCLUYE CILINDROS



Nota. Esta imagen fue tomada de una cotización realizada a la empresa Oximedic Import.

Anexo 11.5. Precios unitarios de válvula de retención.



Equipo de tubería de gas médico, válvula de retención tipo K, extensiones de cobre, diseño de puerto de doble manómetro

US\$ 8,00-20,00
100 Piezas (MOQ)

Enviar Consulta Charlar

¿Aún no te decides? ¡Consigue muestras por US\$ 100/Pieza! Solicitar Muestra

Detalles de Producto

Personalización:	Disponible
Medios de comunicación:	Gas
Material:	Latón

Nota. Esta imagen fue tomada mediante el [sitio web]

https://es.made-in-china.com/co_xbvalve/product_3-Piece-Brass-Medical-Gas-CheckValve-withTypKCopperExtensions_yunhiueuyg.html?pv_id=1jk8oeaa3890&faw_

Anexo 11.5. Precios unitarios de válvulas de tipo bola.



1/2" - 4" 3-Piece Nfpa99c Válvula de bola de gas médico de latón con extensiones soldadas y puerto de manómetro válvulas de cierre de gas médico para el mercado de EE. UU

US\$ 9,80-60,98
200 Piezas (MOQ)

Iniciar Pedido Enviar Consulta Charlar

¿Aún no te decides? ¡Consigue muestras por US\$ 15.8/Pieza! Muestra de Orden

Detalles de Producto

Personalización:	Disponible
Medios de comunicación:	Gas
Material:	Latón

Nota. Esta imagen fue tomada mediante el [sitio web]

https://es.made-in-china.com/co_xbvalve/product_1-2-4-3-Piece-Nfpa99c-Brass-Medical-Gas-Ball-Valve-Line-Valve-with-Brazed-Extensions-and-Gauge-Port-Medical-Gas-Shut-off-Ball-Valves-for-Us-Market_yuhrssnig.html?pv_id=1jk8oem7v20d&faw_

Anexo 11.6. Precios unitarios de válvula de alivio.



Válvula de alivio de presión del compresor de aire de alta presión, tipo macho DN15 1/2 " (color: presión de ajuste 2.0MPa, tamaño: DN15)

Marca: NURRI

No puede enviarse este producto al punto de entrega seleccionado. Selecciona un punto de entrega diferente.

Color: Establecer presión 2.0MPa



Tamaño: DN15

- Válvulas de alivio de presión pequeñas, ligeras y fáciles de instalar.
- Una válvula de alivio de presión es una válvula utilizada para controlar o limitar la presión en un sistema o recipiente que puede ser elevada por un proceso, instrumento o equipo.

Nota. Esta imagen fue tomada mediante el [sitio web]

<https://www.amazon.com/-/es/V%C3%A1lvula-alivio-presi%C3%B3n-compresor-macho/dp/B0CNK5VGZG?th=1>

Anexo 11.7. Precios unitarios de tuberías y uniones de tubería.



TUBO COBRE RÍGIDO TIPO "K" 1 3/8" (1 1/4") - 6MT - IUSA

S/. 667.84



TUBERÍA COBRE RÍGIDO TIPO "K" 1 1/8" (1") - 6MT - IUSA

S/. 563.65



TUBO COBRE RÍGIDO TIPO "K" 7/8" (3/4") - 6MT - IUSA

S/. 433.41



TUBERÍA COBRE RÍGIDO TIPO "K" 5/8" (1/2") - 6MT - IUSA

S/. 233.82



CODO COBRE SOLDABLE 1 3/8" -90°

S/. 17.22



CODO COBRE SOLDABLE 1"

S/. 7.63



CODO COBRE SOLDABLE 3/4" -90°

S/. 3.94



CODO COBRE SOLDABLE 1/2" -90°

S/. 2.71



Nota. Esta imagen fue tomada mediante el [sitio web]

<https://friomax.pe/productos.php?categoria=Suministros&subcategoria=Accesorios-de-cobre-y-bronce>

Anexo 11.8. Precios unitarios de reductores de diámetro.



PATIKIL Reductor de cobre ID de 1 1/4 a 1 pulgada, 2 unidades de acoplamiento de cobre puro al 99.9% de acoplamiento de presión de ajuste de tubería adaptador de conector de tubo con conexión de

Visita la tienda de PATIKIL

3.9  (23)

PEN5504

Devoluciones internacionales gratis

Sin cargos de importación y PEN 54.16 de envío a Perú [Detalles](#)

Tamaño: 1 1/4" to 1"

1 1/4" to 1"	1 1/4" to 1 1/8"	1 1/4" to 1/2"	1 1/4" to 3/4"	1 1/4" to 1"
PEN55.04	PEN52.30	PEN54.01	PEN52.64	PEN52.64
1 1/4" to 3/8"	1 1/4" to 5/8"	1 1/4" to 7/8"	1 1/8" to 1"	1 1/8" to 1"
PEN38.28	PEN38.47	PEN54.01	PEN49.56	PEN49.56

Nota. Esta imagen fue tomada mediante el [sitio web]
<https://www.amazon.com/-/es/Reductor-unidades-acoplamiento-adaptador-conector/dp/B0D5MMM2CC?th=1>

Anexo 11.9. Precios unitarios de reductores de diámetro.



REDUCCIÓN COBRE 1" X 1/2"

Paquete de 1 und(s)

Precio Unitario: S/ 3.67

Nota. Esta imagen fue tomada mediante el [sitio web]
https://tienda.ememsa.com/reduccion-910cu061608/p?utm_source

Anexo 11.10. Precios unitarios de nitrógeno por m³.



Inicio / Gases Medicinales / Nitrogeno UHP N / Nitrogeno Medicinal UHP x m3

Nitrogeno Medicinal UHP x m3

~~\$/65.00~~ **\$/46.00**

100 **Añadir al carrito** **Comprar ahora**

Consultar por WhatsApp

SKU RESP-64364126 Categorías: Gases Medicinales, Nitrogeno UHP N

ÚNETE A NOSOTROS
Regístrate o inicia sesión para **OBTENER PRECIOS EXCLUSIVOS** y comprar con beneficios.
→ Es rápido y gratis.

Nota. Esta imagen fue tomada mediante el [sitio web]
<https://respiramedical.com.pe/producto/oxigeno-liquido-medicinal/>

Anexo 11.11. Precios unitarios soldadura de plata al 45%.



AB IMPORTACIONES INDUSTRIALES S.A.C
R.U.C: 20507943340
Razón Social: A.B. IMPORTACIONES INDUSTRIALES SOCIEDAD ANONIMA CERRADA
Dirección: CAL. AUGUSTO DURAND NRO. 2174 URB. SAN LUIS - LIMA

CLIENTE : AB IMPORTACIONES INDUSTRIALES S.A.C

RUC : 20507943340

Asesor/a Comercial : AB Celular :

REPRESENTANTE EXCLUSIVO DE:











CENTRAL: 474-2446 / 474-2445
TELEFONIA: 474-2445

FECHA	REPRESENTANTE	TERMINOS	MONEDA	COTIZACION
05/03/2026		Credito transferencia	Soles	0168871

ITEM	CODIGO	UNID.	DESCRIPCION	CANT.	PRECIO	TOTAL
1	02832	kg	SOLDADURA DE PLATA HARRIS AL 45%	1.00	2200	2200
PRECIOS INCLUYEN EL IGV					TOTAL	S/ 2200

VALIDEZ DE LA OFERTA : 07 DÍAS

TIEMPO DE ENTREGA :

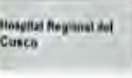
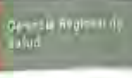
LUGAR DE ENTREGA :

OBSERVACIONES :

Asesor/a Comercial

Nota. Esta imagen fue tomada de una cotización realizada a la empresa AB Importaciones Industriales S.A.

Anexo 12. Documentos que autorizan la recolección de datos.



"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

REQUISITOS PARA IMPLEMENTACIÓN DE PROYECTO, RECOLECCIÓN DE INVESTIGACIÓN, PRE Y POST GRADO

En todo proyecto de investigación se DEBE ADJUNTAR:

- FUT de trámite documentario
- Pago de S/. 30.00... Pregrado.
- Pago de S/. 80.00... Post grado.

ELEMENTOS QUE DEBE INCLUIR EL PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN.

1. Resolución de aprobación de la Universidad, previa revisión por los Comités de Investigación de cada Facultad.
2. Resolución de aprobación del Comité de Ética de cada Universidad (Facultad).
3. TÍTULO
4. RESUMEN (ABSTRACT) DEL PROTOCOLO
5. PALABRAS CLAVE
6. INTRODUCCIÓN
7. JUSTIFICACIÓN
8. ANTECEDENTES Y MARCO TÓRICO
9. OBJETIVOS GENERALES
10. OBJETIVOS ESPECÍFICOS
11. HIPÓTESIS
12. DISEÑO METODOLÓGICO
13. TIPO DE INVESTIGACIÓN
14. CRITERIOS ÉTICOS
15. MATRIZ DE CONSISTENCIA u OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES
16. VARIABLES E INSTRUMENTOS
17. TIPO DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO
18. CONSENTIMIENTO INFORMADOS
19. ANEXOS
20. BIBLIOGRAFÍA
21. PRESUPUESTO
22. CRONOGRAMA



Av. La Cultura S/N Cusco – Perú

Teléfonos (084) 227661 / Emergencia (084) 223691

www.hrcusco.gob.pe / hrcusco@hrcusco.gob.pe



Pasa A:

04 JUL 2025
13:15
324 regis
16

Nº de Exped: _____

Solicitante: SEÑOR EDGAR GUINONES HASSA

013481 Nº 002702

PROVEIDO N° 133 2025-GR CUSCO/GERESA/HRC/CDI.DE

Visto, el Expediente N°013481, quien presenta JHON EDGAR QUIÑONES MASSA identificado con DNI N° 73982999, para que realice recolección de datos de investigación de Pre Grado en el área de salud de: Medicina - C, Neurociencia, Medicina- A, Oncología, Pediatría.

La presente petición es ACEPTADA por al jefe del Departamento de Apoyo al Tratamiento



En ese sentido, esta Dirección AUTORIZA la recolección de datos de investigación de Pre Grado, se precisa que el investigador no ofrece contrato alguno con nuestra institución, tampoco compensación Alimentación del cual tiene amplio conocimiento el investigador.

Atentamente,

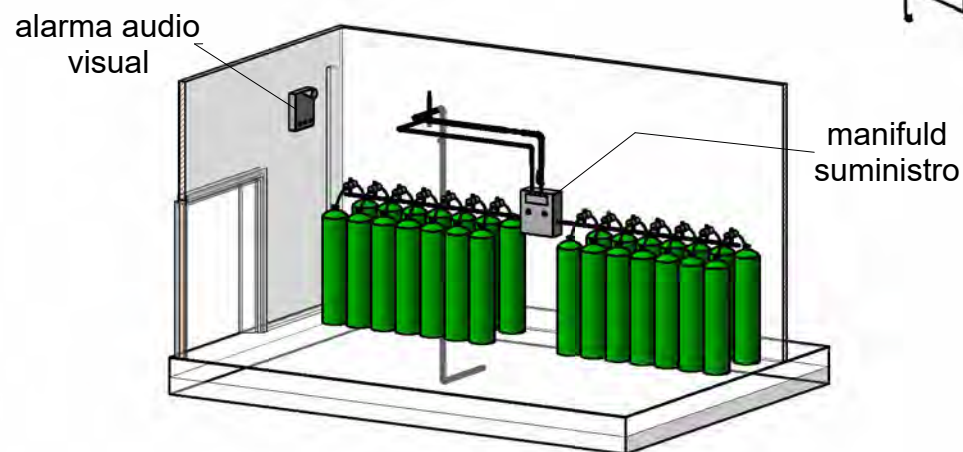
Cusco, 25 de octubre del 2025


Med. Carlos Enrique Bamarra Valdivia
 Director Ejecutivo
 CMP 46301 RNE. 31900

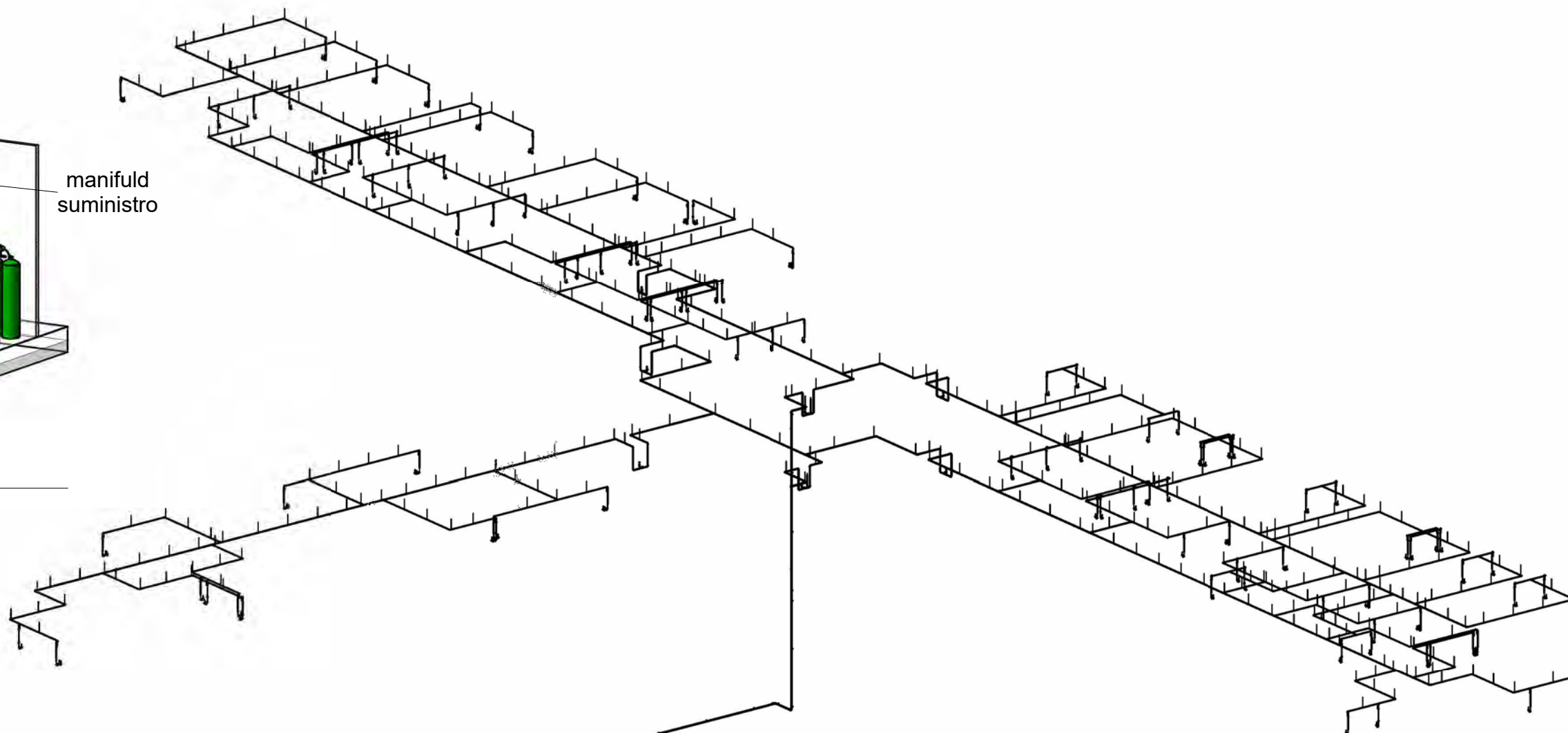

Mgt. Sofia Apaza Pillco
 Jefa de la Oficina de Capacitación
 Docencia e Investigación

c.c.Archivo
 CGVISAPICAV

PLANOS



2 Manifold



1 Red de oxígeno

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA



MODELADO TRIDIMENSIONAL DE LAS
INSTALACIONES MECANICAS

ESCALA:
Como se indica

DIBUJADO POR:
BACH. JHON EDGAR QUIÑONES MASSA

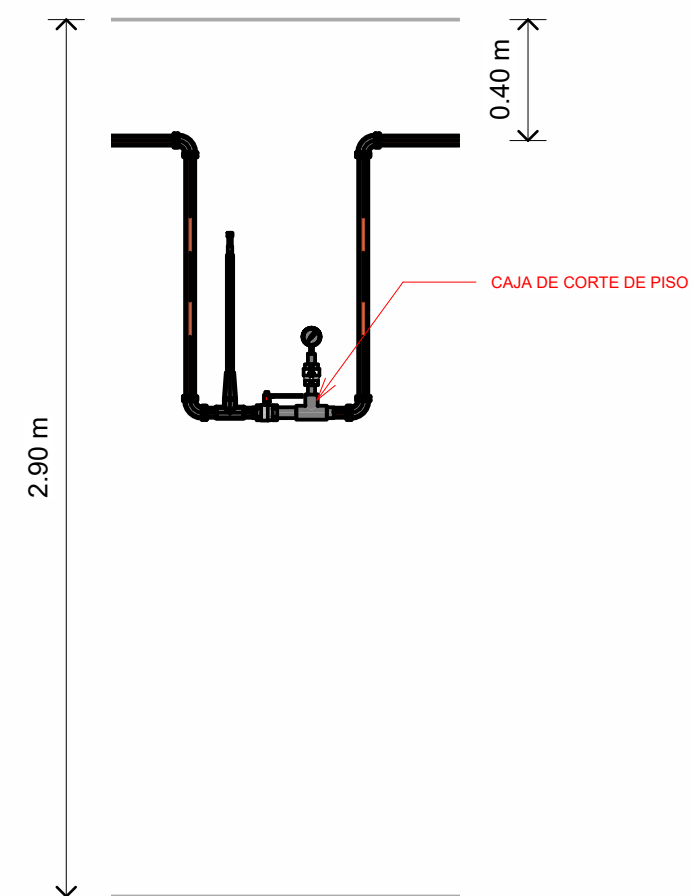
FECHA:
24/03/2026

FORMATO:
A3

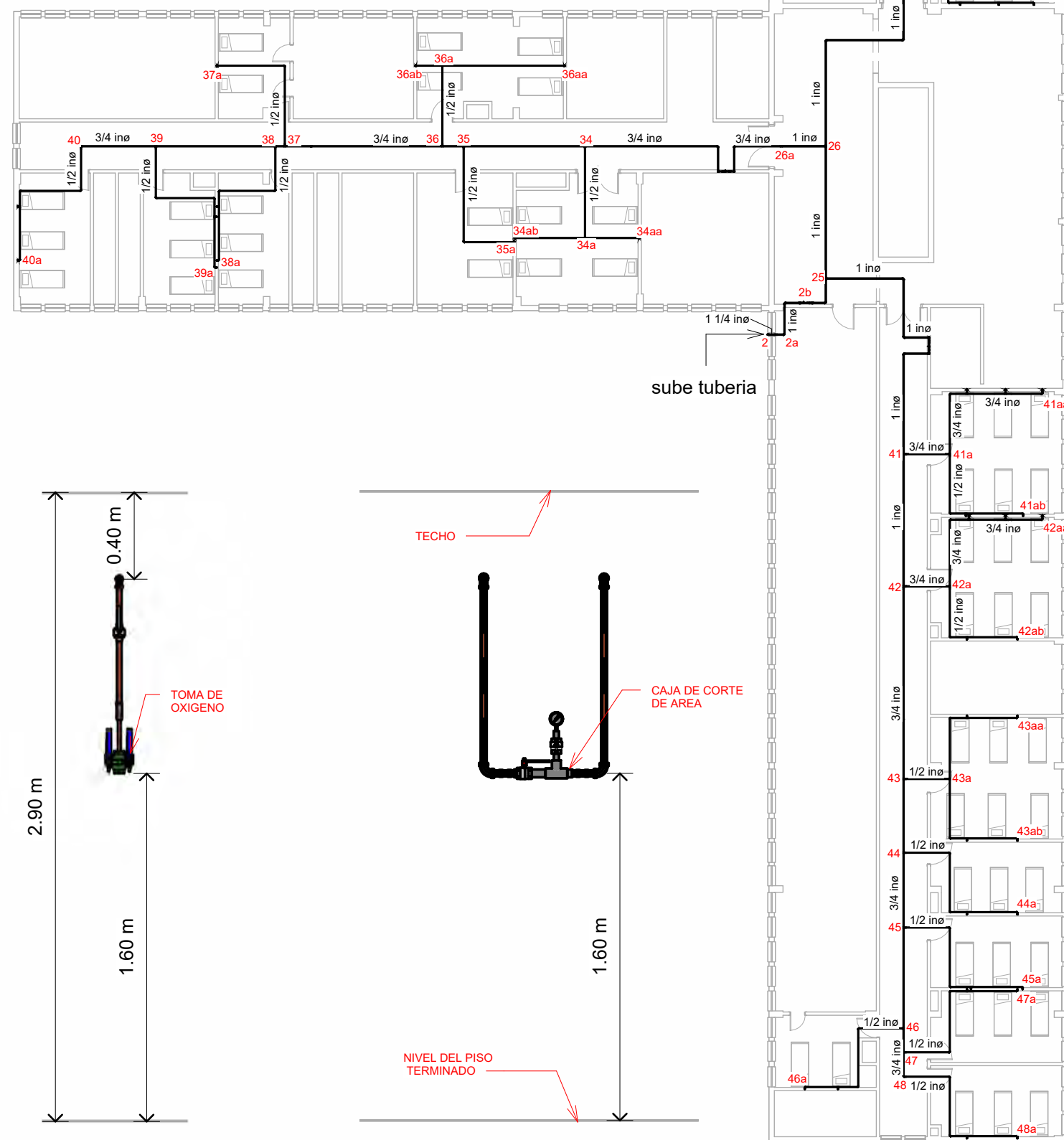
REVISADO POR:
ING. PERCY MIGUEL RUEDA PUELLES

FECHA DE
REVISION:
24/03/2026

LAMINA:
001



6 Sección 3
1 : 25



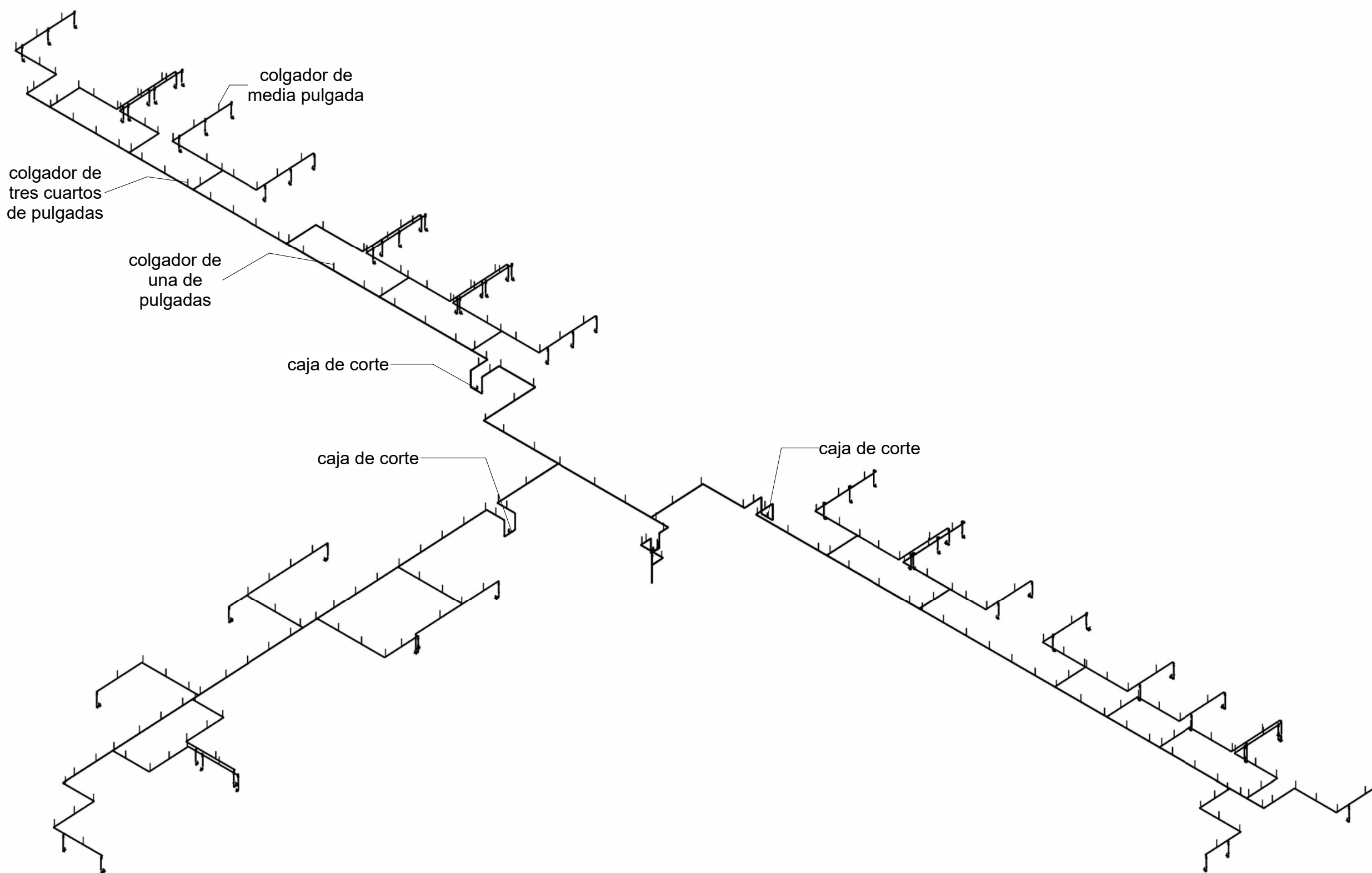
sube tubería

TECHO

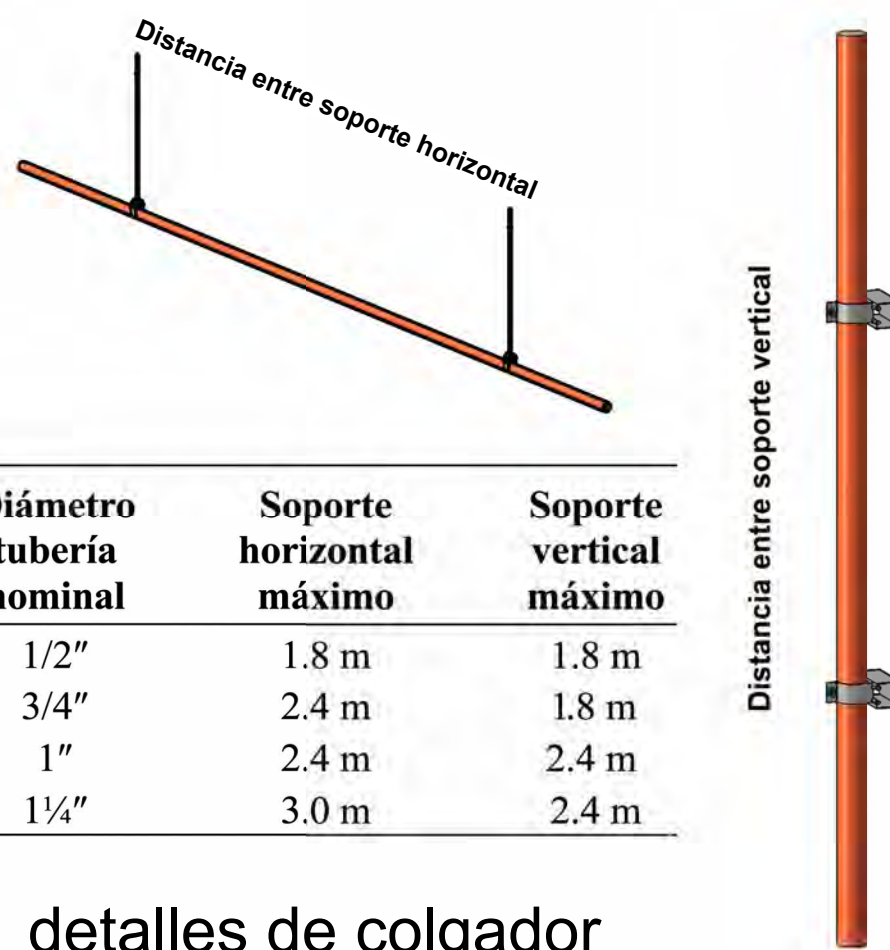
CAJA DE CORTE DE AREA

NIVEL DEL PISO TERMINADO

1 cuarto piso
1 : 250



2 3D - cuarto piso



Diámetro tubería nominal	Soporte horizontal máximo	Soporte vertical máximo
1/2"	1.8 m	1.8 m
3/4"	2.4 m	1.8 m
1"	2.4 m	2.4 m
1 1/4"	3.0 m	2.4 m

3 detalles de colgador

4 Sección 1
1 : 25

5 Sección 2
1 : 25

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA



DISTRIBUCION DEL OXIGENO EN EL
CUARTO PISO

ESCALA:
Como se indica

DIBUJADO POR:
BACH. JHON EDGAR QUIÑONES MASSA

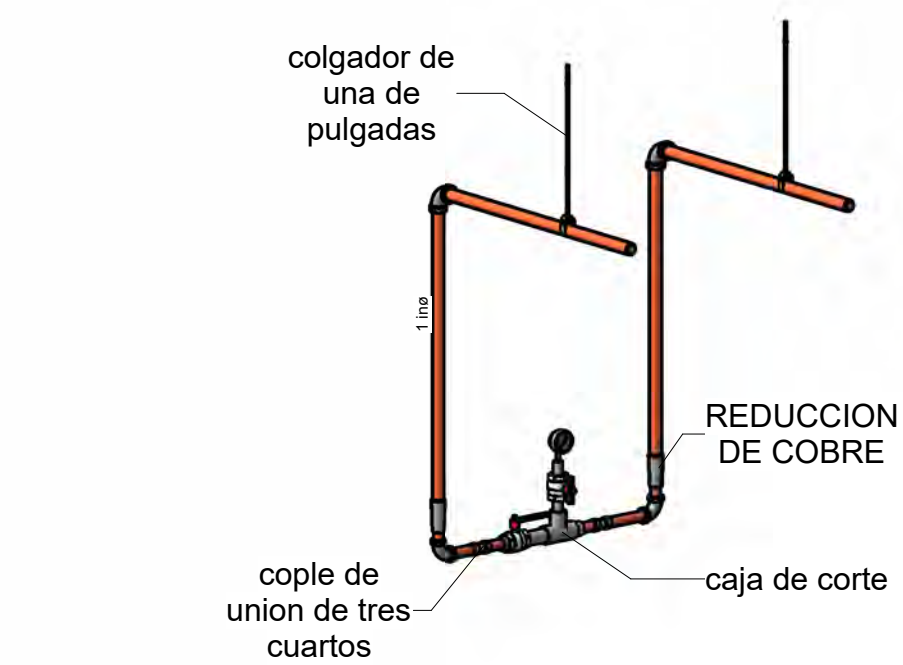
FECHA:
24/03/2026

FORMATO:
A2

REVISADO POR:
ING. PERCY MIGUEL RUEDA PUELLES

FECHA DE REVISION:
24/03/2026

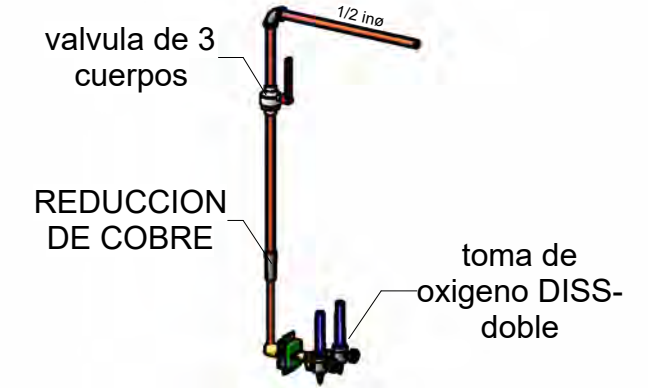
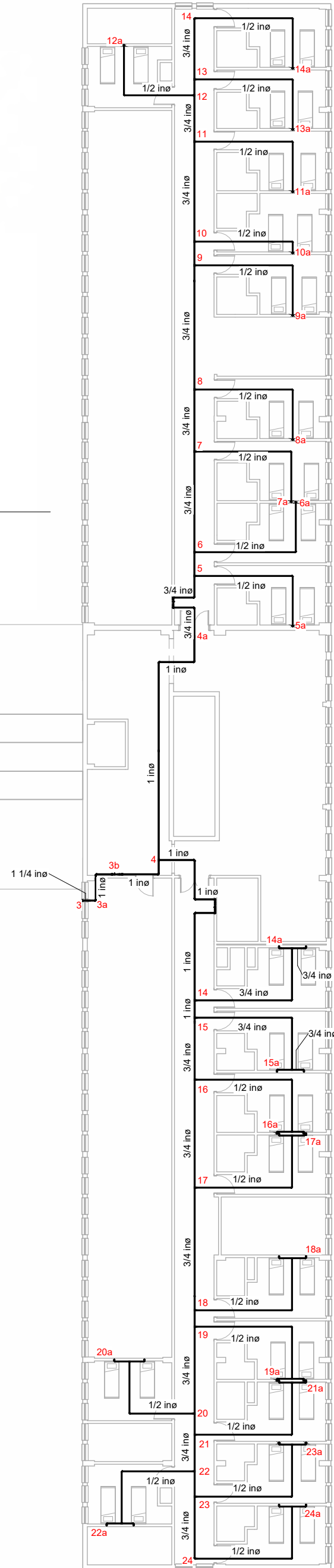
LAMINA:
002



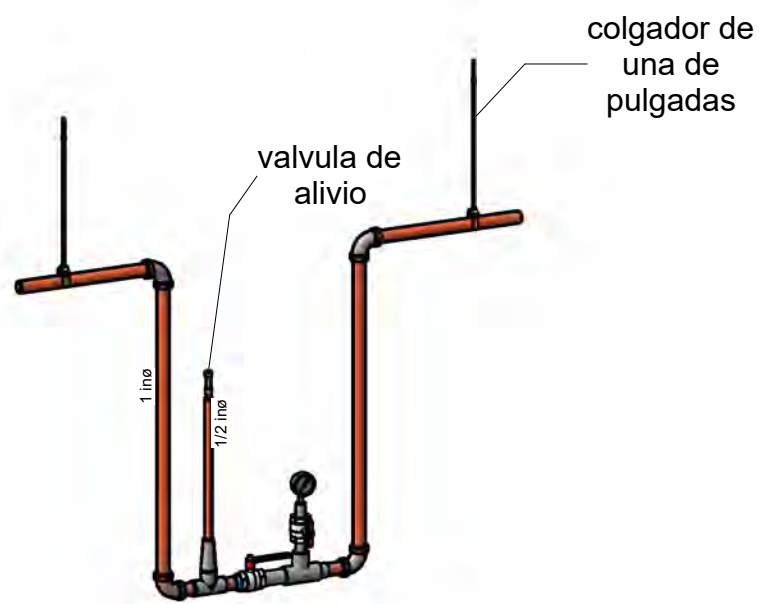
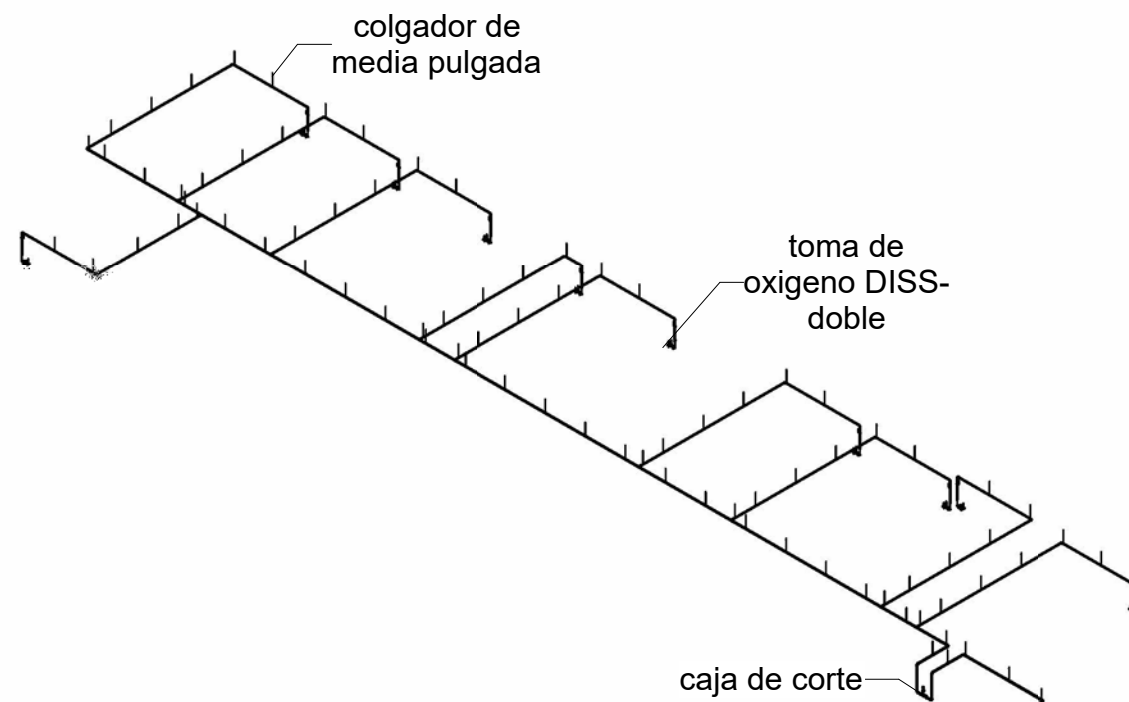
5 detalle caja de corte area



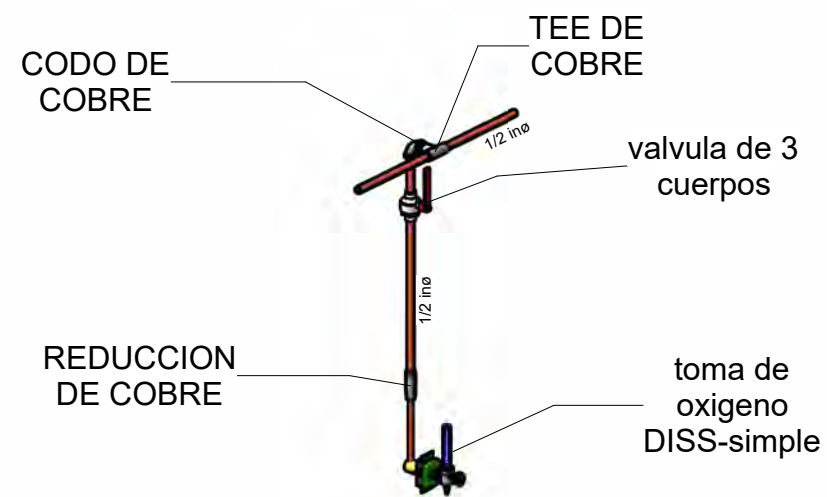
1 quinto piso
1 : 250



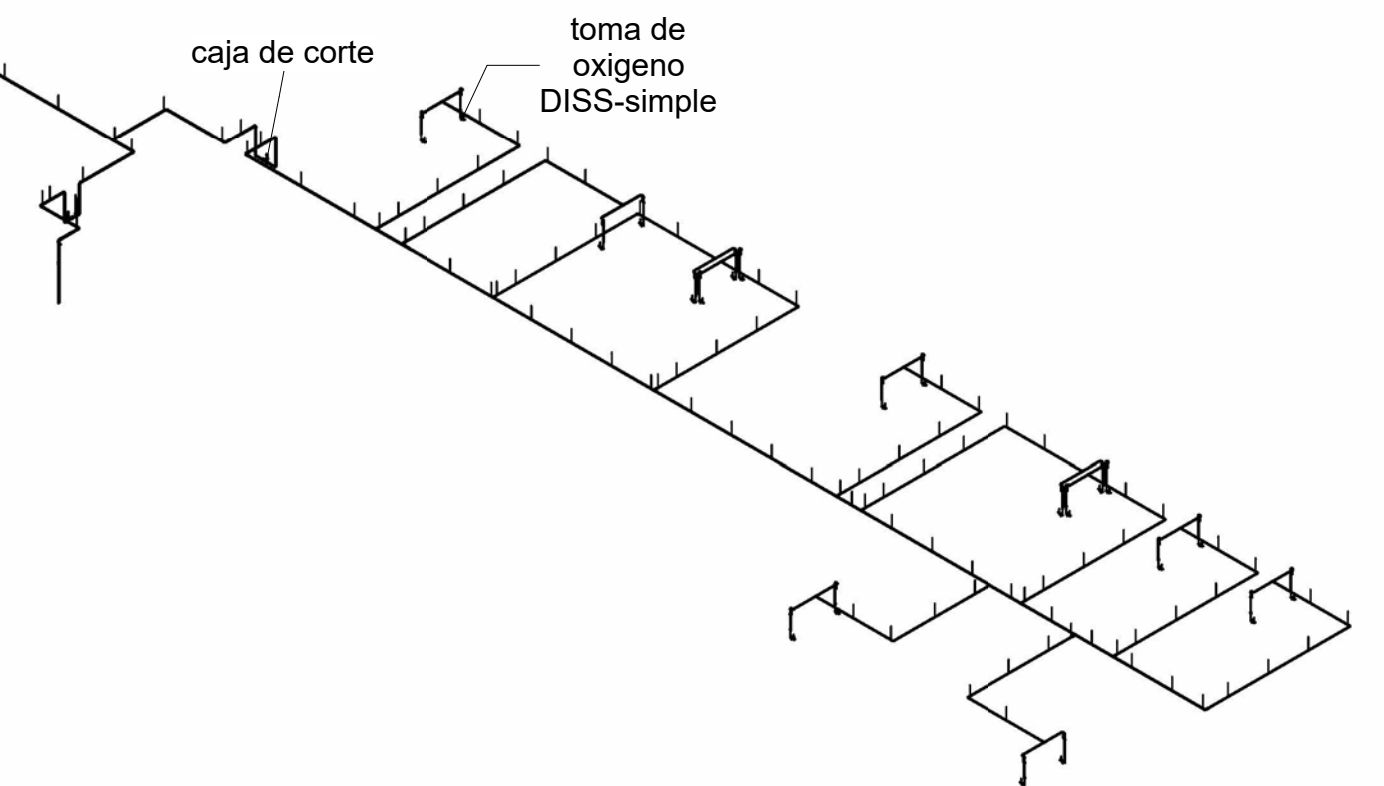
6 detalles toma doble



4 detalle caja de corte piso



3 detalles toma de oxígeno



2 3D - quinto piso

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA



DISTRIBUCION DEL OXIGENO EN EL
QUINTO PISO

ESCALA:
Como se indica

DIBUJADO POR:
BACH. JHON EDGAR QUIÑONES MASSA

FECHA:
24/03/2026

FORMATO:
A2

REVISADO POR:
ING. PERCY MIGUEL RUEDA PUELLES

FECHA DE
REVISION:
24/03/2026

LAMINA:
003