

DISEÑO DE UN MODELO PARAMETRIZADO PARA EL APROVECHAMIENTO DE
REDES DE AIRE COMPRIMIDO Y TRANSPORTE NEUMÁTICO.

CARLOS JOSÉ GÓMEZ MORA
NICK BRANDOW MANOSALVA SANCHEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

2022

DISEÑO DE UN MODELO PARAMETRIZADO PARA EL APROVECHAMIENTO DE
REDES DE AIRE COMPRIMIDO Y TRANSPORTE NEUMÁTICO.

CARLOS JOSÉ GÓMEZ MORA
NICK BRANDOW MANOSALVA SANCHEZ

Trabajo de grado para optar por el título de
ingeniero mecánico

DIRECTOR:
MANUEL DEL JESÚS MARTÍNEZ
INGENIERO MECÁNICO, MSc

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
2022

INDICE DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	14
2. OBJETIVOS	15
2.1. OBJETIVO GENERAL	15
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3. JUSTIFICACIÓN	16
4. MARCO TEÓRICO	18
4.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	18
4.1.1. A nivel internacional.....	18
4.1.2. A nivel nacional.....	20
4.1.3. A nivel regional.....	21
5. REFERENTES TEÓRICOS	25
5.1 GENERALIDADES DEL AIRE.....	25
5.2 TRATAMIENTO DEL AIRE COMPRIMIDO.....	27
5.3 COMPRESORES Y TIPOS.....	32
5.3.1 Clasificación del compresor.....	32
5.4 TIPOS DE RED PARA INSTALACIONES DE AIRE COMPRIMIDO.....	35
5.4.1 Red abierta.....	36
5.4.2 Red cerrada.....	36
5.4.3 Red interconectada.....	37
5.5 TUBERÍAS Y ACCESORIOS	38
5.5.1 Tubería Principal.....	38
5.5.2 Tubería secundaria.....	38
5.5.3 Tubería de servicio.....	38

6. DISEÑO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO.....	44
6.1. Distribución de la red de aire comprimido	44
6.2. Selección de herramientas neumáticas.....	45
6.3. Parámetros para el funcionamiento de la red.....	47
6.3.1. Medición de longitudes de los tramos.....	47
6.3.2. Cálculo de unidades de consumo.....	47
6.3.3. Demanda de aire.	49
6.3.5 Dimensionamiento de los tramos considerando accesorios.....	51
6.3.6 Selección de compresor	55
6.3.7 Selección de secador frigorífico	56
6.3.8 Selección del tanque de almacenamiento.	59
7. CONCLUSIONES.....	61
BIBLIOGRAFIA	67

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Norma ISO 8573-1: 2010	30
Figura 2. Disposición de tornillos en compresores de tornillo.....	33
Figura 3. Compresor de émbolo o pistón.	34
Figura 4. Compresor de émbolo de dos etapas.	35
Figura 5. Diagrama ejemplo de red de suministro de aire comprimido abierta.....	36
Figura 6. Diagrama ejemplo de red de suministro de aire comprimido cerrada.	37
Figura 7. Diagrama ejemplo de red de suministro de aire comprimido interconectada. .	37
Figura 8. Ejemplo red de aire comprimido y sus partes.	39
Figura 9. Unidad de mantenimiento neumático.....	40
Figura 10. Filtro de aire	41
Figura 11. Regulador de Presión con orificio de escape.....	42
Figura 12. Lubricador.	43
Figura 13. Diagrama de red cerrada propuesta.....	44
Figura 14. modelos de Pistolas de impacto RODCRAFT	46
Figura 15. Presión de trabajo de pistolas de impacto RODCRAFT	47
Figura 16. Tabla de longitudes equivalentes	52
Figura 17. Equivalencia entre principales medidas normalizadas	54
Figura 18. Catalogo compresores de pistón fijos AIRUM.....	55
Figura 19. Tabla factor de corrección según la temperatura de entrada	56

Figura 20. Tabla factor de corrección según el punto de rocío.....	57
Figura 21. Tabla factor de corrección según la presión de funcionamiento.	57
Figura 22. Tabla factor de corrección según la temperatura ambiente	58
Figura 23. Catálogo de secadores amd de AIRUM	58
Figura 24. Catalogo tanques de almacenamiento Kaeser.....	60
<i>Figura 25.</i> Diagrama de flujo parte 1.	61
Figura 26. Diagrama de flujo parte 2.	62
Figura 27. Diagrama de flujo parte 3.	63
Figura 28. Diagrama de flujo parte 4.	64

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Resúmenes antecedentes investigativos.	23
Tabla 2. Tabla 2. Unidades de consumo y caudales por tramo.....	48
Tabla 3. Diámetros calculados sin accesorios.....	51
Tabla 4. Longitudes equivalentes para el tramo A-B.....	52
Tabla 5. Diámetros teniendo en cuenta accesorios.....	53

TABLA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Manual de instalación para el usuario.....	¡Error! Marcador no definido.
Anexo B. Código de desarrollo de la aplicación	¡Error! Marcador no definido.

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO DE UN MODELO PARAMETRIZADO PARA EL APROVECHAMIENTO DE REDES DE AIRE COMPRIMIDO Y TRANSPORTE NEUMÁTICO *

AUTOR: CARLOS JOSÉ GÓMEZ MORA, NICK BRANDOW MANOSALVA SÁNCHEZ **

PALABRAS CLAVES: DISEÑO, PARAMETRIZADO, AIRE COMPRIMIDO, TRANSPORTE NEUMÁTICO, MATLAB.

DESCRIPCIÓN: Este trabajo tiene como objetivo presentar el proceso investigativo y de desarrollo de un modelo computacional para el diseño de una red cerrada de aire comprimido con la finalidad de brindar una herramienta capaz de simular de forma óptima y veraz el paso a paso de todo el proceso de diseño del sistema neumático. Lo que permitirá a cualquier persona con pocos conocimientos realizar sus propios diseños y de igual forma a estudiantes facilitar su proceso de aprendizaje en la rama de sistemas neumáticos.

En primera medida se presentan los parámetros necesarios para el funcionamiento de cualquier red cerrada de aire comprimido, estos están marcados por la cantidad de herramientas y sus especificaciones técnicas de trabajo. Luego se realiza un proceso de recolección y tratamiento de datos que busca llevar a los valores más fiables de selección de los equipos y accesorios de trabajo, en este caso, compresor, secador frigorífico, tanque de almacenamiento, tuberías, filtros, entre muchos otros.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: MSc. Manuel de Jesús Martínez.

Por último, una vez realizado todo el proceso anterior se lleva a cabo la construcción del modelo computacional de código abierto, esto permite a cualquier usuario acceder a él para estudiar su estructura y realizar mejoras al mismo.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN OF A PARAMETERIZED MODEL FOR THE USE OF COMPRESSED AIR AND PNEUMATIC TRANSPORT NETWORKS *

AUTHOR: CARLOS JOSÉ GÓMEZ MORA, NICK BRANDOW MANOSALVA SÁNCHEZ

**

KEYWORDS: DESIGN, PARAMETERIZATION, COMPRESSED AIR, PNEUMATIC TRANSPORT, MATLAB.

DESCRIPTION: This work aims to present the research process and development of a computational model for the design of a closed compressed air network in order to provide a tool capable of optimally and truthfully simulating the step by step of the entire pneumatic system design process. This will allow anyone with little knowledge to make their own designs and in the same way allow students to facilitate their learning process in the pneumatic systems branch.

In the first place, the parameters necessary for the operation of any closed compressed air network are presented, these are marked by the number of tools and their technical working specifications. Then a data collection and processing process is carried out that seeks to lead to the most reliable values of selection of work equipment and accessories, in this case, compressor, refrigerator dryer, storage tank, pipes, filters, among many others.

* Degree work

** Faculty of Physicomechanical Engineering. School of mechanical engineering. Director: MSc. Manuel de Jesús Martínez.

Finally, once all the previous process has been carried out, the construction of the open source computational model is carried out, this allows any user to access it to study its structure and make improvements to it.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo titulado “DISEÑO DE UN MODELO PARAMETRIZADO PARA EL APROVECHAMIENTO DE REDES DE AIRE COMPRIMIDO Y TRANSPORTE NEUMÁTICO” tiene como objetivo amplificar el uso de sistemas neumáticos como fuente de energía al facilitar su diseño mediante el desarrollo de una aplicación intuitiva que pueda ser utilizada por personas capacitadas y no capacitadas en el tema, así como extender los conocimientos de los estudiantes al permitirles examinar los resultados, modificar los parámetros y aumentar la base de datos de trabajo del sistema.

El diseño realizado por el programa buscara ser lo más preciso y optimizado con tal de brindar al usuario datos de selección fiables, que mejoren los procesos industriales, disminuya los costos de compra en equipos, materiales y accesorios, reduzca los gastos energéticos, las posibles fallas mecánicas y riesgos de seguridad.

Con esta tesis se buscará fomentar el crecimiento y uso de las herramientas tecnológicas como forma de solución de problemas ingenieriles y de servicio. Siendo un programa de fácil adquisición, uso, entendimiento y modificación.

1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La historia demuestra que desde hace más de 2000 años el aire comprimido ha estado presente como una de las principales formas de energía usadas por el hombre. Esto no ha cambiado en la actualidad, su uso se ha extendido y especializado aún más sus aplicaciones, no es de asombrar que se haya mezclado o combinado con otras ciencias y tecnologías para llevar su versátil provecho a cada actividad industrial.

Es claro que la potencia y rango de aplicación de un modelo que permite diseñar redes de aire comprimido de alto nivel es sobrado o desaprovechado en aplicaciones más básicas, pero a pesar del inmenso abanico de tecnología, parece que se han desarrollado sin pensar en que muchos de los que se podrían beneficiar no cuentan con los recursos para obtenerlos, o que simplemente se debe partir desde aplicaciones muy prácticas y básicas hasta llegar al punto donde parecen centrarse, que es en la mayoría de compañías o empresas de enormes producciones y variados usos. Esto ha dejado de lado o puesto fronteras a los pequeños emprendedores o empresas muy sencillas y modestas que no pueden permitirse adquirir estas herramientas digitales, aun cuando su aprovechamiento, aunque menor, sería de igual forma muy útil para hacer crecer su negocio.

Por otro lado, esta dificultad también se les presenta a múltiples instituciones académicas las cuales se verían altamente beneficiadas al tener en sus manos modelos como estos para fortalecer el desarrollo de conocimiento para sus estudiantes. No es algo nuevo o sorprendente que, en economías y sociedades como la colombiana, los recursos para educación son irrisibles y esto a pesar de las grandes posibilidades de aprovechamiento de la tecnología, no llega por limitaciones económicas a estos sitios donde las mentes anhelan descubrir más y aprender.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un programa computacional parametrizado para un sistema cerrado de aire comprimido y transporte neumático.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer los parámetros necesarios para el funcionamiento de una red cerrada de aire comprimido.
- Diseñar un prototipo de red de aire comprimido cerrada para el uso de al menos diez herramientas neumáticas y futura ampliación del 30% en un taller mecánico.
- Desarrollar el código computacional parametrizado que permita modelar el sistema, realizar selección de equipos y cambios en los requerimientos de la red.
- Implementar y validar el funcionamiento del modelo comparándolo con proyectos o trabajos de investigación que se encuentren en la literatura o en la industria.

3. JUSTIFICACIÓN

Con un programa computacional tal como el que se desea diseñar, se podría entregar de manera gratuita o a un costo monetario muy bajo a cualquier institución de índole académica con el propósito que todo su estudiantado encuentre no sólo una práctica herramienta de aprendizaje, también la base para desarrollar o mejorar el modelo a un nivel de aplicación más amplio, específico o simplemente diverso. Es así como cumpliría ese deseo que se tiene de que las generaciones siguientes no estén exentas de la información, por el contrario que encuentren en este trabajo una ayuda para facilitar su proceso de aprendizaje y desarrollo de proyectos en este tema.

Por otro lado está el enfoque industrial o productivo, es difícilmente calculable o si quiera cómodo estimar el número de pequeñas empresas o establecimientos que podrían hacer uso de este modelo para iniciar en óptimas condiciones sus operaciones y también las que han llegado a un punto de crecimiento, ayudarles a que con un menor margen de costo se llegue a un correcto diseño y aplicación de su sistema de aire comprimido para que todas sus herramientas y utensilios operen de la más eficiente forma y con la mayor disponibilidad posible teniendo como base que no significó el endeudarse o entrar en la incertidumbre de cuando se llega al punto de equilibrio por tan pesada inversión

La gracia está en la practicidad y sencillez del modelo, que en principio se enfoque en los componentes más comunes, fiables y de mejor relación costo beneficio de nuestro mercado para así obtenerlo cómodamente y que no se dificulte su mantenimiento. La tecnología puede fascinar y también abrumar, se busca aquí no volver más complejo el progreso, por el contrario, se está en pro de un avance cómodo y aprovechable siempre de la manera práctica.

Este código computacional se enfocará en solventar los requerimientos de un tipo específico de industria, en este caso estará dirigido a pequeños talleres mecánicos con

un numero de entre seis a diez herramientas, un solo compresor, uno o dos tanques de almacenamiento y una red de tipo cerrado.

La ingeniería está para encontrar la solución a múltiples problemas y necesidades, importante no olvidar que debe ser práctica y fácilmente difundida esa solución.

4. MARCO TEÓRICO

El marco teórico que se desarrolla a continuación permite conocer los conceptos básicos necesarios para entender el desarrollo de este proyecto.

Primero se partirá de los antecedentes investigativos de los distintos ámbitos internacional, nacional y regional, lo que establece conocimientos a la hora de diseñar un modelo que permita la validación, optimización y de base para la construcción de un sistema para el aprovechamiento de aire comprimido.

Posteriormente se expresan las bases teóricas para la comprensión de los aspectos fundamentales del aire, su uso como energía al comprimirlo y también sus diferentes características y cálculo de las variables operaciones para tener en cuenta en todo diseño y operación de sistemas a fines.

4.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

4.1.1. A nivel internacional.

En Valencia, España se realizó un proyecto titulado: “Proyecto de una planta auxiliar de suministro de aire comprimido para uso en una línea de montaje de automóviles” (González Barrero, 2018). Este proyecto tuvo como objetivo definir una instalación de aire comprimido para dar servicio a una línea de montaje de automóviles. El enfoque base es alcanzar el mejor rendimiento posible en el conjunto de la instalación con un alcance de proyecto que llega a definir la producción de aire comprimido para un determinado caudal en presión de servicio de 7 bar y 14 bar como base de sus requerimientos técnicos y operacionales.

Con el desarrollo de este proyecto se enfrentaron a condiciones de diseño donde la producción no puede interrumpirse en ninguna circunstancia, por lo que se proveerá de

los equipos de reserva necesarios para ello. Se diseñará la instalación de aire comprimido intentando maximizar el rendimiento de ella y asegurar el menor coste posible, garantizando un aire comprimido de calidad.

Se destaca la importancia dada al cumplimiento de diferente normativas y legislación que rige las modificaciones efectuadas a las máquinas con ciertas características establecidas, vinculando a esto los cálculos que justifican su empleo y forma de ejecución para llegar al acatamiento legislativo.

Así mismo en España, aunque para este caso en Madrid, se realizó un proyecto titulado “Análisis y mejora de una instalación de aire comprimido” (Ruiz Martínez, 2011). Este proyecto tuvo como objetivo analizar, evaluar y actualizar el estado en que se encuentra la red de aire comprimido para la factoría de Getafe de Jhon Deere Ibérica S.A., así como el realizar propuestas que mejoren su rendimiento. Este proyecto fue planteado para que su desarrollo se diera en 5 fases que abarcan desde la actualización de planos de la red hasta el estudio de los casos desfavorables en cuanto a caídas de presión en los diferentes ramales, pasando también por etapas de consulta de máquina e información de la maquinaria, mantenimientos y rangos operativos. Así como cálculos necesarios para la comprobación del correcto dimensionamiento de la red y de esta manera determinar las principales reformas físicas.

El desarrollo de este proyecto necesitó de la participación de diferentes departamentos especializados en disciplinas a fines con las tareas, haciendo parte el Departamento de Ingeniería de Planta, se ha contado con la colaboración de los Departamentos de Mantenimiento, Seguridad, Medio Ambiente, Ingeniería de Producción, Contabilidad, etc. Igualmente, se contactó con empresas expertas en la materia.

4.1.2. A nivel nacional.

En Cartagena se desarrolló un proyecto titulado: “Diseño de las redes de aire comprimido y transporte neumático en un astillero” (Paredes López. 2017). Para este proyecto se fijó como objetivo diseñar las redes de aire comprimido y de transporte neumático de un astillero. En el proceso para cumplir con este objetivo, se aplicaron los conceptos estudiados y aprendidos durante la asignatura de sistemas hidráulicos y neumáticos para así efectuar los cálculos de los requerimientos en las diferentes secciones o talleres del astillero dedicado a construir y reparar buques.

Las pautas o etapas base en el desarrollo de este trabajo fueron la identificación de herramientas y maquinas a alimentar neumáticamente, identificando sus consumos. Junto a esto se definió la calidad del aire que era necesaria. Finalmente se determinaría el número y tipo de compresores, la distribución en planta, la capacidad de los depósitos de almacenamiento, la configuración de la red de aire comprimido y demás parámetros de operación fundamentales.

Como es importante el enfoque de manera realista a fin de que exista una vía lógica y objetiva para llegar a construir o, dicho de otra forma, materializar este diseño; se elaboró un presupuesto aproximado de las instalaciones en el que se incluirán los equipos principales y el montaje de la red de tuberías. Para no dejar de lado en el tema de costos operativos, se realizó el estudio del aprovechamiento energético del sistema de producción de aire comprimido.

En Montería se desarrolló un proyecto titulado: “Diseño Y Construcción De Una Red De Distribución De Aire Comprimido Para El Uso De Herramientas Neumáticas En La Empresa Freno Sinú S.A.S. En La Ciudad De Montería” (Almanza – Carrascal. 2020). Este proyecto tuvo como objetivo Diseñar y construir una red de distribución de aire comprimido para el uso de herramientas neumáticas en la empresa Freno Sinú S.A.S. en la ciudad de Montería. El trabajo desarrollado en este proyecto tiene un impacto de

aprovechamiento mucho más fuerte ya que involucra la construcción, esto añade el desafío de enfrentar de manera directa la competitividad con redes antes usadas o si quiera consideradas para aplicarlas a esta empresa y demás similares.

Para cumplir de la mejor manera con esto antes mencionado, al seleccionar los elementos y accesorios necesarios para la construcción y montaje se fijaron en escoger aquellos comunes en el mercado nacional, destacados por su calidad y fiabilidad probada, sin dejar afuera el análisis de aprovechar los equipos y componentes de la red existente. Todo esto al igual que en otro proyecto, siempre acompañado del asesoramiento de terceras compañías especializadas en estas áreas.

Los cálculos y demás planteamientos teóricos permitieron en un principio evaluar el rendimiento, aprovechamiento y eficiencia de la red, esto no deja de lado que en la construcción se fijara para cada avance, la medición y comparación con el funcionamiento de tramos de la red o montajes.

4.1.3. A nivel regional.

En Bucaramanga se desarrolló el proyecto titulado: “Análisis Técnico-Económico Para La Optimización De La Red De Aire Comprimido De Las Áreas De Molienda De Cemento Y Empaque En La Planta Caracolito De Cemex Colombia” (Prada Calderón. 2016). Para este proyecto se propuso como objetivo optimizar la red de aire comprimido para las áreas de molienda y empaque del cemento, a través de un análisis técnico-económico de los equipos asociados a la red de aire comprimido, rediseñando el sistema con el fin de minimizar el consumo energético, costos de mantenimiento y mejorar la calidad del aire comprimido a suministrar.

Este proceso a pesar de ser común es fundamental para el avance de la producción en cualquier empresa que utilice las ventajas de una red como esta, haciendo uso de aire comprimido. Disminuir el consumo de aire identificando y corrigiendo las fugas,

dimensionando la red de tubería y los tanques de aire para disminuir el ciclo de trabajo de los compresores, es así como con estas fases de trabajo se logra reducir el costo del consumo eléctrico para generar una reducción del costo operacional y de mantenimiento.

En este proyecto se combinan las alternativas de diseño junto con un proceso de reforma, aprovechando el uso que se da a la red ya establecida. Parte clave de reducir costos no solo den operación sino en el proyecto mismo es seguir utilizando los equipos que se tienen, aplicando de ser necesario una restauración o mantenimiento correctivo para que den la mayor disponibilidad y rango de aprovechamiento operativo y no limiten el funcionamiento general al acoplarse a nuevos elementos aportados en el rediseño.

En la misma ciudad se desarrolló un proyecto titulado: "Diseño Del Sistema Para El Estudio Experimental Del Aprovechamiento Térmico De La Energía Solar" (Manosalva – Silva. 2014). El desarrollo de este provecho se enfocó en alcanzar el objetivo de contribuir a la solución de la crisis energética haciendo un aporte mediante la formulación de un proyecto de inversión parametrizado, relacionado con el aprovechamiento térmico de la energía solar, respaldado por la Universidad Industrial de Santander, dentro del marco investigativo. En este proyecto se destaca el uso de herramientas de programación y diseño de modelos para evaluar cada subsistema y comprobar su aprovechamiento al momento de agruparse con los demás. Este proyecto muestra como el diseño de cualquier sistema que tenga un fin académico o de aprovechamiento educativo hace uso de herramientas modernas y comunes como softwares que permitan el análisis y validación de ese conocimiento adquirido, empleado en la generación de estos proyectos; también permiten su manipulación y cambio a futuro para mejorarlos, darle un enfoque diferente o sencillamente seguir hondando en el tema de interés.

En el objetivo final de este proyecto se puede notar la importancia del modelamiento del sistema ya previamente calculado y determinado en cada aspecto operativo, esto con el fin de simular su desempeño bajo distintas condiciones. Esto muestra como ese factor

de evaluación parte desde cualquier estudio, fundamentalmente para este trabajo, estudio en el campo académico.

Tabla 1. Resúmenes antecedentes investigativos.

Antecedente Investigativo	Referencias	Tema / Aplicación
A Nivel Internacional	González Barrero (2018)	Definición de una red de aire comprimido aplicada en la industria automotriz
	Ruiz Martínez (2011)	Análisis y Mejoramiento para un sistema de aire comprimido ya existente
A Nivel Nacional	Paredes López (2017)	Diseño de redes de aire comprimido utilizadas en la construcción de buques
	Almanza - Carrascal (2020)	Diseño y Construcción de una red de aire comprimido para herramientas neumáticas

Tabla 1. (Continuación)

	Prada Calderón (2016)	Optimización y mejoramiento enfocado en reducir costos de un circuito de aire comprimido en uso
A Nivel Regional		
	Manosalva – Silva (2014)	Diseño de un modelo parametrizado con finalidad académica para optimizar el aprovechamiento de energía solar

Fuente: Elaboración propia.

5. REFERENTES TEÓRICOS

5.1 GENERALIDADES DEL AIRE.

El aire es una mezcla de gases en proporciones ligeramente variables, compuesto por 21% de oxígeno, 75% de nitrógeno, 3% de gases nobles, 1% de agua y pequeñas cantidades de otros gases. El aire también contiene una cantidad variable de vapor de agua, en promedio alrededor del 1 % al nivel del mar y del 0.4 % en toda la atmósfera. Físicamente es inodoro, incoloro e insípido.

La presión del aire atmosférico depende de la altura geográfica. Como referencias para la presión y la temperatura del aire se suelen considerar las siguientes $P_0 = 1.013 \text{ Bar}$ y $T_0 = 20^\circ\text{C}$ (condiciones estándar) o $P_0 = 1.013 \text{ Bar}$ y $T_0 = 0^\circ\text{C}$ (Condiciones normales).

A continuación, consideremos las ventajas y desventajas que tiene el uso de aire comprimido como fluido de trabajo.

Algunas ventajas son:

- **Alta disponibilidad:** Gracias a que la atmosfera en casi su totalidad está formada por este fluido, contamos con una gran reserva de este para energizar y realizar un trabajo.
- **Transporte:** El aire comprimido cuenta con gran facilidad para ser transportado a través de tuberías, aun a grandes distancias. Sin la necesidad de contar con tuberías de retorno.
- **Almacenamiento:** El aire que se genere en el sistema por el compresor puede ser almacenado en tanques de diferentes tamaños los cuales satisfagan los requerimientos de la red.

- **Temperatura:** El aire comprimido puede realizar su trabajo a temperaturas extremas debido a que es bastante insensible a las variaciones de esta.
- **Antideflagrante:** Debido a que el aire no es un fluido volátil estos sistemas no corren riesgos de explosión o incendios. Por lo cual no es necesario disponer de redes de emergencia contra incendio.
- **Limpio:** Este fluido puede ser limpio siempre y cuando sea conducido a través de un filtro con el fin de eliminar cualquier impureza. Esto es de suma importancia en algunas aplicaciones que requieren del aire depurado de estos contaminantes como, por ejemplo, en industrias alimenticias o farmacéuticas.
- **A prueba de sobrecargas:** Las herramientas y elementos de trabajo neumáticos pueden utilizarse hasta su parada completa sin riesgo alguno de sobrecargas.

Para delimitar el campo de utilización de la neumática es preciso conocer también los inconvenientes que puede tener:

- **Preparación:** El aire comprimido debe ser preparado, antes de su utilización. Es preciso eliminar impurezas y humedad con el fin de evitar un desgaste apresurado de los elementos de mando y actuadores.
- **Compresible:** El aire, como todos los gases tiene la propiedad de ocupar todo el volumen de cualquier recipiente, que lo contiene o la de su ambiente. Permite ser comprimido consiguiendo una reducción del volumen. Con aire comprimido no es posible obtener para los émbolos velocidades uniformes y constantes.
- **Fuerza:** El aire comprimido es económico sólo hasta cierta fuerza. Condicionado por la presión de servicio normalmente usual de 700 kPa (7 bar), el límite también, en función de la carrera y la velocidad es de 20.000 a 30.000 N (2000 a 3000 kPa).
- **Escape:** El escape de aire produce ruido. No obstante, este problema ya se ha resuelto en gran parte, gracias al desarrollo de materiales insonorizantes.

- **Costos:** El aire comprimido es una fuente de energía relativamente cara; este elevado costo se compensa en su mayor parte por los elementos económicos y el buen rendimiento de los sistemas neumáticos.

5.2 TRATAMIENTO DEL AIRE COMPRIMIDO

El aire que es absorbido por el compresor como fluido de trabajo en un principio es un aire contaminado cargado de partículas de polvo, agua en forma de vapor, entre otras como hidrocarburos que llegan a valores entre 4 y 14mg/m³ en zonas normales debido a al tráfico vehicular o entornos industriales.

En el proceso de absorción y compresión del aire, se produce en este un calentamiento que aumenta su capacidad para absorber humedad y se aporta aceite procedente del sistema de lubricación del compresor, lo que da lugar a un aumento de la concentración de sustancias contaminantes. Para eliminar estos contenidos de agua e impurezas y no sean transportados por la red y logren llegar a los elementos de regulación, actuadores y controladores, lo que cause desgaste y fallos, es necesario realizar operaciones de preparación y tratamiento, que consisten en disminuir a niveles aceptables el contenido de agua y aceite y la eliminación de otras impurezas.

Por lo tanto, las necesidades del aire comprimido están definidas por los siguientes factores:

- La capacidad
- La cantidad o capacidad
- El nivel de presión necesario

Si consideramos estas necesidades cuidadosamente, estaremos asegurando que nuestra configuración para el sistema de aire comprimido propuesta será la más apropiada para cumplir con los requerimientos.

5.1.1. La calidad del aire.

La calidad del aire comprimido en su punto de consumo (máquina), viene definida por tres parámetros:

- **Pureza:** Esta se refiere a la humedad y a la suciedad por partículas sólidas contenidas en el aire.
- **Presión:** Referida al valor adecuado y constante.
- **Lubricación:** De acuerdo con el área de aplicación.

La pureza del aire comprimido esta influenciadas por:

- Calidad del aire de aspiración
- Filtro de aspiración
- Tipo de compresor utilizado
- Mantenimiento del compresor
- Separador de partículas sólidas contenidas
- Sistema de distribución de aire (tubería, disposición, etc.)

Todo el aire aspirado por el compresor contiene una cantidad de agua en forma de vapor que depende de la temperatura y humedad relativa del ambiente.

La calidad del aire está determinada por la proporción de humedad y de contaminación (partículas de polvo o aceite) que permita la aplicación final del mismo. En general, se

utilizan cuatro niveles de calidad en función de su aplicación. En la industria se utiliza alguno de los tres primeros, como enseguida se describe:

- **Aire de planta:** Aire: que puede estar relativamente sucio y húmedo. Por sus características, es empleado en herramientas neumáticas y para usos generales.
- **Aire para instrumentos:** Aire con cantidades de humedad y suciedad moderadas, por lo que es usado en laboratorios, sistemas de aplicación de pintura por rocío o pintura en polvo, controles de climas, etc.
- **Aire de proceso:** Aire con muy poca humedad y casi nula suciedad; por sus características, es utilizado en la industria química, alimenticia, farmacéutica y electrónica.
- **Aire para respiración:** Aire sin humedad y totalmente libre de aceite y polvos, por lo que se usa para recargar tanques de equipos de buceo, en hospitales, consultorios dentales, etc.

El tratamiento del aire comprimido está regulado por la Norma ISO 8573-1: 2010.

Esta norma (ISO 8573-1: 2010) especifica las clases de pureza de aire comprimido con respecto a las partículas, el agua y el aceite independiente de la ubicación en el sistema de aire comprimido en el que se especifica o de medición del aire.

La ISO 8573-1: 2010 proporciona información general acerca de los contaminantes en los sistemas de aire comprimido, así como enlaces a las otras partes de la Norma ISO 8573, ya sea para la medición de la pureza del aire comprimido o la especificación de requisitos de pureza de aire comprimido.

Además de los contaminantes de partículas, agua y aceite, arriba mencionados, la ISO 8573-1 2010 también identifica los contaminantes gaseosos y microbiológicos.

Figura 1. Norma ISO 8573-1: 2010

Clase	Máximo número de partículas por m ³			Agua	Aceite
	Para tamaños de partícula			Máx. presión	Máx. conc.
	0,1 < d ≤ 0,5	0,5 < d ≤ 1,0	1,0 < d ≤ 5,0	Punto de rocío (°C)	(mg/m ³)
0	Como especificó el usuario o suministrador y mas riguroso que clase 1				
1	≤20000	≤400	≤10	-70	0,01
2	≤400000	≤6000	≤100	-40	0,1
3	no especificado	≤90000	≤1000	-20	1
4	no especificado	no especificado	≤10000	+3	5
5	no especificado	no especificado	≤100000	+7	>5
6	0 < c _p ≤ 5			+10	-
c _p = Concentración de masa en mg/m ³					
Oil					

Fuente: ATLAS COPCO. Manual del aire comprimido [Manual]. Tabla norma ISO 8573-1: 2010 8a edición. Bélgica: Atlas Copco. 2014. p. 73. [Consultado: 11 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.atlascopco.com/es-co/compressors/manual-del-aire-comprimido>

5.1.2. Cantidad o capacidad de aire.

La capacidad del sistema se determinará sumando el consumo promedio requerido por cada una de las herramientas y por la operación de cada proceso en toda la planta, tomando en cuenta factores de carga de cada uno de éstos.

Todo sistema puede presentar picos de demanda que se pueden satisfacer a través de tanques de almacenamiento o tanques pulmón; éstos serán más efectivos si se localizan lo más cerca posible de donde se requieran estas altas demandas. En diferentes casos, una evaluación cuidadosa de la demanda del sistema puede llevar a una adecuada estrategia de control a través de estos tanques, de tal suerte que podamos reducir la capacidad global del compresor que se vaya a adquirir.

El sobredimensionar los compresores es extremadamente ineficiente, debido que la mayoría de los sistemas, operando a carga parcial, consumen más energía por unidad de volumen de aire producido. Es preferible comprar varios compresores pequeños con un control secuenciador de arranque, permitiendo así una operación más eficiente cuando la demanda es menor que la demanda pico.

5.1.3. Nivel de presión requerido.

Si a pesar de que el sistema fue diseñado apropiadamente y recibe un mantenimiento adecuado, sigue experimentando problemas de capacidad, una alternativa, antes de añadir otro compresor, es volver a analizar el uso del aire comprimido en cada una de las áreas de aplicación, ya que tal vez pueda utilizar, de manera más efectiva, sopladores o herramientas eléctricas o, tal vez, simplemente pueda detectar usos inapropiados. Otra forma efectiva de diseñar y operar apropiadamente un sistema de aire comprimido es evaluar su perfil de carga. Las variaciones de demanda durante el tiempo total de uso del aire comprimido es una de las principales consideraciones cuando se diseña un sistema de esta índole. Las plantas con grandes variaciones de demanda necesitarán de un sistema que opere eficientemente bajo carga parcial; en tales casos, el uso de compresores múltiples con controles secuenciadores de arranque, pueden operar el sistema de forma más económica. En cambio, en plantas con un perfil de carga con pocas o nulas variaciones, se pueden utilizar estrategias de control simples. Por otro lado, los usos inapropiados dan lugar a una demanda artificial ya que requieren de un exceso en el volumen de aire y, por consecuencia, una mayor presión que el requerido por las propias aplicaciones. El uso de controladores de flujo puede ayudar a minimizar esta demanda artificial.

Para definir el nivel de operación de un sistema se parte de los requerimientos de presión demandados por cada herramienta, dichos valores son generalmente probados y suministrados por el fabricante. Por otro lado, las presiones requeridas en los diferentes procesos son definidas o determinadas por el ingeniero de procesos. Teniendo ya ambos

requerimientos se puede definir el nivel de presión para el sistema, sin dejar de lado que un mayor nivel de presión en el sistema significa que será más costoso, visto desde el consumo energético para su operatividad y del mantenimiento.

Luego de definido este nivel de presión para todo el sistema, se pasará a valorar las pérdidas de este a través de la tuberías y accesorios correspondiente a los equipos adicionales que bien pueden ser filtros, secadores, separadores, etc.

5.3 COMPRESORES Y TIPOS

El compresor es una maquina utilizada para comprimir aire o algún otro gas a cierta presión que se requiera. Esta presión se encontrará siempre por sobre la atmosférica. Generalmente la presión operativa de un compresor se encuentra por encima de los 4 bares.

5.3.1 Clasificación del compresor.

En las principales fuentes teóricas sobre compresores se pueden encontrar destacados dos principales grupos que a su vez se subdividen en otros donde se hallan más compresores.

Compresores de deslizamiento positivo: Este tipo de compresores tiene un principio de conocimiento básico, pero aun efectivo, al interior de una cámara de compresión, se disminuye el volumen del aire confinado para aumentar su presión y ser liberado posteriormente al alcanzar los valores previstos.

- Compresor de Tornillo.
- Compresor de Pistón.
- Compresor de Paletas.

- Compresores Scroll.
- Compresor de lóbulos o Émbolos Rotativos.

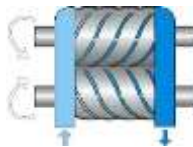
Compresores dinámicos: En este caso, el funcionamiento se basa en la aceleración molecular. El aire que se aspira por el rodete viaja a través de su campana de entrada y es acelerado a gran velocidad. Después este aire a alta velocidad es descargado sobre unos difusores que se sitúan junto al rodete, es qui donde toda esa energía cinética transmitida al aire se transforma en presión estática. A partir de este punto, es liberado al sistema.

Este proceso se puede dar más de una vez antes de ser liberado el aire. A esto se le llaman etapas, son ciclos repetitivos donde entre etapas se instala un refrigerador intermedio que reduce la temperatura de compresión hasta el valor que la siguiente etapa requiere.

- Compresores Centrífgos Radiales.
- Compresores Centrífgos Axiales.

Compresores de tornillo: Son los otros compresores ampliamente utilizados en la industria, junto con los compresores de émbolo.

Figura 2. Disposición de tornillos en compresores de tornillo



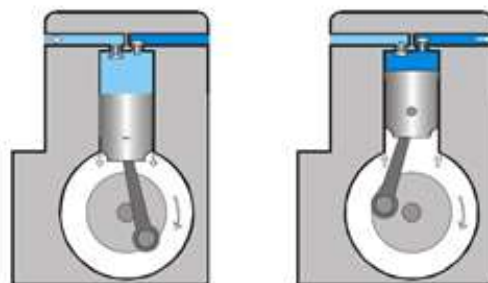
Fuente: Automatización Industrial [blog]. Neumática, hidráulica, microcontroladores y autómatas. 30 de agosto de 2010. [Recuperado en 11 de julio 2022]. Disponible en: <http://industrialautomatica.blogspot.com/2010/08/compresores-neumaticos.html>

Funcionan mediante dos rotores helicoidales paralelos, que giran en un cárter en sentidos contrarios e impulsan el aire de forma continua. El rotor macho conectado al motor arrastra al rotor hembra como consecuencia del contacto de sus superficies sin ningún engranaje auxiliar; el volumen libre entre ellos disminuye comprimiendo el aire. Es necesario lubricar las piezas móviles con aceite, para evitar severos desgastes y refrigerar los elementos. Este aceite se deberá separar del aire comprimido mediante un separador aire-aceite.

Pueden dar caudales elevados, 24.000m³/h y presiones cercanas a los 10 bares. También se pueden colocar en serie varias etapas, llegando a presiones de 30 bares.

Compresor de embolo o pistón: En este compresor el aire es aspirado al interior de un cilindro mediante una válvula de admisión, un pistón que se desliza por el movimiento transmitido desde un cigüeñal, pasando por una biela, comprime este aire ingresado previamente hasta que una válvula de escape realiza su apertura permitiendo que siga circulando el aire por el sistema, ya con una presión obtenida y el proceso de repite.

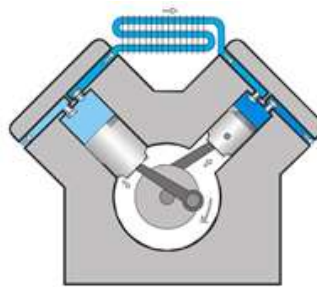
Figura 3. Compresor de émbolo o pistón.



Fuente: Fuente: Automatización Industrial [blog]. Neumática, hidráulica, microcontroladores y autómatas. 30 de agosto de 2010. [Recuperado en 11 de julio 2022]. Disponible en: <http://industrial-automatica.blogspot.com/2010/08/compresores-neumaticos.html>

Compresor de embolo de dos etapas: Cuando una única etapa no basta para llegar a la presión deseada o requerida por el sistema, se recurre a una o más etapas adicionales. Ya que la compresión hace que la temperatura del gas se eleve, se intercala entre cada dos ciclos de compresión un cambiador de calor que permita reducir la temperatura y así evitar afectar os equipos.

Figura 4. Compresor de émbolo de dos etapas.



Fuente: Automatización Industrial [blog]. Neumática, hidráulica, microcontroladores y autómatas. 30 de agosto de 2010. [Recuperado en 11 de julio 2022]. Disponible en: <http://industrial-automatica.blogspot.com/2010/08/compresores-neumaticos.html>

5.4 TIPOS DE RED PARA INSTALACIONES DE AIRE COMPRIMIDO

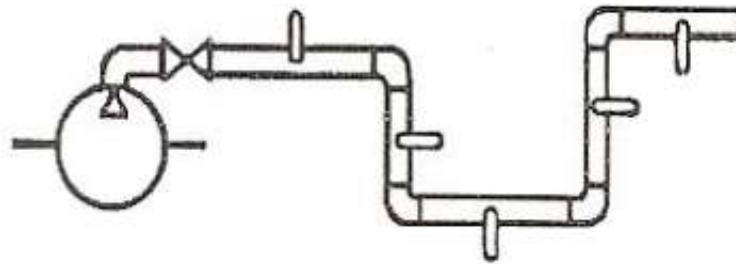
Los diseños para las redes de aire comprimido pueden ser de tres tipos y están dados por la distribución de la tubería principal.

- Red abierta
- Red cerrada
- Red interconectada

5.4.1 Red abierta.

Este tipo de redes es poco recomendada debido que provoca caídas de presión considerables y además es bastante complicado su mantenimiento en tramos de la tubería, porque es necesario aislar toda la tubería, es decir, habría que realizar una parada total de la planta. Debido a esto solo se utiliza en pocas aplicaciones.

Figura 5. Diagrama ejemplo de red de suministro de aire comprimido abierta.

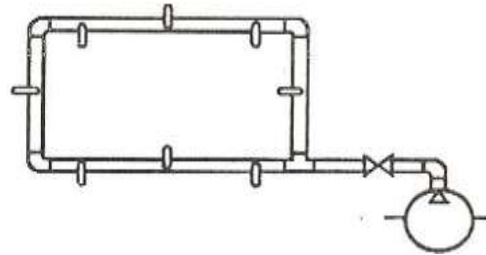


Fuente: COLOMBERO, Emilio. LA MIRADA DE LO INDIFERENTE [blog]. Introducción al aire comprimido y estudio de redes de aire. 13 de junio de 2013. [Consultado: 11 de julio de 2022]. Disponible en: <https://tecnicayateismo.wordpress.com/>

5.4.2 Red cerrada.

Se forma un anillo con la tubería principal con lo cual se logra alimentar la red por dos tramos de esta desde el compresor, lo que permite hacer mantenimiento en la línea sin dejar de suministrar aire al resto de aplicaciones. Gracias a sus características es el tipo de red más utilizada en la industria con variaciones en la línea interconectada.

Figura 6. Diagrama ejemplo de red de suministro de aire comprimido cerrada.

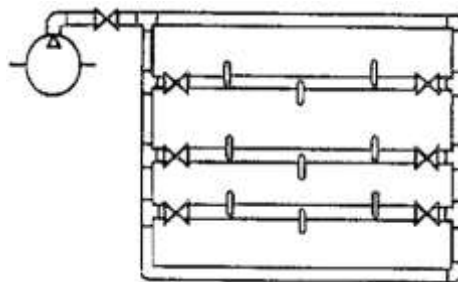


Fuente: COLOMBERO, Emilio. LA MIRADA DE LO INDIFERENTE [blog]. Introducción al aire comprimido y estudio de redes de aire. 13 de junio de 2013. [Consultado: 11 de julio de 2022]. Disponible en: <https://tecnicayateismo.wordpress.com/>

5.4.3 Red interconectada.

Es un tipo de red cerrada con interconexiones dentro del anillo y gracias a esta configuración es utilizada en lugares donde hay muchas aplicaciones o en casos de aplicaciones.

Figura 7. Diagrama ejemplo de red de suministro de aire comprimido interconectada.



Fuente: COLOMBERO, Emilio. LA MIRADA DE LO INDIFERENTE [blog]. Introducción al aire comprimido y estudio de redes de aire. 13 de junio de 2013. [Consultado: 11 de julio de 2022]. Disponible en: <https://tecnicayateismo.wordpress.com/>

Inclinación de la red de distribución: Las redes de distribución de aire comprimido se instalan con una inclinación con un margen de 1% a 2% de pendiente en sentido de flujo del aire, esto con el fin de facilitar la extracción de condensados y al final de la línea debe instalarse una válvula de purga.

5.5 TUBERÍAS Y ACCESORIOS

5.5.1 Tubería Principal.

La tubería principal es la que sale del compresor y canaliza la totalidad del caudal de fluido. Esta tubería debe contar con el mayor diámetro posible para evitar pérdidas de presión y prever ampliaciones futuras de la red.

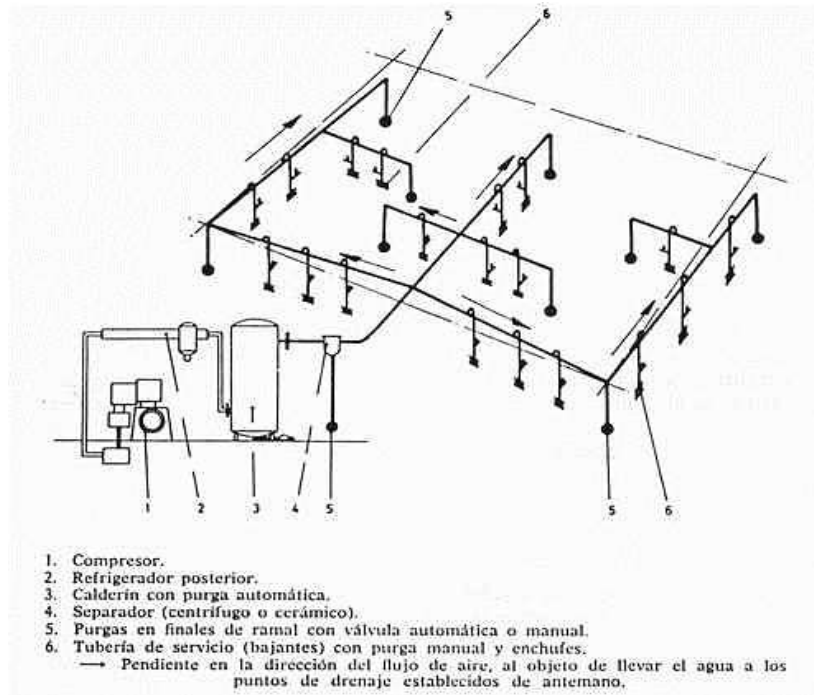
5.5.2 Tubería secundaria.

Estas líneas toman el aire de la línea principal, ramificándose por las zonas de trabajo, de las cuales saldrán las tuberías de servicio. Para esta línea el caudal que la recorre es igual a la suma del caudal de todos los puntos de consumo.

5.5.3 Tubería de servicio.

Son las tuberías que se encargan de surtir a todo equipo neumático que aproveche la energía de nuestra red para elaborar un trabajo. En sus extremos encontraremos conectores de acople rápido y sobre estas líneas se ubican las unidades de mantenimiento. Habrá que considerar que el número de equipos a alimentar no debe sobrepasar las tres unidades.

Figura 8. Ejemplo red de aire comprimido y sus partes.



Fuente: HINCAPIE GÓMEZ, Esteban, ARBOLEDA SERNA, Juan y CARDONA MÚNERA, Santiago. Redes de aire comprimido [blog]. Configuración. 10 de noviembre de 2003. [Consultado: 26 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.monografias.com/trabajos16/redes-de-aire/redes-de-aire>

Para evitar taponamientos en las líneas de servicio se recomienda el uso de diámetros mayores a $\frac{1}{2}$ " (1.27cm), y como son segmentos cortos las pérdidas son pequeñas, lo que conlleva a velocidades de hasta 15m/s.

Unidad de mantenimiento: El aire aspirado por los compresores contiene humedad y particular de distintos elementos que varían según el lugar, para evitar la mayor parte del ingreso de estos elementos no deseados y captar la mayor cantidad de humedad se usan filtros, pero estos no logran una depuración del cien por ciento.

La durabilidad y seguridad de funcionamiento de una instalación neumática dependen en buena forma del acondicionamiento del aire:

Las partículas líquidas contenidas por el aire, junto con la demás suciedad como el polvo causan in gran deterioro en las instalaciones neumáticas y en sus componentes, esto provoca desgastes prematuros y con un fuerte impacto en superficies de deslizamiento, ejes, vástagos y demás elementos mecánicos, causando que su duración y disponibilidad se reduzca.

La desconexiones y reconexiones del compresor o compresores, causa oscilaciones en la presión, afectando el funcionamiento estable del circuito o instalación y para cada elemento como válvulas, actuadores, etc.

Estos y más problemas son comunes y para evitarlos se implementan las Unidades de Mantenimiento Neumático, las cuales se conforma por un conjunto de elementos descritos a continuación:

- Filtro de aire comprimido
- Regulador de presión
- Lubricador de aire comprimido

Figura 9. Unidad de mantenimiento neumático.



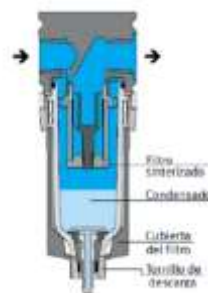
Fuente: EVANS. Unidad de mantenimiento [sitio web]. [Consultado: 11 de julio de 2022].
Disponble en: <https://uao.libguides.com/Citar-referenciar-apa-icontec-ieeee/referenciar-Icontec#Web>

Filtro: Se utilizan cuando es necesario limpiar el aire comprimido de partículas de suciedad, óxido, sinterización de tuberías y agua condensada.

Hay tres tipos generales de filtros de aire:

- **Uso general:** Sirven para remover agua y otras partículas de baja densidad.
- **Coalescentes:** Remueven partículas de aceite.
- **Eliminación de vapor:** Se deshacen del vapor de aceite y del olor.

Figura 10. Filtro de aire



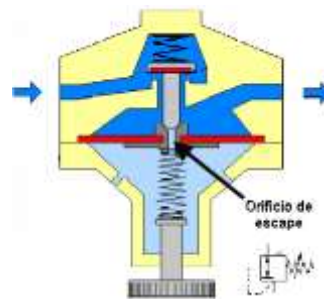
Fuente: VAELLO SANCHO, José Ramón. Preparación del aire comprimido [blog]. Formación para la industria 4.0. [Consultado: 26 de julio de 2022]. Disponible en: <https://automatismoindustrial.com/curso-neumatica-industrial/preparacion-del-aire-comprimido/>

Regulador de presión: Se usan cuando el aire comprimido entrante debe regularse a un valor deseado y preestablecido, independiente de las condiciones externas y del funcionamiento de otros equipos.

Algunos ejemplos de activos industriales que necesitan regulación de aire son:

- Pistolas de soplado
- Equipo de medición de aire
- Cilindros de aire
- Motores de aire
- Dispositivos de pulverización
- Sistemas de lubricación en aerosol

Figura 11. Regulador de Presión con orificio de escape.



Fuente: HENAO CASTAÑEDA, Francisco Javier. DISEÑO DE REDES DE AIRE COMPRIMIDO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES NEUMÁTICOS [en línea]. 2017. [Consultado 26 de julio de 2022]. Disponible en: <https://docplayer.es/47787412-Diseno-de-redes-de-aire-comprimido-y-seleccion-de-componentes-neumaticos.html>

Lubricador: Los aceites se utilizan cuando las herramientas neumáticas, los controles neumáticos, etc. deben operar con una cantidad determinada de aceite para evitar el desgaste prematuro por exceso de fricción.

La mayoría de las herramientas neumáticas y otros equipos impulsados por aire necesitan de lubricación periódica para extender su durabilidad, como:

- Cilindros
- Válvulas

- Motores neumáticos

Figura 12. Lubricador.



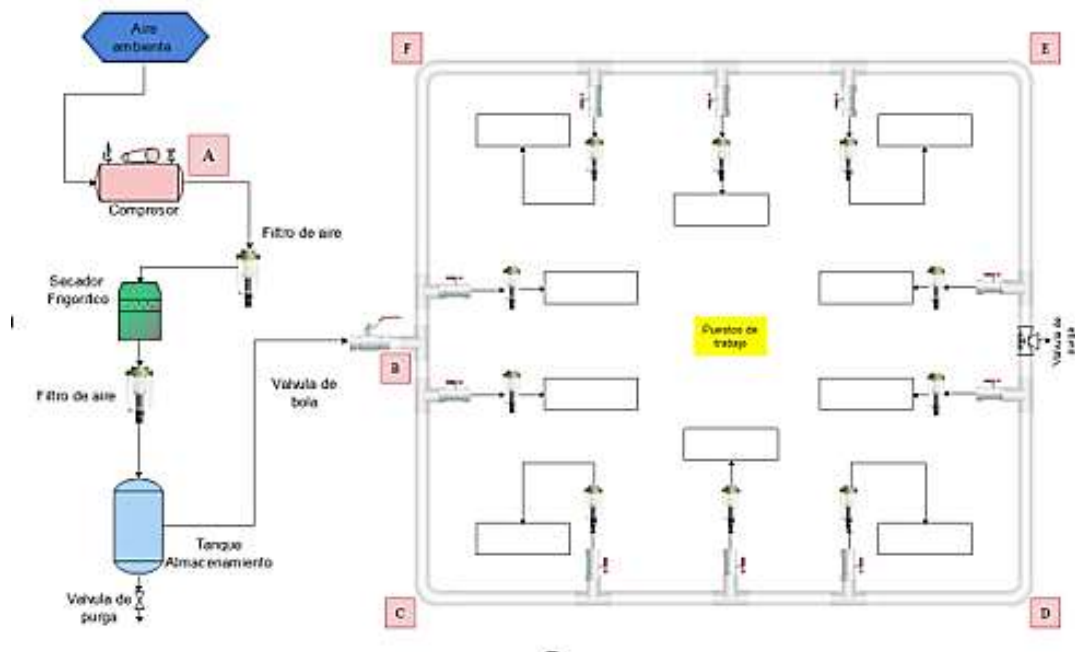
Fuente: ESCUELA SUPERIOR DE INGENIEROS DE BILBAO. Fabricación asistida por computador [en línea]. Generación y distribución de aire comprimido. [Consultado 26 de julio de 2022]. Disponible en: https://www.ehu.eus/manufacturing/docencia/359_ca.pdf

6. DISEÑO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO

6.1. Distribución de la red de aire comprimido

Una vez estudiadas las diferentes configuraciones de redes para sistemas de aire comprimido industrial, se toma la decisión de utilizar el tipo de red cerrada con instalación interior de forma aérea, ya que este tipo de distribución permite mantenimiento en tramos de la red sin detener el flujo de trabajo en los demás tramos de esta. Al estar instalada en el interior sufre menos por los cambios de temperatura y climáticos que pueden generar aumentos de la humedad, condensación en las líneas y desgastes físicos, asimismo, posicionando la red de forma aérea y no subterránea, evitamos aumentos en la humedad por diferencia de temperatura con el suelo y el fácil acceso a todos los puntos para realizar cualquier cambio o mantenimiento a futuro.

Figura 13. Diagrama de red cerrada propuesta.



Fuente: Elaboración propia.

6.2. Selección de herramientas neumáticas

Para el desarrollo de la red de aire comprimido, se optó por escoger algunas herramientas de fabricantes reconocidos en la industria tales como: RODCRAFT, PREVOST y HOFMANN. De estos catálogos se tomaron cinco tipos diferentes de herramientas (Pistola de impacto, desmonta llantas, infladores de neumáticos, pistolas de pintura y amoladoras) y a su vez de cada tipo se escogieron tres modelos con distintas características de trabajo y diseño, permitiendo de esta manera diversas configuraciones para el diseño y consumo del sistema.

A continuación, se describe la ecuación para la cantidad de combinaciones posibles para la red cerrada con un máximo de diez herramientas.

$$N^{\circ} \text{ permutaciones} = (N^{\circ} \text{ tipo de herra.} * N^{\circ} \text{ de modelos})^{N^{\circ} \text{ max de espacios}} \quad (1)$$

$$N^{\circ} \text{ max de permutaciones} = (5 * 3)^{10} = 15^{10}$$

$$N^{\circ} \text{ max de permutaciones} = 5.766x10^{11}$$

Para el caso de las pistolas de impacto estas fueron seleccionadas del catálogo de RODCRAFT, considerando tres modelos diferentes con el fin de darle al usuario la posibilidad de elegir la herramienta que mejor se ajuste a sus necesidades.

Figura 14. modelos de Pistolas de impacto RODCRAFT

Modelo	RC2177	RC2267	Modelo	RC2277	Modelo	RC2377 / RC2387
Salida	3/8"	1/2"	Salida	1/2"	Salida	3/4"
Par	420 Nm	480 Nm	Par	900 Nm	Par	1300 Nm
Par	580 Nm	660 Nm	Par	1250 Nm	Par	1950 Nm
Velocidad	8200 rpm	10200 rpm	Velocidad	8200 rpm	Velocidad	5760 rpm
Peso	1.25 kg		Peso	2 kg	Peso	3.5 / 4.1 kg
Manguera	8 mm		Manguera	10 mm	Manguera	13 mm
Dimensiones a x b x c	164x175x60 mm		Dimensiones a x b x c	194x188x70 mm	Dimensiones a x b x c	RC2377: 225x84x199 mm RC2387: 300x84x199 mm
Cons. de aire	160 l/min	180 l/min	Cons. de aire	245 l/min	Cons. de aire	255 l/min
Cons. de aire	470 l/min	510 l/min	Cons. de aire	760 l/min	Cons. de aire	972 l/min
Entrada de aire	1/4" IG		Entrada de aire	1/4" IG	Entrada de aire	3/8" IG
Sistema de impacto	DUOPACT		Sistema de impacto	DUOPACT	Sistema de impacto	DUOPACT
Sonido LpA	90 dB(A)	93 dB(A)	Sonido LpA	93 dB(A)	Sonido LpA	96.8 dB(A)
Vibración	7.9 m/s ²	6.9 m/s ²	Vibración	9.7 m/s ²	Vibración	14.5 m/s ²
580 & 660 Nm máx. Composite solo 1,25 kg			1250 Nm máx.		1950 Nm máx.	



Fuente: RODCRAFT. Catalogo RODCRAFT pdf [en línea]. Pistolas de impacto. [Consultado 1 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.rodcraft.com/es/catalogues-pdf-es>

De la misma manera se tuvo en cuenta la presión de trabajo (6.3bar) y el consumo de aire máximo funcionando en vacío de las pistolas y demás herramientas, para el posterior desarrollo del modelo computacional que le entregara los requerimientos generales del diseño al usuario.

Figura 15. Presión de trabajo de pistolas de impacto RODCRAFT



The image shows a document page with the RODCRAFT logo and the number 05 in the top right corner. The main heading is 'Referencias'. Below it, there is a section titled 'Requisitos importantes para el uso de herramientas neumáticas'. This section contains two columns of text. The left column discusses maintaining the power of a pneumatic motor by using quality compressed air and installing a maintenance unit. The right column states that strict adherence to these conditions is crucial for optimal tool performance. Below this, there is a section titled 'Presión de aire' which specifies a standard pressure of 6.3 bars (90 psi) and warns against excessive pressure and tool failure.

RC RODCRAFT® 05

Referencias

Requisitos importantes para el uso de herramientas neumáticas

Para mantener la potencia de un motor neumático, con el objetivo de evitar daños y prolongar la vida útil de las herramientas, el aire comprimido tiene que cumplir ciertas normas de calidad. Se recomienda instalar una unidad de mantenimiento en cada salida de aire comprimido o lugar de trabajo.

Las siguientes condiciones son de gran importancia para el funcionamiento y se deben cumplir estrictamente. Para cada tipo de lugar de trabajo la unidad de mantenimiento adecuada producirá las condiciones óptimas para las herramientas neumáticas utilizadas.

Presión de aire

La presión estándar de aire suministrada debe ser de 6,3 bares (90 psi) en la entrada de aire de la herramienta neumática (también cuando está fluyendo el aire). Las presiones de entrada demasiado altas producirán un desgaste excesivo y fallos de la herramienta después de cierto tiempo. Las herramientas que funcionan con una presión de aire demasiado baja suelen tener carencias cuando funcionan a pleno rendimiento.

Fuente: RODCRAFT. Catalogo RODCRAFT pdf [en línea]. Referencias. [Consultado 1 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.rodcraft.com/es/catalogues-pdf-es>

6.3. Parámetros para el funcionamiento de la red.

6.3.1. Medición de longitudes de los tramos.

Se realizarán las mediciones perimetrales internas del recinto donde será instalada la red y definirán las dimensiones de los tramos A-B, C-D, D-E, E-F y F-C por parte del usuario, quien las dejara consignadas como variables de entrada en la App.

6.3.2. Cálculo de unidades de consumo.

Una vez realizada la selección de las herramientas a utilizar y definidas las dimensiones de la red, se estimará el consumo por tramos y total del circuito como se aprecia en la tabla 2. Considerando un coeficiente de mayoración para futuras ampliaciones (Cma) del 30% por si el cliente desea agregar más herramientas al sistema propuesto por el software y el coeficiente de mayoración por fugas (Cmf) se estima en 1.05 (5%),

considerando que el cliente realice una instalación con materiales certificados o de calidad y personal capacitado.

Tabla 2. Tabla 2. Unidades de consumo y caudales por tramo.

TRAMO	Herramienta	Presión [Bar]	Tiempo de Uso [Min]	Qteorico [CFM]	Cu	Cs	Cms	Cma	Caudal por tramo [CFM]
Tramo F-C	Pistola de impacto	6,3	25	5,650	0,417	0,500	1,050	1,300	1,607
Tramo C-D	Inflador de neumaticos	6	5	3,531	0,083	0,500	1,050	1,300	0,201
Tramo D-E	Pistola de pintura	2	60	3,510	1,000	0,500	1,050	1,300	2,396
Tramo E-F	Amoladora	6,2	45	3,000	0,750	0,500	1,050	1,300	1,536
CAUDAL TOTAL DE LA RED									5,739

Fuente: Elaboración propia.

$$Q_{CD} = \#herramienta * Q_{teorico} * C_u * C_s * C_{mf} * C_{ma} \quad (2)$$

$$Q_{CD} = 1 * 3.5(CFM) * 0.08 * 0.5 * 1.05 * 1.3$$

$$Q_{CD} = 0.201(CFM)$$

$$Q_{total\ de\ la\ red} = Q_{CD} + Q_{DE} + Q_{EF} + Q_{FC} \quad (3)$$

$$Q_t = 0.201 + 2.396 + 1.536 + 1.607$$

$$Q_t = 5.739(CFM)$$

$$Q_{NI/s} = 5.739 (NCFM) * \frac{0.471947(NI/s)}{1 (NCFM)} \quad (4)$$

$$Q_{NI/s} = 2.708(NI/s)$$

Siendo:

- **Cu:** Factor de uso
- **Cs:** Factor de simultaneidad
- **Cma:** Coeficiente de mayoración para futuras ampliaciones
- **Cmf:** Coeficiente de mayoración por fugas

6.3.3. Demanda de aire.

“El grupo Atlas Copco, es un grupo industrial líder en la fabricación de compresores, expansores y sistemas de tratamiento de aire, entre otros”. (Atlas Copco, 2022). A través de su manual de sistemas de tratamiento de aire comprimido, este grupo nos señala en detalle los pasos y fórmulas a seguir para realizar el dimensionamiento y diseño de una red de este tipo; teniendo en cuenta varios parámetros importantes como lo son: la altura y temperatura del medio ambiente donde será instalada la red, las longitudes equivalentes de cada accesorio y el caudal que va a circular dentro de la tubería.

El valor total de caudal para el tramo principal (A-B) correspondiente a las unidades de consumo es de 10.516 (NCFM) (pies cúbicos por minuto a condiciones normales), El funcionamiento se da con una presión máxima de 8 (bar), Considerando que en cualquier red se presentan fugas por condensados, accesorios y demás elementos, se suma 1 (bar) para compensar estas fugas, siguiendo así lo recomendado por el manual de aire comprimido de Atlas Copco. Además, al ser presión absoluta se adiciona 1 (atm), llegando entonces a un valor de presión aproximada de 10 (bar). Ya habiendo determinado los valores operativos de caudal y presión necesarios se procede a los cálculos para el dimensionamiento de la red con el fin de obtener el diámetro interno de cada tubería. Como ejemplo se toma en este caso el tramo A-B para los cálculos. A continuación, se presentan los datos del tramo en condiciones ambientales de la ciudad de Bucaramanga:

- Caudal(Q) = 2.172 (NI/s)
- Longitud del tramo A-B (l) = 5 (m)
- Presión Absoluta (P) = 8.3 (bar)
- Caída de presión recomendada por el manual (ΔP) = 0.017 (bar)
- Presión por Altitud (Paltitud) = 0.9032 (bar)
- Temperatura (Tamb) = 22.6 (°C)

$$Q_{FAD} = Q_{NL/s} * \frac{273 + T_{amb}}{273} * \frac{1.013}{P_{altitud}} \quad (5)$$

$$Q_{FAD} = 2.708(Nl/s) * \frac{273 (K) + 22.6 (°C)}{273 (K)} * \frac{1.013 (bar)}{0.9032 (bar)}$$

$$Q_{FAD} = 3.288 (FAD)$$

Siendo:

- **QFAD:** Caudal del sistema en Aire Libre Suministrado (*FAD* o *L/s*).
- **QNI/s:** Caudal normal del compresor (*NL/s*).
- **Paltitud:** Presión donde se encuentra ubicado el compresor (*bar*).
- **Tamb:** Temperatura ambiente (°C).

Una vez obtenido el valor del caudal de aire libre suministrado, se procede a despejar el diámetro usando la ecuación (6).

$$\Delta P = 450 * \frac{Q_{FAD}^{1.85} * l}{\emptyset^5 * P} \quad (6)$$

Siendo:

- **ΔP:** Caída de presión en el sistema (*bar*).
- **P:** Presión absoluta del sistema (*bar*).
- **l:** Longitud de la tubería (*m*).
- **∅:** Diámetro interno de la tubería (*mm*).
- **QFAD:** Caudal del sistema en Aire Libre Suministrado (*FAD* o *L/s*).

$$\emptyset = \sqrt[5]{450 * \frac{Q_{FAD}^{1.85} * l}{\Delta P * P}} \quad (7)$$

$$\phi_{AB} = \sqrt[5]{450 * \frac{3.288^{1.85}(FAD) * 5 (m)}{0.017(bar) * 8.3(bar)}}$$

$$\phi_{AB} = 10.759 (mm)$$

De igual manera determinaremos el diámetro para cada uno de los cuatro tramos obteniendo los valores mostrados en la siguiente tabla.

Tabla 3. Diámetros calculados sin accesorios.

Tramo	Caudal (QFAD)	Longitud (m)	Presión (bar)	Caída de presión (bar)	Diámetro (mm)
A - B	3,289	5	8,3	0,017	10,761
C - D	0,115	10	8,3	0,017	3,575
D - E	1,373	10	8,3	0,017	8,947
E - F	0,880	10	8,3	0,017	7,590
F - C	0,921	10	8,3	0,017	7,718












Fuente: Elaboración propia.

6.3.5 Dimensionamiento de los tramos considerando accesorios

Sabiendo que en una red real se usan diversos tipos de accesorios, se debe considerar las pérdidas de carga en cada elemento y asociarlo a una longitud equivalente. Se realizarán nuevamente los cálculos de los diámetros para obtener así valores reales.

Para los cálculos se utilizan los valores en la tabla 1.1

Figura 16. Tabla de longitudes equivalentes

Componentes	Diametro interior de la tubería en mm (d)										
	25	40	50	80	100	125	200	250	300	400	
Válvula de bola totalmente abierta 	0.3 5	0.5 8	0.6 10	1.0 16	1.3 20	1.6 25	1.9 30	2.6 40	3.2 50	3.9 60	5.2 80
Válvula de diafragma totalmente abierta 	1.5	2.5	3.0	4.5	6	8	10	-	-	-	-
Válvula angular totalmente abierta 	4	6	7	12	15	18	22	30	36	-	-
Válvula de globo 	7.5	12	15	24	30	38	45	60	-	-	-
Válvula antirretorno de clapeta 	2.0	3.2	4.0	6.4	8.0	10	12	16	20	24	32
Codo R = 2d 	0.3	0.5	0.6	1.0	1.2	1.5	1.8	2.4	3.0	3.6	4.8
Codo R = d 	0.4	0.6	0.8	1.3	1.6	2.0	2.4	3.2	4.0	4.8	6.4
Ángulo 90° 	1.5	2.4	3.0	4.5	6.0	7.5	9	12	15	18	24
Te, salida en línea 	0.3	0.4	1.0	1.6	2.0	2.5	3	4	5	6	8
Te, salida angular 	1.5	2.4	3.0	4.8	6.0	7.5	9	12	15	18	24
Reductor 	0.5	0.7	1.0	2.0	2.5	3.1	3.6	4.8	6.0	7.2	9.6

Fuente: ATLAS COPCO. Manual del aire comprimido [Manual]. Tabla Longitud equivalente en metros: 2010 8a edición. Bélgica: Atlas Copco. 2014. p. 92. [Consultado: 12 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.atlascopco.com/es-co/compressors/manual-del-aire-comprimido>

Tabla 4. Longitudes equivalentes para el tramo A-B.

Accesorio A-B	Unidades	Longitud equivalente	Total (m)
Valvula de bola (Full Flow)	1	2,152	2,152
T (Tee side-flow)	1	0,645	0,645
Codo (Elbow R)	2	0,172	0,344
Longitud Equivalente (Leq)			3,141

Fuente: Elaboración propia.

En cada tramo se hace la sumatoria de longitudes equivalentes correspondiente a cada accesorio, luego este valor se le adiciona a la longitud previa del tramo como se muestra a la siguiente ecuación (8).

$$l_t = l + l_{eq} \quad (8)$$

$$l_t = 5 (m) + 2.950(m)$$

$$l_t = 7.950 (m)$$

Se repiten los cálculos usando las ecuaciones (6) y (7), y se reemplaza el valor de la longitud total, con la ecuación (8).

$$\Delta P = 450 * \frac{Q_{FAD}^{1.85} * l_t}{\phi^5 * P}$$

$$\phi_{AB} = \sqrt[5]{450 * \frac{2.844^{1.85}(FAD) * 7.950 (m)}{0.017(bar) * 8.3(bar)}}$$

$$\phi_{AB} = 10.780 (mm)$$

A continuación, se agrupan los valores calculados de los diámetros reales para cada uno de los tramos.

Tabla 5. Diámetros teniendo en cuenta accesorios

Tramo	Caudal (QFAD)	Longitud Total (m)	Presión (bar)	Caída de presión (bar)	Diámetro (mm)
A - B	3,289	8,141	8,3	0,017	11,863
C - D	0,115	11,043	8,3	0,017	3,647
D - E	1,373	14,400	8,3	0,017	9,624
E - F	0,880	12,215	8,3	0,017	7,899
F - C	0,921	12,252	8,3	0,017	8,038

Fuente: Elaboración propia.

Sabiendo que el tramo D-E es quien luego de realizados los cálculos requiere un diámetro de tubería mayor para lograr satisfacer el caudal, aplicaremos este mismo diámetro a los demás tramos donde se alojan las herramientas a usar, dejando solamente un cambio de sección en el paso del tramo inicial A-B a los siguientes. Por razones prácticas, esta

medida de diámetro debe ser normalizada, tomando el valor superior más próximo en la conversión de unidades (milímetros a pulgadas).

Figura 17. Equivalencia entre principales medidas normalizadas

Nominal Pipe Size	Diametro Nominal	Nominal Pipe Size	Nominal Diameter	Nominal Pipe Size	Nominal Diameter
NPS	DN	NPS	DN	NPS	DN
[pulgadas]	[mm]	[pulgadas]	[mm]	[pulgadas]	[mm]
1/8	6	6	150	48	1200
1/4	8	8	200	52	1300
3/8	10	10	250	56	1400
1/2	15	12	300	60	1500
3/4	20	14	350	64	1600
1	25	16	400	68	1700
1 1/4	32	18	450	72	1800
1 1/2	40	20	500	76	1900
2	50	24	600	80	2000
2 1/2	65	28	700	88	2200
3	80	32	800	96	2400
3 1/2	90	36	900	104	2600
4	100	40	1000	112	2800
4 1/2	115	42	1050	120	3000
5	125	44	1100	128	3200

Fuente: FILTEC. Equivalencias entre las principales maneras de medir canalizaciones, nps, dn [Sitio web]. 13 de diciembre de 2013. [Consultado: 12 de julio de 2022]. Disponible en: https://www.depuradoras.es/blog/169_equivalencias-entre-las-principales-maneras-de-medir-canalizaciones-nps-dn

Basados en la Figura 17, el tramo A-B tendría un diámetro de media pulgada (1/2 in) en el caso de este ejemplo, lo cual coincide con el diámetro ya normalizado de los demás tramos de tubería. Dejando así, toda la red con un mismo diámetro.

6.3.6 Selección de compresor

De la ecuación (3), con la cual se obtuvo el caudal total de la red y conociendo la presión máxima de operatividad para la red, se procede a la búsqueda y selección de un equipo que satisfaga estos requerimientos. Para tener un referente con una amplia variedad de equipos, se propusieron algunos de los principales catálogos del fabricante AIRUM, de este se da un primer compresor recomendado que se acerque en mayor medida a los factores operativos, también se sugieren algunas alternativas que de igual forma cumplan con el diseño de la red.

Figura 18. Catalogo compresores de pistón fijos AIRUM.



Fuente: AIRUM. Catalogo AIRUM pdf [en línea]. Compresores de pistón fijos. [Consultado 1 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.airumlogistic.com/es/descargas>

Se seleccionó el compresor con referencia (B2800B/200 FM3), dentro del catálogo este fue el primero en acercarse más a los valores que se tienen. Para este caso se trata de un compresor de pistón fijo con cabezal de doble etapa, cilindro de hierro y refrigerado por aire. Como también se aprecia en la imagen, otros equipos de la misma serie también cumplen con lo necesario para el óptimo funcionamiento de la red. En la mayoría de los

casos esto será así, serán entonces factores como el precio o demás características de operación (Ruido, materiales, dimensiones) las que quizá hagan que la elección sea otra distinta a la primera sugerencia.

6.3.7 Selección de secador frigorífico

Para lograr reducir al máximo la humedad del aire de trabajo y facilitar la extracción del condensado, se requiere en la red un secador. Este elemento a su vez presenta unos factores de corrección, que son únicos y dependientes de sus condiciones de trabajo. Sabiéndolas se logra determinar cuál será la capacidad de trabajo del secador más pertinente.

Como primer factor de corrección se tiene la temperatura a la entrada del secador y el punto de rocío a esa presión. La temperatura del aire que ingresa es +10 °C a la temperatura del aire ambiente, en cuanto a la del punto de rocío, este valor se asume y así mismo se liga al secador como un parámetro más en su funcionamiento.

Tenemos entonces una temperatura de ingreso de $22.6 + 10 = 32.6$ °C; correspondiendo entonces un factor de 1.15. El punto de rocío a presión será de +5°C teniendo en cuenta que a esta temperatura es que busca condensar la mayor cantidad de humedad en el aire. Dejando así un factor de corrección de 1.0 como se aprecia en las siguientes imágenes basadas en los datos del Catálogo de secadores frigoríficos del fabricante AIRUM.

Figura 19. Tabla factor de corrección según la temperatura de entrada

FACTOR DE CORRECCIÓN AL VARIAR LA TEMPERATURA DEL AIRE DE ENTRADA: / FACTOR DE CORRECÇÃO NA VARIAÇÃO DA TEMPERATURA AR DE ENTRADA:							
Temperatura del aire / Temperatura ar	°C	≤ 30	35	40	45	50	55
Factor / Factor		1.15	1.00	0.84	0.71	0.59	0.50

Fuente: AIRUM. Catalogo secadores frigoríficos AIRUM pdf [en línea]. Secadores serie AMD. [Consultado 1 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.airumlogistic.com/es/descargas>

Figura 20. Tabla factor de corrección según el punto de rocío

FACTOR DE CORRECCIÓN AL VARIAR EL PUNTO DE ROCÍO (DEWPOINT); / FACTOR DE CORRECÇÃO NA VARIAÇÃO DO PONTO DE ORVALHO (DEWPOINT):					
Punto de rocío / Ponto de orvalho	°C	3	5	7	10
Factor / Factor		0.91	1.00	1.10	1.26

Fuente: AIRUM. Catalogo secadores frigoríficos AIRUM pdf [en línea]. Secadores serie AMD. [Consultado 1 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.airumlogistic.com/es/descargas>

El siguiente factor es la presión de trabajo, es directamente tomar el valor basándose en el caso en particular. Para el ejemplo que se está desarrollando se cuenta con una presión de 8.3 bar, por lo tanto, según el catálogo el factor de corrección es de 1.05.

Figura 21. Tabla factor de corrección según la presión de funcionamiento.

FACTOR DE CORRECCIÓN AL VARIAR LA PRESIÓN DE FUNCIONAMIENTO: / FACTOR DE CORRECÇÃO NA VARIAÇÃO DA PRESSÃO DE EXERCÍCIO:											
Presión de aire de entrada / Pressão ar entrada	barg	4	5	6	7	8	10	12	14	15	16
Factor / Factor		0.77	0.86	0.93	1.00	1.05	1.14	1.21	1.27	1.30	1.33

Fuente: AIRUM. Catalogo secadores frigoríficos AIRUM pdf [en línea]. Secadores serie AMD. [Consultado 1 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.airumlogistic.com/es/descargas>

Como último factor de corrección, está el relacionado a la temperatura ambiente que como se expresó al determinar el primer factor, tenemos una de 22.6 °C. Esto nos deja entonces con un 1.0 como factor de corrección según la tabla que visualizamos a continuación donde se liga este factor de corrección con la variable de temperatura ambiente.

Figura 22. Tabla factor de corrección según la temperatura ambiente

FACTOR DE CORRECCIÓN AL VARIAR LA TEMPERATURA AMBIENTE: / FACTOR DE CORREÇÃO NA VARIAÇÃO DA TEMPERATURA AMBIENTE:						
Temperatura ambiente / Temperatura ambiente	°C	≤ 25	30	35	40	45
Factor / Factor		1.00	0.98	0.95	0.88	0.80

Fuente: AIRUM. Catalogo secadores frigoríficos AIRUM pdf [en línea]. Secadores serie AMD. [Consultado 1 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.airumlogistic.com/es/descargas>

Una vez obtenidos los factores de corrección, se aplica la siguiente ecuación

$$Q_{\text{sec}} = (Q_{\text{FAD}} * 60 \text{ s/min}) * f_{c1} * f_{c2} * f_{c3} * f_{c4} \quad (9)$$

$$Q_{\text{sec}} = 197.28 \text{ (Nl/min)} * 1.15 * 1.0 * 1.05 * 1.0$$

$$Q_{\text{sec}} = 238.216 \text{ (Nl/min)}$$

Obtenido este caudal, se procede a realizar la selección del secador que se ajuste al valor requerido.

Figura 23. Catálogo de secadores amd de AIRUM

Modelo de secador	Combinación con compresor	Caudal Débito			Caida de presión Queda de presión [bar]	Conexiones Uniones Ø [IN-OUT]	Alimentación Alimentação [Psi/V/F]	Dimensiones [mm] Dimensões [mm]			Peso Peso [kg]
		[l/min]	[m³/h]	[scfm]				A	B	C	
AMD 3	3KW-4HP	350	21	12	0.15	G 3/8" BSP-F	1/230/50-60	310	345	435	21
AMD 6	4KW-5.5HP	600	36	21	0.04	G 1/2" BSP-F	1/230/50-60	370	515	475	25
AMD 9	5.5KW-7.5HP	950	57	34	0.09	G 1/2" BSP-F	1/230/50-60	370	515	475	26
AMD 12	7.5KW-10HP	1200	72	42	0.14	G 1/2" BSP-F	1/230/50-60	370	515	475	28
AMD 18	11KW-15HP	1800	108	64	0.32	G 1/2" BSP-F	1/230/50-60	370	515	475	32

Fuente: AIRUM. Catalogo secadores frigoríficos AIRUM pdf [en línea]. Secadores serie AMD. [Consultado 1 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.airumlogistic.com/es/descargas>

6.3.8 Selección del tanque de almacenamiento.

Para la selección del depósito del aire se tienen en cuenta los datos anteriormente obtenidos en el proceso de diseño de toda la red.

$$QFAD = 3.288 \text{ (NI/s)}$$

$$P_{altitud} = 0.9032 \text{ (bar)}$$

$$T_{amb} = 22.6^{\circ}\text{C} = 273 + 30 = 295.6 \text{ K}$$

$f_{m\acute{a}x}$ = frecuencia máxima = 1 ciclo/30 segundos

$(P_u - P_l)$ = diferencia de presión entre el compresor en carga y en descarga = 0,5 bar

T_2 = la temperatura del aire comprimido a la salida del compresor seleccionado es 10°C mayor que la temperatura ambiente; por tanto, la temperatura máxima en el depósito de aire será = $273 + 32.6 = 305.6$

Para compresores con regulación todo/nada, el volumen del depósito de aire se obtiene con la fórmula siguiente:

$$V_{tanque} = \frac{0.25 * QFAD * P_{altitud} * T_2}{f_{max} * (P_u - P_l) * T_{amb}} \quad (10)$$

$$V_{tanque} = \frac{0.25 * 3.288 \text{ (nl/s)} * 0.9032 \text{ (bar)} * 305.6 \text{ (K)}}{\frac{1 \text{ (ciclo)}}{30 \text{ (seg)}} * 0.5 \text{ (bar)} * 295.6 \text{ (K)}}} = 46.052 \text{ (litros)}$$

Figura 24. Catalogo tanques de almacenamiento Kaeser

Datos técnicos

Capacidad del Tanque	Presión máxima permitida	Versiones posibles		Versión vertical				Versión horizontal				
		Litros	psig	Vertical	Horizontal	Altura mm	Ø mm	Conexión de entrada/salida	Peso kg	Longitud mm	Ø mm	Conexión de entrada/salida
90	160	Si	—	1160	350	2 x G ½ hinten	37	—	—	—	—	—
150	160	Si	Si	1190	450	2 x G ¾ hinten	60	1050	450	2 x G 2	55	85
	67											
250	160	Si	Si	1540	500	2 x G ¾ hinten	84	1410	500	2 x G 2	84	100
	230			1545			100	1410				
350	160	Si	Si	1810	550	2 x G 1 hinten	100	1630	550	2 x G 2	101	164
	230			1810			150	1640				
500	160	Si	Si	1925	600	2 x G 1 hinten	110	1780	600	2 x G 2	130	208
	230			1918			210					
	650			1925			420					

Fuente: KAESER. Catalogo tanque almacenamiento de aire comprimido [en línea]. Datos técnicos. [Consultado 1 de julio de 2022]. Disponible en: https://compresoresalemanes.com/images/pdf/TANQUES/CATALOGO_TANQUES.pdf

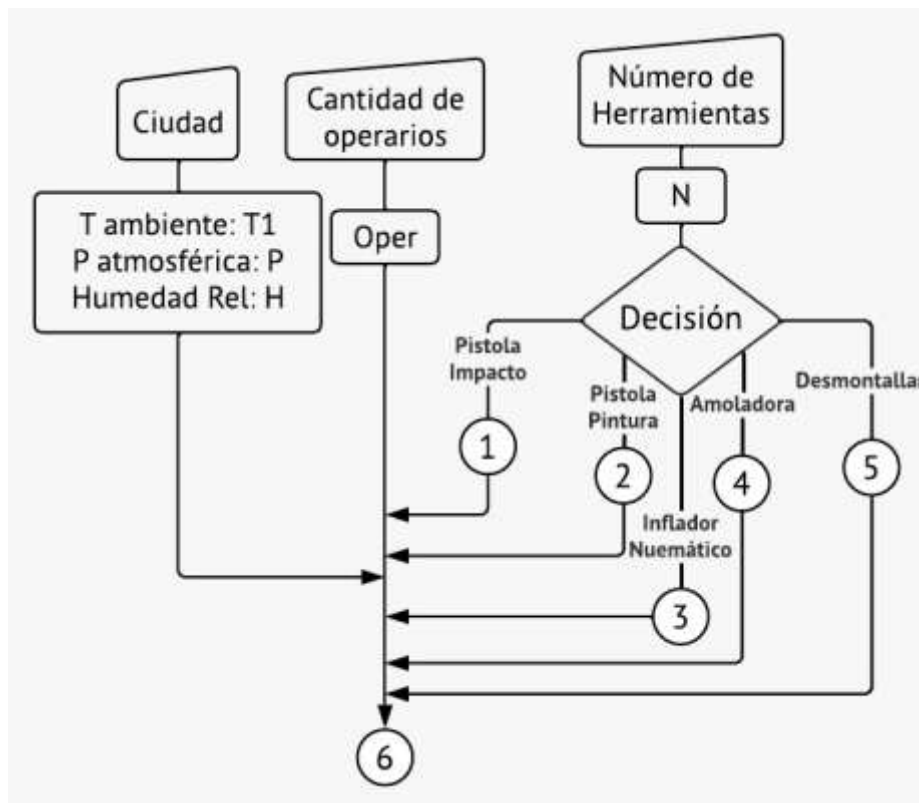
El requerimiento mínimo para el tanque de almacenamiento es de 47 litros, con lo cual vamos al catálogo del fabricante KAESER y seleccionamos un tanque de 90 litros con trabajo a presión máxima de 11 bares, que, fijándose en el compresor previamente seleccionado, se logra ver que este cumple de forma holgada con la necesidad volumétrica de almacenaje para el aire ya comprimido. También se puede optar por la adquisición por separado de compresor y tanque para así disminuir un posible sobrecosto debido al sobredimensionamiento de la selección anterior propuesta por el programa.

7. DESARROLLO DE MODELO COMPUTACIONAL

Para el diseño parametrizado de red, fue necesario configurar un algoritmo que permita, a partir de los datos de la ciudad, número y tipo de herramienta y cantidad de operarios definir el tamaño de la red en cuanto a tuberías, y la selección del equipo rotativo y estático para el funcionamiento y posterior cumplimiento al implementar la red en alguna instalación industrial.

En la figura 25, podemos observar el flujo inicial de datos que ingresan en la interfaz gráfica, teniendo en cuenta que la elección de la ciudad determina tres variables ambientales, el número de herramientas establece una interacción para la decisión de la herramienta en cada posición, su tipo y tiempo de funcionamiento.

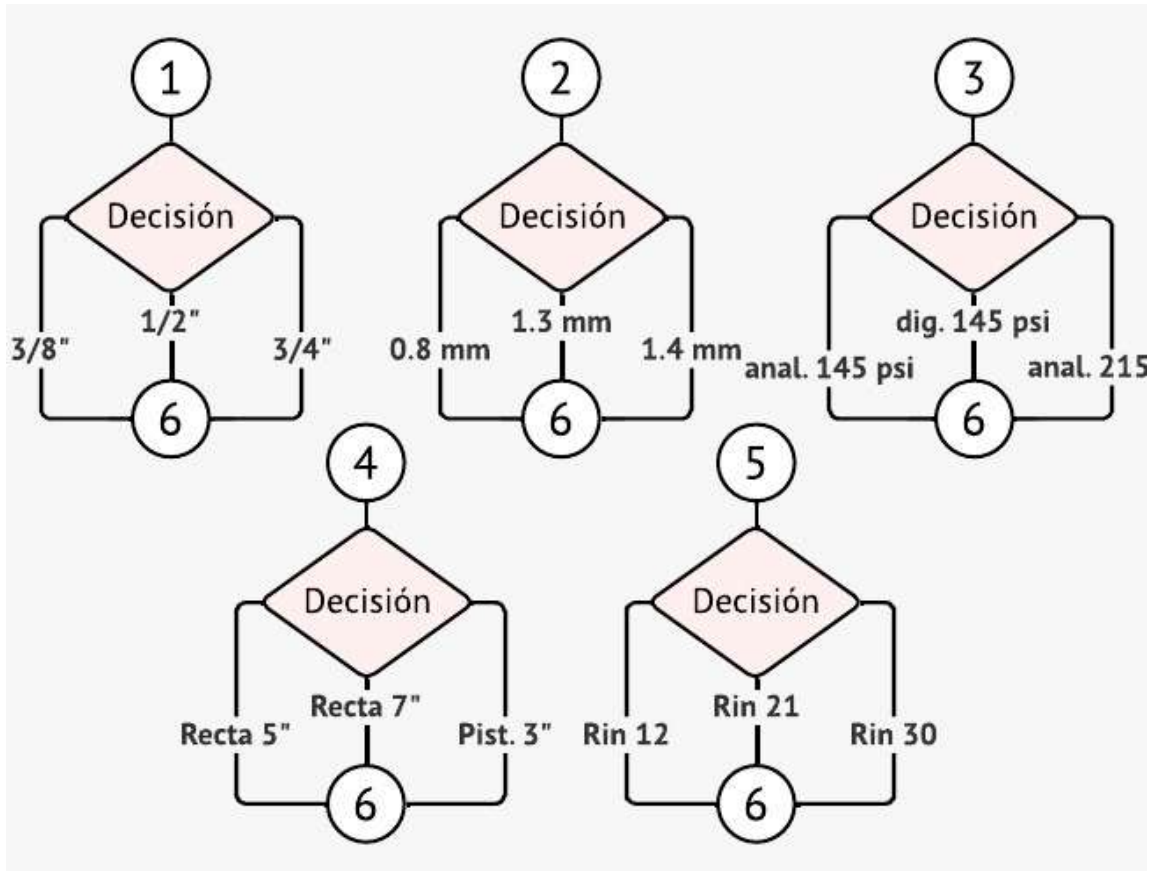
Figura 25. Diagrama de flujo parte 1.



Fuente: Elaboración propia.

Al momento de seleccionar cada herramienta, la pantalla mostrará diferentes opciones de tamaño y funcionalidad que el usuario podrá escoger; en la figura 26 podremos observar las decisiones que se pueden tomar con cada una de las herramientas dispuestas para cada uno de los tramos de la red.

Figura 26. Diagrama de flujo parte 2.

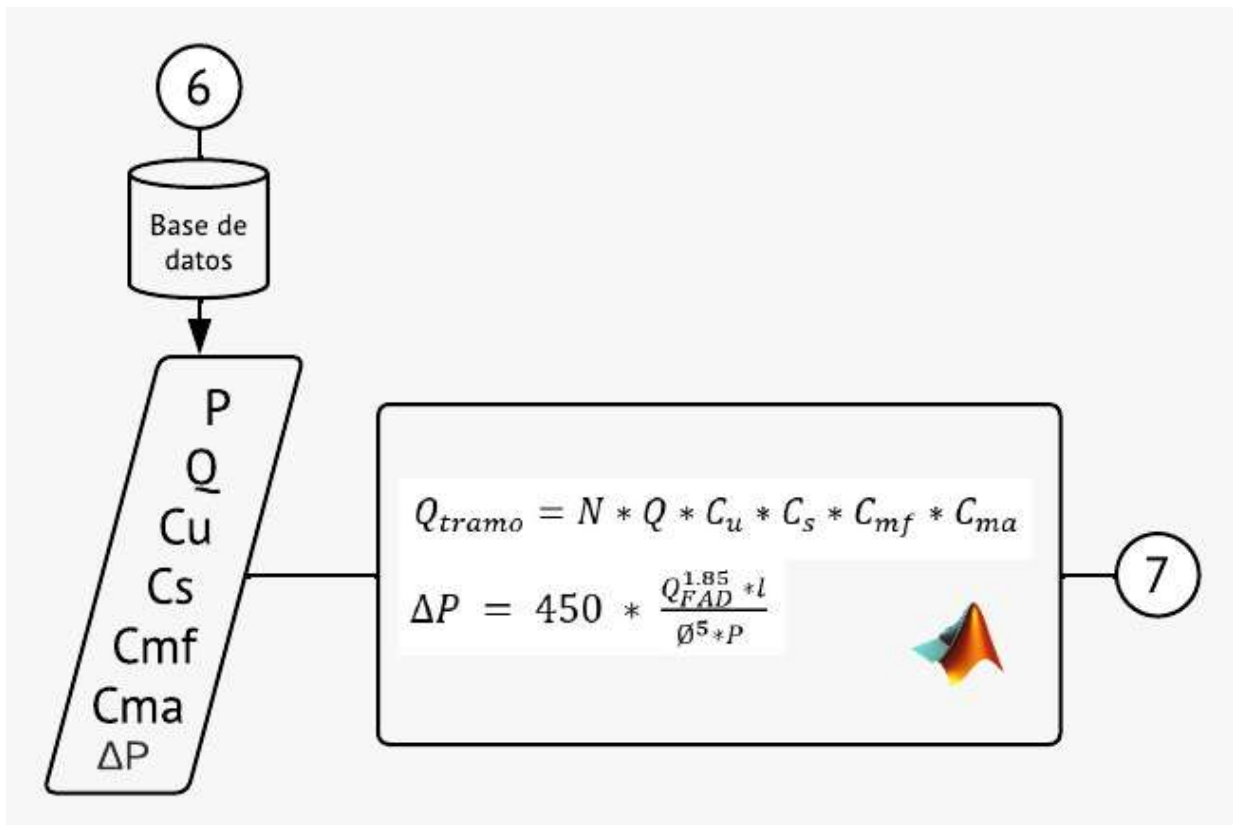


Fuente: Elaboración propia.

Este será un proceso que se repetirá de cuatro a diez veces dependiendo de la cantidad de herramientas que se haya seleccionado anteriormente. Posterior a las decisiones tomadas para cada una de las herramientas estas se agruparán por tramos para ingresar a una base de datos y allí se calcularán los datos particulares para cada caso de presión, caudal y caída de presión. Y, como lo muestra la figura 27, estos datos ingresarán a una función de Matlab, junto con cuatro constantes de utilización, simultaneidad, mayoración

por pérdidas y mayoración por ampliación, en dicha función se calculará el caudal para cada tramo para un total de cinco tramos con su correspondiente diámetro sin tener en cuenta las pérdidas por los accesorios.

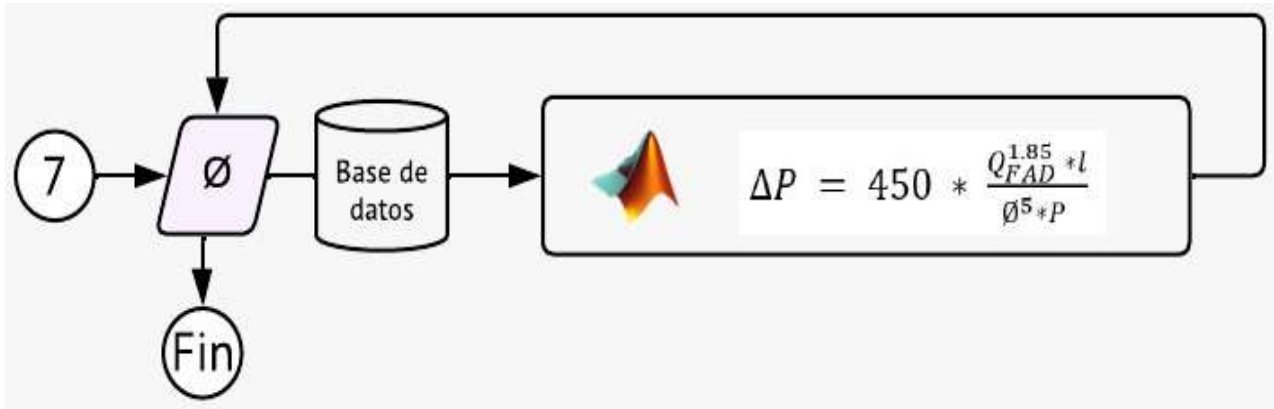
Figura 27. Diagrama de flujo parte 3.



Fuente: Elaboración propia.

En el proceso anteriormente se obtiene un diámetro para cada tramo el cual será recalculado teniendo en consideración un dato de longitud equivalente previamente obtenido de la base de datos, dicha longitud equivalente representa la caída de presión de cada uno de los accesorios. Este proceso de recalcu se realiza como un proceso iterativo que se repetirá hasta que el diámetro de entrada sea igual que el diámetro de salida. Con esto se obtiene una respuesta de los diámetros de la red en pulgadas y milímetros normalizados a valores comerciales.

Figura 28. Diagrama de flujo parte 4.



Fuente: Elaboración propia

Los datos de presión y caudal de cada una de los tramos se utilizaran también para la selección de compresor, secador y taque que proporcionen las cantidades necesarias para el funcionamiento de la red, para ello, se selecciona la presión máxima entre cada una de las herramientas y se calcula el caudal total de aire necesario, estos datos ingresan a una base de datos interna que permite seleccionar el compresor a partir de las referencias encontradas en los catálogos propuestos en este trabajo.

Para la selección del tanque y secador, como ya se menciona en un capítulo anterior del presente documento, es necesario aplicar un conjunto de ecuaciones y condiciones de selección, estas tendrán en consideración los parámetros de trabajo y valores anteriormente calculados para definir el equipo que cumpla a mayor cabalidad con los requerimientos de diseño de la red y disminuyan los costos de energía y otros gastos.

Para este último proceso también se utilizó una función en Matlab que permite evaluar cada una de las consideraciones y parámetros, los devuelve a la base de datos y le entrega al usuario las referencias de los equipos a utilizar como lo muestra la figura 29. Al usuario se le presentaran diferentes opciones de compresor, manteniendo para todos los casos el secador y el tanque, esto con el fin de ofrecer una amplia variedad de soluciones al problema y se acomoden a capacidades económicas del cliente.

Figura 29. Pantalla selección compresores, secador y tanque de AERIS.

AERIS - □ ×

Compresores sugeridos para el diseño de la red Opción 1 ▾





Equipo	Modelo	Código	Potencia [kw]	Caldera	Caudal [lpm]	Presión	Dimensión	Peso [kg]
NB4/270 FT5.5 AIRUM	N4NN701LEV133	4	400/TRIF/50	270	550	11	1550x590x1100	162

Equipo	Modelo	Potencia [kw]	Caudal [cfm]	Caida de presión	Conexiones	Dimensiones	Peso [kg]
Secador	AMD 6	4	21	0.0400	1/2	370x515x475	25

Equipo	Presion max permitida	Capacidad del tanque [L]	Altura [mm]	Diametro [mm]	Peso [kg]
Tanque	160	350	1810	550	100

Tramo	Diametro nominal [mm]	Diametro nominal [in]
Entrada al compresor		20 3/4
Red de herramientas		25 1

Fuente: Elaboración propia.

8. CONCLUSIONES

Este proyecto se desarrolló con el fin de brindar una herramienta computacional gratuita con aplicaciones prácticas para la industria local y sirviendo de apoyo al fortalecimiento académico. El programa entrega a los usuarios una interfaz cómoda y fiable al momento de realizar el diseño de una red cerrada de aire comprimido, permitiendo modificar los principales parámetros ambientales, factores de operatividad, cantidad y especificaciones técnicas de las herramientas a usar.

- Los parámetros más trascendentales para el diseño de una red cerrada de aire comprimido fueron el caudal de aire, producto de la sumatoria de la cantidad y modelo de las herramientas seleccionadas para el diseño y la presión máxima de trabajo de este conjunto.
- En este trabajo se logró el diseño de una red cerrada de aire comprimido, la cual puede albergar desde cuatro hasta diez herramientas, tal y como se aprecia en el desarrollo de los cálculos ejemplo. Donde se tuvo presente al momento de determinar el caudal por tramo un factor de ampliación de 0.3%, lo cual permitió que la red diseñada contara con la capacidad de soportar un mayor número de puntos de trabajo.
- Se consiguió la creación de una interfaz que permite de manera sencilla y práctica seleccionar que elementos de trabajo o herramientas que harán uso de la red, así como insertar las variables de funcionamiento ligadas a la forma en que se desea aprovechar la red y los parámetros que demanda cada elemento seleccionado para su uso.
- En el proceso de crear el modelo parametrizado se realizó un ejemplo de diseño de red de aire comprimido de tipo cerrada, el cual se muestra en este trabajo. al pasar el ejemplo por el programa desarrollado y contrastar su funcionamiento, se puede apreciar claramente como acierta en sus resultados, mostrando valores físicamente reales y un comportamiento acorde a los diseños vistos en la industria y en los textos académicos de estudio.

BIBLIOGRAFIA

ACOSTA R. A., "Fundamentos de neumática, sensores y actuadores.", Disponible: [http://blog.utp.edu.co/ricosta/files/2011/08/capitulo-2-neum%20tica-y-electroneumatica .pdf](http://blog.utp.edu.co/ricosta/files/2011/08/capitulo-2-neum%20tica-y-electroneumatica.pdf), 2011

ALMANZA, Andrés y CARRASCAL, Juan. "Diseño Y Construcción De Una Red De Distribución De Aire Comprimido Para El Uso De Herramientas Neumáticas En La Empresa Freno Sinú S.A.S. En La Ciudad De Montería". [Tesis de grado]. Montería. Colombia. Universidad de Córdoba. Disponible: <https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/2598/Dise%C3%B1o%20y%20construcci%C3%B3n%20de%20una%20red%20neum%C3%A1tica.pdf?sequence=1&isAllowed=y>, 2020

ATLAS COPCO. ¿Cómo podemos ayudarle?: Atlas Copco presente en Colombia [sitio web]. [Consultado: 12 de julio de 2022] Obtenido de Atlas Copco Colombia: <https://www.atlascopco.com/es-co>

CALDERÓN, Jefferson. "Análisis Técnico-Económico Para La Optimización De La Red De Aire Comprimido De Las Áreas De Molienda De Cemento Y Empaque En La Planta Caracolito De Cemex Colombia". Tesis de grado. Bucaramanga. Colombia. Universidad Industrial de Santander. Disponible: <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0000992.pdf>, 2016

CASSANIS M., "Historia del aire comprimido," in Marcelo Cassanis [Blog]. Aire Comprimido, Neumática y Eficiencia energética. [Consultado el 1 de julio de 2022]. Disponible en: <https://marcelocassani.wordpress.com/page/14/>, 2015.

CASTAÑEDA F. J. H., "Diseño de redes de aire comprimido y selección de componentes neumáticos.", Tesis de Grado. Universidad Tecnológica de Pereira. <http://media.utp.edu.co/tecnologia-mecanica/archivos/M%C3%93DULO%201.pdf>, 2011.

COLOMBERO E., "Introducción al aire comprimido" Disponible: <https://tecnicayateismo.wordpress.com/tag/herramientas-neumaticas/>, 2013.

ESQUIVEL R., "Tipos de herramientas neumáticas, sus ventajas y funciones," Revista Ferrepat. Disponible: <http://www.revista.ferrepat.com/herramientas/tiposdeherramientasnematicas-sus-ventajas-y-funciones/>, 2016

GONZÁLEZ BARRERO, Iván. "Proyecto de una planta auxiliar de suministro de aire comprimido para uso en una línea de montaje de automóviles". [Tesis de grado]. Valencia. España. Universidad Politécnica de Valencia. Disponible: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/109450/53634040_TFG_15361404972907214746763789452059.pdf?sequence=1&isAllowed=y, 2017

INGERSOLL RAND, "Guía sobre la calidad del aire". [Consultado el 1 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.scribd.com/presentation/264878378/Ing-Rand-Guia-Sobre-Calidad-Del-Aire>, 2007.

INTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de trabajos académicos. NTC 1486. Bogotá D.C.: El instituto, 2018. 47p.

INTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de trabajos académicos. NTC 6166. Bogotá D.C.: El instituto, 2016. 52p.

Manejo del aire comprimido en instalaciones industriales [en línea]. [Consultado el 1 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.scribd.com/document/230567649/Fluidos-Para-La-Web-4-Manejo-de-Aire-Comprimido>, 2017.

MANOSALVA y SILVA. "Diseño Del Sistema Para El Estudio Experimental Del Aprovechamiento Térmico De La Energía Solar". [Tesis de grado]. Bucaramanga. Colombia. Universidad Industrial de Santander. [Consultado el 1 de julio de 2022]. Disponible en: <http://repositorio.pedagogica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12209/9565/TE-21602.pdf?sequence=1&isAllowed=y>, 2014

PAREDES LÓPEZ, José Javier. "Diseño de las redes de aire comprimido y transporte neumático en un astillero". Tesis de grado. Cartagena. Colombia. Universidad Politécnica de Cartagena. [Consultado el 1 de julio de 2022] Disponible: <https://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/5707/tfe-par-dis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>, 2017

PARKER. "Introducción a la norma ISO de calidad del aire". [Consultado el 1 de julio de 2022] Disponible en: <http://us.kaeser.com/m/Images/Gu%C3%ADa%20de%20instalaci%C3%B3n%20de%20sistemas%20de%20aire%20comprimido-tcm266-747662.pdf>, 2011.

RUIZ MARTÍNEZ, Álvaro. "Análisis y mejora de una instalación de aire comprimido" Tesis de grado. Madrid. España. Universidad Carlos III de Madrid. Disponible: <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/13412>, 2011

