



Rediseño de red neumática en Empresa Acerías Paz Del Rio Planta Laminación 450

Jesús Alberto Corredor Pineda

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Tunja, Colombia
2020

Rediseño de red neumática en Empresa Acerías Paz Del Rio Planta Laminación 450

Jesús Alberto Corredor Pineda

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Electromecánico

Director (a):
Ingeniero Omar Rojas

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Tunja, Colombia
2020

NOTA DE ACEPTACIÓN

Este trabajo ha sido revisado y analizado encontrándose que reúne los requisitos de elaboración y presentación exigidos por la Universidad Antonio Nariño, por lo cual notificamos su aprobación.

Ing. Omar Franklin Rojas Moreno

Director

Ing. PhD. Carlos Ramón Batista

Jurado

Jurado: Ing. MSc Mercy Villate

Jurado

Tunja, noviembre de 2020

DEDICATORIA

A Dios en primer lugar por darme la oportunidad de llegar hasta donde he llegado y estar siempre en mi camino, una dedicatoria especial a mis padres, los cuales han sido mi eje para formarme como persona y como profesional, que han siempre buscado la manera de apoyarme para cumplir mis metas, que Dios me permita disfrutarlos por muchos más años llenos de vida, es mi mayor anhelo.

Agradecimientos

Agradezco a mis compañeros y maestros, que con su conocimiento y paciencia han hecho parte de este proceso de aprendizaje, especialmente al Director Ingeniero Omar Rojas, Dios los bendiga.

A las empresas Kaeser Compresores de Colombia y Acerías Paz Del Rio por darme la oportunidad y confianza de llevar a cabo este rediseño y colaborarme con todo lo que he necesitado para concluir esta tesis, muchas gracias.

Resumen

En la planta Laminación 450 de la empresa Acerías Paz del Río, se cuenta con una red neumática con cerca de 70 años de instalación, la cual está compuesta actualmente por 3 compresores marca Kaeser, cada uno de ellos tiene una potencia de 250 hp, allí se presentan inconvenientes debido a los grandes volúmenes de condensado que aparecen en válvulas, tuberías, cilindros, y en el mismo producto final, esto sucede ya que no se cuenta con secadores y un sistema adecuado de drenajes, además se presentan fugas considerables que generan caídas de presión y un consumo adicional de energía eléctrica para el funcionamiento de los compresores.

Luego de haber sido instalada inicialmente la red neumática, se ha podido establecer que desde la parte de mantenimiento de la empresa, no se le ha dado la suficiente importancia para mejorar el funcionamiento de esta, por tal motivo se realizó un estudio en el cual se establecen acciones que contribuirán a reducir el consumo de energía eléctrica para la operación de los compresores, y por lo tanto un ahorro económico considerable, se estableció claramente la cantidad de condensado que se está generando y los equipos que al ser instalados reducirán considerablemente el impacto de este en los consumidores finales y en las instalaciones, así como también que estos vayan acordes a la calidad del aire requerido establecido en la norma ISO8573-1.

Palabras clave: (Rediseño, Ahorro Energético, Aire Comprimido, Compresor, Condensado)

Abstract

Acerías Paz del Rio Company has a plant named “Laminación 450”, there is a pneumatic system with about 70 years of installation, which is currently composed with 3 compressors of the Kaeser mark, each of them has a power of 250 hp, There are drawbacks due to the large volumes of condensate liquid, that appear in valves, pipes, cylinders, and in the final product itself, this happens since there are no dryers and an adequate drainage system, in addition there are considerable leaks that generate falls pressure and additional consumption of electrical energy for the operation of the compressors.

After having initially installed the pneumatic network, it has been possible to establish that from the maintenance part of the company, it has not been given enough importance to improve its operation, for this reason a study was carried out in which establish actions that will contribute to reducing the consumption of electrical energy for the operation of the compressors, and therefore a considerable economic saving, the amount of condensate that is being generated was clearly established and the equipment that when installed will considerably reduce the impact of this in the final consumers and in the facilities, as well as that these go according to the required air quality established in the ISO8573-1 standard.

Keywords: (Redesign, Energy Saving, Compressed Air, Compressor, Condensate)

Contenido

	Pág.
Resumen.....	IX
Lista de figuras.....	XIII
Lista de tablas.....	XIV
OBJETIVOS.....	4
Objetivo general.....	4
Objetivos específicos.....	4
1. Capítulo 1: Marco Teórico	5
1.1 Conceptos básicos del aire comprimido.....	5
1.1.1 Propiedades y características del aire.....	5
1.1.2 Composición química del aire.....	6
1.1.3 Aire comprimido, definición y usos.....	7
1.1.4 Presión.....	8
1.2 Leyes de los gases.....	12
1.2.1 Ley de Boyle	12
1.2.2 Ley de Charles.....	13
1.2.3 Ley de Gay-Lussac.....	13
1.2.4 Ecuación general de los gases.....	14
1.3 Tratamiento del aire comprimido.....	14
1.3.1 Impurezas en el aire	14
1.3.2 Calidad del aire	15
1.3.3 Humedad del aire comprimido.....	18
1.3.4 Punto de rocío.....	18
1.3.5 Secado del aire comprimido.....	19
1.3.6 Contaminantes en el condensado.....	20
1.4 Diseño de estaciones de aire comprimido.....	22
1.4.1 Distribución de la red neumática	22
1.4.2 Presión de trabajo del sistema.....	23
1.4.3 Tanque de almacenamiento de aire comprimido.....	24
2. Capítulo 2: Características red neumática, calidad del aire y formación de condensado.....	27
2.1 Compresores.....	28
2.1.1 Características compresoras de tornillo Kaeser ESD250.....	28
2.1.2 Motor principal unidad compresora.....	29

2.1.3	Motores de ventiladores intercambiadores de calor.....	30
2.1.4	Intercambiador de calor de aire.....	30
2.1.5	Intercambiador de calor de aceite.....	31
2.1.6	Ciclos de carga y vacío.....	32
2.2	Calidad del aire comprimido Laminación 450.....	33
2.3	Depósitos de aire comprimido.....	36
2.4	Cantidad de condensado detectado	37
3.	Capítulo 3: Cálculo y Selección de elementos para rediseño red neumática.....	45
3.1	Cálculo y selección secadores refrigerativos.....	45
3.2	Cálculo y selección depósito de aire.....	49
3.3	Selección de drenajes automáticos.....	55
4.	Capítulo 4: Estudio Energético.....	56
4.1	Consumo eléctrico actual de compresores.....	56
4.2	Consumo eléctrico con modificación en parámetros carga-vacío rediseño....	62
4.3	Balance energético configuración actual y nueva parámetros carga-vacío...	64
5.	Capítulo 5: Informe técnico y económico.....	65
5.1	Propuesta técnica.....	65
5.2	Planos instalaciones actuales y rediseño red neumática.....	66
6.	Conclusiones y recomendaciones.....	68
6.1	Conclusiones.....	68
6.2	Recomendaciones.....	69
7.	Bibliografía.....	71
Anexo A:	Fotografías sala de compresores Laminación 450.....	76

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1: Componentes del aire.....	7
Figura 1-2: Valores de equivalencias de presión	8
Figura 1-3: Manómetros	9
Figura 1-4: Clasificación de calidad del aire comprimido	11
Figura 1-5: Grados de calidad para herramientas accionadas con aire comprimido.....	16
Figura 1-6: Relación entre punto de rocío atmosférico y punto de rocío a presión	17
Figura 1-7: Pérdida de presión equivalente en metros para accesorios.....	20
Figura 2-1: Características técnicas de filtros de línea Kaeser FB283D.....	34
Figura 2-2: Drenaje automático AMD1550.....	35
Figura 2-3: Presión de saturación del agua a diferentes temperaturas.....	41
Figura 2-4: Cantidad de condensado que se tendrá de acuerdo al punto de rocío.....	44
Figura 3-1: Factores de corrección flujo volumétrico.....	47
Figura 3-2: Datos técnicos secadores.....	48
Figura 3-3: Tanque 10000 litros Kaeser.....	54
Figura 3-4: Drenaje AMD6550.....	55
Figura 4-1: Indicadores de potencia y consumo eléctrico equipos Kaeser.....	56

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1: Relación entre altitud, presión atmosférica, temperatura y densidad del aire..	6
Tabla 1-2: Contenido máximo de vapor de agua mg/m^3	18
Tabla 1-3: Contaminantes presentes en el condensado.....	21
Tabla 2-1: Características compresores Kaeser ESD250.....	28
Tabla 2-2: Características de motor eléctrico principal a 60Hz.....	29
Tabla 2-3: Características de motores eléctricos intercambiadores de calor.....	30
Tabla 2-4: Características intercambiador de calor de aire.....	31
Tabla 2-5: Características intercambiador de calor de aceite.....	32
Tabla 2-6: Características de filtro de línea FB283D.....	35
Tabla 2-7: Características ambientales sala de compresores en un día normal.....	37
Tabla 2-8: Relación de la temperatura ambiente y capacidad de mantener agua.....	38
Tabla 2-9: Cantidad de condensado generado por hora.....	39
Tabla 2-10: Diferencia condensado de ingreso y salida intercambiador de calor.....	42
Tabla 2-11: Cantidad total de condensado generado en un día común.....	44
Tabla 2-12: Balance general de volúmenes de condensada red neumática.....	45
Tabla 3-1: Características ambientales y operativas de planta Laminación 450.....	46
Tabla 3-2: Número de ciclos de trabajo de compresor de tornillo modo DUAL.....	50
Tabla 3-3: Parámetros condiciones actuales compresor K1.....	51
Tabla 3-4: Parámetros condiciones actuales compresor K2.....	51
Tabla 3-5: Parámetros condiciones actuales compresor K3.....	52
Tabla 3-6: Volumen de tanque a seleccionar.....	53
Tabla 4-1: Comparación de potencia valores teóricos y reales.....	61
Tabla 4-2: Configuración inicial carga-vacío compresores.....	61
Tabla 4-3: Costo de energía eléctrica compresores configuración inicial carga- vacío....	62
Tabla 4-4: Nuevos valores parámetros de carga- vacío compresores.....	62
Tabla 4-5: Nuevos valores de consumo compresores con cambio de parámetros.....	64
Tabla 4-6: Diferencia de potencia y consumo configuración inicial y recomendada.....	65

Introducción

1.1 Antecedentes

El aire comprimido ha sido un fluido usado durante muchos años en gran cantidad de actividades, desde las más básicas como inflar la llanta de un vehículo, hasta mover grandes y pesados vástagos de cilindros en campos industriales (Álvarez, 2014).

Es el eje fundamental de una rama de la mecánica que estudia el equilibrio y movimiento de flujos gaseosos llamada neumática, ha sido tan relevante su uso que inclusive se ha llamado por varios autores como la cuarta energía, después de la energía eléctrica, los combustibles fósiles y el viento (Cubillos, 2016).

El primer uso del aire comprimido se remonta hacia el año 60 d.C, donde este era usado para abrir y cerrar las puertas de los templos, en un cilindro metálico se calentaba el aire y este se encargaba de desplazar un sistema mecánico simple el cual realizaba la función de mover dichas puertas para su apertura y cierre, años más adelante uno de los casos más conocidos del uso del aire comprimido se dio con el envío de cartas, dinero, objetos, a través de tubería en la primera década del siglo XIX, donde la fuerza que ejercía el aire comprimido sobre estos elementos ocasionaba su desplazamiento, de hecho aún sigue existiendo este sistema en Praga, Republica Checa, donde se maneja una red de tubería de aproximadamente 60 km de longitud, que es usada para el envío de correspondencia (Murdoch, 2010).

Usar aire comprimido tiene una gran ventaja sobre los líquidos, respecto a la velocidad de los desplazamientos en los consumidores finales, es por esto que se puede ver con bastante frecuencia en muchas industrias, que brazos robóticos y maquinaria manufacturera, incorporan mangueras cargadas con aire comprimido, que se mueve a gran velocidad, otra característica de manejar este fluido en particular se refiere a que las descargas son al medio ambiente y no a un tanque como sucede generalmente con los

líquidos como el agua y el aceite, los cuales tienen una gran ventaja sobre el aire comprimido, en el aspecto de mover cargas más pesadas, teniendo en cuenta que para comprimir estos en una pequeña fracción, la fuerza que se le debe aplicar es demasiada, situación que no ocurre con el aire comprimido. La máquina que se encarga de convertir el aire atmosférico en aire comprimido recibe el nombre de compresor, existen varias clasificaciones para estos, de las cuales se destacan los de desplazamiento positivo y los compresores dinámicos, el funcionamiento de los primeros mencionados, se centra en la disminución de volumen en la cámara de compresión donde se confina el aire ambiental, y que finalmente se convertirá en aire comprimido al valor de presión deseado, los compresores de desplazamiento positivo más conocidos son los compresores de tornillo, de pistón, de paleta, de lóbulos y las bombas de vacío.

Por otra parte, los compresores dinámicos, basan su funcionamiento en la aspiración del aire ambiental a través de un rodete en el cual las moléculas son aceleradas a grandes velocidades, para luego ser descargadas a través de difusores que se encuentran muy cerca del rodete, esta energía cinética con el movimiento se convierte en presión estática, esta es la que se entrega a la salida de estos compresores rumbo a la red neumática, estos no son muy comunes de encontrar y dentro de su clasificación se destacan los centrífugos, axiales y centrífugos-radiales. *(Marta & José, 2016)*

El aire del medio ambiente es decir el que respiramos, es gratuito, por el contrario, generar aire comprimido es un proceso bastante costoso, que conlleva la adquisición de compresores, secadores, instalación de tuberías, válvulas, reguladores de presión, drenajes, tanques de almacenamiento, entre otros elementos, por lo tanto, es lógico que, al tener un sistema de aire comprimido, se busque que estas redes funcionen lo más eficientemente posible. En la actualidad, no es un secreto que las empresas buscan la manera de minimizar los consumos de diversos tipos de energía, en el caso del aire comprimido, la energía eléctrica y los combustibles usados en los motores de combustión interna en compresores portátiles.

Es de vital importancia darle un tratamiento adecuado a este aire, teniendo en cuenta que tiene un enemigo presente la gran mayoría del tiempo, se está hablando del condensado, el cual trae problemas de oxidación a tuberías, obstrucción en válvulas, daños en el producto final, desgaste prematuro en componentes mecánicos de cilindros. En el caso de la planta Laminación 450 de Acerías Paz Del Rio, no se cuenta con un sistema de

secadores y es por esto que los volúmenes de condensado que se manejan son bastante altos, además de que no se tiene un control adecuado para que este no llegue a la red neumática, lo cual produce serias afectaciones a los elementos que la componen, de igual manera se perciben bastantes fugas que finalmente se están viendo representadas en un consumo adicional de energía eléctrica para compensar el efecto negativo que estas representan. Determinar correctamente las presiones de carga y vacío en los compresores ayudará de igual manera a obtener ahorros energéticos considerables, esto se realiza de acuerdo con el proceso productivo y garantizando las presiones y caudales requeridos hasta el punto más lejano del sistema.

Hoy en día existen controladores maestros que se pueden comunicar con los compresores, y con la ayuda de una instrumentación avanzada, ayudan a tomar las decisiones más acertadas al proceso industrial en el menor tiempo posible, manteniendo la presión requerida por el sistema, el caudal necesario, y equilibrando adecuadamente el consumo energético y el consumo de aire, evitando así al máximo gastos de energía innecesarios. Uno de los controladores más conocidos actualmente a nivel mundial lo maneja la empresa Kaeser Compresores, este se denomina SAM Sigma Air Manager (Zhang et al., 2013).

Estudiando las situaciones mencionadas anteriormente, se busca fortalecer las deficiencias que se puedan encontrar en la red neumática a través de un rediseño de la misma, de acuerdo con esto se presentará una propuesta técnica y económica a los jefes de área involucrados con dicho proceso industrial. Este rediseño va a ser muy importante para fortalecer conocimientos en particular en la materia Mecánica de Fluidos, para actualizar normativas, simbología y procedimientos, que evidentemente no son los mismos que se usaron en el momento en que se instaló inicialmente esta red neumática.

Objetivos

Objetivo general

Rediseñar la red neumática instalada actualmente en la Planta Laminación 450 Acerías Paz del Río, con el fin de presentar propuesta técnica y económica.

Objetivos específicos

- Diagnosticar la cantidad de condensado que se está generando en la red neumática, de acuerdo con la temperatura y humedad relativa a la que se ve expuesta, y los daños que conlleva no tener control sobre estos.
- Diseñar y calcular un sistema de secadores refrigerativos, con el fin de mantener la red neumática con la menor cantidad de condensado posible, y que cumpla con las condiciones de calidad del aire requerido, particularmente en el proceso de laminación.
- Seleccionar un tanque pulmón, que cumpla con las condiciones requeridas para el funcionamiento adecuado de la red neumática bajo las condiciones de consumo de aire que se tiene actualmente.
- Entregar un informe detallado con propuesta técnica y económicamente viable para realizar el rediseño de la red neumática.

1. Capítulo 1: Marco Teórico

1.1 Conceptos básicos del aire comprimido

1.1.1 Propiedades y características del aire.

El aire es un elemento de la naturaleza presente en todos los sitios del planeta, el cual tiende a cambiar sus valores de presión y temperatura de acuerdo a la altitud en la cual se encuentre, manejando temperaturas más bajas y presiones más bajas a una mayor altitud, y temperaturas más altas y presiones más altas en una menor altitud, como lo es por ejemplo al nivel del mar, es por esta situación que a un alpinista que va al monte Everest le cuesta mucho llegar a la cima (mayor altitud) sin una ayuda de oxígeno externa, teniendo en cuenta que a mayor altura se cuenta con menos aire debido a su baja densidad, lo cual se interpreta indicando que en un mismo volumen existe una cantidad menor de moléculas, porque están menos comprimidas por el peso de las que se encuentran inmediatamente en un nivel superior (*Tituaña, 2016*)

De la misma manera que se empiezan a sentir los efectos adversos en los seres humanos al estar en alturas tan elevadas, los compresores, los cuales son las máquinas por tradición más usadas para transformar el aire atmosférico en energía neumática, también empiezan a sentirlos, esto generalmente se traduce en un consumo de potencia adicional y por consiguiente un aumento en el consumo de energía eléctrica o combustible, para mantener la misma capacidad que tendría dicho compresor en condiciones de altitud más bajas, así como también se debe evaluar un sistema de refrigeración diferente teniendo en cuenta que las temperaturas que se van a manejar definitivamente ya no van a ser las mismas, todo esto se puede observar en la Tabla 1-1, en la cual se observa el comportamiento de variables como la presión atmosférica, temperatura y densidad del aire de acuerdo con la altitud, por lo cual no funcionara un compresor igual en Barranquilla que en Bogotá.

Tabla 1-1 Relación entre la altitud, presión atmosférica, temperatura y densidad del aire.

Altitud (m)	Presión (psi)	Temperatura (C)	Densidad (kg/m^3)
0	14,89	15	1,225
100	14,7	14,4	1,213
200	14,53	13,7	1,202
500	14,09	11,8	1,167
1000	13,21	8,5	1,112
2000	11,68	2	1,007
3000	10,30	-4,5	0,909
4000	9,05	-11	0,819
5000	9,61	-17,5	0,736
7500	5,63	-33,8	0,557

Fuente: [https://www.ck12.org/book/ck-12-conceptos-de-ciencias-de-la-tierra-grados-6-8-en-espa%
c3%b1ol/section/7.3](https://www.ck12.org/book/ck-12-conceptos-de-ciencias-de-la-tierra-grados-6-8-en-espa%c3%b1ol/section/7.3)

El aire tiende a contener un grado de contaminación, por partículas sólidas, dependiendo en muchos de los casos de las zonas en las cuales este se encuentra, la altitud, y la presencia de materiales tales como lo son el polvo, cristales y arena, entre otros componentes. De igual manera este es invisible, se nota, se oye, pero no se ve, es de menor peso que el agua, no tiene volumen definido, no existe en el vacío. (Wark & Warner, 1990)

1.1.2 Composición química del aire

El aire es una mezcla incolora, inodora e insípida, de gases, lo cual hace que esta no sea completamente pura, se compone principalmente de oxígeno (21%) y nitrógeno (78%), el otro (1%) corresponde a otro tipo de gases, esta mezcla mantiene su contenido constante desde el nivel del mar hasta una altitud de 25 km. Reacciona con la temperatura condensándose en hielo a bajas temperaturas, está compuesto por varios elementos entre ellos el oxígeno (O_2) y el dióxido de carbono (CO_2), elementos que son básicos para la vida, en la Figura 1-1 se puede observar por detalladamente la división correspondiente de estos compuestos en el aire, junto con el respectivo porcentaje, en el cual predomina sin duda alguna el alto contenido de nitrógeno, existen procesos en los cuales este

componente es separado, con el fin de ser usado para muchas aplicaciones industriales(Leonardo, 1858).

Figura 1-1. Composición química del aire.



Fuente : <https://www.areaciencias.com/meteorologia/componentes-del-aire>

1.1.3 Aire comprimido definición y usos

El aire comprimido es aire atmosférico el cual ha sido disminuido por compresión para ser usado al expandirse, por lo cual es energía almacenada que se convierte en trabajo cuando es liberada, una de las formas más simples de generación de aire comprimido es con una bomba de aire, en la cual el movimiento mecánico comprime el aire produciendo así calor. Esa masa de aire se encuentra evidentemente a un valor de presión superior al valor de presión atmosférica. Este puede ser utilizado para llenar un neumático de bicicleta, por ejemplo, mientras el calor es liberado hacia el medio alrededor del neumático. Todos los componentes que se encuentran alrededor del aire, tales como lo son contaminantes, partículas de polvo y humedad, también permanecen presentes en el aire comprimido, en la misma cantidad, pero con una concentración mucho más grande, ya que se encuentran alojados en un lugar más pequeño.

El aire comprimido es ahora una herramienta esencial de la industria. Habilita la energía para ser transportada a distancia y convertirse en trabajo útil. Algunas de las fuentes, de

aire comprimido, más conocidas y observadas, son los compresores portátiles que se encuentran en las obras viales, en minería, obras de construcción y talleres, proporcionando la energía necesaria para rompedoras, pistolas de aspersion, y otras numerosas herramientas neumáticas. Sin embargo, el aire comprimido se utiliza casi en todas las áreas de la industria manufacturera, donde suele ser generado por una estación de aire comprimido con varios compresores ubicados en una sala separada, como ejemplos de usos a nivel industrial del aire comprimido se encuentran los siguientes procesos(Salvador, 1988)

- Construcción
- Minería
- Hospitales
- Fabricación de productos químicos
- Suministro de energía eléctrica
- Instalaciones medicas
- Comercialización y reparación
- Fabricas para trabajar madera
- Moldeo de plástico
- Fabricación y procesamiento de alimentos
- Fabricación y procesamiento del papel
- Industria textil
- Ingeniera ambiental
- Metalurgia industrial

1.1.4 Presión

Se define como presión a la fuerza que se ejerce sobre determinada área, en el caso de la atmosfera, la fuerza que ejerce el aire sobre la superficie de la tierra se denomina presión atmosférica, existen varias unidades de presión de las cuales las que con mayor frecuencia se usan son los psi (pounds per square inches) que se refiere a libras por pulgada cuadrada aplicada, Bar, que se expresa como kilogramos por cada centímetro cuadrado, Pascal, que se refiere a un valor de fuerza expresado en Newton aplicado por metro cuadrado. De acuerdo con el proceso en el cual se va a realizar la medición de presión, se pueden encontrar valores muy pequeños de presión como lo es por ejemplo en sistemas de

inyección de combustible para calderas, en los cuales se manejan mBar de presión, así como también valores muy altos de hasta 80 Bar de presión para sistemas de movimientos de compuertas y cilindros industriales. En la Figura 1-2 se muestran los valores de equivalencia y factores de multiplicación para convertir varias unidades de presión.

Figura 1-2 Valores equivalencias de presión.

TABLAS DE EQUIVALENCIAS DE PRESIÓN								
Unidad	Descripción	bar	Pascal = pa	Atmosfera = atm	kgf/cm2	Psi= lbf/pulg2	1mmHg	1 Pulg.H2O
1 Bar	Bar	1	1,0 E+5	0,986923	1,01972	14,5038	750,054	401,463
1 Pascal = pa	Newton/metro cuadrado	1,0 E-5 100.000 pa= 1 bar	1	9,8692 E-6	1,0197 E-5	1,4504 E-4	7,5006 E-3	4,0146 E-3
1 PSI = 1lbf/pulg 2	Libra/pulg cuadrada	6,8948 E-2	6.894,76	6,8046 E-2	7,03 E-2	1	51,7151	27,6799
1 Atmosfera	Atmosfera	1,01325	1,01325 E+5	1	1,03323	14.696	760	406,782
1 KGf/CM2	Kilogramo fuerza/cm2	0,980665	9,80665 E+4	0,967841	1	14,2233	735,561	393,701
1mmHG	Milímetros de Mercurio	1,3332 E-3	133,322	1,3158 E-3	1,3595 E-3	1,9337 E-2	1	0,535239
1 Pulg.H2O	Pulgadas de agua	2,4909 E-3	249,089	2,4583 E-3	2,54 E-3	3,6127 E-2	1,86833	1

Fuente:

https://portalelectromecanico.com/CURSOS/MaquinasMecanicas/unidades_de_caudal_y_presion.html

Los instrumentos usados comúnmente para la medición de presión en recipientes cerrados se conocen como manómetros, en la Figura 1-3 se muestran algunos de los más usados a nivel industrial, de acuerdo al fluido que se va a medir, puede contener o no, internamente glicerina, para amortiguar el impacto que recibe la aguja del manómetro al realizar cambios de medición(*Introducción a la Mecánica de Fluidos, 2015.*)

Figura 1-3 Manómetros.



Fuente:

http://www.portalelectromecanico.org/CURSOS/BombasHidraulicas/unidades_de_presin.html

1.2 Leyes de los gases

1.2.1 Ley de Boyle

Establece la relación entre la presión y el volumen de un gas cuando su temperatura es constante, así como también indica que la presión de un gas en un recipiente cerrado es inversamente proporcional al volumen del recipiente, cuando la temperatura es constante (Aguilar, 2014). La forma de expresar la ley de Boyle se encuentra en la Ecuación 1.2.

$$P1 * V1 = P2 * V2 \quad (1.2)$$

1.2.2 Ley de Charles

La ley de Charles relaciona la temperatura y el volumen de un gas cuando el valor de presión es constante, por lo tanto, cuando se aumenta la temperatura el volumen del gas también aumenta, y que al enfriar el gas el volumen necesariamente disminuirá. Cuando se aumenta la temperatura del gas las moléculas tienden a moverse con mayor rapidez, es por este motivo que se demoran mucho menos tiempo en llegar a los extremos del recipiente, por lo cual la frecuencia con las que estas se estrellaran contra las paredes del recipiente será mayor, por este motivo se producirá un aumento momentáneo del valor de la presión en el interior del recipiente aumentando así su volumen. (Wentworth & Ladner, 1975).

$$\frac{V1}{T1} = \frac{V2}{T2} \quad (1.3)$$

1.2.3 Ley de Gay-Lussac

Se indica que el valor de presión que se va a tener en el recipiente es directamente proporcional al valor de temperatura que se le inyecte. Siendo así que al aumentar la temperatura aumentara necesariamente el valor de presión, esto sucede ya que al calentar las moléculas del gas estas se mueven con mayor rapidez, aumentando el valor de presión ya que en el recipiente las paredes mantienen una forma física constante al igual que el

volumen del recipiente también se conserva, entonces en cualquier momento de este proceso, el cociente entre la presión y la temperatura siempre tendría el mismo valor. La expresión matemática que indica esta situación se menciona en la Ecuación 1.4.

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad (1.4)$$

1.2.4 Ecuación general de los gases ideales

La ley de Boyle, y las dos leyes de Gay-Lussac (con presión y volumen constante) fueron unidas, enunciando de esta manera la ecuación general de los gases, la cual indica el valor entre la presión, volumen y temperatura de una determinada cantidad de gas (Agustin, 2005). En esta ecuación se globalizan las 3 leyes enunciadas anteriormente en una sola, la Ecuación 1.5.

$$P * V = n * R * T \quad (1.5)$$

Dónde:

P=Presión absoluta

V=Volumen

n=Número de moles de gas

R=Constante universal de los gases ideales (0,082 litro*atm)/(°K*mol)

T=Temperatura absoluta

1.3 Tratamiento del aire comprimido

1.3.1 Impurezas en el aire

Las impurezas en el aire del ambiente no son apreciables generalmente a simple vista. A pesar de ello, estas impurezas pueden tener un efecto negativo en la confiabilidad del funcionamiento del sistema de aire comprimido y de los usuarios del aire. Adicional a la contaminación también se encuentran partículas de polvo y hollín, aerosoles de aceite, hidrocarburos, dióxido de azufre, cobre, plomo, acero, entre otros elementos y en diversas proporciones. En las mediciones de calidad del aire, usualmente solo se capturan los hidrocarburos gaseosos, aunque los aerosoles (micro partículas y gotas) que son raramente medidos, se estiman como el doble del valor medido de hidrocarburos gaseosos (Solé, 2012)


El SO₂ (Dióxido de azufre), se genera principalmente en la combustión de combustibles fósiles como carbón o productos derivados del petróleo, que contienen hasta 4% de azufre, este contribuye a la acidificación del condensado en particular, por lo tanto, la tubería de aire comprimido en zonas húmedas debe ser diseñada en un material resistente a la corrosión. La concentración de material particulado se define como la proporción de material en un compuesto gaseoso. Esta concentración puede ser especificada como la concentración en masa (g/m^3) o en volumen (cm^3/m^3). Para concentración en volumen, se usa la unidad de ppm, partes por millón. Por lo tanto, 1ppm= 0,0001% o 1%= 10000 ppm, respectivamente. La ingeniería de aire comprimido especifica la pureza en número de partículas ($particulas/m^3$).

Dependiendo del proceso industrial, en un m^3 de aire atmosférico se puede encontrar hasta 140 millones de partículas de suciedad (Cassani, 2002). El 80% de estas partículas una granulometría inferior a 2 micrones y son extremadamente pequeñas para ser capturadas por el filtro de aire que se encuentra en la entrada del compresor, debido a su diminuto tamaño, estas pasan directamente a la unidad compresora, generando así perturbaciones en el sistema de lubricación y en algunas ocasiones en el producto final.

1.3.2 Calidad del aire

El comité europeo de fabricantes de equipos de aire comprimido (PNEUROP), ha desarrollado una norma ISO para la clasificación del contenido de partículas sólidas, agua y aceite en el aire comprimido. Como se puede observar en la Figura 1-5, allí se evalúan varios factores fundamentales como lo son por ejemplo el contenido de partículas sólidas, contenido de agua, contenido de aceite y los contenidos máximos admitidos para cada caso en especial. La norma ISO-8573 recoge un conjunto de normas que están enfocadas en regularizar los estándares de calidad que se rigen en el aire comprimido, sin importar la ubicación del sistema con el que se realicen las actividades de medición de dicho aire. Para la designación de la clase de pureza del aire comprimido en el punto de medición en específico, se deberá incluir una información relevante en el orden que se indica en la Figura 1-4, todo esto separado por dos puntos. ISO 8573-1 Clase A:B:C. (Copco, 2020)

Figura 1-4 Clasificación de calidad del aire comprimido

ISO 8573-1 : 2010 	Partículas sólidas				Agua		Aceite	
	CLASE	Máximo número de partículas por m ³			Concentración mg/m ³	Punto de rocío a presión	Condensado líquido g/m ³	Concentración total (líquido, aerosol y vapor)
		0,1 - 0,5 micras	0,5 - 1 micras	1 - 5 micras				mg/m ³
0	Sujeto al acuerdo específico entre usuario y proveedor pero en valores más estrictos que la Clase 1							
1	≤ 20.000	≤ 400	≤ 10	-	≤ -70 °C	-	0,01	
2	≤ 400.000	≤ 6000	≤ 100	-	≤ -40 °C	-	0,1	
3	-	≤ 90.000	≤ 1.000	-	≤ -20 °C	-	1	
4	-	-	≤ 10.000	-	≤ +3 °C	-	5	
5	-	-	≤ 100.000	-	≤ +7 °C	-	-	
6	-	-	-	≤ 5	≤ +10 °C	-	-	
7	-	-	-	5 - 10	-	≤ 0,5	-	
8	-	-	-	-	-	0,5 - 5	-	
9	-	-	-	-	-	5 - 10	-	
X	-	-	-	> 10	-	> 10	> 10	

Fuente: <https://www.mundocompresor.com/diccionario-tecnico/iso-8573-1#:~:text=Se%20refiere%20a%20la%20calidad,entre%201%20y%205%20micras.>

Donde:

“A” hace referencia al valor de clase definido para partículas sólidas

“B” hace referencia al valor de clase definido para el agua

“C” hace referencia al valor de clase definido para el residuo de aceite

En la Figura 1-5, se observan los grados de calidad que son requeridos para herramientas que usan energía neumática como fuente de alimentación.

Figura 1-5 Grados de calidad para herramientas accionadas con aire comprimido.

Áreas de aplicación	Grado de calidad		
	Contenido de partículas sólidas	Contenido de agua	Contenido de aceite
Agitación por aire	3	6	3
Motores neumáticos, grandes	4	5-2	5
Motores neumáticos, miniaturas	3	4-2	3
Turbinas eólicas	2	3	3
Transporte de granulados	3	5	3
Transporte de polvo	2	4	2
Fluidizadores	2	3-2	2
Maquinaria de fundición	4	5	5
Contacto con alimentos	2	4	1
Herramientas neumáticas, industriales	4	6-5	4
Maquinaria de minería	4	6	5
Empaquetadoras	4	4	3
Maquinaria textil	4	4	3
Cilindros neumáticos	3	4	5
Manipulación de películas	1	2	1
Reguladores de precisión	3	3	3
Instrumentos de proceso	2	3	3
Chorro de arena	-	4	3
Pintura con pistola	3	4-3	3
Máquinas de soldar	4	5	5
Aire de taller general	5	4	5

Fuente: <https://www.puska.com/es/manual-guia-aire-comprimido/clasificacion-calidad-aire-iso85731>

Por ejemplo, cuando se requiere una calidad de aire clase 8573-1, clase 1.2.1, se están solicitando los siguientes requerimientos.

El primer número “1”, indica la cantidad máxima de partículas en estado sólido que se pueden tener, en este caso se solicita que sea inferior a 20000 partículas por cada m^3

entre 0,1 y 0,5 micras, se requieren menos de 400 partículas por m^3 con valores entre 0,5 y 1 micra, y una cantidad inferior a 10 partículas por m^3 con valores entre 1 y 5 micras.

El segundo número "2". Hace referencia al punto de rocío que se requiere, en este caso es de -40°C . El tercer número "1". Hace referencia al máximo residual de aceite permitido, en este caso sería $0,01 \text{ mg}/m^3$.

1.3.3 Humedad del aire

La humedad relativa indica la saturación del aire con vapor de agua de acuerdo a una temperatura específica. La humedad absoluta describe la cantidad real de vapor de agua contenida en $1m^3$ de aire, normalmente se habla a menudo de la humedad en el aire, pero en realidad significa es la humedad relativa, lo que representa la relación entre la humedad absoluta a la humedad máxima.

Tabla 1-2: Contenido máximo de vapor de agua mg/m^3

Temperatura en $^{\circ}\text{C}$	-20	-10	0	5	10	15	20	30	50
Contenido máximo de vapor de agua g/m^3	0.9	2.2	4.9	6.8	9.4	12.7	17.1	30.1	82.3

Fuente: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Kinetic/relhum.html>

1.3.4 Punto de rocío

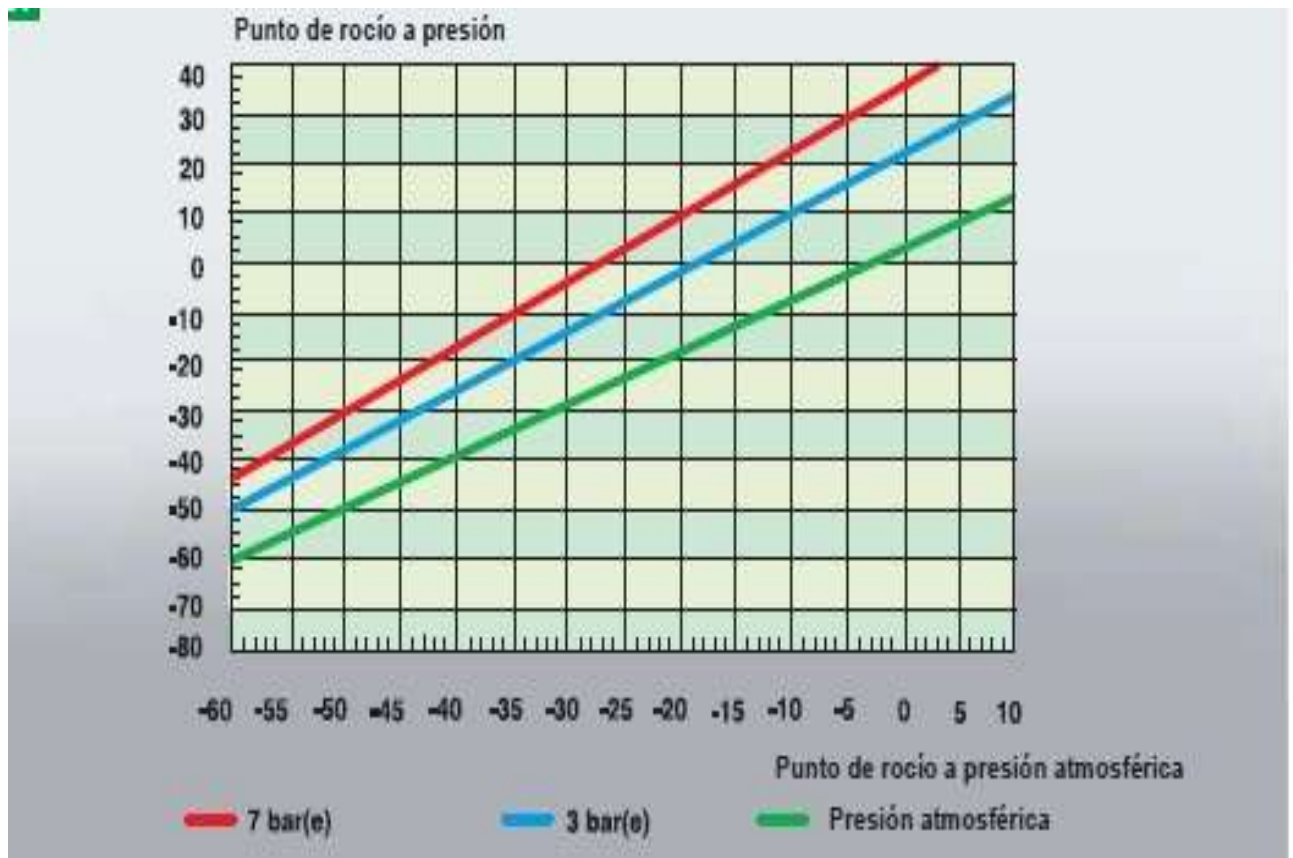
El punto de rocío del aire atmosférico a 14,7 psi se llama el punto de rocío atmosférico. Se describe el estado saturado a el cual el aire se carga con humedad máxima a una cierta temperatura. Si el aire se enfría por debajo de esta temperatura se formará niebla y el exceso de humedad en forma de condensado queda en el aire. El punto de rocío a presión, indica a cierta presión dada, la temperatura en la cual se empezarán a formar condensados en la tubería, es importante porque al tener valores de punto de rocío mucho más bajos, de hasta -70°C , se podrá tener un aire extra seco dependiendo del proceso en el cual vaya a ser usado, por ejemplo, para el tema de la industria de los alimentos, industria química, industria cervecera, este aire debe ser lo más seco posible y libre de contaminantes y aceite.

1.3.5 Secado del aire comprimido

Cuando el aire atmosférico es comprimido, al aumentar la temperatura final de compresión también se tiende a aumentar la concentración de agua. Directamente en el compresor se cuenta con intercambiadores de calor, apoyados con un ventilador, el cual absorbe aire fresco del ambiente haciéndolo pasar por el flujo de aire caliente, a la salida del intercambiador de calor se encuentra con una temperatura del aire comprimido con un valor entre 6°C y 10°C por encima del valor de la temperatura ambiente, aunque ya se ha bajado bastante el valor de la temperatura, este sigue contando con una gran cantidad de vapor de agua, es por este motivo que se debe instalar un sistema de filtros de línea y secadores que apoyen la salida de este líquido hacia un desagüe, en el cual se le dé el tratamiento adecuado, evitando así que este se vaya a la red neumática.

En los procesos donde se requiere tener aire extremadamente seco, se debe llegar a puntos de rocío bastante bajos. Para seleccionar correctamente el secador necesario para cada aplicación, este va a depender directamente del valor del punto de rocío a presión, como guía para esta selección se tiene la Figura 1-6. Viendo este tema desde el punto de vista económico, cuando se requiere un aire extremadamente seco como por ejemplo cuando este entra en contacto con productos químicos o alimentos, el valor de punto de rocío a presión debe ser el más bajo posible (-70°C), esto implica un costo de inversión bastante considerable, tanto para la adquisición como para el mantenimiento de los mismos, dentro de los equipos que más se destacan para llevar a cabo el secado del aire comprimido están los secadores refrigerativos, secadores regenerativos, secadores de absorción y secadores de adsorción.

Figura 1-6 Relación entre punto de rocío atmosférico y punto de rocío a presión



Fuente: <https://www.mundocompresor.com/articulos-tecnicos/punto-de-rocio>

1.3.6 Contaminantes en el condensado

Algo que va a ser inevitable en cualquier sistema de generación de aire comprimido va a ser que aparezca condensado durante este proceso, lo más importante es mantener esos volúmenes generados en las cantidades mínimas posibles con el fin de cuidar al máximo la red neumática, y los elementos que la integran, es por ello que a continuación se especifica en la Tabla 1-3 en la cual aparecen los contaminantes que predominan en el condensado, basados en cifras de Ph y valores expresados en mg/ml, estos van ligados con la calidad del aire comprimido que se requiere en el proceso, ya que los valores no pueden ser los mismos para un taller de mecánica que para un proceso alimenticio, de farmacéutica o cervecero (*La importancia de auditar la calidad del aire comprimido según la ISO 8573-1, 2020*)

Tabla 1-3: Contaminantes presentes en el condensado del aire comprimido

Ejemplo	CH mg/l	Valor pH	Cu mg/l	Zn mg/l	Cl mg/l	Pb mg/l	Fe mg/l	Na mg/l
Funcionamiento en seco	4,2	4,7	2,5	0,75	1,3	0,2	0,2	1,6
Líquido refrigerado	7,1	6,6	1,1	1	1	0,2	0,2	0,12
Funcionamiento en seco	7	5,5	1,7	0,22	2,4	0,2	0,2	0,45
Líquido refrigerado	0,1	7,1	0,11	0,04	1	0,2	0,2	0,64
Funcionamiento en seco	0,01	4,2	4,2	2	6,4	2,1	4	1,5
Líquido refrigerado	5,3	6,2	0,11	2,2	1	0,2	0,2	0,76

Fuente: Manual de aire comprimido Kaeser Compresores 2018

Hc= Contenido de hidrocarburo

pH= Valor pH

En la Tabla 1.3, se muestran los resultados del análisis de las muestras de condensado de los diferentes modelos de compresores. La comparación indica que el condensado no solo depende del tipo de compresor, sino también en la calidad del aire de entrada.

Donde:

HC= Hidrocarburos

pH= Valor de pH (7= neutro, menor que 7= ácidos, mayor a 7= alcalinos)

Ph= Fosforo

Cu= Cobre

Zn= Zinc

Fe= Hierro

Pb= Plomo

Cl= Cloro

Na= Sodio

1.4 Diseño de estaciones de aire comprimido

1.4.1 Distribución de la red neumática

Un sistema de distribución de aire comprimido inadecuado tenderá a causar un efecto negativo en el consumo de energía eléctrica, un bajo rendimiento en las herramientas neumáticas, desgastes prematuros en componentes mecánicos y una baja productividad.

Generalmente es muy aplicable en especial a las tuberías principales y al consumo de aire comprimido que se pueda tener en un futuro. Así que es mejor realizar instalaciones sobredimensionadas en tuberías y accesorios como válvulas, uniones y filtros, en el momento de hacer el arranque de la estación, que tener más adelante que rediseñar todo el sistema y tener que instalar uno nuevo, ocasionando de esta manera gastos innecesarios.

Trazar adecuadamente el direccionamiento de la red neumática es crucial, por ahorrar en tuberías y accesorios se compran los más económicos y se cree que aumentando el valor de presión del compresor, con el fin de minimizar las caídas de presión, la red trabajara adecuadamente, este es un gravísimo error, teniendo en cuenta que al manejar un valor de presión mayor en el compresor, este consumirá mucha más energía eléctrica, siendo contraproducente el efecto y generándose un derroche de dinero, todo por no haber realizado una buena inversión en la selección adecuada de los componentes de la red neumática.

Es importante tener presente que la máxima caída de presión admisible entre la salida del compresor y el punto más lejano de la red no debe exceder los 1,47 psi de presión, independientemente de la caída de presión generada por tuberías, acoplamientos, accesorios, etc.












1.4.2 Presión de trabajo del sistema

Los equipos neumáticos de una instalación determinan la presión de trabajo necesaria, generalmente la gran mayoría de herramientas trabajan con presiones entre 88,2 psi y 102,9 psi , esta generalmente se regula para cada una de ellas luego de pasar por las unidades de mantenimiento, es importante verificar por medio de los manómetros que vienen incorporados en estos equipos, que se cumpla con lo establecido para cada una de ellas, con una baja presión no se lograra la máxima eficiencia de la herramienta, así como también una alta presión ocasionara daños prematuros en acoples rápidos, mangueras y conexiones, llegando a ser peligroso, ya que puede llegar a liberarse esta presión de forma inesperada ocasionando lesiones.

Como ejemplo de un bajo valor de presión, se puede indicar un taladro que trabaja habitualmente con 88,2 psi de presión, si solo recibe 73,5 psi trabajará con una eficiencia del 75%, lo cual impactará directamente en la producción ya que se tardará más tiempo de lo normal llevar a cabo ciertas actividades. Si existen modificaciones considerables en los valores de presión es importante evaluar, respecto al tema económico, cual es la alternativa más viable teniendo en cuenta que dependiendo de la situación sale más costoso invertir en reguladores de presión, unidades de mantenimiento y accesorios, que en adquirir un compresor dedicado únicamente para este tipo de aplicaciones especiales.

Para evitar que la red neumática entre en conflicto por caídas de presión no contempladas, se indica el procedimiento adecuado para seleccionar el compresor, en la Figura 1-7 se indican valores de algunas de las caídas de presión evidenciada en componentes de red neumática, siempre es importante tener en cuenta que se debe estimar un porcentaje de fugas del 10%, y un aumento del 30% para ampliaciones futuras del sistema, su nivel de utilización es crucial y depende del tipo de compresor a instalar, por ejemplo para compresores de tornillo se contempla una utilización del 70%, la cantidad de máquinas que van a estar trabajando todo el tiempo y las que lo hacen eventualmente.

Figura 1-7: Pérdida de presión equivalente en metros para accesorios

Longitud equivalente en metros											
Componente	Diametro interior de la tubería en mm (d)										
	25	40	50	80	100	125	200	250	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: Ingeniería Hidráulica en México, Vol. X, Núm. 2, pags 53-58, mayo-agosto 1995

1.4.3 Tanque de almacenamiento de aire comprimido

Tener un deposito o tanque de almacenamiento tiene grandes beneficios tanto para la red neumática, como para el proceso industrial, el ahorro energético y el funcionamiento del compresor, ya que gracias a estos se proporciona la capacidad de almacenamiento necesaria para evitar que los ciclos de operación de carga y vacío de los compresores sea demasiado corto, esto no es bueno, teniendo en cuenta que la temperatura final de compresión del equipo se empieza a ver afectada, aumentando así su temperatura y exponiéndolo a que se detenga. A diferencia de que teniendo una capacidad de almacenamiento externa como lo es el deposito, se conserva un enfriamiento continuo en el compresor.

Es de gran ayuda este elemento en la red neumática para eliminar en gran medida el flujo pulsante que aparece de acuerdo con el consumo de aire que se tiene en el proceso. Independientemente del tipo de compresor que se tenga, lo ideal es tener un almacenamiento de 10 galones de aire (1,33 ft³/min) por cada ft³/min entregado por el compresor, lo mínimo con lo que se debe contar para mantener un buen nivel de eficiencia en los compresores es de tener por lo menos 3 galones (0,40 ft³/min) por cada ft³/min entregado por el compresor, aunque lo más común es encontrar en las instalaciones neumáticas tradicionales valores de almacenamiento menor a 1 galón(0.13 ft³/min) por cada ft³/min entregado por el compresor.

Un sistema de tanque de almacenamiento siempre se debe de conservar lo más limpio posible, es por este motivo que debe de ser instalado justo después de los filtros de línea y secadores, cuando se instala el tanque pulmón justo a la salida del compresor, este se conoce como “tanque húmedo”, es allí donde se puede precipitar una parte considerable de la humedad presente en el aire comprimido, este debe contar con un sistema eficiente de drenaje con el fin de que se expulse adecuadamente al sitio designado. Comercialmente se pueden encontrar tanque de almacenamiento de aire comprimido con volúmenes desde 90 litros hasta 10.000 litros. La Ecuación 1.6, indica como seleccionar el tamaño del depósito adecuadamente.

$$V = \frac{0.25 * Q_c * p_1 * T_0}{f_{max} * (p_u - p_L) * T_1} \quad (1.6)$$

Donde:

V= Capacidad del tanque de almacenamiento de aire(litros)

Q_c =Caudal entregado por compresor(litros/segundo)

p_1 =Presión atmosférica del sitio de instalación (bar)

T_0 =Temperatura aire comprimido en el depósito (K)

T_1 =Temperatura máxima de entrada del compresor (K)

$p_u - p_L$ =Diferencia de presión entre carga y descarga (Bar)

f_{max} = Frecuencia máxima de carga (Ciclos)

2. Capítulo 2: Características red neumática, calidad del aire y formación de condensado

Esta red neumática cuenta con 3 compresores de la marca Kaeser, cada uno de ellos con una potencia de 250 hp, y un caudal de 1293 ft³/min, a una presión máxima de trabajo establecida en el compresor de 125 psi, la presión máxima de trabajo en el sistema es de 120 psi y la mínima de 90 psi, la salida de los compresores se maneja con tubería de 3 pulgadas de diámetro, cedula 40, cuyo material es acero galvanizado, se cuenta con 2 depósitos de aire comprimido cada uno de ellos de 4000 litros, y en la parte inferior de estos, unas válvulas de bola para la extracción de líquido condensado, saliendo de estos depósitos se cuenta con una tubería de 6 pulgadas de diámetro, cedula 40, la cual conecta con reducciones, válvulas, reguladores y demás accesorios, con el fin de que a los consumidores finales llegue el valor de presión necesario para el funcionamiento adecuado de máquinas y herramientas, las fugas que se perciben en mangueras, tuberías y accesorios son considerables y se identifican fácilmente al hacer un recorrido caminando por las instalaciones de la planta.

2.1 Compresores.

2.1.1 Características compresores de tornillo Kaeser ESD250.

En la planta Laminación 450 se cuenta con 3 compresores de tornillo de la marca Kaeser, cuyas características se indican en la Tabla 2-1.

Tabla 2-1 Características compresores Kaeser ESD250

Máxima presión de salida aire comprimido	125 psi
Máximo Caudal entregado en condiciones normales	1293 ft^3/min
Presión de activación válvula de seguridad	154,35 psi
Peso	4850 Kg
Nivel de presión de sonido	76 dB
Temperatura ambiental mínima de trabajo	3°C
Temperatura ambiental máxima de trabajo	45°C
Temperatura mínima entrada de aire	3°C
Temperatura máxima entrada de aire	45°C
Área ducto de entrada de aire	45,20 ft^2
Cantidad de aceite de refrigeración	90,84 litros
Aceite de refrigeración usado	Kaeser Sintético S-460
Controlador	Sigma control
Distancia entre equipos	3,936 ft^3

Fuente: Placa de características motor eléctrico compresor

2.1.2 Motor principal unidad compresora

Los motores eléctricos con los que trabaja la empresa Kaeser Compresores permiten trabajar con frecuencias de red de 50Hz y 60Hz, todo esto para que pueda ser instalado en cualquier lugar del planeta, teniendo como cambio relevante al modificar la frecuencia de red el valor de la velocidad que se tendrá en el motor. Estos son trifásicos, tienen un sistema de arranque estrella triangulo con el fin de

reducir el consumo del pico de arranque de 7 a 3,5 veces el consumo nominal en este tipo de arranque, sus características se indican en la Tabla 2-2.

Tabla 2-2 Características de motor eléctrico principal a 60Hz

Voltaje de alimentación	460 Voltios Corriente Alterna
Potencia	187 KW (250hp)
Factor de potencia	0,86
Factor de servicio	1,25
FLA (Full Load Amp) Amperaje a plena carga	285 Amperios
SFA (Service Factor Amp) Amperaje máximo de factor de servicio	360 Amperios
Velocidad angular	1792 Rpm
Tamaño del motor	315 L
Protección Internacional IP	IP55
Eficiencia motor	95,8 %
Temperatura ambiente máxima	45°C
Peso del motor	1350 Kg
Clase de aislamiento bobinas (Insulation Class)	F
Código de motor eléctrico para arranque	CODE M
Rodamiento AS-Lager/ D-end Lado Acople	6319C3
Rodamiento BS-Lager/ N-end Lado Ventaviola	6319C3
Grasa para rodamientos	ESSO UNIREX N3
Frecuencia de lubricación rodamientos	2000 horas
Cantidad de grasa a aplicar	30 gramos

Fuente: Placa de características motor eléctrico principal

2.1.3 Motores de ventiladores intercambiadores de calor

Cada compresor cuenta con 2 motores con las mismas características mencionadas en la Tabla 2-3, estos cumplen la función de accionar un ventilador para cada intercambiador de calor, en este caso uno para el aire y otro para el aceite.

Tabla 2-3 Características de motores eléctricos intercambiadores de calor a 60Hz.

Voltaje de alimentación	440 Voltios Corriente Alterna
Potencia	2,5 KW (3,3 hp)
Factor de potencia	0,78
Factor de servicio	1,15
FLA (Full Load Amp) Amperaje a plena carga	4,70 Amperios
SFA (Service Factor Amp) Amperaje máximo de factor de servicio	5,4 Amperios
Velocidad angular	1180 Rpm
Tamaño del motor	132S
Protección Internacional IP	IP55
Eficiencia motor	89,5 %
Temperatura ambiente máxima	70°C
Peso del motor	57 Kg
Clase de aislamiento bobinas (Insulation Class)	F
Código de motor eléctrico para arranque	CODE M
Rodamiento AS-Lager/ D-end Lado Acople	6208-2ZC3
Rodamiento BS-Lager/ N-end Lado Ventaviola	6208-2ZC3
Grasa para rodamientos	ESSO UNIREX N3
Frecuencia de lubricación rodamientos	2000 horas
Cantidad de grasa a aplicar	10 gramos

Fuente: Placa de características motor eléctrico ventilador

2.1.4 Intercambiador de calor de aire

Es un intercambiador de calor de paletas y tubos el cual tiene la función de reducir la temperatura proveniente del tanque separador, esa temperatura es denominada como temperatura final de compresión y es la misma que sale de la unidad compresora, lo que se busca es que la temperatura que vaya a la salida del compresor sea lo más baja posible, teniendo en cuenta que a mayor temperatura, mayor capacidad se tiene en el aire para almacenar vapor de agua, por esta razón, la temperatura con la que se cuenta a la salida de este intercambiador de calor esta entre 6°C y 10°C por encima de la temperatura ambiente. Las características de este intercambiador de calor se indica en la Tabla 2-4.

Tabla 2-4: Características intercambiador calor de aire

Fabricante	AKG Hersteller
Presión de servicio	235,2 psi
Presión máxima permisible	338,1
Temperatura mínima permisible	-10°C
Temperatura máxima permisible	120°C
Volumen	27 litros
Tipo de construcción	Barras y placas

Fuente: Placa de identificación intercambiador de calor

2.1.5 Intercambiador de calor de aceite

En este intercambiador de calor se busca que pase el aceite refrigerante cuando la temperatura supera los 75°C, es importante resaltar que la temperatura que va a ingresar ha sido previamente sensada a través de una válvula denominada termostática, la cual funciona mecánicamente, a su vez controla el paso del refrigerante de la siguiente manera, si la temperatura llegase a ser inferior a 75°C, lo que sucede es que el fluido pasa por el filtro de aceite y regresa nuevamente a la unidad compresora continuando así con el respectivo ciclo, es muy importante tener en cuenta que si supera este valor la válvula se abre, permitiendo el flujo hacia el intercambiador para que regrese al filtro de aceite y nuevamente a la unidad compresora.

La variación de la temperatura depende de factores como lo son por ejemplo la cantidad de aceite refrigerante con la que se cuente en el equipo, ya que al ser bajo el nivel aumenta la temperatura final de compresión, obligando al aceite a circular a través del intercambiador de calor, que el filtro de aceite no se encuentre saturado, que el intercambiador de calor no presente excesiva suciedad en la zona de admisión de aire fresco, de tal manera que no está suciedad forme una barrera y la transferencia de calor no sea efectiva, que el aceite refrigerante no sea el original o el indicado, las características con las que cuenta el intercambiador de calor de aceite se indican en la Tabla 2-5.

Tabla 2-5: Características intercambiador de calor de aceite

Fabricante	AKG Hersteller
Presión de servicio	235,2 psi
Presión máxima permisible	338,1
Temperatura mínima permisible	-10°C
Temperatura máxima permisible	120°C
Volumen	35 litros
Tipo de construcción	Barras y placas

Fuente: Placa de identificación intercambiador de calor

2.1.6 Ciclos de carga y vacío

Los compresores tienen un modo de trabajo el cual les permite de acuerdo con la necesidad de aire, manejar un sistema de control con el fin de poner a trabajar el equipo en carga y vacío. Cuando se dice que está en carga el compresor se encuentra entregando aire a la red neumática en todo momento, en este caso la válvula de admisión del equipo permanece abierta permitiendo el ingreso del aire atmosférico a la unidad compresora y posteriormente la salida de este a los consumidores, se va a mantener comprimiendo este aire hasta cuando se llegue al valor de presión programado, cuando esto ocurre y dependiendo del modelo del equipo, se procederá a enviar una señal que accione la válvula de admisión con el fin de que esta se cierre, el motor continuara girando, pero ya no comprimirá más aire atmosférico, esta señal por ejemplo en los compresores de pistón antiguos era enviada a través de un contacto de un presostato, en los compresores de tornillo modernos el controlador a través de señales enviadas por transductores de presión.

Cuando las maquinas o consumidores empiezan a usar el aire presente en la red de aire comprimido, la presión empezara a caer, es allí cuando se debe de tener muy presente el valor máximo permisible que se puede tener en dicha red neumática, todo esto teniendo en cuenta que, si es muy cerca la diferencia entre el ciclo de carga y descarga, el equipo ciclara continuamente, lo cual puede repercutir drásticamente en el desgaste de válvulas. Por otra parte, un valor muy alto en la diferencia de presión entre ciclos de carga y descarga podría ocasionar que la presión no se recupere tan fácilmente y que los consumidores no trabajen con la presión adecuada todo el tiempo.

Cuando ese valor de presión establecido cae al valor especificado, se vuelve a enviar la señal, en esta ocasión con el objetivo de que se abra la válvula de admisión y permita el ingreso del aire atmosférico, llegue nuevamente al valor de presión establecido, luego entrara nuevamente en vacío y así se repetirá el ciclo continuamente, si transcurrida cierta cantidad de tiempo no se llega al valor mínimo de presión establecido, bien sea porque no existe consumo de aire o porque la presión se mantiene, el compresor se apagará, de tal manera que cuando llegue a ese valor mínimo, este nuevamente se encienda para ajustarse a los valores programados para el equipo.

2.2 Calidad del aire comprimido Laminación 450

La calidad de aire requerida para los procesos de Laminación en todas las acerías corresponde a la calidad 2.4.2 según o indica la norma ISO 8573-1, para obtener esta calidad del aire se requieren las siguientes condiciones:

Para partículas sólidas (2) se debe de cumplir que la cantidad de partículas entre 0,1 y 0,5 micras no superen las 400.000 partículas, entre 0,5 y 1 micra que no superen las 6.000 partículas, entre 1 y 5 micras no se superen más de 100 partículas. Respecto al punto de rocío a presión PRP requerido (4), se establece que esta temperatura debe de ser mayor a 3°C e inferior a 7°C, los secadores que han sido calculados en este rediseño van a trabajar con un punto de rocío de 4°C.

Para cumplir con la cantidad de aceite permitida para la calidad del aire de Laminación, se requiere, según el dígito (2), que la concentración de líquido, aerosol y vapor no supere los $0,1 \text{ mg/m}^3$. Para cumplir con esas características se cuenta con unos filtros de línea de la marca Kaeser de referencia FB283D para la salida de cada compresor, estos a su vez cuentan, en la parte inferior, con un drenaje AMD1550, el cual trabaja con un flotador, que cuando detecta una buena cantidad de condensado, mediante un accionamiento mecánico se encarga de dar apertura a una válvula por la cual se drena el condensado acumulado, en cuanto este es desalojado de la carcasa, se vuelve a cerrar de forma automática, a la

espera de que nuevamente se llegue al nivel que se requiere para drenar, continuando así de forma repetitiva el ciclo.

Las características de los filtros de línea FB283D y de los drenajes AMD1550 se mencionan en la tabla 2-6.

Tabla 2-6: Características de filtro de línea FB283D.

Tipo de filtro	Prefiltro FB 3 µm
Tamaño de partículas interceptables	> 3µm según clase 3 DIN/ISO 8573-1
Contenido residual de aerosol	≤ 5 mg/m ³ según clase 4 DIN/ISO 8573-1
Presión diferencial	1,029 Bar
Carga máxima de fluido en entrada	25000 mg/m ³
Material primera etapa de filtración	Tubería hendida acero inoxidable
Filtración primera etapa	Hasta 10 micromicrones
Material segunda etapa de filtración	Fibra con estructura escalonada
Filtración segunda etapa	Hasta 3 micromicrones

Figura 2-1: Características técnicas de filtros de línea Kaeser FB283D.

Filtros tipo FB y FC	Potencia de flujo m ³ /min	Conexión para aire a presión	Espacio para el drenaje Ø mm	Versión básica					Versión D-Pack				Elemento de filtración					
				Tipo FB 3 µm	Tipo FC 1 µm	A	B	C	Peso kg	Tipo FB	Tipo FC	A	B	C	Peso kg	Tipo FB	Tipo FC	Cantidad
	0,58	R 3/8	76	FB-6	FC-6	105	306	224	3,6	FB-6 D	FC-6 D	105	545	444	4,3	E-B-6	E-C-6	1
	1,00	R 1/2	76	FB-10	FC-10	105	306	224	3,7	FB-10 D	FC-10 D	105	545	444	4,4	E-B-10	E-C-10	1
	1,75	R 1/2	76	FB-18	FC-18	105	367	285	3,9	FB-18 D	FC-18 D	105	600	499	4,6	E-B-18	E-C-18	1
	2,83	R 3/4	89	FB-28	FC-28	133	389	298	4,4	FB-28 D	FC-28 D	133	650	540	5,1	E-B-28	E-C-28	1
	4,83	R 1	89	FB-48	FC-48	133	497	406	4,8	FB-48 D	FC-48 D	133	745	635	5,5	E-B-48	E-C-48	1
	7,10	R 1 1/2	102	FB-71	FC-71	164	579	482	4,6	FB-71 D	FC-71 D	164	826	710	5,3	E-B-48	E-C-48	1
	10,7	R 1 1/2	102	FB-107	FC-107	164	693	596	5,1	FB-107 D	FC-107 D	164	940	824	5,8	E-B-107	E-C-107	1
	13,8	R 2	102	FB-138	FC-138	194	789	681	12,7	FB-138 D	FC-138 D	194	1037	909	13,4	E-B-138	E-C-138	1
	17,7	R 2 1/2	102	FB-177	FC-177	194	935	827	15,0	FB-177 D	FC-177 D	194	1183	1055	15,7	E-B-177	E-C-177	1
	22,1	R 2 1/2	102	FB-221	FC-221	194	1091	983	17,2	FB-221 D	FC-221 D	194	1357	1230	17,9	E-B-221	E-C-221	1
	18,5	DN 80	610	FB-185	FC-185	260	1200	1076	17,1	FB-185 D	FC-185 D	260	1260	1145	17	E-B-185	E-C-185	1
	28,3	DN 80	610	FB-283	FC-283	406	1435	1189	44,3	FB-283 D	FC-283 D	406	1450	1204	42	E-B-283	E-C-283	2
	35,4	DN 80	610	FB-354	FC-354	406	1435	1189	44,3	FB-354 D	FC-354 D	406	1450	1204	42	E-B-185	E-C-185	2
	52,6	DN 80	610	FB-526	FC-526	413	1461	1215	57,4	FB-526 D	FC-526 D	413	1486	1240	55,1	E-B-185	E-C-185	3
	70,8	DN 100	610	FB-708	FC-708	508	1543	1248	84,2	FB-708 D	FC-708 D	508	1583	1288	81,9	E-B-185	E-C-185	4
	88,5	DN 100	610	FB-885	FC-885	508	1543	1248	85,6	FB-885 D	FC-885 D	508	1583	1288	83,3	E-B-185	E-C-185	5
	142	DN 150	610	FB-1420	FC-1420	610	1603	1262	126,0	FB-1420 D	FC-1420 D	610	1628	1287	123,8	E-B-185	E-C-185	8
	195	DN 150	610	FB-1950	FC-1950	711	1938	1509	239,4	FB-1950 D	FC-1950 D	711	1830	1401	236	E-B-185	E-C-185	11
	248	DN 150	610	FB-2480	FC-2480	711	1938	1509	243,4	FB-2480 D	FC-2480 D	711	1830	1401	240	E-B-185	E-C-185	14

Fuente: Catálogo de productos para calidad del aire Kaeser Compresores 2019

Respecto a los drenajes automáticos, los de la marca Kaeser de referencia AMD eliminan el condensado y otros contaminantes de su sistema de aire. La gran capacidad de los drenajes magnéticos automáticos los hace adecuados para una amplia gama de aplicaciones. Altamente fiable y que requiere poco mantenimiento, los drenajes magnéticos automáticos mantienen un "sello líquido" que evita la pérdida de aire comprimido. A diferencia de los drenajes de flotador tradicionales, los mecanismos de operación están aislados del condensado, por lo que no se producen incrustaciones ni atascos. En la Figura 2-2 se muestra el drenaje AMD 1550 el cual es ideal para su uso con enfriadores, secadores refrigerados, filtros y separadores de líquidos. Una carcasa y piezas internas robustas y resistentes a la corrosión evitan el ensuciamiento. No se requiere electricidad para este drenaje magnético automático y puede elegir las conexiones superiores o inferiores para simplificar la instalación. La construcción modular permite un fácil mantenimiento.

Figura 2-2: Drenaje automático AMD1550



Fuente: <https://www.directindustry.es/prod/kaeser-compressors/product-68092-518217.html>

2.3 Depósitos de aire comprimido.

Actualmente se cuenta con 2 depósitos de almacenamiento, cada uno de ellos con una capacidad de 4000 litros, estos ya llevan muchos años trabajando y nunca han sido sometidos a ningún tipo de inspección periódica para revisar el estado de soldaduras o la posibilidad de presentarse algún tipo de avería, la válvula de seguridad tampoco ha sido calibrada y no se tiene la plena certeza de que esta vaya a cumplir con su funcionamiento adecuado ante un aumento de presión desproporcionado, los depósitos de aire comprimido cuentan en la parte inferior con unas válvulas de bola que permanecen todo el tiempo parcialmente abiertas para que por allí, a través de unas mangueras sea llevado el condensado a un desagüe, el cual está conectado a un sistema que lo dirige hacia la PTAR (planta de tratamiento de aguas residuales) con la que cuenta la compañía internamente, luego de pasar por ese tratamiento de aguas, este sirve como fluido para las calderas que se tienen para la generación de energía eléctrica en Planta de Fuerza.

2.4 Cantidad de condensado detectado

Teniendo en cuenta las características de la red neumática, del sitio en el cual se encuentran ubicados los compresores y las condiciones ambientales de Acerías Paz Del , Rio, indicados en la Tabla 2-7, se indica que la temperatura más baja registrada ha sido de 13°C y la más alta de 27°C, con estos datos y usando la Ecuación 2.1 para determinar la cantidad de condensado presente en el ambiente y justo después de salir del intercambiador de calor del compresor, se procede a realizar una tabla para orientar los resultados obtenidos.

Tabla 2-7: Características ambientales sala de compresores en un día normal.

Hora del día	Temperatura ambiente	Velocidad del viento	Humedad relativa	Presión atmosférica
12:00 am	15°C	2 km/hora	88%	1018 hPa
01:00am	14°C	1 Km/hora	87%	1017 hPa
02:00am	14°C	1 Km/hora	90%	1017 hPa
03:00am	13°C	1 Km/hora	92%	1017 hPa

04:00am	13°C	2 Km/hora	94%	1017 hPa
05:00am	13°C	2 Km/hora	92%	1018 hPa
06:00am	14°C	2 Km/hora	90%	1019 hPa
07:00am	14°C	2 Km/hora	88%	1019 hPa
08:00am	17°C	2 Km/hora	76%	1018 hPa
09:00am	19°C	2 Km/hora	65%	1017 hPa
10:00am	22°C	3 Km/hora	53%	1016 hPa
11:00am	22°C	4 Km/hora	53 %	1014 hPa
12:00pm	23 °C	5 Km/hora	52 %	1013 hPa
01:00pm	24°C	6 Km/hora	51 %	1011 hPa
02:00pm	23°C	6 Km/hora	54 %	1011 hPa
03:00pm	22°C	5 Km/hora	57%	1011 hPa
04:00pm	20°C	5 Km/hora	60%	1012 hPa
05:00pm	19°C	4 Km/hora	69%	1013 hPa
06:00pm	18°C	4 Km/hora	78%	1014 hPa
07:00pm	17°C	3 Km/hora	86%	1016 hPa
08:00pm	16°C	3 Km/hora	88%	1017 hPa
09:00pm	16°C	3 Km/hora	90%	1018 hPa
10:00pm	15°C	4 Km/hora	92%	1019 hPa
11:00pm	15°C	3 Km/hora	93%	1018 hPa

Fuente: <http://tiempoytemperatura.es/colombia/sogamoso.html#por-horas>

La cantidad total de agua en el aire aspirado por el compresor se obtiene aplicando la Ecuación 2.1.

$$f1 = Hr * Cl * Ca \quad (2.1)$$

Donde:

$f1$ =Cantidad de condensado generada en la salida del compresor(gramos/segundo)

Hr =Humedad relativa (%)

Cl =Cantidad de agua que el aire puede transportar a temperatura ambiente(gramos/litro)

Ca =Caudal de aire suministrado por compresores (litros/segundo)

Tabla 2-8: Relación de la temperatura ambiente y capacidad de mantener agua

Temperatura ambiente	Cantidad de agua que puede transportar
13°C	0,01135 gramos/litro
14°C	0,01207 gramos/litro
15°C	0,01283 gramos/litro
16°C	0,01363 gramos/litro
17°C	0,01447 gramos/litro
18°C	0,01537 gramos/litro
19°C	0,01631 gramos/litro
20°C	0,01730 gramos/litro
21°C	0,01834 gramos/litro
22°C	0,01943 gramos/litro
23°C	0,02058 gramos/litro
24°C	0,02178 gramos/litro
25°C	0,02305 gramos/litro
26°C	0,02438 gramos/litro
27°C	0,02577 gramos/litro

Fuente: https://climasmonterrey.com/?_route=que-es-la-humedad-relativa

Interpretando las Tablas 2.7 y 2.8, se va a realizar un ejemplo para determinar la cantidad de condensado que se genera en cierta hora del día, para el ejemplo se expone la situación en un día habitual a las 9am. En esta situación se tiene una temperatura de 19°C, a la cual corresponde un valor de 0,01631 gramos/litro de cantidad de agua que puede transportar ese aire, humedad relativa del 65%, el flujo de aire de los 2 compresores trabajando es de 1224,83 litros/segundo. Por lo tanto, se reemplazan valores y se obtiene:

$$f1 = 0,65 * \frac{0,01631 \text{gramos}}{\text{litro}} * \frac{1224,83 \text{litros}}{\text{segundo}} = 12,98 \frac{\text{gramos}}{\text{segundo}}$$

$$f1 = 12,98 \frac{\text{gramos}}{\text{segundo}} * \frac{3600 \text{segundos}}{1 \text{hora}} * \frac{1 \text{litro}}{1000 \text{g}} * \frac{1 \text{galón}}{3,785 \text{litros}} = \frac{12,35 \text{galones}}{\text{hora}}$$

Este cálculo se procedió a realizar con las variables características de cada hora de trabajo obteniendo los resultados enunciados en la Tabla 2-9.

Tabla 2-9 : Cantidad de condensado generado por hora

Hora del día	Temperatura ambiente	Cantidad de agua que puede transportar	Humedad Relativa	Cantidad de condensado generada
12:00 am	15°C	0,01283 gramos/litro	88%	13,15 galones/hora
01:00am	14°C	0,01207 gramos/litro	87%	12,23 galones/hora
02:00am	14°C	0,01207 gramos/litro	90%	12,66 galones/hora
03:00am	13°C	0,01135 gramos/litro	92%	12,16 galones/hora
04:00am	13°C	0,01135 gramos/litro	94%	12,43 galones/hora
05:00am	13°C	0,01135 gramos/litro	92%	12,16 galones/hora
06:00am	14°C	0,01207 gramos/litro	90%	12,66 galones/hora
07:00am	14°C	0,01207 gramos/litro	88%	12,37 galones/hora
08:00am	17°C	0,01447 gramos/litro	76%	12,81 galones/hora
09:00am	19°C	0,01631 gramos/litro	65%	12,35 galones/hora
10:00am	22°C	0,01943 gramos/litro	53%	12,00 galones/hora
11:00am	22°C	0,01943 gramos/litro	53 %	12,00 galones/hora
12:00pm	23 °C	0,02058 gramos/litro	52 %	12,47 galones/hora
01:00pm	24°C	0,02178 gramos/litro	51 %	12,94 galones/hora
02:00pm	23°C	0,02058 gramos/litro	54 %	12,95 galones/hora
03:00pm	22°C	0,01943 gramos/litro	57%	12,90 galones/hora
04:00pm	20°C	0,0173 gramos/litro	60%	12,09 galones/hora
05:00pm	19°C	0,01631 gramos/litro	69%	13,11 galones/hora
06:00pm	18°C	0,01537 gramos/litro	78%	13,97 galones/hora
07:00pm	17°C	0,01447 gramos/litro	86%	14,50 galones/hora
08:00pm	16°C	0,01363 gramos/litro	88%	13,97 galones/hora
09:00pm	16°C	0,01363 gramos/litro	90%	14,29 galones/hora
10:00pm	15°C	0,01283 gramos/litro	92%	13,75 galones/hora
11:00pm	15°C	0,01283 gramos/litro	93%	13,90 galones/hora
Cantidad de condensado generada antes del intercambiador de calor del compresor				309,81 galones/día

Fuente: Datos calculados por autor

Ahora para determinar la cantidad de condensado que queda en el aire comprimido después de pasar por el intercambiador de calor, se usa la Ecuación 2.2.

$$f2 = \frac{Pl * Ca}{f1} \quad (2.2)$$

Donde:

$f2$ =Cantidad de condensado en la salida de los intercambiadores (gramos/segundo)

Pl =Presión de saturación del agua a temperatura de diferencia en intercambiador(Bar)

Ca =Caudal de aire suministrado por compresores (litros/segundo)

$f1$ =Cantidad de condensado generada en la salida del compresor(gramos/segundo)

Para determinar los valores de la presión de saturación del agua a temperatura del punto de rocío del secador, se tiene en cuenta la Figura 2-3.

Figura 2-3: Presión de saturación del agua a diferentes temperaturas.

TABLA A-4

Agua saturada. Tabla de temperaturas

Temp., T °C	Pres. sat., P_{sat} kPa	Volumen específico, m^3/kg	
		Líqu. sat., v_f	Vapor sat., v_g
0.01	0.6117	0.001000	206.00
5	0.8725	0.001000	147.03
10	1.2281	0.001000	106.32
15	1.7057	0.001001	77.885
20	2.3392	0.001002	57.762
25	3.1698	0.001003	43.340
30	4.2469	0.001004	32.879
35	5.6251	0.001006	25.205
40	7.3851	0.001008	19.515
45	9.5953	0.001010	15.251
50	12.352	0.001012	12.026
55	15.763	0.001015	9.5639
60	19.947	0.001017	7.6670
65	25.043	0.001020	6.1935
70	31.202	0.001023	5.0396

Fuente: Figura de agua saturada, transferencia de calor y masa Yunus Cengel 7th edition
La temperatura que se tomara como referencia es de 10°C , donde la presión de saturación es de 1,2281 kPa o también 0,012271Bar, teniendo en cuenta que este es el valor que se aumenta por encima de la temperatura ambiente, y que esta se va tener justo a la salida del intercambiador de calor de aire. A continuación, se muestra un cálculo de cómo se obtienen esos datos.

Ejemplo para condición a las 10am, donde se obtienen 12 galones/hora o también 12,61 gramos/segundo.

$$f2 = \frac{0,012271\text{Bar} * \frac{1224,83\text{litros}}{\text{segundo}}}{12,61 \frac{\text{gramos}}{\text{segundo}}}$$

$$f2 = 1,19 \frac{\text{gramos}}{\text{segundo}}$$

Se procede a realizar los cálculos con las demás condiciones para revisar los cambios presentes en la cantidad de condensado que se tiene a la salida del intercambiador de calor, enunciados en la Tabla 2-10.

Tabla 2-10: Diferencia condensado de ingreso y salida intercambiador de calor.

Hora del día	Temperatura ambiente	Cantidad de condensado en el ingreso a intercambiador	Cantidad de condensado a la salida del intercambiador	Diferencia cantidad de condensado ingreso y salida intercambiador
12:00 am	15°C	13,15 galones/hora	12,74 galones/hora	1,09 galones/hora
01:00am	14°C	12,23 galones/hora	11,69 galones/hora	1,17 galones/hora
02:00am	14°C	12,66 galones/hora	12,18 galones/hora	1,13 galones/hora
03:00am	13°C	12,16 galones/hora	11,61 galones/hora	1,18 galones/hora
04:00am	13°C	12,43 galones/hora	11,92 galones/hora	1,15 galones/hora
05:00am	13°C	12,16 galones/hora	11,61 galones/hora	1,18 galones/hora
06:00am	14°C	12,66 galones/hora	12,18 galones/hora	1,13 galones/hora
07:00am	14°C	12,37 galones/hora	11,85 galones/hora	1,16 galones/hora

08:00am	17°C	12,81 galones/hora	12,35 galones/hora	1,12 galones/hora
09:00am	19°C	12,35 galones/hora	11,83 galones/hora	1,16 galones/hora
10:00am	22°C	12,00 galones/hora	11,42 galones/hora	1,19 galones/hora
11:00am	22°C	12,00 galones/hora	11,42 galones/hora	1,19 galones/hora
12:00pm	23 °C	12,47 galones/hora	11,96 galones/hora	1,15 galones/hora
01:00pm	24°C	12,94 galones/hora	12,50 galones/hora	1,10 galones/hora
02:00pm	23°C	12,95 galones/hora	12,51 galones/hora	1,10 galones/hora
03:00pm	22°C	12,90 galones/hora	12,46 galones/hora	1,11 galones/hora
04:00pm	20°C	12,09 galones/hora	11,53 galones/hora	1,18 galones/hora
05:00pm	19°C	13,11 galones/hora	12,69 galones/hora	1,09 galones/hora
06:00pm	18°C	13,97 galones/hora	13,66 galones/hora	1,02 galones/hora
07:00pm	17°C	14,50 galones/hora	14,26 galones/hora	0,99 galones/hora
08:00pm	16°C	13,97 galones/hora	13,67 galones/hora	1,02 galones/hora
09:00pm	16°C	14,29 galones/hora	14,02 galones/hora	1,00 galones/hora
10:00pm	15°C	13,75 galones/hora	13,42 galones/hora	1,04 galones/hora
11:00pm	15°C	13,90 galones/hora	13,59 galones/hora	1,03 galones/hora
Cantidad total de condensado extraída por intercambiador de calor				26,66 galones/día

Fuente: Datos calculados por autor.

Entre el ingreso del aire comprimido al intercambiador de calor y la salida de este se cuenta con una diferencia considerable de 26,66 galones/día, que dejan de ir a la red neumática si este se encuentra trabajando adecuadamente junto a su separador ciclónico y drenaje automático instalado en el compresor. En la Tabla 2-11 se indica la cantidad de condensado generado en un día común.

El flujo de condensación total desde la instalación estará dado por la Ecuación 2.3.

$$f_3 = f_1 - f_2 \quad (2.3)$$

Donde:

f_3 = Flujo de condensación total de la instalación

f_1 =Cantidad de condensado generada en la salida del compresor(gramos/segundo)

f_2 = Cantidad de condensado generada en la salida del intercambiador de calor (gramos/segundo).

Tabla 2-11: Cantidad total de condensado generado en un día común.

Cantidad de condensado generada antes del intercambiador de calor de los compresores	Cantidad de extraída por intercambiadores de calor de compresores	Cantidad total de condensado generado en un día común
309,81 galones/día	26,66 galones/día	283,15 galones/día

Fuente: Datos calculados por autor

Para un punto de rocío de 4°C que es el que se requiere para obtener la calidad del aire comprimido en la planta Laminación 450, en secadores refrigerativos se tiene estimado que se manejen 3,513 g/m³, según la Figura 2-4, por lo cual se va a realizar el cálculo a continuación del volumen de condensado que se va a tener en la red de aire comprimido con la instalación de estos.

Figura 2-4: Cantidad de condensado que se tendrá de acuerdo al punto de rocío

Punto de rocío °C	g/m ³	Punto de rocío °C	g/m ³	Punto de rocío °C	g/m ³	Punto de rocío °C	g/m ³
+ 100	588,208	58	118,199	16	13,531	-26	0,51
98	550,375	56	108,2	14	11,987	-28	0,41
96	514,401	54	98,883	12	10,611	-30	0,33
94	480,394	52	90,247	10	9,356	-32	0,271
92	448,308	50	82,257	8	8,243	-34	0,219
90	417,935	48	74,871	6	7,246	-36	0,178
88	389,225	46	68,056	4	6,356	-38	0,144
86	362,124	44	61,772	2	5,571	-40	0,117
84	336,661	42	55,989	±0	4,868	-42	0,093
82	311,616	40	50,672	-2	4,135	-44	0,075
80	290,017	38	45,593	-4	3,513	-46	0,061
78	268,806	36	41,322	-8	2,984	-48	0,048
76	248,841	34	37,229	-12	2,156	-52	0,031
72	212,648	30	30,078	-14	1,81	-54	0,024
70	196,213	28	26,97	-16	1,51	-56	0,019
68	180,855	26	24,143	-18	1,27	-58	0,015
66	166,507	24	21,587	-19	1,05	-60	0,011
64	153,103	22	19,252	-20	0,88	-70	0,0033
62	140,659	20	17,148	-22	0,73	-80	0,0006
60	129,02	18	15,246	-24	0,61	-90	0,0001

Fuente: <https://www.puska.com/es/manual-guia-aire-comprimido/secado-aire-comprimido>

Volumen de condensado que se va a tener en la red con la instalación de los secadores:

$$73.29 \frac{m^3}{min} * 3,513 \frac{gr}{m^3} * \frac{1kg}{1000gr} * \frac{1litro}{1kgH_2O} * \frac{1 galón}{3,785litros} * \frac{60min}{1 hora} = 4,08 \frac{galones}{hora}$$

Lo cual corresponde a un volumen de condensado al día de:

$$4,08 \frac{galones}{hora} * \frac{24 horas}{1 día} = 97,95 \frac{galones}{día}$$

Teniendo esta información se procede a indicar el volumen de condensado a obtener en la red de aire comprimido en un día de trabajo normal, este se encuentra en la Tabla 2-12.

Tabla 2-12: Balance general de volúmenes de condensada red neumática.

Volumen total de condensado en planta sin secadores	Volumen total de condensado en planta con secadores	Volumen de condensado que va a dejar de ir a la red neumática
283,15 galones/día	97,95 galones/día	185,2 galones/día

Fuente: Datos calculados por el autor

3. Capítulo 3: Cálculo y selección de elementos para rediseño red neumática.

3.1 Cálculo y selección secadores refrigerativos.

Los secadores de aire comprimido, generalmente se clasifican para llegar a tener una cantidad de humedad específica, es decir basado en un punto de rocío, para una cierta cantidad de aire que esta generalmente expresada en los compresores como cfm (cubic feet per minute ft^3/min , o también en litros por segundo (l/s). Dicha clasificación generalmente viene indicada de acuerdo a una serie de variables como lo son por ejemplo la presión de entrada al compresor, temperatura de entrada al compresor y temperatura ambiente, en condiciones normales estas se establecen como presión de entrada 100 psi(g), temperatura de entrada 100°F. En el campo de aplicación es normal que las condiciones cambien frecuentemente, es por ello que se debe de ser muy detallista en los cambios que se puedan a llegar a tener en el ambiente, ya que esto puede conllevar a que el secador seleccionado sea más grande o pequeño de lo requerido.

Algo que se hace vital, es entender adecuadamente como la temperatura y la presión que se tiene en el ambiente incide en la cantidad de condensado que se va a generar, por lo cual es importante tener en cuenta que a mayor temperatura maneje el aire, va a ser de igual manera mayor la capacidad que va a tener ese aire para mantener vapor de agua, se tiene establecido por regla general , que por cada aumento de 20°F en la temperatura del aire de entrada, se puede duplicar la carga de humedad en el secador. En cambio, la

presión funciona al revés, mientras el valor de presión del aire sea lo más elevado posible. Los fabricantes de secadores manejan unos valores de corrección, con el objetivo de contemplar los cambios que se puedan presentar en esas variables ambientales, cómo recomendación siempre se debe pensar en la situación más crítica que pueda llegar a afectar al sistema para realizar una selección adecuada. Las características ambientales de la planta se indican en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1: Características ambientales y operativas de planta Laminación 450

Flujo de aire comprimido a ser secado	36.61 m ³ /min
Temperatura más baja registrada en el ambiente de la sala de compresores	13°C
Temperatura más alta registrada en el ambiente de la sala de compresores	30°C o
Temperatura del aire comprimido a la entrada del secador	35°C
Presión de entrada a secador	7 Bar
Factor de corrección basado en la temperatura ambiente(Fa))	0,94
Factor de corrección basado en temperatura de entrada al secador y presión de trabajo de red neumática(Fb)	1

Fuente: Datos tomados en campo por el autor

Teniendo en cuenta los datos obtenidos de factor de corrección se procede a realizar el respectivo cálculo usando la Ecuación 3.1 y aplicando el factor de corrección indicado en la Figura 3-1.

$$Q_s = Q_c(F_a * F_b) \quad (3.1)$$

Donde:

Q_s = Caudal requerido en secador.

Q_c = Caudal entregado por compresor.

F_a = Factor de corrección basado en la temperatura ambiente.

F_b = Factor de corrección basado en temperatura de entrada al secador y presión de trabajo de red neumática.

Por lo tanto, el caudal requerido para cada secador refrigerativo es:

$$Q_s = 36.61 \text{ m}^3/\text{min}(0,94 * 1)$$

$$Q_s = 34,41 \text{ m}^3/\text{min}$$

Figura 3-1: Factores de corrección flujo volumétrico

Factores de corrección del flujo volumétrico							
Temperatura ambiente		+ 25 °C	+ 30 °C	+ 35 °C	+ 40 °C	+ 45 °C	-
Factor de corrección		1,0	0,94	0,89	0,83	0,78	-
Temperatura de entrada del aire comprimido		+ 25 °C	+ 30 °C	+ 35 °C	+ 40 °C	+ 45 °C	+ 50 °C
Presión	3 bar	1,42	1,00	0,79	0,63	0,51	0,43
	5 bar	1,57	1,13	0,92	0,77	0,65	0,56
	7 bar	1,67	1,22	1,00	0,84	0,71	0,63
	9 bar	1,76	1,29	1,07	0,91	0,78	0,67
	11 bar	1,84	1,36	1,13	0,96	0,82	0,73
	13 bar	1,9	1,41	1,18	1,00	0,86	0,77
Factor de corrección							

Fuente: https://www.cats.es/doc/pdf/kaeser/3-Secadores_frigorificos_series_TG-TI.pdf

Revisando con los catálogos que tiene la empresa Kaeser Compresores frente a los caudales manejados por los equipos, se observa en la Figura 3-2, que el que mejor se adapta al funcionamiento de esa red neumática es el secador frigorífico de referencia TH371, el cual maneja flujo volumétrico superior del requerido, en este caso $37,5 \text{ m}^3/\text{min}$.

Figura 3-2: Datos técnicos secadores

Datos técnicos											
Modelo	Flujo volumétrico a 7 bar	Sobrepr.	Pot. eléct. absorbida al 100 % del volumen	Pot. eléct. absorbida al 50 % del volumen	Conexión aire comprimido	Conexión purga de condensado	Dimensiones en mm	Peso	Masa de agente frig. R-407A	Masa de agente frig. R-407A equivalente en CO ₂	Circuito de frío hermético
	m ³ /min	bar	kW	kW			an x prof x al	kg		t	
TH 371	37,5	3 - 16	3,9	2,1	DN 100	2 x R 3/4	1287 x 1270 x 2162	600	13	27,4	–
TH 451	45,0	3 - 16	5,6	2,9	DN 100	2 x R 3/4	1287 x 1270 x 2162	665	17	35,8	–
TI 521	52,5	3 - 16	6,2	3,3	DN 150	2 x R 3/4	1510 x 1438 x 2162	840	23	48,5	–
TI 601	60,0	3 - 16	6,9	3,6	DN 150	2 x R 3/4	1510 x 1438 x 2162	850	23	48,5	–
TI 751	75,0	3 - 16	8,9	4,7	DN 150	2 x R 3/4	1510 x 1438 x 2162	950	26	54,8	–
TI 901	90,0	3 - 16	10,3	5,4	DN 150	2 x R 3/4	1510 x 1438 x 2162	950	27	56,9	–

Fuente: https://www.cats.es/doc/pdf/kaeser/3-Secadores_frigorificos_series_TG-TI.pdf

3.2 Cálculo y selección depósito de aire

Este es uno de los puntos a los cuales no se les da mayor relevancia en el momento de instalar redes de aire comprimido, ya que siempre se ha tenido el concepto de que este sirve únicamente para acumular este fluido, el cual no tiene mayor interacción con la parte de energía ya que no produce ni requiere de esta, tan solo la almacena, este es un concepto que no es totalmente adecuado.

Tener un tanque de almacenamiento bien seleccionado puede tener grandes beneficios en ahorro energético, eficiencia del sistema, reducción considerable de fluctuaciones de presión que se puedan tener a lo largo de la red, regulación de los ciclos de carga y vacío presente en los compresores, reducción de número de arranques, y desgaste prematuro en elementos internos del compresor en activaciones de elementos tales como los son las válvulas de admisión, retención y presión mínima, auxiliar de despresurización, reducción de cargas axiales presentes en los rodamientos que están instalados en los rotores de las unidades compresoras, un daño prematuro en empaques, también cubre picos de consumo de aire que se puedan llegar a presentar, aunque esto es por un periodo muy corto, de igual manera se ve muy involucrada la parte de la calidad del aire, ya que ayuda

a eliminar parte del vapor de agua que se tiene en el aire comprimido, a través de un drenaje, ayudando de esta manera a reducir el trabajo que tiene que hacer el secador para eliminar el condensado.

Los compresores que se tienen en las instalaciones de la planta Laminación 450 de Acerías Paz del Rio manejan un tipo de control DUAL, para lo cual dependen de un almacenamiento mínimo para limitar de esta manera la cantidad de ciclos que se puedan tener en el equipo, evitando daños internos en estos, especialmente en la unidad compresora la cual viene destinada para trabajar por un tiempo mínimo de 72.000 horas mientras se cumplan con las indicaciones dadas por el fabricante de la misma, algunas de estas se relacionan con que no se debe exceder la cantidad de ciclos máxima que viene para trabajar cada compresor, y que la temperatura final de compresión se encuentre trabajando entre 85°C y 95°C. El número de ciclos que vienen destinados para los compresores que trabajan con control DUAL, está relacionado directamente por la potencia que se tenga en el motor principal de accionamiento de la unidad compresora, por lo cual se debe de cumplir con la cantidad de ciclos mencionados en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2: Número de ciclos de trabajo de compresor de tornillo modo DUAL.

Potencia asignada en motor de accionamiento unidad compresora	Caudal máximo manejado	Numero de ciclos recomendados por el fabricante
Hasta 25 hp	118,75 ft ³ /min o también 3,36 m ³ /min	72 ciclos/hora
Entre 25 hp y 100 hp	475 ft ³ /min o también 13,46 m ³ /min	36 ciclos/hora
Entre 100 hp y 450 hp	2137,5 ft ³ /min o también 60,58 m ³ /min	18 ciclos/hora

Fuente: <https://airecomprimidokaeser.com/index.php/2016/02/15/volumen-adeecuado-del-tanque-de-almacenamiento/>

Teniendo como referencia la Tabla 3-2, los compresores de 250 hp instalados deben de trabajar con un número máximo de 18 ciclos/hora. A continuación, se va a observar la tabla

de los valores reales de ciclos de carga y descarga que fueron tomados en los equipos trabajando con plena producción en un día común. Para realizar el respectivo cálculo de porcentaje de tiempo de trabajo en carga y vacío, y el número de ciclos que trabaja el compresor bajo determinada configuración de presión se usan las Ecuaciones 3.2, 3.3 y 3.4, estas han sido aplicadas respectivamente y los resultados han sido indicados en las Tabla 3-3 para el compresor K1, Tabla 3-4 para el compresor K2 y Tabla 3-5 para K3.

$$\%carga = \frac{Tiempo\ en\ carga(seg) * 100}{Tiempo\ en\ carga(seg) + Tiempo\ en\ vacio(seg)} \quad (3.2)$$

$$\%vacío = \frac{Tiempo\ en\ vacío(seg) * 100}{Tiempo\ en\ carga(seg) + Tiempo\ en\ vacío(seg)} \quad (3.3)$$

$$Numero\ de\ ciclos\ por\ hora: \frac{3600\ segundos}{Tiempo\ en\ carga(seg) + Tiempo\ en\ vacío(seg)} \quad (3.4)$$

Compresor K1.

Tabla 3-3: Parámetros condiciones actuales compresor K1

Presión para entrar en vacío	Presión para entrar en carga	Tiempo en vacío	Tiempo en carga	Porcentaje en vacío	Porcentaje en carga	Numero de ciclos por hora
117,5 psi	112,5 psi	18,5 segundos	39 segundos	32,18%	67,82%	62,6
117,5psi	109,5 psi	42 segundos	58 segundos	42%	58%	36
117,5 psi	107,5 psi	68 segundos	84 segundos	44,74%	55,26%	23,68
117,5 psi	105,5 psi	91 segundos	112 segundos	44,82%	55,18%	18,18
117,5 psi	103,5 psi	96 segundos	134 segundos	41,73%	58,27%	15,65
117,5 psi	102,5 psi	104 segundos	137 segundos	43,15%	56,85%	14,93

Fuente: Datos tomados en campo por el autor durante varios días.

Compresor K2*Tabla 3-4: Parámetros condiciones actuales compresor K2*

Presión para entrar en vacío	Presión para entrar en carga	Tiempo en vacío	Tiempo en carga	Porcentaje en vacío	Porcentaje en carga	Numero de ciclos por hora
110,2 psi	112,5 psi	19 segundos	45 segundos	29,68%	70,32%	56,25
110,2 psi	109,5 psi	40 segundos	68 segundos	37,03%	62,97%	33,33
110,2 psi	107,5 psi	71 segundos	98 segundos	42,01%	57,99%	21,30
110,2 psi	105,5 psi	83 segundos	108 segundos	43,45%	56,55%	18,84
110,2 psi	103,5 psi	98 segundos	130 segundos	42,98%	57,02%	15,78
110,2 psi	102,5 psi	102 segundos	137 segundos	42,67%	57,33%	15,06

Fuente: Datos tomados en campo por el autor

Compresor K3*Tabla 3-5: Parámetros condiciones actuales compresor K3*

Presión para entrar en vacío	Presión para entrar en carga	Tiempo en vacío	Tiempo en carga	% en vacío	% en carga	Numero de ciclos por hora
117,5 psi	112,5 psi	18,5 segundos	39 segundos	32,18%	67,82%	62,6
117,5psi	109,5 psi	42 segundos	58 segundos	42%	58%	36
117,5 psi	107,5 psi	68 segundos	84 segundos	44,74%	55,26%	23,68
117,5 psi	105,5 psi	84 segundos	114 segundos	42,42%	57,58%	18,18
117,5 psi	103,5 psi	113 segundos	134 segundos	41,73%	58,27%	15,65
117,5 psi	102,5 psi	114 segundos	137 segundos	43,15%	56,85%	14,93

Fuente: Datos tomados en campo por el autor

De acuerdo a los valores reales manejados en los compresores y con el consumo de aire de la red neumática, se observa que el valor de presión configurado entre carga y descarga del compresor debe de oscilar entre 12 psi y 15 psi, con estos se puede garantizar que se

van a cumplir con el número de ciclos de carga y descarga establecidos por el fabricante, así como también se garantizará el suministro de aire hasta el último consumidor con la presión requerida para su funcionamiento. Para el cálculo del tanque requerido, se va a realizar teniendo en cuenta como número de ciclos por hora para los compresores K1, K2, y K3.

Ecuación 3.5 para determinar volumen del tanque a seleccionar.

$$VR = \frac{V1 * (DF - DF^2)}{Z * DP} \quad (3.5)$$

Donde:

VR= Volumen real del tanque a seleccionar en m³

V1 = Flujo de aire del compresor (m³/h), en este caso el flujo entregado por los compresores que siempre se encuentran trabajando.

V2 = Demanda de aire de la planta (m³/h), en este caso la de Laminación 450

Z= Número de ciclos carga y descarga que realiza el compresor por hora.

Dp = Diferencial de presión del compresor (bar), donde 1 Bar=14,70 psi

DF = V2 / V1 = factor de carga de la planta.

Para lo cual:

$$V1 = \frac{1293\text{ft}^3}{\text{min}} * \frac{1\text{m}^3}{35,281\text{ft}^3} * \frac{60\text{min}}{1\text{hora}} = 2198,50 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}} \text{ por cada compresor}$$

$$V1 = 2198,50 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}} * 2 \text{ compresores} = 4397 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}$$

$$V2 = 4243,1 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}$$

$$DF = \frac{V2}{V1} = \frac{4243,1 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}}{4397 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}} = 0,965 \text{ factor de carga}$$

Se han estimado las siguientes diferencias de presión carga-vacío, 14.5 psi por lo cual 12psi ,14psi y 15psi. Estos valores respectivamente de 12 psi, 14 psi y 15 psi han sido seleccionados teniendo en cuenta que con estos parámetros se cumplen con la cantidad máxima de ciclos recomendados para el compresor. La tabla 3-8 indica el tanque a seleccionar dependiendo de la diferencia de presión carga-vacío y numero de ciclos por hora y reemplazando estos valores en la Ecuación 3.5.

Tabla 3-6: Volumen de tanque a seleccionar

Diferencia de presión carga-vacío	Cálculo	Volumen del tanque a seleccionar
12 psi	$VR = \frac{4397 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}} * (0,965 - 0,965^2)}{18,18 \frac{\text{ciclos}}{\text{hora}} * 0,81\text{Bar}}$	$VR = 10,18 \text{ m}^3$
14 psi	$VR = \frac{4397 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}} * (0,965 - 0,965^2)}{15,65 \frac{\text{ciclos}}{\text{hora}} * 0,95\text{Bar}}$	$VR = 9,98 \text{ m}^3$
15 psi	$VR = \frac{4397 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}} * (0,965 - 0,965^2)}{14,93 \frac{\text{ciclos}}{\text{hora}} * 1,020\text{Bar}}$	$VR = 9,75 \text{ m}^3$

Fuente: Cálculos realizados por el autor

Como se puede evidenciar con los datos obtenidos del cálculo del tanque a seleccionar, lo más recomendable es instalar uno que tenga una capacidad de **10 m³**, se muestra en la Figura 3-3, el cual se adaptará con facilidad a cualquiera de las situaciones de diferencia de presión presentada en el equipo. Revisando con los proveedores que pueden suministrar dicho depósito de aire, el más recomendable por economía, garantía y certificados de calidad es el suministrado por la empresa Kaeser Compresores, el cual tiene este tanque disponible para venta inmediata. Como características de este depósito de aire comprimido se tienen:

- Intervalos de revisión cada 5 años
- El material de fabricación es galvanizado interna y externamente según la norma DIN EN ISO1461

- Optima protección anticorrosiva
- Gran abertura para realizar trabajos de mantenimiento
- Se encuentra disponible para instalar de inmediato y es fácil su montaje en planta
- Se puede adquirir para ser instalado vertical y/o horizontalmente
- Admite una presión máxima de (15,6 Bar)
- Tiene una altura de 5,4 metros y un diámetro de 1,6 metros
- Tiene un peso de 2540 Kg
- La conexión de entrada y salida es de 4*DN200
- Cuenta con válvula de purga, brida de verificación, manómetro y válvula de seguridad

El costo de este depósito de aire comprimido es de 19.213 dólares, que, realizando el cambio en pesos al día de hoy 5 de noviembre de 2020, 1 dólar= 3768,57 COP, tiene un costo de **\$72.405.919 COP**

Figura 3-3: Tanque 10000 litros Kaeser



Fuente: <https://ar.kaeser.com/productos/almacenamiento-del-aire-comprimido-y-mantenimiento-de-la-presion/tanques-de-aire-comprimido/>

3.3 Selección de drenajes automáticos.

Los drenajes automáticos siempre se deben de seleccionar de acuerdo al flujo que se va a manejar, es por esto que para la situación particular de la planta Laminación 450, se procede a seleccionar según el catálogo de fabricante Kaeser, el modelo AMD6550 indicado en la Figura 3-4, el cual se adapta perfectamente al caudal y presión de aire que se tiene en su nivel máximo de producción, este cuenta con la gran ventaja de tener caídas de presión nulas si el ajuste de los componentes de conexión es correcto, una capacidad de descarga bastante larga, es elaborado en silicona, por lo cual no va a presentar inconvenientes de oxidación que se pueda llevar a la red neumática, así como también ese material de construcción permite trabajar durante muchos años sin mayores inconvenientes, es muy fácil de instalar, cuenta con un accionamiento para realizar pruebas de forma manual en la parte exterior para verificar su correcto funcionamiento.

Figura 3-4: Drenaje AMD6550 Kaeser



Fuente: https://www.mpsindustrial.com/images/USAMD_AutomaticMagneticDrainTraps-tcm67-9566.pdf

Fuente: Manual de servicio compresor ESD250

Es importante tener presente que estos motores se pueden conectar a redes de 50 y 60 Hz respectivamente, para Colombia estos equipos se encuentran conectados a 60 Hz, los cuales son proporcionados por la red eléctrica, que para el caso de Acerías Paz del Rio se maneja para la conexión de estos una alimentación eléctrica de 440VAC, que tiende a tener fluctuaciones mínimas en el suministro eléctrico de estos compresores. En la Figura 4-1 se relacionan los valores reales medidos en los equipos en condiciones de plena operación de la planta durante varios días, con todos los consumidores de aire trabajando.

Para calcular la potencia consumida en carga se usa la Ecuación 4.1.

$$Potencia\ en\ carga = \sqrt{3} * V * I * \cos\phi * eficiencia * porcentaje\ de\ trabajo\ en\ carga \quad (4.1)$$

Para calcular la potencia consumida en vacío se usa la Ecuación 4.2.

$$Potencia\ en\ vacío = \sqrt{3} * V * I * \cos\phi * eficiencia * porcentaje\ de\ trabajo\ en\ vacío \quad (4.2)$$

La determinación del porcentaje de trabajo en carga y en vacío estará dada por los valores de presión que han sido programados para trabajar en el compresor, así como también por los tiempos en los que se ejecutan estos ciclos, se va a realizar un ejemplo de cómo se calculan estos valores.

Consumo compresor K1

Presión de carga: 125 psi

Presión de vacío: 115 psi

Corriente máxima en carga: 254,9 Amperios

Corriente máxima en vacío: 120,5 Amperios

Tiempo en carga para este ciclo: 84 segundos

Tiempo en vacío para este ciclo: 68 segundos

$$\%carga = \frac{Tiempo\ en\ carga(seg) * 100}{Tiempo\ en\ carga(seg) + Tiempo\ en\ vacío(seg)}$$

$$\%carga = \frac{84 \text{ segundos} * 100}{84 \text{ segundos} + 68 \text{ segundos}} = 55,26\%$$

$$\%vacío = \frac{\text{Tiempo en vacío(seg)} * 100}{\text{Tiempo en carga(seg)} + \text{Tiempo en vacío(seg)}}$$

$$\%vacío = \frac{68 \text{ segundos} * 100}{84 \text{ segundos} + 68 \text{ segundos}} = 44,74\%$$

$$\text{Potencia en carga} = \sqrt{3} * 440 \text{ voltios} * 254,9 \text{ Ampers} * 0,86 * 0,95 * 0,55 = 87708,34W$$

$$\text{Potencia en vacío} = \sqrt{3} * 440 \text{ voltios} * 120,5 \text{ Amperios} * 0,86 * 0,95 * 0,4474 = 33565W$$

Se tiene estipulado por la parte directiva de la empresa Acerías Paz Del Rio, teniendo en cuenta que internamente se genera energía eléctrica, que el costo de cada KWh en la planta Laminación 450 es de \$250 pesos colombianos COP, es decir 0,066 dólares por cada KWh, por lo tanto, para saber el costo económico que representa tener en funcionamiento cada compresor se aplica la Ecuación 4.3.

$$\$ = \text{cantidad de KW} * \frac{250 \text{ COP}}{1 \text{ KW}} \quad (4.3)$$

Para este ejemplo, se va a calcular el costo de tener en operación el compresor bajo las condiciones de presión indicadas anteriormente, usando la Ecuación 4.4

$$\$total = \$KWh \text{ carga} + \$ \text{cantidad de KWh vacío} \quad (4.4)$$

$$\$KWh \text{ Carga} = 87,70 \text{ KW} * \frac{250 \text{ COP}}{1 \text{ KW}} = \$21.925 \text{ pesos por hora de funcionamiento}$$

$$\$KWh \text{ Vacío} = 33,56 \text{ KW} * \frac{250 \text{ COP}}{1 \text{ KW}} = \$8.390 \text{ pesos por hora de funcionamiento}$$

$$\$total = \$21.925 \text{ pesos} + \$8.390 \text{ pesos} = \$30.315 \text{ pesos por hora de funcionamiento}$$

Para determinar el costo anual del funcionamiento de este compresor, basta con multiplicar el costo obtenido de funcionamiento por una hora y multiplicarlo por las 8760 horas que

tiene el año, entonces el costo de energía eléctrica por tener en funcionamiento este compresor es de:

$$\text{\$total año} = \$30.315 \frac{\text{pesos}}{\text{hora}} * 8760 \frac{\text{horas}}{\text{año}} = \$265.559.400 \frac{\text{pesos}}{\text{año}}$$

Costo total energia electrica al año compresor K1 = \$265.559.400 pesos

Cálculo de consumo compresor K2 condiciones actuales.

Presión de carga: 117,50 psi

Presión de vacío: 105,5 psi

Corriente máxima en carga: 244,14 Amperios

Corriente máxima en vacío: 120,5 Amperios

Tiempo en carga para este ciclo: 112 segundos

Tiempo en vacío para este ciclo: 91 segundos

$$\%carga = \frac{112 \text{ segundos} * 100}{112 \text{ segundos} + 91 \text{ segundos}} = 55,17\%$$

$$\%vacío = \frac{91 \text{ segundos} * 100}{112 \text{ segundos} + 91 \text{ segundos}} = 44,83\%$$

$$\text{Potencia en carga} = \sqrt{3} * 440 \text{ voltios} * 244,14 \text{ Ampers} * 0,86 * 0,95 * 0,551 = 83868,0W$$

$$\text{Potencia en vacío} = \sqrt{3} * 440 \text{ voltios} * 120,5 \text{ Amperios} * 0,86 * 0,95 * 0,4483 = 33633,1W$$

$$\text{\$KWh Carga} = 83,86 \text{ KW} * \frac{250 \text{ COP}}{1 \text{ KW}} = \$20.965 \text{ pesos por hora de funcionamiento}$$

$$\text{\$KWh Vacío} = 33,63 \text{ KW} * \frac{250 \text{ COP}}{1 \text{ KW}} = \$8.407 \text{ pesos por hora de funcionamiento}$$

$$\text{\$total} = \$20.965 \text{ pesos} + \$8.407 \text{ pesos} = \$29.372 \text{ pesos por hora de funcionamiento}$$

$$\text{\$total año} = \$29.372 \frac{\text{pesos}}{\text{hora}} * 8760 \frac{\text{horas}}{\text{año}} = \$257.298.720 \frac{\text{pesos}}{\text{año}}$$

Costo total energía eléctrica al año compresor K2 = \$257.298.720 pesos

Teniendo en cuenta estos cálculos en la Tabla 4-1 se muestra el costo de energía eléctrica al año con otras variables de presión.

Tabla 4-1 Comparación de potencia valores teóricos y reales.

Presión máxima de carga	Potencia teórica usada por el compresor	Potencia real usada por el compresor	Amperaje teórico (Amperios)	Amperaje real (Amperios)
125 psi	224,5 KW	158,71 KW	360	254,9
117,5 psi	217,8 kW	152,01 KW	349	244,14
110,25psi	211KW	145,31 KW	338,88	233,38
102,9 psi	204,3 KW	138,61 KW	328,12	222,62
95,55 psi	197,6 KW	131,91 KW	317,35	211,86
88,2 psi	190,8 KW	125,21 KW	306,43	201,1
80,85 psi	184,1 KW	118,51 KW	295,67	190,34

Fuente: Manual de servicio compresor Kaeser ESD250

En el momento en el que se empieza a realizar el levantamiento de datos de presión de trabajo de los equipos, se observa que la configuración de presión de estos se encuentran en la Tabla 4-2.

Tabla 4-2: Configuración inicial carga-vacío compresores

Compresor	Presión de carga	Presión de vacío	%Trabajo en carga	%Trabajo en vacío
K1	125 psi	115 psi	55,26%	44,74%
K2	117,5 psi	105,5 psi	55,17%	44,83%
K3	125 psi	115 psi	55,26%	44,74%

Fuente: Datos tomados en campo por el autor

Tabla 4-3: Costo de energía eléctrica compresores configuración inicial carga- vacío

Compresor	Potencia usada equipo en carga	Potencia usada equipo en vacío	Costo de energía eléctrica hora	Costo de energía eléctrica año
K1	87,70 KW	33,56 KW	\$30.315 pesos	\$265.559.400 pesos/año
K2	83,86 KW	33,63KW	\$29.372 pesos	\$257.298.720 pesos/año
K3	87,56 KW	33,63 KW	\$30.297 pesos	EQUIPO DE RESERVA
BALANCE DIARIO	171,56 KW/hora 4,11 MW/día	67,19 KW/hora 1,612 MW/día	238,75 KW/hora 5,722 MW/día	\$1.410.288 pesos/día

Fuente: Datos calculados por el autor en base a datos tomados en campo

4.2 Consumo eléctrico con modificación en parámetros carga-vacío rediseño

Realizando varias pruebas en los equipos y modificando los valores de presión de carga y vacío en cada uno de ellos, se puede determinar que la mejor configuración que se puede obtener en este proceso, cambiando lo valores de presión de carga y vacío, sin afectar la presión final que le va a llegar al consumidor más lejano, está dada por la Tabla 4-4.

Tabla 4-4: Nuevos valores parámetros de carga- vacío compresores

Compresor	Presión de carga	Presión de vacío	%Trabajo en carga	%Trabajo en vacío
K1	110,25 psi	90,25 psi	53,74%	46,26%
K2	110,25 psi	98,25 psi	55,17%	44,83%
K3	110,25 psi	90,25 psi	53,74%	46,26%

Fuente: Datos tomados en campo por el autor

Para lo cual se procede a realizar el respectivo cálculo con las nuevas variables de presión teniendo los obteniendo así, los siguientes valores:

Nuevo cálculo para compresor K1:

Presión de carga: 110,25 psi

Presión de vacío: 90,25 psi

Corriente máxima en carga: 233,38 Amperios

Corriente máxima en vacío: 120,5 Amperios

Tiempo en carga para este ciclo: 274 segundos

Tiempo en vacío para este ciclo: 235 segundos

$$\%carga = \frac{274 \text{ segundos} * 100}{274 \text{ segundos} + 235 \text{ segundos}} = 53,74\%$$

$$\%vacío = \frac{235 \text{ segundos} * 100}{274 \text{ segundos} + 235 \text{ segundos}} = 46,26\%$$

$$Potencia \text{ en carga} = \sqrt{3} * 440 \text{ voltios} * 233,38 \text{ Ampers} * 0,86 * 0,95 * 0,537 = 78089,9W$$

$$Potencia \text{ en vacío} = \sqrt{3} * 440 \text{ voltios} * 120,5 \text{ Amperios} * 0,86 * 0,95 * 0,4626 = 34708 W$$

$$\$KWh \text{ Carga} = 78,08 \text{ KW} * \frac{250 \text{ COP}}{1 \text{ KW}} = \$19.520 \text{ pesos por hora de funcionamiento}$$

$$\$KWh \text{ Vacío} = 34,70 \text{ KW} * \frac{250 \text{ COP}}{1 \text{ KW}} = \$8.675 \text{ pesos por hora de funcionamiento}$$

$$\$total = \$19.520 \text{ pesos} + \$8.675 \text{ pesos} = \$28.195 \text{ pesos por hora de funcionamiento}$$

$$\$total \text{ año} = \$28.195 \frac{\text{pesos}}{\text{hora}} * 8760 \frac{\text{horas}}{\text{año}} = \$246.988.200 \frac{\text{pesos}}{\text{año}}$$

Nuevo costo total energia electrica al año compresor K1 = \$246.988.200 pesos

Nuevo cálculo para compresor K2:

Presión de carga: 110,25 psi

Presión de vacío: 98,25 psi

Corriente máxima en carga: 233,38 Amperios

Corriente máxima en vacío: 120,5 Amperios

Tiempo en carga para este ciclo: 112 segundos

Tiempo en vacío para este ciclo: 91 segundos

$$\%carga = \frac{112 \text{ segundos} * 100}{112 \text{ segundos} + 91 \text{ segundos}} = 55,17\%$$

$$\%vacío = \frac{91 \text{ segundos} * 100}{112 \text{ segundos} + 91 \text{ segundos}} = 44,83\%$$

$$Potencia \text{ en carga} = \sqrt{3} * 440 \text{ voltios} * 233,38 \text{ Ampers} * 0,86 * 0,95 * 0,551 = 80168,1W$$

$$Potencia \text{ en vacío} = \sqrt{3} * 440 \text{ voltios} * 120,5 \text{ Amperios} * 0,86 * 0,95 * 0,4483 = 33634,9W$$

$$\$KWh \text{ Carga} = 80,16 \text{ KW} * \frac{250 \text{ COP}}{1 \text{ KW}} = \$20.040 \text{ pesos por hora de funcionamiento}$$

$$\$KWh \text{ Vacío} = 33,63 \text{ KW} * \frac{250 \text{ COP}}{1 \text{ KW}} = \$8.407 \text{ pesos por hora de funcionamiento}$$

$$\$total = \$20.040 \text{ pesos} + \$8.407 \text{ pesos} = \$28.447 \text{ pesos por hora de funcionamiento}$$

$$\$total \text{ año} = \$28.447 \frac{\text{pesos}}{\text{hora}} * 8760 \frac{\text{horas}}{\text{año}} = \$249.195.720 \frac{\text{pesos}}{\text{año}}$$

Tabla 4-5: Nuevos valores de consumo compresores con cambio de parámetros

Compresor	Potencia usada equipo en carga	Potencia usada equipo en vacío	Costo de energía eléctrica hora	Costo de energía eléctrica año
K1	78,08 KW	34,70 KW	\$28.195 pesos	\$246.988.200 pesos/año
K2	80,16 KW	33,63 KW	\$28.447 pesos	\$249.195.720 pesos/año
K3	78,08 KW	34,70 KW	\$28.195 pesos	EQUIPO DE RESERVA
BALANCE	158,24 KW/hora	68,33 KW/hora	226.57 KW/hora	\$1.359.408
DIARIO	3,79 MW/día	1,639 MW/día	5,429 MW/día	pesos/día
GASTOS	1386,18 MW/año	598,23 MW/año	1984.41 MW/año	\$496.183.920
ANUALES	usados en carga	usados en vacío	usados en total	pesos/año

Fuente: Datos calculados por el autor

4.3 Balance energético configuración actual y nueva parámetros carga-vacío

Tabla 4-6: Diferencia de potencia y consumo configuración inicial y recomendada

Compresor	Potencia total usada actual por al año	Potencia total usada recomendada por año	Diferencia en potencia total por año (Ahorro)	Costo de energía eléctrica al año actual	Costo de energía	Diferencia en costo de energía eléctrica al año (Ahorro)
K1	1062,23 MW/año	987,52 MW/año	74,71 MW/año	\$265.559. 400 pesos/año	\$246.9 88.200 pesos/año	\$18.571.200 pesos/año
K2	1029,21 MW/año	996,80 MW/año	32,41 MW/año	\$257.298. 720 pesos/año	\$249.1 95.720 pesos/año	\$8.103.000 pesos/año
K3	1062,23 MW/año	987,52 MW/año	74,71 MW/año	\$265.559. 400 pesos/año	\$246.9 88.200 pesos/año	EQUIPO DE RESERVA
TOTAL	2091,44 MW/año	1984,32 MW/año	107,12 MW/año	\$522.858. 120 pesos/año	\$496.1 83.920 pesos/año	\$26.674.200 pesos/año

Fuente: Datos calculados por el autor

Como se puede observar el ahorro tanto energético como económico es bastante considerable, por lo cual se recomienda realizar estos cambios en la configuración de presión carga-vacío de los equipos, el ahorro económico al año será de **\$26.674.200 COP**, es decir 7.045,5 dólares al año.

5. Capítulo 5: Informe técnico y económico

5.1 Propuesta técnica y económica

Teniendo en cuenta los valores de los cálculos realizados, para pasar de los 309,81 galones/día de condensado que se están generando actualmente al día a tan solo 97,95 galones/día, se requiere de la adquisición de 2 secadores refrigerativos de referencia TH371E, estos se encargaran de retirar a través de sus sistemas de drenajes internos automáticos la gran mayoría de este líquido.

Para cumplir con la calidad del aire requerido para el proceso de Laminación en Siderúrgica se requieren 2 filtros de línea de referencia F530KE, los cuales cuentan con drenaje automático incorporado para eliminación de líquidos y un elemento filtrante interno que requiere cambio una vez al año por lo menos, o cuando esté presente saturación en su indicador externo.

Un tanque de almacenamiento de aire comprimido de 10000 litros, el cual debe ser instalado de forma vertical, de acuerdo con las dimensiones de las instalaciones físicas donde están ubicados los compresores, este contribuirá a mantener una mayor cantidad de aire del que se tiene instalado actualmente, evitando así cambios considerables de presión, que los compresores se encuentren ciclando continuamente y que estos requieran intervalos de mantenimiento en válvulas, filtros y solenoides más continuos. En este mismo tanque húmedo, debe ser instalado un drenaje automático que expulse la cantidad de líquido proyectada, por lo cual el de referencia AMD6550, se ajusta adecuadamente a esta situación, se requiere una unidad.

Todos estos elementos han sido cotizados con la empresa Kaeser Compresores, teniendo en cuenta que a diferencia de las otras compañías del mismo gremio consultadas como por ejemplo Atlas Copco, Ingersoll Rand, estas no cuentan con disponibilidad inmediata para la adquisición de estos elementos, el servicio técnico que se presta debe ser programado con bastante anticipación y no se cuenta con disponibilidad inmediata ante emergencias presentadas, ante este panorama y teniendo en cuenta que Kaeser cumple a cabalidad con los puntos que están en contra de las otras compañías, además teniendo en cuenta que se cuenta con un convenio de mantenimiento fijo entre Acerías Paz Del Rio y este proveedor de equipos, se garantizará una atención inmediata tanto en personal como en repuestos, ante cualquier situación que se pueda presentar con los equipos, se requiere hacer una inversión económica importante mencionada en la cotización que se indica a continuación, Kaeser ofrece alternativas de financiamiento de pago bastante cómodas con el fin de que se lleven a cabos este tipo de proyectos.

Al realizar las modificaciones correspondientes en los valores de presión de carga y vacío de los compresores, se obtiene un ahorro anual de **\$26.674.200** pesos colombianos, la adquisición de los equipos mencionados en este proyecto tienen un costo de **\$261.578.245** pesos colombianos, por lo cual esta inversión se recuperará en un tiempo estimado de aproximadamente 10 años.

A continuación, se presenta la propuesta económica formal, a través de una cotización enviada por Kaeser Compresores, estos precios están vigentes hasta el día 31 de diciembre del año 2020, razón por la cual se pueden presentar ligeras modificaciones los precios en caso tal de que estos sean adquiridos en otro año, para obtener puntualmente esa información por favor comunicarse con la empresa Kaeser Compresores.



Fecha: 21 de Noviembre de 2020
Cotización 997

Cliente: Acerías Paz del Río

Ciudad: Nobsa, Boyaca

Referencia. Cotización sistema tratamiento de aire planta laminación 450.

Atentamente, respondemos a su solicitud de oferta:

Cantidad	Descripción	Valor unitario	Valor total
2	Secador refrigerativo TH 371E, 460V/3/60Hz	\$ 81.300.000	\$ 162.600.000
1	Tanque pulmón 10.000 Litros Vertical 11 bar	\$ 72.405.919	\$ 72.405.919
2	Filtro de línea F530 KE para partículas de aceite	\$ 11.637.405	\$ 23.274.810
1	Drenaje automático de condensados AMD 6550	\$ 3.297.516	\$ 3.297.516
	Total con IVA		\$ 261.578.245

Valores en COP.

Condiciones comerciales:

- Forma de pago: 60 días fecha de factura.
- Tiempo de entrega: 8-10 semanas.
- Lugar de entrega: Planta Belencito sobre plataforma de camión.
- Garantía: 2 años por defectos en fabricación.
- Validez de la oferta: 4 semanas.

Cordialmente,

Diego Riaño Chaparro
Asesor técnico comercial
Kaeser compresores de Colombia Ltda
3124367334
ventas@ingeboyaca.com



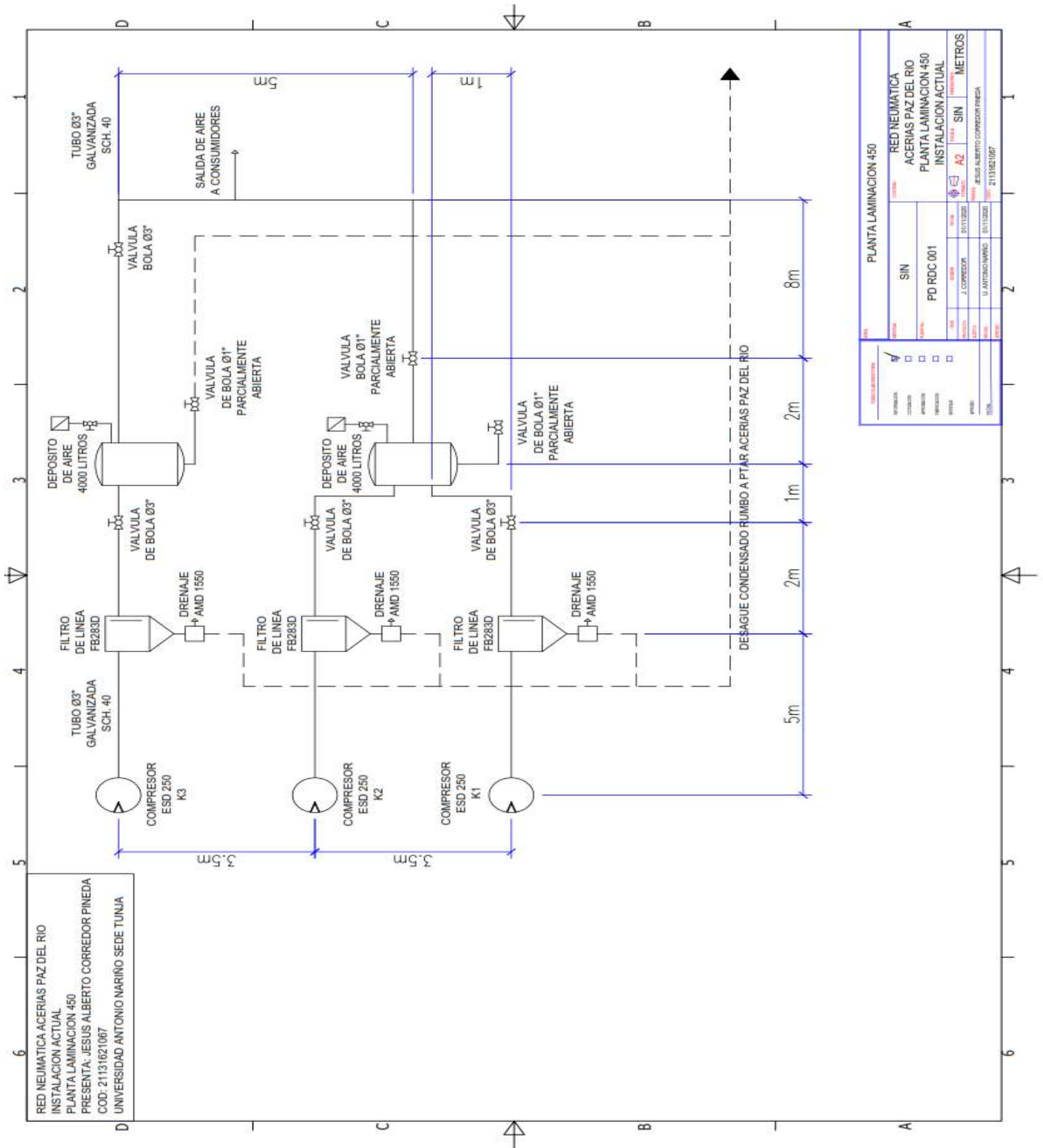
KAESER COMPRESORES
DE COLOMBIA LTDA.
Travesera 82015 A No. 250-05 Bogotá
Teléfono: +57 1 7429363
Fax: +57 1 - 2633701
E-Mail: info.colombia@kaeser.com
<http://www.kaeser.com.co>

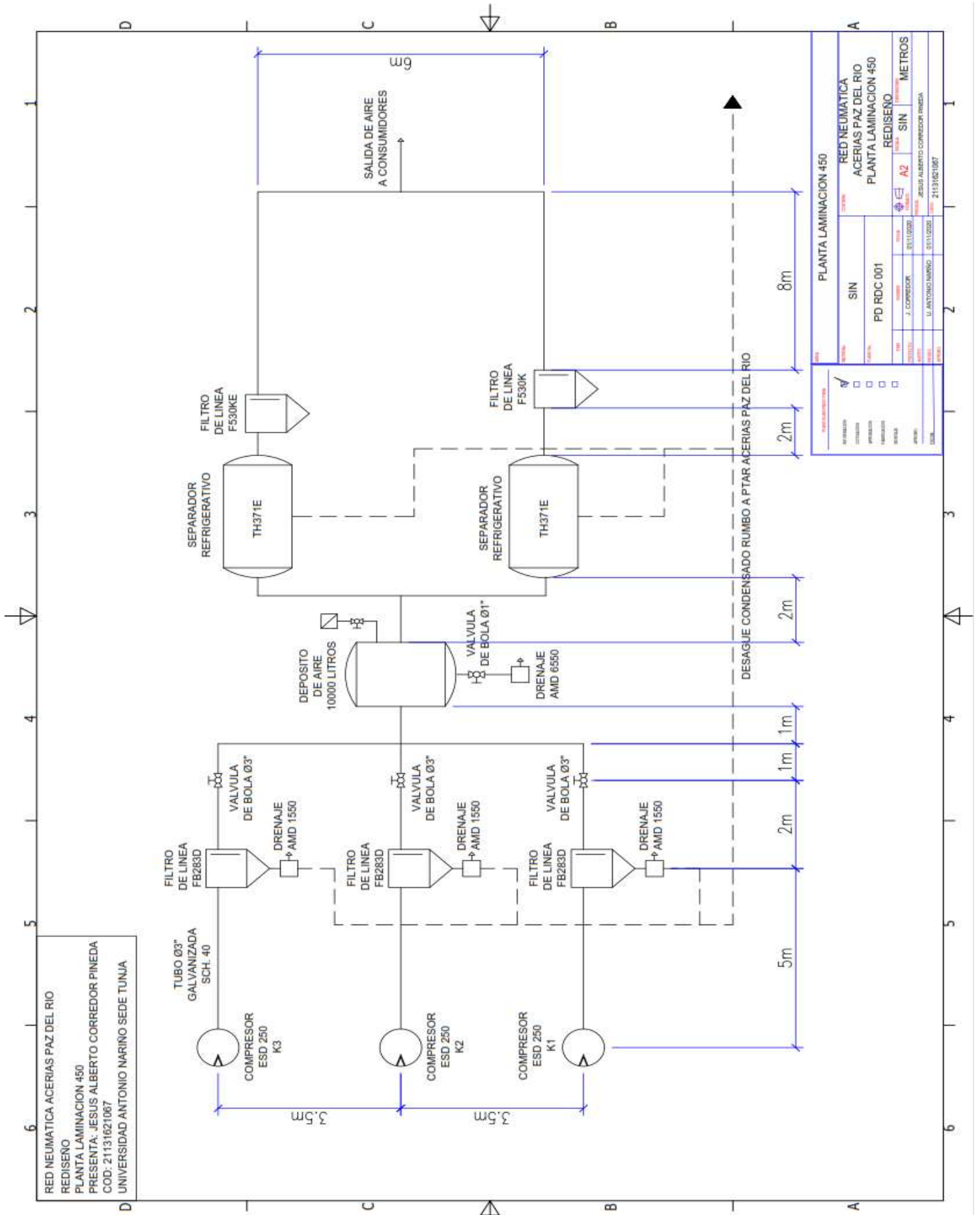
Cuenta Bancaria:
Banco Davivienda
Banco de Bogotá
Bancolombia

Cuenta Corriente: No. 067286999032
Cuenta Corriente: No. 019-30295-4
Cuenta Corriente: No. 040198070-11



5.2 Planos instalaciones actuales y rediseño red neumática.





RED NEUMÁTICA ACERÍAS PAZ DEL RIO
 REDISEÑO
 PLANTA LAMINACION 450
 PRESENTA: JESUS ALBERTO CORREDOR PINEDA
 COD: 21131621067
 UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO SEDE TUNJA

PLANTA LAMINACION 450	
PROYECTO	SIN
PROYECTO	PD RDC 001
PROYECTO	J. CORREDOR
PROYECTO	01/11/2020
PROYECTO	U. ANTONIO NARIÑO
PROYECTO	01/11/2020
PROYECTO	JESUS ALBERTO CORREDOR PINEDA
PROYECTO	21/13/2021
PROYECTO	21131621067

REDISEÑO
 PLANTA LAMINACION 450
 RED NEUMÁTICA ACERÍAS PAZ DEL RIO

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

- El condensado presente en el aire comprimido es el peor enemigo que puede tener cualquier red neumática, por esta razón, deben ser rutinarias las visitas de inspección de mantenimiento a estos sistemas, revisando primordialmente que a los consumidores finales no les llegue este líquido, ni tampoco al proceso, evaluando el daño que eventualmente genera a estos elementos, también que los drenajes automáticos no se encuentren con taponamientos y trabajen de forma adecuada, se debe considerar que la temperatura del sitio donde se tienen ubicados los compresores sea la más baja posible, esto ya que a mayor temperatura, más condensado se producirá, existen equipos que son capaces de eliminar las partículas dañinas presentes en este líquido, haciendo que este cuando se encuentre completamente limpio pueda ser usado en distintos procesos como por ejemplo para baños, regado de plantas y liquido de enfriamiento en intercambiadores de calor.
- Una selección adecuada de un secador no está definida solamente por el caudal de aire a secar, se debe revisar detenidamente el valor del punto de rocío que se desea obtener, y este va de la mano con la calidad del aire que se requiere puntualmente para cada proceso industrial, esto fundamentado en la norma ISO 8573-1, un cálculo mal realizado de los componentes a adquirir para poner en funcionamiento estos equipos, se puede representar en daños prematuros en serpentines de evaporadores de los secadores, cuando estos son muy pequeños para la cantidad de aire a secar, o en un gasto innecesario en adquisición de equipos sobredimensionados, y evidentemente un mayor consumo de energía eléctrica.
- La selección adecuada de un depósito de aire comprimido traerá grandes beneficios a la red neumática en la cual se encuentre instalado, así como también evitará que el compresor cicle continuamente ocasionando daños prematuros en

componentes internos de la máquina, tales como válvulas, empaques, solenoides y filtros.

- La corrección de fugas, y una adecuada selección de los parámetros de carga-vacío de los compresores, será un punto clave para garantizar que hasta el consumidor más lejano tenga la presión y caudal adecuados en su funcionamiento, una correcta selección de estos valores tendrá un impacto significativo en el consumo de energía eléctrica de los compresores, y evidentemente un ahorro económico muy importante, a mayor presión de trabajo, mayor consumo.

6.2 Recomendaciones

- Solicitar un estudio de fugas de aire a Kaeser Compresores, para determinar con exactitud la cantidad que se tienen de estas en la planta, y la ubicación de las mismas con el fin de identificar el mejor plan de acción para corregir esas situaciones que inciden negativamente en un consumo excesivo de energía eléctrica.
- Contar con asesoría especializada al momento de tomar decisiones cruciales en la compra de accesorios, mangueras, tuberías, válvulas y elementos propios de la red neumática con el objetivo de ser asertivos y evitar gastos innecesarios.

Bibliografía

(1) (DOC) Aire comprimido -Características -Tipos de compresores | JOFRE TITUAÑA - Academia.edu. (s. f.). Recuperado 22 de noviembre de 2020, de https://www.academia.edu/29690542/Aire_comprimido_Caracter%C3%ADsticas_Tipos_de_compresores

Aguilar, E. F. (2014). *La ley de Boyle, Boyke: Bajo presión*. RBA Coleccionables.

Agustin, V. N., Jose Pedro. (2005). *Apuntes de Fisica General*. UNAM.

Cassani, M. A. (s. f.). *Aire comprimido el fluido vital de las máquinas*. 15.

Collieu, A. M., & Powney, D. J. (1977). *Propiedades mecanicas y termicas de los materiales*. Reverte.

Copco, A. (s. f.). *ISO 8573-1, ¿Cómo interpretamos la norma? Atlascopco*. Atlas Copco. Recuperado 22 de noviembre de 2020, de <https://www.atlascopco.com/es-es/compressors/air-compressor-blog/iso-8573-1-como-interpretamos-la-norma>

Energia Neumatica. (s. f.). calameo.com. Recuperado 22 de noviembre de 2020, de <https://www.calameo.com/books/001823905c6596c72c055>

Introduccion a la Mecanica de Fluidos. (s. f.). Univ. Nacional de Colombia.

La importancia de auditar la calidad del aire comprimido según la ISO 8573-1. (s. f.). Interempresas. Recuperado 22 de noviembre de 2020, de <https://www.interempresas.net/Seguridad-Alimentaria/Articulos/264423-La-importancia-de-auditar-la-calidad-del-aire-comprimido-segun-la-ISO-8573-1.html>

Leonardo, J. C. y. (1858). *Constancia de la composición química del aire: Discurso pronunciado ante el Claustro de la Universidad Central*. Imp. del Colegio de Sordo-mudos y de Ciegos.

Marta, M. D., & José, R. D. A. A. (2016). *MÁQUINAS Y MOTORES TÉRMICOS: INTRODUCCIÓN A LOS MOTORES ALTERNATIVOS Y A LAS TURBOMÁQUINAS TÉRMICAS*. Editorial UNED.

Salvador, A. G. (1988). *Introducción a la Neumática*. Marcombo.

Solé, A. C. (2012). *Neumatica e Hidráulica*. Marcombo.

Tubo neumático. (2020). En *Wikipedia, la enciclopedia libre*. https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Tubo_neum%C3%A1tico&oldid=130305883

Wark, K., & Warner, C. F. (1990). *Contaminación del aire: Origen y control*. Limusa.

Wentworth, W. E., & Ladner, S. J. (1975). *Fundamentos de química física*. Reverte.

Zhang, B., Liu, M., Li, Y., & Wu, L. (2013). Optimization of an Industrial Air Compressor System. *Energy Engineering*, 110(6), 52-64.

<https://doi.org/10.1080/01998595.2013.10753695>

Optimization of an industrial Air Compressor System, Energy engineering. Volumen 110: Issue 6 (2013); pp 52-64 -- Taylor & Francis

Yunus A. Cengel, Michael A. Boles. *TERMODINÁMICA*. Ed. Mc Graw Hill 4ta Edición, México, 2003

Ahorro de energía en los sistemas neumáticos industriales , Tesis para optar por el título de Maestro en Ciencias en sistemas para manufactura , Héctor Manuel Corona Gómez
https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/568432/DocsTec_6131.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Energy Tips. DETERMINE THE COST OF COMPRESSED AIR FOR YOUR PLANT. Office of Industrial Technologies Energy Efficiency and Renewable Energy U.S. Department of Energy Washington, D.C. 20585, <https://www.nrel.gov/docs/fy01osti/28006.pdf>

Carnicer, E. (1991). *Aire Comprimido Teoría y Cálculo de las instalaciones*. Madrid: paraninfo.

Compressed Air Optimization in Switzerland, Springer Link, Rolf Gloor, Christian Bachmann in Energy Efficiency in Motor Driven Systems (2003),
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-55475-9_3

Optimization of integrated energy process in China industrial compressed air system
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781782421696500115?via%3Dihub>

Compressed Air System Installation Guide, Layout considerations for a Reliable, Energy Efficient, and Safe Compressed Air System, (consultado 09, Julio, 2020)
<https://co.kaeser.com/recursos-de-aire-comprimido/descargas/libro-electronico/casig.aspx>

Parker Domnick Hunter KG (consultado 03, Julio, 2020) Introducción a las normas ISO de calidad del aire <https://www.oqa.com.co/oqaen/wp-content/uploads/2015/08/ANEXO-1-CALIDAD-DE-AIRE-NORMA-ISO.pdf>

Handbook of Mechanical Engineering Calculations, Second Edition, Compressor selection for compressed –air systems, (consultado 26, Julio, 2020) <https://ezproxy.uan.edu.co:2107/content/book/9780071458863/toc-chapter/chapter9/section/section12>

El agua en la atmosfera (consultado 14, Mayo, 2020) <https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/index.php/ediciones-anteriores/77-vol-58-num-3-julio-septiembre-2007/agua/117-el-aqua-en-la-atmosfera>

Cálculo de la temperatura de punto de rocío a diferentes valores de presión, Enrique Martínez L, Leonel Lira C. Centro Nacional de Metrología, (consultado 13, Agosto,, 2020) https://www.academia.edu/35604938/C%C3%A1lculo_de_la_Temperatura_de_Punto_de_Roc%C3%ADo_a_Diferentes_Valores_de_Presi%C3%B3n

Diseño y construcción de un prototipo de secador de aire comprimido 230 m³/h según los requerimientos de la empresa “COMPAIRGEN” de la Ciudad de Quito, Tesis para la obtención del título de Ingeniero Mecánico, año 2016, (consultado 10, Julio, 2020) <http://192.188.46.193/bitstream/123456789/23070/1/Tesis%20I.M.%20333%20-%20Vega%20Gonz%C3%A1lez%20Leonardo%20Israel.pdf>

Cálculo y selección de un sistema de tratamiento de aire comprimido para la red neumática del laboratorio de automatización de la facultad tecnológica, Universidad Francisco José de Caldas(consultado 03, Julio, 2020) <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/15691/1/Herre%C3%B1oPe%C3%B1aDiegoAlejandro2019.pdf>

Kaeser Compresores, (consultado 07, Julio, 2020) Volumen adecuado del tanque de almacenamiento para garantizar el tiempo de servicio estimado de las unidades de compresión <https://airecomprimidokaeser.com/index.php/2016/02/15/volumen-adecuado-del-tanque-de-almacenamiento/>

A. Anexo: Fotografías sala de compresores Laminación 450

Figura 1. Compresores Kaeser ESD250 K1, K2, K3.



Figura 2: Válvulas de bola parcialmente abiertas para extracción de condensado depósito de aire.



Figura 3: Depósitos de aire instalados actualmente de 4000 litros cada uno de ellos con filtros de línea a la salida de compresor.



Figura 4: Modificación manual de parámetros de carga- vacío compresores



Figura 5: Toma de datos de consumo eléctrico de compresores con diferentes variables en parámetros de carga-vacío.



Figuras 6 y 7: Verificación de volumen de condensado generado a diferentes horas del día, desde las 8am hasta la 1pm aproximadamente 55 galones.

