



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

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DE TUBERÍAS
DE OXÍGENO, AIRE Y VACÍO PARA EL DEPARTAMENTO DE INSTALACIONES EN
PRODUCTOS DEL AIRE S.A.**

José Rodolfo Sic Morales

Asesorado por el Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda

Guatemala, octubre de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DE TUBERÍAS
DE OXÍGENO, AIRE Y VACÍO PARA EL DEPARTAMENTO DE INSTALACIONES EN
PRODUCTOS DEL AIRE S.A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOSÉ RODOLFO SIC MORALES

ASESORADO POR EL ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO ZEPEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Córdova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

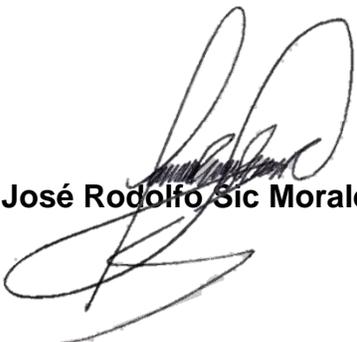
DECANA	Inga. Aurelia Anabela Córdova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Pablo Rodolfo Zúñiga Ramírez
EXAMINADOR	Ing. Byron Giovanni Palacios Colindres
EXAMINADOR	Ing. Milton Alexander Fuentes Orozco
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DE TUBERÍAS
DE OXÍGENO, AIRE Y VACÍO PARA EL DEPARTAMENTO DE INSTALACIONES EN
PRODUCTOS DEL AIRE S.A.**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 9 de marzo de 2021.



José Rodolfo Sic Morales

Universidad de San Carlos de
Guatemala



Facultad de Ingeniería
Unidad de EPS

Guatemala, 01 de septiembre de 2021
REF.EPS.DOC.369.09.2021.

Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Argueta Hernández.

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **José Rodolfo Sic Morales** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 201503806, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DE TUBERÍAS DE OXÍGENO, AIRE Y VACÍO PARA EL DEPARTAMENTO DE INSTALACIONES EN PRODUCTOS DEL AIRE S.A.**

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”


Ing. Edwin Estuardo Sarceno Zepeda
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica

c.c. Archivo
EDSZ/ra

Universidad de San Carlos de
Guatemala



Facultad de Ingeniería
Unidad de EPS

Guatemala, 01 de septiembre de 2021
REF.EPS.D.169.09.2021

Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Morales Baiza:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DE TUBERÍAS DE OXÍGENO, AIRE Y VACÍO PARA EL DEPARTAMENTO DE INSTALACIONES EN PRODUCTOS DEL AIRE S.A.**, que fue desarrollado por el estudiante universitario José Rodolfo Sic Morales quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Edwin Estuardo Sarceño Zepeda.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS



OAH/ra

Ref.EIM.130.2021

El Revisor de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DE TUBERÍAS DE OXÍGENO, AIRE Y VACÍO PARA EL DEPARTAMENTO DE INSTALACIONES EN PRODUCTOS DEL AIRE S.A.** del estudiante **José Rodolfo Sic Morales**, CUI 1970692230101, Reg. Académico No. 201503806 y habiendo realizado la revisión de Escuela, se autoriza para que continúe su trámite en la oficina de Lingüística, Unidad de Planificación.

"Id Y Enseñad a todos"



Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Revisor
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, septiembre de 2021
/aej

Ref.E.I.M.140.2021

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y con la aprobación del Coordinador del Área Técnica del trabajo de graduación titulado: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DE TUBERÍAS DE OXÍGENO, AIRE Y VACÍO PARA EL DEPARTAMENTO DE INSTALACIONES EN PRODUCTOS DEL AIRE S.A.** del estudiante de **José Rodolfo Sic Morales**, CUI **1970692230101**, Reg. Académico **201503806** y luego haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, octubre 2021
/aej



Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

DTG. 520.2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DE TUBERÍAS DE OXÍGENO, AIRE Y VACÍO PARA EL DEPARTAMENTO DE INSTALACIONES EN PRODUCTOS DEL AIRE S.A.**, presentado por el estudiante universitario: **José Rodolfo Sic Morales**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, octubre de 2021

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser mi guía en todo momento, cuidarme, y darme la fuerza para seguir adelante.
- Mis padres** Ángel Roberto Sic García y Midiam Damariz Morales (q. d. e. p), por apoyarme en todo momento, darme todo su amor, cuidados, y por darme la vida, por ser mis guías en este camino, gracias, los amo.
- Mis hermanos** Byron Noé, Ángel Eduardo y Roberto Carlos Sic Morales, por acompañarme en este camino y ser el motivo de seguir adelante, por su apoyo y amor.
- Mi novia** Andrea Alvarado, gracias por creer en mí, apoyarme en los momentos difíciles, gracias por ser mi motivo para seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por permitirme vivir tantas experiencias.

Facultad de Ingeniería

Por darme los conocimientos necesarios para mi carrera.

Mis amigos

Jorge Pérez, Javier España y Luis Pérez, por apoyarme en todo momento y ayudarme a crecer.

**Mis amigos de la
Facultad**

Sergio Xiloj, Byron Chinchilla y José Matías, por su amistad y apoyo en los cursos y todas las experiencias que pasamos juntos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Descripción de la empresa	1
1.1.1. Ubicación.....	1
1.1.2. Historia	1
1.1.3. Misión	2
1.1.4. Visión.....	2
1.1.5. Valores	3
1.1.6. Organigrama.....	3
1.2. Descripción del problema	4
1.3. Características de los gases.....	7
1.4. Ley de los gases ideales	8
1.5. Definiciones básicas de los gases.....	9
1.5.1. Gases comprimidos	9
1.5.2. Gases licuados	9
1.5.3. Gases criogénicos	10
1.5.4. Gases disueltos a presión.....	10
1.6. Gases medicinales	10

1.6.1.	Tipos de gases médicos, propiedades y características	11
1.6.1.1.	Oxígeno.....	11
1.6.1.2.	Óxido nitroso	11
1.6.1.3.	Nitrógeno.....	12
1.6.1.4.	Dióxido de carbono	12
1.6.1.5.	Aire	13
1.6.1.6.	Vacío	13
1.6.1.7.	Helio	13
1.7.	Aire grado médico	14
1.8.	Redes de gases medicinales	15
1.8.1.	Tubería	15
1.8.2.	Materiales de la tubería	16
1.8.3.	Código de colores	16
1.8.4.	Soldadura	17
1.8.5.	Soportería.....	18
2.	FASE DE INVESTIGACIÓN.....	19
2.1.	Normativa aplicable a sistemas de gases medicinales	19
2.1.1.	Normativa internacional.....	19
2.1.1.1.	NFPA.....	19
2.1.1.2.	ASSE 6000.....	20
2.1.1.3.	HTM-02-01	21
2.1.1.4.	Farmacopea	22
2.1.1.5.	ISO 7396-1	22
2.1.1.6.	CSA Z7396 1-0.....	23
2.1.1.7.	CGA M-1	23
2.1.2.	Normativa nacional.....	24
2.1.2.1.	COGUANOR NTG 30008.....	24

	2.1.2.2.	Norma Técnica Número 63.....	24
	2.1.2.3.	Norma Técnica Número 64.....	24
2.2.		Normativa aplicada actualmente	25
2.3.		Comparación de normativas aplicables	26
2.4.		Situación actual del cálculo de tuberías	28
	2.4.1.	Sistema de gases médicos	28
	2.4.2.	Red para oxígeno	29
	2.4.3.	Red para aire	33
	2.4.4.	Red para vacío	34
3.		FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL	41
	3.1.	Generalidades	41
	3.2.	Cálculo de las cargas o demanda de los gases médicos	42
	3.2.1.	Consumo de oxígeno.....	42
	3.2.2.	Consumo de aire	45
	3.2.3.	Consumo de vacío	48
	3.3.	Dimensionamiento del sistema de tuberías	52
	3.3.1.	Red de oxígeno	55
	3.3.2.	Red de aire	57
	3.3.3.	Red de vacío.....	60
	3.4.	Accesorios	63
	3.5.	Perdidas de presión.....	64
	3.5.1.	Red de oxígeno	66
	3.5.2.	Red de aire	69
	3.5.3.	Red de vacío.....	72
	3.6.	Dispositivos generadores y de almacenamiento de gases médicos	75
	3.6.1.	Cilindros para oxígeno	75
	3.6.2.	Compresores de aire médico.....	78

3.6.3.	Bomba de vacío	82
3.7.	Inventario	85
3.7.1.	Materiales.....	85
3.7.2.	Costos	88
4.	FASE DE DOCENCIA.....	93
4.1.	Importancia del manejo y utilización de los datos	93
4.2.	Ingreso de datos al programa	93
4.3.	Mejoras y utilidades del programa	109
4.4.	Capacitación y presentación de mejoras.....	111
	CONCLUSIONES.....	115
	RECOMENDACIONES	117
	BIBLIOGRAFÍA.....	119
	APÉNDICES.....	121
	ANEXOS.....	159

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama departamento de instalaciones.....	3
2.	Código de colores	17
3.	Central de oxígeno a base de cilindros	76
4.	Termo y tanque criogénico.....	77
5.	Columna sección.....	94
6.	Ejemplo columna sección.....	95
7.	Columna sección anterior.....	96
8.	Ejemplo columna sección anterior	97
9.	Columna longitud	98
10.	Columna codos	99
11.	Columna tees	100
12.	Columna de ubicaciones de servicios	101
13.	Listado de servicios.....	101
14.	Selección de servicios.....	102
15.	Columna cantidad de tomas de oxígeno	103
16.	Ejemplo 1, cantidad de tomas servicio de aire y vacío.....	104
17.	Ejemplo 2, cantidad de tomas servicio de aire y vacío.....	105
18.	Ejemplo 3, cantidad de tomas servicio aire y vacío.....	106
19.	Portada manual de usuario	112

TABLAS

I.	Especificaciones para AGM.....	14
II.	Espaciado máximo de soporte de tubería.....	18
III.	Presión de operación para sistemas de gas y vacío.....	30
IV.	Diseño actual para el cálculo de pérdidas de la red de oxígeno.....	33
V.	Diseño actual para cálculo de consumo de la red de vacío.....	35
VI.	Pérdida de presión de vacío en in hg por 100 pies, diseño original.....	37
VII.	Diseño actual para el cálculo de pérdidas de la red de vacío.....	39
VIII.	Factores de simultaneidad y flujos para la red de oxígeno.....	43
IX.	Servicios de la red de oxígeno.....	44
X.	Factores de simultaneidad y flujos para la red de aire.....	46
XI.	Servicios de la red de aire.....	47
XII.	Nuevo diseño para el cálculo de consumo de la red de aire.....	48
XIII.	Factores de simultaneidad y flujos para la red de vacío.....	49
XIV.	Servicios de la red de vacío.....	50
XV.	Nuevo diseño para el cálculo de consumo de la red de vacío.....	51
XVI.	Diámetros para tubería de cobre.....	54
XVII.	Dimensionamiento para la red de oxígeno mediante Swamee-Jain.....	56
XVIII.	Dimensionamiento para la red de aire mediante Swamee-Jain.....	59
XIX.	Dimensionamiento para la red de vacío mediante Swamee-Jain ..	61
XX.	Longitud equivalente para accesorios.....	64
XXI.	Flujo de sección tramo T-1.0 red de vacío.....	65
XXII.	Pérdida de presión de oxígeno por 100 pies (PSI).....	67
XXIII.	Pérdidas de presión de la red de oxígeno.....	68
XXIV.	Pérdida de presión de aire por 100 pies (psi).....	69
XXV.	Pérdidas de presión de la red de aire.....	72
XXVI.	Pérdida de presión de vacío por 100 pies (in hg).....	73
XXVII.	Pérdidas de presión de la red de vacío.....	74

XXVIII.	Compresores reciprocantes	80
XXIX.	Compresores de desplazamiento.....	81
XXX.	Bomba de vacío, paletas lubricadas.....	83
XXXI.	Bombas de vacío, paletas secas.....	84
XXXII.	Material red de oxígeno.....	86
XXXIII.	Material red de aire	86
XXXIV.	Material red de vacío.....	87
XXXV.	Tomas red de oxígeno	87
XXXVI.	Tomas red de aire	87
XXXVII.	Tomas red de vacío.....	88
XXXVIII.	Costos de los materiales	89
XXXIX.	Costos de los materiales de la red de oxígeno	89
XL.	Costos de las tomas de la red de oxígeno	90
XLI.	Costos de los materiales de la red de aire	90
XLII.	Costos de las tomas de la red de aire.....	91
XLIII.	Costos de los materiales de la red de vacío.....	91
XLIV.	Costos de las tomas de la red de vacío	92
XLV.	Vista general de unidades requeridas.....	108
XLVI.	Ingreso de unidades requeridas.....	109

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
AGM	Aire grado médico
° C	Celsius
cm	Centímetros
OD	Diámetro exterior de la tubería
NPS	Diámetro nominal de tubería en pulgadas
DN	Diámetro nominal en milímetros
CO₂	Dióxido de carbono
O₂	Dióxido
Psi	Libras por pulgada cuadrada
LPM	Litros por minuto
m	Metro
mm	Milímetro
mm Hg	Milímetro de mercurio
CO	Monóxido de carbono
Pa	Pascales
ft	Pies
SCFM	Pies cúbicos estándar por minuto
CFM	Pies cúbicos por minuto
Pulg	Pulgadas
in Hg	Pulgadas de mercurio
bar	Unidad de presión

GLOSARIO

AGM	Aire grado médico, es un gas incoloro, inodoro e insípido que se obtiene mediante la compresión de aire atmosférico o de la mezcla de oxígeno y nitrógeno en proporciones 21 y 79 % respectivamente. Es considerado un medicamento en terapia respiratoria.
CGA	Asociación de gas comprimido, encargada del desarrollo y la promoción de normas de seguridad y prácticas seguras en la industria de gases médicos e industriales.
Criogénico	Conjunto de técnicas utilizadas para enfriar un material a temperatura de ebullición del nitrógeno o a temperaturas aún más bajas.
Farmacopea	Materias primas y de medicamentos, en los que se incluyen especificaciones de calidad. Representa un código oficial, agrupa los estándares de las materias primas farmacéuticas de mayor uso y formas farmacéuticas.

<i>Manifold</i>	Colector de gases, controla el flujo, ya sea de un solo gas o de varios. Permite controlar flujos, presiones, entre otros. Cuenta con indicadores o medidores, válvulas, alarmas, controles y reguladores.
NFPA	Asociación Nacional de Protección contra el Fuego, asociación encargada del desarrollo y promoción de normas de seguridad contra el fuego, mantiene una norma asociada a las instalaciones de equipos de gases médicos, y es la NFPA 99.
SCFM	Caudal volumétrico de pies cúbicos por minuto (CFM) en condiciones controladas de temperatura presión y humedad relativa definidas por ASME.
<i>Tubing</i>	Produce tubos de acero soldados que se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones en el segmento del mercado industrial.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación se llevó a cabo en Productos del Aire S.A., y tiene como objetivo realizar un nuevo programa para el cálculo de tuberías de oxígeno, aire y vacío. Actualmente, la empresa posee distintos programas para realizar dichos cálculos, los cuales se desean mejorar y unificar la información en un único programa y mejorar su eficiencia.

El proyecto se llevó a cabo en tres fases: fase de investigación, servicio técnico profesional y fase de capacitación.

La primera fase se centra en determinar las actividades que se realizan para el proceso del diseño y cálculo de las tuberías de oxígeno, aire y vacío, para determinando cuáles son las principales necesidades, se comparan las distintas normativas aplicables a los sistemas de distribución de gases medicinales, seleccionando la normativa más adecuada para el proyecto.

La segunda fase está orientada al diseño del programa para el cálculo de las tuberías de oxígeno aire y vacío, utilizando como bases los criterios de las normativas aplicables.

Por último, en la fase de capacitación se hace énfasis en el correcto manejo y utilización de los datos, reforzando la capacitación con un manual de usuario que explica a detalle las utilidades del programa.

OBJETIVOS

General

Proporcionar una herramienta para facilitar el cálculo para los sistemas de oxígeno, aire y vacío para el departamento de instalaciones de Productos del Aire S.A.

Específicos

1. Determinar las normas y métodos adecuados para el cálculo de tuberías de oxígeno, aire y vacío.
2. Desarrollar un programa para el cálculo de tuberías de oxígeno, aire y vacío para el departamento de instalaciones.
3. Unificar el proceso del cálculo de tuberías de oxígeno, aire y vacío en un único programa.
4. Crear un manual de usuario para el manejo del programa para el cálculo de tuberías de oxígeno, aire y vacío.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad se presenta una catástrofe de salud que afecta mundialmente, debido a esto, ha incrementado la demanda de servicios hospitalarios, debido a que la red hospitalaria en el país no es capaz de atender la necesidad de toda la población, es requerido construir más hospitales y centros de salud para satisfacer dicha necesidad.

Debido a esto, es necesario que dichos hospitales y centros de salud posean un sistema de distribución de gases médicos confiable y capaz de soportar la demanda requerida, tomando en cuenta lo anterior, la empresa Productos del Aire S.A., por medio del departamento de instalaciones, busca mejorar y optimizar el proceso y diseño de las redes para los gases médicos.

De esta manera, nace la necesidad de realizar una investigación que ayude a obtener información más precisa para el diseño, distribución y estructuras de las redes de gases médicos utilizados por la empresa, así como las normativas aplicables a las redes de distribución, para la creación de un programa que pueda llevar el cálculo de tuberías de oxígeno, aire y vacío, que son los tres gases médicos más utilizados por la empresa.

1. GENERALIDADES

1.1. Descripción de la empresa

Productos del aire S.A. es una empresa guatemalteca, líder en el mercado centroamericano de producción y venta de gases médicos e industriales, con tipo de capital privado, se dedica a la producción y venta de gases médicos e industriales y cuenta con una extensa división comercial de equipos, herramientas y maquinarias para la industria relacionados con el abastecimiento y distribución de gases médicos e industriales desde hace 95 años.

1.1.1. Ubicación

Productos del aire S.A. se encuentra ubicado en la 41 Calle 6-27 Zona 8 Ciudad de Guatemala.

1.1.2. Historia

Productos del aire nació en Guatemala en 1925 con el nombre Fabrigas, siendo la primera fábrica en Centroamérica dedicada a la producción y venta de gases médicos e industriales. En 1940 para satisfacer las necesidades de los clientes, inicia la comercialización de diversas marcas de soldadura y equipo médico, marcando el inicio de su división comercial.

En 1989 inicia la construcción de la primera planta hidroeléctrica llamada El Capulín, con el fin de abastecer de energía eléctrica la fábrica de gases y ser más competitivos.

En 1991 la planta criogénica El Jocote inicia operaciones, ampliando así la capacidad de producción de gases médicos e industriales. En 1995 amplían las operaciones nacionalmente para abarcar todas las regiones del país, así como internacionalmente en El Salvador, Nicaragua y Belice.

En 2003 comienzan operaciones en la planta de llenado en Teculután, Zacapa, con el fin de brindar mejor atención a los clientes del área de oriente del país.

En 2004 Fabrigas se transforma iniciando Productos del Aire, una empresa con normas internacionales de calidad y capacidad de abastecimiento internacional.

1.1.3. Misión

“Ser líderes en proporcionar con ética y excelencia soluciones en gases médicos e industriales y productos de calidad, y ser aliados estratégicos que contribuyen al éxito de diversas industrias.”¹

1.1.4. Visión

“Ser el proveedor de gases médicos e industriales más confiables de Centroamérica y el Caribe.”²

¹ Productos del Aire. *Misión*. <https://www.productosdelaire.com/quienes-somos/>. Consulta: enero de 2021.

² Productos del Aire. *Visión*. <https://www.productosdelaire.com/quienes-somos/>. Consulta: enero de 2021.

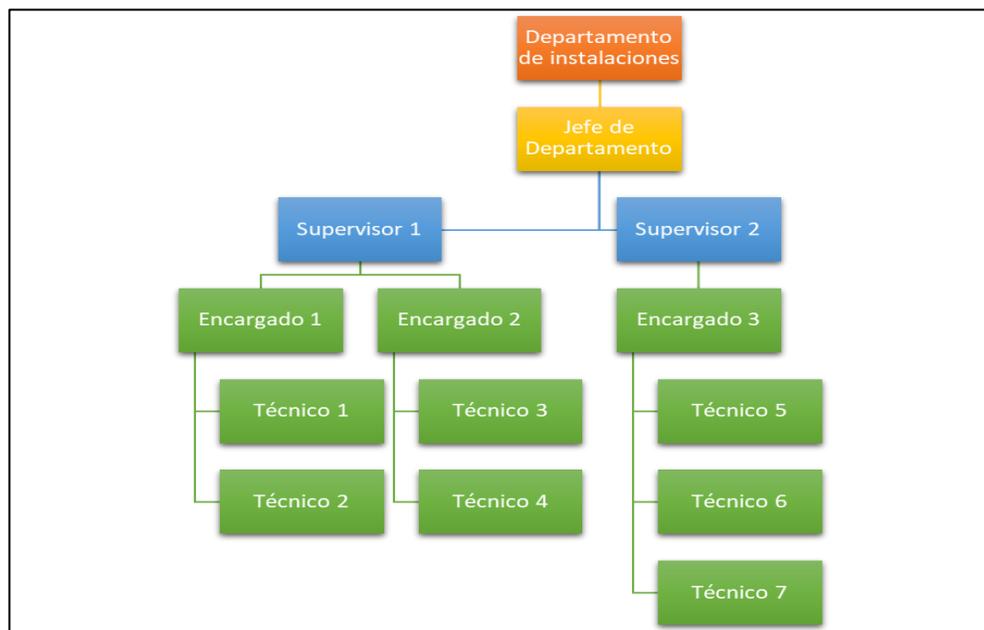
1.1.5. Valores

- “Integridad
- Respeto a la vida
- Excelencia
- Rentabilidad sostenible.”³

1.1.6. Organigrama

El Departamento de Instalaciones presenta su organigrama en la figura 1:

Figura 1. **Organigrama departamento de instalaciones**



Fuente: elaboración propia.

³ Productos del Aire. *Valores*. <https://www.productosdelaire.com/quienes-somos/>. Consulta: enero de 2021.

1.2. Descripción del problema

Productos del aire, es una empresa que se encarga de la producción, distribución e instalación de servicios de gases médicos, es de vital importancia realizar de manera correcta y eficaz los cálculos necesarios para la instalación de los servicios de gases médicos.

- Antecedentes

Debido a la necesidad de agilizar el proceso para el cálculo de las tuberías de gases médicos e industriales, se tomó en cuenta el cambio del método que se utiliza para la realización de estos, en un inicio la empresa, para la realización de dichos cálculos, utilizaban tablas que contienen los valores para los distintos tipos de diámetros de la tubería, tomando como base el flujo y la longitud deseada de la tubería, se calculaba la pérdida que se generaba en esa tubería, debido a lo lento de ese proceso, por eso se optó a la agilización de mediante programas diseñados para dichos cálculos.

Inicialmente se optó en trasladar los datos de las tablas de cálculo que la empresa posee, hacia dichos programas para el cálculo de las tuberías, por consiguiente se asignó ese trabajo a estudiantes dentro de la empresa, este proceso se realizó únicamente para el oxígeno y el vacío, dicho proceso para la realización de los programas fue asignado a distintas personas, en consecuencia los programas se trabajaron por separado, haciendo que la información de estos cálculos se encuentre en distintos programas, esto crea un retraso en el ingreso de los datos para el cálculo de una instalación completa que normalmente utiliza tuberías para oxígeno, aire y vacío.

- Justificación

El cálculo para las tuberías de oxígeno, aire y vacío es un proceso de gran importancia dentro de una instalación de gases médicos e industriales, este proceso se ha realizado de distintas formas dentro de la empresa, inicialmente con tablas de datos en las cuales se debía asumir un valor de diámetro para la tubería y la longitud de la tubería, para obtener un valor de pérdida aproximado para esos valores.

Lo tedioso de este proceso, es que se debe realizar para una gran cantidad de longitudes distintas y diámetros distintos de tubería, uno por uno, lo cual hace que el proceso de cálculo se vuelva muy lento y extenso, agregado a esto, se debe realizar para los distintos tipos de gases en la instalación, con distintas tablas para cada tipo de gas, actualmente con la ayuda de las computadoras se puede reducir en tiempo y en exactitud, utilizando programas computacionales para los cálculos de las tuberías.

Actualmente se cuentan con distintos programas, cada uno separado del otro, por ello se deben unificar los programas en uno solo, que pueda realizar los cálculos para cada uno de los distintos gases de la instalación, debido a que los gases son distintos, estos se deben calcular con métodos adecuados para cada tipo de gas, asegurando un cálculo óptimo de las tuberías para cada gas.

Al momento de unificar toda la información en un único programa, se verá reflejado una reducción en el tiempo de realización de los cálculos, debido a que anteriormente se utilizaban los mismos valores de tubería del oxígeno para el aire, al momento de realizar los cálculos específicos para el aire, se puede tener una reducción del costo de materiales, lo que representa una reducción del costo total de la instalación.

- Formulación y delimitación del problema

El problema actual que posee el departamento de instalaciones de Productos del Aire S.A. se basa en el aumento del tiempo para la realización del cálculo de las tuberías de oxígeno, aire y vacío, debido a que los métodos para la realización de los cálculos no se encuentran unificados en un único programa, y no se realizan cálculos para las tuberías de aire, el proyecto se delimitará en la búsqueda de los procesos y normas necesarias para el cálculo de las tuberías de oxígeno, aire y vacío, y la correcta aplicación de los procesos y normas en un programa unificado para el cálculo.

- Alcances y límites

Se realizará la investigación de las normas y métodos necesarios para el cálculo de las tuberías de oxígeno, aire y vacío, que se ajusten de la mejor manera para cada uno de los distintos gases que se trabajan en la instalación completa, para que los cálculos de la tubería se ajusten de la mejor manera para cada tipo de gas, unificando cada una de esas normas y métodos en un único programa, haciendo que el proceso se realice en un menor tiempo. Posteriormente capacitar al personal encargado de la utilización del programa mediante inducciones para la utilización de este.

Las limitantes que se encuentran presentes en este proceso serán la disponibilidad de tiempo que se tendrá para la utilización de los equipos de computación de la empresa, debido a las condiciones del país por el virus Covid-19, la disponibilidad de horarios para la utilización de los programas de cálculos que ya posee la empresa, y la disponibilidad de horarios del personal encargado del programa que se realizará con este proyecto.

1.3. Características de los gases

Los gases representan uno de los tres estados comunes de la materia: sólido, líquido, y gaseoso. Hay muchas sustancias que pueden existir en los tres estados, el agua, por ejemplo, puede existir como líquido, sólido (hielo), o gas (vapor de agua).

El gas se define como un estado de la materia, que se puede expandir indefinidamente y que toma la forma del recipiente que lo contiene, ocupando todo el espacio disponible de dicho contenedor.

Los gases tienen cinco propiedades físicas fundamentales que los hacen a la vez útiles y potencialmente peligrosos. Estas características son:

- Los gases son mucho más ligeros que los líquidos y los sólidos
- Las moléculas de los gases siempre están en movimiento
- Los gases, en caso de fuga, se distribuirán eventualmente por sí mismos a través del aire en una habitación u otro espacio cerrado.
- Algunos gases tienen olor y otros no.
- La mayoría de los gases son invisibles, aunque algunos si son visibles.

Para comprender el comportamiento de los gases, se considera a un gas como una colección de partículas extremadamente pequeñas llamadas moléculas. Las moléculas del gas siempre están en movimiento. Cuando se encuentran en un espacio determinado, como un contenedor, las moléculas crean presiones al chocar con las paredes del contenedor.

El nivel de presión depende del número de choques moleculares que ocurran en un área definida, por unidad de tiempo. A mayor cantidad de colisiones mayor presión. Por lo tanto, la presión se puede elevar comprimiendo el gas al poner más moléculas en el mismo espacio para producir más colisiones o bien aumentando la temperatura para lograr que las moléculas del gas se muevan más rápido, y haciéndolas así chocar con más frecuencia. En ambos casos, el incremento de presión resulta del aumento de choques moleculares contra las paredes del recipiente.

1.4. Ley de los gases ideales

La ley de los gases ideales es la ecuación de estado del gas ideal, un gas hipotético formado por partículas puntuales, sin atracción ni repulsión entre ellas y cuyos choques son perfectamente elásticos (conservación de momento y energía cinética). Los gases reales que más se aproximan al comportamiento del gas ideal son los gases monoatómicos en condiciones de baja presión y alta temperatura. Esta ley se presenta mediante la siguiente ecuación:

$$PV = RnT$$

Donde:

P = presión

V = volumen

n = moles de gas

R = constante universal de los gases ideales; donde $R = 8,314 \frac{J}{mol \cdot K}$ en el SI

T = temperatura en kelvin.

1.5. Definiciones básicas de los gases

El término gas se utiliza para definir el estado de la materia, en ella las fuerzas de atracción son prácticamente nulas y las partículas poseen una movilidad total de vibración, rotación y traslación, siendo la distancia entre ellas variable en todo momento. En este estado la materia no tiene forma ni volumen propio, sino que se adapta a la forma y volumen del recipiente en el que están contenidos.

Según sus propiedades físicas los gases pueden clasificarse como: gases comprimidos, gases licuados, gases criogénicos y gases disueltos a presión.

1.5.1. Gases comprimidos

Son aquellos que tienen puntos de ebullición muy bajos, menor que $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$, en consecuencia, permanecen en estado gaseoso sin licuarse, aún a altas presiones, a menos que se sometan a temperaturas muy bajas. A este grupo pertenecen: el oxígeno (O_2), nitrógeno (N_2), argón (Ar), helio (He), hidrógeno (H_2) entre otros.

1.5.2. Gases licuados

Son aquellos que tienen puntos de ebullición relativamente cerca de la temperatura ambiente, y que al someterlos a presión en un recipiente cerrado se licúan. A temperaturas normales y bajo presión, se presentan en fase líquida y parcialmente en fase gas.

1.5.3. Gases criogénicos

La alternativa de la alta presión para reducir el volumen que ocupa un gas es la licuación. Aquellos gases que no se licuan aplicando altas presiones, pueden ser licuados utilizando temperaturas criogénicas. Los casos más comunes en que se utiliza esta alternativa son: el oxígeno líquido (LOX), el nitrógeno líquido (LIN), y el argón líquido (LAR).

1.5.4. Gases disueltos a presión

El ejemplo básico de este gas es el acetileno, es un gas que no se puede presurizar si no está en condiciones muy especiales. Necesita de un envase relleno de una masa porosa, a la que se le añade acetona, y en el momento de realizar la carga de acetileno, se disuelve con la acetona y se distribuye en los poros de la masa porosa interior.

Lo característico de estos gases es que no se conservan en estado libre, sino que se disuelven en otro medio, a causa de su reactividad.

1.6. Gases medicinales

Se define como gases medicinales a los gases destinados a entrar en contacto directo con el organismo humano o animal, actuando principalmente por medios farmacológicos, inmunológicos o metabólicos, los gases medicinales, actuando principalmente por medios farmacológicos, inmunológicos, o metabólicos, presentan propiedades de prevenir, diagnosticar, tratar, aliviar o curar enfermedades o dolencias.

Se consideran gases medicinales los utilizados en terapia de inhalación, anestesia, diagnóstico in vivo o para conservar o transportar órganos, tejidos y células destinados a la práctica médica.

1.6.1. Tipos de gases médicos, propiedades y características

Existen distintos tipos de gases médicos, estos poseen distintas propiedades y características dependiendo su aplicación, algunos de los gases más utilizados en aplicaciones médicas son:

1.6.1.1. Oxígeno

Se produce por la destilación fraccionada del aire, favorece la vida y es vital para la combustión. A presión atmosférica y temperaturas inferiores a $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($361\text{ }^{\circ}\text{F}$), tiene un color ligeramente azul (fase líquida). Sus principales aplicaciones en la medicina son: en terapia respiratoria, inhalo terapia, cirugías, unidades de cuidados intensivos, reanimación, como elemento de mezclas anestésicas, cámaras hiperbáricas y otros tratamientos.

No existe evidencia de toxicidad por inhalación de oxígeno en altas dosis en periodos menores a 2 horas. El suministro de oxígeno en altas dosis por periodos mayores a 5 horas puede producir problemas neuromusculares y dificultades de coordinación mental.

1.6.1.2. Óxido nitroso

Mezclado con oxígeno, su principal uso es como agente anestésico, como analgésico o anestésico inhallable para odontología, así como en crio cirugías, aprovechando su baja temperatura. Bajo condiciones normales de presión y

temperatura es un gas incoloro, prácticamente inodoro e insípido. No es tóxico ni flamable.

Este gas ofrece condiciones de rápido ingreso y egreso en el organismo por consiguiente el paciente se reintegra rápidamente a sus actividades cotidianas. Una gran ventaja es que no desencadena alteraciones fisiológicas en frecuencia respiratoria, cardíaca, presión sanguínea, entre otros.

1.6.1.3. Nitrógeno

Su principal aplicación en los hospitales es como fuente de potencia para mover neumáticamente equipos como taladros, sierras y otros instrumentos quirúrgicos. Mezclado con oxígeno se obtiene el aire sintético envasado a alta presión. En estado líquido, se aprovecha su baja temperatura, $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-384,8\text{ }^{\circ}\text{F}$), para crio cirugías, congelación y conservación de tejidos, embriones, sangre, espermatozoides, entre otros. En estado gaseoso se utiliza en equipos neumáticos para quirófanos.

1.6.1.4. Dióxido de carbono

Gas incoloro, inodoro, no tóxico, este gas tiene marcados efectos vitales sobre el metabolismo humano como son: estimulación respiratoria, regulación de acidez en fluidos humanos, regulación de flujo sanguíneo. También es utilizado para crear atmósferas artificiales que permitan la implantación de órganos y crio cirugías. Cada vez es más frecuente su uso en laparoscopias.

1.6.1.5. Aire

Gas incoloro, inodoro, insípido. No tóxico y no inflamable. Compuesto mayoritariamente por Nitrógeno y Oxígeno, debe ser libre de partículas, impurezas, agua y aceites. Entre sus usos destacan: oxigenoterapia, incubadoras, asistencia respiratoria y diagnóstico.

1.6.1.6. Vacío

Se trata de la depresión del aire atmosférico. Se obtiene mediante bombas de vacío y es considerado como gas medicinal. Entre algunos de los usos del vacío medicinal destacan las limpiezas como por ejemplo de: vías respiratorias, heridas en cirugía, limpiezas del área de trabajo dentro del quirófano, drenaje de sangre y otras secreciones, entre otros.

1.6.1.7. Helio

El Helio en condiciones normales es un gas incoloro, inodoro e insípido. Es 7 veces más ligero que el aire, químicamente es un gas inerte y no es flamable. Se mantiene en estado líquido a temperaturas extremadamente bajas, $-268,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-516\text{ }^{\circ}\text{F}$), lo que permite usarlo como medio de enfriamiento en los equipos de resonancia magnética. Como gas, es usado como componente en mezclas respiratorias para producir la densidad de la mezcla. Estas mezclas se aplican a pacientes con obstrucción respiratoria crónica a nivel laríngeo o bronquial. En estado gaseoso es utilizado en la cromatografía de gases.

1.7. Aire grado médico

Mezcla sintética o natural de gases, principalmente oxígeno y nitrógeno, esta es suministrada desde cilindros, contenedores a granel o con compresores de aire medicinal.

El aire comprimido se utiliza para terapia respiratoria y como fluido neumático para activar equipos médicos, entre otros. Al ser administrado directamente al paciente el AGM es considerado como un medicamento.

El aire debe estar libre de partículas y bacterias. En la tabla I, se definen los parámetros de calidad para el aire comprimido grado médico:

Tabla I. **Especificaciones para AGM**

Componente	Especificación CGA (<i>Compressed Gas Association</i>)	Especificaciones FEUM	Especificación USP (<i>United States Pharmacopea</i>)
Oxígeno	19,5 % - 23,5 %	19,5 % - 23,5 %	19,5 % - 23,5 %
Humedad	63 ppm máx	67 ppm máx	6 ppm máx
Hidrocarburos	Máx 5 ppm	NA	0
Monóxido de Carbono	10 ppm máx	10 ppm máx	10 ppm máx
Dióxido de Carbono	10 ppm máx	300 ppm máx	500 ppm máx
Dióxido de Azufre	NA	5 ppm máx	0,5 ppm máx
NOx	NA	2,5 ppm máx	NA
Olor	Ninguno	NA	Ninguno
Aceite	Ninguno	Ninguno	Ninguno

Fuente: CARMONA, Zhurelly. *Rediseño de la red de aire grado médico para el hospital México.*

p. 18.

1.8. Redes de gases medicinales

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

1.8.1. Tubería

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

Su sistema comprende una red principal subdividida en ramales que van a diferentes áreas, permitiendo una mejor distribución de presión en el sistema, este trabajará presiones entre 50 y 60 psi, permitiendo disminuir los diámetros de tubería en los ramales secundarios, según la cantidad de puntos a alimentar. Por norma los diámetros mínimos individuales para oxígeno, aire y óxido nitroso serían de $\frac{1}{2}$ " y de $\frac{3}{4}$ " para el sistema de vacío según la normativa NFPA 99 sección 5.1.10.11.1.2 y 5.1.10.11.1.3.

1.8.2. Materiales de la tubería

El material recomendado según Normas Internacionales NFPA 99 y CGA para la conducción de gases medicinales obedece a tener en cuenta factores como: presión, corrosión, temperatura, presencia de humedad e impurezas y Riesgos de incendio. Estas características las cumple la tubería de cobre tipo K sin costura rígida según la Normativa NFPA 99 sección 5.1.10.1.4. Su instalación será empotrada, para conexión de accesorios soldados y por cielorraso falso. Las tuberías de gases medicinales no podrán instalarse en ductos donde exista posibilidad de estar expuestas al contacto con aceite. Es importante utilizar corta *tubing* y corta tubo afilado para evitar deformaciones y que las partículas de los cortes ingresen al interior de tubo, estas herramientas deben estar libres de grasa, aceite y otro componente que no sean compatibles con oxígeno.

Las tuberías de gases medicinales irán identificadas con etiquetas en ramos no mayores a 6 metros. Igualmente deben ir identificadas en los tramos donde la tubería se deriva y como mínimo una calcomanía por habitación las cuales tengan el nombre del gas e indique la dirección y sentido de flujo y a su vez la tubería deberá ir pintada con el color que identifique el gas conducido según la normativa NFPA 99 sección 5.1.11.

1.8.3. Código de colores

Los colores de tubería que identifican la distribución de cada gas medicinal serían los siguientes:

Figura 2. **Código de colores**



Fuente: CARMONA, Zhurelly. *Rediseño de la red de aire grado médico para el hospital México.*
p. 20.

1.8.4. Soldadura

Para la ejecución de uniones soldadas se utilizará una soldadura de aleación de plata al 35 %, con alto punto de fusión (por lo menos 537,8 °C). No se usarán fundentes de resina o aquellos que contengan mezclas de bórax y alcohol. Entre las características que debe tener la soldadura se tienen:

- Buena resistencia mecánica
- Estanqueidad perfecta
- Buena apariencia
- Facilidad de aplicación de aislamiento térmico o pintura
- Mantenimiento nulo

La utilización del fundente solo se podrá aplicar para soldar materiales entre cobre y bronce (soldadura blanda de materiales disímiles).

1.8.5. Soportería

Las redes que conducen gases medicinales horizontales o verticales estarán soportadas adecuadamente por medio de ganchos, platinas o ángulos fabricados totalmente en aluminio, las cuales reúnen las propiedades de resistencia y calidad necesaria acorde con los diámetros utilizados y la longitud de las tuberías.

Para evitar la humedad potencial y el contacto metal-metal entre el tubo y el soporte este tramo de tubería se puede aislar con plástico o neopreno. Según la normativa NFPA 99 sección 5.1.10.11.4.5.

Las distancias máximas entre soportes estarán de acuerdo con los diámetros de tubería según la normativa NFPA 99 sección 5.1.10.11.4.6.

Tabla II. **Espaciado máximo de soporte de tubería**

Diámetro de Tubería	mm	ft
DN8 (NPS ¼) (3/8 in. O.D.)	1 520	5
DN10 (NPS 3/8) (1/2 in. O.D.)	1 830	6
DN15 (NPS ½) (5/8 in. O.D.)	1 830	6
DN20 (NPS ¾) (7/8 in. O.D.)	2 130	7
DN25 (NPS 1) (1 1/8 in. O.D.)	2 440	8
DN32 (NPS 1¼) (1 3/8 in. O.D.)	2 740	9
DN40 (NPS 1½) (1 5/8 in. O.D.)	3 050	10
Tubería vertical no debe exceder de	4 570	15

Fuente: National Fire Protection Association 99. *Health Care Facilities Code*, Table.

5.1.10.11.4.6. p. 57.

2. FASE DE INVESTIGACIÓN

2.1. Normativa aplicable a sistemas de gases medicinales

El manejo de los gases medicinales debe de estar normado, de ahí que se crearon distintas normativas, para ejercer un mejor control en la producción, envasado, distribución, transporte, almacenamiento, manejo intrahospitalario y aplicación de los gases medicinales, distintas entidades nacionalmente e internacionales crearon normas para sus distintos propósitos.

2.1.1. Normativa internacional

A continuación, se presentan las distintas normativas aplicables a los gases médicos utilizadas internacionalmente, se describe cada una de ellas y sus aplicaciones.

2.1.1.1. NFPA

La NFPA, *National Fire Protection Agency*, es una organización global, autofinanciada, establecida en 1896 y dedicada a eliminar la muerte, las lesiones, pérdidas de propiedades y económicas debido a incendios, peligros eléctricos y relacionados. La NFPA brinda información y conocimiento a través de más de 300 códigos y normas de consenso, investigación, capacitación, educación y divulgación.

La Norma NFPA 99 *Health Care Facilities Code*, establece criterios para los niveles de servicios de salud o sistemas basados en el peligro para los pacientes, el personal o los visitantes en los establecimientos de salud para minimizar los riesgos de incendio, explosión y electricidad.

Esta normativa instauro categorías para las actividades, sistemas o equipos sobre las cuales se basan los requisitos que los diseños deben cumplir. Se definen cuatro categorías:

- Categoría I: las actividades, los sistemas o el equipo cuya falla pueda causar lesiones graves o la muerte de pacientes, el personal o los visitantes.
- Categoría II: las actividades, los sistemas o el equipo cuya falla pueda causar lesiones menores a los pacientes, el personal o los visitantes.
- Categoría III: las actividades, los sistemas o el equipo cuya falla probablemente no cause lesiones a los pacientes, el personal o los visitantes, pero que cause molestias.
- Categoría IV: las actividades, los sistemas o el equipo cuya falla no tendría impacto en la atención del paciente.

2.1.1.2. ASSE 6000

La ASSE *American Society of Safety Engineers*, Sociedad Americana de Ingenieros de Seguridad, es una sociedad que establece normas de excelencia y ética de la seguridad ocupacional, salud y medioambiente. La serie 6000 proporciona una norma reconocida para asegurar que las personas que trabajan en sistemas críticos de gases médicos poseen el conocimiento y experiencia requeridos. Esta serie proporciona requisitos mínimos para el personal de sistemas de gas y vacío, tanto para instaladores como inspectores.

- Esta serie incluye
 - 6005 - especialista en sistema de gases medicinales
 - 6010 - instalador de sistema de gases medicinales
 - 6015 - especialista en sistema de gases medicinales a granel
 - 6020 - inspector de sistema de gases medicinales
 - 6030 - verificador de sistema de gases medicinales
 - 6035 - verificador de sistema de gases medicinales a granel
 - 6040 - personal de mantenimiento de sistema de gases medicinales
 - 6050 - instructor de sistema de gases medicinales
 - 6055 - instructor de sistema de gases medicinales a granel

2.1.1.3. HTM-02-01

Health Technical Memmoranda (HTMs) del Departamento de Salud de Reino Unido, o Memorandos Técnicos de Salud, brindan asesoramiento y orientación integral sobre el diseño, la instalación y el funcionamiento de la tecnología especializada de construcción e ingeniería aplicada en los centros de salud.

El objetivo del Memorándum Técnico de Salud es el de guiar, tanto a diseñadores como operadores, en los elementos específicos de los estándares, las políticas y las prácticas recomendadas establecidas para la atención de la salud. Son aplicables a sitios nuevos y existentes, y son para uso en diversas etapas durante todo el ciclo de vida del edificio. La serie de Memorandos Técnicos de Salud provee estándares y políticas de ingeniería para permitir la mejor gestión de labores posible.

El HTM 02-01 está dedicado a sistemas de tuberías de gases médicos, y se divide en dos partes. La parte A abarca el diseño, instalación, validación y verificación de los sistemas, mientras que la parte B comprende la gestión operativa.

2.1.1.4. Farmacopea

La Farmacopea de Estados Unidos, en inglés *United States Pharmacopeia* USP, es la farmacopea oficial de los Estados Unidos. La Convención de la Farmacopea de Estados Unidos establece estándares de calidad, pureza, identidad y potencia de medicamentos, ingredientes alimenticios y suplementos dietarios fabricados, distribuidos y consumidos en todo el mundo.

La USP se publica en forma anual, y está disponible tanto en inglés como en español.

2.1.1.5. ISO 7396-1

Emitida por la Organización Internacional de Normalización, especifica los requisitos para el diseño, la instalación, la función, el rendimiento, las pruebas, la puesta en marcha y la documentación de los sistemas de tuberías utilizados en los centros de salud para oxígeno, óxido nitroso, aire médico, dióxido de carbono, mezclas de oxígeno con óxido nitroso, mezclas helio / oxígeno, gases y mezclas de gases clasificados como dispositivos médicos.

Gases entregados a dispositivos médicos o destinados a usos médicos o gases y mezclas de gases para uso medicinal no especificados anteriormente; aire para la conducción de herramientas quirúrgicas, nitrógeno para la conducción de herramientas quirúrgicas y vacío.

2.1.1.6. CSA Z7396 1-0

Esta norma es canadiense, y se aplica a los sistemas médicos de tuberías de gas para la conducción de gases médicos no inflamables utilizados para el cuidado de los pacientes en los centros de salud. En esta norma se incluyen los requisitos relativos a los sistemas pequeños, como los que sirven a las suites dentales, y los sistemas que suministran gases médicos no inflamables a los laboratorios.

- Los sistemas de gases médicos cubiertos en esta norma son:
 - Oxígeno
 - Óxido nitroso
 - Aire médico
 - Nitrógeno
 - Dióxido de carbono
 - Helio
 - Mezclas de los gases mencionados anteriormente
 - Vacío médico

2.1.1.7. CGA M-1

Compressed Gas Association o Asociación de Gas Comprimido, promueve la fabricación, transporte, almacenamiento y eliminación de gases industriales y medicinales.

Cuenta con la Norma M1- *Standard for Medical Gas Supply Systems at Health Care Facilities*. Esta norma provee los requerimientos mínimos para instalación, mantenimiento y remoción de sistemas de gases médicos comprimidos en centros de salud.

2.1.2. Normativa nacional

A nivel Guatemala, los gases médicos están regidos por tres normativas que se describen a continuación.

2.1.2.1. COGUANOR NTG 30008

Oxígeno, especificaciones, ensayos, características de los envases, almacenamiento, distribución y transporte.

Esta norma tiene por objeto establecer las especificaciones, métodos de ensayo, características de los envases contenedores, condiciones de almacenamiento, distribución, y el transporte de oxígeno para usos médicos, comerciales e industriales, producido en el país o importado.

2.1.2.2. Norma Técnica Número 63

El objeto de esta norma técnica es establecer los requisitos y procedimientos mediante los cuales se otorgará el registro sanitario de los gases medicinales, por el Departamento de regulación y control de productos Farmacéuticos y Afines.

2.1.2.3. Norma Técnica Número 64

El objeto de esta norma técnica es regular el control sanitario de los gases medicinales, estableciendo las buenas prácticas de manufactura de los establecimientos que fabrican, importan, fraccionan, comercializan gases medicinales comprimidos o líquidos criogénicos, con el fin de asegurar la calidad de estos.

2.2. Normativa aplicada actualmente

Actualmente la empresa Productos del Aire, S.A., preocupados por la calidad de sus productos, uso y manejo seguro, cuentan con las siguientes certificaciones de producción, transporte y comercialización de gases y mercadería:

- Código Federal de Regulaciones de Estados Únicos (*CFR-Code of Federal Regulations*).
- Asociación de Gases Comprimidos (*CGA-Compressed Gas Association*).
- Asociación Nacional para Protección al Fuego (*NFPA 99-National Fire Protection Association*).
- Departamento de Transporte de Estados Unidos (*DOT-Department of Transportation*).
- Farmacopea de Estados Unidos de América (*USP*).
- Acuerdo Gubernativo 712-99 del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.
- Comité Guatemalteco de Normas (*Oxígeno-NGO30008*).
- Norma Técnica 63, versión 2014, del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.
- Norma Técnica 64, versión 2014, del Ministerio de Salud Pública y Asistencia social.
- Certificado vigente de Gestión de Calidad ISO 9001.

2.3. Comparación de normativas aplicables

Tanto a nivel nacional como internacional existen diversas normativas aplicables a los gases médicos, pero cada una de ellas se enfoca en distintas áreas para la utilización de los gases médicos, por ello son distintas cada una de las normas.

En la actualidad a nivel nacional se aplican tres normas para la utilización de los gases médicos, la Norma COGUANOR NTG 30008 se enfoca en las especificaciones, métodos de ensayo, características de los envases contenedores, condiciones de almacenamiento y distribución, únicamente del oxígeno, por eso la aplicación de esta norma para este proyecto no será de gran beneficio.

Otra de las normas utilizadas a nivel nacional, Norma Técnica Número 63, esta norma establece los requisitos y procedimientos mediante los cuales se otorgará el registro sanitario de los gases medicinales, lo cual no es de gran relevancia para su utilización en este proyecto, debido a que el proyecto se encuentra enfocado en los sistemas de gases médicos.

Otra norma utilizada a nivel nacional, Norma Técnica Número 64, se encarga de regular el control sanitario de los gases medicinales, estableciendo las buenas prácticas de manufactura de los establecimientos que fabrican, importan, fraccionan, comercializan gases medicinales comprimidos o líquidos criogénicos, debido a que esta norma se encuentra enfocada en otro tipo de manejo de los gases medicinales, y no regula las instalaciones de sistemas para gases médicos, se procederá a utilizar otro tipo de normas para su implementación en este proyecto.

Las normativas a nivel internacional para el manejo de gases médicos se encuentran más estandarizadas que las normativas a nivel nacional, debido a la gran demanda de sistemas de gases médicos utilizados a nivel mundial, en consecuencia, se encuentran mejor preparadas para solventar cualquier tipo de situación que se pueda presentar en los sistemas de gases médicos.

En el presente proyecto, se busca aplicar las mejores normativas a nivel nacional e internacional, que permitan realizar un sistema de gases médicos confiable y seguro.

Las normas internacionales abarcan una gran cantidad de requerimientos para los gases médicos, pero cada una de estas normas se enfocan en distintos requerimientos, como estándares de calidad, distribución, seguridad, medio ambiente, fabricación, transporte, almacenamiento y eliminación de gases entre otros, los requerimientos que se buscan aplicar en este proyecto son los que establezcan las características técnicas, que se deben cumplir en la instalación de redes de distribución de gases médicos dentro de los establecimientos de salud.

Por consiguiente, una de las normas que reúne todas las características necesarias para su aplicación en este proyecto, es la Norma NFPA 99 *Health Care Facilities Code*, edición 2021 que establece los criterios necesarios para los sistemas de gases médicos.

2.4. Situación actual del cálculo de tuberías

Actualmente Productos del Aire posee distintas certificaciones mencionadas anteriormente, pero la norma que utilizan actualmente para el diseño de sistemas de distribución de gases medicinales es la Norma NFPA 99 *Health Care Facilities Code*, por ello se continuará utilizando dicha norma para la su implementación en este proyecto.

2.4.1. Sistema de gases médicos

Actualmente, se realizan los cálculos para el diseño de sistemas de distribución de gases medicinales únicamente para la red de oxígeno y la red de vacío, utilizando los cálculos de la red de oxígeno para aplicarlos a la red de aire, esto puede presentar un sobre dimensionamiento para la red de aire, lo que puede generar un incremento innecesario en los costos, de ahí que se deberá de actualizar los cálculos para la red de oxígeno y la red de vacío, creando e implementando un nuevo método para el cálculo de la red de aire, para optimizar la eficiencia de todos los sistemas de distribución de gases medicinales.

Cada uno de los cálculos para el diseño de sistemas de distribución de gases medicinales se realiza por medio de distintos programas, los cuales no se encuentran relacionados uno con el otro, por eso se necesita utilizar un archivo distinto para el cálculo de cada una de las redes, los cuales se describirán a continuación.

2.4.2. Red para oxígeno

Para la red de oxígeno, actualmente se utiliza la hoja de cálculo denominada oxígeno dentro del programa Microsoft Excel donde se solicitan distintos datos, con la finalidad de encontrar la caída de presión del oxígeno en cada tramo de la red.

El primer paso para el cálculo de las redes de distribución de gases medicinales es el cálculo de las cargas o demanda que requiere el sistema completo, se deben tomar en cuenta todos los servicios que requieran de oxígeno, pero debido a la catástrofe ocurrida a nivel nacional a causa del virus COVID-19, la empresa decidió estandarizar un flujo equivalente para todas las tomas, por ello se utiliza 30 litros por minuto para cada una de las tomas, debido a esto el cálculo de la carga total del sistema depende de la cantidad de tomas totales del sistema multiplicado por el flujo establecido anteriormente.

Los primeros datos que se ingresan a la hoja de cálculo son: el nombre del proyecto, el número de proyecto y la fecha, posterior a ingresar esos datos, se debe de especificar la presión inicial del sistema, esta presión es la que proviene del sistema de suministro de oxígeno, el valor de esta presión se encuentra dentro de la Norma NFPA 99 (Tabla 5.1.11), la cual indica que la presión de operación del sistema debe de estar entre los 50-55 PSI (345-380 kPa), como se muestra en la figura 2, Por consiguiente para el sistema de oxígeno se utilizara la presión inicial del sistema de 55 PSI.

Posteriormente se solicita el ingreso de los siguientes datos para cada uno de los tramos de la red de distribución de oxígeno: sección, código de tubería, diámetro interno en milímetros, longitud de la sección y la cantidad de tomas para ese tramo.

Tabla III. Presión de operación para sistemas de gas y vacío

Table 5.1.11 Standard Designation Colors and Operating Pressures for Gas and Vacuum Systems

Gas Service	Abbreviated Name	Colors (Background/Text)	Standard Gauge Pressure	
			kPa	psi
Medical air	Med air	Yellow/black	345–380	50–55
Carbon dioxide	CO ₂	Gray/black or gray/white	345–380	50–55
Helium	He	Brown/white	345–380	50–55
Nitrogen	N ₂	Black/white	345–1275	55–185
Nitrous oxide	N ₂ O	Blue/white	345–380	50–55
Oxygen	O ₂	Green/white or white/green	345–380	50–55
Oxygen/carbon dioxide mixtures	O ₂ /CO ₂ n% (n = % of CO ₂)	Green/white	345–380	50–55
Medical–surgical vacuum	Med vac	White/black	380 mm to 760 mm (15 in. to 30 in.) HgV	
Waste anesthetic gas disposal	WAGD	Violet/white	Varies with system type	
Medical–surgical vacuum/ WAGD combination	Med–surg/ WAGD	White/black and violet/white	380 mm to 760 mm (15 in. to 30 in.) HgV	
Other mixtures	Gas A%/Gas B%	Colors as above Major gas for background/minor gas for text	None	
Nonmedical air and dental air	—	Yellow and white diagonal stripe/black	None	
Nonmedical vacuum and dental vacuum	—	White and black diagonal stripe/black boxed	None	
Laboratory air	—	Yellow and white checkerboard/black	None	
Laboratory vacuum	—	White and black checkerboard/black boxed	None	
Instrument air	—	Red/white	345–1275	50–185

Fuente: National Fire Protection Association 99 Health Care Facilities Code. *Presión de operación para sistemas de gas y vacío*. p. 60.

Utilizando los valores ingresados anteriormente, se procede a calcular el flujo en sección utilizando la siguiente ecuación:

$$Q = CT * FT$$

Donde:

Q = flujo en sección, lpm

CT = cantidad de tomas

FT = flujo por toma, Donde FT = 30 litros por minuto

Posteriormente se procede a calcular la caída de presión del tramo utilizando la siguiente ecuación:

$$h_f = \left[\frac{7,57 * (Q * 0,001)^{1,85} * (L * 0,3048) * 1\ 000}{D^5 * 4,908} \right] * 14,2$$

Donde:

h_f = caída de presión, psi

L = longitud de sección, pies

D = diámetro interno, mm

Se buscó la información para encontrar los orígenes de esta ecuación, pero no se encontró relación directa con las ecuaciones utilizadas para la caída de presión, de ahí que se solicitó información a la empresa, indicando que el origen de dicha ecuación es la ecuación de Hazen-Williams, pero al momento de implementar dicha ecuación se modificaron ciertos parámetros, en consecuencia, no se tiene información del por qué dichos cambios.

Se procede a calcular el valor de la presión actual del tramo utilizando la siguiente ecuación:

$$P_t = P_a - h_f$$

Donde:

P_t = presión actual, psi

P_a = presión anterior, psi

Por último, se procede a calcular el valor de la pérdida acumulada utilizando la siguiente ecuación:

$$P_s = h_f + P_{sa}$$

Donde:

P_s = pérdida acumulada, psi

P_{sa} = pérdida acumulada del tramo anterior, psi

Tabla IV. **Diseño actual para el cálculo de pérdidas de la red de oxígeno**

	A	B	D	E	F	G	H	I	J	
1	Fecha:	GUATE 01/03/2021	OXIGENO						Hoja No.	
2	Proyecto:	HOSPITAL INTERVIDA SAN MATEO QUETZALTENANGO								
3	No. de Proyecto:	No. 2021-019DI-5						Calculo:	SAUL OROZCO	
4								55		
5	SECCION	CODIGO	DIAMETRO	LONGITUD	CANTIDAD	FLUJO EN	CAIDA DE	PRESION	PERDIDA	
6			INTERNO	DE SECCION	TOMAS	SECCION	PRESION	ACTUAL	ACUMULADA	
7			MM	ft.		l/m	psi	5psig.caidam	PSI	
8	T-0.0	TUB1.0	26,645	119	29	870	0,457	54,54	0,457	
9	T-1.0	TUB1.0	26,645	38	15	450	0,043	54,50	0,500	
10	T-2.0	TUB0.75	20,93	17	8	240	0,020	54,48	0,520	
11	T-2.1	TUB0.5	15,798	59	2	60	0,022	54,46	0,542	
12	T-2.2	TUB0.5	15,798	12	1	30	0,001	54,46	0,544	
13	T-3.0	TUB0.75	20,93	18	6	180	0,013	54,44	0,556	
14	T-3.1	TUB0.5	15,798	55	2	60	0,020	54,42	0,577	
15	T-3.2	TUB0.5	15,798	21	1	30	0,002	54,42	0,579	
16	T-4.0	TUB0.5	15,798	27	4	120	0,036	54,38	0,615	
17	T-4.1	TUB0.5	15,798	55	2	60	0,020	54,36	0,636	
18	T-4.2	TUB0.5	15,798	26	1	30	0,003	54,36	0,638	
19	T-4.3	TUB0.5	15,798	67	2	60	0,025	54,34	0,663	
20	T-4.4	TUB0.5	15,798	30	1	30	0,003	54,33	0,666	
21	T-5.0	TUB0.75	20,93	50	7	210	0,046	54,29	0,713	

Fuente: elaboración propia, con base en información proporcionada por
Productos del Aire S.A.

2.4.3. Red para aire

Actualmente no se posee un método para el cálculo de la red de aire, por eso se utilizan los cálculos realizados para la red de oxígeno en el dimensionamiento de la red de aire, en consecuencia, esto puede representar un sobredimensionamiento para la red, provocando un aumento en los costos para el sistema de distribución de aire, por consiguiente, en este proyecto se busca diseñar e implementar un método específicamente para la red de distribución de aire.

2.4.4. Red para vacío

Para la red de vacío, actualmente se utilizan dos hojas de cálculo denominadas Cálculo de SCFM y VACÍO dentro del programa Microsoft Excel, esta sección se encuentra en un archivo separado al que se utiliza para el cálculo de la red de oxígeno, cada una de estas hojas tiene un propósito distinto, y se explicará a continuación.

La hoja de cálculo de SCFM se encuentra enfocada para calcular la carga o demanda total de la red de vacío, la utilización del vacío se encuentra distribuido por servicios, los cuales cada uno de ellos posee un consumo distinto, el cálculo de la demanda total se realiza con la información de los servicios que se utilizarán en el sistema completo, por cada servicio se tiene en cuenta el número total de tomas que se utilizarán, cada servicio posee un factor de uso simultáneo, esto indica que tan probable es que se utilicen todas las tomas en un mismo momento, por eso cada servicio posee un factor de uso de simultaneidad distinto.

Agregado a ese factor se debe tomar en cuenta que cada servicio posee un valor de consumo distinto dependiendo esto de cada tipo de servicio, por eso se debe de especificar qué tipo de servicio se utilizará en la red y la cantidad de tomas totales de cada uno de estos servicios, en esta hoja de cálculo se solicita ingresar la cantidad de tomas que se utilizarán en cada servicio para posteriormente multiplicar esta cantidad de tomas por el flujo utilizado en ese servicio, por el factor de uso simultáneo del servicio para obtener el valor del flujo total del servicio en específico.

Una vez obtenido el dato del flujo total de cada uno de los servicios, se procede a sumar los flujos totales de cada uno de los servicios a utilizar, para poder obtener el flujo total que se utilizara en la red de vacío.

Tabla V. **Diseño actual para cálculo de consumo de la red de vacío**

Localización de tomas.		VACIO						
		Tomas por localización	Asignacion de aire libre			Factor de uso simultaneo	Numero de habitaciones, camas o tomas	Vacío en SCFM
Por cama	Por habitación		Por toma					
Ubicaciones con anestesia.								
1	Sala de operaciones	3/Hab.		3,5		100	3	10,50
2	Cintoscopia	3/Hab.		2		100		0,00
3	Entrega	3/Hab.		1		100		0,00
4	Procedimiento especial (corazon abierto, traplante, etc.)	3/Hab.		4		100		0,00
5	Sala de emergencias	3/Hab.		3		100		0,00
6	Otros lugares de anestesia	2/Hab.		1		50		0,00
7	Evacuacion de vacío.	2/Hab.		1		100		0,00
Ubicaciones de cuidados intensivos (Sin anestesia)								
1	Sala de recuperacion	3/Cama.	1,5			50	7	1,50
2	U.C.I. (Excepto Cardiaco)	3/Cama.	2			75		0,00
3	U.C.I. (Cardiaco)	2/Cama.	1			50		0,00
4	Sala de emergencias	2/Cama.	1			100		7,00
5	Procedimientos especiales (Rayos X, Diálisis, etc)	2/Hab.		1,5		30		0,00
6	Lab. Cateterismo	2/Hab.		1		10		0,00
7	Sala de escisión quirúrgica.	1/Hab.		1		10		0,00
8	U.C.I. Neonatal.	2/Cama.	1			50		0,00
Cuidados Sub-agudo del paciente.								
1	Sala de Pacientes Cirugia	1/Cama.	1,5			15	14	0,00
2	Sala de Pacientes Medicina.	1/Cama.			1	10		1,40
3	Sala de Exámenes y Tratamiento.	1/Hab.		1		10		0,00
4	Enfermeria	1/4Cunas.			1	10		0,00
5	Enfermeria de Prematuros	1/Cuna.	1			25		0,00
Otras habitaciones.								
1	Sala de terapia respiratoria	1/Hab.			1,5	10		0,00
2	Sala de repuestos, reparacion de equipo y calibracion.							0,00
3	Aula de Enseñanza	1/Hab.			1,5	10		0,00
4	Autopsia	1/Mesa.			1,5	10		0,00
Ampliaciones futuras		Demanda Max. en SCFM.						20,40
		Altitud SNM de la instalación en ft.						1 000
		Demanda Max. en SCFM con ajuste de altitud.						21,59

Fuente: elaboración propia, con base en información proporcionada por Productos del Aire S.A.

Realizado el cálculo de la carga o demanda total del vacío, se procede a utilizar la siguiente hoja de cálculo vacío, que tiene como finalidad encontrar la caída de presión del vacío en cada tramo de la red.

Los primeros datos que se ingresan a la hoja de cálculo son: el nombre de la sección, el servicio a utilizar, cantidad de tomas, longitud de sección y el valor del diámetro que se utilizará en ese tramo, al momento de ingresar el servicio a utilizar, se despliega un listado donde se muestran todos los servicios disponibles para la red de vacío, se procede a seleccionar únicamente un servicio, que se utilizara para cálculos posteriores.

Utilizando el dato del diámetro ingresado anteriormente, el programa realiza una búsqueda para poder asignarle un código al diámetro ingresado, seleccionado el código, este aparece como un nuevo dato para el tramo que se está analizando, posteriormente utilizando el mismo dato de diámetro ingresado anteriormente, el programa realiza una nueva búsqueda para asignarle una nueva descripción de tubería al tramo que se está analizando.

Seleccionado el servicio que se utilizará en el tramo a analizar, se procede a calcular el flujo de vacío en SCFM, realizando una búsqueda utilizando el servicio seleccionado para establecer el valor del factor del flujo para ese servicio en específico, encontrado ese valor se procede a multiplicar ese factor por la cantidad de tomas que se ingresó anteriormente para poder obtener el valor del flujo del vacío en ese tramo.

Para calcular la pérdida de presión en pulgadas de mercurio (in Hg), se procede a realizar una búsqueda dentro de una tabla con los valores de las pérdidas de presión en tuberías por cada 100 pies de longitud, ver tabla III, relacionando el valor del diámetro y el valor del flujo de vacío en SCFM,

posteriormente encontrado el valor de la pérdida de presión, se procede a multiplicar el valor de la pérdida de presión por la longitud de la sección dividido entre cien, para obtener el valor de la pérdida de presión específica para la longitud de la sección.

Tabla VI. **Pérdida de presión de vacío en in hg por 100 pies, diseño original**

scfm	¾"	1"	1" ¼	1" ½	2"	2" ½	3"
1,0	0,16	0,038					
1,2	0,18	0,048					
1,4	0,26	0,580					
1,6	0,28	0,700					
1,8	0,32	0,083					
2,0	0,40	0,098					
2,5	0,56	0,140					
3,0	0,75	0,190					
3,5	1,00	0,250					
4,0	1,13	0,320	0,105	0,050			
4,5	1,50	0,370					
5,0	1,75	0,450	0,140	0,068			
6,0	2,40	0,590	0,185	0,900			
7,0	3,10	0,780	0,240	0,120			
8,0	3,80	0,950	0,310	0,150			
9,0	4,60	1,250	0,380	0,182	0,050		
10,0	5,50	1,400	0,455	0,225	0,060		
11,0		1,650	0,610				
12,0		1,900	0,790	0,300	0,080		
13,0		2,250	0,185				
14,0		2,500	0,240	0,380	0,105		
16,0			0,980	0,480	0,160		
18,0			1,200	0,590	0,130	0,054	
20,0			1,480	0,710	0,180	0,065	
25,0			2,250	1,090	0,290	0,095	
30,0			3,200	1,500	0,405	0,140	0,059
35,0			4,200	2,000	0,530	0,180	0,076
40,0			5,100	2,500	0,680	0,225	0,086
45,0				3,050	0,800	0,275	0,120
50,0				3,490	0,980	0,315	0,140
60,0				5,000	1,350	0,450	0,190
70,0					1,800	0,598	0,250

Continuación de la tabla VI.

80,0						2,350	0,780	0,330
90,0						2,850	0,950	0,410
100,0						3,500	1,150	0,500
120,0						4,800	1,600	0,680
140,0							2,050	0,890

Fuente: elaboración propia.

Se procede a calcular el valor de la presión actual del tramo utilizando la siguiente ecuación:

$$P_t = P_a - h_f$$

Donde:

P_t = presión actual, in Hg

P_a = presión anterior, in Hg

h_f = caída de presión, in Hg

Por último, se procede a calcular el valor de la pérdida acumulada utilizando la siguiente ecuación:

$$P_s = h_f + P_{sa}$$

Donde:

P_s = pérdida acumulada, in Hg

P_{sa} = pérdida acumulada del tramo anterior, in Hg

Tabla VII. Diseño actual para el cálculo de pérdidas de la red de vacío

CALCULO DE PERDIDAS PARA VACIO				
Sección	Código	Descripción de Tubería	Servicio	Cantidad de tomas.
T-0.0	TUB1.5	Tubo de 1 1/2" B-819	Principal	29
T-1.0	TUB1.5	Tubo de 1 1/2" B-819	Sala de operaciones	3
T-2.0	TUB1.5	Tubo de 1 1/2" B-819	Sala de operaciones	3
T-2.1	TUB1.0	Tubo de 1" B-819	Cintoscopia	0
T-2.2	TUB0.75	Tubo de 3/4" B-819	Entrega	0
T-3.0	TUB1.0	Tubo de 1" B-819	Procedimiento especial (corazón abierto, transpl)	0
T-3.1	TUB1.0	Tubo de 1" B-819	Sala de emergencias	3
T-3.2	TUB0.75	Tubo de 3/4" B-819	Otros lugares de anestesia	0
T-4.0	TUB1.0	Tubo de 1" B-819	Evacuación de vacío	0
T-4.1	TUB1.0	Tubo de 1" B-819	Sala de recuperación	0
T-4.2	TUB0.75	Tubo de 3/4" B-819	U.C.I. (Excepto Cardíaco)	0
T-4.3	TUB1.0	Tubo de 1" B-819	Sala de operaciones	2
T-4.4	TUB0.75	Tubo de 3/4" B-819	U.C.I. (Excepto Cardíaco)	0
T-5.0	TUB1.0	Tubo de 1" B-819	Emergencia	7
T-5.1	TUB1.0	Tubo de 1" B-819	Emergencia	4
T-5.2	TUB0.75	Tubo de 3/4" B-819	Emergencia	3
T-5.3	TUB0.75	Tubo de 3/4" B-819	Emergencia	2
T-5.4	TUB0.75	Tubo de 3/4" B-819	Emergencia	1
T-5.5	TUB1.0	Tubo de 1" B-819	Emergencia	3

Calculo de SCFM

VACIO

Hoja6



Continuación de la tabla VII.

Vacio en SCFM	Longitud de sección en ft	Diametro en in	Perdida en pulg de Hg	Presión actual en pulg de Hg	Perdida acumulada en pulg de Hg
20,40	119	1 1/2	0,845	18,155	0,845
10,50	38	1 1/2	0,086	18,070	0,930
10,50	17	1 1/2	0,038	18,031	0,969
0,00	59	1	0,010	18,021	0,979
0,00	12	3/4	0,010	18,011	0,989
10,50	18	1	0,252	17,759	1,241
0,00	55	1	0,010	17,749	1,251
0,00	21	3/4	0,010	17,739	1,261
7,00	27	1	0,211	17,529	1,471
0,00	55	1	0,010	17,519	1,481
0,00	26	3/4	0,010	17,509	1,491
3,50	67	1	0,168	17,341	1,659
0,00	30	3/4	0,010	17,331	1,669
7,00	50	1	0,390	16,941	2,059
4,00	33	1	0,106	16,836	2,164
3,00	10	3/4	0,075	16,761	2,239
2,00	12	3/4	0,047	16,713	2,287
1,00	12	3/4	0,019	16,694	2,306
3,00	37	1	0,070	16,624	2,376

Fuente: elaboración propia, con base en información proporcionada por Productos del Aire S.A.

3. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL

3.1. Generalidades

Esta sección está dedicada al diseño de sistemas de distribución de gases medicinales dentro de instalaciones hospitalarias, como se demostró en la fase de investigación es necesario aplicar las normativas necesarias para que dichos sistemas de gases medicinales seguros para los pacientes, el personal o los visitantes de las instalaciones hospitalarias, estas normas tienen como objetivo reducir el riesgo de cualquier catástrofe que pueda ser causado por los sistemas de gases medicinales.

El proyecto se realizará basándose en la utilización de la Norma NFPA 99 *Health Care Facilities Code*, se aplicará esta normativa, debido a que cumple con los mayores estándares de calidad y seguridad para el diseño e instalación de sistemas de distribución de gases medicinales, en la fase de investigación se compararon la mayoría de normas aplicables a los gases medicinales, tanto a nacionalmente e internacional y se concluyó que es la norma que se ajusta de mejor manera para la aplicación en este proyecto, por ello se tomará como base para la realización del diseño del sistema de distribución de gases medicinales.

El proyecto se realizará completamente utilizando el programa Microsoft Excel, utilizando distintas hojas de cálculo dentro del mismo para centralizar toda la información en un único programa, se crearán hojas de cálculo denominándolas de la siguiente manera: oxígeno, SCFM aire, aire, SCFM vacío, vacío, inventario.

En esta sección se describirá y detallará a profundidad la creación y utilización de cada una de las hojas de cálculo mencionadas anteriormente.

El programa que se creará para el cálculo de las tuberías de oxígeno, aire y vacío, tendrá un formato general, de ahí que no se diseñará basándose en un sistema de distribución de gases medicinales en específico, por consiguiente se podrá utilizar en un futuro para distintas instalaciones que requieran de un sistema de gases medicinales, por ello con fines ilustrativos se utilizará información proporcionada por el departamento de instalaciones de Productos del Aire, del proyecto nombrado Hospital Inter vida San Mateo Quetzaltenango, esta información se utilizará para la realización de pruebas y verificación final de resultados.

3.2. Cálculo de las cargas o demanda de los gases médicos

El primer paso para el diseño y cálculo de los sistemas de distribución de gases medicinales es el cálculo de las cargas o demandas de los gases medicinales que se utilizarán en el sistema, cada uno de los gases posee distintas aplicaciones y maneras de utilización, en consecuencia el consumo de cada uno de ellos es distinto, el cálculo del consumo se debe de realizar por separado para cada uno de los gases, a continuación, se describe el método utilizado para el consumo de oxígeno, aire y vacío.

3.2.1. Consumo de oxígeno

El consumo de oxígeno se establece con base en los servicios utilizados por la red, cada servicio posee un consumo diferente de acuerdo con las necesidades de cada área y a las recomendaciones mínimas exigidas por la Norma NFPA 99.

La norma especifica los criterios para el cálculo del consumo total de una red de oxígeno, estableciendo el factor de simultaneidad y el flujo necesario para un óptimo funcionamiento del servicio.

Tabla VIII. **Factores de simultaneidad y flujos para la red de oxígeno**

Ubicación de salidas	Factor de uso simultaneo	Volumen (Lpm)
primer quirófano (extremo lejano de una sección de tubería y todas las ramas individuales a los quirófanos)	100	50 por quirófano (dos salidas por quirófano)
Primer quirófano (en una sección de tubería)	100	30 por quirófano (dos salidas por quirófano)
Cada quirófano adicional (en una sección de tubería)	100	20 por quirófano (dos salidas por quirófano)
Sala de emergencias	100	30 por salida
Salas de trauma	100	30 por salida
Salas de parto	100	30 por salida
cistoscopia y procedimientos especiales	100	30 por salida
Salas de recuperación (una salida por cama)		20 por salida
1 – 8 salidas	100	
9 – 12 salidas	60	
13 – 16 salidas	50	
Más salidas adicionales	45	
Salas de UCI (dos salidas por cama)	100	20 por salida
Salas CCU (dos salidas por cama)	100	20 por salida

Fuente: SÁNCHEZ, Edgar. y ZACARÍAS, John. *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. 170.

Aplicando los criterios de la Norma NFPA 99, para calcular el consumo total de la red de oxígeno, utilizando los datos del proyecto se obtiene el siguiente valor:

Tabla IX. **Servicios de la red de oxígeno**

Ubicación de salidas	Factor de uso simultaneo	Volumen (Lpm)	Tomas requeridas	Salida de volumen (Lpm)
Quirófano	100	30	6	180
Sala de Recuperación		20	2	40
Sala de Emergencias	100	30	7	210
Sala de paciente - medicina	100	20	14	280
			Consumo total	710

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la tabla IX, el consumo total para la red de oxígeno aplicando los criterios de la norma NFPA 99 es de 710 litros por minuto.

En la actualidad mundialmente se encuentra sucediendo una catástrofe debido al virus Covid-19, y provoca un aumento en la demanda de la utilización de los servicios de distribución de oxígeno en los centros hospitalarios, con base en estos sucesos, productos del aire optó por aplicar una medida para poder asegurar el buen funcionamiento del suministro de oxígeno para los centros hospitalarios, aplicando un consumo estándar de 30 litros por minuto para todos los servicios que utilicen oxígeno.

De ahí que el consumo total de la red de oxígeno para el sistema tendrá una variación, haciendo que cada salida del sistema proporcione un flujo de 30 litros por minuto, resultando el cálculo del consumo total para la red de oxígeno, en la multiplicación de la cantidad total de tomas requeridas por el flujo de 30 litros por minuto, debido a que el total de tomas requeridas es de 29, el resultado del valor total del consumo de oxígeno es de 870 litros por minuto, asegurando así, que el suministro de oxígeno no se agote tan pronto, debido a la gran demanda en la actualidad.

3.2.2. Consumo de aire

El consumo de aire se establece con base en los servicios utilizados por la red, cada servicio posee un consumo diferente de acuerdo con las necesidades de cada área y a las recomendaciones mínimas exigidas por la Norma NFPA 99.

La norma específica los criterios para el cálculo del consumo total de una red de aire, estableciendo el factor de simultaneidad y el flujo necesario para un óptimo funcionamiento del servicio.

El departamento de instalaciones posee un programa que le fue proporcionado por la empresa Amico para el cálculo del consumo de aire para el sistema de distribución de aire, basado en la Norma NFPA 99, y se utilizará como referencia para implementar dentro de este proyecto.

Tabla X. Factores de simultaneidad y flujos para la red de aire

Ubicación de salidas	Factor de uso simultaneo	Volumen (SCFM)
Cirugía especial y Cardiovascular	100	0,5
Cirugía mayor y ortopédica	100	0,5
Cirugía menor	75	0,5
Cirugía de emergencia	25	0,5
Radiología	10	0,5
Cateterización cardiaca	10	0,5
Ventiladores	100	3,5
Sala de partos	100	0,5
Sala de recuperación/quirúrgica	25	2
UCI/CCU	50	2
Sala de emergencias	10	2
U.C.I, neonatal	75	1,5
Unidades de diálisis	10	0,5
Salas de recuperación/OB	25	2
Ventiladores	100	6
Enfermería	25	0,5
Sala de pacientes	10	0,5
Sala de exámenes y tratamiento	10	1
Retención preoperatoria	20	1,5
Cuidado respiratorio	50	1
Lab. de función pulmonar	50	1
EEG/EKG	50	1
Parto y LDRP	50	1
Sala de aislamiento de pacientes	25	0,5
Sala de trabajo de anestesia	10	1,5
Sala de trabajo para cuidado del respirador	10	1,5
Cuarto de trabaja de guardería	10	1,5
Reparación de equipos	10	1,5
Laboratorio médico	25	1,5
Autopsia	100	1
Suministro estéril	10	1
Sala de yeso	50	1
Farmacia	10	1

Fuente: elaboración propia, con base en información proporcionada por Productos del Aire.

Aplicando los criterios de la Norma NFPA 99, para calcular el consumo total de la red de aire, utilizando los datos del proyecto se obtiene el siguiente valor:

Tabla XI. **Servicios de la red de aire**

Ubicación de salidas	Factor de uso simultaneo	Volumen (scfm)	Tomas requeridas	Salida de volumen (scfm)
Cirugía especial y cardiovascular	100	0,5	3	1,5
Sala de recuperación/quirúrgica	25	2	2	1,00
Sala de emergencias	10	2	7	1,40
			Consumo total	3,90

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la tabla XI, el consumo total para la red de aire aplicando los criterios de la Norma NFPA 99 es de 3,90 pies cúbicos estándar por minuto (scfm), siendo esta la cantidad total de flujo que demandaría la red de aire para todo el sistema.

Tabla XII. Nuevo diseño para el cálculo de consumo de la red de aire



Proyecto:

No. Proyecto:

INGRESE LOS DATOS REQUERIDOS EN LAS ÁREAS SOMBRADAS EN AZUL

AIRE MÉDICO - Método Típico US					
UBICACIÓN DE SALIDAS	Unidades Requeridas	Unidades	Salida CFM	% de Uso Simultáneo	Salida CFM
Ubicaciones con Anestesia					
1 Cirugía especial y Cardiovascular	3	Habitación(es)	0,5	100	1,50
2 Cirugía mayor y ortopédica		Habitación(es)	0,5	100	
3 Cirugía menor		Habitación(es)	0,5	75	
4 Cirugía de emergencia		Habitación(es)	0,5	25	
5 Radiología		Habitación(es)	0,5	10	
6 Cateterización cardiaca		Habitación(es)	0,5	10	
7 Ventiladores		Unidad	3,5	100	
8 Sala de Partos		Habitación(es)	0,5	100	
Ubicación de Cuidados Intensivos (Sin Anestesia)					
1 Sala de recuperación/quirúrgica	2	Cama(s)	2	25	1,00
2 UCI/CCU		Cama(s)	2	50	
3 Sala de Emergencias	7	Cama(s)	2	10	1,40
4 U.C.I, Neonatal		Cama(s)	1,5	75	
5 Unidades de diálisis		Cama(s)	0,5	10	
6 Salas de recuperación/OB		Habitación(es)	2	25	
7 Ventiladores		Unidad	6	100	

Fuente: elaboración propia.

3.2.3. Consumo de vacío

El consumo de vacío se establece con base en los servicios utilizados por la red, cada servicio posee un consumo diferente de acuerdo con las necesidades de cada área y a las recomendaciones mínimas exigidas por la Norma NFPA 99.

La norma especifica los criterios para el cálculo del consumo total de una red de vacío, estableciendo el factor de simultaneidad y el flujo necesario para un óptimo funcionamiento del servicio.

Como en el cálculo del consumo de aire, el departamento de instalaciones posee un programa que le fue proporcionado por la empresa Amico para el cálculo del consumo de vacío para el sistema de distribución de vacío, basado en la Norma NFPA 99, el cual se utilizará como referencia para implementar dentro de este proyecto.

Tabla XIII. **Factores de simultaneidad y flujos para la red de vacío**

Ubicación de salidas	Factor de uso simultaneo	Volumen (SCFM)
Quirófano	100	3,5
Cistoscopia	100	2
Sala de parto	100	1
Procedimiento especial. (Corazón abierto, Trasplante, entre otros)	100	4
Sala de emergencias/ Trauma mayor	100	3
Otro lugar de anestesia	50	1
Vacío de evacuación	100	1
Sala de recuperación	50	1,5
U.C.I (excepto cardíaco)	75	2
U.C.I cardíaco	50	1
Sala de emergencias	100	1
Procedimientos Especiales (Rayos-X, diálisis, entre otros)	30	1,5
Laboratorio de Cateterismo	10	1
Sala de Escisión Quirúrgica	10	1
U.C.I, neonatal	50	1
Sala de pacientes - Cirugía	15	1,5
Sala de pacientes - medicina	10	1

Continuación de la tabla XIII.

Sala de exámenes y tratamiento	10	1
Enfermería	10	1
Enfermería de prematuros	25	1
Dept. de cuidados respiratorios	10	1,5
Aula de enseñanza	10	1,5
Autopsia	10	1,5

Fuente: elaboración propia, con base en información proporcionada por Productos del Aire.

Aplicando los criterios de la Norma NFPA 99, para calcular el consumo total de la red de vacío, utilizando los datos del proyecto se obtiene el siguiente valor:

Tabla XIV. **Servicios de la red de vacío**

Ubicación de salidas	Factor de uso simultaneo	Volumen (scfm)	Tomas requeridas	Salida de volumen (scfm)
Quirófano	100	3,5	3	10,5
Sala de recuperación	25	2	2	1,5
Sala de emergencias	10	2	7	7
Sala de pacientes - medicina	10	1	14	1,4
			Consumo total	20,40

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la tabla anterior, el consumo total para la red de vacío aplicando los criterios de la Norma NFPA 99 es de 20,40 pies cúbicos estándar por minuto (scfm), siendo esta la cantidad total de flujo que demandaría la red de vacío para todo el sistema.

Tabla XV. **Nuevo diseño para el cálculo de consumo de la red de vacío**

	Proyecto:	HOSPITAL INTERVIDA SAN MATEO QUETZALTENANGO			
	No. Proyecto:	2021-019DI5			
INGRESE LOS DATOS REQUERIDOS EN LAS ÁREAS SOMBREADAS EN AZUL					
VACÍO - Método NFPA					
UBICACIÓN DE SALIDAS	Unidades Requeridas	Unidades	Salida CFM	% de Uso Simultáne	Salida CFM
Ubicaciones con Anestesia					
1 Quirofano	3	Habitación(es)	3,5	100	10,5
2 Cistoscopia		Habitación(es)	2	100	
3 Sala de Parto		Habitación(es)	1	100	
4 Procedimiento Especial.(Corazón abierto, Transplante, etc.)		Habitación(es)	4	100	
5 Sala de Emergencias/ Trauma mayor		Habitación(es)	3	100	
6 Otro Lugar de Anestesia		Habitación(es)	1	50	
7 Vacío de Evacuación		Habitación(es)	1	100	
Ubicación de Cuidados Intensivos (Sin Anestesia)					
1 Sala de Recuperación	2	Cama(s)	1,5	50	1,5
2 U.C.I (Excepto Cardíaco)		Cama(s)	2	75	
3 U.C.I Cardíaco		Cama(s)	1	50	
4 Sala de Emergencias	7	Cama(s)	1	100	7
5 Procedimientos Especiales (Rayos-X, diálisis, etc.)		Habitación(es)	1,5	30	
6 Laboratorio de Cateterismo		Habitación(es)	1	10	
7 Sala de Escisión Quirúrgica		Habitación(es)	1	10	
8 U.C.I, Neonatal		Cama(s)	1	50	

Fuente: elaboración propia.

3.3. Dimensionamiento del sistema de tuberías

La normativa NFPA 99 especifica que los sistemas de tubería deben estar diseñados y dimensionados para entregar los caudales requeridos a las presiones de utilización. La tubería debe ser de cobre tipo L, certificado ASTM B 819.

En cuanto a dimensiones mínimas, la normativa NFPA 99 define que las tuberías principales y los ramales en los sistemas de oxígeno y aire no pueden tener un tamaño menor a DN 15 (NPS ½”), y las tuberías principales y los ramales en los sistemas de vacío no pueden tener un tamaño menor a DN 20 (NPS ¾”). Las bajantes para las estaciones individuales de salida (tomas), no deben ser menores a DN 15 (NPS ½”), y los tramos que alimentan tableros de alarma, conexión a manómetros y dispositivos de alarma deben ser mayor o iguales a DN 8 (NPS ¼”).

La tubería debe ser protegida contra corrosión y daño físico, y en el caso de ser instalada en forma subterránea dentro de edificios o empotrada (pisos o paredes de concreto) debe ser instalada en un conducto continuo.

Para dimensionar la tubería se determinaron los puntos críticos, o más alejados, en los cuales según normativa NFPA 99 no debe haber una caída de presión superior 5 psi (35 kPa) para los sistemas de oxígeno y aire, y no debe haber una caída de presión superior 4 in Hg (100 mm Hg), para el sistema de vacío.

Para el dimensionamiento de las tuberías se pueden aplicar distintos métodos como: Darcy, Hazen-Williams, Swamee-Jain, Eduardo Lázaro, entre otros. Por lo que se procedió a realizar una investigación de documentos relacionados con los sistemas de gases medicinales y la aplicación de dichos métodos para el dimensionamiento de las tuberías

Se logra observar que el método más complicado y complejo de los tres, es la ecuación de Darcy, debido a que se debe utilizar el diagrama de Moody para realizar los cálculos, y se deben de realizar procesos iterativos estableciendo un valor inicial distinto para el factor de fricción de cada cálculo, esto presenta una complicación para la implementación en este proyecto, debido a que los cálculos no se realizan únicamente para un sistema de gases medicinales, crea una gran complicación.

Comparando y observando el método de Eduardo Lázaro y la ecuación de Darcy, se logra observar que los diámetros de las tuberías no tienen un valor cercano, por ello se descartará la utilización de este método.

Comparando los resultados del método de Swamee-Jain y la ecuación de Darcy, se observa que los valores de los diámetros calculados son los mismos, pero con la diferencia que la implementación del método de Swamee-Jain es mucho más sencillo para este proyecto, de ahí que para el dimensionamiento de las tuberías de distribución de gases medicinales se utilizará este método.

En 1976 Swamee y Jain propusieron la siguiente relación que es precisa hasta el dos por ciento del diagrama de Moody.

$$D = 0,66 \left[\varepsilon^{1,25} \left(\frac{L\dot{V}^2}{gh_L} \right)^{4,75} + v\dot{V}^{9,4} \left(\frac{L}{gh_L} \right)^{5,2} \right]^{0,04} \quad \begin{cases} 10^{-6} < \frac{\varepsilon}{D} < 10^{-2} \\ 5\,000 < R_e < 3 \times 10^8 \end{cases}$$

Donde:

D = diámetro de la tubería

ε = rugosidad

L = longitud de la tubería

\dot{V} = Q caudal

g = gravedad

h_L = pérdida de carga

R_e = número de Reynolds

Los diámetros calculados mediante la ecuación anterior serán ajustados a los valores de diámetros interiores comerciales tipo L que se muestran a continuación:

Tabla XVI. Diámetros para tubería de cobre

Tamaño nominal pulgada	Diámetro interno pulgada	Diámetro interno milímetros	Diámetro interno metros
½	0,622	15,798	0,016
¾	0,824	20,930	0,021
1	1,049	26,645	0,027
1 ¼	1,380	35,052	0,035
1 ½	1,610	40,894	0,041
2	2,067	52,501	0,053
2 ½	2,469	62,713	0,063
3	3,062	77,770	0,078
4	3,905	99,187	0,099

Fuente: elaboración propia, con base en información proporcionada por Productos del Aire.

3.3.1. Red de oxígeno

El oxígeno es transportado a través del sistema de tubería bajo las siguientes condiciones:

Presión de trabajo: 55 psi

Densidad [ρ]: $1,334 \frac{kg}{m^3}$

Viscosidad dinámica [μ]: $2,035 \times 10^{-5} \frac{kg}{ms}$

Viscosidad cinemática [ν]: $1,5428 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$

Como ejemplo de cálculo se tomará la información del tramo T-1.0 del proyecto Hospital Inter vida San Mateo Quetzaltenango se tienen los siguientes parámetros de diseño:

$$\varepsilon = 1,5 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$L = 9,5 \text{ m}$$

$$\dot{V} = 450 \text{ lpm} \rightarrow 0,0075 \frac{m^3}{s}$$

$$\Delta P_1 = 0,6 \text{ psi } h_L = 316,224 \text{ m} \rightarrow \text{permisible}$$

Utilizando el método Swamee-Jain se obtiene:

$$D = 0,66 \left[\varepsilon^{1,25} \left(\frac{L \dot{V}^2}{gh_L} \right)^{4,75} + \nu \dot{V}^{9,4} \left(\frac{L}{gh_L} \right)^{5,2} \right]^{0,04}$$

$$D = 0,66 \left[(1,5 \times 10^{-6})^{1,25} \left(\frac{9,5 * 0,0075^2}{9,8 * 316,224} \right)^{4,75} + 1,5428 \times 10^{-5} * 0,0075^{9,4} \left(\frac{9,5}{9,8 * 316,224} \right)^{5,2} \right]^{0,04} = 0,02023 \text{ m}$$

Se obtiene un diámetro D = 0,02023 m por ello se procede a seleccionar el valor del mayor más cercano a este valor de la tabla X, seleccionando el diámetro D = 0,021 m, valor en pulgadas ¾ “.

Los resultados de todos los tramos para la red de oxígeno se ilustran a continuación:

Tabla XVII. **Dimensionamiento para la red de oxígeno mediante Swamee-Jain**

Tramo	Flujo		Longitud metros	Diámetro calculado		Diámetro seleccionado	
	LPM	$\frac{m^3}{s}$		metros	milímetros	Interior metros	Nominal pulgadas
T-0,0	870	0,0145	36,12	0,03418	34,18952	0,035	1 1/4
T-1,0	450	0,0075	9,52	0,02023	20,231826	0,021	3/4
T-2,0	240	0,004	5,03	0,01398	13,989876	0,016	1/2
T-2,1	60	0,001	20,19	0,01108	11,08384	0,016	1/2
T-2,2	30	0,0005	3,20	0,00582	5,8266653	0,016	1/2
T-3,0	180	0,003	5,33	0,01270	12,709262	0,016	1/2
T-3,1	60	0,001	18,97	0,01094	10,941392	0,016	1/2
T-3,2	30	0,0005	7,54	0,00696	6,9612416	0,016	1/2
T-4,0	120	0,002	8,07	0,01189	11,892655	0,016	1/2
T-4,1	60	0,001	16,84	0,01067	10,673641	0,016	1/2
T-4,2	30	0,0005	7,85	0,00701	7,0187145	0,016	1/2
T-4,3	60	0,001	22,56	0,01134	11,341491	0,016	1/2
T-4,4	30	0,0005	9,07	0,00723	7,2322952	0,016	1/2
T-5,0	210	0,0035	23,24	0,01828	18,280035	0,021	3/4
T-5,1	120	0,002	11,28	0,01274	12,745791	0,016	1/2
T-5,2	90	0,0015	4,34	0,00938	9,3839948	0,016	1/2
T-5,3	60	0,001	4,95	0,00827	8,2791731	0,016	1/2
T-5,4	30	0,0005	3,81	0,00604	6,0412313	0,016	1/2
T-5,5	90	0,0015	12,5	0,01168	11,685165	0,016	1/2

Continuación de la tabla XVII.

T-5,6	60	0,001	4,64	0,00817	8,1708019	0,016	1/2
T-5,7	30	0,0005	3,50	0,00593	5,9376446	0,016	1/2
T-6,0	420	0,007	28,35	0,02472	24,722759	0,027	1
T-7,0	120	0,002	3,50	0,01000	10,001675	0,016	1/2
T-7,1	60	0,001	8,46	0,00925	9,2515889	0,016	1/2
T-7,2	30	0,0005	3,50	0,00593	5,9376446	0,016	1/2
T-7,3	60	0,001	17,83	0,01080	10,801105	0,016	1/2
T-7,4	30	0,0005	3,50	0,00593	5,9376446	0,016	1/2
T-8,0	300	0,005	5,33	0,01540	15,401565	0,016	1/2
T-8,1	60	0,001	10,28	0,00963	9,6352679	0,016	1/2
T-8,2	30	0,0005	3,50	0,00593	5,9376446	0,016	1/2
T-9,0	240	0,004	3,50	0,01298	12,980949	0,016	1/2
T-9,1	60	0,001	8,46	0,00925	9,2515889	0,016	1/2
T-9,2	30	0,0005	3,50	0,00593	5,9376446	0,016	1/2
T-10,0	180	0,003	9,90	0,01445	14,451177	0,016	1/2
T-10,1	60	0,001	8,46	0,00925	9,2515889	0,016	1/2
T-10,2	30	0,0005	3,50	0,00593	5,9376446	0,016	1/2
T-11,0	120	0,002	5,86	0,01112	11,129477	0,016	1/2
T-11,1	60	0,001	6,47	0,00875	8,7530777	0,016	1/2
T-11,2	30	0,0005	3,20	0,00582	5,8266653	0,016	1/2
T-11,3	60	0,001	9,75	0,00952	9,5293485	0,016	1/2
T-11,4	30	0,0005	9,29	0,00726	7,2697765	0,016	1/2

Fuente: elaboración propia.

3.3.2. Red de aire

El aire es transportado a través del sistema de tubería bajo las siguientes condiciones:

- Presión de trabajo: 55 psi
- Densidad [ρ]: $1,1985 \frac{kg}{m^3}$
- Viscosidad dinámica [μ]: $1,83 \times 10^{-5} \frac{kg}{ms}$
- Viscosidad cinemática [ν]: $1,5252 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$

Como ejemplo de cálculo se tomará la información del tramo T-1,0 del proyecto Hospital Inter vida San Mateo Quetzaltenango se tienen los siguientes parámetros de diseño:

$$\varepsilon = 1,5 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$L = 9,5 \text{ m}$$

$$\dot{V} = 3,90 \text{ scfm} \rightarrow 0,00175 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\Delta P_1 = 0,6 \text{ psi } h_L = 316,224 \text{ m} \rightarrow \text{permisible}$$

Utilizando el método Swamee-Jain se obtiene:

$$D = 0,66 \left[\varepsilon^{1,25} \left(\frac{L \dot{V}^2}{gh_L} \right)^{4,75} + v \dot{V}^{9,4} \left(\frac{L}{gh_L} \right)^{5,2} \right]^{0,04}$$

$$D = 0,66 \left[(1,5 \times 10^{-6})^{1,25} \left(\frac{9,5 * 0,00175^2}{9,8 * 316,224} \right)^{4,75} + 1,5252 \times 10^{-5} \right. \\ \left. * 0,00175^{9,4} \left(\frac{9,5}{9,8 * 316,224} \right)^{5,2} \right]^{0,04} = 0,01171 \text{ m}$$

Se obtiene un diámetro $D = 0,01171 \text{ m}$ por ello se procede a seleccionar el valor del mayor más cercano a este valor de la tabla XVI, seleccionando el diámetro $D = 0,016 \text{ m}$, valor en pulgadas $\frac{1}{2}$ “.

Los resultados de todos los tramos para la red de aire se ilustran en la siguiente tabla.

Tabla XVIII. Dimensionamiento para la red de aire mediante Swamee-Jain

Tramo	Flujo		Longitud metros	Diámetro calculado		Diámetro seleccionado	
	SCFM	$\frac{m^3}{s}$		metros	milímetros	Interior metros	Nominal pulgadas
T-0,0	3,90	0,00175	36,12	0,01544	15,4460	0,016	1/2
T-,0	3,90	0,00175	9,52	0,01171	11,7111	0,016	1/2
T-2,0	2,50	0,00112	5,03	0,00867	8,67778	0,016	1/2
T-2,1	1,00	0,00045	20,19	0,00820	8,20503	0,016	1/2
T-2,2	0,50	0,00022	3,20	0,00431	4,31310	0,016	1/2
T-3,0	1,50	0,00067	5,33	0,00724	7,24885	0,016	1/2
T-3,1	0,50	0,00022	18,97	0,00624	6,24103	0,016	1/2
T-3,2	0,50	0,00022	7,54	0,00515	5,15309	0,016	1/2
T-4,0	1,00	0,00045	8,07	0,00678	6,78331	0,016	1/2
T-4,1	0,50	0,00022	16,84	0,00608	6,08828	0,016	1/2
T-4,2	0,50	0,00022	7,85	0,00519	5,19564	0,016	1/2
T-4,3	0,50	0,00022	22,56	0,00646	6,46929	0,016	1/2
T-4,4	0,50	0,00022	9,07	0,00535	5,35377	0,016	1/2
T-5,0	1,40	0,00063	23,24	0,00958	9,58773	0,016	1/2
T-5,1	0,80	0,00036	11,28	0,00668	6,68486	0,016	1/2
T-5,2	0,60	0,00027	4,34	0,00492	4,92136	0,016	1/2
T-5,3	0,40	0,00018	4,95	0,00434	4,34203	0,016	1/2
T-5,4	0,20	0,00009	3,81	0,00316	3,16831	0,016	1/2
T-5,5	0,60	0,00027	12,5	0,00612	6,12864	0,016	1/2
T-5,6	0,40	0,00018	4,64	0,00428	4,28517	0,016	1/2
T-5,7	0,20	0,00009	3,50	0,00311	3,11396	0,016	1/2

Fuente: elaboración propia.

3.3.3. Red de vacío

El vacío es transportado a través del sistema de tubería bajo las siguientes condiciones:

- Presión de trabajo: 19 in Hg
- Densidad $[\rho]$: $1,1985 \frac{kg}{m^3}$
- Viscosidad dinámica $[\mu]$: $1,83 \times 10^{-5} \frac{kg}{ms}$
- Viscosidad cinemática $[\nu]$: $1,5252 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$

Como ejemplo de cálculo se tomará la información del tramo T-1.0 del proyecto Hospital Inter vida San Mateo Quetzaltenango se tienen los siguientes parámetros de diseño:

$$\varepsilon = 1,5 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$L = 9,5 \text{ m}$$

$$\dot{V} = 19,00 \text{ scfm} \rightarrow 0,0095 \frac{m^3}{s}$$

$$\Delta P_1 = 0,04 \text{ psi } h_L = 21,0816 \text{ m} \rightarrow \text{permisible}$$

Utilizando el método Swamee-Jain se obtiene:

$$D = 0,66 \left[\varepsilon^{1,25} \left(\frac{L \dot{V}^2}{gh_L} \right)^{4,75} + \nu \dot{V}^{9,4} \left(\frac{L}{gh_L} \right)^{5,2} \right]^{0,04}$$

$$D = 0,66 \left[(1,5 \times 10^{-6})^{1,25} \left(\frac{9,5 * 0,0095^2}{9,8 * 21,0816} \right)^{4,75} + 1,5252 \times 10^{-5} * 0,0095^{9,4} \left(\frac{9,5}{9,8 * 21,0816} \right)^{5,2} \right]^{0,04} = 0,03879 \text{ m}$$

Se obtiene un diámetro D = 0,03879 m por eso se procede a seleccionar el valor del mayor más cercano a este valor de la tabla XVI, seleccionando el diámetro D = 0,041 m, valor en pulgadas 1 ½ “.

Los resultados de todos los tramos para la red de vacío se ilustran en la tabla XIX:

Tabla XIX. **Dimensionamiento para la red de vacío mediante Swamee-Jain**

Tramo	Flujo		Longitud metros	Diámetro calculado		Diámetro seleccionado	
	SCFM	$\frac{m^3}{s}$		metros	milímetros	Interior metros	Nominal pulgadas
T-0,0	20,40	0,0102	36,12	0,05256	52,5650	0,063	2 1/2
T-1,0	19,00	0,0095	9,52	0,03879	38,7926	0,041	1 1/2
T-2,0	12,00	0,006	5,03	0,02857	28,5797	0,035	1 1/4
T-2,1	1,50	0,00075	20,19	0,01745	17,4566	0,021	3/4
T-2,2	0,75	0,000375	3,20	0,00917	9,1720	0,021	3/4
T-3,0	10,50	0,00525	5,33	0,02751	27,5144	0,035	1 1/4
T-3,1	7,00	0,0035	18,97	0,03075	30,7536	0,035	1 1/4

Continuación de la tabla XIX.

T-3,2	3,50	0,00175	7,54	0,01956	19,5629	0,021	3/4
T-4,0	7,00	0,0035	8,07	0,02575	25,7512	0,027	1
T-4,1	3,50	0,00175	16,84	0,02311	23,1170	0,027	1
T-4,2	3,50	0,00175	7,85	0,01972	19,7246	0,021	3/4
T-4,3	3,50	0,00175	22,56	0,02456	24,5649	0,027	1
T-4,4	3,50	0,00175	9,07	0,02032	20,3256	0,021	3/4
T-5,0	7,00	0,0035	23,24	0,03207	32,0784	0,035	1 1/4
T-5,1	4,00	0,002	11,28	0,02236	22,3634	0,027	1
T-5,2	3,00	0,0015	4,34	0,01645	16,4599	0,021	3/4
T-5,3	2,00	0,001	4,95	0,01452	14,5232	0,021	3/4
T-5,4	1,00	0,0005	3,81	0,01059	10,5970	0,021	3/4
T-5,5	3,00	0,0015	12,5	0,02050	20,5034	0,021	3/4
T-5,6	2,00	0,001	4,64	0,01433	14,3328	0,021	3/4
T-5,7	1,00	0,0005	3,50	0,01041	10,4150	0,021	3/4
T-6,0	1,40	0,0007	28,35	0,01825	18,2523	0,021	3/4
T-7,0	0,40	0,0002	3,50	0,00737	7,3793	0,021	3/4
T-7,1	0,20	0,0001	8,46	0,00682	6,8288	0,021	3/4
T-7,2	0,10	0,00005	3,50	0,00438	4,3815	0,021	3/4
T-7,3	0,20	0,0001	17,83	0,00797	7,9742	0,021	3/4
T-7,4	0,10	0,00005	3,50	0,00438	4,3815	0,021	3/4
T-8,0	1,00	0,0005	5,33	0,01136	11,3646	0,021	3/4
T-8,1	0,20	0,0001	10,28	0,00711	7,1124	0,021	3/4

Continuación de la tabla XIX.

T-8,2	0,10	0,00005	3,50	0,00438	4,3815	0,021	3/4
T-9,0	0,80	0,0004	3,50	0,00957	9,5767	0,021	3/4
T-9,1	0,20	0,0001	8,46	0,00682	6,8288	0,021	3/4
T-9,2	0,10	0,00005	3,50	0,00438	4,3815	0,021	3/4
T-10,0	0,60	0,0003	9,90	0,01066	10,6664	0,021	3/4
T-10,1	0,20	0,0001	8,46	0,00682	6,8288	0,021	3/4
T-10,2	0,10	0,00005	3,50	0,00438	4,3815	0,021	3/4
T-11,0	0,40	0,0002	5,86	0,00821	8,2133	0,021	3/4
T-11,1	0,20	0,0001	6,47	0,00646	6,4602	0,021	3/4
T-11,2	0,10	0,00005	3,20	0,00429	4,2994	0,021	3/4
T-11,3	0,20	0,0001	9,75	0,00703	7,0341	0,021	3/4
T-11,4	0,10	0,00005	9,29	0,00536	5,3664	0,021	3/4

Fuente: elaboración propia.

3.4. Accesorios

Los accesorios para la tubería de cobre serán de cobre tipo L fabricados especialmente para conexión soldada, el tipo de unión que se debe de utilizar

es tipo *socket* o campana-copa, uniones soladas con OAW de fusión de alta temperatura, esto se encuentra especificado dentro de la normativa NFPA 99 en la sección 5.1.10.5.1.1.

Los accesorios a utilizar como codos, reducciones, tees y cambios de dirección deben ser sin costura, para el dimensionamiento de las redes de distribución de gases medicinales en este proyecto únicamente se tomarán en cuenta los codos y tees.

Estos accesorios se tomarán en cuenta para el dimensionamiento de las redes como longitudes equivalentes, agregando esta longitud equivalente al tramo en el cual se encuentra el accesorio, la longitud equivalente se utilizará de la siguiente manera para cada uno de los accesorios.

Tabla XX. **Longitud equivalente para accesorios**

Elemento	Longitud adicional	
	metros	Pies
Codo	0,533	1,75
Tee	1,676	5,5

Fuente: elaboración propia, con base en información proporcionada por Productos del Aire.

3.5. Pérdidas de presión

Para cada uno de los sistemas de distribución de gases medicinales se calculará la caída de presión en cada tramo, por consecuencia se deberá de analizar cada uno de los tramos.

La presión inicial de sección corresponde a la presión existente al inicio de cada sección de la tubería, según la Norma NFPA 99 los sistemas de gases deben mantener la presión en un rango de 50-55 psi y los sistemas de vacío deben mantener la presión en un rango de 15-19 in Hg.

Para este diseño se estableció la presión inicial para las redes de oxígeno y aire en 55 PSI, y se estableció la presión inicial para la red de vacío en 19 in Hg.

Para cada tramo se debe indicar el flujo de sección, este corresponde al total de flujo según la cantidad de salidas que atraviesan ese tramo.

A continuación, se detalla un ejemplo del cálculo del flujo de sección.

Tabla XXI. Flujo de sección tramo T-1.0 red de vacío

Ubicación de salidas	Factor de uso simultaneo	Volumen (scfm)	Tomas requeridas	Salida de volumen (scfm)
Quirófano	100	3,5	3	10,5
Sala de recuperación	25	2	2	1,5
Sala de emergencias	10	2	7	7
			Consumo total del tramo	19,00

Fuente: elaboración propia.

Para cada tramo se estableció previamente el diámetro de la tubería en la sección 3.3, una vez establecido el flujo de sección del tramo y el diámetro de la

tubería, se procede a encontrar la caída de presión utilizando las tablas de pérdida de presión existente en cada 100 pies de tubería equivalente.

Las tablas que se utilizan para las caídas de presión se realizaron con base en el normativo NFPA 99, se utilizarán estas tablas debido a que se realizaron de manera práctica en las mismas circunstancias de utilización que se aplicarán en este proyecto, esto asegura obtener datos más exactos para cada una de las distintas redes de distribución de gases medicinales.

Cada uno de los sistemas de distribución de gases medicinales posee una pérdida de presión distinta dependiendo de qué gas se esté analizando. Obtenido el valor de la pérdida de presión se multiplica por la longitud equivalente y se obtendrá la caída de presión en cada tramo.

El valor obtenido se le resta a la presión inicial de sección para obtener la presión final de sección la cual debe tener como mínimo un valor de 50 PSI para el oxígeno y aire y un valor de 15 in Hg.

Para el vacío, la pérdida acumulada se obtendrá de la suma de la pérdida de presión del tramo más la pérdida acumulada del tramo anterior.

3.5.1. Red de oxígeno

Para cada tramo de la red de oxígeno, se obtendrán los valores de la pérdida de presión utilizando la siguiente tabla elaborada bajo los estándares de la normativa NFPA 99:

Tabla XXII. **Pérdida de presión de oxígeno por 100 pies (PSI)**

Flujo de oxígeno (Lpm)	Diámetro nominal de la tubería (pulgadas)								
	½	¾	1	1 ¼	1 ½	2	2 ½	3	4
50	0,04								
100	0,16								
125	0,25								
150	0,33	0,04							
175	0,48	0,06							
200	0,63	0,07							
250	0,99	0,11							
300	1,41	0,16	0,04						
400	2,51	0,29	0,07						
500	3,92	0,45	0,11						
750		1,02	0,24						
1 000		1,80	0,42	0,13	0,05				
1 250		2,81	0,66	0,21	0,09				
1 500			0,95	0,30	0,12				
2 000			1,05	0,67	0,22	0,05			
2 500				0,83	0,34	0,08			
3 000				1,19	0,49	0,11			
4 000				2,11	0,88	0,20	0,06		
5 000				3,30	1,36	0,32	0,10		
7 500					3,10	0,71	0,22	0,09	
10 000						1,27	0,40	0,16	
15 000						2,82	0,89	0,35	0,08
20 000						5,00	1,58	0,63	0,15
25 000							2,47	0,98	0,23
30 000							3,55	1,40	0,31
40 000								2,48	0,59
50 000								3,90	0,92

Fuente: FRANKEL, Michael. *Facility piping systems handbook*. p. 883.

Utilizando el diámetro, flujo de sección, longitud y los datos de la tabla anterior se procederá a obtener los valores de pérdida de presión, presión inicial de sección y la presión final de sección de todos los tramos de la red de oxígeno.

Tabla XXIII. Pérdidas de presión de la red de oxígeno

Tramo	Longitud (m)	Longitud efectiva	Flujo de sección	Diámetro	Presión inicial de sección	Pérdida de presión en tramo	Presión final de sección
	pies	pies	Lpm	Pulg.	PSI	PSI	PSI
T-0,0	106	118,5	870	1 1/4	55,000	0,092	54,908
T-1,0	24	31,25	450	3/4	54,908	0,119	54,789
T-2,0	11	16,5	240	1/2	54,789	0,163	54,626
T-2,1	45	66,25	60	1/2	54,626	0,050	54,576
T-2,2	7	10,5	30	1/2	54,576	0,003	54,573
T-3,0	12	17,5	180	1/2	54,626	0,100	54,526
T-3,1	41	62,25	60	1/2	54,526	0,047	54,479
T-3,2	16	24,75	30	1/2	54,479	0,007	54,472
T-4,0	21	26,5	120	1/2	54,526	0,072	54,455
T-4,1	34	55,25	60	1/2	54,455	0,042	54,413
T-4,2	17	25,75	30	1/2	54,413	0,008	54,405
T-4,3	51	74	60	1/2	54,455	0,056	54,399
T-4,4	21	29,75	30	1/2	54,399	0,009	54,390
T-5,0	62	76,25	210	3/4	54,789	0,066	54,724
T-5,1	28	37	120	1/2	54,724	0,100	54,624
T-5,2	7	14,25	90	1/2	54,624	0,023	54,601
T-5,3	9	16,25	60	1/2	54,601	0,012	54,589
T-5,4	9	12,5	30	1/2	54,589	0,004	54,585
T-5,5	32	41	90	1/2	54,724	0,066	54,658
T-5,6	8	15,25	60	1/2	54,658	0,012	54,647
T-5,7	8	11,5	30	1/2	54,647	0,003	54,643
T-6,0	77	93	420	1	54,908	0,071	54,838
T-7,0	6	11,5	120	1/2	54,838	0,031	54,806
T-7,1	17	27,75	60	1/2	54,806	0,021	54,785
T-7,2	8	11,5	30	1/2	54,785	0,003	54,782
T-7,3	46	58,5	60	1/2	54,806	0,044	54,762
T-7,4	8	11,5	30	1/2	54,762	0,003	54,759
T-8,0	12	17,5	300	1/2	54,838	0,263	54,575
T-8,1	23	33,75	60	1/2	54,575	0,026	54,549
T-8,2	8	11,5	30	1/2	54,549	0,003	54,546
T-9,0	6	11,5	240	1/2	54,575	0,114	54,461
T-9,1	17	27,75	60	1/2	54,461	0,021	54,440
T-9,2	8	11,5	30	1/2	54,440	0,003	54,437
T-10,0	27	32,5	180	1/2	54,461	0,185	54,276
T-10,1	17	27,75	60	1/2	54,276	0,021	54,255
T-10,2	8	11,5	30	1/2	54,255	0,003	54,251
T-11,0	12	19,25	120	1/2	54,276	0,052	54,224
T-11,1	14	21,25	60	1/2	54,224	0,016	54,208
T-11,2	7	10,5	30	1/2	54,208	0,003	54,205
T-11,3	23	32	60	1/2	54,224	0,024	54,200
T-11,4	20	30,5	30	1/2	54,200	0,009	54,190

Fuente: elaboración propia.

3.5.2. Red de aire

Para cada tramo de la red de aire, se obtendrán los valores de la pérdida de presión utilizando la siguiente tabla elaborada bajo los estándares de la normativa NFPA 99:

Tabla XXIV. Pérdida de presión de aire por 100 pies (psi)

Flujo de aire (scfm)	Diámetro nominal de la tubería (pulgadas)								
	½	¾	1	1 ¼	1 ½	2	2 ½	3	4
0,35	0,003								
0,71	0,006	0,002							
1,06	0,02	0,004							
1,41	0,032	0,006							
1,77	0,047	0,008							
2,12	0,064	0,011							
2,47	0,083	0,015							
2,83	0,105	0,019							
3,18	0,129	0,023							
3,53	0,155	0,028	0,008						
4,24	0,213	0,038	0,011						
4,94	0,279	0,049	0,014						
5,65	0,352	0,062	0,018						
6,36	0,433	0,076	0,022						
7,306	0,521	0,092	0,026						
7,77	0,616	0,108	0,031						
8,48	0,719	0,126	0,036						
9,18	0,828	0,145	0,041						
9,89	0,944	0,165	0,046						
10,59	1,067	0,187	0,052						
11,30	1,196	0,209	0,059						
12,01	1,332	0,233	0,065						
12,71	1,475	0,258	0,072						
13,42	1,624	0,283	0,079						
14,13	1,78	0,31	0,087	0,032					
15,89	2,196	0,382	0,107	0,039					
17,66	2,652	0,461	0,129	0,047					
19,42	3,146	0,546	0,152	0,056					

Continuación de la tabla XXIV.

21,19	3,677	0,637	0,178	0,065						
22,95	4,247	0,735	0,205	0,075						
24,72	4,853	0,839	0,234	0,086						
26,49		0,949	0,264	0,097						
28,25		1,065	0,296	0,108		0,047				
30,02		1,187	0,33	0,121		0,053				
31,78		1,315	0,365	0,134		0,058				
33,55		1,449	0,402	0,147		0,064				
35,31		1,589	0,441	0,161		0,07				
38,85		1,886	0,523	0,191		0,083				
42,38		2,206	0,611	0,223		0,097				
45,91		2,548	0,705	0,257		0,112				
49,44		2,913	0,806	0,293		0,128				
52,97		3,3	0,912	0,332		0,144				
56,50		3,709	1,024	0,373		0,162	0,043			
60,03		4,14	1,142	0,415		0,18	0,048			
63,57		4,592	1,266	0,46		0,2	0,053			
67,01		5,066	1,396	0,507		0,22	0,058			
70,63			1,532	0,556		0,241	0,064	0,02 3		
79,46			1,895	0,687		0,298	0,079	0,02 8		
88,29			2,293	0,831		0,36	0,095	0,03 4		
97,12			2,726	0,987		0,428	0,113	0,04		
105,9			3,193	1,155		0,5	0,132	0,04 7		
114,8			3,694	1,335		0,578	0,153	0,05 4		
123,6			4,228	1,527		0,66	0,174	0,06 2		
132,4			4,796	1,731		0,748	0,197	0,07		
141,3				1,946		0,841	0,222	0,07 8		
150,1				2,173		0,938	0,247	0,08 7		
158,9				2,411		1,041	0,274	0,09 7		
167,7				2,661		1,148	0,302	0,10 7		
176,6				2,922		1,26	0,331	0,11 7		

Continuación de la tabla XXIV.

194,2				3,477	1,499	0,394	0,13 9		
211,9				4,077	1,756	0,461	0,16 2	0,0 69	
229,6				4,721	2,032	0,533	0,18 8	0,0 8	
247,2					2,326	0,609	0,21 4	0,0 91	
264,9					2,638	0,691	0,24 3	0,1 03	
282,5					2,969	0,777	0,27 3	0,1 16	
300,2					3,318	0,867	0,30 5	0,1 29	0,0 33
317,8					3,684	0,962	0,33 8	0,1 43	0,0 37
335,5					4,069	1,062	0,37 3	0,1 58	0,0 41
353,2					4,471	1,166	0,40 9	0,1 73	0,0 45
370,8					4,89	1,275	0,44 7	0,1 89	0,0 49
388,5						1,388	0,48 6	0,2 06	0,0 53
406,1						1,505	0,52 7	0,2 23	0,0 57
423,8						1,627	0,57	0,2 41	0,0 62
459,1						1,884	0,65 9	0,2 79	0,0 72

Fuente: CARMONA, Zhurelly. *Rediseño de la red de aire grado médico para el hospital México.*
p. 110.

Utilizando el diámetro, flujo de sección, longitud y los datos de la tabla XVIII se procederá a obtener los valores de pérdida de presión, presión inicial de sección y la presión final de sección de todos los tramos de la red de aire.

Tabla XXV. Pérdidas de presión de la red de aire

Tramo	Longitud (m)	Longitud efectiva	Flujo de sección	Diámetro	Presión inicial de sección	Pérdida de presión en tramo	Presión final de sección
	Pies	Pies	scfm	Pulg.	PSI	PSI	PSI
T-0,0	106	118,5	3,90	1/2	55,000	0,252	54,748
T-1,0	24	31,25	3,90	1/2	54,748	0,067	54,681
T-2,0	11	16,5	2,50	1/2	54,681	0,017	54,664
T-2,1	45	66,25	1,00	1/2	54,664	0,013	54,650
T-2,2	7	10,5	0,50	1/2	54,650	0,001	54,650
T-3,0	12	17,5	1,50	1/2	54,664	0,008	54,655
T-3,1	41	62,25	0,50	1/2	54,655	0,004	54,652
T-3,2	16	24,75	0,50	1/2	54,652	0,001	54,650
T-4,0	21	26,5	1,00	1/2	54,655	0,005	54,650
T-4,1	34	55,25	0,50	1/2	54,650	0,003	54,647
T-4,2	17	25,75	0,50	1/2	54,647	0,002	54,645
T-4,3	51	74	0,50	1/2	54,650	0,004	54,646
T-4,4	21	29,75	0,50	1/2	54,646	0,002	54,644
T-5,0	62	76,25	1,40	1/2	54,681	0,024	54,657
T-5,1	28	37	0,80	1/2	54,657	0,007	54,649
T-5,2	7	14,25	0,60	1/2	54,649	0,001	54,648
T-5,3	9	16,25	0,40	1/2	54,648	0,001	54,647
T-5,4	9	12,5	0,20	1/2	54,647	0,000	54,647
T-5,5	32	41	0,60	1/2	54,657	0,002	54,654
T-5,6	8	15,25	0,40	1/2	54,654	0,001	54,653
T-5,7	8	11,5	0,20	1/2	54,653	0,000	54,653

Fuente: elaboración propia.

3.5.3. Red de vacío

Para cada tramo de la red de vacío, se obtendrán los valores de la pérdida de presión utilizando la siguiente tabla elaborada bajo los estándares de la normativa NFPA 99:

Tabla XXVI. **Pérdida de presión de vacío por 100 pies (in hg)**

Flujo de vacío (scfm)	Diámetro nominal de la tubería (pulgadas)							
	¾	1	1 ¼	1 ½	2	2 ½	3	4
1	0,08							
2	0,27	0,08						
3	0,53	0,15						
4	0,88	0,25	0,09					
5	1,3	0,36	0,14					
6	1,8	0,50	0,19					
7		0,65	0,24	0,11				
8		0,82	0,30	0,13				
9		1,01	0,37	0,16				
10		1,22	0,45	0,20				
15			0,91	0,40	0,11			
20				0,66	0,18			
25					0,26	0,09		
30					0,36	0,13		
35					0,47	0,17		
40						0,21	0,09	
45						0,26	0,11	
50						0,32	0,14	
60						0,44	0,19	
70							0,25	0,06
80							0,31	0,08
90								0,10
100								0,12
125								0,18
150								0,25
175								0,35
200								0,44

Fuente: FRANKEL, Michael. *Facility piping systems handbook*. p. 907.

Utilizando el diámetro, flujo de sección, longitud y los datos de la tabla XXI se procederá a obtener los valores de pérdida de presión, presión inicial de sección y la presión final de sección de todos los tramos de la red de vacío.

Tabla XXVII. Pérdidas de presión de la red de vacío

Tramo	Longitud (m)	Longitud efectiva	Flujo de sección		Diámetro	Presión inicial de sección		Pérdida de presión en tramo	Presión final de sección
	pies	pies	scfm	Pulg.	In Hg	In Hg	In Hg		
T-0,0	106	118,5	20,40	2 1/2	19,000	0,083	18,917		
T-1,0	24	31,25	19,00	1 1/2	18,917	0,216	18,701		
T-2,0	11	16,5	12,00	1 1/4	18,701	0,106	18,596		
T-2,1	45	66,25	1,50	3/4	18,596	0,172	18,424		
T-2,2	7	10,5	0,75	3/4	18,424	0,016	18,408		
T-3,0	12	17,5	10,50	1 1/4	18,596	0,089	18,507		
T-3,1	41	62,25	7,00	1 1/4	18,507	0,159	18,348		
T-3,2	16	24,75	3,50	3/4	18,348	0,252	18,095		
T-4,0	21	26,5	7,00	1	18,507	0,212	18,295		
T-4,1	34	55,25	3,50	1	18,295	0,144	18,151		
T-4,2	17	25,75	3,50	3/4	18,151	0,263	17,888		
T-4,3	51	74	3,50	1	18,295	0,192	18,102		
T-4,4	21	29,75	3,50	3/4	18,102	0,303	17,799		
T-5,0	62	76,25	7,00	1 1/4	18,701	0,194	18,507		
T-5,1	28	37	4,00	1	18,507	0,118	18,389		
T-5,2	7	14,25	3,00	3/4	18,389	0,114	18,275		
T-5,3	9	16,25	2,00	3/4	18,275	0,068	18,206		
T-5,4	9	12,5	1,00	3/4	18,206	0,020	18,186		
T-5,5	32	41	3,00	3/4	18,507	0,328	18,179		
T-5,6	8	15,25	2,00	3/4	18,179	0,064	18,115		
T-5,7	8	11,5	1,00	3/4	18,115	0,019	18,096		
T-6,0	77	93	1,40	3/4	18,917	0,222	18,695		
T-7,0	6	11,5	0,40	3/4	18,695	0,017	18,677		
T-7,1	17	27,75	0,20	3/4	18,677	0,042	18,635		
T-7,2	8	11,5	0,10	3/4	18,635	0,017	18,618		
T-7,3	46	58,5	0,20	3/4	18,677	0,089	18,588		
T-7,4	8	11,5	0,10	3/4	18,588	0,017	18,571		
T-8,0	12	17,5	1,00	3/4	18,695	0,028	18,667		
T-8,1	23	33,75	0,20	3/4	18,667	0,051	18,615		
T-8,2	8	11,5	0,10	3/4	18,615	0,017	18,598		
T-9,0	6	11,5	0,80	3/4	18,667	0,017	18,649		

Continuación de la tabla XXVII.

T-9,1	17	27,75	0,20	3/4	18,649	0,042	18,607
T-9,2	8	11,5	0,10	3/4	18,607	0,017	18,589
T-10,0	27	32,5	0,60	3/4	18,649	0,049	18,600
T-10,1	17	27,75	0,20	3/4	18,600	0,042	18,558
T-10,2	8	11,5	0,10	3/4	18,558	0,017	18,540
T-11,0	12	19,25	0,40	3/4	18,600	0,029	18,570
T-11,1	14	21,25	0,20	3/4	18,570	0,032	18,538
T-11,2	7	10,5	0,10	3/4	18,538	0,016	18,522
T-11,3	23	32	0,20	3/4	18,570	0,049	18,522
T-11,4	20	30,5	0,10	3/4	18,522	0,046	18,475

Fuente: elaboración propia.

3.6. Dispositivos generadores y de almacenamiento de gases médicos

Cada uno de los distintos gases médicos se deben generar y almacenar de manera distinta, dependiendo de las propiedades de cada uno, de ahí que los métodos, generación y almacenaje deben cumplir con los requisitos y especificaciones siguientes:

3.6.1. Cilindros para oxígeno

Existen dos formas de almacenar el oxígeno medicinal, mediante un banco de cilindros (*manifolds*), si el oxígeno se encuentra en estado gaseoso y mediante termos o tanques criogénicos si este está en estado líquido.

El oxígeno en estado gaseoso es utilizado en clínicas y hospitales con bajo consumo, garantizan suministro permanente de oxígeno hacia cualquier punto del establecimiento, elimina el traslado de los cilindros dentro del

ambiente hospitalario los sistemas de comando pueden ser semiautomáticos o manuales.

Figura 3. **Central de oxígeno a base de cilindros**



Fuente: Oxyman. *Central de oxígeno a base de cilindros.*

<https://www.oxyman.com.pe/asset/img/proyectos/manifoldd.jpg>. Consulta: junio de 2021.

Los gases o fluidos cuyo punto de ebullición se sitúa por debajo de los -100 grados centígrados se denomina criogénicos y se almacenan en estado líquido, generalmente el oxígeno líquido se encuentra en un rango de -182 a -185 grados centígrados, el oxígeno líquido se puede almacenar en termos y tanques criogénicos, los termos son cilindros de gran tamaño que se pueden movilizar, mientras que los tanques criogénicos son fijos de un mayor tamaño y mayor capacidad que los termos criogénicos.

Figura 4. Termo y tanque criogénico



Fuente: Relevancia Médica. *Termo y tanque criogénico*. <https://relevanciamedica.com/wp-content/uploads/2020/07/gases-medicinales8.jpg>. Consulta: junio de 2021.

Para establecer la capacidad de la central de oxígeno, se realizará de acuerdo con los criterios contenidos en la normativa NFPA 99.

La central con cilindros se deberá considerar para hospitales de hasta 150 tomas, que es equivalente a 2 bancadas de 15 cilindros cada una, con cambio de bancada diario.

La central con tanque de oxígeno líquido se considerará para hospitales mayores de 150 tomas, se deberá de considerar la ubicación de la instalación de un tanque y el abastecimiento en la localidad por parte de los proveedores, en caso contrario se deberá considerar la central con cilindros.

En la sección 3.2.1 se calculó el flujo total de la red de oxígeno según la normativa NFPA 99, se tiene que el flujo total de la red es de 870 litros por minuto.

Para la selección de la central de oxígeno se tomará las consideraciones anteriores, teniendo en cuenta que el proyecto cuenta únicamente con 29 tomas y los criterios indican que para los centros hospitalarios de hasta 150 tomas se debe seleccionar la central con cilindros, se optará por la central de cilindros con una bancada de 15 cilindros con cambio de bancada diario, para la implementación en este proyecto.

3.6.2. Compresores de aire médico

Existen dos opciones para el sistema de suministro de aire medicinal, que sería el sistema de aire comprimido en baterías de cilindros y el sistema de compresión y tratamiento de aire.

La opción de baterías de cilindros es empleada por aquellas instituciones que requieren de una baja demanda de aire medicinal. Su funcionamiento es similar al de las baterías de cilindros de oxígeno, en los casos donde la demanda es mediana o de gran flujo de aire, se deberá de seleccionar la segunda opción.

La ventaja fundamental de tener un sistema centralizado de aire mediante compresores es su bajo costo, pero deben tomarse una serie de consideraciones de las cuales dependerá la eficiencia del sistema.

Otra de las ventajas es que, al ser el aire fabricado en el sitio, se tiene un control más estricto de la calidad del aire obtenido, ya que pueden ser

seleccionadas, adecuadas y controladas las etapas de acondicionamiento y filtrado en el proceso de obtención del aire, como también manejar y controlar parámetros de importancia del sistema.

Cuando el aire medicinal es fabricado en el sitio, este es suministrado por compresores a pistón, pendulares o rotativos denominados compresores libres de aceite.

Actualmente, Productos del Aire trabajan en conjunto con la empresa Amico, una empresa responsable de diseñar, fabricar y comercializar una amplia gama de producto para los centros de atención médica, por consiguiente, se tomará como base su catálogo de compresores de aire en la selección de la fuente de suministro de aire.

En la sección 3.2.2 se calculó el flujo total de la red de aire según la normativa NFPA 99, se tiene que el flujo total de la red es de 3,9 scfm.

Es importante seleccionar el equipo adecuado con base en la carga máxima probable que se requiere en ciertos momentos, y se debe dar una tolerancia en cuanto a que pueden darse posteriores ampliaciones del sistema que, de efectuarlas, no afectaría el rendimiento del mismo.

El equipo de aire que se utilizará para la red de distribución de aire se seleccionará con base en el flujo total de la red, y el listado de compresores.

Tabla XXVIII. **Compresores recíprocos**

Modelo de sistema	Descripción	Caballos de fuerza	Capacidad del sistema SCFM	Btu/h cada bomba	Amps @ 208/460 V cada bomba	Nivel de ruido total (dB)	Dimensiones (in) L x W x H
A-RED-D-080P-TH-N-015	Duplex, 1,5 Hp	1,5	5,2	3 817,5	4,5/2,1	71	82 x 30 x 60
A-RED-D-120P-TH-N-020	Duplex, 2 Hp	2	7,6	5 090	6,7/3,2	71	82 x 33 x 60
A-RED-D-120P-TH-N-020	Duplex, 2 Hp	2	7,6	5 090	6,7/3,2	71	82 x 33 x 60
A-RED-D-120P-TH-N-030	Duplex, 3 Hp	3	10,1	6 871,5	10,8/4,6	71	82 x 33 x 60
A-RED-D-120P-TH-N-050	Duplex, 5 Hp	5	17,9	11 452,5	16,1/7,9	75	89 x 34 x 66
A-RED-D-120P-TH-N-050	Duplex, 5 Hp	5	17,9	11 452,5	16,1/7,9	75	89 x 34 x 66
A-RED-D-120P-SS-N-075	Duplex, 7,5 Hp	7.5	27,6	17 178,75	25,1/12,4	76	82 x 60 x 84
A-RED-D-120P-SS-N-100	Duplex, 10 Hp	10	35	22 905	34,3/15,5	76	82 x 60 x 84
A-RED-D-120P-SS-N-100	Duplex, 10 Hp	10	35	22 905	34,3/15,5	76	82 x 60 x 84
A-RED-D-120P-SS-N-150	Duplex, 15 Hp	15	53,5	34 357,5	46,6/23,3	79	82 x 60 x 84
A-RED-T-200P-SS-N-075	Triplex, 7.5 Hp	7.5	55.2	17 178.75	25.1/12,4	79	80 x 60 x 88
A-RED-T-200P-SS-N-150	Triplex, 15 Hp	15	107	34 357,5	46,6/23,3	82	80 x 60 x 88

Continuación de la tabla XXVIII.

A-RED-T-240P-SS-N-200	Triplex, 20 Hp	20	130,2	45810	63,7/28,8	84	118 x 70 x 94
A-REN-Q-200P-SS-N-150	Quad, 15 Hp	15	160,5	34 357,5	46,6/23,3	84	80 x 60 x 88
A-REN-Q-200P-SS-N-200	Quad, 20 Hp	20	195,3	45 810	63,7/28,8	86	118 x 70 x 94

Fuente: elaboración propia, con base en información proporcionada por Productos del Aire S.A.

Tabla XXIX. Compresores de desplazamiento

Modelo de sistema	Descripción	Caballos de fuerza	Capacidad del sistema SCFM	Btu/h cada bomba	Amps @ 208/460 V cada bomba	Nivel de ruido total (dB)	Dimensiones (in) L x W x H
A-SCD-D-080P-SS-N-020	Duplex, 2 Hp	2	6,7	4 581	6,7/3,2	59	47,5 x 34 x 72
A-SCD-D-080P-SS-N-030	Duplex, 3 Hp	3	9,7	6 871,5	10/4,6	59	47,5 x 34 x 72
A-SCD-D-080P-SS-N-050	Duplex, 5 Hp	5	16,1	11 452,5	15,8/7,4	59	47,5 x 34 x 72
A-SCD-T-120P-SS-N-050	Triplex, 5 Hp	5	32,2	11 452,5	15,8/7,4	62	58 x 49 x 88
A-SCD-T-120P-SS-N-050	Triplex, 5 Hp	5	32,2	11 452,5	15,8/7,4	62	58 x 49 x 88
A-SCD-Q-120P-SS-N-050	Quad, 5 Hp	5	48,3	11 452,5	15,8/7,4	64	72 x 44 x 88

Fuente: elaboración propia, con base en información proporcionada por Productos del Aire S.A.

Se tiene que el flujo total de la red es de 3,9 scfm, utilizando las tablas XXII, XXII, se procede a seleccionar un compresor reciprocante y un compresor de desplazamiento como alternativa para el sistema de aire.

Por ello el compresor reciprocante seleccionado será el modelo a-red-D-120P-TH-N-020 duplex, 2 Hp, y el compresor de desplazamiento como alternativa será el modelo A-SCD-D-080P-SS-N-020 duplex, 2 Hp.

3.6.3. Bomba de vacío

La producción de vacío forma parte de la instalación de gases medicinales y las exigencias y consideraciones que se deben tener en cuenta no difieren a la de los gases ya tratados. Si bien en algunas instituciones de salud se emplean motores eléctricos succionadores que crean vacío y que tienen la ventaja de instalarlos fácilmente, actualmente se tiende a generar el vacío desde la central de gases con el objetivo de centralizar el sistema y evitar los riesgos a los que se expone el paciente y el operador que manipula motores eléctricos de vacío.

Actualmente productos del aire trabajan en conjunto con la empresa Amico, una empresa responsable de diseñar, fabrica y comercializar una amplia gama de producto para los centros de atención médica, en consecuencia, se tomará como base su catálogo de bombas de vacío en la selección de la fuente de suministro de vacío.

En la sección 3.2.3 se calculó el flujo total de la red de vacío según la normativa NFPA 99, se tiene que el flujo total de la red es de 20,4 scfm.

Es importante seleccionar el equipo adecuado con base en la carga máxima probable que se requiere en ciertos momentos, y se debe dar una tolerancia en cuanto a que pueden darse posteriores ampliaciones del sistema que, de efectuarlas, no afectaría el rendimiento del mismo.

El equipo de aire que se utilizará para la red de distribución de aire se seleccionará con base en el flujo total de la red, y el listado de bombas de vacío.

Tabla XXX. **Bomba de vacío, paletas lubricadas**

Modelo de sistema	Descripción	Caballos de fuerza	Capacidad del sistema SCFM	Btu/h cada bomba	Amps @ 208/460 V cada bomba	Nivel de ruido total (dB)	Dimensiones (in) L x W x H
V-RVL-D-080P-TS-N-010	Duplex, 1 Hp	1	5,1	2 040	3,5/1,6	58	34 x 38 x 68
V-RVL-D-080P-TS-N-015	Duplex, 1,5 Hp	1,5	7,4	3 050	5,3/2,5	59	34 x 38 x 68
V-RVL-D-120P-TS-N-020	Duplex, 2 Hp	2	12,4	45 80	6,5/3,1	63	44 x 44 x 70
V-RVL-D-120P-TS-N-030	Duplex, 3 Hp	3	17,3	6 870	8,5/4,1	65	44 x 44 x 70
V-RVL-D-120P-TS-N-050	Duplex, 5 Hp	5	27,5	11 450	15,0/6,0	69	44 x 45 x 73
V-RVL-D-120P-TS-N-050	Duplex, 5 Hp	5	37,3	12 090	15,0/6,0	71	44 x 45 x 73
V-RVL-D-200P-TS-N-075	Duplex, 7,5 Hp	7,5	49,3	15 270	22,8/11,0	73	57 x 50 x 82
V-RVL-D-200P-TS-N-100	Duplex, 10 Hp	10	73,1	20 360	28,0/13,0	76	57 x 50 x 82
V-RVL-T-200P-SS-N-075	Triplex, 7,5 Hp	7,5	98,6	15 270	22,8/11,0	76	62 x 52 x 86
V-RVL-T-200P-SS-N-100	Triplex, 10 Hp	10	146,2	20 360	28,0/13,0	79	62 x 52 x 86
V-RVL-Q-200P-SS-N-100	Quad, 10 Hp	10	219,3	20 360	28,0/13,0	81	100 x 52 x 86
V-RVL-T-200P-SS-N-250	Triplex, 25 Hp	25	350,4	50 900	69/34,5	83	132 x 75 x 86
V-RVL-Q-200P-SS-N-200	Quad, 20 Hp	20	416,1	40 720	54/27	82	132 x 75 x 86
V-RVLQ-200P-SS-N-250	Quad, 25 Hp	25	525,6	50 900	69/34,5	85	132 x 75 x 86

Fuente: elaboración propia, con base en información proporcionada por
Productos del Aire S.A.

Tabla XXXI. **Bombas de vacío, paletas secas**

Modelo de sistema	Descripción	Caballos de fuerza	Capacidad del sistema SCFM	Btu/h cada bomba	Amps @ 208/460 V cada bomba	Nivel de ruido total (dB)	Dimensiones (in) L x W x H
V-RVD-D-080P-TS-N-010	Duplex, 1 Hp	1	3	2 040	3,9/2,25	64	32 x 38 x 67
V-RVD-D-080P-TS-N-015	Duplex, 1,5 Hp	2	4,8	3 050	6/3,5	67	32 x 38 x 67
V-RVD-D-080P-TS-N-020	Duplex, 2 Hp	2	8,1	4 070	6,9/3,6	72	32 x 38 x 67
V-RVD-D-080P-TS-N-030	Duplex, 3 Hp	3	12	6 110	8,8/4,8	76	34 x 39 x 78
V-RVD-D-120P-TS-N-050	Duplex, 5 Hp	5	21,2	10 180	14,2/6,4	77	44 x 44 x 72
V-RVD-D-120P-TS-N-075	Duplex, 7,5 Hp	8	29	15 270	20,1/9,7	79	43 x 45 x 83
V-RVD-D-200P-SS-N-100	Duplex, 10 Hp	10	55,2	22 910	29,4/15,3	78	62 x 52 x 86
V-RVD-T-200P-SS-N-100	Triplex, 10 Hp	10	110,4	22 910	29,4/15,3	81	62 x 52 x 96
V-RVD-Q-200P-SS-N-100	Quad, 10 Hp	10	165,6	22 910	29,4/15,3	83	94 x 62 x 86

Fuente: elaboración propia, con base en información proporcionada por
Productos del Aire S.A.

Se tiene que el flujo total de la red es de 20,40 scfm, utilizando las tablas XXIV, XXV, se procede a seleccionar una bomba de vacío de paletas lubricadas y una bomba de vacío de paletas secas como alternativa para el sistema de vacío.

Por ello la bomba de paletas lubricadas seleccionada será el modelo V-RVL-D-120P-TS-N-050 Duplex, 5 Hp, y la bomba de vacío de paletas secas como alternativa será el modelo V-RVD-D-120P-TS-N-075 Duplex, 7,5 Hp.

3.7. Inventario

Esta sección se encuentra enfocada en proporcionar la información general de los materiales y el costo de cada uno de los sistemas de distribución de gases medicinales, con la finalidad de establecer un presupuesto preliminar de la implementación del proyecto, para esta sección se utilizará la información proporcionada en el proyecto Hospital Inter vida San Mateo Quetzaltenango.

La información utilizada en este apartado se encuentra en la hoja de cálculo denominada Inventario.

3.7.1. Materiales

Para la cuantificación de materiales en este proyecto, únicamente se tomarán en cuenta, la cantidad de tomas, las tuberías y los accesorios, en este caso los codos y las tees.

Para las redes de distribución de gases medicinales se analizó cada uno de sus tramos previamente, por eso para cada uno de los tramos se solicitó el ingreso de los datos de longitud de la tubería, cantidad de accesorios en el tramo y la cantidad total de tomas de cada una de las redes de distribución, debido a que todo se encuentra dentro del mismo programa se puede acceder a esa información de una manera muy sencilla.

Utilizando esta información se procede a cuantificar la cantidad de tubería, codos y tees para cada uno de los sistemas de distribución, separando cada uno de estos materiales dependiendo su diámetro, debido a que en cada tramo se establece un diámetro se distribuirán los materiales utilizando esta información.

Tabla XXXII. **Material red de oxígeno**

Diámetro (pulg)	Longitud de tubería (pies)	Cantidad de codos	Cantidad de tees
1/2	664	103	24
3/4	86	6	2
1	77	6	1
1 1/4	106	4	1
1 1/2	0	0	0
2	0	0	0
2 1/2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. **Material red de aire**

Diámetro (pulg)	Longitud de tubería (pies)	Cantidad de codos	Cantidad de tees
1/2	569	75	15
3/4	0	0	0
1	0	0	0
1 1/4	0	0	0
1 1/2	0	0	0
2	0	0	0
2 1/2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. **Material red de vacío**

Diámetro (pulg)	Longitud de tubería (pies)	Cantidad de codos	Cantidad de tees
3/4	543	79	18
1	134	21	4
1 1/4	126	14	4
1 1/2	24	1	1
2	0	0	0
2 1/2	106	4	1
3	0	0	0
4	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

Debido a que la normativa NFPA 99 establece que el diámetro de la tubería a utilizar para las tomas de los sistemas de distribución de gases medicinales no puede tener un tamaño menor a DN 15 (NPS 1/2”), de ahí que se cuantificaran de manera separa para cada red de distribución.

Tabla XXXV. **Tomas red de oxígeno**

Diámetro (pulg)	Número de tomas	Longitud de tubería (pies)
1/2	29	203

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. **Tomas red de aire**

Diámetro (pulg)	Número de tomas	Longitud de tubería (pies)
1/2	12	84

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVII. **Tomas red de vacío**

Diámetro (pulg)	Número de tomas	Longitud de tubería (pies)
1/2	26	182

Fuente: elaboración propia.

Estos datos dependerán de la información ingresada en el programa, debido a que, para la generación de estos datos el programa toma la información ingresada en cada tramo de las distintas redes de distribución, por lo que esta información varía dependiendo del proyecto que se diseñe.

3.7.2. Costos

El análisis de costos sirve para determinar los recursos económicos necesarios para llevar a cabo el proyecto, para efecto de este análisis se tomarán en cuenta únicamente la cantidad de tomas, las tuberías y los accesorios, en este caso los codos y las tees.

En la sección anterior se realizó la cuantificación de los materiales a utilizar para cada una de las redes de distribución, esta información será utilizada para realizar el análisis de costos, los costos de los materiales que se utilizarán para el siguiente análisis, no son los costos reales de los materiales, se utilizan costos ficticios únicamente con la finalidad de ejemplificar la variación entre los costos de la implementación del proyecto mediante el método antiguo de cálculo y el nuevo método de cálculo.

Tabla XXXVIII. **Costos de los materiales**

Diámetro (pulg)	Longitud de tubería (pies)	Codos	Tees	Tomas
1/2	Q 70,00	Q 0,70	Q 1,22	Q 98,52
3/4	Q 85,00	Q 1,65	Q 3,21	
1	Q 90,00	Q 3,43	Q 7,87	
1 1/4	Q 96,00	Q 4,90	Q 17,68	
1 1/2	Q 100,00	Q 6,71	Q 17,86	
2	Q 115,00	Q 16,63	Q 23,54	
2 1/2	Q 120,00	Q 20,00	Q 25,50	
3	Q 125,00	Q 22,40	Q 28,90	
4	Q 130,00	Q 25,50	Q 31,50	

Fuente: elaboración propia.

Utilizando el costo de los materiales y la cantidad de materiales, se procede a calcular el costo total de la implementación de cada red de distribución.

Tabla XXXIX. **Costos de los materiales de la red de oxígeno**

Diámetro (pulg)	Costos de tubería	Costos de codos	Costos de tees
1/2	Q 46 480,00	Q 72,10	Q 29,28
3/4	Q 7 310,00	Q 9,90	Q 6,42
1	Q 6 930,00	Q 20,58	Q 7,87
1 1/4	Q 10 176,00	Q 19,60	Q 17,68
1 1/2	Q 0,00	Q 0,00	Q 0,00
2	Q 0,00	Q 0,00	Q 0,00
2 1/2	Q 0,00	Q 0,00	Q 0,00
3	Q 0,00	Q 0,00	Q 0,00
4	Q 0,00	Q 0,00	Q 0,00
Total	Q 70 896,00	Q 122,18	Q 61,25

Fuente: elaboración propia.

Tabla XL. **Costos de las tomas de la red de oxígeno**

Diámetro (pulg)	Número de tomas	Costo total de tomas	Longitud de tubería (pies)	Costo total de tubería
1/2	29	Q 2 857,08	203	Q 14 210,00

Fuente: elaboración propia.

Sumando los costos totales de cada uno de los materiales a utilizar para la red de oxígeno, se obtiene que el costo estimado es de Q 88 146,51 para la implementación de la red de oxígeno.

Tabla XLI. **Costos de los materiales de la red de aire**

Diámetro (pulg)	Costos de tubería	Costos de codos	Costos de tees
1/2	Q 39 830,00	Q 52,50	Q 18,30
3/4	Q 0,00	Q 0,00	Q 0,00
1	Q 0,00	Q 0,00	Q 0,00
1 1/4	Q 0,00	Q 0,00	Q 0,00
1 1/2	Q 0,00	Q 0,00	Q 0,00
2	Q 0,00	Q 0,00	Q 0,00
2 1/2	Q 0,00	Q 0,00	Q 0,00
3	Q 0,00	Q 0,00	Q 0,00
4	Q 0,00	Q 0,00	Q 0,00
Total	Q 39 830,00	Q 52,50	Q 18,30

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLII. **Costos de las tomas de la red de aire**

Diámetro (pulg)	Número de tomas	Costo total de tomas	Longitud de tubería (pies)	Costo total de tubería
1/2	12	Q 1 182,24	84	Q 5 880,00

Fuente: elaboración propia.

Sumando los costos totales de cada uno de los materiales a utilizar para la red de aire, se obtiene que el costo estimado es de Q 46 963,04 para la implementación de la red de aire.

Tabla XLIII. **Costos de los materiales de la red de vacío**

Diámetro (pulg)	Costos de tubería	Costos de codos	Costos de tees
3/4	Q 11 390,00	Q 34,65	Q 12,84
1	Q 11 340,00	Q 48,02	Q 31,48
1 1/4	Q 2 304,00	Q 4,90	Q 17,68
1 1/2	Q 0,00	Q 0,00	Q 0,00
2	Q 12 190,00	Q 66,52	Q 23,54
2 1/2	Q 0,00	Q 0,00	Q 0,00
3	Q 0,00	Q 0,00	Q 0,00
4	Q 0,00	Q 0,00	Q 0,00
Total	Q 37 224,00	Q 154,09	Q 8,54

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIV. **Costos de las tomas de la red de vacío**

Diámetro (pulg)	Número de tomas	Costo total de tomas	Longitud de tubería (pies)	Costo total de tubería
1/2	26	Q 2 561,52	182	Q 12 740,00

Fuente: elaboración propia.

Sumando los costos totales de cada uno de los materiales a utilizar para la red de vacío, se obtiene que el costo estimado es de Q 52 765,15 para la implementación de la red de vacío.

Utilizando la información de los costos estimados para cada una de las redes de distribución de gases medicinales, se calcula que el costo estimado es de Q 187 874,70 para la implementación de todo el proyecto.

Al utilizar los programas y datos originales de la empresa para el cálculo de tuberías de distribución de gases medicinales, se obtiene los siguientes costos para cada una de las redes.

Para la red de oxígeno se calcula un costo estimado de Q 88 250,87, para la red de aire se calcula un costo estimado de Q 50 875,71 y para la red de vacío se estima un costo de Q 56 224,62, por ello el costo estimado para la implementación de todo el proyecto es de Q 195 351,20, esto representa una diferencia de Q 7 476,50 entre los costos estimados de la utilización de los diferentes programas, esto representa un 3,83 % en la reducción de los costos con la implementación del nuevo programa para el cálculo de tuberías de distribución de gases medicinales.

4. FASE DE DOCENCIA

La finalidad de esta sección es capacitar al personal encargado del manejo e ingreso de datos dentro del programa, capacitando al operador para poder interpretar de la mejor manera los resultados obtenidos.

4.1. Importancia del manejo y utilización de los datos

El manejo y utilización de los datos es de gran relevancia para cualquier proyecto, por consiguiente, al momento de utilizar y manejar los datos, se debe tener el conocimiento de donde provienen dichos datos y para qué se utilizan dentro del entorno, también se debe tener el conocimiento de la metodología para el ingreso de los datos, si no se posee este conocimiento se puede llegar a utilizar los datos de una manera errónea lo cual entorpecería el proceso y no se obtendrá el resultado deseado para el proyecto.

4.2. Ingreso de datos al programa

El ingreso de datos en el programa dependerá de la red de distribución que se esté analizando, pero el formato de ingreso de ciertos datos es el mismo para todas las redes de distribución, a continuación, se especificara cada uno de los métodos de ingreso de datos.

El ingreso de los datos para las hojas de cálculo oxígeno, aire y vacío, en su mayoría es similar, únicamente existe la variación del ingreso de los datos para las cantidades de tomas en cada tramo, esto se especificará más a detalle en las siguientes descripciones.

- Ingreso de datos para las hojas de cálculo oxígeno, aire, vacío
 - Ingreso de sección

Cada sección tendrá un nombre distinto, las secciones se nombrarán con números, no con letras, se debe de ingresar el valor numérico con el que se desea nombrar a la sección, en la columna de sección únicamente se debe de ingresar el valor numérico, el programa auto completará el nombre de la sección con el siguiente formato “T-#. #”.

Figura 5. **Columna sección**

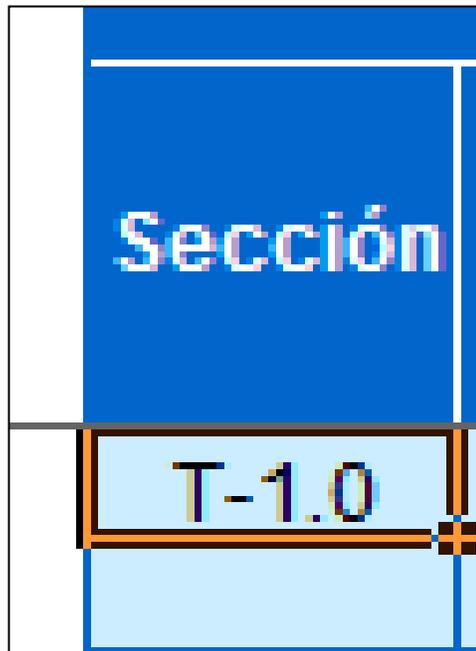


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

- Ejemplo ingreso de sección

Se desea nombrar a la sección como 1, se procede a ingresar el nombre deseado en la columna sección, posteriormente cuando se presiona ENTER el programa autocompletara el nombre como T-1.0.

Figura 6. **Ejemplo columna sección**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

- Ingreso de sección anterior

En cada tramo se deberá ingresar el dato de la sección de la cual proviene el flujo que ingresa al tramo que se está analizando, este dato debe de llenarse con el nombre de un tramo previamente nombrado, de no ser así, el programa no funcionará correctamente al momento de hacer los cálculos posteriores, las secciones anteriores se nombrarán con números, no con letras, se debe de

ingresar el valor numérico con el que se desea nombrar a la sección anterior, en la columna de sección anterior únicamente se debe de ingresar el valor numérico, el programa autocompletara el nombre de la sección con el siguiente formato: T-#.#.

Figura 7. **Columna sección anterior**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

- Ejemplo ingreso de sección anterior

Se desea nombrar a la sección como 0, se procede a ingresar el nombre deseado en la columna Sección Anterior, posteriormente cuando se presiona Enter el programa autocompletara el nombre como T-0,0.

Figura 8. **Ejemplo columna sección anterior**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

- Ingreso de longitud

En cada tramo se ingresará la longitud del tramo de la sección a analizar, esta longitud debe de ser ingresada con dimensional de Pies, y debe de ser un valor numérico entero, en la columna de longitud.

Figura 9. **Columna longitud**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

- Ingreso de codos

En cada tramo se ingresará la cantidad de codos que se utilizaran en la sección a analizar, el valor ingresado debe de ser un valor numérico entero, en la columna de codos.

Figura 10. **Columna codos**

Accesorios	
Codos	Te

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

- Ingreso de *tees*

En cada tramo se ingresará la cantidad de *tees* que se utilizarán en la sección a analizar, el valor ingresado debe de ser un valor numérico entero, en la columna de Te. Normalmente este dato es únicamente el valor de 1, debido a que cuando se coloca la Te, posteriormente se crea un tramo distinto.

Figura 11. **Columna tees**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

- Ingreso de ubicaciones de salidas para aire y vacío

En esta sección se debe seleccionar los servicios que se utilizarán en el tramo que se está analizando, para selección los servicios que se utilizarán en el tramo se presiona el botón desplegar servicios ubicado en la columna de ubicaciones de salidas.

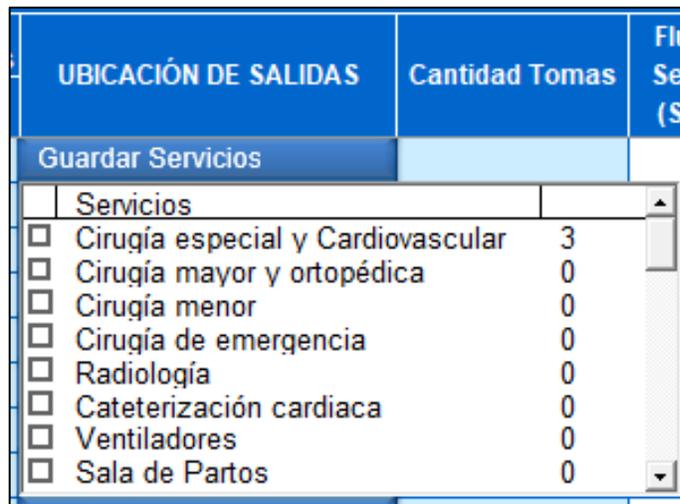
Figura 12. **Columna de ubicaciones de servicios**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

Al momento de presionar el botón desplegar servicios, aparecerá un listado que contiene todos los servicios que se utilizan para el aire médico. El botón desplegar servicios cambia a ser el botón de guardar servicios.

Figura 13. **Listado de servicios**



UBICACIÓN DE SALIDAS	Cantidad Tomas	Flu Se (S
Guardar Servicios		
Servicios		
<input type="checkbox"/> Cirugía especial y Cardiovascular	3	
<input type="checkbox"/> Cirugía mayor y ortopédica	0	
<input type="checkbox"/> Cirugía menor	0	
<input type="checkbox"/> Cirugía de emergencia	0	
<input type="checkbox"/> Radiología	0	
<input type="checkbox"/> Cateterización cardiaca	0	
<input type="checkbox"/> Ventiladores	0	
<input type="checkbox"/> Sala de Partos	0	

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

Se observará un listado con dos columnas, la primera columna contiene los servicios que se utilizan en el aire médico, la segunda columna indica la cantidad tomas totales requeridas para el sistema que se está analizando, posteriormente se seleccionan los servicios que se utilizaran en el tramo que se está analizando, por ejemplo en el tramo a analizar se utilizará el servicio de cirugía especial, se selecciona el servicio y se procede a presionar el botón guardar servicios para que se guarde la selección.

Figura 14. Selección de servicios

UBICACIÓN DE SALIDAS	Cantidad Tomas	Fluj Sec (SC)
Guardar Servicios		
Servicios		
<input checked="" type="checkbox"/> Cirugía especial y Cardiovascular	3	
<input type="checkbox"/> Cirugía mayor y ortopédica	0	
<input type="checkbox"/> Cirugía menor	0	
<input type="checkbox"/> Cirugía de emergencia	0	
<input type="checkbox"/> Radiología	0	
<input type="checkbox"/> Cateterización cardiaca	0	
<input type="checkbox"/> Ventiladores	0	
<input type="checkbox"/> Sala de Partos	0	
Desplegar Servicios		

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

- Ingreso de cantidad de tomas para oxígeno

En cada tramo se ingresará la cantidad de tomas, es necesario obtener el valor de las tomas debido a que, dependiendo de la cantidad de tomas, el flujo en el tramo varía, por eso es importante ingresar ese valor en la sección a

analizar, el valor ingresado debe de ser un valor numérico entero, en la columna de cantidad de tomas.

Figura 15. **Columna cantidad de tomas de oxígeno**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

- Ingreso de cantidad de tomas para aire y vacío:

La cantidad de tomas en cada tramo dependerá de los servicios que se utilizaran en cada tramo, seleccionados en la sección anterior ubicaciones de salidas.

- Ejemplo 1

Si en la sección anterior únicamente se selecciona un servicio, por ejemplo, el servicio de cirugía especial y cardiovascular, y en el tramo se

utilizarán todas las tomas indicadas en el servicio, en este caso se utilizará 3 tomas para el tramo analizado, se procede a dejar en blanco la columna de cantidad de tomas, esto indica que se utilizará todas las tomas del servicio seleccionado en la sección anterior.

Figura 16. **Ejemplo 1, cantidad de tomas servicio de aire y vacío**

UBICACIÓN DE SALIDAS	Cantidad Tomas	Fluj Sec (SO
Guardar Servicios		
Servicios		
<input checked="" type="checkbox"/> Cirugía especial y Cardiovascular	3	
<input type="checkbox"/> Cirugía mayor y ortopédica	0	
<input type="checkbox"/> Cirugía menor	0	
<input type="checkbox"/> Cirugía de emergencia	0	
<input type="checkbox"/> Radiología	0	
<input type="checkbox"/> Cateterización cardiaca	0	
<input type="checkbox"/> Ventiladores	0	
<input type="checkbox"/> Sala de Partos	0	

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

- **Ejemplo 2**

Si en la sección anterior únicamente se selecciona un servicio, por ejemplo, el servicio de cirugía especial y cardiovascular, y en el tramo se utilizarán únicamente 2 tomas del servicio seleccionado, en este caso el servicio posee 3 tomas en total, esto indica que no se utilizarán todas las tomas del servicio seleccionado, en este caso se procede a colocar la cantidad de tomas a utilizar del servicio seleccionado en la columna de cantidad de tomas, en este caso se coloca el número 2. Esto indica al programa que el flujo en ese tramo

no es el flujo de 3 tomas, sino de 2 tomas, que es la cantidad de tomas que se seleccionó para este ejemplo.

Figura 17. **Ejemplo 2, cantidad de tomas servicio de aire y vacío.**

UBICACIÓN DE SALIDAS		Cantidad Tomas	Flu Sev (S)
Guardar Servicios		2	
Servicios			
<input checked="" type="checkbox"/>	Cirugía especial y Cardiovascular	3	
<input type="checkbox"/>	Cirugía mayor y ortopédica	0	
<input type="checkbox"/>	Cirugía menor	0	
<input type="checkbox"/>	Cirugía de emergencia	0	
<input type="checkbox"/>	Radiología	0	
<input type="checkbox"/>	Cateterización cardiaca	0	
<input type="checkbox"/>	Ventiladores	0	
<input type="checkbox"/>	Sala de Partos	0	
Desplegar Servicios			

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

- **Ejemplo 3**

Si en la sección anterior se seleccionan dos o más servicios para el tramo que se analizará, por ejemplo, los servicios de cirugía especial, cirugía menor y radiología, pero de los 2 primeros servicios si se utilizarán todas las tomas indicadas en esos servicios y en el último servicio se utilizará una toma, se debe de ingresar la cantidad de tomas de la siguiente manera en la sección de cantidad de tomas.

Figura 18. **Ejemplo 3, cantidad de tomas servicio aire y vacío**

UBICACIÓN DE SALIDAS		Cantidad Tomas	Flu Se (S
Guardar Servicios		3;2;1;	
Servicios			
<input checked="" type="checkbox"/>	Cirugía especial y Cardiovascular	3	
<input type="checkbox"/>	Cirugía mayor y ortopédica	0	
<input checked="" type="checkbox"/>	Cirugía menor	2	
<input type="checkbox"/>	Cirugía de emergencia	0	
<input checked="" type="checkbox"/>	Radiología	2	
<input type="checkbox"/>	Cateterización cardiaca	0	
<input type="checkbox"/>	Ventiladores	0	
<input type="checkbox"/>	Sala de Partos	0	

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

Se debe de colocar los números con el siguiente formato: #; #; #; separando la cantidad de tomas por punto y coma para cada servicio, terminando siempre con punto y coma al ingresar los datos, tomando en cuenta que la cantidad de tomas se asociará en el orden en el que se ingresan los datos, por ejemplo, el primer valor ingresado en la sección cantidad de Tomás que en este caso es 3, se asociará al primer servicio seleccionado en el listado de la sección ubicación de salidas.

Para este ejemplo en concreto es el servicio de cirugía especial, el segundo dato en este caso 2 se asociará al segundo servicio seleccionado, en este caso el servicio de cirugía menor, el tercer dato que en este caso es 1, se asociará al tercer servicio seleccionado, en este caso el servicio de radiología, si la selección de servicios en la sección de ubicación de salidas cambia, también cambiará la asociación de la cantidad de tomas a cada servicio.

En este caso si se cambia el primer servicio que es cirugía especial, al servicio de cirugía mayor, se cambiará la asociación de la cantidad de tomas a ese servicio, en este caso el primer dato de la sección de cantidad de tomas se asociará al primer servicio seleccionado, en este caso cirugía mayor, y los demás datos seguirán asociados a los servicios mencionados anteriormente.

- Hoja de cálculo SCFM Aire
 - Ingreso de unidades requeridas

En esta sección solamente se solicita un tipo de dato para el sistema de aire médico, se debe de ingresar las unidades requeridas por cada uno de los servicios que se utilizarán en el sistema de aire médico.

- Ejemplo Ingreso de unidades requeridas

Ubicado en la hoja SCFM aire se presenta en pantalla la siguiente información.

Tabla XLV. Vista general de unidades requeridas

		Proyecto:	HOSPITAL INTERVIDA SAN MATEO QUETZALTENANGO			
		No. Proyecto:	2021-019DI5			
INGRESE LOS DATOS REQUERIDOS EN LAS ÁREAS SOMBRADAS EN AZUL						
VACÍO - Método NFPA						
UBICACIÓN DE SALIDAS		Unidades Requeridas	Unidades	Salida CFM	% de Uso Simultáneo	Salida CFM
Ubicaciones con Anestesia						
1	Quirofano		Habitación(es)	3,5	100	
2	Cistoscopia		Habitación(es)	2	100	
3	Sala de Parto		Habitación(es)	1	100	
4	Procedimiento Especial.(Corazón abierto, Transplante, etc.)		Habitación(es)	4	100	
5	Sala de Emergencias/ Trauma mayor		Habitación(es)	3	100	
6	Otro Lugar de Anestesia		Habitación(es)	1	50	
7	Vacío de Evacuación		Habitación(es)	1	100	
Ubicación de Cuidados Intensivos (Sin Anestesia)						
1	Sala de Recuperación		Cama(s)	1,5	50	
2	U.C.I (Excepto Cardíaco)		Cama(s)	2	75	
3	U.C.I Cardíaco		Cama(s)	1	50	
4	Sala de Emergencias		Cama(s)	1	100	
5	Procedimientos Especiales (Rayos-X, diálisis, etc.)		Habitación(es)	1,5	30	
6	Laboratorio de Cateterismo		Habitación(es)	1	10	
7	Sala de Escisión Quirúrgica		Habitación(es)	1	10	
8	U.C.I, Neonatal		Cama(s)	1	50	

Fuente: elaboración propia, con base en información proporcionada por Productos del Aire S.A.

Se presenta la información de distintos servicios utilizados en el sistema de aire médico, ubicado en la columna de unidades requeridas, se procede a ingresar la cantidad de tomas totales de cada servicio que se utilizará en el sistema de aire, por ejemplo se utilizarán 3 tomas en cirugía especial, 2 tomas en sala de recuperación y 7 tomas en sala de emergencias, se procede a ingresar los valores numéricos en cada uno de los servicios, dejando en blanco los servicios que no se utilizarán en este sistema de aire médico.

Tabla XLVI. Ingreso de unidades requeridas

		Proyecto:	HOSPITAL INTERVIDA SAN MATEO QUETZALTENANGO			
		No. Proyecto:	2021-019DI5			
INGRESE LOS DATOS REQUERIDOS EN LAS ÁREAS SOMBREADAS EN AZUL						
VACÍO - Método NFPA						
UBICACIÓN DE SALIDAS		Unidades Requeridas	Unidades	Salida CFM	% de Uso Simultáne	Salida CFM
Ubicaciones con Anestesia						
1	Quirofano	3	Habitación(es)	3,5	100	10,5
2	Cistoscopia		Habitación(es)	2	100	
3	Sala de Parto		Habitación(es)	1	100	
4	Procedimiento Especial.(Corazón abierto, Transplante, etc.)		Habitación(es)	4	100	
5	Sala de Emergencias/ Trauma mayor		Habitación(es)	3	100	
6	Otro Lugar de Anestesia		Habitación(es)	1	50	
7	Vacío de Evacuación		Habitación(es)	1	100	
Ubicación de Cuidados Intensivos (Sin Anestesia)						
1	Sala de Recuperación	2	Cama(s)	1,5	50	1,5
2	U.C.I (Excepto Cardíaco)		Cama(s)	2	75	
3	U.C.I Cardíaco		Cama(s)	1	50	
4	Sala de Emergencias	7	Cama(s)	1	100	7
5	Procedimientos Especiales (Rayos-X, diálisis, etc.)		Habitación(es)	1,5	30	
6	Laboratorio de Cateterismo		Habitación(es)	1	10	
7	Sala de Escisión Quirúrgica		Habitación(es)	1	10	
8	U.C.I, Neonatal		Cama(s)	1	50	

Fuente: elaboración propia, con base en información proporcionada por Productos del Aire S.A.

4.3. Mejoras y utilidades del programa

La finalidad de la realización de este proyecto es la de mejorar y optimizar el método para el cálculo de las tuberías de oxígeno, aire y vacío para el departamento de instalaciones de Productos del Aire S.A.

Se logró mejorar el ingreso de los datos requeridos para los cálculos utilizando distintas herramientas, y así poder reducir el tiempo requerido para el ingreso de los datos, se fijaron los datos de presión inicial, presión final, pérdida total de cada sistema de distribución en la esquina superior derecha para poder tener un fácil y rápido acceso.

Inicialmente se solicitaba al usuario que ingresara manualmente el diámetro para cada uno de los tramos que se analizarían de todo el sistema de distribución de gases medicinales.

Este proceso fue mejorado con la utilización de los datos que el usuario ingresa previamente, realizando el proceso de dimensionamiento de cada tramo de tubería utilizando dichos datos, definiendo los parámetros necesarios para que el dimensionamiento de la tubería tenga la menor pérdida posible permitida para cada una de las distintas redes, devolviendo automáticamente el valor del diámetro de la tubería para el tramo analizado, reduciendo el tiempo en el que se realiza el proyecto.

Se utilizan los mismos cálculos de la red de oxígeno para la red de aire, esto podría representar un sobre dimensionamiento para la red de aire, por ello se creó un método específico para el cálculo de la red de aire, asegurando así un óptimo funcionamiento.

Se realizó un análisis previo de los programas utilizados para el cálculo de las redes de distribución de gases medicinales que utiliza la empresa, al momento de realizar este análisis se descubrió que el programa que se utiliza para el cálculo de la red de vacío está implementado de una manera incorrecta, específicamente en la hoja de cálculo vacío.

Al momento de seleccionar los servicios que se utilizan en cada uno de los tramos, se observa que únicamente se permite seleccionar un servicio, con base en esta selección se procede a calcular el flujo de vacío en el tramo analizado.

Utilizando este valor de flujo se procede a calcular la pérdida de presión en el tramo analizado, realizando esto se observó que este cálculo no representa el valor del flujo de vacío real en cada tramo, por lo que el valor obtenido de la pérdida de presión es incorrecto en algunos casos, debido a que en ciertos tramos el flujo total no es el flujo de un único servicio, por eso en un tramo se puede requerir más de un servicio a la vez.

Se observó que el programa indica que en algunos tramos de la red el flujo de vacío es cero, por eso se le asigna una pérdida de presión de 0,010 in Hg, por consiguiente, no es posible que en un tramo de la red no exista flujo, convirtiendo el cálculo final en un cálculo erróneo.

Para solucionar esta problemática se implementó un nuevo sistema en el cual se despliega un listado de servicios distinto para cada uno de los tramos donde se puede seleccionar todos los servicios que se utilicen en el tramo a analizar calculando así el flujo de vacío con base en los servicios seleccionados, calculando la pérdida de presión del tramo con base en el nuevo flujo, asegurando así un mejor cálculo para la caída de presión del tramo.

4.4. Capacitación y presentación de mejoras

Con la finalidad de dar a conocer cada una de las utilidades y mejoras que se implementaron en el programa para el cálculo de tuberías de oxígeno, aire y vacío, se creó el manual de usuario en el se especifican todos los métodos de

ingreso de datos, interpretación de datos y modificación de datos que el programa es capaz de realizar, mostrando así todas las mejoras y utilidades del programa, este manual fue diseñado para la óptima implementación del programa para cálculo de tuberías de oxígeno, aire y vacío en proyectos futuros.

Figura 19. **Portada manual de usuario**



Fuente: elaboración propia.

La capacitación tiene como objetivo establecer los métodos de ingreso de datos dentro del programa y la interpretación correcta de los resultados obtenidos, en cuanto al procedimiento consiste en realizar una presentación del manejo y utilización del programa para el cálculo de tuberías de oxígeno, aire y vacío con una duración aproximada de una hora y treinta minutos, posteriormente se le entregara al encargado de área el manual de usuario, para que les sirva como documento de apoyo en la utilización del programa.

CONCLUSIONES

1. Actualmente existen diversas normativas que se aplican en la producción, envasado, distribución, transporte, almacenamiento, manejo intrahospitalario y aplicación de los gases medicinales, pero todas estas aplicaciones no se engloban en una única normativa, investigando cada una de las distintas normativas se encontró que la normativa más adecuada para su aplicación en este proyecto es la normativa NFPA 99 *Health Care Facilities Code* edición 2021, debido a que es una normativa utilizada a nivel internacional para la instalación de sistemas de distribución de gases medicinales, debido a que establece los criterios necesarios para la salud, minimizando el riesgo de incendios y explosiones en los centros hospitalarios.
2. El programa desarrollado para el cálculo de tuberías de oxígeno, aire y vacío, se realizó bajo estándares de la normativa NFPA 99, la implementación del programa desarrollado puede representar el 3,83 % en la reducción de los costos del proyecto.
3. Se unificó el proceso de cálculo de tuberías de oxígeno, aire y vacío en un programa el cual posee todas las hojas de cálculo necesarias para las distintas redes de distribución de gases y la implementación de la sección de inventario que utiliza información de todas las redes para proporcionar un costo estimado de la implementación del proyecto.

4. La creación de un manual de usuario que pueda ser utilizado por los operarios para utilizar el programa de manera adecuada facilitando la capacitación y utilización del programa.

RECOMENDACIONES

1. Capacitar y certificar al personal con la Norma NFPA 99, crear normativas técnicas que sea de observancia, uso y aplicación obligatoria para garantizar la buena práctica en la distribución y manejo de gases médicos a nivel nacional.
2. Realizar el primer proyecto y comparar los costos contra los costos de utilizar el método antiguo, realizar las verificaciones pertinentes de parte del encargado para la correcta utilización del programa para el cálculo de tuberías de oxígeno, aire y vacío.
3. Guardar una copia en blanco del programa en un disco duro para tener un respaldo del programa, al momento de comenzar el cálculo de un nuevo proyecto utilizar una copia del programa en blanco, para asegurar el correcto funcionamiento de este.
4. Capacitar a 2 personas en la correcta utilización del programa utilizando el manual de usuario.

BIBLIOGRAFÍA

1. Asociación Nacional de Protección Contra Incendios, Norma NFPA 99. *Health Care Facilities Code*. Estados Unidos: NFPA, 2021. 263 p.
2. CARMOMA SANDOVAL, Zhurelly. *Rediseño de la red de aire grado médico para el hospital México*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Costa Rica, 2018. 185 p.
3. DE LEÓN DE LEÓN, Hugo René. *Sistema centralizado de gases médicos en el Hospital Nacional de Cuilapa Santa Rosa*. Trabajo de graduación de Maestría en Ingeniería de Mantenimiento, Escuela de Estudios de Postgrado, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2007. 64 p.
4. FRANKEL, Michael. *Facility piping systems handbook*. 2da. ed. Estados Unidos. McGraw-Hill, 2002. 1228 p.
5. LARRAÑAGA SAAVEDRA, Rubén Alberto. *Diagnóstico de fallas en sistema de distribución de aire médico comprimido, para uso de equipo, en parientes, dentro del hospital de gineco obstetricia del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2019. 62 p.

6. MÉNDEZ MORENO, Luis Miguel. *Especificaciones técnicas sistema de gases medicinales proyecto del hospital de Funza*. 2014. 26 p.
7. OXYMAN. *Proyectos*. [en línea]. <<https://www.oxyman.com.pe/asset/img/proyectos/manifoldd.jpg>>. [Consulta: junio de 2021].
8. Productos del Aire. *Quiénes somos*. [en línea]. <<https://www.productosdelaire.com/quienes-somos/>>. [Consulta: enero de 2021].
9. Relevancia Médica. *Termo y tanque criogénico*. [en línea]. <<https://relevanciamedica.com/wp-content/uploads/2020/07/gases-medicinales8.jpg>>. [Consulta: junio de 2021].
10. SÁNCHEZ LARA, Edgar Fabián. y ZACARÍAS PÉREZ, John Stalin. *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*. Tesis de Ing. Mecánica. Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería, 2010. 168 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Manual de usuario



Continuación del apéndice 1.



Contenido

1. Introducción.....	3
1.1 Objetivo.....	3
1.2 Requerimientos	3
2. Opciones del sistema	4
2.1 Sistema de oxígeno.....	6
2.1.1 Ingreso de datos	6
2.1.2 Interpretación de datos	9
2.1.3 Modificación de datos.....	10
2.2 Sistema de aire	13
2.2.1 Ingreso de datos	13
2.2.2 Interpretación de datos	20
2.2.3 Modificación de datos.....	21
2.3 Sistema de vacío	23
2.3.1 Ingreso de datos	23
2.3.2 Interpretación de datos	31
2.3.3 Modificación de datos.....	32
2.4 Inventario.....	34
2.4.1 Ingreso de datos	34
2.4.2 Interpretación de datos	35



Continuación del apéndice 1.



1. Introducción

1.1 Objetivo

Establecer los pasos específicos para que el usuario realice el cálculo de tuberías de oxígeno aire y vacío de manera efectiva, comprendiendo así cada uno de los pasos solicitados por el programa para un cálculo correcto, optimizando la utilización del programa de una manera efectiva, obteniendo los resultados deseados.

1.2 Requerimientos

- Equipo: Pentium II o superior
- Mínimo 512Mb en RAM
- Sistema operativo Windows 98 o Superior
- Microsoft Office Excel 2002 o Superior
- OpenOffice 2002 o Superior



Continuación del apéndice 1.



2. Opciones del sistema

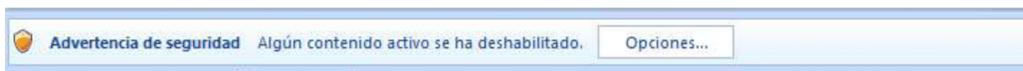
El presente manual está organizado de acuerdo a las distintas hojas que posee el programa para la realización de los cálculos, las hojas se encuentran dentro del sistema de la siguiente manera:



1. Oxígeno
2. SCFM Aire
3. Aire
4. SCFM Vacío
5. Vacío
6. Inventario

El programa cuenta con sistema de macros que incorpora el programa de EXCEL, que se utiliza para realizar diversas acciones dentro del programa estas macros se deben de habilitar al momento de ejecutar el programa, si el mismo lo requiere, esto se hace habilitando el contenido para su utilización, si no se habilita este contenido el programa no funcionara de manera adecuada.

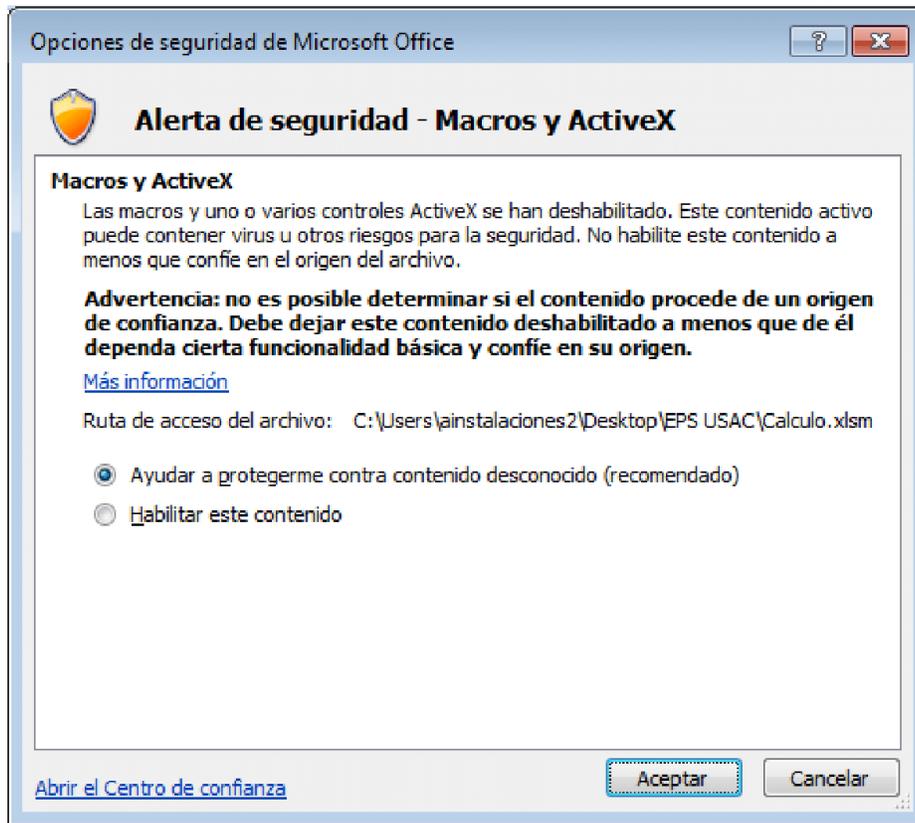
Cuando se inicie el programa aparecerá la siguiente advertencia



Se debe presionar en la sección de opciones que desplegara el siguiente cuadro de dialogo:



Continuación del apéndice 1.



Seleccione la opción “Habilitar contenido” Habilitar este contenido

posteriormente presione “Aceptar”

posteriormente se habilitará el contenido, asegurando el correcto funcionamiento del programa para el cálculo de tuberías de oxígeno, aire y vacío.



Continuación del apéndice 1.



2.1 Sistema de oxígeno

Para la realización de cálculos de tubería en un sistema de oxígeno, el usuario deberá dirigirse a la hoja respectiva de Oxígeno [Oxígeno](#) en la cual se podrán realizar los siguientes procedimientos:

1. Ingreso de datos
2. Modificación de datos

2.1.1 Ingreso de datos

Nombrar el proyecto dentro del Programa:

Para nombrar el proyecto dentro del programa, únicamente se debe de modificar el nombre del proyecto y No. de proyecto dentro de la hoja de oxígeno [Oxígeno](#) en la sección superior que se muestra a continuación.

Projecto:

No. Proyecto:

INGRESE LOS DATOS REQUERIDOS EN LAS ÁREAS SOMBREADAS EN AZUL

Esta acción únicamente se puede realizar dentro de la hoja de oxígeno, al momento de ingresar estos datos dentro de la hoja de oxígeno, se modifica en las hojas posteriores.

Ingreso de Flujo por toma:

Es el valor que se asigna a cada toma individual, esta dado en Litros por minuto, se debe de ingresar un valor entero en la sección de Flujo por toma

Flujo por toma: Por ejemplo, para un valor base se toma que cada toma individual tiene un flujo de 30 litros por minuto.

6

Continuación del apéndice 1.



Ingreso de Sección:

Cada sección tendrá un nombre distinto, las secciones se nombrarán con números, no con letras, se debe de ingresar el valor numérico con el cual se

desea nombrar a la sección, en la columna de sección únicamente se debe de ingresar el valor numérico, el programa autocompletara el nombre de la sección con el siguiente formato "T-#. #"

Ejemplo Ingreso de sección:

Se desea nombrar a la sección como "1" , se procede a ingresar el nombre

deseado en la columna Sección , posteriormente cuando se presiona

"ENTER" el programa auto completara el nombre como "T-1.0"

Ingreso de Sección Anterior:

En cada tramo se deberá de ingresar el dato de la sección de la cual proviene el flujo que ingresa al tramo que se está analizando, este dato debe de llenarse con el nombre de un tramo previamente nombrado, de no ser así, el programa no funcionara correctamente al momento de hacer los cálculos posteriores, las secciones anteriores se nombraran con números, no con letras, se debe de ingresar el valor numérico con el cual se desea nombrar a la sección anterior,

en la columna de sección anterior únicamente se debe de ingresar el valor numérico, el programa autocompletara el nombre de la sección con el siguiente formato "T-#. #"



Continuación del apéndice 1.



Ejemplo Ingreso de sección Anterior:

Se desea nombrar a la sección como "0", se procede a ingresar el nombre

Sección Anterior
0

deseado en la columna Sección Anterior, posteriormente cuando se presiona "ENTER" el programa auto completara el nombre como "T-0.0"

Sección Anterior
T-0.0

Ingreso de Longitud:

En cada tramo se ingresará la longitud del tramo de la sección a analizar, esta longitud debe de ser ingresada con dimensional de Pies, y debe de ser un valor

Longitud (Pies)

numérico entero, en la columna de longitud.

Ingreso de Codos:

En cada tramo se ingresara la cantidad de codos que se utilizaran en la sección a analizar, el valor ingresado debe de ser un valor numérico entero, en la

Accesorios	
Codos	Te

columna de Codos.

Ingreso de Te's:

En cada tramo se ingresara la cantidad de Te's que se utilizaran en la sección a analizar, el valor ingresado debe de ser un valor numérico entero, en la

Accesorios	
Codos	Te

columna de Te. Normalmente este dato es únicamente el valor de 1, debido a que cuando se coloca la Te, posteriormente se genera un tramo distinto.



Continuación del apéndice 1.



Ingreso de Cantidad de Tomas:

En cada tramo se ingresará la cantidad de tomas, es necesario obtener el valor de las tomas debido a que, dependiendo de la cantidad de tomas, el flujo en el tramo varia, por lo que es importante ingresar ese valor en la sección a analizar, el valor ingresado debe de ser un valor numérico entero, en la



columna de Cantidad de Tomas.

2.1.2 Interpretación de datos

Flujo de Sección (LPM):

El flujo de sección se refiere a la cantidad de fluido que se encuentra fluyendo dentro de ese tramo, este valor se calcula utilizando el valor asignado en la sección de flujo por toma, multiplicado por la cantidad de tomas que debe abastecer el tramo que se analiza, obteniendo el valor de flujo en litros por minuto para el tramo analizado.

Diámetro Propuesto (Pulg):

Para cada tramo analizado se realiza la propuesta de un diámetro dependiendo del flujo y longitud de la tubería, el programa utiliza estos datos para realizar una propuesta del diámetro que se ajusta de menor manera para el tramo analizado, dando como resultado un diámetro que se puede aplicar a este tramo para su buen funcionamiento.

Presión inicial de Sección (Psi):

Cada tramo posee una presión distinta dependiendo de qué tramo se analice, para realizar el cálculo de la presión en cada tramo, se debe saber que tramo está conectado anteriormente al tramo que se analiza, para este cálculo se utiliza el dato que se ingreso de la sección anterior, tomando como dato de presión de entrada la presión que posee el tramo anterior al tramo analizado.



Continuación del apéndice 1.



Pérdida de Presión (Psi):

Cada tramo posee una pérdida de presión distinta, esto se debe a que cada tramo posee distintas características, los datos a utilizar para el cálculo de pérdida de presión son, la longitud del tramo, el flujo del tramo y el diámetro del tramo a analizar, el programa realiza el cálculo utilizando estos datos y devuelve el valor de la pérdida de presión en el tramo analizado.

Presión Final de Sección (Psi):

En cada tramo ocurre una pérdida de presión distinta, por en la parte final del tramo la presión es distinta, la presión final en cada tramo, depende de la pérdida de presión en el tramo y la presión que ingresa al tramo, por lo que la presión final en el tramo, es la resta de la presión inicial del tramo, menos la pérdida de presión en dicho tramo.

Pérdida Acumulada (Psi):

En esta sección se acumula la pérdida de presión ocurrida en el tramo analizado más la pérdida de presión que ocurrió en los tramos anteriores, por lo que resulta en la pérdida de presión acumulada por todo el sistema.

Perdida Total:

Este valor representa la pérdida acumulada por todo el sistema, la cual para el oxígeno no debe de ser mayor a 5 Psi.

2.1.3 Modificación de datos

Para el sistema de Oxígeno únicamente se puede realizar la modificación del diámetro de la tubería en cada tramo que se analiza.

Diámetro Modificado (Pulg):

En esta sección se puede modificar el diámetro con el cual se está analizando el tramo, lo cual hace que los datos de pérdida de presión y presión acumulada varían debido a que estos datos dependen del diámetro de la tubería.



Continuación del apéndice 1.



Ejemplo para Diámetro Modificado:

Posteriormente de ingresar los datos necesarios para el cálculo de la tubería de oxígeno, se obtienen los valores del flujo de sección, diámetro propuesto, presión inicial, pérdida de presión, presión final de sección y pérdida acumulada, como se observa en la siguiente imagen:

OXIGENO												
Sección	Sección Anterior	Longitud (Pies)	Accesorios		Cantidad Tomas	Flujo de Sección (LPM)	Diámetro Propuesto	Diámetro Modificado	Presión Inicial de Sección (Psi)	Pérdida de Presión (Psi)	Presión Final de Sección (Psi)	Pérdida Acumulada (Psi)
			Codos	Te			(Pulg)	(Pulg)				
T-0.0	T-0.0	114		1	29	870	1 1/4		55.000	0.093	54.907	0.093

Se desea modificar el diámetro propuesto que en esta ocasión es de 1" ¼, por un diámetro de 2" , se debe de realizar la modificación en la sección de Diámetro modificado de la siguiente manera.

Se selecciona la columna de diámetro propuesto, aparecerá un botón para desplegar un listado como se muestra a continuación en un círculo rojo



Se presiona el botón para desplegar la lista de los distintos diámetros a seleccionar



Al desplegarse la siguiente lista, se selecciona el diámetro deseado, la lista posee los siguientes diámetros:

½", ¾", 1", 1" ¼, 1" ½, 2", 2" ½, 3", 4"

En esta ocasión se seleccionará el diámetro de 2" que es el diámetro que se desea colocar.

Posteriormente al momento de seleccionar el diámetro deseado, el programa realizara los cálculos de pérdida de presión, presión final de sección y la pérdida acumulada, como se observa en la siguiente imagen.



Continuación del apéndice 1.



OXÍGENO												
Sección	Sección Anterior	Longitud (Pies)	Accesorios		Cantidad Tomas	Flujo de Sección (LPM)	Díametro Propuesto	Díametro Modificado	Presión Inicial de Sección (Psi)	Pérdida de Presión (Psi)	Presión Final de Sección (Psi)	Pérdida Acumulada (Psi)
			Codos	Te			(Pulg)	(Pulg)				
T-0.0	T-0.0	114	1	1	29	870	1 1/4	2	55.000	0.003	54.997	0.003

Observando el cambio de valores en los cálculos descritos anteriormente como 0.093, ahora se observa el valor de 0.003, en base a el diámetro colocado en la sección de Diámetro Modificado, esto es útil para acoplar los cálculos a los diámetros deseados, en dado caso que el Diámetro propuesto no cumpla con las necesidades del sistema.



Continuación del apéndice 1.



2.2 Sistema de aire

Para la realización de cálculos de tubería en un sistema de Aire médico, el usuario deberá de utilizar las hojas respectivas de Aire médico **SCFM Aire** y **Aire** en las cuales se podrán realizar los siguientes procedimientos:

1. Ingreso de datos
2. Modificación de datos

La hoja nombrada como “SCFM Aire”, se encuentra estructurada para el calculo del flujo para todo el sistema de aire médico, utilizando el flujo total del sistema se realiza los cálculos necesarios para la interpretación de los datos, para posteriormente recomendar el compresor de aire medico que mas se acopla a las necesidades del sistema.

La hoja nombrada como “Aire” se encuentra estructurada para el calculo de los distintos tramos del sistema de aire médico, en esta sección se recopila distinta información para poder definir los parámetros necesarios para la estructura de cada tramo que compone el sistema de Aire médico.

2.2.1 Ingreso de datos

Hoja de cálculo “SCFM Aire”

Ingreso de Unidades Requeridas:

En esta sección solamente se solicita un tipo de dato para el sistema de Aire médico, se debe de ingresar las Unidades Requeridas por cada uno de los servicios que se utilizaran en el sistema de Aire médico.

Ejemplo Ingreso de Unidades Requeridas:

Ubicado en la hoja “SCFM Aire” se presenta en pantalla la siguiente información.



Continuación del apéndice 1.



Proyecto: Prod

No. Proyecto:

INGRESE LOS DATOS REQUERIDOS EN LAS ÁREAS SOMBRADAS EN AZUL

AIRE MÉDICO - Método Típico US					
UBICACIÓN DE SALIDAS	Unidades Requerida	Unidades	Salida CFM	% de Uso Simultán	Salida CFM
Ubicaciones con Anestesia					
1 Cirugía especial y Cardiovascular		Habitación(es)	0.5	100	
2 Cirugía mayor y ortopédica		Habitación(es)	0.5	100	
3 Cirugía menor		Habitación(es)	0.5	75	
4 Cirugía de emergencia		Habitación(es)	0.5	25	
5 Radiología		Habitación(es)	0.5	10	
6 Cateterización cardiaca		Habitación(es)	0.5	10	
7 Ventiladores		Unidad	3.5	100	
8 Sala de Partos		Habitación(es)	0.5	100	
Ubicación de Cuidados Intensivos (Sin Anestesia)					
1 Sala de recuperación/quirúrgica		Cama(s)	2	25	
2 UCICCU		Cama(s)	2	50	
3 Sala de Emergencias		Cama(s)	2	10	
4 U.C.I., Neonatal		Cama(s)	1.5	75	
5 Unidades de diálisis		Cama(s)	0.5	10	
6 Salas de recuperación/OB		Habitación(es)	2	25	
7 Ventiladores		Unidad	6	100	
Cuidado Subagudo del Paciente (Sin Anestesia)					

Se presenta la información de distintos servicios utilizados en el sistema de aire médico, ubicado en la columna de unidades requeridas, se procede a ingresar la cantidad de tomas totales de cada servicio que se utilizara en el sistema de aire, por ejemplo se utilizaran 3 tomas en cirugía especial, 2 tomas en sala de recuperación y 7 tomas en sala de emergencias, se procede a ingresar los valores numéricos en cada uno de los servicios, dejando en blanco los servicios que no se utilizaran en este sistema de aire médico.



Proyecto:

No. Proyecto:

INGRESE LOS DATOS REQUERIDOS EN LAS ÁREAS SOMBRADAS EN AZUL

AIRE MÉDICO - Método Típico US					
UBICACIÓN DE SALIDAS	Unidades Requeridas	Unidades	Salida CFM	% de Uso Simultáne	Salida CFM
Ubicaciones con Anestesia					
1 Cirugía especial y Cardiovascular	3	Habitación(es)	0.5	100	1,50
2 Cirugía mayor y ortopédica		Habitación(es)	0.5	100	
3 Cirugía menor		Habitación(es)	0.5	75	
4 Cirugía de emergencia		Habitación(es)	0.5	25	
5 Radiología		Habitación(es)	0.5	10	
6 Cateterización cardiaca		Habitación(es)	0.5	10	
7 Ventiladores		Unidad	3.5	100	
8 Sala de Partos		Habitación(es)	0.5	100	
Ubicación de Cuidados Intensivos (Sin Anestesia)					
1 Sala de recuperación/quirúrgica	2	Cama(s)	2	25	1,00
2 UCICCU		Cama(s)	2	50	
3 Sala de Emergencias	7	Cama(s)	2	10	1,40
4 U.C.I., Neonatal		Cama(s)	1.5	75	
5 Unidades de diálisis		Cama(s)	0.5	10	
6 Salas de recuperación/OB		Habitación(es)	2	25	
7 Ventiladores		Unidad	6	100	



Continuación del apéndice 1.



Hoja de cálculo "Aire"

Ingreso de Sección:

Cada sección tendrá un nombre distinto, las secciones se nombrarán con números, no con letras, se debe de ingresar el valor numérico con el cual se



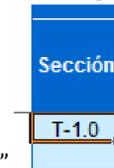
desea nombrar a la sección, en la columna de sección únicamente se debe de ingresar el valor numérico, el programa autocompletará el nombre de la sección con el siguiente formato "T-#. #"

Ejemplo Ingreso de sección:

Se desea nombrar a la sección como "1", se procede a ingresar el nombre



deseado en la columna Sección , posteriormente cuando se presiona



"ENTER" el programa auto completará el nombre como "T-1.0"

Ingreso de Sección Anterior:

En cada tramo se deberá de ingresar el dato de la sección de la cual proviene el flujo que ingresa al tramo que se está analizando, este dato debe de llenarse con el nombre de un tramo previamente nombrado, de no ser así, el programa no funcionara correctamente al momento de hacer los cálculos posteriores, las secciones anteriores se nombraran con números, no con letras, se debe de ingresar el valor numérico con el cual se desea nombrar a la sección anterior,



en la columna de sección anterior únicamente se debe de ingresar el valor numérico, el programa autocompletará el nombre de la sección con el siguiente formato "T-#. #"

Continuación del apéndice 1.



Ejemplo Ingreso de sección Anterior:

Se desea nombrar a la sección como "0", se procede a ingresar el nombre

Sección Anterior
0

deseado en la columna Sección Anterior, posteriormente cuando se presiona "ENTER" el programa auto completara el nombre como "T-0.0"

Sección Anterior
T-0.0

Ingreso de Longitud:

En cada tramo se ingresará la longitud del tramo de la sección a analizar, esta longitud debe de ser ingresada con dimensional de Pies, y debe de ser un valor

Longitud (Pies)

numérico entero, en la columna de longitud.

Ingreso de Codos:

En cada tramo se ingresará la cantidad de codos que se utilizaran en la sección a analizar, el valor ingresado debe de ser un valor numérico entero, en la

Accesorios	
Codos	Te

columna de Codos.

Ingreso de Te's:

En cada tramo se ingresará la cantidad de Te's que se utilizaran en la sección a analizar, el valor ingresado debe de ser un valor numérico entero, en la

Accesorios	
Codos	Te

columna de Te. Normalmente este dato es únicamente el valor de 1, debido a que cuando se coloca la Te, posteriormente se genera un tramo distinto.

Continuación del apéndice 1.



Ingreso de Ubicaciones de Salidas:

En esta sección se debe seleccionar los servicios que se utilizaran en el tramo que se esta analizando, para poder selección los servicios que se utilizaran en el tramo se presiona el botón “Desplegar Servicios” ubicado en la columna de ubicaciones de salidas.



Al momento de presionar el botón “Desplegar Servicios”, aparecerá un listado que contiene todos los servicios que se utilizan para el Aire médico. El botón “Desplegar Servicios” cambia a ser el botón de “Guardar Servicios”.

UBICACIÓN DE SALIDAS	Cantidad Tomas	Flu Sec (SO
Guardar Servicios		
Servicios		
<input type="checkbox"/> Cirugía especial y Cardiovascular	3	
<input type="checkbox"/> Cirugía mayor y ortopédica	0	
<input type="checkbox"/> Cirugía menor	0	
<input type="checkbox"/> Cirugía de emergencia	0	
<input type="checkbox"/> Radiología	0	
<input type="checkbox"/> Cateterización cardiaca	0	
<input type="checkbox"/> Ventiladores	0	
<input type="checkbox"/> Sala de Partos	0	

Se observara un listado con dos columna, la primer columna contiene los servicios que se utilizan en el aire médico, la segunda columna indica la cantidad tomas totales requeridas para el sistema que se esta analizando, posterior mente seleccionamos los servicios que se utilizaran en el tramo que se esta analizando, por ejemplo en el tramo a analizar se utilizara el servicio de Cirugía especial, seleccionamos el servicio y procedemos a presionar el botón “Guardar servicios” para que se guarde la selección.

UBICACIÓN DE SALIDAS	Cantidad Tomas	Flu Sec (SO
Guardar Servicios		
Servicios		
<input checked="" type="checkbox"/> Cirugía especial y Cardiovascular	3	
<input type="checkbox"/> Cirugía mayor y ortopédica	0	
<input type="checkbox"/> Cirugía menor	0	
<input type="checkbox"/> Cirugía de emergencia	0	
<input type="checkbox"/> Radiología	0	
<input type="checkbox"/> Cateterización cardiaca	0	
<input type="checkbox"/> Ventiladores	0	
<input type="checkbox"/> Sala de Partos	0	
Desplegar Servicios		

Continuación del apéndice 1.



Ingreso de Cantidad de Tomas:

La cantidad de tomas en cada tramo dependerá de los servicios que se utilizaran en cada tramo, seleccionados en la sección anterior “Ubicaciones de Salidas”.

Ejemplo1: Si en la sección anterior únicamente se selecciona un servicio, por ejemplo, el servicio de cirugía especial y cardiovascular, y en el tramo se utilizarán todas las tomas indicadas en el servicio, en este caso se utilizará 3 tomas para el tramo analizado, se procede a dejar en blanco la columna de cantidad de tomas, esto indica que se utilizará todas las tomas del servicio seleccionado en la sección anterior.

UBICACIÓN DE SALIDAS	Cantidad Tomas	Flujo Sec (SO)
Guardar Servicios		
Servicios		
<input checked="" type="checkbox"/> Cirugía especial y Cardiovascular	3	
<input type="checkbox"/> Cirugía mayor y ortopédica	0	
<input type="checkbox"/> Cirugía menor	0	
<input type="checkbox"/> Cirugía de emergencia	0	
<input type="checkbox"/> Radiología	0	
<input type="checkbox"/> Cateterización cardiaca	0	
<input type="checkbox"/> Ventiladores	0	
<input type="checkbox"/> Sala de Partos	0	

ejemplo, el servicio de cirugía especial y cardiovascular, y en el tramo se utilizarán todas las tomas indicadas en el servicio, en este caso se utilizará 3 tomas para el tramo analizado, se procede a dejar en blanco la columna de cantidad de tomas, esto indica que se utilizará todas las tomas del servicio seleccionado en la sección anterior.

Ejemplo2: Si en la sección anterior únicamente se selecciona un servicio, por ejemplo, el servicio de cirugía especial y cardiovascular, y en el tramo se utilizarán únicamente 2 tomas del servicio seleccionado, en este caso el servicio posee 3 tomas en total, esto indica que no se utilizaran todas las tomas del servicio seleccionado, en este caso se procede a colocar la cantidad de tomas a utilizar del servicio seleccionado en la columna de “Cantidad de tomas”, en este caso se coloca el número 2. Esto indica al programa que el flujo en ese tramo no es el flujo de 3 tomas, si no de 2 tomas, que es la cantidad de tomas que se seleccionó para este ejemplo.

UBICACIÓN DE SALIDAS	Cantidad Tomas	Flujo Sec (SO)
Guardar Servicios	2	
Servicios		
<input checked="" type="checkbox"/> Cirugía especial y Cardiovascular	3	
<input type="checkbox"/> Cirugía mayor y ortopédica	0	
<input type="checkbox"/> Cirugía menor	0	
<input type="checkbox"/> Cirugía de emergencia	0	
<input type="checkbox"/> Radiología	0	
<input type="checkbox"/> Cateterización cardiaca	0	
<input type="checkbox"/> Ventiladores	0	
<input type="checkbox"/> Sala de Partos	0	

utilizarán únicamente 2 tomas del servicio seleccionado, en este caso el servicio posee 3 tomas en total, esto indica que no se utilizaran todas las tomas del servicio seleccionado, en este caso se procede a colocar la cantidad de tomas a utilizar del servicio seleccionado en la columna de “Cantidad de tomas”, en este caso se coloca el número 2. Esto indica al programa que el flujo en ese tramo no es el flujo de 3 tomas, si no de 2 tomas, que es la cantidad de tomas que se seleccionó para este ejemplo.



Continuación del apéndice 1.



Ejemplo3: Si en la sección anterior se seleccionan dos o mas servicios para el tramo que se analizara, por ejemplo, los servicios de cirugía especial, cirugía menor y Radiología, pero de los 2 primeros servicios si se utilizaran todas las tomas indicadas en esos servicios y en el ultimo servicio se utilizara una toma, se debe de ingresar la cantidad de tomas de la siguiente manera en la sección de "Cantidad Tomas"

UBICACIÓN DE SALIDAS	Cantidad Tomas	Flu Se (S
Guardar Servicios	3;2;1;	
Servicios		
<input checked="" type="checkbox"/> Cirugía especial y Cardiovascular	3	
<input type="checkbox"/> Cirugía mayor y ortopédica	0	
<input checked="" type="checkbox"/> Cirugía menor	2	
<input type="checkbox"/> Cirugía de emergencia	0	
<input checked="" type="checkbox"/> Radiología	2	
<input type="checkbox"/> Cateterización cardiaca	0	
<input type="checkbox"/> Ventiladores	0	
<input type="checkbox"/> Sala de Partos	0	

Se debe de colocar los números con el siguiente formato: #;#;#; separando la cantidad de tomas por punto y coma para cada servicio, terminando siempre con punto y coma al ingresar los datos, tomando en cuenta que la cantidad de tomas se asociara en el orden en el cual se ingresan los datos, por ejemplo, el primer valor ingresado en la sección "Cantidad Tomas" que en este caso es 3, se asociara al primer servicio seleccionado en el listado de la sección "Ubicación de salidas", que para este ejemplo en concreto es el servicio de cirugía especial, el segundo dato en este caso 2 se asociara al segundo servicio seleccionado, en este caso el servicio de cirugía menor, el tercer dato que en este caso es 1 se asociara al tercer servicio seleccionado, en este caso el servicio de Radiología, si la selección de servicios en la sección de "Ubicación de salidas" cambia, también cambiara la asociación de la cantidad de tomas a cada servicio. En este caso si se cambia el primer servicio que es cirugía especial, al servicio de cirugía mayor, se cambiara la asociación de la cantidad de tomas a ese servicio, en este caso el primer dato de la sección de cantidad de tomas se asociara al primer servicio seleccionado, en este caso cirugía mayor, y los demás datos seguirán asociados a los servicios mencionados anteriormente.



Continuación del apéndice 1.



2.2.2 Interpretación de datos

Flujo de Sección (SCFM):

El flujo de sección se refiere a la cantidad de fluido que se encuentra fluyendo dentro de ese tramo, este valor se calcula utilizando la selección de servicios que fluyen por el tramo, multiplicado por la cantidad de tomas que debe abastecer el tramo que se analiza, obteniendo el valor de flujo en SCFM (pies cúbicos estándar por minuto) para el tramo analizado.

Diámetro Propuesto (Pulg):

Para cada tramo analizado se realiza la propuesta de un diámetro dependiendo del flujo y longitud de la tubería, el programa utiliza estos datos para realizar una propuesta del diámetro que se ajusta de menor manera para el tramo analizado, dando como resultado un diámetro que se puede aplicar a este tramo para su buen funcionamiento.

Presión inicial de Sección (Psi):

Cada tramo posee una presión distinta dependiendo de qué tramo se analice, para realizar el cálculo de la presión en cada tramo, se debe saber que tramo está conectado con anterioridad al tramo que se analiza, para este cálculo se utiliza el dato que se ingresó de la sección anterior, tomando como dato de presión de entrada la presión que posee el tramo anterior al tramo analizado.

Pérdida de Presión (Psi):

Cada tramo posee una pérdida de presión distinta, esto se debe a que cada tramo posee distintas características, los datos a utilizar para el cálculo de pérdida de presión son, la longitud del tramo, el flujo del tramo y el diámetro del tramo a analizar, el programa realiza el cálculo utilizando estos datos y devuelve el valor de la pérdida de presión en el tramo analizado.

Presión Final de Sección (Psi):

En cada tramo ocurre una pérdida de presión distinta, por en la parte final del tramo la presión es distinta, la presión final en cada tramo depende de la pérdida de presión en el tramo y la presión que ingresa al tramo, por lo que la presión final en el tramo es la resta de la presión inicial del tramo, menos la pérdida de presión en dicho tramo.



Continuación del apéndice 1.



Pérdida Acumulada (Psi):

En esta sección se acumula la pérdida de presión ocurrida en el tramo analizado más la pérdida de presión que ocurrió en los tramos anteriores, por lo que resulta en la pérdida de presión acumulada por todo el sistema.

Pérdida Total:

Este valor representa la pérdida acumulada por todo el sistema, la cual para el Aire medico no debe de ser mayor a 5 Psi.

2.2.3 Modificación de datos

Para el sistema de Aire médico únicamente se puede realizar la modificación del diámetro de la tubería en cada tramo que se analiza.

Diámetro Modificado (Pulg):

En esta sección se puede modificar el diámetro con el cual se está analizando el tramo, lo cual hace que los datos de pérdida de presión y presión acumulada varían debido a que estos datos dependen del diámetro de la tubería.

Ejemplo para Diámetro Modificado:

Posteriormente de ingresar los datos necesarios para el cálculo de la tubería de Aire médico, se obtienen los valores del flujo de sección, diámetro propuesto, presión inicial, pérdida de presión, presión final de sección y pérdida acumulada, como se observa en la siguiente imagen:

AIRE MEDICO													
Sección	Sección Anterior	Longitud (Pies)	Accesorios		UBICACIÓN DE SALIDAS	Cantidad Tomas	Flujo de Sección (SCFM)	Diámetro Propuesto (Pulg)	Diámetro Modificado (Pulg)	Presión Inicial de Sección (Psi)	Pérdida de Presión (Psi)	Presión Final de Sección (Psi)	Perdida Acumulada (Psi)
			Codos	Te									
T-0.0	T-0.0	119	1	1	Principal	16	4.75	3/4		55.000	0.062	54.938	0.062
T-1.0	T-0.0	38		1	Desplegar Servicios		3.90	1/2		54.938	0.093	54.845	0.155

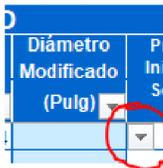
Se desea modificar el diámetro propuesto que en esta ocasión es de 1/2 “ , por un diámetro de 1” , se debe de realizar la modificación en la sección de Diámetro modificado de la siguiente manera.



Continuación del apéndice 1.



Se selecciona la columna de diámetro propuesto, aparecerá un botón para desplegar un listado como se muestra a continuación en un círculo rojo



Se presiona el botón para desplegar la lista de los distintos diámetros a seleccionar



Al desplegarse la siguiente lista, se selecciona el diámetro deseado, la lista posee los siguientes diámetros:

$\frac{1}{2}$ " , $\frac{3}{4}$ " , 1" , 1" $\frac{1}{4}$, 1" $\frac{1}{2}$, 2" , 2" $\frac{1}{2}$, 3" , 4"

En esta ocasión se seleccionará el diámetro de 1" que es el diámetro que se desea colocar.

Posteriormente al momento de seleccionar el diámetro deseado, el programa realizara los cálculos de pérdida de presión, presión final de sección y la pérdida acumulada, como se observa en la siguiente imagen.

AIRE MÉDICO													
Sección	Sección Anterior	Longitud (Pies)	Accesorios		UBICACIÓN DE SALIDAS	Cantidad Tomas	Flujo de Sección (SCFM)	Diámetro Propuesto	Diámetro Modificado	Presión Inicial de Sección (Psi)	Pérdida de Presión (Psi)	Presión Final de Sección (Psi)	Pérdida Acumulada (Psi)
			Codos	Te				(Pulg)	(Pulg)				
T-0.0	T-0.0	119	1	1	Principal	16	4.75	3/4		55.000	0.062	54.938	0.062
T-1.0	T-0.0	38		1	Desplegar Servicios		3.90	1/2	1	54.938	0.005	54.933	0.067

Observando el cambio de valores en los cálculos descritos anteriormente que era de 0.093, ahora se observa el valor de 0.005, en base a el diámetro colocado en la sección de Diámetro Modificado, esto es útil para acoplar los cálculos a los diámetros deseados, en dado caso que el Diámetro propuesto no cumpla con las necesidades del sistema.



Continuación del apéndice 1.



2.3 Sistema de vacío

Para la realización de cálculos de tubería en un sistema de Vacío, el usuario deberá de utilizar las hojas respectivas de Vacío y en las cuales se podrán realizar los siguientes procedimientos:

3. Ingreso de datos
4. Modificación de datos

La hoja nombrada como “SCFM Vacío”, se encuentra estructurada para el cálculo del flujo para todo el sistema de Vacío, utilizando el flujo total del sistema se realiza los cálculos necesarios para la interpretación de los datos, para posteriormente recomendar la bomba de vacío que más se acopla a las necesidades del sistema.

La hoja nombrada como “Vacío” se encuentra estructurada para el cálculo de los distintos tramos del sistema de Vacío, en esta sección se recopila distinta información para poder definir los parámetros necesarios para la estructura de cada tramo que compone el sistema de Vacío.

2.3.1 Ingreso de datos

Hoja de cálculo “SCFM Vacío”

Ingreso de Unidades Requeridas:

En esta sección solamente se solicita un tipo de dato para el sistema de Vacío, se debe de ingresar las Unidades Requeridas por cada uno de los servicios que se utilizaran en el sistema de Vacío.

Ejemplo Ingreso de Unidades Requeridas:

Ubicado en la hoja “SCFM Vacío” se presenta en pantalla la siguiente información.

23



Continuación del apéndice 1.



Proyecto: HOSPITAL INTERVIDA SAN MATEO QUETZALTENANGO

No. Proyecto: 2021-019DI5

INGRESE LOS DATOS REQUERIDOS EN LAS ÁREAS SOMBRADAS EN AZUL

VACÍO - Método NFPA					
UBICACIÓN DE SALIDAS	Unidades Requerida	Unidades	Salida CFM	% de Uso Simultán	Salida CFM
Ubicaciones con Anestesia					
1 Quirofano		Habitación(es)	3.5	100	
2 Cistoscopia		Habitación(es)	2	100	
3 Sala de Parto		Habitación(es)	1	100	
4 Procedimiento Especial.(Corazón abierto, Transplante, etc.)		Habitación(es)	4	100	
5 Sala de Emergencias/ Trauma mayor		Habitación(es)	3	100	
6 Otro Lugar de Anestesia		Habitación(es)	1	50	
7 Vacío de Evacuación		Habitación(es)	1	100	
Ubicación de Cuidados Intensivos (Sin Anestesia)					
1 Sala de Recuperación		Cama(s)	1.5	50	
2 U.C.I (Excepto Cardíaco)		Cama(s)	2	75	
3 U.C.I Cardíaco		Cama(s)	1	50	
4 Sala de Emergencias		Cama(s)	1	100	
5 Procedimientos Especiales (Rayos-X, dialisis, etc.)		Habitación(es)	1.5	30	
6 Laboratorio de Cateterismo		Habitación(es)	1	10	
7 Sala de Escisión Quirúrgica		Habitación(es)	1	10	
8 U.C.I, Neonatal		Cama(s)	1	50	
Cuidado Subagudo del Paciente (Sin Anestesia)					

Se presenta la información de distintos servicios utilizados en el sistema de Vacío, ubicado en la columna de unidades requeridas, se procede a ingresar la cantidad de tomas totales de cada servicio que se utilizara en el sistema de Vacío, por ejemplo se utilizaran 3 tomas en Quirófano, 2 tomas en sala de recuperación y 7 tomas en sala de emergencias, se procede a ingresar los valores numéricos en cada uno de los servicios, dejando en blanco los servicios que no se utilizaran en este sistema de Vacío.



Continuación del apéndice 1.



Proyecto: HOSPITAL INTERVIDA SAN MATEO QUETZALTENANGO

No. Proyecto: 2021-019DI5

INGRESE LOS DATOS REQUERIDOS EN LAS ÁREAS SOMBRADAS EN AZUL

VACÍO - Método NFPA					
UBICACIÓN DE SALIDAS	Unidades Requerida	Unidades	Salida CFM	% de Uso Simultán	Salida CFM
Ubicaciones con Anestesia					
1 Quirofano	3	Habitación(es)	3.5	100	10.5
2 Cistoscopia		Habitación(es)	2	100	
3 Sala de Parto		Habitación(es)	1	100	
4 Procedimiento Especial.(Corazón abierto, Transplante, etc.)		Habitación(es)	4	100	
5 Sala de Emergencias/ Trauma mayor		Habitación(es)	3	100	
6 Otro Lugar de Anestesia		Habitación(es)	1	50	
7 Vacío de Evacuación		Habitación(es)	1	100	
Ubicación de Cuidados Intensivos (Sin Anestesia)					
1 Sala de Recuperación	2	Cama(s)	1.5	50	1.5
2 U.C.I (Excepto Cardíaco)		Cama(s)	2	75	
3 U.C.I Cardíaco		Cama(s)	1	50	
4 Sala de Emergencias	7	Cama(s)	1	100	7
5 Procedimientos Especiales (Rayos-X, diálisis, etc.)		Habitación(es)	1.5	30	
6 Laboratorio de Cateterismo		Habitación(es)	1	10	
7 Sala de Escisión Quirúrgica		Habitación(es)	1	10	
8 U.C.I, Neonatal		Cama(s)	1	50	
Cuidado Subagudo del Paciente (Sin Anestesia)					

Hoja de cálculo “Vacío”

Ingreso de Sección:

Cada sección tendrá un nombre distinto, las secciones se nombrarán con números, no con letras, se debe de ingresar el valor numérico con el cual se

Sección

desea nombrar a la sección, en la columna de sección únicamente se debe de ingresar el valor numérico, el programa autocompletara el nombre de la sección con el siguiente formato “T-#. #”

25

Continuación del apéndice 1.



Ejemplo Ingreso de sección:

Se desea nombrar a la sección como "1", se procede a ingresar el nombre

deseado en la columna Sección , posteriormente cuando se presiona

"ENTER" el programa auto completara el nombre como "T-1.0"

Ingreso de Sección Anterior:

En cada tramo se deberá de ingresar el dato de la sección de la cual proviene el flujo que ingresa al tramo que se está analizando, este dato debe de llenarse con el nombre de un tramo previamente nombrado, de no ser así, el programa no funcionara correctamente al momento de hacer los cálculos posteriores, las secciones anteriores se nombraran con números, no con letras, se debe de ingresar el valor numérico con el cual se desea nombrar a la sección anterior,

en la columna de sección anterior únicamente se debe de ingresar el valor numérico, el programa autocompletara el nombre de la sección con el siguiente formato "T-#.#"

Ejemplo Ingreso de sección Anterior:

Se desea nombrar a la sección como "0", se procede a ingresar el nombre

deseado en la columna Sección Anterior , posteriormente cuando se presiona "ENTER" el programa auto completara el nombre como "T-0.0"

Continuación del apéndice 1.



Ingreso de Longitud:

En cada tramo se ingresará la longitud del tramo de la sección a analizar, esta longitud debe de ser ingresada con dimensional de Pies, y debe de ser un valor

Longitud (Pies)

numérico entero, en la columna de longitud.

Ingreso de Codos:

En cada tramo se ingresará la cantidad de codos que se utilizaran en la sección a analizar, el valor ingresado debe de ser un valor numérico entero, en la

Accesorios	
Codos	Te

columna de Codos.

Ingreso de Te's:

En cada tramo se ingresará la cantidad de Te's que se utilizaran en la sección a analizar, el valor ingresado debe de ser un valor numérico entero, en la

Accesorios	
Codos	Te

columna de Te. Normalmente este dato es únicamente el valor de 1, debido a que cuando se coloca la Te, posteriormente se genera un tramo distinto.

Ingreso de Ubicaciones de Salidas:

En esta sección se debe seleccionar los servicios que se utilizaran en el tramo que se está analizando, para poder selección los servicios que se utilizaran en el tramo se presiona el botón "Desplegar Servicios" ubicado en la columna de ubicaciones de salidas.

UBICACIÓN DE SALIDAS
Desplegar Servicios

Al momento de presionar el botón "Desplegar Servicios, aparecerá un listado que contiene todos los servicios que se utilizan para el Vacío. El botón "Desplegar Servicios" cambia a ser el botón de "Guardar Servicios".



Continuación del apéndice 1.



UBICACIÓN DE SALIDAS	Cantidad Tomas	Flu Se (S
Seleccione Los Servicios		
Servicios		
<input type="checkbox"/> Quirofano	3	
<input type="checkbox"/> Cistoscopia	0	
<input type="checkbox"/> Sala de Parto	0	
<input type="checkbox"/> Procedimiento Especial.(Corazón al	0	
<input type="checkbox"/> Sala de Emergencias/ Trauma may	0	
<input type="checkbox"/> Otro Lugar de Anestesia	0	
<input type="checkbox"/> Vacío de Evacuación	0	
<input type="checkbox"/> Sala de Recuperación	2	

Se observara un listado con dos columna, la primer columna contiene los servicios que se utilizan en el Vacío, la segunda columna indica la cantidad tomas totales requeridas para el sistema que se está analizando, posteriormente seleccionamos los servicios que se utilizaran en el tramo que se está analizando, por ejemplo en el tramo a analizar se utilizara el servicio de Quirófano, seleccionamos el servicio y procedemos a presionar el botón “Seleccione Los Servicios” para que se guarde la selección.

UBICACIÓN DE SALIDAS	Cantidad Tomas	Flu Se (S
Seleccione Los Servicios		
Servicios		
<input checked="" type="checkbox"/> Quirofano	3	
<input type="checkbox"/> Cistoscopia	0	
<input type="checkbox"/> Sala de Parto	0	
<input type="checkbox"/> Procedimiento Especial.(Corazón al	0	
<input type="checkbox"/> Sala de Emergencias/ Trauma may	0	
<input type="checkbox"/> Otro Lugar de Anestesia	0	
<input type="checkbox"/> Vacío de Evacuación	0	
<input type="checkbox"/> Sala de Recuperación	2	

Ingreso de Cantidad de Tomas:

La cantidad de tomas en cada tramo dependerá de los servicios que se utilizaran en cada tramo, seleccionados en la sección anterior “Ubicaciones de Salidas”.



Continuación del apéndice 1.



Ejemplo1: Si en la sección anterior únicamente se selecciona un servicio, por

UBICACIÓN DE SALIDAS	Cantidad Tomas	Flu Se (S
Seleccione Los Servicios		
Servicios		
<input checked="" type="checkbox"/> Quirofano	3	
<input type="checkbox"/> Cistoscopia	0	
<input type="checkbox"/> Sala de Parto	0	
<input type="checkbox"/> Procedimiento Especial.(Corazón al	0	
<input type="checkbox"/> Sala de Emergencias/ Trauma may	0	
<input type="checkbox"/> Otro Lugar de Anestesia	0	
<input type="checkbox"/> Vacío de Evacuación	0	
<input type="checkbox"/> Sala de Recuperación	2	

ejemplo, el servicio de quirófano, y en el tramo se utilizarán todas las tomas indicadas en el servicio, en este caso se utilizará 3 tomas para el tramo analizado, se procede a dejar en blanco la columna de cantidad de tomas, esto indica que se utilizará todas las tomas del servicio seleccionado en la sección anterior.

Ejemplo2: Si en la sección anterior únicamente se selecciona un servicio, por

UBICACIÓN DE SALIDAS	Cantidad Tomas	Flu Se (S
Seleccione Los Servicios		
Servicios	2	
<input checked="" type="checkbox"/> Quirofano	3	
<input type="checkbox"/> Cistoscopia	0	
<input type="checkbox"/> Sala de Parto	0	
<input type="checkbox"/> Procedimiento Especial.(Corazón al	0	
<input type="checkbox"/> Sala de Emergencias/ Trauma may	0	
<input type="checkbox"/> Otro Lugar de Anestesia	0	
<input type="checkbox"/> Vacío de Evacuación	0	
<input type="checkbox"/> Sala de Recuperación	2	

ejemplo, el servicio de quirófano, y en el tramo se utilizarán únicamente 2 tomas del servicio seleccionado, en este caso el servicio posee 3 tomas en total, esto indica que no se utilizarán todas las tomas del servicio seleccionado, en este caso se procede a colocar la cantidad de tomas a utilizar del servicio seleccionado en la

columna de "Cantidad de tomas", en este caso se coloca el número 2. Esto indica al programa que el flujo en ese tramo no es el flujo de 3 tomas, si no de 2 tomas, que es la cantidad de tomas que se seleccionó para este ejemplo.



Continuación del apéndice 1.



Ejemplo3: Si en la sección anterior se seleccionan dos o más servicios para el tramo que se analizara, por ejemplo, los servicios de quirófano, sala de parto y Sala de emergencias, pero de los 2 primeros servicios si se utilizaran todas las tomas indicadas en esos servicios y en el último servicio se utilizara una toma, se debe de ingresar la cantidad de tomas de la siguiente manera en la sección de "Cantidad Tomas"

UBICACIÓN DE SALIDAS	Cantidad Tomas	Flu Se (S
Seleccione Los Servicios	3;2;1;	
Servicios		
<input checked="" type="checkbox"/> Quirofano	3	
<input type="checkbox"/> Cistoscopia	0	
<input checked="" type="checkbox"/> Sala de Parto	2	
<input type="checkbox"/> Procedimiento Especial.(Corazón al	0	
<input checked="" type="checkbox"/> Sala de Emergencias/ Trauma may	2	
<input type="checkbox"/> Otro Lugar de Anestesia	0	
<input type="checkbox"/> Vacío de Evacuación	0	
<input type="checkbox"/> Sala de Recuperación	2	

Se debe de colocar los números con el siguiente formato: #;#;#; separando la cantidad de tomas por punto y coma para cada servicio, terminando siempre con punto y coma al ingresar los datos, tomando en cuenta que la cantidad de tomas se asociara en el orden en el cual se ingresan los datos, por ejemplo, el primer valor ingresado en la sección "Cantidad Tomas" que en este caso es 3, se asociara al primer servicio seleccionado en el listado de la sección "Ubicación de salidas", que para este ejemplo en concreto es el servicio de quirófano, el segundo dato en este caso 2 se asociara al segundo servicio seleccionado, en este caso el servicio de Sala de parto, el tercer dato que en este caso es 1 se asociara al tercer servicio seleccionado, en este caso el servicio de sala de emergencia, si la selección de servicios en la sección de "Ubicación de salidas" cambia, también cambiara la asociación de la cantidad de tomas a cada servicio. En este caso si se cambia el primer servicio que es quirófano, al servicio de Cistoscopia, se cambiara la asociación de la cantidad de tomas a ese servicio, en este caso el primer dato de la sección de cantidad de tomas se asociara al primer servicio seleccionado, en este caso Cistoscopia, y los demás datos seguirán asociados a los servicios mencionados anteriormente.



Continuación del apéndice 1.



2.3.2 Interpretación de datos

Flujo de Sección (SCFM):

El flujo de sección se refiere a la cantidad de fluido que se encuentra fluyendo dentro de ese tramo, este valor se calcula utilizando la selección de servicios que fluyen por el tramo, multiplicado por la cantidad de tomas que debe abastecer el tramo que se analiza, obteniendo el valor de flujo en SCFM (pies cúbicos estándar por minuto) para el tramo analizado.

Diámetro Propuesto (Pulg):

Para cada tramo analizado se realiza la propuesta de un diámetro dependiendo del flujo y longitud de la tubería, el programa utiliza estos datos para realizar una propuesta del diámetro que se ajusta de menor manera para el tramo analizado, dando como resultado un diámetro que se puede aplicar a este tramo para su buen funcionamiento.

Presión inicial de Sección (in Hg):

Cada tramo posee una presión distinta dependiendo de qué tramo se analice, para realizar el cálculo de la presión en cada tramo, se debe saber que tramo está conectado con anterioridad al tramo que se analiza, para este cálculo se utiliza el dato que se ingresó de la sección anterior, tomando como dato de presión de entrada la presión que posee el tramo anterior al tramo analizado.

Pérdida de Presión (in Hg):

Cada tramo posee una pérdida de presión distinta, esto se debe a que cada tramo posee distintas características, los datos a utilizar para el cálculo de pérdida de presión son, la longitud del tramo, el flujo del tramo y el diámetro del tramo a analizar, el programa realiza el cálculo utilizando estos datos y devuelve el valor de la pérdida de presión en el tramo analizado.

Presión Final de Sección (in Hg):

En cada tramo ocurre una pérdida de presión distinta, por en la parte final del tramo la presión es distinta, la presión final en cada tramo depende de la pérdida de presión en el tramo y la presión que ingresa al tramo, por lo que la presión final en el tramo es la resta de la presión inicial del tramo, menos la pérdida de presión en dicho tramo.

31

Continuación del apéndice 1.



Pérdida Acumulada (in Hg):

En esta sección se acumula la pérdida de presión ocurrida en el tramo analizado más la pérdida de presión que ocurrió en los tramos anteriores, por lo que resulta en la pérdida de presión acumulada por todo el sistema.

Pérdida Total:

Este valor representa la pérdida acumulada por todo el sistema, la cual para el Vacío no debe de ser mayor a 4 in Hg.

2.3.3 Modificación de datos

Para el sistema de Vacío únicamente se puede realizar la modificación del diámetro de la tubería en cada tramo que se analiza.

Diámetro Modificado (Pulg):

En esta sección se puede modificar el diámetro con el cual se está analizando el tramo, lo cual hace que los datos de pérdida de presión y presión acumulada varían debido a que estos datos dependen del diámetro de la tubería.

Ejemplo para Diámetro Modificado:

Posteriormente de ingresar los datos necesarios para el cálculo de la tubería de Vacío, se obtienen los valores del flujo de sección, diámetro propuesto, presión inicial, pérdida de presión, presión final de sección y pérdida acumulada, como se observa en la siguiente imagen:

VACIO													
Sección	Sección Anterior	Longitud (Pies)	Accesorios		UBICACIÓN DE SALIDAS	Cantidad Tomas	Flujo de Sección (SCFM)	Diámetro Propuesto (Pulg)	Diámetro Modificado (Pulg)	Presión Inicial de Sección (in Hg)	Pérdida de Presión (in Hg)	Presión de Sección (in Hg)	Pérdida Acumulada (in Hg)
			Codos	Te									
T-0.0	T-0.0	119	2	1	Principal	26	20.40	2 1/2		19.000	0.090	18.910	0.090
T-1.0	T-0.0	38		1	Desplegar Servicios		19.00	2		18.910	0.079	18.831	0.169

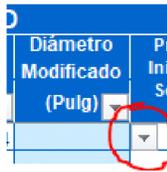
Se desea modificar el diámetro propuesto que en esta ocasión es de 2 “, por un diámetro de 1”, se debe de realizar la modificación en la sección de Diámetro modificado de la siguiente manera.



Continuación del apéndice 1.



Se selecciona la columna de diámetro propuesto, aparecerá un botón para desplegar un listado como se muestra a continuación en un círculo rojo



Se presiona el botón para desplegar la lista de los distintos diámetros a seleccionar



Al desplegarse la siguiente lista, se selecciona el diámetro deseado, la lista posee los siguientes diámetros:

3/4", 1", 1" 1/4, 1" 1/2, 2", 2" 1/2, 3", 4"

En esta ocasión se seleccionará el diámetro de 1" que es el diámetro que se desea colocar.

Posteriormente al momento de seleccionar el diámetro deseado, el programa realizara los cálculos de perdida de presión, presión final de sección y la pérdida acumulada, como se observa en la siguiente imagen.

VACÍO													
Sección	Sección Anterior	Longitud (Pies)	Accesorios Codos	Te	UBICACIÓN DE SALIDAS	Cantidad Tomas	Flujo de Sección (SCFM)	Diámetro Proouesto (Pulg)	Diámetro Modificado (Pulg)	Presión Inicial de Sección (in Hg)	Pérdida de Presión (in Hg)	Presión de Sección (in Hg)	Perdida Acumulada (in Hg)
T-0.0	T-0.0	119	2	1	Principal	26	20.40	2 1/2		19.000	0.090	18.910	0.090
T-1.0	T-0.0	38		1	Desplegar Servicios		19.00	2	1	18.910	1.914	16.996	2.004

Observando el cambio de valores en los cálculos descritos anteriormente que era de 0.079, ahora se observa el valor de 1.914, en base a el diámetro colocado en la sección de Diámetro Modificado, esto es útil para acoplar los cálculos a los diámetros deseados, en dado caso que el Diámetro propuesto no cumpla con las necesidades del sistema.



Continuación del apéndice 1.



2.4 Inventario

La hoja de inventario posea la información recopilada de la longitud de tubería, cantidad de codos y cantidad de Te's necesarios para cada uno de los tres sistemas, utilizando dicho listado de materiales se obtiene la información de los costos por cada uno de los sistemas y el costo total del proyecto en general.

2.4.1 Ingreso de datos

En esta sección únicamente se pueden ingresar los datos de los precios para los materiales del proyecto

Ingreso de Precios de los materiales:

En pantalla aparece la tabla en la cual se deben de colocar los precios de la tubería, codos y Te's , dependiendo del diámetro de cada uno de los materiales.

PRECIOS DE LOS MATERIALES			
Diametro (pulg)	Tuberia (pies)	Codos	Te's
1/2	Q10.00	Q5.00	Q5.00
3/4	Q11.00	Q6.00	Q6.00
1	Q12.00	Q7.00	Q7.00
1 1/4	Q13.00	Q8.00	Q8.00
1 1/2	Q14.00	Q9.00	Q9.00
2	Q15.00	Q10.00	Q10.00
2 1/2	Q16.00	Q11.00	Q11.00
3	Q17.00	Q12.00	Q12.00
4	Q18.00	Q13.00	Q13.00

En cada sección de debe de ingresar el precio de cada material dependiendo del diámetro, por ejemplo, el precio para la tubería de diámetro de 1/2 " es de Q10, por lo que se ingresa el valor numérico de 10 y el programa se encarga de darle el formato a moneda en Quetzales.

34



Continuación del apéndice 1.



2.4.2 Interpretación de datos

Para cada sistema se presentan dos tablas, tabla de materiales y tabla de costos.

Sistema de Oxígeno:

Tabla de Materiales:

En esta tabla se encuentran los valores de la longitud total de tubería, cantidad total de codos y cantidad total de Te's que se utilizara para el sistema de Oxígeno, dependiendo del diámetro de cada uno de los materiales, esta información es obtenida de la información ingresada para el cálculo de la tubería del sistema de oxígeno.

MATERIALES OXIGENO			
Diametro (pulg)	Longitud Tuberia (pies)	Codos	Te's
1/2	881	2	36
3/4	68	0	2
1	129	0	2
1 1/4	114	0	1
1 1/2	0	0	0
2	0	0	0
2 1/2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0

Tabla de costos:

En esta tabla se encuentran los costos totales de la tubería, codos y Te's dependiendo del diámetro de cada material que se utilizara para el sistema de Oxígeno.



Continuación del apéndice 1.



COSTOS OXIGENO				
Diametro (pulg)	Costo Tuberia	Costo Codos	Costo Te's	Costo por Diametro
1/2	Q8,810.00	Q10.00	Q180.00	Q9,000.00
3/4	Q748.00	Q0.00	Q12.00	Q760.00
1	Q1,548.00	Q0.00	Q14.00	Q1,562.00
1 1/4	Q1,482.00	Q0.00	Q8.00	Q1,490.00
1 1/2	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00
2	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00
2 1/2	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00
3	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00
4	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00
Costo del sistema:				Q12,812.00

Sistema de Aire:

Tabla de Materiales:

En esta tabla se encuentran los valores de la longitud total de tubería, cantidad total de codos y cantidad total de Te's que se utilizara para el sistema de Aire, dependiendo del diámetro de cada uno de los materiales, esta información es obtenida de la información ingresada para el cálculo de la tubería del sistema de Aire.

MATERIALES AIRE MÉDICO			
Diametro (pulg)	Longitud Tuberia (pies)	Codos	Te's
1/2	561	0	19
3/4	119	1	1
1	38	0	1
1 1/4	0	0	0
1 1/2	0	0	0
2	0	0	0
2 1/2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0



Continuación del apéndice 1.



Tabla de Costos:

En esta tabla se encuentran los costos totales de la tubería, codos y Te's dependiendo del diámetro de cada material que se utilizara para el sistema de Aire.

COSTOS AIRE MÉDICO				
Diametro (pulg)	Costo Tuberia	Costo Codos	Costo Te's	Costo por Diametro
1/2	Q5,610.00	Q0.00	Q95.00	Q5,705.00
3/4	Q1,309.00	Q6.00	Q6.00	Q1,321.00
1	Q456.00	Q0.00	Q7.00	Q463.00
1 1/4	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00
1 1/2	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00
2	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00
2 1/2	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00
3	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00
4	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00
Costo del sistema:				Q7,489.00

Sistema de Vacío:

Tabla de Materiales:

En esta tabla se encuentran los valores de la longitud total de tubería, cantidad total de codos y cantidad total de Te's que se utilizara para el sistema de Vacío, dependiendo del diámetro de cada uno de los materiales, esta información es obtenida de la información ingresada para el cálculo de la tubería del sistema de Vacío.

MATERIALES VACÍO			
Diametro (pulg)	Longitud Tuberia (pies)	Codos	Te's
3/4	687	5	30
1	185	0	4
1 1/4	167	0	5
1 1/2	0	0	0
2	38	0	1
2 1/2	119	2	1
3	0	0	0
4	0	0	0



Continuación del apéndice 1.



Tabla de Costos:

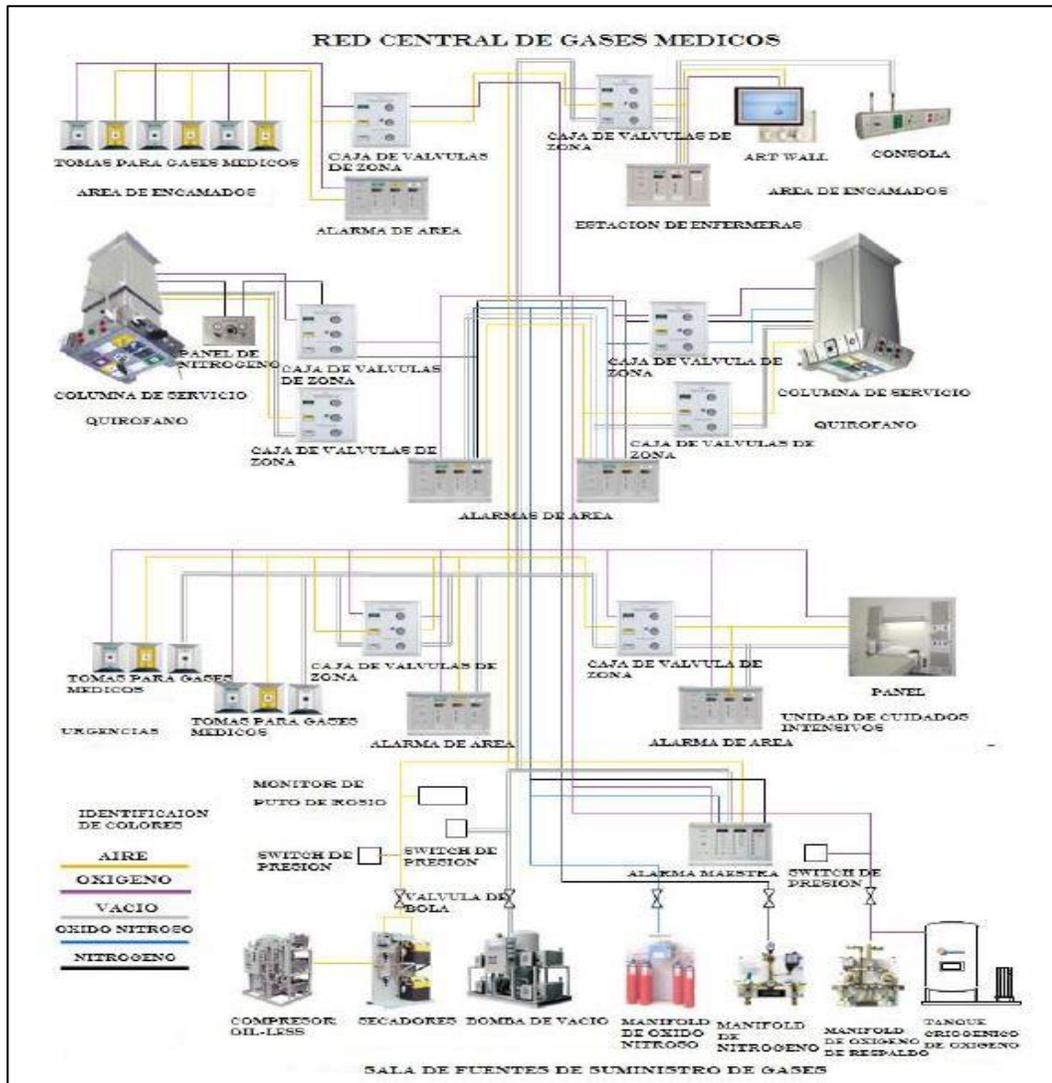
En esta tabla se encuentran los costos totales de la tubería, codos y Te's dependiendo del diámetro de cada material que se utilizara para el sistema de Vacío.

COSTOS VACÍO				
Diametro (pulg)	Costo Tuberia	Costo Codos	Costo Te's	Costo por Diametro
3/4	Q2,035.00	Q0.00	Q24.00	Q2,059.00
1	Q2,004.00	Q0.00	Q35.00	Q2,039.00
1 1/4	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00
1 1/2	Q532.00	Q0.00	Q9.00	Q541.00
2	Q1,785.00	Q20.00	Q10.00	Q1,815.00
2 1/2	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00
3	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00
4	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00
Costo del sistema:				Q6,454.00



ANEXOS

Anexo 1. Red centralizada de gases médicos



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

<<http://www.redicces.org.sv/jspui/bitstream/10972/1944/disenio.pdf>>. Consulta: junio de 2021.

