



**TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO**

**SIMULACIÓN DE VARIABLES DE OPERACIÓN PARA UN SISTEMA DE  
PRODUCCIÓN DE AIRE MEDICINAL ON SITE EN  
UNA INSTITUCIÓN PRESTADORA DE SALUD.**

**AUTORES**

**JAIRO JOSE CERTUCHE VASQUEZ - 1096207951  
ALBERTO MANRIQUE CARO - 1096228475**

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERIA  
TECNOLOGIA EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ELECTROMECHANICO  
BARRANCABERMEJA**

**Fecha de Presentación: 22-08-2018**



**TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO**  
SIMULACIÓN DE VARIABLES DE OPERACIÓN PARA UN SISTEMA DE  
PRODUCCIÓN DE AIRE MEDICINAL ON SITE EN  
UNA INSTITUCIÓN PRESTADORA DE SALUD.

**AUTORES**

JAIRO JOSE CERTUCHE VASQUEZ - 1096207951  
ALBERTO MANRIQUE CARO - 1096228475

**Trabajo de Grado para optar al título de**  
TECNOLOGO EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ELECTROMECHANICO

**DIRECTOR**

LEIDYS MARLEYN RODRIGUEZ CASTRO

**GRUPO DE INVESTIGACIÓN – DIANOIA**

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERIA  
TECNOLOGIA EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ELECTROMECHANICO  
BARRANCABERMEJA

Fecha de Presentación: 22-08-2018

Nota de Aceptación

Trabajo de grado titulado: SIMULACIÓN DE  
VARIABLES DE OPERACIÓN PARA UN  
SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE AIRE  
MEDICINAL ON SITE EN UNA INSTITUCIÓN  
PRESTADORA DE SALUD.

Presentado por: JAIRO JOSE CERTUCHE  
VASQUEZ y ALBERTO MANRIQUE CARO  
Para optar el título de Tecnólogo en operación  
y mantenimiento electromecánico.

  
Firma del jurado

\_\_\_\_\_  
Firma del Jurado

\_\_\_\_\_  
Firma del Jurado

## DEDICATORIA

Le dedico este trabajo a Dios quien ha sido mi respaldo en este proceso; a mis padres, quienes son mi gran orgullo y si ellos no estuvieran a mi lado con su apoyo, no hubiese podido llegar a la meta. Su lucha y perseverancia ha sido mi gran ejemplo para seguir adelante, ellos me han enseñado que no hay nada imposible de alcanzar. Igualmente, a mis hermanos por ser parte de mis lecciones y experiencias.

**JAIRO JOSE CERTUCHE VASQUEZ**

Dedico este trabajo a: Dios por permitirme llegar a la meta, creo que los sueños con esfuerzo y dedicación se cumplen. A mi familia, en especial por creer en mí, por brindarme su apoyo incondicional aun cuando no sabían con exactitud qué hacía, igualmente a mis familiares porque han sido el espejo que me ha motivado a continuar con este sueño, sueño que hoy se hace realidad.

**ALBERTO MANRIQUE CARO**

## AGRADECIMIENTOS

Los autores del trabajo de investigación desean expresar sus agradecimientos:

A la ingeniera Leidys Rodríguez Castro, por todo su apoyo y acompañamiento en el desarrollo de esta investigación; más que nuestra asesora fue un pilar para que se llevara a cabo la construcción y desarrollo de este proyecto. Por asumir la dirección de este proyecto y contribuir con sus aportes y conocimientos, por su valioso apoyo en la redacción de los análisis de esta investigación.

A toda la comunidad educativa de la Institución en especial a los docentes por brindarnos su tiempo cuando fue requerido. A todos los involucrados en nuestra formación que nos brindaron sus conocimientos en el desarrollo de nuestro ciclo tecnológico.

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
RESUMEN EJECUTIVO .....	12
INTRODUCCIÓN .....	14
1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN .....	15
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	15
1.2. JUSTIFICACIÓN .....	17
1.3. OBJETIVOS .....	18
1.3.1. OBJETIVO GENERAL .....	18
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES .....	19
2. MARCOS REFERENCIALES .....	23
2.1. MARCO HISTORICO .....	23
2.2. MARCO TEORICO .....	26
2.3. MARCO CONCEPTUAL .....	36
2.4. MARCO LEGAL .....	38
2.4.1. Resolución 1672 del 2004. Manual de buenas prácticas de manufactura de los gases medicinales. ....	38
2.4.2. Resolución 4410 de 2009. ....	40
2.4.3. NFPA 99. Criterios para los niveles de servicios o sistemas de atención médica. ....	44
2.4.4. Norma técnica colombiana NTC 5935. Sistemas de generación en sitio de aire medicinal para distribución mediante tuberías. ....	46

2.4.5. ISO 10083 de 2004. Concentradores de oxígeno para uso con sistemas de tubería para gas medicinal .....	47
2.5. MARCO AMBIENTAL .....	48
2.5.1. Informe N° 32 de la OMS. Especificaciones para las preparaciones farmacéuticas. ....	48
2.5.2. La resolución 1672 de 2004.....	50
2.5.3. Norma Internacional. ISO 9001. Sistemas de gestión de calidad .....	52
2.5.4. Norma técnica colombiana. NTC-ISO. 14001. Sistemas gestión ambiental..54	
3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO .....	56
3.1. DETERMINAR LAS VARIABLES QUE INTERVIENEN EN LA PRODUCCIÓN DEL AIRE MEDICINAL COMPRIMIDO ON SITE.....	56
3.1.1. Pasos para dimensionar tubería de gases medicinales según norma NFPA 99. ....	57
3.2. SELECCIONAR LOS COMPONENTES CON SUS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS QUE HACEN PARTE DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DEL AIRE MEDICINAL COMPRIMIDO ON SITE.....	60
3.3. SIMULAR EL PROCESO DE COMPRESIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE AIRE MEDICINAL ON SITE MEDIANTE UN SOFTWARE DE SIMULACIÓN DE PROCESOS.....	65
4. RESULTADOS.....	74
5. CONCLUSIONES .....	77
6. RECOMENDACIONES .....	79
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	80
8. ANEXOS .....	82

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Presión operacional y código de colores .....	26
Figura 2. Distancia entre soportes de tubería.....	27
Figura 3. Factores de corrección.....	28
Figura 4. Potencia del compresor de aire comprimido .....	29
Figura 5. Sistema de suministro de aire por compresor .....	45
Figura 6. Características y prestaciones del material para las tuberías .....	46
Figura 7. Dimensiones institución prestadora de salud .....	61
Figura 8. Ventana principal ASPEN HYSYS .....	67
Figura 9. Conexiones de entrada y salida del compresor.....	68
Figura 10. Compresor.....	69
Figura 11. Tubería de suministro.....	69
Figura 12. Parámetros de la tubería .....	70
Figura 13. Simulación Sistema Aire medicinal .....	71
Figura 14. Línea de absorción.....	71
Figura 15. Línea de suministro .....	72
Figura 16. Resultados Simulación Compresor .....	72
Figura 17. Resultados Simulación Tubería.....	73
Figura 18. Parámetros del compresor .....	74
Figura 19. Corrientes del material .....	75
Figura 20. Compresor Seleccionado .....	76

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Código de colores para tubería y cilindro en gases medicinales .....	41
Tabla 2. Parámetros establecidos para la distribución de aire medicinal .....	56
Tabla 3. Porcentaje de diversidad por sectores .....	57
Tabla 4. Resumen para realizar los pasos del sistema .....	60
Tabla 5. Variables de estudio para la simulación del proceso de compresión .....	64
Tabla 6. Variables de paquetes termodinámicos.....	65

LISTA DE ANEXOS

	pág.
<b>Anexo 1.</b> Compresor para aire medico .....	82
<b>Anexo 2.</b> Especificaciones compresor aire medico .....	83
<b>Anexo 3.</b> Elementos del compresor .....	84
<b>Anexo 4.</b> Rendimientos del compresor .....	85
<b>Anexo 5.</b> Rendimientos del compresor .....	86
<b>Anexo 6.</b> Línea de distribución .....	87
<b>Anexo 7.</b> Corrientes de energía.....	87
<b>Anexo 8.</b> Composición.....	87
<b>Anexo 9.</b> Tubería de suministro.....	88
<b>Anexo 10.</b> Reporte Compresor .....	89
<b>Anexo 11.</b> Continuación Reporte Compresor .....	90
<b>Anexo 12.</b> Reporte Línea de Absorción.....	91
<b>Anexo 13.</b> Reporte Línea de Distribución .....	92
<b>Anexo 14.</b> Reporte Línea de suministro.....	93
<b>Anexo 15.</b> Continuación línea de suministro.....	94

## RESUMEN EJECUTIVO

Las instituciones prestadoras de salud (IPS) en Barrancabermeja son de primer, segundo y tercer nivel con ciertas limitaciones las cuales irán disminuyendo a tal punto de realizar nuevas inversiones que permitan abrir nuevas especialidades apoyándose en la compra de nuevos equipos médicos y en una central de gases medicinales, es aquí donde esta investigación es una pieza fundamental para lograr el objetivo propuesto en este proyecto.

Una de las variables que se debe fortalecer es el área de la central de gases medicinales, la cual se compone de oxígeno líquido a través de un tanque criogénico; los cilindros de aire medicinal, cilindros óxido nitroso y cilindros de oxígeno con una tercera empresa.

El propósito de este trabajo es simular el proceso de compresión del aire medicinal On Site, el cual está compuesto por un compresor y líneas de distribución. Adicionalmente en este proyecto se hará la selección del compresor y componentes que conforman el sistema de producción de aire medicinal comprimido on site, dando cumplimiento al artículo 2 del decreto 205 de 2003 y al artículo 4 de la resolución 1672 de 2004 del Ministerio de la Protección Social donde se adopta la guía de inspección de buenas prácticas de manufactura para la fabricación, llenado y distribución de gases medicinales.

La metodología que se utilizara es de tipo investigativo en la cual se indagará los diferentes tipos de dispositivos que se encuentran en la actualidad para seleccionar el adecuado, atendiendo las necesidades que se tienen. Cada etapa que involucra el sistema de producción para el aire medicinal será investigada y presentada en el informe final donde se divulgará características, desempeño y especificaciones para seleccionar la mejor opción. Por último, se entregará un informe final donde se

R-DC-95

Simulación de variables de operación para un sistema de producción de  
aire medicinal On Site en una institución prestadora de salud.

VERSIÓN: 01

recopila toda de la investigación que se realizó, un diagrama de bloques del sistema de aire medicinal, características de cada uno de los elementos que la conforman.

## INTRODUCCIÓN

Los temas asociados al diseño y simulación pasan por varias etapas para el logro de los objetivos en los que se enmarcan la realización de estos proyectos pues, logran caracterizar, identificar y por ultimo simular los parámetros y componentes de un sistema real. Lo anterior se ve reflejado en todo el desarrollo de este documento donde las etapas por las que tiene ocurrencia este proyecto se describen y se plantean como procesos de investigación.

El siguiente documento contiene un conjunto de definiciones y conceptos emitidos por las entidades públicas que rigen y regulan todas las formas en las que se deben instalar políticamente correctas los sistemas de distribución de aire comprimido medicinal en las instituciones prestadoras de salud –IPS-.

La aplicación de los gases medicinales en hospitales es de uso intenso y su utilización es cada vez más amplio. Todo ello, y la forma de apoyo de vida, que en muchas ocasiones tienen estos gases, convierten su suministro y distribución en un aspecto crítico e importante en toda red hospitalaria. (Castro, 2013) Por estas razones, el plan del presente trabajo es el de explicar, describir y desarrollar los principios, criterios, normas y procedimientos de diseño y cálculo de sistemas de gases medicinales, bajo los criterios y normas de las instituciones que regulan todo procedimiento o instalación en la IPS.

Con el consolidado de información legal, técnicas y científica, se logran establecer los niveles de cada parámetro que se van a analizar y que serán utilizados como insumos para la simulación con el software Aspen HYSYS, es por ello que del presente trabajo abarcan la concepción del diseño de los sistemas de gases medicinales, buscando establecer una metodología clara y sencilla teniendo un enfoque desde un punto de vista teórico, tomando en cuenta algunos aspectos prácticos de naturaleza técnica.

## 1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El estado colombiano en la actualidad determinó que tanto el oxígeno y el aire medicinal son productos farmacéuticos, por tal motivo el ministerio de la protección social en ejercicio de sus atribuciones legales, en especial las conferidas en el artículo 2 del decreto 205 de 2003 y artículo 4 de la resolución 1672 de 2004 le corresponde adoptar la guía de inspección de buenas prácticas de manufactura para la fabricación, llenado y distribución de gases medicinales, lo cual el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA) verifica y audita que esta norma se cumpla en cada uno de los hospitales y clínicas.

La demanda de aire medicinal en la red hospitalaria de la ciudad de Barrancabermeja se distribuye por terceros al interior de las instituciones con cilindros que cubren esta necesidad; en la medida que estas empresas de salud están escalando de nivel, han incrementado sustancialmente el número de cilindros a utilizar repercutiendo en los altos costos que se generan. ¿Cómo hacer seguimiento a las variables de operación del proceso de producción de aire medicinal en una institución prestadora de salud?

La secretaria de salud local aplica el decreto 2003 del año 2014 que corresponde a la habilitación de servicios en los hospitales y clínicas, esto le permite a una institución ubicarse en cierto nivel que va desde el primer hasta el cuarto nivel siendo el último el más completo, quiere decir que ofrece todas las especialidades de la salud, llevando a tener un sistema de aire medicinal conformado desde un grupo de cilindros conectados de tal manera que garantice el suministro en todos los servicios hasta la fabricación del aire medicinal comprimido on site a través de un compresor.

Los equipos médicos como los ventiladores mecánicos que se utilizan en las unidades de cuidados intensivos adulto, pediátrico o neonatal, máquinas de anestesia requieren para su funcionamiento gases medicinales como es el oxígeno y el aire medicinal, el cual en su interior a través de válvulas lo mezclan dando como resultado el porcentaje de oxígeno que se le suministra al paciente que va desde el 21% al 100%, este consumo puede durar tiempo muy prolongados que perfectamente pueden superar el mes trabajando las 24 horas al día sin parar.

En este proyecto se desea simular el proceso de compresión para determinar las variables de operación, mediante una herramienta informática denominada ASPEN HYSYS.

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

Principalmente este proyecto se realiza para optar al título de Tecnólogo en Operación y Mantenimiento Electromecánico. También las Unidades Tecnológicas de Santander desde su seno académico contribuye a la investigación para el diseño, fabricación, validación de la producción del aire medicinal comprimido on site a través de un compresor bajo las normas que rige el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamento (INVIMA), donde el estudiante fortalecerá todos los conocimientos aprendidos durante su carrera para el servicio de la comunidad.

El proyecto tiene como principal objetivo la simulación del compresor y perdidas de carga por tuberías de distribución en el software de simulación Aspen Hysys el cual permite la representación simbólica de los equipos, líneas de distribución y análisis de las variables de entrada y salida requeridas para la simulación del sistema de producción de aire.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Simular las variables de operación para un sistema de producción de aire medicinal On Site en una institución prestadora de salud.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar las variables que intervienen en la producción del aire medicinal comprimido On Site.
- Seleccionar los componentes con sus características físicas que hacen parte del sistema de producción del aire medicinal comprimido On Site.
- Simular el proceso de compresión del aire medicinal On Site mediante una herramienta informática llamada Aspen Hysys.

#### 1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES

Sarmiento (2012), realiza un proyecto investigativo orientado al Diseño de procedimientos para introducir las buenas prácticas de manufactura en el almacenamiento y producción de aire medicinal dirigido a la clínica nuestra señora del rosario en la Universidad Autónoma de Occidente. El documento se basa a partir de los requisitos establecidos por el reglamento técnico el cual contiene el manual de gases medicinales expedido por la resolución 04410 de 2009 por el ministerio de protección social en Colombia.

El documento presentado, evalúan las instalaciones de producción de aire comprimido y se estableció un nuevo diseño en infraestructura el cual cumple con los requisitos exigidos por la norma vigente. Los procedimientos diseñados contienen el paso a paso de cada una de las actividades que debe realizar el personal encargado en la institución con el fin de estandarizar y ejecutar estas acciones y operaciones de la misma forma con los recursos disponibles en la institución, estas acciones permiten obtener la calidad óptima que se desea en el suministro de aire medicinal al paciente (Sarmiento, 2012).

La investigación permite diseñar formatos de control basados en la revisión diaria a equipos de producción de aire, limpieza diaria, control de especificaciones y liberación de producto, historial de lotes y recepción de cilindros e insumos, los cuales dan cabida al registro de los datos que se van a archivar en el proceso de producción de aire medicinal, esto, con el fin de cumplir los procesos diseñados teniendo en cuenta la secuencia y tiempo que se ha determinado (Sarmiento, 2012).

Morrón y Norato (2011) elaboran una investigación titulada estudio de viabilidad para la implementación de un sistema de generación de oxígeno medicinal in situ en el hospital militar central, Bogotá D.C. El estudio parte debido a que en las

instituciones de alta complejidad se consume gran cantidad de oxígeno medicinal, lo cual simboliza un gran costo en la compra de este medicamento, por esta razón se propone una alternativa viable para reducir estos costos, que permitirá mejorar la situación financiera del sector salud.

La alternativa propuesta consiste en implementar una estación de producción de oxígeno in situ en el Hospital Militar Central utilizando la técnica PSA (Pressure Swing Adsorption) que consiste en someter el aire atmosférico comprimido a un proceso de purificación utilizando filtros específicos y, posteriormente, a separación de sus componentes a través de la absorción (Morrón & Norato, 2011). Esta evaluación demuestra que con la implantación de la planta esta institución se ahorrará un 52% en la compra del oxígeno a un proveedor externo, y la inversión será recuperada en 3 años.

A partir de la realización del proyecto investigativo se concluye que el proyecto es viable desde el punto de vistas financiero ya que los ahorros de implementar la producción de oxígeno medicinal in situ, en el Hospital Militar central son superiores al 54%, y los costos de inversión se recuperan en un poco menos de 2 años. Desde el punto de vista económico y social el proyecto también produce alta eficiencia ya que estos ahorros pueden traer beneficios para la comunidad, porque estos dineros que se ahorran pueden ser invertidos en brigadas de salud, tecnología biomédica, etc. Y desde el punto de vista ambiental la mayoría de los impactos son positivos y los impactos negativos son de baja incidencia y pueden ser mitigables. Como por ejemplo el ruido ambiental, que es controlado por medio de reductores de ruido. Y el drenaje de aceite que es controlado por medio de un tratamiento adecuado como dicen las buenas practica de mano factura. (Morrón & Norato, 2011, pág. 47)

Mora (2016) establece en su tesis el desarrollo de un análisis sobre consideraciones de seguridad que se deben tener en cuenta cuando se dimensionan y seleccionan compresores para un sistema de distribución de aire grado médico, así como los componentes del sistema necesarios para que el aire producido sea de calidad para la respiración humana, tomando en cuenta los procedimientos de instalación, puesta en operación y consideraciones de mantenimiento.

De igual forma se propusieron guías para el diseño, instalación y funcionamiento de este tipo de sistemas para que los mismos sean lo más seguros posibles y que a la vez sean viables tanto técnica como económicamente. Finalmente, una vez determinada la importancia de los sistemas de aire médico en el ambiente hospitalario se propone una metodología para la estimación de la demanda pico calculada para un sistema de aire médico (Mora, 2016). Esta puede ser una herramienta muy útil para el diseñador de un sistema de aire médico alimentado por compresores.

“Las consideraciones definidas incluyen diseño de tuberías, accesorios, métodos de instalación, sistemas de alarma y monitoreo las cuales se deben realizar al sistema” (Mora, 2016, pág. 82). Es decir, no es suficiente que el compresor se libre de aceite, diseñado y construido según los requerimientos de la NFPA 99, si no que al sistema se le deben incorporar accesorios tales como sistemas de filtraje, secadores y demás sistemas de alarma, a los cuales se les debe aplicar un correcto procedimiento de instalación y de pruebas antes de la prueba de operación según los protocolos recomendados por la NFPA.

También se discute la necesidad de la utilización de normas internacionales en el diseño y operación de los sistemas de aire médico; se mencionan la NFPA 99, normas mexicanas, europeas, francesas, y otras (Mora, 2016). Es por esto que, como parte de las conclusiones de este estudio, se formula una propuesta para la

utilización de las normas internacionales en el campo técnico del país y la necesidad de desarrollar una norma nacional que regule las instalaciones y operación de sistemas de aire grado médico.

El presente trabajo tiene como objetivo principal realizar el diseño mecánico del sistema de conducción de gases medicinal para un hospital tipo de 120 camas, que el ministerio de salud pública está implementando en las poblaciones del país que carecen de esta casa de salud (Sanchez, 2010).

Inicialmente, se da a conocer las propiedades físicas, biológicas, químicas, aplicaciones, seguridad y precauciones de los cinco gases medicinales instalados en el hospital (Sánchez, 2010). Luego se pasa a detallar la obtención, almacenamiento y distribución de cada uno de estos gases, además de dar una breve descripción de los equipos y embaces para cada una de las centrales del cuarto de máquinas.

Se desarrolla un estudio de los planos, las normas a emplearse en la instalación de los gases medicinales y paralelamente se efectúa el fundamento matemático para dimensionar las tuberías. El presente trabajo se basa en las normas NFPA 99, mexicana y británica para el diseño de sistemas de conducción de gases en hospitales y clínicas (Sánchez, 2010). El diseño del sistema de conducción de gases medicinales se debe determinar las zonas que requieren el abastecimiento de dichos gases, realizar una distribución lógica de la tubería, cargas totales requeridas y selección adecuada de los accesorios y equipos para cada subsistema.

Sanchez (2010), concluye como máximo una caída de presión de 0,2 psi y una velocidad de 15 m/s, se logra el abastecimiento de los gases a todas las áreas del hospital. Para la selección de los equipos se necesita conocer los flujos totales de diseño y el área destinado para la casa de máquinas, para así determinar el equipo y disposición del mismo.

## 2. MARCOS REFERENCIALES

### 2.1. MARCO HISTORICO

El ser humano lleva representado en sus pulmones el compresor más antiguo de la historia y él más natural, pudiendo tratar 100 litros de aire por minuto o seis m<sup>3</sup> por hora; ejercen una presión de 0,02-0,08 bar. En estado de salud normal, este compresor humano posee una seguridad inigualable, y los costos de funcionamiento son nulos. La impulsión del aire para conseguir un fin útil figura inmerso desde épocas prehistóricas en las vivencias del hombre. Ejemplos: los cazadores utilizando la cerbatana para lanzar una flecha, la acción de soplar para encender y activar el fuego, etc. (Maya, 2017, pág. 23)

Como primer compresor mecánico se puede citar el fuelle manual, que no fue inventado hasta el tercer milenio antes de Cristo, y el fuelle de pie, que no comenzó a emplearse hasta unos 1500 años antes de nuestra Era. Las primeras máquinas soplantes sirvieron para suministrar aire de combustión a los hornos de fundición y en la ventilación de explotaciones mineras (Maya, 2017). El conocimiento y las realizaciones empleando aire comprimido tomaron consistencia científica a partir de la segunda mitad del siglo XVII, cuando el estudio de los gases es el objeto de científicos como Torricelli, Pascal, Boyle, Mariotte, Gay-Lussac, etc.

“Aunque los rasgos básicos de la neumática se cuentan entre los más antiguos conocimientos de la humanidad, no fue sino hasta el siglo pasado cuando empezaron a investigarse sistemáticamente su comportamiento y sus reglas” (Maya, 2017, pág. 24). Sólo desde aprox. 1950 se puede hablar de una verdadera aplicación industrial de la neumática en los procesos de fabricación.

A pesar de que esta técnica fue rechazada en un inicio, debido en la mayoría de los casos a falta de conocimiento y de formación, fueron ampliándose los diversos sectores de aplicación. En la actualidad, ya no se concibe una moderna explotación industrial sin el aire comprimido. Este es el motivo de que en los ramos industriales más variados se utilicen aparatos neumáticos cuya alimentación continua y adecuada de aire garantizará el exitoso y eficiente desempeño de los procesos involucrados en la producción. El diseño y mantenimiento adecuado de redes de aire comprimido y sus respectivos accesorios, juega un papel decisivo en los procesos productivos involucrados cuya energía utilizada es el aire. (Zapata, Maracay, & Palmares, 2014, pág. 8)

Seguidamente, Carl Wilhelm (1742-1786) farmacéutico y químico sueco (aunque de origen alemán), describe el descubrimiento del oxígeno, producido durante sus trabajos entre 1772 y 1773, en su libro Tratado químico del aire y del fuego publicado en 1777. Tradicionalmente este descubrimiento ha sido atribuido al químico Joseph Priestley (1733-1804), quien lo descubrió de manera independiente en 1772, aunque el primero que publicó un trabajo sobre este gas y le dio nombre fue el químico francés Lavoisier (1743-1794) en 1777 (León, 2015).

Al calentar monóxido de mercurio, Priestley obtuvo dos vapores: uno se condensó en gotas, el mercurio, pero ¿qué era el otro? Priestley juntó ese gas en un recipiente e hizo algunos ensayos: si introducía una brasa de madera, ardía; si acercaba ratones vivos, éstos se volvían muy activos. En vista de lo cual, Priestley inhaló un poco de ese gas y notó que se sentía muy "ligero y cómodo". A este gas lo llamó aire desflogistizado, hoy sabemos que era oxígeno. Sin saberlo, Priestley fue la primera persona que usó la mascarilla de oxígeno. (León, 2015, pág. 2)

El primer método de producción de ASM se hacía usando compresores que succionaban el aire del ambiente a través de un proceso de filtración de partículas y un proceso de purificación de hidrocarburos; de allí se obtenían purezas de oxígeno similares al ambiente de donde era succionado (Maya, 2017). La desventaja de este proceso es que cuando la succión se realiza en ubicaciones a mucha altura, el nivel de oxígeno es bajo, por lo cual no se alcanza la calidad de oxígeno esperada para producir el aire sintético, que exige entre el 21 y el 23 % de oxígeno con balance de nitrógeno

## 2.2. MARCO TEORICO

### Sistema de distribución.

Comprende la estructuración de elementos como tuberías, válvulas, controles, manifold, salidas, terminales entre otros. La distribución del sistema se efectúa mediante tres clases generales de tubería. La línea principal, caracterizada por ir conectada directamente a fuentes (bombas, receptores, etc) o ramales (Girón, Sistema de gases médicos: Una guía práctica para el diseño, 2012). Las tuberías verticales permiten la ramificación de la línea principal en los diferentes niveles de la instalación. Finalmente, la línea ramal (lateral) es la encargada de seccionar el producto a un grupo de cuartos de la misma instalación.

**Figura 1.** Presión operacional y código de colores

GAS DE SERVICIO	ABREVIACIÓN	COLORES(FONDO/ TEXTO)	PRESIÓN ESTÁNDAR
Aire médico		Amarillos / Negro	50 psig +5/-0 (345 Kpa + 35/ -0)
Bióxido de carbón	CO <sub>2</sub>	Gris/ Negro o Gris /Blanco	345 Kpa + 35/ -0 (50 psig+5/-0)
Nitrógeno	N <sub>2</sub> o HPN <sub>2</sub>	Negro /Blanco	160psig +25 / -0(1145Kpa + 173/-0)
Óxido Nitroso	N <sub>2</sub> O	Azul /Blanco	50 psig +5/-0 (345 Kpa + 35/ -0)
Oxígeno	O <sub>2</sub>	Verde /Blanco o Blanco /Verde	50 psig +5/-0 (345 Kpa + 35/ -0)
Vacío Quirúrgico		Blanco /Negro	15 " Hg a 30 " hg(380 mm Hg a 760 mmhg)
Disposición de desperdicio de gases anestésicos	WAGD	Violeta / Blanco	Varía con el tipo de sistema
Aire no médico		Amarillo tira diagonal blanca / Negro enmarcado	Ninguno
Vacío no Médico		Blanco tira diagonal Negra / Negro enmarcado	Ninguno
Aire de laboratorio		Tablero ajedrez amarillo y Blanco/ Negro	Ninguno
Vacío de laboratorio		Tablero de ajedrez Blanco y Negro /Enmarcado negro	Ninguno

**Fuente:** GIRÓN, Ernesto Godofredo. "Sistema de gases médicos: una guía práctica para el diseño". Innovación. Revista semestral de ingeniería e innovación de la Facultad de Ingeniería, Universidad Don Bosco. Diciembre de 2011 – Mayo de 2012, Año 2, No. 3. pp. 5-26. ISSN 2221-1136.

## Tuberías

La distribución del aire medicinal es efectuada mediante tubería para uso médico tipo K (Verde) o L (azul), teniendo en cuenta los lineamientos definidos por la norma ASTM B819, la cual identifica las marcas de diseño duro OXY, MED, AC y MED (Girón, Sistema de gases médicos: Una guía práctica para el diseño, 2012).

Los ramales principales deben poseer un diámetro no menor de media pulgada (1/2"). De igual forma en caso de poseer sistemas operados a presiones superiores a 200 e inferiores a 300 psig se considera el uso de material cobre tipo k.

**Figura 2.** Distancia entre soportes de tubería

DIAMETRO DE LA TUBERÍA	DISTANCIA DEL SOPORTE
¼ " (0.635 cm) nominal	6 pies (1.52m)
3/8"(0.953cm) nominal	6 pies (1.83 m)
1/2 " (1.27 cm) nominal	6 pies (1.83 m)
3/4 " (1.91cn) nominal	7 pies (2.13 m)
1" (2.54cm) nominal	8 pies (2.44 m)
1 ¼(3.175 cm) nominal	9 pies (2.74 m)
1 1/2 (3.81cm)nominal y de mayor diámetro	10 pies(3.05 m)
Derivaciones verticales, todas las medidas	Cada piso, pero no exceder de 15 pies(4.57 m)

**Fuente:** GIRÓN, Ernesto Godofredo. "Sistema de gases médicos: una guía práctica para el diseño". Ingnovación. Revista semestral de ingeniería e innovación de la Facultad de Ingeniería, Universidad Don Bosco. Diciembre de 2011 – Mayo de 2012, Año 2, No. 3. pp. 5-26. ISSN 2221-1136.

La instalación de la tubería debe estar conformada por soportes encargados de sujetar a la construcción del sector. La máxima distancia entre los soportes debe ser analizada con las variables nominales definidas en la Figura 2.

## Factor de corrección

El suministro de caudal al sistema tiende a disminuir debido a la variación de localizaciones con alturas diferentes a la del nivel del mar, por lo que se considera indispensable que el caudal máximo sea configurado, logrado así, compensar la pérdida por altura. La Figura 3, refleja los valores recomendados por la organización Beacon Medaes.

**Figura 3.** Factores de corrección

COMPENSACIÓN POR ALTITUD		
ALTITUD SOBRE EL NIVEL DEL MAR (PIES)	PRESIÓN BAROMÉTRICA	FACTOR DE CORRECCIÓN (SCFM)
		OPERACIÓN DE COMPRESOR A 100 PSIG
0	29.92" Hg	1
1	28.86" Hg	1.01
2000	27.82" Hg	1.03
3000	26.82" Hg	1.05
4000	25.84" Hg	1.06
5000	24.90" Hg	1.08
6000	23.98" Hg	1.1
7000	23.09" Hg	1.12
8000	22.23" Hg	1.15
9000	21.39" Hg	1.17
10000	20.58" Hg	1.19

**Fuente:** GIRÓN, Ernesto Godofredo. "Sistema de gases médicos: una guía práctica para el diseño". Ingnovación. Revista semestral de ingeniería e innovación de la Facultad de Ingeniería, Universidad Don Bosco. Diciembre de 2011 – Mayo de 2012, Año 2, No. 3. pp. 5-26. ISSN 2221-1136.

## Potencia del compresor

La dimensión de la potencia del compresor requiere del cálculo de caudal requerido por el sistema por ello se estandariza en la Figura 4 diferentes parámetros de caballos de fuerza del motor, con el fin de concretar un catálogo de capacidad requerida por la planta que permitan la selección pertinente del equipo (Girón, 2012).

**Figura 4.** Potencia del compresor de aire comprimido

NÚMERO DEL FABRICANTE	PUMP	CAPACIDAD DE LA PLANTA (NFPA)	CAPACIDAD DE UNA BOMBA (NFPA) SCFM @ 19" HG.	TAMAÑO RECEPTOR (GALONES)
	CABALLOS DE FUERZA DEL MOTOR	SCFM @ 19" HG. SIN BOMBA DE RETARDO		
X1	1	5.0.	5.0.	80
X2	1.5	6.4	6.4	80
X2	2	9.3	9.3	80
X4	3	12.9	12.9	120
X5	5	20	20	120
X6	7.5	40.8	40.8	200
x7	10	60.4	60.4	200

**Fuente:** GIRÓN, Ernesto Godofredo. "Sistema de gases médicos: una guía práctica para el diseño". Innovación. Revista semestral de ingeniería e innovación de la Facultad de Ingeniería, Universidad Don Bosco. Diciembre de 2011 – mayo de 2012, Año 2, No. 3. pp. 5-26. ISSN 2221-1136.

## Aire medicinal

El suministro de aire comprimido se efectuaba haciendo uso de cilindros, que suministraban aire de alta limpieza, estéril, confiable, puro y bien seco. Puede ser suministrado mediante cilindros de aire comprimido filtrado, sistemas de mezcla de 21% oxígeno y 79% nitrógeno, o de compresores de aire.

“El proceso consiste en comprimir el aire ambiente y almacenarlo prezuridado en un reservorio. Luego es distribuido mediante un sistema regulador de presión para su respectiva entrega a la red principal” (Aldrete, Guevara, & Capmourteres, 2004, pág. 477). El proceso de preparación del aire se puede clasificar en tres fases: eliminación de partículas gruesas, secado y preparación fina.

## Usos Comunes del aire medicinal

El aire medicinal es de fundamental aplicación en las Unidades de Cuidados Intensivos, para movilizar respiraciones impulsadas por aire comprimido, o como diluyente de O<sub>2</sub> administrado, dado que el O<sub>2</sub> en concentraciones de 100% es tóxico para el organismo (Aldrete, Guevara, & Capmourteres, 2004). De igual forma es empleado en equipos de anestesia como elemento de transporte para atomizar agua, administrándose a las vías respiratorias y como agente propulsor de equipos de cirugía.

## Redes de gases medicinales

Los ramales deben estar cubiertos y protegidos. La red debe ser supervisada continuamente, limpiada y verificado el ajuste de los soportes en las paredes. Antes de ser instalados se debe limpiar el interior de los tubos y almacenarlos con protectores plásticos en los extremos (Aldrete, Guevara, & Capmourteres, 2004). El sistema está conformado por reguladores de presión, válvulas de alivio, alarmas de baja y alta presión. Finalmente, para corroborar la conexión adecuada de los tubos se efectúa una purga con su propio gas, analizándolo y comprobando su contenido.

## Oxígeno

El oxígeno entregado por la red central es enviado a una presión tarada de 50 a 55 psig (Aldrete, Guevara, & Capmourteres, 2004). La entrada del oxígeno cuenta con una válvula de cierre, que permite la interrupción inmediata en caso de escape.

## Ley de Dalton

Señala que en una mezcla gaseosa contenida en un recipiente, la presión ejercida por estos gases es el resultante de la suma de sus presiones parciales (Aldrete, Guevara, & Capmourteres, 2004).

## Proceso de compresión

Abarca la ejecución de dos métodos distintos. El primero se caracteriza por ser de desplazamiento positivo o flujo intermitente (Alvarado, 2006). Este posee dos formas de comprimir un gas, atrapando cantidades consecutivas de un gas en un recipiente, con el fin de reducir su volumen e incrementar su presión para empujar luego el gas fuera de la cámara o trasladar el gas atrapado en un espacio cerrado sin cambios de volumen al sitio de la descarga.

En segundo lugar, los compresores de flujo continuo, el cual se divide en dos métodos. Inicialmente, se comprime el gas por acción mecánica de un impulsor o roto el cual se encarga de generar la velocidad y presión al gas que fluye. Por otra parte (Alvarado, 2006). La compresión a chorro del gas arrastrado, con el propósito de convertir la alta velocidad de la mezcla en presión en un difusor localizado corriente abajo.

El sistema de aire medicinal será operado por lo menos por dos compresores (preferiblemente iguales). La capacidad de los compresores debe ser mayor en un 10 a un 25% del flujo total de diseño.

## Estaciones de salida (Tomas)

Son para servicio de oxígeno, aire, vacío, óxido nitroso y evacuación de gases. Su instalación será empotrada en pared. El diseño será de forma modular, con el fin de

que pueda ser instalado adoptando cualquier combinación o secuencia. Como regla general, los tomas estarán diseñados para evitar el cambio accidental de cuerpo y sus partes internas entre las unidades utilizadas para diferentes gases (MinProtección Social, 2004). Actualmente existen dos clases de tomas para gases medicinales, el cielítico y de pared.

### **Filtro**

Este filtro (también denominado filtro rejilla o filtro metálico) tiene contacto con el exterior y su función es filtrar el ingreso de objetos de mediano o gran tamaño que puedan ingresar al sistema, como animales, insectos, papeles, etc (Sánchez, 2010). No se deben confundir estos filtros con los filtros metálicos llamados pre-filtros que son adecuados para grasas y aceites, ya que éstos entorpecerían el paso adecuado de aire exterior hacia los compresores.

### **Compresores**

Según Sánchez (2010), los compresores deben tener como fuente de ingreso la atmósfera exterior, por lo que estas deben estar libres de contaminantes en forma de partículas, olor u otros gases. De igual forma, se resalta que los compresores deben ser utilizados solamente para el sistema de distribución de aire medicinal y no tener ningún tipo de conexión ajena a este sistema.

Los compresores de aire deben poseer características técnicas iguales y deben ser conectados en paralelo con un sistema de alimentación eléctrico individual. Es aconsejable que las alternancias de las máquinas se realicen a través de temporizadores además de poder alternar su funcionamiento mediante accionamientos manuales (Sánchez, 2010).

## **Filtro coalescente**

La función fundamental de los filtros coalescentes es la de eliminar agua y aceites, además de eliminar algunos contaminantes sólidos contenidos en el aire comprimido (Sánchez, 2010). Los filtros coalescentes en términos básicos y generales están constituidos por 3 capas como mínimo: interna, media y externa

## **Presiones de trabajo**

Sánchez (2010) señala que existen dos presiones de trabajo normalmente usadas en las redes de conducción de aire, dependiendo de las necesidades de los equipos de una marca determinada. Estas presiones de trabajo son:

- De 55 a 50 Psi, que es la que requieren la mayoría de equipos de fabricación norteamericana.
- De 78 a 71 Psi, que es la que necesitan los equipos de fabricación europea.

## **Sistema de conducción de aire**

Este sistema consiste básicamente de los siguientes componentes:

- a) Red de tubería
- b) Válvulas de corte
- c) Tomas de aire
- d) Sistema de alarma

## Clasificación de gases medicinales según el estado físico

- **Gases comprimidos:** Son los gases que a temperaturas normales y bajo presión dentro de un recipiente, conservan su estado gaseoso. Serían aquellos gases o mezcla de gases, cuya temperatura crítica sea menor o igual a  $-10^{\circ}\text{C}$ .
- **Gases criogénicos:** Son los gases que, para mantenerlos licuados en el interior de su envase, debemos proporcionarle una temperatura muy por debajo de la normal, generalmente por encima de su punto de ebullición a temperatura y presión normales, y a presiones proporcionalmente bajas o moderadas. Son aquellos gases cuya temperatura de ebullición a presión atmosférica es inferior a  $-40^{\circ}\text{C}$ .
- **Gases licuados:** Son los gases que a temperaturas normales y bajo presión, se presentan en fase líquida y parcialmente en fase gas. La presión depende fundamentalmente de la temperatura del líquido. Son aquellos cuya temperatura crítica sea mayor o igual a  $-10^{\circ}\text{C}$ .

## Prueba de Presión

Tiene como finalidad la de detectar posibles fugas en el sistema. “Se presuriza cada sección del sistema hasta una presión máxima de tres veces la presión de trabajo. En ningún caso la presión de prueba será menor a 150psig” (Sánchez, 2010, pág. 142). Los gases de prueba pueden ser aire seco comprimido y libre de aceite o nitrógeno.

## Aspen Hysys

Utiliza el concepto de paquete fluidos o "Fluid Packages" como el contenido de toda la información necesaria para desarrollar cálculos de propiedades físicas y

evaporaciones espontáneas de corrientes. El paquete fluido permite definir toda la información (propiedades, componentes, componentes hipotéticos, parámetros de interacción, reacciones, datos tabulados, etc) dentro de un archivo muy sencillo (AspenTech, 2006). Son tres las ventajas de esto, que son:

- Toda la información asociada se define en un solo lugar, lo que permite la fácil creación y modificación de la información.
- Los paquetes fluidos pueden almacenarse como un archivo con extensión "fpk" para usarlos en cualquier simulación.
- Pueden usarse varios paquetes fluidos en una misma simulación. Sin embargo, todos los paquetes definidos se encuentran dentro del administrador básico de la simulación

## 2.3. MARCO CONCEPTUAL

El ministerio de protección social (2009) define que el aire medicinal comprimido es una mezcla sintética o natural de gases, principalmente oxígeno y nitrógeno el cual es suministrado desde cilindros, contenedores a granel o con compresores de aire medicinal. Entonces un gas medicinal es un medicamento constituido por uno o más componentes gaseosos apto para entrar en contacto directo con el organismo humano, de concentración conocida y elaborado de acuerdo a especificaciones farmacopéicas.

### Cilindros

Son envases destinados a contener gases a bajo o alta presión, comprimidos o licuados, lo cual existen equipos de control necesarios para mantener las variables a controlar dentro de los límites específicos; de esta manera un lote corresponde a la fabricación en un período determinado de tal manera que el producto final se caracterice por la homogeneidad.

En caso de gases envasados en rampa o manifold, conforman el lote los contenedores llenados de manera ininterrumpida; y en cada carro tanque criogénico un lote se conforma por la mezcla resultante del producto residual contenido por este más el producto nuevo. En el caso de un proceso continuo de fabricación, el lote debe corresponder a una fracción definida de la producción en el tiempo, que se caracterice por la homogeneidad del producto.

### El manifold

Es un equipo utilizado para llenar uno o más contenedores de gas simultáneamente, el cual utilizará un sistema de distribución por tubería que une la fuente de suministro con las unidades terminales, incluyendo válvula de aislamiento de las

ramificaciones y reguladores de presión adicionales requeridos para reducir la presión en alguna parte del sistema de distribución, después de la fuente de suministro.

En el sistema de distribución es importante instalar válvulas de retención, cuyo objetivo es la de evitar el retorno de fluidos gaseosos, garantizando que el mismo se desplace en una sola dirección.

La validación del proceso en la fabricación del aire medicinal comprimido on site es una evidencia documentada de que un proceso, procedimiento o método efectivo y constantemente produce resultados esperados. (Ministerio de Protección Social, 2009) para tal fin, se requiere instalar unos filtros microbiológicos que tienen por objetivo retener todos los microorganismos; medir el punto de rocío, que consiste en medir la temperatura a que se empieza a condensar el vapor de agua contenida en el aire, cuando es enfriado a una presión constante, produciendo rocío o neblina, ya que si la temperatura es suficientemente baja produce escarcha.

## 2.4. MARCO LEGAL

### 2.4.1. Resolución 1672 del 2004. Manual de buenas prácticas de manufactura de los gases medicinales.

#### Artículo 2º.

La implementación de las Buenas Prácticas de Manufactura y el Control de Calidad en los procesos farmacéuticos relacionados con los gases medicinales, deberá estar bajo los criterios definidos por la orientación técnica de un químico farmacéutico en ejercicio legal de la profesión (MinProtección Social, 2004).

Según el Ministerio de Protección social (2004), la reglamentación que rige las BPM tiene por objeto principal, reducir los riesgos inherentes a toda producción farmacéutica los cuales no puedan prevenirse plenamente a través del control definitivo de los productos. Tales riesgos son relacionados por dos tipos: contaminación cruzada (en particular, por contaminantes imprevistos) y confusión (causada por la colocación de etiquetas equivocadas en los envases)

#### **Producción de aire medicinal en sitio por compresor**

Según los requisitos de la resolución 1672, el ministerio de protección social (2004) señala que la obtención de aire medicinal por este método convendrá cumplir dependiendo de las áreas a certificar, con los siguientes requisitos:

- Cumplir con las especificaciones descritas en las farmacopeas vigentes oficiales en el país. El monitoreo de la calidad del aire debe ser constante y de registro indeleble.
- El compresor seleccionado en la producción de aire medicinal deberá cumplir con las siguientes condiciones:

- a) Eliminación del aceite en algún lugar en el compresor.
- b) Configuración libre de aceite.
- c) Separación de la sección lubricada y de la que contiene el aceite de la cámara de compresión.
- d) Permitir la inspección visual.
  - La ubicación y diseño de las instalaciones deberán evitar que el aire que alimenta al compresor no adicione contaminantes en forma de partículas, olores y otros gases.
  - Descripción del sistema y de la instalación.
  - Se deberán instalar dos o más compresores, previendo su operación alternada o simultánea dependiendo de las necesidades.

El INVIMA a través de la resolución 1672 de 2004 la fabricación de gases medicinales, es un proceso industrial especializado que requiere de un diseño, capacidad de producción, almacenamiento, distribución, mantenimiento y suministro especial haciéndose necesario definir las particularidades referentes a la fabricación y control de calidad de los mismos (MinProtección Social, 2004).

Este Ministerio elaboró el documento correspondiente al anexo técnico de buenas prácticas de manufactura, el cual cuenta con el aval técnico de la dirección general de salud pública del ministerio de la protección social contenido en oficio de fecha 30 de octubre de 2003 en los ítems 12 que habla de los equipos que interactúan en el proceso como el ítems 13 que habla de los materiales y el capítulo 19 de la producción del aire medicinal por medio del compresor nos da los lineamientos para el desarrollo de este gas medicinal (Pizano, 1995).

## **2.4.2. Resolución 4410 de 2009.**

### **Requisitos que deben cumplir los gases medicinales en los procesos de fabricación, control de calidad y comercialización por parte de las entidades prestadoras de servicio.**

A partir de la resolución 4410, se expide el reglamento técnico que contiene el manual de buenas prácticas para la manufacturación de los gases medicinales. Según el Ministerio de protección social (2009), los requisitos presentados constituyen la necesidad de planificar y diseñar, con el propósito de reducir al mínimo el riesgo de error y permitir una conveniente limpieza y mantenimiento, a fin de evitar la contaminación cruzada, el polvo, y todo término que pueda afectar la calidad de los productos.

Las instalaciones para la elaboración de oxígeno y aire medicinal no sintético, deben estar ubicadas en un ambiente tal que ofrezca la mínima contaminación del aire usado como materia prima.

#### **Artículo 37. Generalidades de las instalaciones.**

Las áreas usadas para la producción, envasado, acondicionamiento secundario, control, almacenamiento y distribución de gases medicinales, deben tener un adecuado diseño que garantice una ubicación ordenada de equipos y materiales, mantenerse identificadas, delimitadas y ser suficientemente amplias para los procesos que en ellas se lleven a cabo.

#### **Artículo 38. Tuberías.**

“Las tuberías que transporten fluidos que puedan representar riesgo para el proceso de producción, estarán fuera del área de producción” (MinProteccion social, 2009, pág. 21).

El Ministerio de protección social (2009), indica que todas las tuberías de producción deben:

- a) Contar con un código de identificación, color y dirección del flujo, según las normas nacionales o internacionalmente reconocidas, en su defecto.

**Tabla 1.** Código de colores para tubería y cilindro en gases medicinales

TIPO DE GAS	COLOR DE CILINDRO	COLOR DE TUBERIA
Oxígeno	Blanco	Verde
Óxido nitroso	Azul	Azul
Aire medicinal	Negro/blanco	Amarilla
Vacío	N.A	Blanca
Nitrógeno	Negro	N.A
Dióxido de carbono	Gris	----
Helio	Café	N.A

**Fuente:** SARMIENTO, Margarita. Diseño de procedimiento para introducir las buenas prácticas de manufactura en el almacenamiento y producción de aire medicinal. Cali: UAO, 2012. p. 51.

- b) Permitir su limpieza externa y mantenimiento. Para los gases medicinales se deben utilizar tubos de cobre fosfórico desoxidado y/o materiales aprobados o referenciados en normas internacionales de la NFPA99 – National Fire Protection Association y la ISO10083 – National Standard Oxygen Concentrators for Use with Medical Gas Pipeline System, en sus versiones vigentes. Los tubos serán rígidos o flexibles de acuerdo al lugar de instalación, según los códigos estándar y en las dimensiones indicadas en los planos.

**Artículo 39. Instalación de tanques criogénicos.**

La instalación de tanques criogénicos de almacenamiento y manifolds para efectos de distribución, debe calificarse de acuerdo a procedimientos específicos (MinProteccion social, 2009). Las instalaciones serán diseñadas y equipadas de forma que ofrezcan la máxima protección contra el ingreso de insectos, roedores y animales en general.

**Artículo 58. Agentes contaminantes.**

No se debe permitir que insecticidas, agentes de fumigación y materiales de saneamiento contaminen equipos, materias primas, materiales de envasado, materiales de procesado o productos acabados (MinProteccion social, 2009).

**Artículo 59. Inspección de materiales.**

Los envases, sus válvulas asociadas, materias primas y rótulos, deben asegurar la identidad, seguridad, eficacia y pureza de los gases medicinales, por lo que serán inspeccionados antes de ser usados (MinProteccion social, 2009).

**Artículo 76. Producción de aire medicinal por compresor**

Los parámetros de calidad del aire que serán objeto de monitoreo continuo y registro permanente e inmodificable son:

- El punto de rocío. Debe ser monitoreado y activar una alarma local, así como todas las alarmas maestras cuando la presión del sistema exceda la temperatura de operativa mínima de diseño.
- El Monóxido de Carbono. Debe ser monitoreado y activar una alarma local cuando el nivel de CO exceda 10 ppm

- Los Monitores de punto de rocío y Monóxido de Carbono deben activar la señal individual del monitor en todos los paneles maestros de alarma si el monitor se desenergiza.

La generación de aire medicinal, se desarrollará en un circuito cerrado, diseñado y construido específicamente para tal efecto. Debe comprobarse la homogeneidad de los lotes mediante registros de validación del proceso de obtención del aire medicinal. Los compresores para aire medicinal deben ser diseñados para prevenir la introducción de contaminantes o líquidos en la red, mediante el método de eliminación de aceite en cualquier lugar del compresor, tales como, compresores de anillo líquido y rodamientos permanentemente sellados y compresores reciprocantes provistos de separación entre la sección que contiene aceite y la cámara de compresión mediante al menos dos (2) sellos. (MinProteccion social, 2009, pág. 23)

Los compresores para aire medicinal deben tomar su aire de una fuente de aire limpio localizada donde no se espere encontrar contaminación de escapes (exostos) de motores, venteos de almacenamiento de combustibles, descargas de sistemas de vacío quirúrgico, material particulado u olor de cualquier tipo (MinProteccion social, 2009).

El Ministerio de protección social (2009), refiere que la toma de aire del compresor debe estar localizada en el exterior, por encima del nivel de techo, a una distancia mínima de 3 m (10 ft) de cualquier puerta, ventana, descarga de gases, otra toma u abertura del edificio y a una distancia mínima de 6 m (20 ft) sobre el nivel del terreno.

## Presión

Entre otras, la resolución 4410 se basó en NFPA 99 (National Fire Production Association) de 2005. Por lo tanto, al respecto de la presión, se adopta el nivel indicado por la NFPA como presión de operación. La presión de operación debe estar entre 50 y 55 libras por pulgada cuadrada (PSI) (MinProteccion social, 2009).

## Caudal

La capacidad del sistema de aire se determina de tal forma que el caudal producido sea suficiente para abastecer la demanda pico calculada de la institución. La demanda pico calculada de la institución está dada por el (c) flujo máximo en cada punto de toma multiplicado por la (a) cantidad de puntos de toma instalados. Esto a su vez debe multiplicarse por la (b) simultaneidad, es decir la probabilidad de que se demande aire medicinal de múltiples puntos de toma en el mismo instante, lo cual está en relación con la cantidad de ventiladores y máquinas de anestesia disponibles en la institución. (MinProteccion social, 2009, pág. 37)

### 2.4.3. NFPA 99. Criterios para los niveles de servicios o sistemas de atención médica.

El suministro de gases medicinales abarca la ubicación en serie de redes de distribución y lazos de control los cuales dan acceso al suministro y/o distribución de gases medicinales, requeridos para la atención del paciente.

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 o impurezas Riesgos de incendio (Girón, 2013). Su instalación puede ir aparente o empotrada, para conexión

de accesorios soldados, en este caso se tiene previsto la instalación empotrada y por cielo raso falso.

### Prueba de detección de fugas

Mediante la aplicación de agua Jabonosa se busca antes de realizar la prueba de presión detectar y corregir fugas de gas en el sistema (Girón, 2013). Es posible que si la prueba de presión no brinda los resultados satisfactorios deba aplicarse la prueba de detección nuevamente para localizar las fallas del sistema.

**Figura 5.** Sistema de suministro de aire por compresor

N°	Criterio
1	La entrada de aire al compresor. Debe estar localizada en el exterior arriba del nivel del techo a una distancia mínima de 10 pie (3 m) de cualquier puerta, ventana u otra entrada o apertura del edificio y una distancia mínima de 20 pies (6 m) arriba del piso.
2	La entrada de aire debe estar localizada donde no exista contaminación de descarga de motores, ventilaciones de combustible almacenado, descargas de sistemas de vacío, entre otros.
3	Las entradas de aire para compresores separados se deben de permitir que se unan a una entrada común, previendo que tal entrada esté adecuadamente dimensionada.
4	Dos o más compresores deben ser usados con previsiones para la operación alternativa o simultanea dependiendo de la demanda. Cuando dos compresores son usados, cada unidad debe ser capaz de mantener el suministro de aire al sistema a la demanda pico calculada, por efectos de servicio.
5	El receptor de aire (chimbo) debe estar equipado con una válvula de seguridad, drenaje automático, visor de vidrio y medidor de presión y debe tener la capacidad para asegurar la operación práctica de conexión y desconexión. Debe ser resistente a la corrosión y estar conectado dentro del sistema de compresores, aguas arriba de la válvula de corte de la fuente. El receptor de aire debe estar provisto con un sistema de by pass de tres válvulas para permitir servicio sin desconectar el servicio.
6	El sistema secador debe ser como mínimo dúplex y con válvulas de aislamiento para permitir el servicio en caso de mantenimiento o de fallas. Cada secador debe estar diseñado para suministrar aire al máximo punto de rocío de 35 °F (1.7 °C) a la demanda pico calculada.

**Fuente:** GIRÓN, Ernesto Godofredo. Evaluación de la seguridad y confiabilidad de las redes de gases médicos aplicando la norma NFPA 99. Universidad Don Bosco, 2013. Año 3, No. 5. pp. 5-30.

### Salida de gas (tomas)

Cuando se instalen las salidas es una buena práctica considerar el espacio que existe sobre las salidas, como también la distancia entre ellas (Girón, 2013). Ya que

los equipos de terapia que utilizan vacío y oxígeno frecuentemente tienen una altura mínima de 7 in (17.5cm), las salidas instaladas directamente bajo los espacios de cabecera o debajo de los gabinetes podrían causar que las salidas no se utilicen, debido al poco espacio existente entre toma y toma.

**Figura 6.** Características y prestaciones del material para las tuberías

Características de las Tuberías	Acero Inoxidable	Acero Negro	Cobre	Aluminio
Peso	Schedule 10 Más Ligero	Schedule 40 Pesado	Ligero	Ligero
Resistente a la Corrosión	Sí	No	Sí	Sí
Vulnerable a Pérdida de Presión Generada por Fricción	No	Sí	No	No
Resistencia Mecánica	Muy Fuerte	Muy Fuerte	Fuerte	Fuerte
Ratio a Alta Temperatura	Sí	Sí	Sí	Sí
Fácil de Instalar	Poca Dificultad	Difícil	Poca Dificultad	Fácil
Coste de Instalación Material%/Mano de Obra%	30% / 70%	25% / 75%	40% / 60%	80% / 20%
Herramientas Especiales Requeridas (soldador, enhebrador, fresa para ranuras )	Sí	Sí	Algunas (soldador)	No

**Fuente:** Hitachi Industrial Equipmen. Recomendaciones para las Tuberías de Aire Comprimido de Descarga del Compresor y Distribución en Fábrica. [sitio web]. Disponible en: <http://www.hitachi-america.us>

Si los materiales de estos tubos son vulnerables a corrosión, a lo largo de toda la fábrica, pueden añadir un volumen significativo de partículas sólidas contaminantes capaces de crear caída de presión y problemas potenciales en la producción.

#### **2.4.4. Norma técnica colombiana NTC 5935. Sistemas de generación en sitio de aire medicinal para distribución mediante tuberías.**

Establece los requisitos que deben cumplir los equipos e instalaciones que conforman los sistemas de producción en sitio de aire medicinal, para su distribución en instituciones prestadoras de servicios de salud (NTC 5935, 2012).

Los equipos e instalaciones de producción de aire medicinal deben diseñarse considerando una metodología de gestión del riesgo u otra estrategia de validación que asegure el proceso y el producto, aire medicinal, en el tiempo (NTC 5935, 2012). Los sistemas de suministro cubiertos por esta norma no deben ser utilizados para propósitos diferentes a la aplicación medicina

#### **2.4.5. ISO 10083 de 2004. Concentradores de oxígeno para uso con sistemas de tubería para gas medicinal**

Esta norma especifica requisitos para un sistema concentrador de oxígeno que incluye un suministro de reserva, para uso con sistemas de tubería de gas medicinal que cumplan con la norma ISO 7396, que consta de un equipo de adsorción por ciclos de presión (PSA) y su fuente de suministro de aire (NTC 10083, 2004). Incluye los requisitos para seguridad, calidad, pureza y disponibilidad del suministro. También especifica la fuente de aire para los concentradores de oxígeno.

Los objetivos de la NTC 10083 (2004) están basados en garantizar lo siguiente:

- Introducción apropiada de un sistema de suministro de concentrador de oxígeno en una instalación de asistencia sanitaria.
- Calidad del aire enriquecido en oxígeno entregado por el sistema de suministro.
- Suministro continuo de aire enriquecido con oxígeno.
- Uso de materiales adecuados.
- Limpieza de componentes.
- Provisión de sistemas apropiados de control, monitoreo y alarma para el sistema de suministro.
- Pruebas, puesta en marcha y certificación.

## **2.5. MARCO AMBIENTAL**

El INVIMA debe otorgar a la IPS una licencia sanitaria de funcionamiento que a través de un acto administrativo lo faculta para fabricar productos sujetos a registro sanitario, previa verificación del cumplimiento de las buenas prácticas de manufactura que garanticen, bajo la responsabilidad del titular de la licencia, la calidad de los productos que allí se elaboren y un registro sanitario, que es un documento público previo el procedimiento tendiendo a verificar el cumplimiento de los requisitos técnicos legales establecidos en el presente decreto, el cual faculta a una persona natural o jurídica para producir, comercializar, importar, exportar, envasar procesar y/o expender los medicamentos, preparaciones farmacéuticas a base de recursos naturales.

### **2.5.1. Informe N° 32 de la OMS. Especificaciones para las preparaciones farmacéuticas.**

Se promueve el establecimiento de servicios completos de salud, la prevención, mejoramiento de las condiciones ambientales, la formación y el perfeccionamiento de los recursos humanos para la salud, la coordinación y el desarrollo de las investigaciones biomédicas y sobre servicios de salud, y la planificación y ejecución de programas de salud (Organización mundial de la salud, 1992).

### **Administración de la calidad en la industria farmacéutica: filosofía y elementos esenciales.**

En la industria farmacéutica en general, la administración de la calidad se define como el aspecto de la función administrativa que determina y pone en práctica la "política de la calidad", es decir la orientación y las intenciones generales de un organismo en lo que respecta a la calidad, en la forma como lo expresan y lo

autorizan las autoridades superiores de dicho organismo. (Organización mundial de la salud, 1992)

Los elementos básicos de la administración de la calidad son: infraestructura apropiada o "sistema de calidad" que abarque la estructura, procedimientos, procesos, y recursos; y acciones sistemáticas necesarias para asegurar la confianza suficiente en que el producto (o servicio) satisface determinadas condiciones de calidad. El conjunto de esas acciones se denomina "garantía de la calidad". El departamento de control de la calidad debe ser también independiente de otros departamentos, y estar bajo la autoridad de una persona calificada y experimentada, que tenga a su disposición uno o más laboratorios de control. Debe contar con recursos suficientes para asegurar que los procedimientos de control de la calidad puedan efectuarse con eficacia y confiabilidad. (Organización mundial de la salud, 1992, pág. 30)

### **Saneamiento e higiene**

Cada uno de los aspectos de la fabricación de productos debe ir acompañado de un elevado nivel de saneamiento e higiene, el cual debe abarcar al personal, instalaciones, equipos y aparatos, materiales y recipientes para la producción, productos de limpieza y desinfección, y todo aquello que puede ser fuente de contaminación del producto (Organización mundial de la salud, 1992). Todas las posibles fuentes de contaminación deben ser eliminadas mediante un programa amplio de saneamiento e higiene.

Deben limpiarse en forma completa y con frecuencia y de conformidad con un plan escrito aprobado por el departamento de control de calidad. En caso de que se empleen desinfectantes, debe usarse más de un tipo, cambiándolos

periódicamente. Deben efectuarse controles periódicos a fin de detectar cepas de microorganismos resistentes.

### **2.5.2. La resolución 1672 de 2004.**

Por la cual se adopta el manual de buenas prácticas de manufactura de los gases medicinales en la que señala:

#### **Garantía de la calidad**

Medidas adoptadas con el fin de asegurar que los productos farmacéuticos sean de la calidad necesaria para el uso al que están destinados. Por tanto, la garantía de la calidad incorpora las Buenas Prácticas de Manufactura BPM y otros factores, tales como el diseño y la elaboración del producto (MinProtección Social, 2004).

El Ministerio de protección social (2004) establece que el Sistema de Garantía de la Calidad apropiado para la fabricación de productos farmacéuticos debe asegurar:

- a) Que estén diseñados y elaborados de tal forma que se tengan en cuenta los requisitos de las BPM.
- b) Que las operaciones de producción y control estén claramente especificadas por escrito y que se adopten los requisitos de las BPM.
- c) Que las responsabilidades de la gerencia estén claramente especificadas en las descripciones de trabajo.
- d) Que se tomen las medidas necesarias para la fabricación, provisión, y uso de materia prima y de envasado adecuadas.
- e) Que se efectúen los controles necesarios de materias primas, productos intermedios, a granel, y otros controles, calibraciones, y comprobaciones durante el procesado.

- f) Que el producto sea procesado y controlado correctamente de acuerdo con los procedimientos definidos.
- g) Que no sean vendidos antes de que las personas autorizadas hayan certificado que cada lote de producción ha sido fabricado y controlado de acuerdo con los requisitos establecidos por las autoridades encargadas de la comercialización.
- h) Que se hayan tomado medidas adecuadas para asegurar, que los productos farmacéuticos sean almacenados por el fabricante, distribuidos y subsiguientemente manejados de tal forma que la calidad se mantenga segura.
- i) Que se establezca un procedimiento de auto-inspección de la calidad, mediante el cual se evalúe la eficacia y aplicabilidad del sistema de garantía de la calidad.

Las Buenas prácticas de manufactura (B.P.M) para aire medicinal, constituyen el factor que asegura que el producto se fabrique de forma uniforme y controlada de acuerdo con las normas de calidad adecuadas al uso que se pretende dar a los productos, conforme a las condiciones exigidas para su comercialización (MinProtección Social, 2004). La reglamentación que rige las B.P.M. tiene por objeto disminuir los riesgos inherentes a toda producción farmacéutica que no puedan prevenirse completamente mediante el control definitivo de los productos.

El ministerio de protección social (2004) señala que el contenido de las B.P.M. exige:

- Que todos los procesos de fabricación se definan claramente, se revisen sistemáticamente a la luz de la experiencia y se compruebe que son el medio de fabricar productos farmacéuticos que tengan la calidad adecuada para cumplir con las especificaciones.
- Que se comprueben las etapas críticas de los procesos de fabricación y todo cambio.

Que se disponga de todos los medios necesarios (MinProtección Social, 2004), incluyendo los siguientes:

- a) Personal capacitado y calificado.
  - b) Infraestructura y espacio apropiados.
  - c) Equipos y servicios adecuados.
  - d) Materiales, envases y etiquetas correctos.
  - e) Procedimientos e instrucciones aprobados.
  - f) Almacenamiento y transporte apropiados.
- Que los registros referentes a la fabricación y distribución permitan indagar la historia de un lote y se mantenga de tal forma que sea completa y accesible.
  - Que el almacenamiento y distribución de los productos sean adecuados para reducir cualquier riesgo que afecte la calidad.
  - Que se estudie toda queja contra un producto ya comercializado, como también que se investiguen las causas de los defectos de calidad y se adopten medidas apropiadas con respecto a los productos defectuosos para prevenir que los defectos se repitan.

### **2.5.3. Norma Internacional. ISO 9001. Sistemas de gestión de calidad**

#### **Enfoque basado en procesos**

La norma ISO 9001 (2008), ratifica que la adopción de un enfoque basado en procesos cuando se desarrolla, implementa y mejora la eficacia de un sistema de gestión de la calidad en una empresa o establecimiento económico, para aumentar la satisfacción del cliente mediante el cumplimiento de sus requisitos.

Para que una organización funcione de manera eficaz, tiene que determinar y gestionar numerosas actividades relacionadas entre sí. Una actividad o un conjunto de actividades que utiliza recursos, y que se gestiona con el fin de permitir que los elementos de entrada se transformen en resultados, se puede considerar como un proceso. Frecuentemente el resultado de un proceso constituye directamente el elemento de entrada del siguiente proceso. La aplicación de un sistema de procesos dentro de la organización, junto con la identificación e interacciones de estos procesos, así como su gestión para producir el resultado deseado, puede denominarse como "enfoque basado en procesos". (ISO 9001, 2008, pág. 2)

### **Sistemas de gestión de calidad**

Hace referencia a los requisitos de documentación, al control de documentos y registros, y al manual de calidad. En cuanto a los procedimientos documentados exigidos por la norma, se encuentra la evaluación del ciclo PHVA (planear, hacer, verificar y actuar), realizando auditorias para la realización de acciones correctivas y preventivas por parte de la alta dirección (ISO 9001, 2008).

En el control de registros, se deben tener en cuenta el procedimiento para la realización del mismo, como lo es la identificación, el almacenamiento, la retención, la protección y la recuperación de la información registrada en dichos registros.

### **Política de calidad**

Según la norma ISO 9001 (2008) la alta dirección debe asegurarse de que la política de la calidad: Es adecuada al propósito de la organización, incluye un compromiso de cumplir con los requisitos y de mejorar continuamente la eficacia del sistema de gestión de la calidad, proporciona un marco de referencia para establecer y revisar

los objetivos de la calidad, es comunicada y entendida dentro de la organización, y es revisada para su continua adecuación.

#### **2.5.4. Norma técnica colombiana. NTC-ISO. 14001. Sistemas de gestión ambiental**

Las normas internacionales sobre gestión ambiental tienen como finalidad proporcionar a las organizaciones los elementos de un sistema de gestión ambiental eficaz que puedan ser integrados con otros requisitos de gestión, y para ayudar a las organizaciones a lograr metas ambientales y económicas (ISO 14001, 2004).

Esta Norma Internacional establece los requisitos para un sistema de gestión ambiental los cuales den cabida a una organización a la ejecución e implementación de políticas legales e información sobre aspectos ambientales significativos.

#### **Implementación y operación**

La dirección debe asegurarse de la disponibilidad de recursos esenciales para establecer, implementar, mantener y mejorar el sistema de gestión ambiental (ISO 14001, 2004). Estos, incluyen los recursos humanos y habilidades especializadas, infraestructura de la organización, y los recursos financieros y tecnológicos. Las funciones, las responsabilidades y la autoridad se deben definir, documentar y comunicar para facilitar una gestión ambiental eficaz.

#### **Competencia, formación y toma de conciencia**

La organización debe asegurarse de que cualquier persona que realice tareas para ella o en su nombre, que potencialmente pueda causar uno o varios impactos ambientales significativos identificados por la organización, sea competente tomando como base una educación, formación o experiencia

adecuadas, y debe mantener los registros asociados. La organización debe identificar las necesidades de formación relacionadas con sus aspectos ambientales y su sistema de gestión ambiental. Debe proporcionar formación o emprender otras acciones para satisfacer estas necesidades, y debe mantener los registros asociados. (ISO 14001, 2004, pág. 9)

### 3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

#### 3.1. DETERMINAR LAS VARIABLES QUE INTERVIENEN EN LA PRODUCCIÓN DEL AIRE MEDICINAL COMPRIMIDO ON SITE.

**Tabla 2.** Parámetros establecidos para la distribución de aire medicinal

Ítems	Condiciones	Variables	Norma
1	Temperatura máxima para operación.	52 °C	NFPA 99
2	Altura para instalación del compresor por encima de techo mínimo.	3 m	NFPA 99
3	Altura por mínima sobre la superficie.	6m	NFPA 99
4	Presión mínima de operación.	50 Psi	NFPA 99
5	Alerta de monóxido de carbono máximo.	10 ppm	NFPA 99
6	Diámetro mínimo requerido para las tomas de aire.	½"	NFPA 99
7	Diámetros para vacío.	¾"	NFPA 99
8	Valor de SCFM por toma.	0.5 SCFM	NFPA 99
9	11 tomas gasto de aire comprimido.	350 L/min	NFPA 99
10	Materiales para la distribución.	Tipo K,L,M, cobre ACR, Acero inoxidable, Acero galvanizado	ASMT B819, ASMT 53, ANSI BI.20.1

**Fuente:** NFPA 99. Norma estándar para instalaciones de atención médica. Quincy: NFPA, 2005.

### 3.1.1. Pasos para dimensionar tubería de gases medicinales según norma NFPA 99.

En el desarrollo del cálculo para hallar la tubería que se necesita en el sistema de distribución de aire comprimido, en los sectores de cirugía, UCI adultos y UCI neonatal se tiene en cuenta la normatividad establecida por la NFPA 99. Los cuales establecen una serie de pasos que aseguran la demanda de aire comprimido, y se distribuyen de la siguiente manera:

- **Paso 1. Factor de diversidad**

Es la razón entre la suma de demandas máximas individuales de varias subdivisiones de una instalación o sistema (que pueden ocurrir en distintos instantes del tiempo) y la demanda máxima del conjunto (instalación o sistema completo).

**Tabla 3.** Porcentaje de diversidad por sectores

Sector	SCFM	%
Cirugía especial o cardiovascular	0.5	100
Cuidados intensivos	0.5	100
Cirugía menor	0.5	75
Emergencias menores	0.5	25
radiología	0.5	10

**Fuente:** NFPA 99. Norma estándar para instalaciones de atención médica. Quincy: NFPA, 2005.

- **Paso 2. Calcular flujo deseado ajustado**

Las tomas del sistema (ACFM), multiplicando los flujos por los factores de diversidad. Se suman todos los flujos ajustados del sistema, para determinar la capacidad requerida por el sistema.

SCFM = “Stándar Cubic Feet Per Minute” Pies cúbicos estándares por minuto

ACFM = “Actual Cubic Feet per Minute” Pies cúbicos reales por minuto

- **Paso 3. Distancia de tubería.**

Se mide la distancia de la tubería del sistema. A la distancia medida del sistema se añade un 50% más de tubería por los accesorios utilizados y se suman para ser el total de metros de tubería a instalar

- **Paso 4. Establecer la presión requerida**

Se establece la presión requerida para el punto más lejano del sistema y la caída de presión permitida para el sistema por norma NFPA 99.

- **Paso 5. Pérdida de presión del sistema**

Se divide los metros de tubería del sistema (+50% de tubería) en tramos de 100 ft. Según la caída de presión permitida establecer el factor de pérdida de presión por cada 100 ft.

**Figura 1.** Tabla de pérdida de presión para O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y Aire comprimido

**TABLE 14.40** Pipe Sizing Table for Low-Pressure Oxygen, Nitrous Oxide, and Compressed Air  
(In psig loss per 100 ft of pipe at 55 psig)

Gas flow, scfm (Lpm)	Nominal pipe sizes, in								
	½	¾	1	1¼	1½	2	2½	3	4
1.8 (50)	0.04 (0.3)								
3.5 (100)	0.16 (1.1)								
4.4 (125)	0.25 (1.7)								
5.3 (150)	0.33 (2.3)	0.04 (0.3)							
6.2 (175)	0.48 (3.3)	0.06 (0.4)							
7.1 (200)	0.63 (4.3)	0.07 (0.5)							
8.8 (250)	0.99 (6.8)	0.11 (0.8)							
10.6 (300)	1.41 (9.7)	0.16 (1.1)	0.04 (0.3)						
14.1 (400)	2.51 (17.3)	0.29 (2.0)	0.07 (0.5)						
17.7 (500)	3.92 (27.0)	0.45 (3.1)	0.11 (0.8)						
26.5 (750)		1.02 (7.0)	0.24 (1.7)						
35.3 (1,000)		1.80 (12.4)	0.42 (2.9)	0.13 (0.9)	0.05 (0.3)				
44.1 (1,250)		2.81 (19.4)	0.66 (4.6)	0.21 (1.5)	0.09 (0.6)				
53.0 (1,500)			0.95 (6.6)	0.30 (2.1)	0.12 (0.8)				
70.6 (2,000)			1.05 (7.2)	0.67 (4.6)	0.22 (1.5)	0.05 (0.3)			
88.3 (2,500)				0.83 (5.7)	0.34 (2.3)	0.08 (0.6)			
105.9 (3,000)				1.19 (8.2)	0.49 (3.4)	0.11 (0.8)			
141.2 (4,000)				2.11 (14.5)	0.88 (6.1)	0.20 (1.4)	0.06 (0.4)		
176.6 (5,000)				3.30 (22.8)	1.36 (9.4)	0.32 (2.2)	0.10 (0.7)		
264.8 (7,500)					3.10 (1.4)	0.71 (4.9)	0.22 (1.5)	0.09 (0.6)	
353.1 (10,000)						1.27 (8.8)	0.40 (2.8)	0.16 (1.1)	
529.7 (15,000)						2.82 (19.4)	0.89 (6.1)	0.35 (2.4)	0.08 (0.6)
706.2 (20,000)						5.00 (34.5)	1.58 (10.9)	0.63 (4.3)	0.15 (1.0)
882.8 (25,000)							2.47 (17.0)	0.98 (6.8)	0.23 (1.6)
1059.3 (30,000)							3.55 (24.5)	1.40 (9.7)	0.31 (2.1)
1412.4 (40,000)								2.48 (17.1)	0.59 (4.1)
1765.5 (50,000)								3.90 (26.9)	0.92 (6.3)

1 psi = 7 kPa.

**Fuente:** NFPA 99. Norma estándar para instalaciones de atención médica. Quincy: NFPA, 2005.

### 3.2. SELECCIONAR LOS COMPONENTES CON SUS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS QUE HACEN PARTE DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DEL AIRE MEDICINAL COMPRIMIDO ON SITE.

En la selección de los parámetros para el suministro de aire comprimido en una institución prestadora de salud se hace referencia a la normatividad establecida para dichos casos.

**Tabla 4.** Resumen para realizar los pasos del sistema

Ítems	Pasos
1	Calcular los ACFM con los factores de diversidad
2	Distancia total de la tubería + 50 %
3	Dividirla tubería en tramos de 100 ft ( 30.48 m)
4	Sumar las pérdidas según tabla
5	Ver el diámetro de tubería más adecuado para el sistema

Fuente: Autor

Hay que tener en cuenta que la pérdida de presión permitida es usualmente de un 5%.

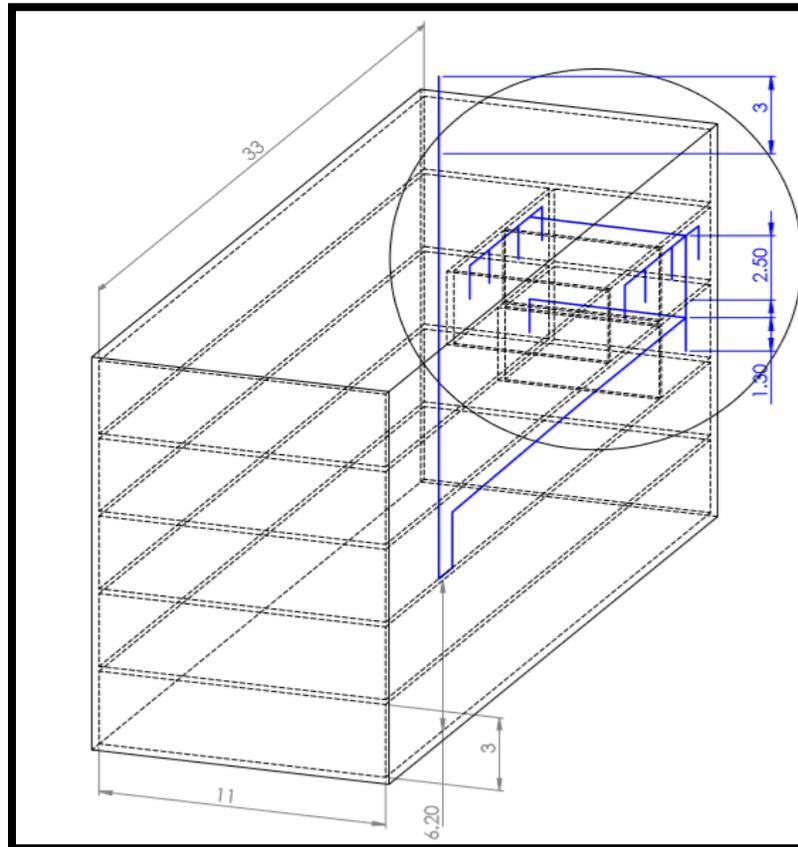
- **Paso 1. Factor de diversidad**

En este caso se seleccionan tres áreas de la clínica

Área	SCFM	%	TOMAS	Cantidad de SCFM
Cirugía especial o cardiovascular	0.5	100	4	2
Cuidados intensivos Adultos	0.5	100	8	4
Cuidados intensivos Neonatal	0.5	100	8	4
<b>Total</b>			<b>20</b>	<b>10</b>

Fuente: NFPA 99. Norma estándar para instalaciones de atención médica. Quincy: NFPA, 2005.

**Figura 7.** Dimensiones institución prestadora de salud



Fuente: Autor

- **Paso 2. Calcular flujo deseado ajustado**

Se puede observar que la diversidad del sistema es del 100 % es por eso que los  
SCFM = ACFM

10 ACFM

En la Figura 3 del marco teórico se puede visualizar el factor por corrección que se establece por la altura sobre el nivel del mar, el trabajo que se adelantó está ubicado en la ciudad de Barrancabermeja, donde se tiene una altura de 81 m sobre el nivel del mar para el caso el factor de corrección para esta la altura es de 1.03.

$$10 \text{ ACFM} * 1.03 = 13 \text{ ACFM}$$

- **Paso 3. Distancia de tubería.**

La distancia que se refleja es de 96.5 metros a este valor se multiplica un 50% de por accesorios.

$$96.5 * 50\% = 48.25 \text{ m}$$

$$\text{Longitud total: } 96.5 \text{ m} + 48.25 \text{ m} = 144.75 \text{ m}$$

- **Paso 4. Establecer la presión requerida**

**Figura 2.** Presión de salida y caída de presión

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

**Fuente:** NFPA 99. Norma estándar para instalaciones de atención médica. Quincy: NFPA, 2005.

Como podemos observar en la Figura 2 la presión de operación y las pérdidas de presión que establece la NFPA 99 que indica que de 50 a 55 psi en operación y una pérdida máxima de 5 psi.

• Paso 5. Perdida de presión del sistema

Figura 3. Perdidas del sistema

Gas flow, scfm (Lpm)			
	1/2	3/4	1
1.8 (50)	0.04 (0.3)		
3.5 (100)	0.16 (1.1)		
4.4 (125)	0.25 (1.7)		
5.3 (150)	0.33 (2.3)	0.04 (0.3)	
6.2 (175)	0.48 (3.3)	0.06 (0.4)	
7.1 (200)	0.63 (4.3)	0.07 (0.5)	
8.8 (250)	0.99 (6.8)	0.11 (0.8)	
10.6 (300)	1.41 (9.7)	0.16 (1.1)	0.04 (0.3)
14.1 (400)	2.51 (17.3)	0.29 (2.0)	0.07 (0.5)
17.7 (500)	3.92 (27.0)	0.45 (3.1)	0.11 (0.8)

Fuente: NFPA 99. Norma estándar para instalaciones de atención médica. Quincy: NFPA, 2005.

Se divide los

$$\frac{144,75 * 100}{30,48} = 474.90 \text{ ft}$$

$$\frac{474,90}{100} = 4,74 \text{ tramos de tubería}$$

Como se ilustra en la figura número 3 la perdida de presión para 14.1 SCFM y tubería de 1/2" la perdida de presión por cada 100 ft es de 2.51 psi.

$$2,51 * 4,74 \text{ tramos} = 11.9 \text{ psi}$$

La presión por norma NFPA 99 es mínima de 50 psi y máxima de 55 psi. El valor para escoger el compresor es de una presión mínima de 61.9 Psi, para que quede un valor mínimo con la pérdida de presión de 50 Psi. Con los datos que se reflejan en la Figura 3 se selecciona un compresor de 5 hp para el suministro de aire comprimido en las áreas de cirugía, Uci adulto y Uci neonatal.

**Tabla 5.** Variables de estudio para la simulación del proceso de compresión

VARIABLES	DATOS	DESCRIPCIÓN
Temperatura Ambiente	32 °C	Barrancabermeja
P. Atm	101.3 kPa	Presión atmosférica
P. Suministró	61.9 Pisa = 426.78 KPa	Presión establecida por la norma NFPA 999 y calculado
Flujo Volumétrico	14.1 SCFM = 400 L/m	Calculado
H. succión	12 m	Establecido por norma
H. descarga	144.75 m	Calculado
Potencia	5 HP	Calculado
Diámetro de tubería	1/2"	Calculado
Tomas de suministro	10	Seleccionado

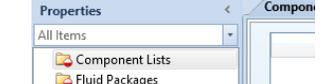
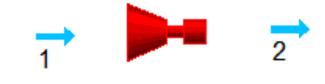
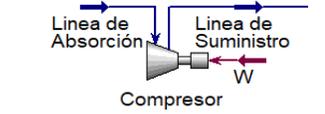
Fuente: Autor

En la tabla número 5 de detona el cálculo realizo para la selección sistema de sistema los valores hallados reflejan un caudal de 14.1 SCFM, y nos referimos a la tabla se establece comercialmente el valor por encima de este de 17,37 SCFM con una potencia de 5 HP, para cumplir con las especificaciones que arroja los cálculos analíticos. Cumpliendo con la norma que rige las instalaciones de aire medicinal como lo es la NFPA 99.

### 3.3.SIMULAR EL PROCESO DE COMPRESIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE AIRE MEDICINAL ON SITE MEDIANTE UN SOFTWARE DE SIMULACIÓN DE PROCESOS.

La simulación del circuito de compresión del sistema de producción de aire medicinal on site, plantea inicialmente el ingreso de variables referente al comportamiento de sus componentes (líneas de distribución, compresor y tubería de suministro). El software ASPEN HYSYS proporciona un entorno de herramientas las cuales permiten determinar el funcionamiento del diseño.

**Tabla 6.** Variables de paquetes termodinámicos

Ítems	Descripción	Figuras
1	Nuevo caso	
2	Listado de componentes	
3	Paquete de fluidos	
4	simulación	
5	Líneas de Corriente	
	Líneas procesos	
6	Simulación	

Fuente: Autor

Seguidamente, se despliega la lista de los diferentes paquetes termodinámicos. Si no se tiene conocimiento de cual paquete termodinámico se va a emplear, Aspen-Hysys cuenta con la herramienta Methods Assistance que a través de una serie de preguntas acerca de los componentes adicionados, seleccionará el o los paquetes termodinámicos más adecuados.

- **Entorno de simulación.**

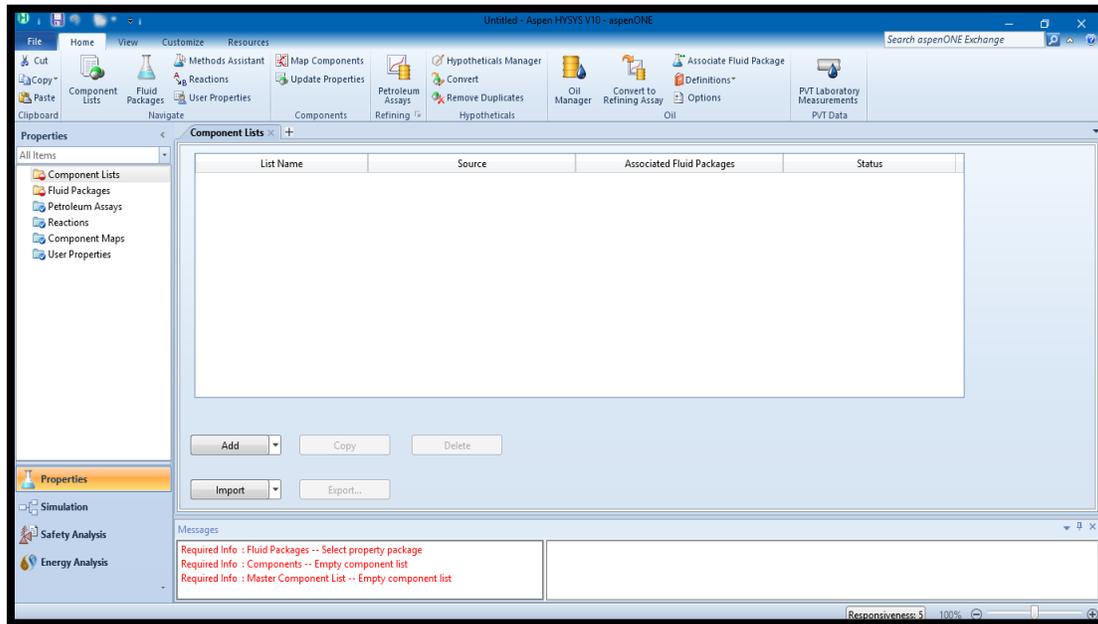
A continuación, se da clic en la pestaña de simulación, en la cual se despliega la ventana de modelo de paleta, la cual permite seleccionar todas las operaciones unitarias requeridas para la simulación.

- **Corrientes de materia y propiedades.**

Para ingresar las corrientes de materia se selecciona el icono→. Estas corrientes están definidas una vez se insertan las variables de temperatura, presión, flujo y composición. Para registrar los datos de las corrientes se debe dar doble clic, con el fin de que se despliegue la ventana.

En la pestaña de condiciones se pueden insertar los valores de temperatura, presión y flujo. En la pestaña de composición se insertan los valores de composición que pueden ser ingresados como fracción másica o molar, flujos másicos o molares y flujos volumétricos evitando los cálculos para convertir de una unidad a otra.

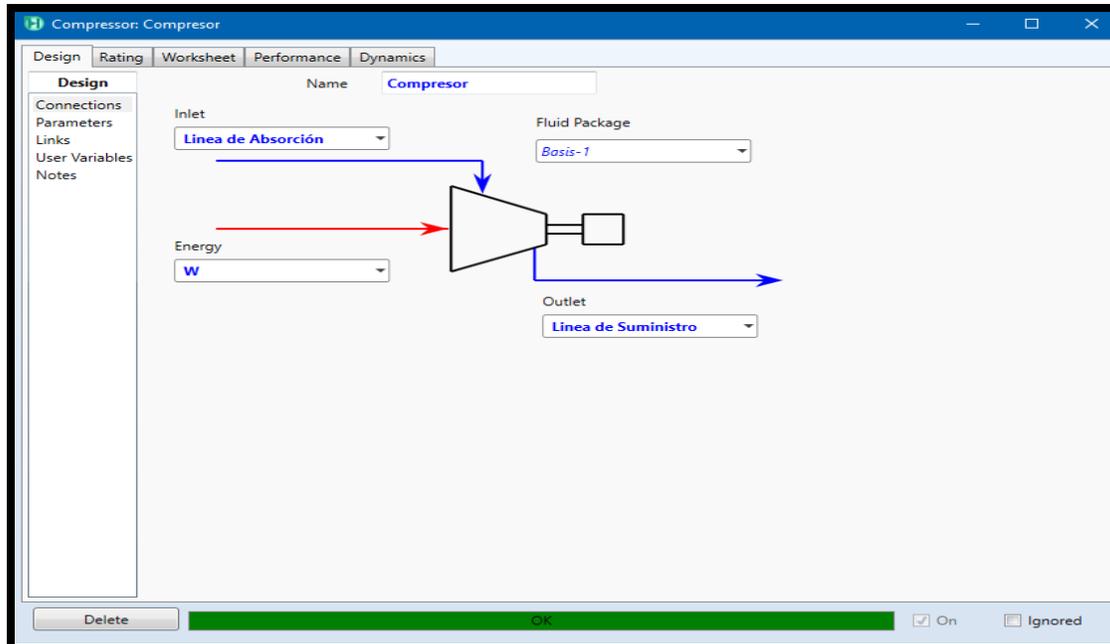
**Figura 8.** Ventana principal ASPEN HYSYS



Fuente: Autor

Una vez abierto el programa, se prosigue a ejecutar el icono NEW, este se encuentra ubicado en el lado izquierdo de la pantalla. Para la adición de componentes se oprime el botón ADD, se buscan los componentes en la barra de búsqueda y se oprime el botón de agregar. En caso de requerir nuevos componentes se repiten los pasos anteriores. Se utiliza en la lista de componentes el aire como el fluido para el compresor y el paquete termodinámico SKR que es el adecuado para gases y vapores.

**Figura 9.** Conexiones de entrada y salida del compresor

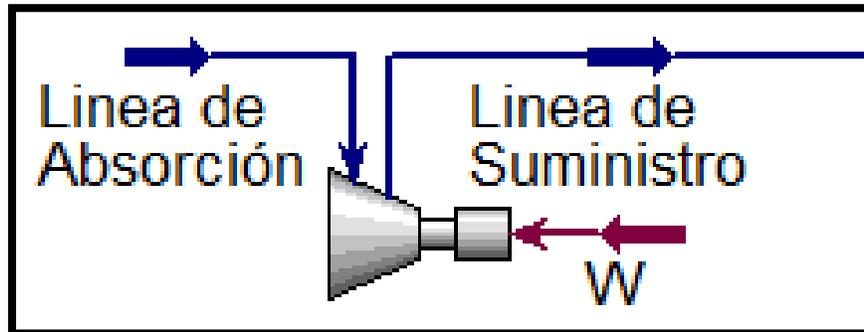


**Fuente:** Autor

En la Figura número 9 se puede observar el compresor, donde se indica las corrientes de entrada y de salida, la línea de absorción es la encargada de recibir el aire y como lo indica la norma debe estar 3 metros del nivel de suelo para evitar que ingresen contaminantes al sistema, la línea de suministro se encargas de distribuir el aire comprimido hasta el lugar de recepción del aire y debe estar cumplir con las especificaciones que se platearon en los cálculos analíticos que se reflejan en la tabla número 6.

La línea de energía que se indica como W refleja la energía que necesita el sistema para poder realizar el trabajo y debe ingresarse para que el programa no lo muestre como error y me garantiza con las variables arrojadas cómo se comporta la simulación.

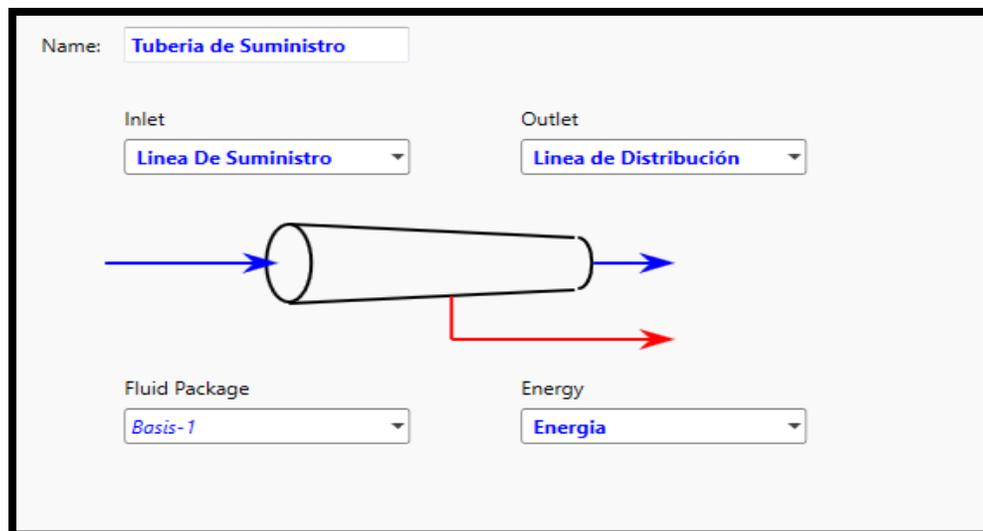
**Figura 10. Compresor**



**Fuente:** Autor

Al ingresar los datos se visualiza el diagrama donde indica con color azul que ha corrido correctamente el programa y que se está listo para el siguiente paso el color morado enseña la energía de los objetos que utilizan para la simulación.

**Figura 11. Tubería de suministro**



**Fuente:** Autor

En la imagen de la Figura 11 se estructura las líneas de la tubería con un valor con una corriente de entrada con la línea de suministro y una corriente de salida estos,

como lo es la línea de distribución, valores se ilustran con líneas de color azul y en con línea roja la energía que necesita para realizar el desplazamiento del flujo de aire.

**Figura 12.** Parámetros de la tubería

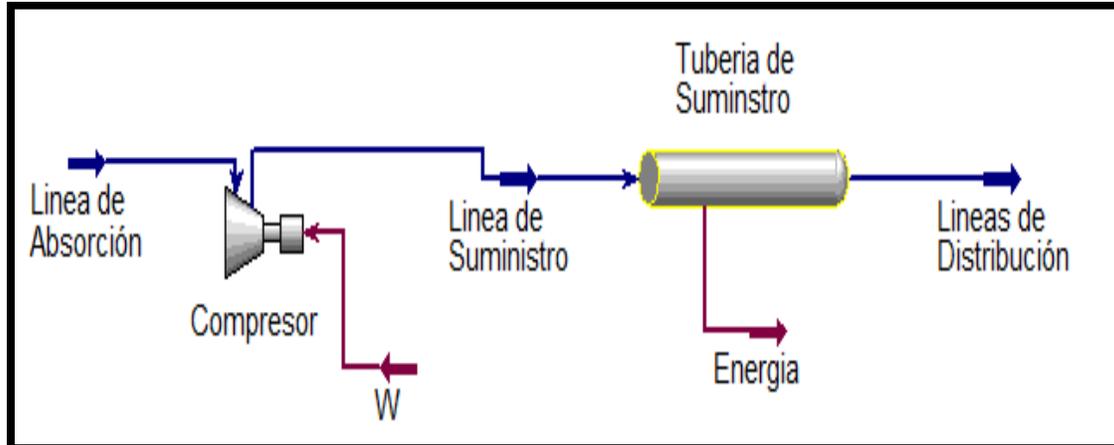
The screenshot shows a software window titled 'Pipe Segment: PIPE-100'. It has several tabs: Design, Rating, Worksheet, Performance, Flow Assurance, and Dynamics. The 'Rating' tab is active, showing a tree view on the left with 'Sizing' and 'Heat Transfer' under 'Rating'. The main area displays a table for 'Length - Elevation Profile' with the following data:

Length - Elevation Profile	
Segment	1
Fitting/Pipe	Pipe
Length/Equivalent Length	144,5
Elevation Change	0,0000
Outer Diameter	21,34
Inner Diameter	15,80
Material	Mild Steel
Roughness	4,572e-005
Pipe Wall Conductivity	45,00
Increments	5
FittingNo	<empty>

**Fuente:** Autor

La Figura 12, indica los parámetros de la tubería instalada como red de distribución. La tubería está basada en la presión y temperatura de diseño, su material es en acero inoxidable con una cedula de espesor de 40. La longitud equivalente es de 144.8 m, con un diámetro externo de 21,34 mm.

**Figura 13.** Simulación Sistema Aire medicinal



Fuente: Autor

La simulación realizada es la distribución del sistema de aire medicinal, el diagrama de flujo distribuido en dos secciones, la línea de absorción se encarga de aspirar el aire requerido por el compresor. Y, mediante la línea de suministro desplaza a las tuberías de distribución según las condiciones requeridas por el sistema de producción de aire medicinal (Ver Figura 13).

**Figura 14.** Línea de absorción

Línea de Absorción		
Temperature	32,00	C
Pressure	101,3	kPa
Molar Flow	2,027	kgmole/h

Fuente: Autor

La línea de absorción del compresor emplea una temperatura de 32° C, ejerciendo una presión de 101, 3 KPa. La cantidad de moles que entra y sale del sistema está representado por un flujo molar de 2,027 Kgmole/h.

**Figura 15.** Línea de suministro

Linea De Suministro		
Temperature	257,5	C
Pressure	479,0	kPa
Molar Flow	2,027	kgmole/h

Fuente: Autor

La línea de suministro aspira y comprime al exterior de la tubería. La temperatura se mantiene en un rango de 34 °C, con una presión de 479,0 KPa. El flujo molar esta dado en 2,027 Kgmole/h.

**Figura 16.** Resultados Simulación Compresor

Compressor: Compresor				
Design Rating Worksheet Performance Dynamics				
Worksheet	Name	Linea de Absorci	Linea De Suminis	W
Conditions	Vapour	1,0000	1,0000	<empty>
Properties	Temperature [C]	32,00	257,5	<empty>
Composition	Pressure [kPa]	101,3	479,0	<empty>
PF Specs	Molar Flow [kgmole/h]	2,027	2,027	<empty>
	Mass Flow [kg/h]	58,68	58,68	<empty>
	LiqVol Flow [m3/h]	6,671e-002	6,671e-002	<empty>
	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	194,5	6820	<empty>
	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	118,8	122,1	<empty>
	Heat Flow [kJ/h]	394,2	1,382e+004	1,343e+004

Fuente: Autor

Los resultados que se muestran en la imagen del compresor reflejan los valores insertados y los derivados del software. Se logra evidenciar que las condiciones de temperatura varían de 32° C en la línea de absorción y 257.5° C en el suministro. De igual forma el flujo molar, entalpia y entropía molar varían sus parámetros al momento de cruzar el compresor. Tal es el caso de la presión el cual eleva sus niveles al momento de ingresar al compresor, registrando valores de entrada de 101.3 KPa y de salida de 479.0 KPa.

**Figura 17.** Resultados Simulación Tubería

Name	Linea De Suminist	Linea de Salida	Q
Vapour	1,0000	1,0000	<empty>
Temperature [C]	257,4990	57,9706	<empty>
Pressure [kPa]	479,0	140,1	<empty>
Molar Flow [kgmole/h]	2,0268	2,0268	<empty>
Mass Flow [kg/h]	58,6761	58,6761	<empty>
LiqVol Flow [m3/h]	0,0667	0,0667	<empty>
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	6820	941,3	<empty>
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	122,1	118,5	<empty>
Heat Flow [kJ/h]	1,38222e+04	1,90787e+03	1,19143e+04

**Fuente:** Autor

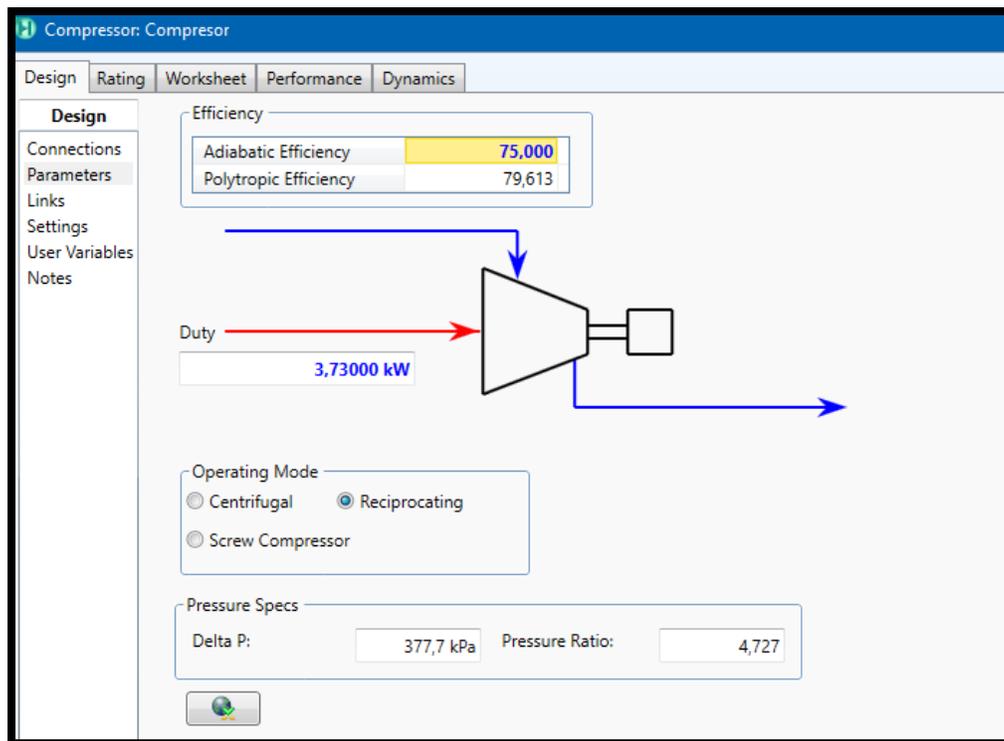
La línea de aire suministrada, ingresa a la tubería de distribución en la cual se ramifica la cantidad de aire medicinal. La Figura 17, permite observar los parámetros de entrada y salida de cada línea y como estos varían al momento de adaptarse las condiciones requeridas. La temperatura de entrada y salida es la misma. Mientras que la presión disminuye de 479,0 KPa a 140.1 KPa. Al mismo tiempo se logra evidenciar que el flujo molar, flujo másico y vapor se mantienen en un rango igual, a diferencia de la entalpia que varía de 6820 a 941,3. Y, la entropía molar de 122,1 a 118,5 KJ/Kgmole.C.

## 4. RESULTADOS

En el informe final se entregará una propuesta para la producción del aire medicinal on sitio por un compresor de acuerdo a la norma 1672 de 2004 el cual se adopta el manual de buenas prácticas de manufactura de gases medicinales por el ministerio de la protección social principalmente capítulo 19.

El programa permite simular a través de un software de simulación de procesos las variables que intervienen en la producción del aire medicinal on site. Por último, un diagrama de bloques donde están consignado los pasos para la producción de aire medicinal.

**Figura 18.** Parámetros del compresor



**Fuente:** Autor

Se observa como resultado la potencia indica por la simulación en la Figura número 18, en donde se observa que el valor es de 3,730 kW que nos dice que es 5 HP.

**Figura 19.** Corrientes del material

Material Streams				
		Linea de Absorción	Linea De Suministro	Linea de Salida
Vapour Fraction		1,0000	1,0000	1,0000
Temperature	C	32,00	257,5	57,97
Pressure	kPa	101,3	479,0	140,1
Molar Flow	kgmole/h	2,027	2,027	2,027
Mass Flow	kg/h	58,68	58,68	58,68
Liquid Volume Flow	m3/h	6,671e-002	6,671e-002	6,671e-002
Heat Flow	kJ/h	394,2	1,382e+004	1908

**Fuente:** Autor

La corriente de materia ilustra el cumplimiento de la necesidad del sistema como son las entradas y salidas de ellas cumpliendo con los valores de temperatura, flujo y presión.

Para simulación se introdujo un flujo en la Figura número 19 un flujo de  $6,671 \times 10^{-2} \frac{m^3}{h}$  manteniendo se constante para el proceso de generación de aire comprimido.

**Figura 20. Compresor Seleccionado**

MODELO/MODEL	PISTON - PISTON SIZE	POTENCIA-POWER	PRESION MAXIMA/MAXIMUM PRESSURE	VELOCIDAD/VELOCITY	ENTREGA (CFM) @- DELIVERY (CFM) @		TANQUE-VESSEL	
	MM	H.P.	BAR/PSI	RPM	50 PSI	100 PSI	TIPO - DESING	CAPACIDAD- CAPACITY (GAL)
V80	2X80	3	7/100	800	13.21	10.3	HORIZONTAL	80
V90	2X90	5	7/100	750	23.17	17.37	HORIZONTAL	120
W90	3X90	7.5	7/100	750	38.07	28.43	HORIZONTAL	120
W100	3X100	10	7/100	700	42.27	32.1	HRZ/VERT.	120
V V 110	4X110	15	7/100	680	68.4	52.02	VERTICAL	240
V V 125	4X125	20	7/100	680	88.39	68.23	VERTICAL	240

**Fuente:** ARIGMED. Compresor para aire grado médico. [sitio web]. Disponible en: <https://docplayer.es/18434024-Compresor-para-aire-grado-medico-medical-air-compressor>.

Otro de los resultados de gran importancia es la selección del compresor el cual se debe indicar entre los cálculos analíticos y la simulación el valor con mayor potencia para mantener correctamente el sistema sin que se pueden presentar demandas de flujo en por debajo del valor deseado, es por ello que se indica en la selección de 5 HP, con un flujo de aire de 17,3 SCFM, sugerida por la empresa Arigmed la cual distribuye todo tipo de compresores para aire medicinal.

Se hace referencia al valor de 5HP, ya que se pueden presentar variables que el simulador pudiese omitir y de esa manera, se encuentra valores por encima de lo establecido en los cálculos analíticos.

## 5. CONCLUSIONES

Se logran determinar las variables que intervienen en la producción del aire medicinal comprimido en las instituciones prestadoras de salud, en las cuales se encuentran como variables de alto control y monitoreo como la presión la temperatura ambiente y el gasto energético para la distribución del aire a cada dependencia de la de un centro médico, también se logró caracterizar los tipos de elementos que son necesarios para que se instale todo el sistema de distribución, como el caudal o diámetro por el cual se desplaza el gas, el tipo de material utilizado y la arquitectura de la infraestructura del centro de salud donde se analice el montaje de producción de aire medicinal comprimido.

Los componentes que se seleccionan para simulación como variables de entrada para el programa donde se corre la distribución espacial de los elementos, están caracterizados por la forma en que su disposición del área donde será instalado, es decir para las salas de cirugía u hospitalización. Asimismo, se tiene en cuenta la distancia recorrida, la presión necesaria, pérdidas de presión de sistema, y flujo ajustado, todos estos ceñidos a la característica del sistema global de producción de aire comprimido según las normativas y regulaciones nacional de salud, impartidas por el INVIMA, el ministerio de salud y protección social, etc.

Para la simulación del proceso de aire medicinal on site se utilizó el software de simulación para procesos productivos industriales Aspen HYSYS, cuya funcionalidad para simular, analizar automáticamente los datos ingresados y arrojar resultados de costo y presupuesto, pérdidas, impacto y cronograma, permitió conocer el impacto y la posibilidad de estandarizar en un centro médico, un sistema de producción de aire comprimido medicinal, en el cual las características de sus componentes sean adaptables a la infraestructura de dichos centros médicos.

Los autores logran obtener conocimiento añadido sobre el software Aspen HYSYS, debido a la necesidad de elaborar tablas para el análisis de datos a través de Excel lo que se permitía de manera sencilla en el software gracias a la herramienta exportación de datos.

## 6. RECOMENDACIONES

Se recomienda a los centros medicinales acatar las recomendaciones de las revisiones periódicas que realizan los entes auditores en cuanto a todos los temas de infraestructura, allí no solo radica el cumplimiento de lo que exige la ley, sino, el cuidado de los pacientes, personal médico, administrativo y en general de todas las personas que frecuentan el hospital, pues, los fallos en los sistemas de distribución de gases medicinales, son un conjunto de elementos ligados a la infraestructura que pueden causar daños graves ante fallos que no se identifican.

Se recomienda para próximas investigaciones que ahonden el tema, el uso de los datos que arroja el software Aspen HYSYS como base de desarrollo, así sus esfuerzos están enfocados a otras líneas de investigación que serían complementarias o ejecutorias de lo planteado en este proyecto.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aldrete, A., Guevara, U., & Capmourteres, E. (2004). Texto de anestesiología. Mexico: Manual modern.

Alvarado, E. (2006). Diseño de programa de mantenimiento para los equipos del área de gases del hospital general San Juan de Dios de la ciudad de Guatemala. Guatemala: Universidad Sancarlos de Guatemala.

Girón, E. (2012). Sistema de gases médicos: Una guía práctica para el diseño. sd: Universidad Don Bosco.

Girón, E. (2013). Evaluación de la seguridad y confiabilidad de las redes de gases medicos aplicando la norma NFPA 99. sd: Universidad Don Bosco.

ISO 14001. (2004). Sistemas de gestión ambiental. Bogotá: ICONTEC.

ISO 9001. (2008). Sistemas de gestión de calidad. sd: ISO.

León, J. (2015). Carl Wilhelm Scheele. sd: sd.

Maya, D. (2017). Estudio de prefactibilidad del mejoramiento técnico del proceso de producción de aire medicinal. Medellin: Universidad EAFIT.

MinProtección Social. (2004). Resolución 1672. Bogota: Diario Oficial .

MinProteccion social. (2009). Resolución 4410. Requisitos que deben cumplir los gases medicinales. Bogota: Invima.

NTC 10083. (2004). Concentradores de oxigeno para uso con sistemas de tubería para gas medicinal. Bogota: Norma Técnica Colombiana.

NTC 5935. (2012). Sistema de generación en sitio de aire medicinal para distribución mediante tuberías. Colombia: Norma Técnica Colombiana.

Organización mundial de la salud. (1992). Especificaciones para las preparaciones farmacéuticas. Ginebra: OMS.

Pizano, S. (1995). Instituto nacional de medicamentos y alimentos. sd: Invima.

Sánchez, E. (2010). Sistema de conducción de gases de un hospital de 120 camas situado en la región costa que pertenece al ministerio de salud pública del Ecuador. Quito: Escuela politécnica nacional.

Zapata, M., Maracay, F., & Palmares, C. (2014). Normas de tratamiento del aire comprimido. Maturín: sd.

## 8. ANEXOS

### Anexo 1. Compresor para aire medico

Compresor para Aire Grado Medico  
*Medical Air Compressor System*



Compresor para Aire Grado medico Triplex de 20 H.P.  
Tipo Vertical.  
*Medical Air Compressor System Triplex 20 H.P.  
Vertical Type Mount.*

Compresor Grado Médico tipo paquete de una Etapa y Reciprocante de transmisión de Poleas y bandas en "V", fabricado bajo la Normatividad de NFPA99-2012.

*Medical Air Compressor System, one stage Reciprocant and Belt Driven; Assembly under NFPA99-2012 specifications.*

Fabricación y ensamble bajo el sistema de calidad ISO9001:2008 e ISO13485:2003.

*Manufacturing and Assembly according Quality System ISO9001:2003 and ISO13485:2003.*



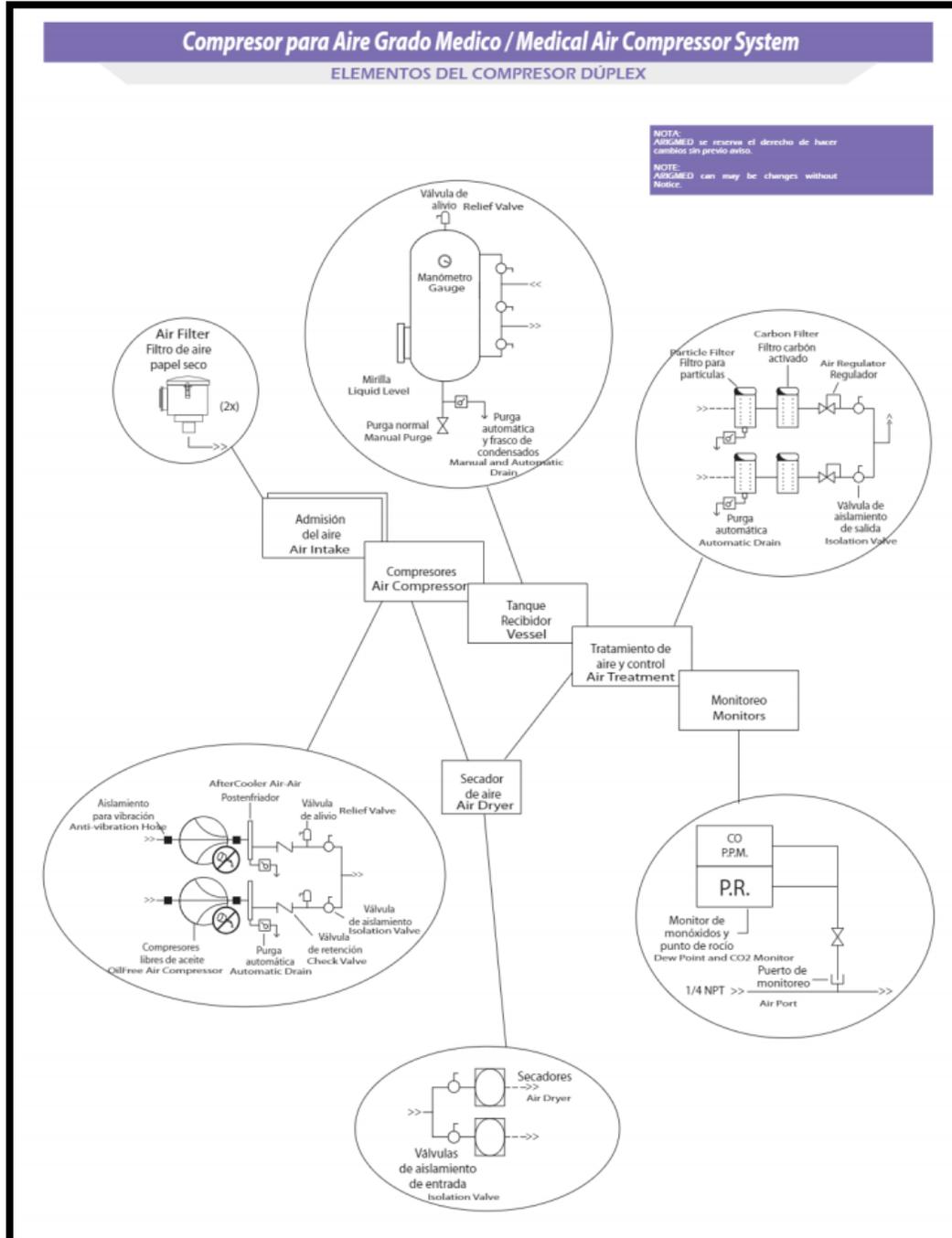
**Fuente:** ARIGMED. Compresor para aire grado médico. [sitio web]. Disponible en: <https://docplayer.es/18434024-Compresor-para-aire-grado-medico-medical-air-compressor>.

## Anexo 2. Especificaciones compresor aire medico

Compresor para Aire Grado Medico / Medical Air Compressor System	
ESPECIFICACIONES	SPECIFICATIONS
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Cumple con las especificaciones de la Normatividad NFPA99-2012, ASME, NOM 016SSA1-2012 (MEX). <i>According with NFPA99-2012, ASME and Mexican NOM 016SSA1-2012 Regulations.</i></li> <li>▶ Cabezal de Compresión de Aire "LIBRE DE ACEITE"/ Oil Free Air Compressor.</li> <li>▶ Post Enfriadores con Aire / Air type Aftercooler.</li> <li>▶ Tanque de Acero conforme ASME con recubrimiento interno y externo de pintura en polvo horneada. <i>Steel Air Tank according ASME specifications, outside-inside powder coating finishing.</i></li> <li>▶ Sistema de Tratamiento de Aire con Secadores de Torres de Regeneración y filtros especificados por NFPA99-2012. <i>Twin Tower type Regeneratyve air Dryer according with NFPA99-2012.</i></li> <li>▶ Monitor de Punto de Rocio y Monóxido de Carbono/ Dew Point and CO2 Monitor.</li> <li>▶ Mantenimiento Preventivo a las 3,000 hrs, y Correctivo a las 6,000 hrs <i>3000 hrs, Preventive Maintenance, 6000 hrs Corrective Maintenance.</i></li> <li>▶ Panel de Control en Gabinete Clase NEMA-12 / NEMA 12 Class type Cabbinet Enclosure.</li> <li>▶ Presion Máxima de Trabajo de 100PSI / 100PSI Maximum Work Pressure.</li> <li>▶ Válvulas de seguridad, alivio y dren incluidas / Safety and Drain Valve include.</li> </ul>	
<b>Cabezal de Compresión / Air Compressor</b>	
	<p><b>Estructura/Structure:</b> De gran Resistencia, Carcasa y cigueñal de Transmisión fabricados en fundición de acero, rodamientos sellados de alta resistencia y temperatura/ High resistance, steel crankshaft and Housing made. High temperature and resistance seal bearings.</p> <p><b>Cilindros/Cilynder:</b> Fabricados en Acero con difusores para alta temperatura y recubrimiento interno para alta temperatura. <i>Steel Cilynder with Temperature Diffusser, inside coating high temperature resistence.</i></p> <p><b>Pistones/Pistons:</b> Fabricados en Inyección de Aluminio, con anillos de PTEF con carga de carbón Grafito. <i>Aluminum injection made with PTEF carbon graphite Filler rings.</i></p> <p><b>Plato de Válvulas/Valve Plate:</b> Fabricado en Acero con recubrimiento de PTEF y Flaps de Acero Inoxidable / <i>Steel valve plate with PTEF coating and stainless steel flaps.</i></p>
<p>Cabezal Compresor libre de Aceite. <i>Oilfree Air Compressor.</i></p> <p>Realice los mantenimientos del equipo conforme a las cedulas / <i>Maintenance will be according manual schedule.</i></p> <p>El equipo debe ser instalado y recibir mantenimiento por "Personal Certificado" en ASSE6005, ASSE6010, ASSE6040 <i>Air Compressor Sytem must be Install and Maintenance by "Certified Perssonel" ASSE6005, ASSE6010, ASSE6040</i></p>	
<p> <b>GRUPO ARIGMED S. de R.L. de C.V.</b> (779) 79-69-370 al 99 Sin costo 01-800-685-60-65 Calle 16 de Enero de 1969 No. 6 Huitzila, Tizayuca, Estado de Hidalgo, México Certificado ISO 9001:2008 <a href="http://www.arigmed.com">www.arigmed.com</a> <a href="mailto:ventas@arigmed.com">ventas@arigmed.com</a></p> <p></p>	

**Fuente:** ARIGMED. Compresor para aire grado médico. [sitio web]. Disponible en: <https://docplayer.es/18434024-Compresor-para-aire-grado-medico-medical-air-compressor>.

### Anexo 3. Elementos del compresor



**Fuente:** ARIGMED. Compresor para aire grado médico. [sitio web]. Disponible en: <https://docplayer.es/18434024-Compresor-para-aire-grado-medico-medical-air-compressor>.

### Anexo 4. Rendimientos del compresor

Compresor para Aire Grado Medico / Medical Air Compressor System								
RENDIMIENTOS / PERFORMANCE								
PAQUETE MEDICO DUPLEX (SISTEMA RECIPROCANTE DE UNA ETAPA)- MEDICAL AIR COMPRESSOR DUPLEX								
MODELO/MODEL	PISTON - PISTON SIZE	POTENCIA-POWER	PRESION MAXIMA/MAXIMUM PRESSURE	VELOCIDAD/VELOCITY	ENTREGA (CFM) @- DELIVERY (CFM) @		TANQUE-VESSEL	
	MM	H.P.	BAR/ PSI	RPM	50 PSI	100 PSI	TIPO - DESING	CAPACIDAD- CAPACITY (GAL)
V80	2X80	3	7/100	800	13.21	10.3	HORIZONTAL	80
V90	2X90	5	7/100	750	23.17	17.57	HORIZONTAL	120
W90	3X90	7.5	7/100	750	38.07	28.43	HORIZONTAL	120
W100	3X100	10	7/100	700	42.27	32.1	HORIZ/VERT.	120
V V 110	4X110	15	7/100	680	68.4	52.02	VERTICAL	240
V V 125	4X125	20	7/100	680	88.39	68.23	VERTICAL	240
PAQUETE MEDICO TRIPLEX (SISTEMA RECIPROCANTE DE UNA ETAPA)-MEDICAL AIR COMPRESSOR TRIPLEX								
MODELO/MODEL	PISTON - PISTON SIZE	POTENCIA-POWER	PRESION MAXIMA/MAXIMUM PRESSURE	VELOCIDAD/VELOCITY	ENTREGA (CFM) @- DELIVERY (CFM) @		TANQUE-VESSEL	
	MM	H.P.	BAR/ PSI	RPM	50 PSI	100 PSI	TIPO - DESING	CAPACIDAD- CAPACITY (GAL)
V80-3	2X80	3	7/100	800	26.42	20.6	VERTICAL	120
V90-3	2X90	5	7/100	750	46.34	34.74	VERTICAL	120
W90-3	3X90	7.5	7/100	750	76.14	56.86	VERTICAL	240
W100-3	3X100	10	7/100	700	84.54	64.2	VERTICAL	240
V V 110-3	4X110	15	7/100	680	136.8	104.04	VERTICAL	240
V V 125-3	4X125	20	7/100	680	176.78	136.46	VERTICAL	240
PAQUETE MEDICO CUATRUPLIX (SISTEMA RECIPROCANTE DE UNA ETAPA)-MEDICAL AIR COMPRESSOR CUATRUPLIX								
MODELO/MODEL	PISTON - PISTON SIZE	POTENCIA-POWER	PRESION MAXIMA/MAXIMUM PRESSURE	VELOCIDAD/VELOCITY	ENTREGA (CFM) @- DELIVERY (CFM) @		TANQUE-VESSEL	
	MM	H.P.	BAR/ PSI	RPM	50 PSI	100 PSI	TIPO - DESING	CAPACIDAD- CAPACITY (GAL)
V80-4	2X80	3	7/100	800	39.63	30.9	VERTICAL	120
V90-4	2X90	5	7/100	750	69.51	52.11	VERTICAL	120
W90-4	3X90	7.5	7/100	750	114.21	85.29	VERTICAL	240
W100-4	3X100	10	7/100	700	126.81	96.3	VERTICAL	240
V V 110-4	4X110	15	7/100	680	205.2	156.06	VERTICAL	240
V V 125-4	4X125	20	7/100	680	265.17	204.69	VERTICAL	240
PAQUETE MEDICO QUINTUPLIX (SISTEMA RECIPROCANTE DE UNA ETAPA)-MEDICAL AIR COMPRESSOR QUINTUPLIX								
MODELO/MODEL	PISTON - PISTON SIZE	POTENCIA-POWER	PRESION MAXIMA/MAXIMUM PRESSURE	VELOCIDAD/VELOCITY	ENTREGA (CFM) @- DELIVERY (CFM) @		TANQUE-VESSEL	
	MM	H.P.	BAR/ PSI	RPM	50 PSI	100 PSI	TIPO - DESING	CAPACIDAD- CAPACITY (GAL)
V80-5	2X80	3	7/100	800	52.84	41.2	VERTICAL	120
V90-5	2X90	5	7/100	750	92.68	69.48	VERTICAL	120
W90-5	3X90	7.5	7/100	750	152.28	113.72	VERTICAL	240
W100-5	3X100	10	7/100	700	169.08	128.4	VERTICAL	240
V V 110-5	4X110	15	7/100	680	273.6	208.08	VERTICAL	240
V V 125-5	4X125	20	7/100	680	353.56	272.92	VERTICAL	240

1 Condiciones normales de operación a una temperatura ambiente máxima de 105° F (40.56°C), en caso de exceder estos parámetros, se requiere de ventilación mecánica adicional para enfriar los equipos según lo especificado por NFPA99-2012. Maximum working temperature to 105° F (40.56°C) ,mechanical ventilation must be include in case of temperature exceed.

2 Todas las capacidades están señaladas en base al sistema según NFPA99-2012, en pies cúbicos por minuto (cfm). (Un compresor del sistema deberá permanecer en RESERVA o STAND BY para considerarse GRADO MEDICO). All capacities is shown in CFM according with NFPA99-2012: at least one air compressor on "stand by" or reserve.

3 La presión máxima de los equipos es de 100 PSI o 7 BAR. Maximum working pressure of 100 PSI or 7 BAR.

**GARANTÍA**  
Grupo Arigmed S. de R.L. de C.V. garantiza sus equipos y productos libres de defectos en materiales y mano de obra por un periodo de 12 meses ó 3000 horas en uso, bajo condiciones NORMALES de operación e instalación por personal "CERTIFICADO" en ASSE6005, ASSE6010, ASSE6040. Se recomienda consultar el manual de operación ya que este tipo de equipos requiere Mantenimiento PREVENTIVO. (Aproximadamente cada 3000 horas).

Fuente: ARIGMED. Compresor para aire grado médico. [sitio web]. Disponible en: <https://docplayer.es/18434024-Compresor-para-aire-grado-medico-medical-air-compressor>.

### Anexo 5. Rendimientos del compresor

Compresor para Aire Grado Medico 145 PSI MAX / Medical Air Compressor System 145 PSI MAX							
RENDIMIENTOS / PERFORMANCE							
PAQUETE MEDICO DUPLEX RECIPROCANTE PARA PRESIONES DE 145 PSI - MEDICAL AIR COMPRESSOR DUPLEX 145 PSI							
MODELO/MODEL	PISTON- PISTON SIZE	POTENCIA- POWER	PRESION MAXIMA/MAXIMUM PRESSURE	VELOCIDAD/VELOCITY	ENTREGA CFM/DELIVERY CFM	TANQUE-VESSEL	
	MM	H.P.	PSI	RPM	145	TIPO - DESING	CAPACIDAD- CAPACITY [GAL]
HW90	2X90+1X65	5	145	700	25.7	HORIZONTAL	80
HW110	2X110+1X90	10	145	700	35.9	HORIZONTAL	120
HW125	2X125+1X110	15	145	700	48.5	HORIZONTAL	120
PAQUETE MEDICO TRIPLEX RECIPROCANTE PARA PRESIONES DE 145 PSI - MEDICAL AIR COMPRESSOR TRIPLEX 145 PSI							
MODELO/MODEL	PISTON- PISTON SIZE	POTENCIA- POWER	PRESION MAXIMA/MAXIMUM PRESSURE	VELOCIDAD/VELOCITY	ENTREGA CFM/DELIVERY CFM	TANQUE-VESSEL	
	MM	H.P.	PSI	RPM	145	TIPO - DESING	CAPACIDAD- CAPACITY [GAL]
HW90-3	2X90+1X65	5	145	700	51.4	VERTICAL	120
HW110-3	2X110+1X90	10	145	700	71.8	VERTICAL	240
HW125-3	2X125+1X110	15	145	700	97	VERTICAL	240
PAQUETE MEDICO CUATRUPLIX RECIPROCANTE PARA PRESIONES DE 145 PSI - MEDICAL AIR COMPRESSOR CUATRUPLIX 145 PSI							
MODELO/MODEL	PISTON- PISTON SIZE	POTENCIA- POWER	PRESION MAXIMA/MAXIMUM PRESSURE	VELOCIDAD/VELOCITY	ENTREGA CFM/DELIVERY CFM	TANQUE-VESSEL	
	MM	H.P.	PSI	RPM	145	TIPO - DESING	CAPACIDAD- CAPACITY [GAL]
HW90-4	2X90+1X65	5	145	700	77.1	VERTICAL	120
HW110-4	2X110+1X90	10	145	700	107.7	VERTICAL	240
HW125-4	2X125+1X110	15	145	700	145.5	VERTICAL	240
PAQUETE MEDICO QUINTUPLIX RECIPROCANTE PARA PRESIONES DE 145 PSI - MEDICAL AIR COMPRESSOR QUINTUPLIX 145 PSI							
MODELO/MODEL	PISTON- PISTON SIZE	POTENCIA- POWER	PRESION MAXIMA/MAXIMUM PRESSURE	VELOCIDAD/VELOCITY	ENTREGA CFM/DELIVERY CFM	TANQUE-VESSEL	
	MM	H.P.	PSI	RPM	145	TIPO - DESING	CAPACIDAD- CAPACITY [GAL]
HW90-5	2X90+1X65	5	145	700	102.8	VERTICAL	120
HW110-5	2X110+1X90	10	145	700	143.6	VERTICAL	240
HW125-5	2X125+1X110	15	145	700	194	VERTICAL	240

Condiciones normales de operación a una temperatura ambiente máxima de 105° F (40.56°C), en caso de exceder estos parámetros, se requiere de ventilación mecánica adicional para enfriar los equipos según lo especificado por NFPA99-2012. Maximum working temperature to 105° F (40.56°C), mechanical ventilation must be include in case of temperature exceed.

2 Todas las capacidades están señaladas en base al sistema según NFPA99-2012, en pies cúbicos por minuto (cfm). (Un compresor del sistema deberá permanecer en RESERVA o STAND BY para considerarse GRADO MEDICO). All capacities is shown in CFM according with NFPA99-2012: at lest one air compressor on "stand by" or reserve.

3 La presión máxima de los equipos es de 145 PSI o 8 BAR. Maximum working pressure of 145 PSI or 8 BAR.

**GARANTÍA**

Grupo Arigmed S. de R.L. de C.V. garantiza sus equipos y productos libres de defectos en materiales y mano de obra por un periodo de 12 meses ó 3000 horas en uso, bajo condiciones NORMALES de operación e instalación por personal "CERTIFICADO" en ASSE6005, ASSE6010, ASSE6040. Se recomienda consultar el manual de operación ya que este tipo de equipos requiere Mantenimiento PREVENTIVO. (Aproximadamente cada 3000 horas).



**GRUPO ARIGMED S. de R.L. de C.V.** (779) 79-69-370 al 99 Sin costo 01-800-685-60-65  
Calle 16 de Enero de 1969 No.8 Paltzin, Tizayuca, Estado de Hidalgo, México Certificado ISO 9001:2008  
[www.arigmed.com](http://www.arigmed.com) [ventas@arigmed.com](mailto:ventas@arigmed.com)




Fuente: ARIGMED. Compresor para aire grado médico. [sitio web]. Disponible en: <https://docplayer.es/18434024-Compresor-para-aire-grado-medico-medical-air-compressor>.

**Anexo 6. Línea de distribución**

Linea de Salida		
Temperature	57,97	C
Pressure	140,1	kPa
Molar Flow	2,027	kgmole/h

Fuente: Autor

**Anexo 7. Corrientes de energía**

Energy Streams			
		W	Q
Heat Flow	kJ/h	1,343e+004	1,191e+004

Fuente: Autor

**Anexo 8. Composición**

Compositions			
	Linea de Absorción	Linea De Suministro	Linea de Distribución
Comp Mole Frac (Air)	1,0000	1,0000	<empty>

Fuente: Autor

**Anexo 9. Tubería de suministro**

PIPE-100		
Inside Diameter(1)	15,80	mm
Outside Diameter(1)	21,34	mm
Pipe Length(1)	144,5	m
Elevation(1)	0,0000	m
Feed Temperature	257,5	C
Product Temperature	57,97	C
Feed Pressure	479,0	kPa
Product Pressure	140,1	kPa
Molar Flow	2,027	kgmole/h

**Fuente:** Autor

Anexo 10.Reporte Compresor

1			Case Name:	Simulación Aire Medicinal.hac
2			Unit Set:	NewUser
3	Company Name Not Available		Date/Time:	Tue Aug 21 14:40:55 2018
4	Bedford, MA			
5	USA			
6				
7	<b>Compressor: Compresor</b>			
8				
9	<b>DESIGN</b>			
10				
11	<b>Connections</b>			
12				
13	<b>Inlet Stream</b>			
14				
15	STREAM NAME	FROM UNIT OPERATION		
16	Linea de Absorción			
17	<b>Outlet Stream</b>			
18				
19	STREAM NAME	TO UNIT OPERATION		
20	Linea De Suministro	Pipe Segment:	PPE-100	
21				
22	<b>Energy Stream</b>			
23				
24	STREAM NAME	FROM UNIT OPERATION		
25	W			
26				
27	<b>Parameters</b>			
28	Speed:	1.486e+004 rpm	Duty:	7.5851e+00 kW
29	Adiabatic Eff.:	12067.93	PolyTropic Eff.:	9779.73
30	Adiabatic Head:	---	Polytropic Head:	1.290e+004 m
31	Adiabatic Fluid Head:	---	Polytropic Fluid Head:	126.5 kJ/kg
32	Polytropic Exp.	1.004	Isentropic Exp.	1.402
33			Poly Head Factor	1.001
34	<b>RECIPROCATING SETTINGS</b>			
35				
36	Number of Cylinders:	1	Cylinder Type:	Single-acting, Outer End
37	Bore:	0.2000 m	Stroke:	1.000 m
38	Piston Rod Diameter:	2.500e-002 m	Const. Vol. Efficiency Loss:	4.00 %
39	Default Fixed Clearance Vol.:	15.00 %	Zero Speed Flow Resistance:	0.0000 kg/hr/sqrt(kPa·kg/m3)
40	Typical Design Speed:	---	Volumetric Efficiency:	65.16 %
41	Speed:	1.486e+004 rpm		
42		1		
43	Fixed Clearance Vol. (m3)	4.712e-003		
44	Variable Clearance Vol. (m3)	0.0000		
45	Variable Volume Enabled	Off		
46	Cylinder is unloaded	Off		
47	<b>User Variables</b>			
48				
49	<b>RATING</b>			
50				
51	<b>Nozzle Paramaters</b>			
52	Base Elevation Relative to Ground Level	0.0000 m *		
53		Linea de Absorción	Linea De Suministro	
54	Diameter (m)	5.000e-002	5.000e-002	
55	Elevation (Base) (m)	0.0000	0.0000	
56	Elevation (Discharge) (m)	0.0000	0.0000	

Fuente: Autor

**Anexo 11. Continuación Reporte Compresor**

45	<b>User Variables</b>			
46				
47	<b>RATING</b>			
48				
49	<b>Nozzle Paramaters</b>			
50				
51	Base Elevation Relative to Ground Level		0.0000 m *	
52		Linea de Absorción	Linea De Suministro	
53	Diameter (m)	5.000e-002	5.000e-002	
54	Elevation (Base) (m)	0.0000	0.0000	
55	Elevation (Ground) (m)	0.0000	0.0000	
56	<b>Inertia</b>			
57				
58	Rotational Inertia (kg-m2)	6.000	Radius of gyration (m)	0.2000
59	Mass (kg)	150.0	Friction loss factor (rad/min) (kg-m2/s)	6.000e-003
60	<b>PERFORMANCE</b>			
61				
62	<b>Results</b>			
63				
64	Adiabatic Head (m)	---	Power Consumed (kW)	7.585
65	Polytropic Head (m)	1.290e+004	Polytropic Head Factor	1.001
66	Adiabatic Fluid Head (kJ/kg)	---	Polytropic Exponent	1.004
67	Polytropic Fluid Head (kJ/kg)	126.5	Isentropic Exponent	1.402
68	Adiabatic Efficiency	12068	Speed (rpm)	1.486e+004
69	Aspen Technology Inc.	Aspen HYSYS Version 10		Page 1 of 9

**Fuente:** Autor

Anexo 12. Reporte Línea de Absorción

 Company Name Not Available Bedford, MA USA		Case Name: Simulación Aire Medicinal On Site				
		Unit Set: NewUser				
		Date/Time: Tue Aug 21 14:48:55 2018				
<b>Compressor: Compresor (continued)</b>						
<b>Results</b>						
Polytropic Efficiency		0.998				
<b>Power/Torque</b>						
Total Rotor Power (kW)	7.595	Total Rotor Torque (N-m)	4.673			
Transfer Rotor Power (kW)	0.000	Transfer Rotor Torque (N-m)	0.000			
Friction Power Loss (kW)	0.000	Friction Torque Loss (N-m)	0.000			
Field Power (kW)	7.595	Field Torque (N-m)	4.673			
<b>Material Stream: Línea de Absorción</b>		Fluid Package:	Basic-1			
		Property Package:	SEP			
<b>CONDITIONS</b>						
		Overall	Vapor Phase			
Vapor / Phase Fraction		1.0000	1.0000			
Temperature (°C)		30.00	30.00			
Pressure (MPa)		101.3	101.3			
Inlet Flow (kgmol/h)		780.2	780.2			
Mass Flow (kg/h)		2.111e+054	2.111e+054			
Std Ideal Gas Vol Flow (m3/h)		24.00	24.00			
Inlet Kinship (kgmol/h)		188.8	188.8			
Inlet Entropy (kJ/kgmol-K)		118.8	118.8			
Heat Flow (kW)		1.479e+005	1.479e+005			
Log Vol Flow (Std Cond) (m3/h)		1.728e+004	1.728e+004			
<b>COMPOSITION</b>						
		Overall Phase	Vapor Fraction 1.0000			
COMPONENTS	MOLAR FLOW (kgmol/h)	MOLE FRACTION	MASS FLOW (kg/h)	MASS FRACTION	LIQUID VOLUME FLOW (m3/h)	LIQUID VOLUME FRACTION
Air	770.1885	1.0000	21130.7794	1.0000	24.0000	1.0000
Total	770.1885	1.0000	21130.7794	1.0000	24.0000	1.0000
		Vapor Phase	Phase Fraction 1.0000			
COMPONENTS	MOLAR FLOW (kgmol/h)	MOLE FRACTION	MASS FLOW (kg/h)	MASS FRACTION	LIQUID VOLUME FLOW (m3/h)	LIQUID VOLUME FRACTION
Air	770.1885	1.0000	21130.7794	1.0000	24.0000	1.0000
Total	770.1885	1.0000	21130.7794	1.0000	24.0000	1.0000
<b>K VALUE</b>						
COMPONENTS	MIXED	LIGHT	HEAVY			
Air	---	---	---			
<b>UNIT OPERATIONS</b>						
Compressor	Compressor	PRODUCT FROM	LOCAL CONNECTION			
<b>UTILITIES</b>						
( No utilities releases (No stream) )						
<b>PROCESS UTILITY</b>						
<b>Material Stream: Línea de Distribución</b>		Fluid Package:	Basic-1			
		Property Package:	SEP			
<b>CONDITIONS</b>						
		Overall	Vapor Phase			
Vapor / Phase Fraction		1.0000	1.0000			

Fuente: Autor

**Anexo 13. Reporte Línea de Distribución**

Company Name Not Available Bedford, MA USA		Case Name: Distribucion Aire Medicinal On Site	
aspentech		Unit Set: NewUser	
		Date/Time: Tue Aug 21 14:48:05 2018	
<b>Material Stream: Línea de Distribución (contir</b>		Fluid Package: Base-1	Base-1
		Property Package: SRK	SRK
<b>CONDITIONS</b>			
	Overall	Vapor Phase	
Temperature: (C)	24.00 °	24.00	
Pressure: (MPa)	246.7 °	246.7	
Inlet Flow: (kgmol/s)	720.2	720.2	
Mass Flow: (kg/s)	2.111e+004	2.111e+004	
Std Inlet Lin Vol Flow: (m3/s)	24.00	24.00	
Inlet Enthalpy: (kJ/kgmol)	227.0	227.0	
Inlet Entropy: (kJ/kgmol-C)	188.8	188.8	
Heat Flow: (kW)	1.720e+005	1.720e+005	
Lin Vol Flow (Std Cond): (m3/s)	1.720e+004 °	1.720e+004	
<b>COMPOSITION</b>			
<b>Overall Phase</b>		Vapor Fraction	1.000
COMPONENTS	MOLAR FLOW (kgmol/s)	MOLE FRACTION	MASS FLOW (kg/s)
MASS FRACTION	SOLID VOLUME FLOW (m3/s)	SOLID VOLUME FRACTION	
Air	720.200	1.000	21100.7704
Total	720.200	1.000	21100.7704
<b>Vapor Phase</b>		Phase Fraction	1.000
COMPONENTS	MOLAR FLOW (kgmol/s)	MOLE FRACTION	MASS FLOW (kg/s)
MASS FRACTION	SOLID VOLUME FLOW (m3/s)	SOLID VOLUME FRACTION	
Air	720.200	1.000	21100.7704
Total	720.200	1.000	21100.7704
<b>K VALUE</b>			
COMPONENTS	MIXED	LIGHT	HEAVY
Air	---	---	---
<b>UNIT OPERATIONS</b>			
FEED TO	PRODUCT FROM	LOCAL CONNECTION	
	Flow Stream: PEE-100		
<b>UTILITIES</b>			
(No utilities information displayed)			
<b>PROCESS UTILITY</b>			
<b>Material Stream: Línea De Suministro</b>		Fluid Package: Base-1	Base-1
		Property Package: SRK	SRK
<b>CONDITIONS</b>			
	Overall	Vapor Phase	
Vapor / Phase Fraction	1.000	1.000	
Temperature: (C)	24.00 °	24.00	
Pressure: (MPa)	420.0 °	420.0	
Inlet Flow: (kgmol/s)	720.2	720.2	
Mass Flow: (kg/s)	2.111e+004	2.111e+004	
Std Inlet Lin Vol Flow: (m3/s)	24.00	24.00	
Inlet Enthalpy: (kJ/kgmol)	227.0	227.0	
Inlet Entropy: (kJ/kgmol-C)	187.0	187.0	
Heat Flow: (kW)	1.681e+005	1.681e+005	
Lin Vol Flow (Std Cond): (m3/s)	1.720e+004 °	1.720e+004	
Aspen Technology, Inc. Aspen HYSYS Version 10 Page 3 of 9			

Fuente: Autor

**Anexo 14. Reporte Línea de suministro**

 Company Name: Not Available Bedford, MA, USA		Case Name: Simulación Aire Medicinal On Site				
		Unit Set: NewUser				
		Date/Time: Tue Aug 21 14:48:55 2018				
<b>Material Stream: Línea De Suministro (contin)</b>			Fluid Package: Base-1 Property Package: SW6			
<b>COMPOSITION</b>						
<b>Overall Phase</b>						
			Vapour Fraction: 1.0000			
COMPONENTS	MOLAR FLOW (kgmole/h)	MOLE FRACTION	MASS FLOW (kg/h)	MASS FRACTION	LIQUID VOLUME FLOW (m3/h)	LIQUID VOLUME FRACTION
Air	250.1858	1.0000	21350.7754	1.0000	24.0000	1.0000
Total	250.1858	1.0000	21350.7754	1.0000	24.0000	1.0000
<b>Vapour Phase</b>						
			Phase Fraction: 1.0000			
COMPONENTS	MOLAR FLOW (kgmole/h)	MOLE FRACTION	MASS FLOW (kg/h)	MASS FRACTION	LIQUID VOLUME FLOW (m3/h)	LIQUID VOLUME FRACTION
Air	250.1858	1.0000	21350.7754	1.0000	24.0000	1.0000
Total	250.1858	1.0000	21350.7754	1.0000	24.0000	1.0000
<b>R VALUE</b>						
COMPONENTS	MIXED	LIGHT	HEAVY			
Air	--	--	--			
<b>UNIT OPERATIONS</b>						
FED TO	PRODUCT FROM	LOCAL CONNECTION				
Pipe Segment: PIPE-100	Compressor	Compressor				
<b>UTILITIES</b>						
(No utilities attached to this stream.)						
<b>PROCESS UTILITY</b>						
<b>Pipe Segment: PIPE-100</b>						
<b>CONNECTIONS</b>						
<b>Inlet Stream</b>						
STREAM NAME	FROM UNIT OPERATION					
Línea De Suministro	Compressor					
<b>Outlet Stream</b>						
STREAM NAME	TO UNIT OPERATION					
Línea de Distribución	TO UNIT OPERATION					
<b>Energy Stream</b>						
STREAM NAME	TO UNIT OPERATION					
H	TO UNIT OPERATION					
<b>PARAMETERS</b>						
<b>Pressure Gradient/Pipe Parameters</b>						
Horizontal Pipe Flow Correlation:	Beggs and Brill (1973)					
Vertical Pipe Flow Correlation:	Beggs and Brill (1973)					
Inlet Pipe Flow Correlation:	Beggs and Brill (1973)					
Pressure Drop:	0.004 MPa					
<b>Fittings Parameters</b>						
Segment Number						
Fitting Name						
Wt. Factor						
EI Factor						
Data Source						
Aspen Technology Inc.		Aspen HYSYS Version 10				
© Licensed by Company Name, Not Available		© Licensed by Aspen				

Fuente: Autor

ELABORADO POR:  
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:  
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación  
FECHA APROBACION:

**Anexo 15. Continuación línea de suministro**

aspentech		Company Name Not Available Bedford, MA USA		Case Name: Bivalve Air Medical Inc	
		Unit Set: NewUser		Date/Time: Tue Aug 21 14:48:05 2018	
<b>Pipe Segment: PIPE-100 (continued)</b>					
<b>PARAMETERS</b>					
<b>Swap Parameters</b>					
13	Segment Number				
14	Swap Name				
15	Swap Area (sqft)				
16	Inlet Diameter (mm)				
17	Outlet Diameter (mm)				
18	Swap Type				
<b>CALCULATION</b>					
19	Pressure Tolerance (MPa)	0.1000	Length Slip Size (cm)		100
20	Temperature Tolerance (°C)	1.00e+002	Flow Inlet Gauge (kg/AMBI)		200.0
21	Heat Flow Tolerance (Btu/hr)	0.0000	Flow Inlet Size (kg/AMBI)		200.0
22	Length Inlet Gauge (cm)	0.0000	Clear. Inlet Gauge (mm)		0.0000
23	Always Use Pk Factor	Disabled	Default Increments		0.0
24	Do Deposition Calc	Enabled	Check Check Flow		Disabled
25	Is Pipe Checked	No			
<b>Emulsion</b>					
26	Emulsion Velocity Method				Hz/Hz
27	Constant K1				---
28	Constant K2				---
29	Constant K3				---
30	Injection Point				0.0000
<b>User Variables</b>					
<b>SIZING</b>					
31	Segment Number	1			
32	EMSG Type		Pipe		
33	Distance (ft)		100.00		
34	Direction Change (ft)		0.00		
35	Schedule		Schedule #1		
36	Nominal Diameter (mm)		72.50		
37	Outer Diameter (mm)		72.50		
38	Inlet Diameter (mm)		---		
39	Outlet Diameter (mm)		---		
40	Height (ft)		4.072e+005		
41	Conductivity (W/m-K)		40.00		
42	Increments		0.0		
43	EMSG No		---		
<b>HEAT TRANSFER</b>					
44	HEATLOSS	---	Arrived Temp:	---	OverHTG:
<b>PROFILES</b>					
<b>Data</b>					
	Distance (ft)		Elevation (ft)		Remarks
45		0.0000		0.0000	0
46		100.00		72.00	
<b>Pipe Table</b>					
47	Length (ft)		0.0000	---	---
48	Elevation (ft)		0.0000	---	---
49	Pressure (PSI)		420.00	---	---
50	Temperature (°C)		30.00	---	---
51	Aspen Technology Inc		Aspen HYSYS Version 10		Page 5 of 9

Fuente: Autor

ELABORADO POR:  
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:  
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación  
FECHA APROBACION: