



**Rediseño de la red de distribución de aire comprimido para
la planta de producción Zootecnia Sólidos de la empresa
Lucta Grancolombiana SAS.**

MAURICIO CAICEDO RODRÍGUEZ

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Bogotá D.C, Colombia

2020



**Rediseño de la red de distribución de aire comprimido para
la planta de producción Zootecnia Sólidos de la empresa
Lucta Grancolombiana SAS.**

MAURICIO CAICEDO RODRÍGUEZ

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

Ingeniero Electromecánico

Director:

JOSE GERMAN GUTIERREZ ROZO

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Bogotá D.C, Colombia

2020

(Dedicatoria o lema)

A mis padres por sus valores inculcados de responsabilidad, ética y perseverancia; a mi esposa y a mis hijos por todo su amor incondicional que me ha fortalecido cada día para hacer posible este gran sueño.

Mauricio Caicedo Rodríguez

Agradecimientos

Primeramente, a **DIOS**, seguido, el más sincero agradecimiento a la Universidad Antonio Nariño que me abrió las puertas del conocimiento, a la facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica programa de Ingeniería Electromecánica, por brindarme todos los conocimientos necesarios para alcanzar esta meta.

Agradecimiento especial a los ingenieros José German Gutiérrez Rozo, Hugo Ferney Alba Díaz, Carlos Arturo García Gómez, John Fredy Ríos Rojas, quienes, con su conocimiento, experiencia y motivación a lo largo de este proceso, he logrado la culminación exitosa de este proyecto.

A todos los profesores de la UAN, que con su dedicación y paciencia han compartido sus conocimientos; siendo ellos artífices de este logro.

A la empresa Lucta Grancolombiana SAS, planta-Tocancipá, por confiar en mis capacidades y darme la oportunidad de desarrollar este proyecto.

Para todos ellos, muchas gracias...

Resumen

Mediante este proyecto se realizó el rediseño de la red de aire comprimido para la planta de producción zootecnia sólidos de la empresa Lucta Grancolombiana SAS y busca mejorar las condiciones de abastecimiento de aire comprimido requerido para su proceso de fabricación. Los resultados de los cálculos obtenidos, nos demuestran que la demanda total requerida actualmente es muy superior (365,18 cfm) y la generada por el compresor actual es de sólo (131 cfm); razón por la cual se generan pérdidas en tiempos operativos, taponamientos en la tubería durante el transporte neumático de las materias primas (sal, Carbonato de Calcio, azúcar pulverizada, entre otras), este sistema requiere gran demanda de aire comprimido para diluir, impulsar y transportar las materias primas en su fase sólida, por medio de tubería hacia las tolvas correspondientes para su posterior procesamiento; razón por la cual actualmente los procesos de fabricación en zootecnia sólidos (luctamold y luctanox) no se pueden llevar a cabo simultáneamente. El aire comprimido también es usado para el sistema de filtrado por mangas y los componentes neumáticos como (electroválvulas y actuadores).

El proyecto abarca desde la generación, preparación, distribución y buen uso del aire comprimido y su objetivo es optimizar al igual que disminuir los costos energéticos por fugas de aire y pérdidas de (presión, caudal y velocidad) por distancias y accesorios; además de cambios considerables en los diámetros de la tubería entre otros factores de ingeniería que actualmente se detectan. En la etapa inicial se recolectaron los datos de los equipos e instalaciones actuales, así como el levantamiento de medidas y caracterización de la tubería y accesorios instalados actualmente, la revisión de la información de planos existentes y su posterior actualización con el fin de conocer el tipo de distribución de la red, las características reales del compresor y el secador actual, los consumos en cfm, que se requiere para cada proceso y la demanda de aire total requerida, también calcularon las pérdidas de presión a lo largo de la red y el factor de reserva para futuras ampliaciones. Todos estos resultados proyectaron la necesidad del rediseño de la red de aire comprimido, así como la adquisición de un compresor y secador de aire que logren abastecer la demanda actual 479,7 cfm, logrando así justificar la inversión económica.

Se presentará el rediseño de la red de aire comprimido mediante planos DTI's y cálculos de volúmenes, presiones, caudales, distancias, diámetros de la tubería, pérdidas por tubería y por accesorios para que la compañía analice su viabilidad en cuanto a costo-beneficio para el desarrollo implementación del proyecto a corto plazo.

Palabras clave: Aire comprimido, Red, Presión, Caudal, Tubería, Eficiencia.

Abstract

Through this project, the redesign of the compressed air network for the solid zootechnics production plant of the Lucta Grancolombiana SAS company was carried out and seeks to improve the supply conditions of compressed air required in its manufacturing process. The results of the calculations carried out in this project show us that the total demand currently required is much higher (365.18 cfm) and that generated by the current compressor is only (131 cfm); reason for which losses are generated in operating times, clogging in the pipeline during the pneumatic transport of raw materials (salt, Calcium Carbonate among others), this system requires great demand for compressed air to dilute, drive and transport raw materials in its solid phase, by means of a pipe to the corresponding hoppers for further processing; which is why currently the solid animal husbandry manufacturing processes (luctamold and luctanox) cannot be carried out simultaneously. Compressed air is also used for the bag filter system and pneumatic components such as (solenoid valves and actuators).

The project ranges from the generation, preparation, distribution and good use of compressed air and its objective is to optimize as well as reduce energy costs due to air leaks and losses of (pressure, flow and speed) due to distances and accessories; in addition to considerable changes in pipe diameters among other engineering factors that are currently detected. In the initial stage, the data of the current equipment and facilities were collected, as well as the survey of measurements and characterization of the pipes and accessories currently installed, the review of the information of existing plans and their subsequent update in order to know the type distribution system, the actual characteristics of the compressor and the current dryer, the consumption in cfm, which is required for each process and the total air demand required, they also calculated the pressure losses along the network and the factor reserve for future extensions. All these results projected the need to redesign the compressed air network, as well as the acquisition of an air compressor and dryer that can supply the current 479.7 cfm demand, thus justifying the economic investment.

The redesign of the compressed air network through DTI plans and calculations of volumes, pressures, flows, distances, pipe diameters, pipe losses and accessories will be presented for the company to analyze its viability in terms of cost-benefit for the short-term project implementation development.

Keywords: Compressed air, Network, Pressure, Flow, Pipe, Efficiency.

Tabla de contenido

	Página
<i>(Dedicatoria o lema)</i>	iii
Agradecimientos	iv
Resumen	v
Abstract	vi
Tabla de contenido	vii
Lista de figuras.....	x
Lista de tablas.....	xi
INTRODUCCIÓN	12
OBJETIVOS.....	13
Objetivo general.....	13
Objetivos específicos	13
JUSTIFICACIÓN.....	14
METODOLOGÍA.....	15
1. MARCO TEÓRICO	17
1.1. El aire	17
1.2. Aire comprimido.....	18
1.3. Caudal de aire comprimido	18
1.4. Tratamiento del aire comprimido.....	19
1.4.1. Calidad del aire comprimido (Norma ISO 8573-1).....	19
1.5. Elementos de un sistema de aire comprimido.....	20
1.5.1. Compresor.....	20
1.5.2. Tipos de compresores	22
1.6. Secador de aire	22
1.7. Tanques de almacenamiento de aire comprimido.....	23
1.8. Red de distribución del aire comprimido	24

1.8.1.	Tubería principal, secundaria y de servicio	24
1.9.	Pérdidas en la red de aire comprimido.....	24
2.	DATOS ACTUALES DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO	25
2.1.	Datos técnicos del Compresor	26
2.2.	Datos técnicos del secador de aire	27
2.3.	Acumuladores.....	28
2.4.	Cuarto de máquinas (generación y tratamiento del aire comprimido).....	29
2.5.	Configuración de la red de aire actual.....	29
3.	PROCESOS QUE REQUIEREN AIRE COMPRIMIDO	30
3.1.	Proceso de transporte neumático en fase diluida.....	31
3.2.	Proceso de fabricación luctamold	33
3.3.	Proceso de fabricación luctanox	33
3.4.	Sistema de filtración por mangas	34
3.5.	Elementos neumáticos.....	34
4.	CÁLCULOS DE LOS CONSUMOS ESTIMADOS EN LA RED ACTUAL	34
4.1.	Cálculos de las pérdidas y consumos para el transporte neumático	35
4.1.1.	Cálculo de las pérdidas zootecnia polvos luctamold	36
4.1.1.	Resumen valores de caída de presión y consumos zootecnia luctamold ...	48
4.1.2.	Cálculo transporte neumático por presión positiva zootecnia luctanox.....	49
4.1.3.	Resumen valores de caída de presión y consumos zootecnia luctanox	53
4.2.	Resultados finales obtenidos el transporte neumático zootecnia polvos	53
4.2.	Cálculo consumo de aire - sistema de filtración	54
4.3.	Cálculo del consumo de aire sistema neumático	58
4.3.1.	Resumen Consumo Elementos Neumáticos	61
4.3.2.	Cálculos de pérdidas en tubería.....	61

5.	REDIMENSIONAMIENTO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO ZOOTECNIA POLVOS.....	64
5.1.	Condición Inicial para el Rediseño de la Red	64
5.2.	Demanda de Aire Comprimido	65
5.2.1.	Tasa de Uso	65
5.3.	Dimensionamiento del Compresor	68
5.4.	Dimensionamiento del secador de aire	71
5.4.1.	Cálculo del contenido de agua por condensados	72
5.4.2.	Sistema de Tratamiento del Aire comprimido	74
5.5.	Cálculo de los tanques acumuladores de aire	75
5.6.	Redimensionado de la tubería	76
5.6.1.	Caracterización de la tubería	76
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	81
7.	ANEXOS.....	85

Lista de figuras

	Página
Figura 1. Diagrama de la Metodología a Seguir Para la Ejecución del Proyecto	15
Figura 2. Componentes del Aire Atmosférico	17
Figura 3. Representación de un Sistema de Aire Comprimido	20
Figura 4. Compresor GA 22 Atlas Copco, Área de Producción Zootecnia Sólidos	21
Figura 5. Secador Frigorífico FD60 Atlas Copco	23
Figura 6. Isométrico Planta de Producción Zootecnia Polvos	25
Figura 7. Compresor Asignado al Área de Producción Zootecnia Polvos	26
Figura 8. Secador Frigorífico FD60 Atlas Copco Área Zootecnia Sólidos	27
Figura 9. Acumuladores Asignados al Área de Producción Zootecnia Polvos	28
Figura 10. Diagrama actual del Sistema de Aire Comprimido.....	30
Figura 11. Procesos de Producción Zootecnia Luctamold y Luctamold	32
Figura 12. Inicio del transporte neumático fase diluida (velocidad de desprendimiento) 37	
Figura 13. Elementos Mecánicos de un Colector de Polvos	55
Figura 14. Aplicación del Cálculo con la Herramienta de “KAESER Toolbox.....	64
Figura 15. <i>Secadores refrigerativos de bajo consumo Serie TE, TF y TG</i>	72
Figura 16: Tratamiento de Condensado AQUAMAT.....	74
Figura 17. Diseño del Sistema de la Red de Aire Comprimido	74

Lista de tablas

	Página
Tabla 1. Norma ISO 8573-1:2010 Clasificación de la Calidad del Aire Comprimido	19
Tabla 2. Tipos de Compresores Según su Principio de Compresión	22
Tabla 3. Datos Técnicos del Compresor de Aire Producción Zootecnia Sólidos.	26
Tabla 4. Datos Técnicos del Secador de Aire Producción Zootecnia Sólidos.....	27
Tabla 5. Datos Técnicos Acumuladores de Aire	29
Tabla 6. Materias Primas para Fabricación Proceso Luctamold	33
Tabla 7. Materias Primas para Fabricación Proceso Luctanox	34
Tabla 8. Transporte Neumático - Materias Primas Zootecnia Luctamold	36
Tabla 9. Transporte Neumático - Materias Primas Zootecnia Luctanox	36
Tabla 10. Características Físicas de la Sal	37
Tabla 11. Iteraciones para Hallar la Velocidad Terminal del Transporte (Vt).....	46
Tabla 12. Valores de Consumo de aire comprimido Zootecnia Luctamold	48
Tabla 13. Características Físicas del Carbonato de Calcio	49
Tabla 14. Iteraciones para Hallar la Velocidad Terminal del Transporte (Vt).....	51
Tabla 15. Valores de Consumo de aire comprimido Zootecnia Luctanox.....	53
Tabla 16. Demanda Total de Aire en los Procesos de Transporte Neumático	54
Tabla 17. Dimensiones de los Filtros de Mangas.....	56
Tabla 18. Consumo de Aire en los Filtros de Mangas.....	58
Tabla 19. Consumo de Aire Comprimido - Cilindros Neumáticos.....	59
Tabla 20. Descripción de Elementos por Tramo de la Red en la Aire	62
Tabla 21. Demanda Estimada de Aire valores de Consumos Constante	65
Tabla 22. Demanda Total de Aire valores de Consumos por su Frecuencia	66
Tabla 23. <i>Valores de Consumo Total Útil</i>	67
Tabla 24: Tabla de Referencias de Compresores Flujo Volumétrico	69
Tabla 25. <i>Entrega de Agua Contaminada para su Disposición y Tratamiento</i>	73
Tabla 26. Diámetros Óptimos de la Red de Aire Actual	77
Tabla 27. Valores de la función variable (β) con respecto a (G).....	79

INTRODUCCIÓN

El aire comprimido es una de las fuentes de energía requeridas para los procesos de fabricación de la empresa Lucta Grancolombiana SAS, principalmente en la nave de producción zootecnia solidos (luctamold y luctanox); esta energía es fundamental para el transporte neumático en fase diluida de las materias primas sólidas hacia las etapas de producción, además de ser usado en los sistemas de filtración por mangas y sistemas neumáticos donde también las exigencias del proceso requieren gran cantidad de volúmenes de aire comprimido para su funcionamiento.

Actualmente el caudal de aire comprimido suministrado por el compresor es muy bajo 131 cfm dado que la demanda total requerida para el funcionamiento de los equipos en los dos procesos (luctamold y luctanox) es de 354,54 cfm y sumado a este valor otros factores como las pérdidas por fugas, el coeficiente de error y las reservas a futuro; obtenemos un requerimiento de 479,3cfm; para garantizar el funcionamiento óptimo de los equipos y la simultaneidad de los dos procesos; debido a la capacidad de generación de aire, sólo se puede fabricar en una nave de producción ya que la demanda de aire es de 176,51 cfm para el proceso de luctamold y dada la capacidad instalada y el recurso humano, se requiere que las dos naves se puedan operar simultáneamente con el fin de optimizar el proceso productivo.

Dado los hallazgos encontrados, el rediseño debe involucrar la adquisición de equipos adicionales para la generación, tratamiento, almacenamiento y transporte del aire comprimido que garanticen la confiabilidad de todos los procesos de producción; se deberá suprimir la tubería y accesorios que no se usan o que están averiadas, corregir fugas de aire, modificar recorridos e identificación de la tubería, también se debe considerar los valores de la tasa de uso, los intervalos de operación y de simultaneidad ya que la demanda total requerida de toda la red es de 354,54 cfm y depende directamente de estos valores y que se pueden ajustar para reducir las caídas de presión en la red de aire comprimido. Otro aspecto relevante para modificar en las instalaciones es disminuir el impacto de la temperatura 32°C en el cuarto ya que afecta el óptimo funcionamiento de los equipos compresor-secador adicionalmente la instalación de un sistema de separación para el tratamiento de condensados.

Finalmente, se detecta la falta de identificación de la tubería y sistemas para optimizar la calidad del aire como las conexiones cuello de ganso, drenajes e inclinación de la tubería en el tendido horizontal y una configuración definida de la tubería con el fin de evitar pérdidas de presión.

OBJETIVOS

Objetivo general

Diagnosticar, evaluar y rediseñar la red de distribución de aire comprimido para la planta de producción Zootecnia Sólidos, de la empresa Lucta Grancolombiana SAS.

Objetivos específicos

1. Conocer mediante cálculos y diagnóstico los consumos (cfm) en el proceso de transporte por el método de fase diluida, para las materias primas del proceso de fabricación de Zootecnia Sólidos de la compañía Lucta Grancolombiana SAS.
2. Conocer mediante cálculos y diagnóstico los consumos (cfm) de los elementos del sistema de filtrado de mangas y los demás elementos neumáticos como cilindros y electroválvulas involucrados en el proceso.
3. Recolectar la información actual de los equipos, (características del compresor y secador) igualmente las dimensiones en los acumuladores, en las tuberías y los accesorios).
4. Evaluar las características actuales de los equipos (compresor y secador) e instalaciones (configuración actual de la red) según los requerimientos del proceso.
5. Evaluar el diagnóstico de consumo total en (cfm) para calcular el compresor que se requiere adquirir.
6. Definir la configuración de la red más apropiada (abierto, cerrado, mixto) que garantice las menores pérdidas.
7. Calcular los diámetros de la tubería y definir las dimensiones para la red (primaria secundaria y de servicio) para mejorar el servicio.
8. Elaborar planos y diagramas de flujos DTI's.
9. Solicitar una evaluación de viabilidad del proyecto a la empresa Lucta Grancolombiana SAS, donde se justifique la inversión económica y se ponga en marcha su ejecución, como proyecto a corto plazo.

JUSTIFICACIÓN

La alta competitividad y exigencia que afronta el mercado global, crean la necesidad para que LUCTA GRANCOLOMBIANA SAS, desarrolle un proyecto que ofrezca confiabilidad en el suministro de aire comprimido, para abastecer energéticamente eficiente la demanda del aire comprimido como una de las fuentes de energías necesarias para sus procesos de producción, ya que actualmente es una de las causas en las interrupciones en el proceso de producción.

Esta deficiencia en el suministro de aire comprimido, dada la demanda en el flujo volumétrico debido a las exigencias de los procesos ha afectado a los equipos, el compresor de esta área, sufrió una falla y se requirió enviarlo a mantenimiento correctivo y suplir esta necesidad con el alquiler de un compresor de similares características técnicas.

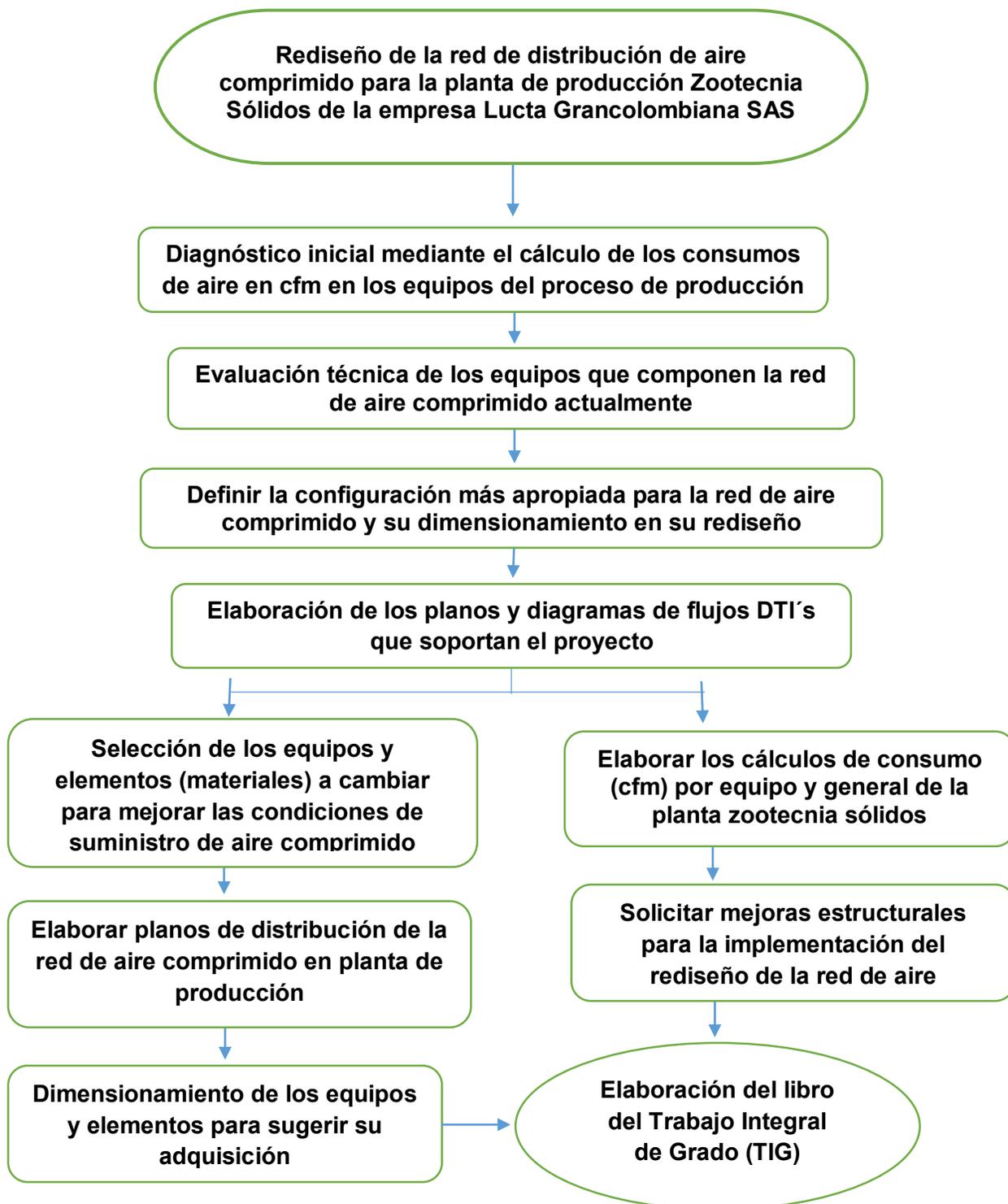
El problema persiste ya que durante el funcionamiento este equipo no logra mantener la presión de 100 psi en la red, y genera que el equipo este siempre en estado de carga-encendido y por consiguiente se incremente la frecuencia en sus mantenimientos y por ende los costos operativos.

El mantenimiento del compresor que está asignado al área de zootecnia solidos así como el alquiler de un compresor para suplir esta necesidad y los tiempos perdidos en la producción (horas-hombre); son los sobrecostos que se pueden evitar, si se realiza un diagnóstico y el análisis de ingeniería para justificar la inversión económica referente a la modificación de su infraestructura y la adquisición de equipos y métodos más eficientes para la obtención y el abastecimiento de aire comprimido en aras de suplir las necesidades de cada uno de sus procesos productivos.

Por consiguiente, este proyecto involucra cálculos para la generación del aire (compresor) y el rediseño de la red de suministro (tuberías y accesorios), con el objetivo de garantizar la optimización de los procesos que requieren dicha energía en la empresa.

METODOLOGÍA

Figura 1. Diagrama de la Metodología a Seguir Para la Ejecución del Proyecto



Fuente: *Elaboración propia*

La metodología utilizada para lograr los objetivos de proyecto está enfocada en cuatro pasos específicos para el rediseño de la red de aire comprimido:

- Inicialmente se diagnosticó mediante mediciones y cálculos los (cfm) requeridos en cada uno de los elementos y su total para el proceso de fabricación en el área de producción zootecnia.
- Se evaluó todo lo existente; características del compresor y el secador, los acumuladores de aire comprimido, los diámetros de la tubería principal, secundaria y de servicio, las cantidades y características de los accesorios (válvulas, reducciones de diámetro, codos, tee's) e identificar la configuración de la red actual.
- Luego de conocer las características y los requerimientos de cada equipo, se definió la configuración más apropiada para la red de aire comprimido (abierto, cerrado, mixto) para las etapas primaria, secundaria y de servicio, igual que las dimensiones de la tubería y sus accesorios que garantice las menores pérdidas en presión y caudal.
- Finalmente se elaboraron los planos y diagramas de flujos DTI's que soportan el proyecto y se pedirá a la empresa Lucta Grancolombiana SAS, que evalúe la viabilidad y asigne el presupuesto para su ejecución.

Con la ejecución de este proyecto se logrará garantizar el flujo volumétrico que se requiere (cfm) para satisfacer la demanda de cada elemento del proceso y con ello garantizar la optimización de los recursos, la reducción de costos de operación, costos de mantenimiento y una eficiencia energética.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. El aire

El aire es un elemento presente en la atmosfera de la tierra y está compuesto de esta manera: 20,94% de Oxígeno, 78,084 % de Nitrógeno y 1% otros gases y sustancias presentes en él. Es un gas sin olor, sin color y sin sabor, posee la característica física que se puede comprimir fácilmente, para usarse en la industria y en las actividades de nuestra vida cotidiana convirtiéndose en una de las energías más usadas y versátiles de la industria moderna. (wikimedia commons, 2016)

Figura 2. Componentes del Aire Atmosférico



Fuente: Elaboración propia

La humedad contenida en el aire comprimido debe ser evacuada con el fin de evitar daños prematuros en los sistemas y elementos de la red ya que generar corrosión esta humedad es conducida hacia los elementos neumáticos que lo requieren lo cual genera corrosión y daño en estos elementos.

1.2. Aire comprimido

Es una de las fuentes de energía más versátiles usadas en la industria, abarcando más del 25% del consumo energético; la finalidad de una instalación de aire comprimido es abastecer de presión, caudal y calidad de aire a los procesos y elementos que lo requieren con el fin de convertirlo en trabajo. Su uso en la industria es muy amplio y va desde la una simple herramienta neumática como taladros neumáticos, transporte neumático, robots entre muchos más.

El proceso de obtención del aire comprimido comienza con el uso de un compresor que toma el aire a presión atmosférica en condiciones de humedad y temperatura propias del lugar donde se opera, luego lo comprime a una presión predeterminada, posteriormente es tratado para separar o retener la humedad mediante un secador de aire, luego pasa por los filtros donde se logra retener las partículas de aceite, polvo y agua; finalmente es almacenado y distribuido por medio de tuberías. La buena práctica en su tratamiento, garantiza la disponibilidad de los equipos y elementos industriales, la seguridad en los procesos y la vida útil de los mismos (Ingemecánica, 2020).

1.3. Caudal de aire comprimido

Es la velocidad de la cantidad de aire comprimido que se transporta en una sección de tubería en un determinado tiempo, tomado en una sección de are transversal; su unidad de medida es el metro cúbico por segundo (m^3/s), también lo expresamos en litros por segundo (l/s), metros cúbicos por hora (m^3/h) o cfm; el valor de caudal depende de la presión y la longitud y el diámetro interno de la tubería.

El caudal es la cantidad de aire atmosférico que un compresor es capaz de comprimir para luego suministrar a través de una sección tubería y que se puede medir en ($m^3/hora$, m^3/min , l/min o l/s). La Norma ISO 1217 Anexo C y la DIN 1945 Parte1 Anexo F, determina como medir correctamente el caudal de aire (COMPRESORES KAESER)

1.4. Tratamiento del aire comprimido

El aire comprimido requiere un tratamiento de limpieza para ser usado como fuente de energía en los distintos elementos según los requerimientos de los equipos y del proceso mismo; Esto con el fin de garantizar las condiciones de operación, disminuir las fallas y prolongar la vida útil de los elementos neumáticos, además de garantizar la calidad de la producción cuando éste tiene contacto directo con el producto.

1.4.1. Calidad del aire comprimido (Norma ISO 8573-1)

Esta norma hace referencia a la calidad del aire comprimido y da los valores máximos de partículas admitidos para los elementos a controlar según sus requerimientos de aplicación en los elementos, equipos y procesos industriales como son: la humedad, el material particulado, y el contenido de aceite, con el fin de mantener un óptimo funcionamiento y garantizar la calidad de los procesos. (Atlas Copco, 2020)

Tabla 1. Norma ISO 8573-1:2010 Clasificación de la Calidad del Aire Comprimido

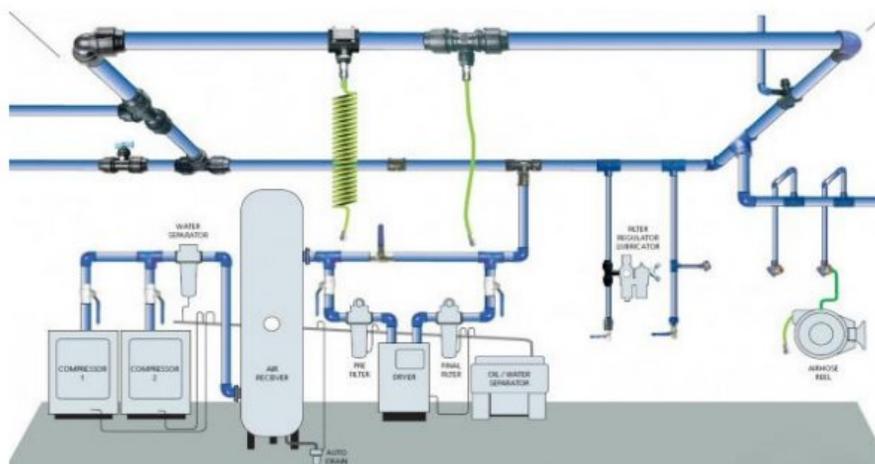
CLASE	PARTÍCULAS SÓLIDAS			AGUA		ACEITE	
	Máximo número de partículas por m ³			Concentración mg/m ³	Punto de Rocío a presión	Condensado líquido g/m ³	Concentración total (líquido, aerosol y vapor) mg/m ³
	0,1 - 0,5 micras	0,5 - 1 micras	1 - 5 micras				
0	Sujeto al acuerdo específico entre el usuario y el proveedor pero en valores más estrictos que la clase 1						
1	≤20.000	≤400	≤10		≤ -70°C		0,01
2	≤400.000	≤6.000	≤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 a 10		≤ 0,5	
8						0,5 - 5	
9						5,0 - 10	
X				>10		>10	>10

Fuente: Elaboración propia, Basado en (Atlas Copco, 2020)

1.5. Elementos de un sistema de aire comprimido

El aire es tomado de la atmósfera por el compresor quien lo comprime a una presión determinada; posterior a este proceso, es tratado mediante un secador de aire quien es el encargado de reducir la temperatura, retener la humedad, luego es filtrado, regulado y lubricado para abastecer los elementos neumáticos.

Figura 3. Representación de un Sistema de Aire Comprimido



Fuente: (Francisco Narváez, 2018). Representaci3n de un sistema de Aire Comprimido está disponible en: <https://www.colombiaproductiva.com/getattachment/1da39f8c-764c-48c6-957a-9c2f14b81e28/Memorias-sistema-de-aire-comprimido.aspx>

1.5.1. Compresor

Es el primer componente a tener en cuenta para el dimensionamiento y el dise˜o de una red de aire comprimido; se debe realizar el cculo de los consumos según los requerimientos del proceso para dimensionar la capacidad del compresor en la que se deberá tener en cuenta la capacidad actual y de reserva para ampliaciones futuras.

El compresor es el encargado de tomar el aire de exterior y que se encuentra a presi3n atmosférica para luego realizar el proceso de compresi3n y posteriormente enviarlo por tuberías hasta los puntos de servicio, el compresor asignado para abastecer de aire comprimido el área de producci3n zootecnia s3lidos de la empresa Lucta Grancolombiana SAS, es de la familia de los de desplazamiento positivo tipo tornillo referencia GA 22 marca Atlas Copco, posee una

potencia de 30 HP y su funcionamiento básicamente es de dos rotores ubicados paralelamente que giran en sentido opuesto dentro de una carcasa donde se toma aire a presión atmosférica y durante su paso por esta carcasa, se comprime incrementando su presión y por ende su temperatura.

Figura 4. *Compresor GA 22 Atlas Copco, Área de Producción Zootecnia Sólidos*



Fuente: *Foto en planta LGC / Mauricio Caicedo 2020*

1.5.2. Tipos de compresores

Se dividen según la forma de construcción y al caudal de suministro.

Tabla 2. *Tipos de Compresores Según su Principio de Compresión*

TIPOS DE COMPRESORES	Dinámicos	Eyector			
		Axial			
		Radial			
	De desplazamiento Positivo	Reciprocantes	Trunk		
			Crosshead		
			Labyrinth		
			Piston libre		
			Diafragma		
		Rotativos	Un eje	Paletas	
				Anillo líquido	
				Scroll	
			Dos ejes	Tornillo	
Meshing Tooth					

Fuente: *Elaboración propia*

1.6. Secador de aire

Es el encargado de realizar el secado del aire a presión después del proceso de compresión ya que el aire al incrementar su temperatura, aumenta su capacidad de contener agua que debe ser eliminada.

Figura 5. Secador Frigorífico FD60 Atlas Copco



Fuente: Foto en planta LGC / Mauricio Caicedo 2020

Los condensados generados en el proceso de refrigeración del aire comprimido durante el paso por el secador de aire, es evacuado mediante válvulas de purga; el volumen restante de este condensado en forma de niebla o micro gotas es llevado a la tubería y posteriormente debe ser evacuado mediante sistemas de drenaje en los acumuladores, unidades de mantenimiento en los equipos neumáticos ya que su presencia genera corrosión y daños internos en los elementos del sistema.

1.7. Tanques de almacenamiento de aire comprimido

Son elementos que permiten almacenar energía en forma de presión de aire y su finalidad es lograr un rendimiento energético de la estación de compresores, disminuyendo los ciclos de carga y descarga del compresor y reducir las fluctuaciones debido a los picos de demanda de presión en la red de aire que pueden representar el 1%; también sirve para reducir la cantidad de agua hacia el secador de aire. En una instalación nueva o antigua, se debe conocer la capacidad de almacenamiento con el fin maximizar y garantizar el tiempo estimado de servicio de los tanques de almacenamiento, además de contribuir en la disminución del consumo energético y gastos por mantenimiento en los compresores por daños anticipados.

El volumen real del tanque de almacenamiento, depende de un buen cálculo en las tuberías de la red de aire comprimido y las pérdidas que deben ser no mayor al 3%.

1.8. Red de distribución del aire comprimido

Es el circuito de tuberías y accesorios necesario para el transporte del aire comprimido hacia los equipos y elementos donde se requiere una presión, caudal y calidad según los requerimientos de cada componente neumático; la obtención del aire es costosa, por lo tanto, requiere de un diseño de ingeniería con el fin de evitar fallas en los elementos y eficiencia energética.

Para el diseño de una red de aire comprimido se deben tener en cuenta que la pérdida de carga sea mínima, y las fugas sean mínimas e instalar sistemas de purgas para drenar el agua en el recorrido de la red.

1.8.1. Tubería principal, secundaria y de servicio

- **La tubería principal.** Proviene directamente del sistema de generación de aire comprimido o depósito, esta tubería debe tener dimensionamiento para las proyecciones futuras de las áreas y/o procesos.
- **La tubería secundaria.** Son ramificaciones desde la tubería principal hacia las zonas de trabajo o servicio; el caudal de aire que se transporta en esta tubería es igual a la suma de los caudales principales.
- **Tubería de servicio.** Son líneas que suministran aire a las unidades de mantenimiento y desde allí a los equipos neumáticos.

1.9. Pérdidas en la red de aire comprimido

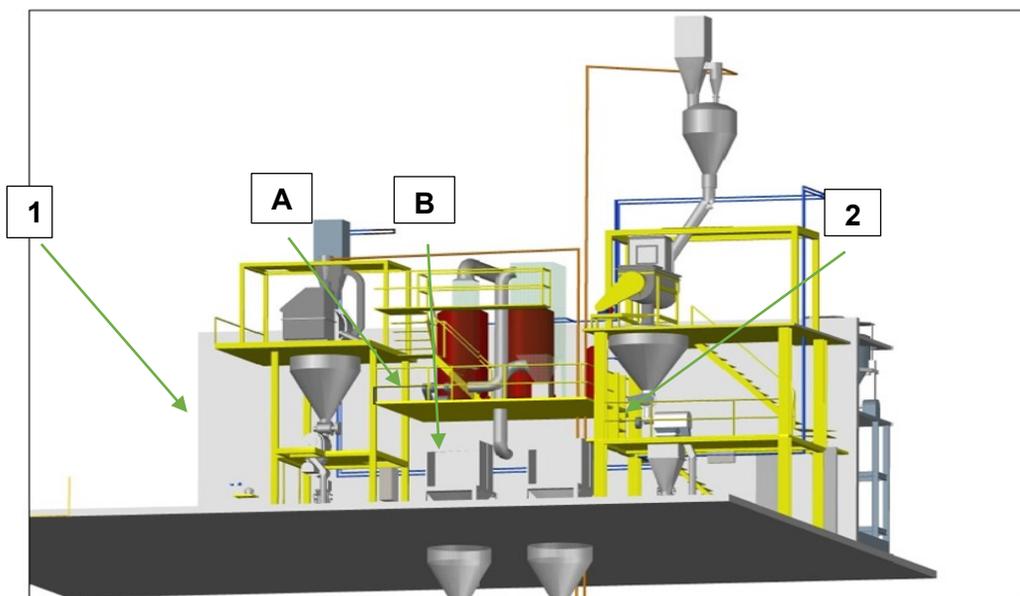
Las pérdidas en un sistema de aire comprimido deben considerarse como un gasto ya que es un consumo de energía que se puede evitar. Además, los mantenimientos en los compresores se incrementan debido a la demanda de aire constante ocasionada por las fugas, reduciendo así su tiempo de servicio por fallas prematuras en sus elementos internos; también afecta directamente el rendimiento en los equipos por baja presión, el ruido ocasionados por el escape de aire afecta considerablemente la salud de los operadores por aumento en los niveles de ruido.

Adicionalmente se incrementa el valor de generación, adicionalmente por cada 2 psi que se incrementa en la presión de operación, incrementa un 1% el costo en energía en la generación de aire comprimido.

2. DATOS ACTUALES DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO

A continuación, se relacionan los datos técnicos de los equipos de generación, tratamiento, contención y distribución de aire comprimido con el fin de conocer y dar un diagnóstico técnico de toda la red de aire comprimido para el proceso de producción zootecnia sólidos.

Figura 6. *Isométrico Planta de Producción Zootecnia Polvos*



Fuente: *Archivos LGC*

- (1) Proceso zootecnia polvos luctanox
- (2) Proceso zootecnia polvos luctamold
- (A) Sistema de extracción de polvos (filtro de mangas)
- (B) Acumuladores de aire comprimido

2.1. Datos técnicos del Compresor

El compresor que abastece aire comprimido al área de producción zootecnia sólidos es marca Atlas Copco con año de fabricación 1998 y según datos obtenidos en su hoja de vida, este equipo se le han realizado dos veces Overhaul externa por parte de la marca Atlas Copco y mantenimientos preventivos según su plan de mantenimiento por horas de trabajo.

Figura 7. *Compresor Asignado al Área de Producción Zootecnia Polvos*



Fuente: Foto en planta LGC / Mauricio Caicedo 2020

Tabla 3. *Datos Técnicos del Compresor de Aire Producción Zootecnia Sólidos.*

Identificación	Compresor Zootecnia Polvos
Marca	Atlas Copco
Modelo	GA22
Potencia Nominal	30 HP
Presión Máxima	110 psi

Fuente: *Elaboración propia*

2.2. Datos técnicos del secador de aire

El secador para el tratamiento del aire comprimido asignado al área de producción zootecnia sólidos es de marca Atlas Copco con año de fabricación 2015 y según su hoja de vida, sólo se registran mantenimientos preventivos.

Figura 8. Secador Frigorífico FD60 Atlas Copco Área Zootecnia Sólidos



Fuente: Foto en planta LGC / Mauricio Caicedo 2020

Tabla 4. Datos Técnicos del Secador de Aire Producción Zootecnia Sólidos

Identificación	Secador de Aire Zootecnia Polvos
Marca	Atlas Copco
Modelo	FD 60
Capacidad De Secado (cfm)	127
Presión Máxima	110 psi

Fuente: Elaboración propia

2.3. Acumuladores

El área de zootecnia solidos posee tres tanques acumuladores, que a su vez sirven para regular el funcionamiento del compresor y estabilizar la demanda en la red de aire comprimido, además de retener el condensado que es evacuado por medio de una válvula manual de purga.

Los tanques 1 y 2 están interconectados entre sí para abastecer de aire comprimido el proceso de transporte neumático y en sistema de filtrado por mangas; en tanque numero 3 es de menor capacidad volumétrica y está conectado a la red para los elementos neumáticos de mando y control del proceso.

Figura 9. *Acumuladores Asignados al Área de Producción Zootecnia Polvos*



Fuente: *Foto en planta LGC / Mauricio Caicedo 2020*

Tabla 5. Datos Técnicos Acumuladores de Aire

Identificación	Medidas (m)	Volumen (m ³)	Presión de Trabajo (psi)
Tanque 1	Diámetro 1,2 Altura 2,4	2,71	110
Tanque 2	Diámetro 1,2 Altura 2,4	2,71	110
Tanque 3	Diámetro 0,6 Altura 1,5	1,70	110
Volumen Total Acumulado (m³)		7,12	

Fuente: *Elaboración propia*

2.4. Cuarto de máquinas (generación y tratamiento del aire comprimido)

El cuarto del compresor y secador de aire, está dotado con un ventilador axial para la extracción de aire caliente generado por estos equipos durante su funcionamiento; allí se registran las siguientes temperaturas.

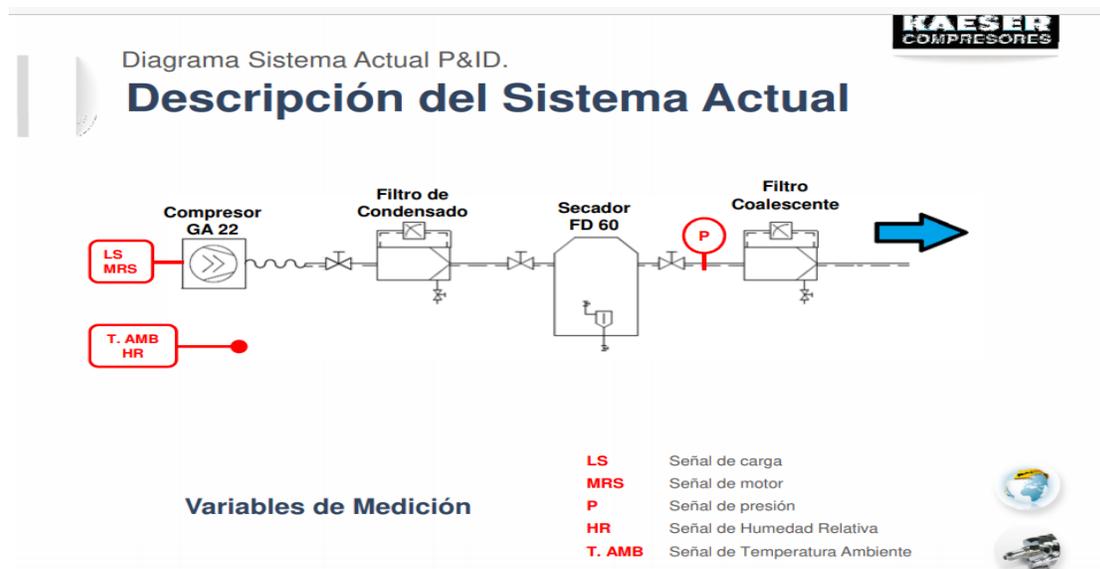
- Temperatura Ambiente Mínima: 15 °C.
- Temperatura Ambiente Máxima: 32 °C.

Este dato nos da un indicio de presencia de condensados en la línea de salida hacia el secador que lo sobrecarga y puede generar presencia de condensados en los tanques acumuladores y componentes de la red de aire comprimido.

2.5. Configuración de la red de aire actual

Dadas las condiciones del proceso y la distribución en planta del área de producción zootecnia polvos, se aprecia que la tubería está distribuida en forma de anillo abierto y según las demandas de flujos requeridos para los tres procesos (transporte neumático en fase diluida, sistema de filtración por mangas y los mandos neumáticos del sistema.

Figura 10. Diagrama actual del Sistema de Aire Comprimido



Fuente: Auditoría KAESER, realizada en zootecnia polvos 2020

3. PROCESOS QUE REQUIEREN AIRE COMPRIMIDO

La demanda de aire está distribuida en tres procesos (transporte neumático en fase diluida de presión positiva, sistemas de desempolvado de filtración por mangas y los requerimientos de los elementos neumáticos en los equipos; estos conforman la sumatoria de los cfm que el compresor debe suministrar.

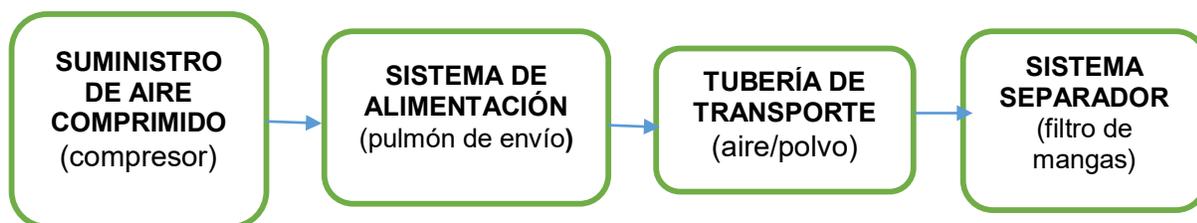
3.1. Proceso de transporte neumático en fase diluida

Es el proceso mediante el cual las partículas viajan homogéneamente por medio de tuberías desde un punto de origen hasta un punto final según la necesidad; el aire comprimido es requerido como energía para realizar el transporte neumático de las materias primas en fase diluida con presión positiva hacia los equipos de producción (tolvas y mezcladoras) por medio de tuberías.

El flujo en fase diluida es el más conocido y se caracteriza por altas velocidades de gas (mayores a 20 m/s), bajas concentraciones de sólidos (menores a 1% en volumen) y bajas pérdidas de carga por unidad de longitud de tubería (típicamente, menores a 5 mbar/m). (López, Diseño de las redes de aire comprimido y transporte neumático en un astillero)

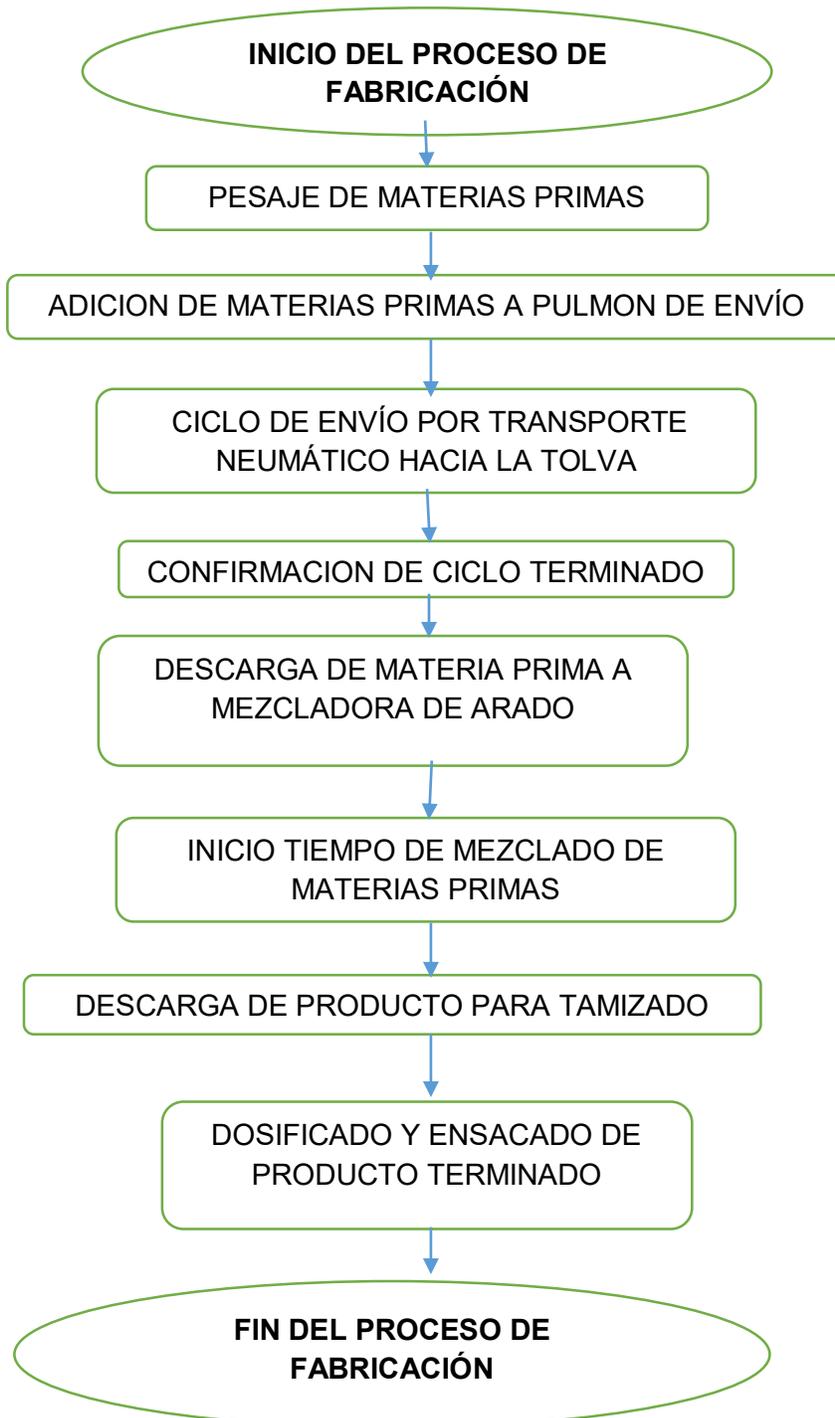
Este proceso abarca una serie de componentes y equipos para realizar su función de transportar las materias primas hacia el proceso según la necesidad de la producción.

Figura 11. Componentes Para el Transporte Neumático por Presión Positiva



Fuente: *Elaboración propia*

Figura 11. *Procesos de Producción Zootecnia Luctamold y Luctamold*



Fuente: *Elaboración propia*

3.2. Proceso de fabricación luctamold

Este proceso consiste en transportar desde un tanque pulmón mediante el método de transporte neumático en fase diluida, todas las materias primas sólidas por medio de tubería hasta la mezcladora ubicada a una altura de 12 metros y allí realizar el proceso de mezclado de las materias primas, dando origen a un producto terminado para la línea de la nutrición animal que garantiza el valor nutritivo del alimento además de evitar la aparición de micro toxinas en materias primas y pienso compuestos.

El proceso de transporte neumático, busca disminuir las molestias físicas causadas por la manipulación de cargas por parte de los operadores, además de versatilidad y eficiencia en la productividad.

En la siguiente tabla, se observan las materias primas transportadas mediante el método de transporte neumático en fase diluida a presión positiva para el proceso de fabricación zootecnia polvos luctamold.

Tabla 6. *Materias Primas para Fabricación Proceso Luctamold*

Ítem	Materias Primas Proceso Luctamold	Densidad Aparente (g/l)	Densidad Compactada (g/l)	Ph	Tamaño de Partícula (mm)
1	Hidrosal (Sal Zootecnia)	1092	1268	6,5	-
2	Apetente	210	190	5,8	-
4	Ácido Cítrico Anhidro	-	-	-	0,85
5	Ácido Tartárico	850	-	-	< 0,25
6	Ácido Málico	-	-	-	0,85 A 1

Fuente: *Elaboración propia*

3.3. Proceso de fabricación luctanox

Este proceso es igual al proceso de luctamold, con la diferencia de las distancias en la tubería para transportar las materias primas.

En la siguiente tabla, damos a conocer las materias primas transportadas mediante el método de transporte neumático en fase diluida a presión positiva para el proceso de fabricación zootecnia polvos luctanox.

Tabla 7. Materias Primas para Fabricación Proceso Luctanox

Ítem	Materias Primas Proceso Luctanox	Densidad Aparente (g/l)	Densidad Compactada (g/l)	pH	Tamaño de Partícula (mm)
1	Sacarina Sódica Pulverizada	740	830	6,0	-
2	Ácido Cítrico Anhidro	-	-	-	0,85
3	Carbonato de Calcio	925	1221	-	0,005
4	Azúcar Pulverizada	500	-	-	0,025
5	Pirofosfato Tetra Sódico	-	-	10,2	0,85
6	Dextrosa	-	-	4,0	2,0
7	Propilgalato	-	-	-	0,85
8	Stevioside	-	-	-	0,05

Fuente: *Elaboración propia*

3.4. Sistema de filtración por mangas

Son sistemas diseñados para realizar la separación de partículas en suspensión (polvos-aire) mediante filtros tipos mangas, con el fin de lograr la limpieza del aire hacia la atmosfera eliminando su contaminación y así cumplir las leyes ambientales sobre la calidad del aire además de brindar las condiciones de higiene y seguridad en las áreas de producción. Este proceso funciona por medio de pulsos de aire de corta duración, directos, automáticos y programados en el PLC; que garantiza la limpieza de las mangas durante todo el tiempo de funcionamiento del área de producción zootecnia polvos, además de lograr reducir la contaminación por material particulado en el área.

3.5. Elementos neumáticos

Los sistemas y elementos neumáticos usados en el proceso requieren aire tratado ya que estos pueden sufrir averías o daños durante su funcionamiento; están compuestos por unidades de mantenimiento FR+L, electroválvulas, válvulas de accionamiento manual, cilindros de doble efecto, sensores de presión entre otros.

4. CÁLCULOS DE LOS CONSUMOS ESTIMADOS EN LA RED ACTUAL

En este capítulo se da a conocer los consumos en cfm parciales por procesos (**transporte neumático, sistema de filtración por mangas y elementos neumáticos**), esta sumatoria de consumos se multiplica por un factor de simultaneidad y por la cantidad de carga teórica;

finalmente se logra dar un diagnóstico sobre la capacidad del compresor, capacidad de los acumuladores de aire y el diseño de la red actual.

4.1. Cálculos de las pérdidas y consumos para el transporte neumático

A continuación, se realizan los cálculos para hallar las pérdidas y los consumos de aire en cfm para realizar el transporte neumático de las diferentes materias primas que se requieren en los procesos de producción de Luctanox y Luctamold; para hallar las pérdidas de presión y velocidades de flujos apoyado en las ecuaciones empíricas encontradas en tesis de grado “Estudio de métodos de dimensionado y diseño de instalaciones de transporte neumático de sólidos en fase dispersa” que abordan el tema sobre el transporte neumático. (Martín, 2015)

Inicialmente se tomó un registro de tiempos de las cantidades de materias primas transportadas y se elaboró la tabla de los datos correspondientes para hallar los cálculos de consumos y pérdidas.

Para los cálculos se tomaron las materias primas de referencia (Sal y Carbonato de Calcio) las cuales poseen densidades y tamaños de granos considerables, además de ser de mayor volumen en ser transportadas (por encima de 500 kg) por cada envío.

Las distancias oscilan entre (14 y 8 m) en línea vertical y (5 y 8 m) en línea horizontal además de poseer dos codos a 90°, (en cada proceso) luctamold y luctanox; el fluido a usar es aire a presión de 110 psi a temperatura ambiente aproximada de 20°C y una tubería con diámetro de 2 ½ in=0.063m, correspondiente para transportar aproximadamente 6.000kg/h de sal y 14.700kg/h de Carbonato de calcio por hora según los procesos de fabricación simultáneos.

La siguiente tabla muestra los datos de los tiempos obtenidos durante los envíos de materias primas hacia el proceso de fabricación mediante el método de transporte neumático, se hace referencia en el tiempo requerido para transportar la Sal y Carbonato de Calcio para cada envío de fabricación en los dos procesos (luctamold y luctanox); teniendo en cuenta que los dos procesos requieren transportar distintas materias primas.

Tabla 8. Transporte Neumático - Materias Primas Zootecnia Luctamold

Número del Envío	Producto	Cantidad (kg)	Duración del Envío en (s)
1	Apetente	200	160
2	Sal	550	376
3	Apetente	200	171
4	Sal	550	384
5	Apetente	200	160
6	Sal	550	371
7	Apetente	200	175
8	Sal	550	364
9	Apetente	200	165

Fuente: *Elaboración propia*

Tabla 9. Transporte Neumático - Materias Primas Zootecnia Luctanox

Número del Envío	Producto	Cantidad (kg)	Duración del Envío en (s)
1	Carbonato de Calcio	655	161
2	Carbonato de Calcio	655	163
3	Carbonato de Calcio	655	146
4	Carbonato de Calcio	655	159
5	Carbonato de Calcio	655	155
6	Carbonato de Calcio	655	159
7	Carbonato de Calcio	655	162
8	Carbonato de Calcio	655	160

Fuente: *Elaboración propia*

4.1.1. Cálculo de las pérdidas zootecnia polvos luctamold

Para los siguientes cálculos se realizan basados en la tesis de grado “Estudio de métodos de dimensionado y diseño de instalaciones de transporte neumático de sólidos en fase dispersa” (Martín, 2015), también de la tesis de grado “Diseño de las redes de aire comprimido y transporte neumático en un astillero” (López). En estos documentos se encuentra la metodología a seguir para el análisis de los métodos teóricos y empíricos de dimensionado de instalaciones de transporte neumático de sólidos en fase dispersa (también denominada fase diluida).

Tabla 10. Características Físicas de la Sal

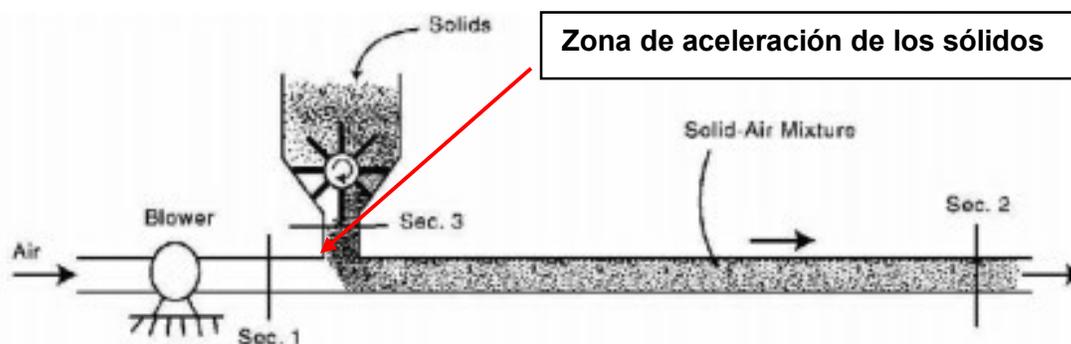
Magnitud		Valor	Unidad
Gravedad	g	9.81	(m/s ²)
Flujo Másico del Sólido	\dot{m}_p	1.47	(kg/s)
Tamaño de Partícula	X	0.0001	(m)
Densidad de la Partícula Sólida de Sal	$\rho_{particula}$	2160	(kg/m ³)
Longitud Vertical de la Tubería	$L_{Vertical}$	16	(m)
Longitud Horizontal de la Tubería	$L_{Horizontal}$	5	(m)
Variación de la Presión Máxima	ΔP_{max}	0.55	(bar) kg/cm ²
Densidad del Gas (Aire)	ρ_f	1.2	(kg/m ³)
Coefficiente de Viscosidad Dinámica	μ	1.84e-5	(Pa*s) o kgm/s
Diámetro en Pulgadas	\emptyset	2 ½	(in)
Diámetro en Metros	\emptyset	0.063	(m)
Área	A	0.0031	(m ²)
Número de Codos a 90° en la Tubería	N_{Codos} (a 90°)	2	-

Fuente: *Elaboración propia*

4 Cálculo de la velocidad de sedimentación (o de ruptura) (V_{salt}) de la Sal

La velocidad de sedimentación es la velocidad de partida de las partículas sólidas (aceleración) producidas por el efecto Venturi del aire a presión donde se origina el transporte neumático de presión positiva.

Figura 12. Inicio del transporte neumático fase diluida (velocidad de desprendimiento)



Fuente: (Martín, 2015)

Fuente: Para efectos de este proyecto hemos tomados las fórmulas para los cálculos de las variables: Tesis de Grado (Universidad Politécnica de Cartagena) “Diseño de las redes de aire comprimido y transporte neumático en un astillero” (López)

Cálculo de la velocidad de sedimentación (o de ruptura) (V_{salt})

$$\frac{\dot{m}_p}{\rho_f * V_{salt} * A} = \left[\frac{1}{10^{(1440 * x + 1.96)}} \right] * \left[\frac{V_{salt}}{\sqrt{g * \emptyset}} \right]^{(1100x + 2.5)} \quad 1$$

$$V_{salt} = 17.79 \text{ m/s}$$

Fuente: (López) <https://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/5707/tfe-par-dis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

V_{salt} = velocidad de sedimentación (m/s)

\dot{m}_p = Flujo másico del sólido (kg/s)

ρ_f = Densidad del gas (kg/m³)

\emptyset = Diámetro de la tubería (m)

g = Gravedad (m/s²)

- **Para calcular la velocidad superficial del gas V_f** , se multiplica por 1,5 para asegurar suficiente caudal de aire.

$$V_f = 25.2 \text{ m/s}$$

V_f = Velocidad Superficial del gas (m/s)

2. Cálculo caída de presión en el tramo horizontal

Altura “A” (5metros)

$$p_1 - p_2 = \frac{1}{2} \varepsilon \rho_f V_{fi}^2 + \frac{1}{2} (1 - \varepsilon) \rho_p V_{pi}^2 + F_{fw} L + F_{pw} L + (1 - \varepsilon) g \sin \theta + \varepsilon L \rho_f g \sin \theta = 0 \quad 2$$

Fuente: (López) <https://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/5707/tfe-par-dis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Para el tramo horizontal: seno (90°) = 0

$$p_1 - p_2 = \frac{1}{2} \varepsilon \rho_f V_{fi}^2 + \frac{1}{2} (1 - \varepsilon) \rho_p V_{pi}^2 + F_{fw}L + F_{pw}L = 0$$

p_1, p_2 = Presiones en la tubería

ε = Porosidad

ρ_f = Densidad del gas (kg/m³)

ρ_p = Densidad de una partícula sólida (kg/m³)

$\sin \theta$ = Ángulo de la tubería

g = Gravedad (m/s²)

$F_{fw}L$ = Factor de fricción corregido del gas

L = Longitud de la tubería (m)

- **Cálculo de la velocidad intersticial de la partícula sólida (V_{pi})**

$$V_{pi} = V_f (1 - 0.0638x^{0.3} \rho_p^{0.5}) \quad 3$$

Fuente: (López) <https://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/5707/tfe-par-dis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

$$V_{pi} = 20.48 \text{ m/s}$$

V_{pi} = Velocidad intersticial de la partícula sólida (m/s)

V_f = Velocidad Superficial del gas (m/s)

ρ_p = Densidad de una partícula sólida (kg/m³)

x = Tamaño de la partícula (m)

- **Cálculo de la porosidad (ε)**

$$\dot{m}_p = AV_{pi}(1 - \varepsilon)\rho_p \quad 4$$

Fuente: (López) <https://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/5707/tfe-par-dis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Porosidad

$$\varepsilon = 1 - \frac{\dot{m}_p}{AV_{pi}\rho_p}$$

$$\varepsilon = 0.9895$$

ε = Porosidad

\dot{m}_p = Flujo másico del sólido (kg/s)

ρ_p = Densidad de una partícula sólida (kg/m³)

A= Área (m²)

V_{pi} = Velocidad intersticial de la partícula sólida (m/s)

Fuente: Para efectos de este proyecto hemos tomados las fórmulas para los cálculos de las variables: Tesis de Grado (Universidad Politécnica de Cartagena) “Diseño de las redes de aire comprimido y transporte neumático en un astillero” (López).

- **Cálculo de la velocidad intersticial del gas (V_{fi})**

6

$$V_{fi} = \frac{Q_f}{A * \varepsilon} = \frac{V_f}{\varepsilon}$$

$$V_{fi} = 25.46 \text{ m/s}$$

V_{fi} = Velocidad intersticial del gas (m/s)

V_f = Velocidad Superficial del gas (m/s)

A= Área (m²)

ε = Porosidad

- **Cálculo de $F_{fw} L$ (m/s²) – Término 3 (Factor de fricción intersticial del gas)**

$$f = 64/Re_D \text{ para } Re_D \leq 2 * 10^3$$

7

$$f = 0.184 * Re_D^{-1/5} \text{ para } Re_D > 2 * 10^4$$

$$f = 0.184 * Re_D^{-1/5} \text{ para } 2 * 10^3 < Re_D \leq 2 * 10^4$$

$$Re_D = \frac{\rho_f V \phi}{\mu}; \text{ se usa la velocidad superficial } V_f$$

$$Re_D = 104352.88$$

$$f_g = 0.00456$$

Re_D = Numero Reynolds de una partícula

V_f = Factor de fricción del gas

f = Factor de fricción de Fanning

ρ_f = Densidad del gas (kg/m³)

V = Velocidad dinámica (m/s)

ϕ = Diámetro de la tubería (m)

μ = Coeficiente de viscosidad dinámica

L = Longitud de la tubería (m)

- **Factor de fricción intersticial del gas**

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{2f\rho_f V^2}{\phi}; \text{ se usa la velocidad superficial } V_f$$

$$F_{fw} L = 547.27 \text{ Pa } 0.0793 \text{ psi}$$

8

$F_{fw} L$ = Factor de fricción corregido del gas (Pa)

Re_D = Numero Reynolds de una partícula

f_g = Factor de fricción del gas

ρ_f = Densidad del gas ((kg/m³)

L = Longitud de la tubería (m)

- **Cálculo de $F_{pw} L$ – Término 4 (factor de fricción corregido de los sólidos)**

$$F_{pw}L = \frac{2f_p(1-\varepsilon)\rho_p V_{pi}^2 L}{\phi} \quad f_p = \frac{3\rho_f \phi}{8\rho_p x} C_D \left(\frac{V_{fi} - V_{pi}}{V_{pi}} \right)^2 \quad Re_p = \frac{\rho_f (V_{fi} - V_{pi}) x}{\mu}$$

$$C_D = \frac{24}{Re_p} \text{ para } Re_p < 1 \quad 9$$

$$C_D = 18.5 Re_p^{-0.6} \text{ para } 1 < Re_p < 500$$

$$C_D = 0.44 \text{ para } 500 < Re_p < 2 * 10^5$$

$$Re_p = 32.49$$

$$C_D = 2.29$$

$$f_p = 0.0179$$

C_D = Coeficiente de arrastre de un sistema multi-partícula

Re_p = Numero Reynolds de una partícula de gas

f_p = Factor de fricción del sólido

L = Longitud de la tubería (m)

$$F_{pw} L = 26845.87 \text{ Pa} = 3.8936 \text{ psi}$$

$F_{fw} L$ = Factor de fricción corregido del gas (Pa), (calculado en el tramo vertical)

Fuente: Para efectos de este proyecto hemos tomados las fórmulas para los cálculos de las variables: Tesis de Grado (Universidad Politécnica de Cartagena) “Diseño de las redes de aire comprimido y transporte neumático en un astillero” (López).

- **Cálculo término 1 (presión dinámica del gas V_{fi}^2)**

$$\frac{1}{2} \varepsilon \rho_f V_{fi}^2 \quad 10$$

$$\text{Término 1} = 385 \text{ Pa} = 0.055 \text{ psi}$$

V_{fi}^2 = Velocidad dinámica del gas (m/s)

f_p = Factor de fricción del sólido

ε = Porosidad

- **Cálculo término 2 (Presión dinámica de los sólidos V_{pi}^2)**

$$\frac{1}{2}(1 - \varepsilon)\rho_p V_{pi}^2$$

11

Término 2= 4754.01 Pa =0.689 psi

V_{fi}^2 = Velocidad dinámica de una partícula (m/s)

f_p = Factor de fricción del sólido

ε = Porosidad

- **Cálculo ΔP horizontal total, es la suma de los términos 1+2+3+4**

$$\Delta P_{hor} = 32532.16 \text{ Pa} = 4.718 \text{ psi}$$

ΔP_{hor} = Caída de presión en el tramo horizontal.

- **Tramo vertical, balance de energía mecánica en el sistema**

$$p_1 - p_2 = \frac{1}{2}\varepsilon\rho_f V_{fi}^2 + \frac{1}{2}(1 - \varepsilon)\rho_p V_{pi}^2 + F_{fw}L + F_{pw}L + (1 - \varepsilon)L\rho_p g + \varepsilon L\rho_f g = 0$$

$$p_1 - p_2 = F_{fw}L + F_{pw}L + (1 - \varepsilon)L\rho_p g + \varepsilon L\rho_f g = 0$$

12

p_1, p_2 = Presiones en la tubería (Pa, bar)

ε = Porosidad

ρ_f = Densidad del gas (kg/m³)

ρ_p = Densidad de una partícula sólida (kg/m³)

$\sin \theta$ = Ángulo de la tubería

g = Gravedad (m/s²)

L = Longitud de la tubería (m)

$F_{pw} L$ = Factor de fricción corregido del gas (Pa), (calculado en el tramo vertical)

Los dos primeros términos de la ecuación de pérdida de presión son más dominantes en el cálculo del transporte horizontal que en el vertical.

- **Cálculo de $F_{gw} L$ – Término 3 (Factor de fricción corregido del gas)**

Este término se calcula igual que el tramo horizontal, solo cambia la longitud de tubería

$$F_{gw} L = 1751.25 \text{ Pa} = 0.253 \text{ psi}$$

$F_{fw} L$ = Factor de fricción corregido del gas (Pa), (calculado en el tramo horizontal)

Fuente: Para efectos de este proyecto hemos tomados las fórmulas para los cálculos de las variables: Tesis de Grado (Universidad Politécnica de Cartagena) “Diseño de las redes de aire comprimido y transporte neumático en un astillero” (López).

- **Cálculo de $F_{fw} L$ – Término 4 (Factor de fricción corregido de los sólidos)**

$$F_{pw}L = 0.057GL\sqrt{\frac{g}{\phi}} \quad 13$$

$F_{fw} L$ = Factor de fricción corregido de los sólidos (Pa)

G = Flujo másico de sólidos por unidad de área $\text{kg/m}^2\cdot\text{s}$

g = Gravedad (m/s^2)

ϕ = Diámetro de la tubería (m)

A = Área (m^2)

L = Longitud de la tubería (m)

\dot{m}_f = Flujo másico del gas (kg/s)

Flujo másico de sólidos por unidad de área

$$G = \frac{\dot{m}_f}{A} \quad 14$$

$$G = 464.17 \text{ Kg/m}^2\cdot\text{s}$$

- Factor de fricción corregido de los sólidos:

$$F_{fw} L = 5261.66 \text{ Pa}$$

$F_{fw} L$ = Factor de fricción corregido de los sólidos (Pa)

- **Cálculo término 5 (energía potencial corregido de la Sal)**

$$(1 - \varepsilon)L\rho_p g$$

L= Longitud de la tubería (m)

ε = Porosidad

g= Gravedad (m/s²)

Para realizar este cálculo es necesario estimar la porosidad en la línea de transporte vertical; Se necesita evaluar la (*Velocidad Superficial del gas* V_f) para la línea vertical. Si se asume que las partículas se comportan individualmente. La velocidad relativa puede asumirse igual a la velocidad terminal (Velocidad superficial del sólido V_t), es decir:

$$V_{pi} = \frac{V_f}{\varepsilon} - V_t \quad \dot{m}_p = AV_{pi}(1 - \varepsilon)\rho_p \quad 15$$

V_{pi} = Velocidad intersticial de una partícula sólida (m/s)

\dot{m}_p = Flujo másico del sólido (kg/s)

V_t = Velocidad terminal

V_f = Velocidad superficial del gas (m/s)

A= Área (m²)

ρ_p = Densidad de la partícula (kg/m³)

ε = Porosidad

- Al relacionar estas dos expresiones se obtiene, Velocidad intersticial de una partícula sólida

$$\dot{m}_p = A \left(\frac{V_f}{\varepsilon} - V_t \right) (1 - \varepsilon)\rho_p \quad 16$$

Considerando la partícula como esfera, se puede hallar V_t y por ende la velocidad.

$$V_t = \sqrt{\frac{4(\rho_p - \rho_f)gx}{3C_D\rho_f}} \quad Re_p = \frac{\rho_f * V_t}{\mu} \quad 17$$

$$C_D = \frac{24}{Re_p} \text{ para } Re_p < 1$$

$$C_D = 18.5Re_p^{-0.6} \text{ para } 1 < Re_p < 500$$

$$C_D = 0.44 \text{ para } 500 < Re_p < 2 * 10^5$$

V_{pi} = Velocidad relativa (m/s)

V_t = Velocidad superficial del sólido (m/s)

C_D = Coeficiente de arrastre de un sistema multi-partícula

Re_p = Numero Reynolds de una partícula de gas

ε = Porosidad

V_{pi} = Velocidad Superficial del gas

V_{fi} = Velocidad intersticial del gas (m/s)

V_f = Velocidad Superficial del gas (m/s)

\dot{m}_f = Flujo másico del gas (kg/s)

ρ_p = Densidad del sólido (kg/m³)

Tabla 11. Iteraciones para Hallar la Velocidad Terminal del Transporte (V_t)

Velocidad Superficial del Gas (m/s)	Número de Reynolds de una Partícula	Coeficiente de Arrastre de un Sistema Multi-partícula	Velocidad Superficial del Sólido (m/s)
V_t	Re_p	C_D	V_t
0,6	3,91304348	8,159488306	0,53701695
0,53701695	3,50228444	8,720891427	0,51944433
0,51944433	3,38768044	8,896727042	0,51428555
0,51428555	3,35403618	8,950165834	0,51274793
0,51274793	3,34400821	8,966259976	0,51228754

Fuente: *Elaboración propia*

$$\varepsilon = 0.991 \text{ error} = 1.038 \text{ e-5}$$

$$\text{Término 5} = 2925.35$$

- **Cálculo término 6 (energía potencial corregido del gas)**

$$\varepsilon L \rho_f g$$

18

$$\text{Término 6} = 186.73$$

- **Cálculo ΔP vertical total**

- $\Delta P_{\text{ver}} = 10124.99 \text{ Pa} = 1.468 \text{ psi}$

ΔP_{vert} = Variación de presión en la tubería vertical (Pa, bar)

- **Número de Codos**

$$\Delta P_{\text{codos}} = \# \text{codos} * 7.5 * \frac{\Delta P_{\text{vert}}}{L_{\text{vert}}}$$

19

ΔP_{codos} = Variación de la presión en los codos (Pa, bar)

L_{vert} = Longitud de la tubería vertical (m)

$$\Delta P_{\text{codos}} = 9492.17 \text{ Pa} = 1.4685 \text{ psi}$$

Fuente: Para efectos de este proyecto hemos tomados las fórmulas para los cálculos de las variables: Tesis de Grado (Universidad Politécnica de Cartagena) "Diseño de las redes de aire comprimido y transporte neumático en un astillero" (López).

- **Pérdida de presión total en la tubería, producción zootecnia lactamold**

$$\Delta P_{\text{tot}} = \Delta P_{\text{hor}} + \Delta P_{\text{vert}} + N_{\text{Codos}}$$

20

ΔP_{tot} = Variación de la presión total (Pa)

ΔP_{vert} = Variación de presión en la tubería vertical (Pa)

ΔP_{hor} = Variación de presión en la tubería vertical (Pa)

N_{Codos} = Numero de codos

Finalmente, la pérdida de carga de todo el sistema de transporte neumático para el área de zootecnia lactamold será la sumatoria de las pérdidas calculadas:

$$\Delta P_{\text{tot}} = 32730,16 + 10124.99 + 9492.17 \text{ (Pa)}$$

21

ΔP_{tot} = Variación de la presión total (Pa)

- **Variación total de la presión**

$$\Delta P_{\text{tot}} = 52149.32 \text{ Pa} = 0.52 \text{ bar} = 7.563 \text{ psi}$$

ΔP_{tot} = Variación de la presión total (Pa)

4.1.1. Resumen valores de caída de presión y consumos zootecnia luctamold

La siguiente tabla nos muestra los valores de la variación de presión, la velocidad y el caudal de aire comprimido durante el transporte neumático de los dos procesos de fabricación luctamold; aclarando que los valores son considerados en un proceso continuo y dadas las condiciones, un turno de producción consta de 8 horas y durante éste se realiza la fabricación de 13 ciclos de fabricación.

Para conocer el valor total de los cfm de aire comprimido tomamos las siguientes consideraciones del proceso:

- Turno de producción= 8 horas
- Numero de envíos= 13 envíos
- Promedio de tiempo en el envío= 258,44 segundos
- Presión de trabajo= 100 psi
- Temperatura= 20 °C

La demanda de aire que requiere el proceso de fabricación zootecnia polvos luctamold para el proceso de transporte neumático es de (170,00 cfm) para el proceso de fabricación de zootecnia luctamold, en el turno de producción de 8 horas, valor que se puede apreciar en la siguiente tabla.

Tabla 12. Valores de Consumo de aire comprimido Zootecnia Luctamold

Variación Total de la Presión ΔP_{to}	Velocidad Final de Aire V_f	Caudal Final Q_f		
(psi)	(m/s)	(m ³ /s)	(m ³ /h)	Cfm
7,56	25,2	0,083	299,89	176,508

Fuente: *Elaboración propia*

4.1.2. Cálculo transporte neumático por presión positiva zootecnia luctanox

Para los cálculos de transporte neumático por presión positiva en producción zootecnia polvos luctanox, basado en el mismo procedimiento y fórmulas que se usaron para los cálculos en producción zootecnia luctamold ya que son procesos de transporte neumático por presión positiva, con diámetros en tubería idénticos, solo cambia las longitudes de la tubería.

Tabla 13. Características Físicas del Carbonato de Calcio

Magnitud		Valor	Unidad
Gravedad	g	9.81	(m/s ²)
Flujo Másico del Sólido	ṁp	1.47	(Kg/s)
Tamaño de Partícula	X	0.0001	(m)
Densidad de la Partícula Sólida de Carbonato de Calcio	ρ_{partícula}	2160	(kg/m ³)
Longitud Vertical de la Tubería	L_{Vertical}	10	(m)
Longitud Horizontal de la Tubería	L_{Horizontal}	8	(m)
Variación de la presión máxima	ΔP_{max}	0.55	(bar)
Densidad del gas (aire)	ρ_f	1.2	(Kg/m ³)
Coefficiente de viscosidad dinámica	μ	1.84e-5	(Pa*s) o kgm/s
Diámetro en Pulgadas	Ø	2 ½	(in)
Diámetro en metros	Ø	0.063	(m)
Área	A	0.0031	(m ²)
Número de codos a 90° en la tubería	N_{Codos (a 90°)}	2	-

Fuente: *Elaboración propia*

Fuente: *Para efectos de este proyecto hemos tomados las fórmulas para los cálculos de las variables: Tesis de Grado (Universidad Politécnica de Cartagena) "Diseño de las redes de aire comprimido y transporte neumático en un astillero" (López).*

1. Cálculo de la velocidad de sedimentación (V_{salt}) Transporte horizontal (10 metros)

$$V_{\text{salt}} = 16.8 \text{ m/s}$$

V_{salt} = velocidad de sedimentación (m/s)

$$V_{\text{pi}} = 20.48 \text{ m/s}$$

V_{pi} = Velocidad intersticial de la partícula

$$\varepsilon = 0.989$$

ε = Porosidad

$$V_{\text{fi}} = 25.46 \text{ m/s}$$

V_{fi} = Velocidad intersticial del gas

- **Cálculo de $F_{\text{fw}} L$ – Término 3**

$$Re_D = 104352.90$$

Re_D = Numero Reynolds de una partícula

$$f_g = 0.00456$$

f_g = Factor de fricción del gas

$$F_{\text{fw}} L = 875.63 \text{ Pa} = 0.126 \text{ psi}$$

$F_{\text{fw}} L$ = Factor de fricción corregido del gas (Pa)

- **Cálculo de $F_{\text{pw}} L$ – Término 4**

$$Re_p = 32.50$$

Re_D = Numero Reynolds de una partícula

$$C_D = 2.29$$

C_D = Coeficiente de arrastre de un sistema multi-partícula

$$f_p = 0.0179$$

f_p = Factor de fricción de la partícula solida

$$F_{\text{pw}} L = 42953.4 \text{ Pa} = 6.229 \text{ psi}$$

$F_{pw} L$ = Factor de fricción corregido de la partícula sólida (Pa)

- **Cálculo término 1**

Término 1= 385

Cálculo término 2

Término 2= 4754.01

- **Cálculo ΔP horizontal total (8 metros)**

ΔP_{hor} = 48968.04Pa = 7.1022psi

ΔP_{hor} = Variación de la presión en la tubería horizontal

- **Tramo vertical (10 metros)**

- **Cálculo de $F_{fw} L$ – Término 3**

$F_{fw} L$ = 1094.53Pa = 0.158psi

$F_{fw} L$ = Factor de fricción corregido del gas (Pa)

- **Cálculo de $F_{pw} L$ – término 4**

G = 464.17 Kg/m²*s

G = Flujo másico de sólidos por unidad de área (kg/m²*s)

$F_{fw} L$ = 3288.54

$F_{fw} L$ = Factor de fricción corregido del gas (Pa)

Tabla 14. Iteraciones para Hallar la Velocidad Terminal del Transporte (V_t)

Velocidad Superficial del Gas (m/s)	Número de Reynolds de una Partícula	Coefficiente de Arrastre de un Sistema Multi-partícula	Velocidad Superficial del Sólido (m/s)
V_t	Rep	C_D	V_t
0,6	3,91304348	8,15948831	0,53701695
0,53701695	3,50228444	8,72089143	0,51944433
0,51944433	3,38768044	8,89672704	0,51428555
0,51428555	3,35403618	8,95016583	0,51274793
0,51274793	3,34400821	8,96625998	0,51228754

Fuente: Elaboración propia

Fuente: Para efectos de este proyecto hemos tomados las fórmulas para los cálculos de las variables: Tesis de Grado (Universidad Politécnica de Cartagena) “Diseño de las redes de aire comprimido y transporte neumático en un astillero” (López).

- **Cálculo término 5**

$$\epsilon = 0.991; \text{error} = 1.039e-5$$

ϵ = porosidad

- **Cálculo término 5:**

$$\text{Término 5} = 1828.34$$

- **Cálculo término 6:**

$$\text{Término 6} = 116.7$$

- **Cálculo ΔP vertical total:**

$$\Delta P_{\text{ver}} = 6328.12 \text{ Pa} = 0.917 \text{ psi}$$

ΔP_{ver} = Variación de presión en la tubería vertical (Pa, psi)

- **Cálculo número de Codos (2):**

$$\Delta P_{\text{codos}} = 9492.17 \text{ Pa} = 1.376 \text{ psi}$$

ΔP_{codos} = Variación de la presión en los codos (Pa, psi)

- **Pérdida de presión total en la tubería, producción zootecnia luctanox**

$$\Delta P_{\text{tot}} = \Delta P_{\text{hor}} + \Delta P_{\text{vert}} + N_{\text{Codos}}$$

$$\Delta P_{\text{tot}} = 32730.16 + 10124.99 + 9492.17 \text{ (Pa)}$$

ΔP_{tot} = Variación total de la presión (Pa)

ΔP_{ver} = Variación de presión en la tubería vertical (Pa)

ΔP_{hor} = Variación de presión en la tubería vertical (Pa)

N_{Codos} = Numero de codos

- **Variación total de la presión**

$$\Delta P_{\text{tot}} = 64788.33 \text{ Pa} = 0.647 \text{ bar} = 9.396 \text{ psi}$$

4.1.3. Resumen valores de caída de presión y consumos zootecnia luctanox

La siguiente nos muestra los valores de la variación de presión, velocidad y el caudal de aire comprimido durante el transporte neumático en el proceso de fabricación zootecnia luctanox; aclarando que los valores son considerados en un proceso continuo y dadas las condiciones, un turno de producción consta de 8 horas y se realizan 13 fabricaciones.

Con estos datos podemos dar un valor de consumo en cfm que se requiere para el proceso de transporte neumático de (167,39cfm) para el proceso de fabricación de zootecnia luctanox.

- Turno de producción= 8 horas
- Numero de envíos= 13 envíos
- Promedio de tiempo en el envío= 158,12 segundos
- Presión de trabajo= 100 psi
- Temperatura= 20 °C

Tabla 15. Valores de Consumo de aire comprimido Zootecnia Luctanox

Variación Total de la Presión	Velocidad Final de Aire	Caudal Final		
ΔP_{to}	V_f	Q_f		
(psi)	(m/s)	(m ³ /s)	(m ³ /h)	Cfm
9,4	25,2	0,078	284,44	167,39

Fuente: *Elaboración propia*

Para el proceso de fabricación del área zootecnia polvos luctanox, se requieren una demanda de aire comprimido de (167,39 cfm) a presión de trabajo de 100 psi, siendo este proceso no continuo durante el turno de producción de 8 horas.

4.2 Resultados finales obtenidos el transporte neumático zootecnia polvos

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos ofreciendo un panorama real sobre el consumo actual de los procesos de transporte neumático en fase diluida para los procesos de fabricación; donde se logra identificar que el caudal requerido supera la capacidad de generación del compresor (131cfm), además se aprecian caídas de presión en la red de aire comprimido

hasta de 50 psi, sin sumar las demandas de aire de los demás procesos y los equipos en el área de zootecnia sólidos.

Tabla 16. *Demanda Total de Aire en los Procesos de Transporte Neumático*

Variación Total de la Presión	Caudal Final		
ΔP_{to}	Q_f		
(psi)	(m ³ /s)	(m ³ /h)	Cfm
9,4	0,162	584,27	343,89

Fuente: *Elaboración propia*

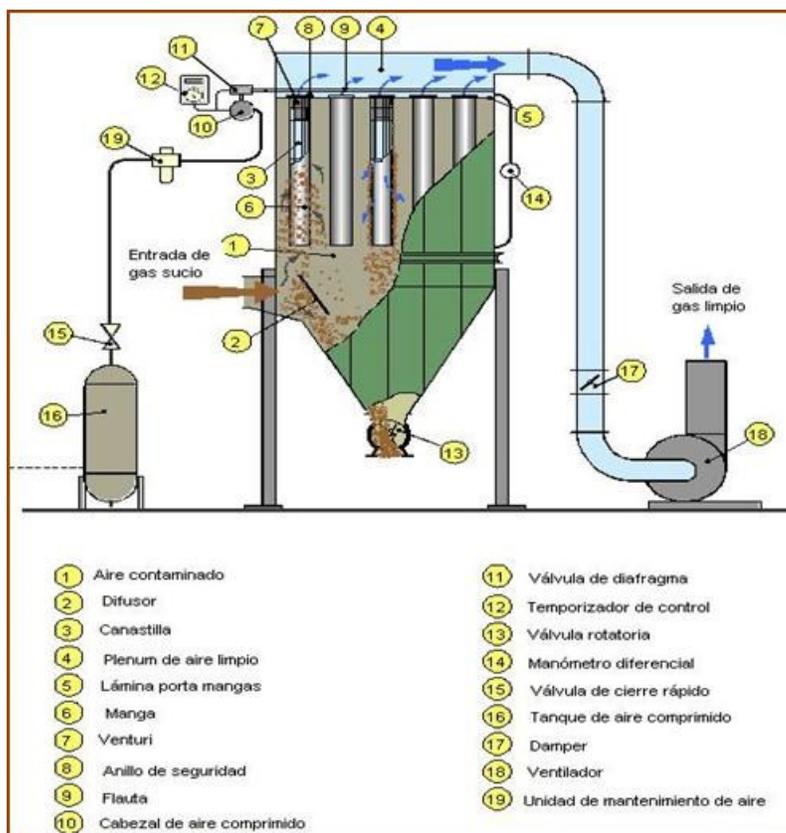
En la estructura se evidencian fallas y deterioros, motivo por el cual se debe mejorar y modificar la tubería ya que existen partes que están fuera de servicio; además de presenciarse corrosión y desgaste en los elementos mecánicos como curvas en la tubería, bridas, soportes y válvulas que afectan directamente el proceso de transporte neumático en fase diluida.

Adicionalmente se puede afirmar que el proceso de transporte neumático en fase diluida en su dimensionamiento e ingeniería está acorde a los requerimientos para este tipo de proceso; además las pérdidas no son representativas dadas las condiciones y características de las materias primas transportadas, finalmente se concluye que la demanda el sistema de generación actual de aire comprimido insuficiente.

4.2. Cálculo consumo de aire - sistema de filtración

El Sistema de filtración por mangas requiere aire comprimido para su funcionamiento; éste equipo tiene como función absorber y retener mediante el método de filtración, el material particulado presente en el ambiente de la nave de producción zootecnia polvos, reduciendo así el riesgo de que estas partículas ingresen a las vías respiratorias de los operadores y también el impacto ambiental que se puede ocasionar como resultado del proceso de fabricación y dar cumplimiento a la Resolución 2254 del 10 de Noviembre de 2017 del Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible “Calidad del Aire” (Minambiente, 2017).

Figura 13. Elementos Mecánicos de un Colector de Polvos



Fuente: Representación de un sistema de filtración por mangas, la podemos encontrar en: <https://www.monografias.com/trabajos102/evaluacion-tecnico-economica-filtro-mangas/evaluacion-tecnico-economica-filtro-mangas2.shtml>

Los datos técnicos encontrados en los manuales y planos de los equipos de la planta de producción zootecnia polvos, brinda información acerca de las dimensiones de los filtros de mangas, así como la cantidad de mangas por cada sistema de filtración.

Tabla 17. Dimensiones de los Filtros de Mangas

Ítem	Ubicación del Filtro de Mangas	Número de Mangas	Diámetro (m)	Longitud (m)	Área Superficial (m ²)	Área Total (m ²)
1	Filtro de Mangas Rompesacos Luctamold	8	0,1524	0,914	0,44	3,52
2	Filtro de Mangas Rompesacos Luctanox	8	0,1524	0,914	0,44	3,52
3	Filtro de Mangas Mezcladora Luctamold	6	0,139	0,914	0,40	2,40
4	Filtro de Mangas Mezcladora Luctanox	9	0,168	0,914	0,48	4,32
5	Filtro de Mangas Tolva de Recibo Luctamold	6	0,139	0,914	0,40	2,40
6	Filtro de Mangas Colector Primario	20	0,152	1,880	0,90	18,00
7	Filtro de Mangas Colector Secundario	24	0,139	2,00	0,88	21,12

Fuente: *Elaboración propia*

Los elementos filtrantes o mangas, están fabricadas en polipropileno con capacidad de retener partículas por debajo de 0,03 micras y garantizar un 99,97% de retención de partículas contaminantes y a su vez dar cumplimiento a la Norma Ambiental vigente.

Los intervalos de limpieza están programados cada cinco (5) minutos por un lapso de tres (3) segundos, donde el sistema inyecta aire a presión de la red instantáneamente a todos los sistemas de filtración por mangas, lo que es un causante de la caída de presión en la red de aire comprimido.

La velocidad de filtración (V_f), este parámetro define el rendimiento del sistema de filtración y es la relación de aire/tela y se da en m³/h*m² o m/s. **para efectos de este proyecto tomamos el valor de 0,04 m/s como la (V_f)**, este valor hace referencia a la capacidad del material de oponerse al paso del aire y la retención del material particulado; la resistencia del material del filtro es de 12,7 mm H₂O, para la permeabilidad estándar ASTM del volumen de aire en m³/h por m², tomado de (APOLO MERA, 2018). La temperatura de trabajo será de 20°C que es la temperatura promedio de área de producción.

A continuación, se hallan los consumos en los sistemas de filtración por mangas:

- **Área superficial de las mangas (A_{sup}).**

$$A_{sup} = \pi * \phi_{manga} * Long * \#mangas \quad 22$$

Fuente: (APOLO MERA, 2018), Direccionado a:

<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/45950>

A_{sup} = Área superficial (m^2)

π = Número pi (3.1415)

ϕ_{manga} = Diámetro de la manga (m)

Long = Longitud de la manga (m)

#mangas = Número de mangas en el sistema de filtración

- **Cálculo del área superficial de las mangas:**

$$A_{sup} = \pi * \phi_{manga} * Long * \#mangas \quad 23$$

- **Cálculo del volumen real de los gases:**

$$\dot{V}_g = w_f * A_{sup} \quad 24$$

Fuente: (APOLO MERA, 2018), Direccionado a:

<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/45950>

- Considerando la temperatura de trabajo 273K a la entrada del filtro, se obtiene un volumen total de los gases de filtración:

$$\dot{V}_g = \frac{\dot{V}_g}{\left(\frac{273 + T}{273}\right)} \quad 25$$

Fuente: (APOLO MERA, 2018), Direccionado a:

<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/45950>

\dot{V}_g = Volumen total de los gases de filtración (m^3)

\dot{V}_g = volumen del gas (m^3)

Si para la regeneración del filtro por cada 0,47 Nm³/s de aire, se necesita 0,00094 m³/s de aire comprimido.

$$V_{ac} = \frac{V}{0.47} * 0.00094 \text{ m}^3/\text{s} \quad 26$$

La siguiente tabla da a conocer los resultados de los cálculos realizados para la obtención del volumen total del aire comprimido en (m³/s) que se requiere para el funcionamiento del sistema de filtración por mangas; este funciona en modo ciclo automático, donde cada diez minutos realiza una descarga de aire por cinco segundos una temperatura estándar de 20°C.

Tabla 18. Consumo de Aire en los Filtros de Mangas

Ítem	Ubicación del Filtro de Mangas	Velocidad de los sólidos de filtración	Velocidad de aire de filtración	Volumen de aire comprimido requerido	
		w_f (m/s)	V_g (m ³ /s)	V_{ac} (m ³ /s)	V_{ac} (cfm)
1	Filtro de Mangas Rompesacos Luctamold	0,03	0,13052	0,000243	0,514
2	Filtro de Mangas Rompesacos Luctanox	0,03	0,13052	0,000243	0,514
3	Filtro de Mangas Mezcladora Luctamold	0,03	0,07224	0,000134	0,283
4	Filtro de Mangas Mezcladora Luctanox	0,03	0,13052	0,000243	0,514
5	Filtro de Mangas Tolva de Recibo Luctamold	0,03	0,07224	0,000134	0,283
6	Filtro de Mangas Colector Primario	0,03	0,53995	0,0001006	2,131
7	Filtro de Mangas Colector Secundario	0,03	0,63407	0,001181	2,502
Demanda total de aire (cfm)					6,741

Fuente: *Elaboración propia*

4.3. Cálculo del consumo de aire sistema neumático

Los elementos neumáticos de mando y control, requieren aire comprimido como energía potencial para realizar movimientos en los mecanismos.

En el área de zootecnia polvos, son usados cilindros neumáticos de doble efecto, éstos cumplen distintas funciones como accionamiento de apertura y cierre de válvulas mariposas para vaciado de productos a las tolvas y ductos, sistemas de vibración de tolvas mediante golpeo.

Adicionalmente, el proceso requiere una bomba neumática de doble diafragma marca ARO para el transporte de líquidos hacia la mezcladora.

La información de los cilindros neumáticos se obtuvo mediante la recolección de información en el área donde fue necesario tomar sus medidas ya que, en algunos cilindros, no se logró encontrar su referencia; esta información se validó con la ayuda del manual del proveedor MICRO, donde se encuentra su referencia para luego calcular el consumo de aire en cada cilindro neumático; este dato se puede confirmar con el gráfico (Anexo C. *Consumo de Aire en Cilindros Neumáticos*)

Consumo de Aire en Cilindros Neumáticos

$$Q = \frac{\pi}{4} d^2 \cdot c \cdot n \cdot P \cdot N \cdot 10^{-6} \quad 27$$

Fuente: (MICRO Automación, 2019), *Direccionado a:* <https://ar.microautomacion.com/wp-content/uploads/2019/04/CMMICRO201819esp.pdf>

Q= Consumo de aire (NI/min)

d = Diámetro del cilindro (mm)

c = Carrera del cilindro (mm)

n = Número de ciclos completos por minuto

P = Presión absoluta=Presión relativa de trabajo + 1 bar

N = Número de efectos del cilindro

N=1 para simple efecto, N=2 para doble efecto

En la Tabla 19, se muestran los valores de consumo de aire comprimido en los cilindros Doble Efecto - ISO 15552 VDMA 24562 Serie CN 10 – Micro; los cuales funcionan los equipos de producción zootecnia luctamold y luctanox de la Planta de zootecnia polvos.

Tabla 19. *Consumo de Aire Comprimido - Cilindros Neumáticos*

Cantidad	Ubicación	Ø (mm)	Ø _v (mm)	Carrera (mm)	Volumen C _{vl} (m ³)	Caudal (l/min) (cfm)		Requerimiento (cfm)
1	Cilindro Válvula Mariposa Filtro de Mangas Luctamold	63	20	120	0,000716	2,71	0,10	0,10

Cantidad	Ubicación	Ø (mm)	Ø _v (mm)	Carrera (mm)	Volumen C _{vi} (m ³)	Caudal		Requerimiento (cfm)
						(l/min)	(cfm)	
3*	Cilindros Golpeadores Tolva Compensación Luctamold	40	16	105	0,000728	2,47	0,07	0,10
1	Cilindro Válvula Tolva a Mezcladora Luctamold	80	25	128	0,001223	4,03	0,21	0,21
1	Cilindro Compuerta Mezcladora Luctamold	80	25	128	0,001223	4,03	0,21	0,21
1	Válvula Descarga Mezcladora Luctamold	50	20	121	0,000716	1,52	0,05	0,14
3*	Cilindros Proceso de ensacado Luctamold (nuevo)	40	16	105	0,000971	2,47	0,07	0,10
1	Cilindros Válvula Entrada Mezcladora Luctanox	63	20	121	0,000716	2,71	0,10	0,10
1	Cilindro Mezcladora Luctanox	80	25	128	0,001223	4,03	0,21	0,21
1	Cilindro Válvula Final Mezcladora Luctanox	80	25	200	0,001912	4,03	0,21	0,21
1	Cilindros Ensacadora Luctanox	40	16	105	0,000242	2,47	0,07	0,10
2*	Cilindro Ensacadora Luctanox	32	12	94	0,000281	1,125	0,040	0,040
1	Cilindro Entrada Ventilador Centrifugo (Filtro Extracción 2)	40	16	105	0,000242	2,47	0,07	0,21
1	Cilindro Filtro Mangas Exterior	63	20	121	0,000716	2,71	0,10	0,10
1	Cilindro Rompeacos Luctamold	80	25	128	0,001223	4,03	0,21	0,21
1	Cilindro Golpeador Sistema OGA	32	12	94	0,000140	1,125	0,040	0,040
						41,43	1,76	2,08

Fuente: *Elaboración propia* (*) Numero de cilindros en la ubicación específica.

4.3.1. Resumen Consumo Elementos Neumáticos

- El volumen de aire comprimido que consumen los cilindros neumáticos corresponde a cada ciclo, este se multiplica por el número de cilindros.
- Los elementos neumáticos poseen un régimen de uso de cinco ciclos por minutos, esto nos arroja un consumo de 2,08 cfm ó 3,53 m³/hora
- Para los Actuadores Neumáticos serie 92 – 93 ubicados en los pulmones de envío de materia prima por medio de transporte neumático, según la ficha técnica de estas el consumo para todas (Válvulas todo o nada) 1,4m³/hora.
Factor de Simultaneidad todo /nada = 30%
- Para la bomba doble diafragma marca ARO, el consumo de aire comprimido según ficha técnica del este equipo es de 1 cfm = 1.7 m³/h.
- **El consumo total de los elementos neumáticos es de: 6,63 m³/h = 3,90 cfm.**

4.3.2. Cálculos de pérdidas en tubería

Para conocer la caída de presión en cada tramo de tubería, se hallan las longitudes equivalentes usando la ecuación de Hazen-Williams, éste método consiste en definir la longitud virtual para cada elemento a instalar en la red de aire aplicando la ecuación de pérdida por fricción, dará la pérdida de dicho elemento. Para hallar la pérdida total, se suma a la longitud de la línea para cada tramo de la tubería con la sumatoria de las longitudes equivalentes de éste tramo. Finalmente se realiza la sumatoria para hallar el coeficiente de pérdidas localizadas; posterior a estos cálculos recurrimos al monograma Anexo E y para conocer la longitud del cálculo (L_c) para comprobar el cálculo realizado; este método se realiza para cada diámetro de tubería de la red de aire comprimido. A continuación, se muestra los resultados de los cálculos realizados para cada uno de los tamos.

Pérdidas de carga en la tubería

$$h_{l=10,67} = \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} \frac{LE}{D^{4,87}} \quad 28$$

$$h_{f=10,67} = \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} \frac{LC}{D^{4,87}} \quad \text{Con } LC = Lr + \Sigma LE_i$$

h_f = Pérdidas de carga en la tubería (m)

h_t = Pérdida total del sistema (m)

L= Longitud de la tubería (m)

L_E = Longitud equivalente

L_r = Longitud de la tubería real (m)

Q= Caudal (m^3/s)

C= coeficiente rugosidad de pérdidas de Hazen-Williams (dim)

La caída de presión no debe superar los 0,1 kg/cm² o 0,098 bar, de lo contrario se debe recalcular con un mayor diámetro de la tubería. Para este cálculo influyen los valores de rugosidad de la pared interna de la tubería, el número de accesorios instalados, igual que la longitud de tramo de la tubería.

Tabla 20. Descripción de Elementos por Tramo de la Red en la Aire

TRAMO COMPRESOR - SECADOR DE AIRE				
Ítem	Cantidad	Descripción	Dimensiones Diámetro (in)	Longitud Equivalente (m)
1	1	Niple	1"	0,2
2	1	Válvula de bola	1"	0,009
3	1	Niple	1"	0,5
4	1	Codo 90	1"	1
5	1	Niple	1"	0,5
6	1	Tee	1"	0,007
7		Brida	1"	
8	1	Codo 90	1"	1
9	1	Niple	1"	0,25
10	1	Niple	1"	0,25
11	1	Codo 90	1"	1
12	1	Niple	1"	0,5
13	1	Codo 90	1"	1
14	1	Niple	1"	0,5
15	1	Brida	1"	
16	1	Niple	1"	0,2
17	1	Tee	1"	0,007
18	1	Niple	1"	0,2

TRAMO COMPRESOR - SECADOR DE AIRE				
19	1	Codo 90	1"	1
20	1	Niple	1"	1,8
21	1	Codo 90	1"	1
22	1	Niple	1"	
	8	Niple	1"	6,9
	6	Codo 90	1"	1
	1	Válvula de bola	1"	0,4
Longitud equivalente (m)				110,82
Pérdidas				4,12psi / 0,28bar

Fuente: *Elaboración propia*

Para confirmar los cálculos se puede aplicar la herramienta de "KAESER Toolbox", un Software en línea que permite realizar de forma versátil los cálculos en la red de aire comprimido logrando y confrontar los cálculos obtenidos; estas pérdidas se suman a la demanda total de la red de aire comprimido.

El objetivo de hallar estas pérdidas es prever las caídas de presión a lo largo de la tubería para garantizar la presión final de servicio. (KAESER).

Las pérdidas por tubería y accesorios, se suman las perdidas por fugas; éstas difícilmente se pueden detectar, aunque se pueden recurrir a métodos tradicionales como agua jabonosa para su detección y su corrección.

Actualmente existen proveedores de servicio de auditorías de aire dotados con instrumentos y Software que logran medir, registrar y analizar los consumos de aire, además de medir la potencia absorbida, la presión de trabajo y sus pérdidas; esto con el fin de lograr el seguimiento y el control de la red de aire comprimido.

Figura 14. Aplicación del Cálculo con la Herramienta de “KAESER Toolbox

Flujo volumétrico	<input type="text" value="6,4"/>	m ³ /min
Longitud nominal	<input type="text" value="7,9"/>	m
Presión de servicio absoluta	<input type="text" value="6,8"/>	bar
Diámetro interior de la tubería	<input type="text" value="25,4"/>	mm
Caída de presión	<input type="text" value="0,28"/>	bar

Fuente: Herramienta “KAESER Toolbox, se puede encontrar en:

<https://es.kaeser.com/servicios/conocimiento/calculadora/>

5. REDIMENSIONAMIENTO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO ZOOTECNIA POLVOS

Para el rediseño de la red se aplican los datos recolectados en el capítulo 4, éstos permiten determinar el consumo actual y proyectar a futuro toda la instalación y sus equipos que la componen con el fin de garantizar los requerimientos de demanda en cfm y presión en cada elemento y sistema del área de producción zootecnia polvos.

5.1. Condición Inicial para el Rediseño de la Red

La condición inicial para el rediseño de la red de aire comprimido desde la generación y tratamiento, nos permite conocer y tener en cuenta las pérdidas por condiciones ambientales. Para ello se toma la fuente del IDEAM y las comparamos con datos tomados en el sitio; esto con el fin de conocer las condiciones del cuarto de compresor y secador de aire y lograr normalizar los flujos de caudal de aire libre (Nm³/min, cfm) que correspondan a los valores (m³/min, cfm) bajo las condiciones normales según la norma ISO R554 (temperatura de 20°C con una presión de 1,013 mbar; para Bogotá y municipios aledaños; la humedad relativa actualmente oscila entre 70 y 75 (%).

5.2. Demanda de Aire Comprimido

La demanda de aire comprimido se halló realizando la sumatoria de los consumos unitarios de cada proceso (transporte neumático, sistema de filtración por mangas, sistema neumático, pérdidas por tubería y las fugas), teniendo en cuenta la tasa de uso de, el valor de simultaneidad; con el fin de conocer la demanda final, incluyendo el valor de las pérdidas por fugas, el coeficiente de error y las proyecciones para futuras ampliaciones de la red de aire comprimido para la planta de producción zootecnia polvos.

En la tabla 21 se muestran los consumos actuales en (m³/h, cfm) unitarios para los procesos involucrados en el área de producción zootecnia polvos de la empresa Lucta Grancolombiana SAS, las consideraciones están calculadas para una tasa de uso constante, es decir, si cada proceso fuese constante durante las 8 horas del turno de producción.

Tabla 21. Demanda Estimada de Aire valores de Consumos Constante

Proceso	Demanda		Presión de Trabajo
	(m ³ /h)	cfm	(psi)
Sistema de transporte neumático luctamold	299,89	176,51	100
Sistema de transporte neumático luctanox	167,39	167,39	100
Sistema de Filtración por Mangas	11,10	6,74	100
Sistema Neumático	6,63	3,90	80
Total de Consumo de aire comprimido	485,01	354,54	100

Fuente: Elaboración propia

5.2.1. Tasa de Uso

Este valor depende del tiempo de funcionamiento del elemento o sistema que requiere aire comprimido como fuente de energía; a continuación, se dan estos valores con el fin de conocer la demanda real para el área de producción zootecnia polvos; para hallar estos valores se aplica la siguiente formula:

$$Tasa\ de\ Uso = \text{Intervalo de uso} \frac{\text{Tiempo de duracion}}{60\ minutos} \times 100\% \quad 30$$

Fuente: (MundoCompresor, s.f.), Direccionado a: <https://www.mundocompresor.com/articulos-tecnicos/cuatro-consejos-para-calculat-caudal-compresor>

- Tasa de uso para el transporte neumático zootecnia luctamold:

$$Tasa\ de\ Uso = \frac{4,30\ minutos}{60\ minutos} \times 100\%$$

$$Tasa\ de\ Uso = 7,16\%$$

- **Tasa de uso para el transporte neumático zootecnia luctanox:**

$$Tasa\ de\ Uso = \frac{2,63\ minutos}{60\ minutos} \times 100\%$$

$$Tasa\ de\ Uso = 4,39\%$$

- **Tasa de uso para el sistema de filtración por mangas:**

$$Tasa\ de\ Uso = \frac{2,63\ minutos}{60\ minutos} \times 100\%$$

$$Tasa\ de\ Uso = 33,33\%$$

- **Tasa de uso sistema neumático:**

$$Tasa\ de\ Uso = \frac{30\ minutos}{60\ minutos} \times 100\%$$

$$Tasa\ de\ Uso = 50\%$$

Tabla 22. Demanda Total de Aire valores de Consumos por su Frecuencia

roceso	Consumo		Tasa de Uso (%)	Factor de Simultaneidad	Caudal Requerido (cfm)
	(Nm ³ /h)	Cfm			
Transporte Neumático Luctamold	299,89	176,51	7,16	0,50	12,63
Transporte Neumático Luctanox	167,39	167,39	4,39	0,50	7,04
Filtración por Mangas	11,10	6,74	33,33	0,50	2,17
Sistema Neumático	6,63	3,90	50,00	N/A	2,26
Total	485,01	354,54			

Factores de Riesgo en la Red de Aire Comprimido	Factor (%)	Caudal Requerido (cfm)	Caudal Total Útil (cfm)
Pérdidas por Fugas	3	354,54	365,18
Coeficiente de Error	5	365,18	383,44
Reserva para Ampliación Futura	50	383,44	479,3

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 23, se muestran los valores obtenidos del caudal de aire comprimido con una cifra considerable 479,3 cfm, considerando el porcentaje de perdidas, el error en los cálculos y las ampliaciones futuras.

Vale la pena aclarar que el consumo de 383,44 cfm sucede cuando los dos procesos de transporte neumático en fase diluida funcionan simultáneamente, esta situación no se cumple ya que los operadores deben coordinar tiempos para estos procesos y así evitar caídas de presión que ocasionan taponamientos de la tubería de transporte de las materias primas y el objetivo de este proyecto es garantizar que el sistema supla la demanda de aire comprimido para los dos procesos.

Tabla 23. Valores de Consumo Total Útil

Consumo Total Útil		
cfm	m ³ /min	l/min
479,3	13,572	1,357 226 ×104
*Capacidad del compresor actual: 131 cfm		

Fuente: *Elaboración propia*

Si observamos la capacidad del compresor (131 cfm), está muy por debajo del valor de consumo actual; razón por la cual la los dos procesos de transporte neumático no se pueden realizar simultáneamente, para garantizar el proceso en sus dos sistemas de transporte, se requiere con urgencia la adquisición de un nuevo compresor que más adelante se calculara, además del rediseño de la red de aire comprimido que garantice el funcionamiento simultaneo del sistema de transporte neumático en fase diluida para las áreas de producción (luctamold y luctanox), lograr disminuir las pérdida de tiempo de proceso a proceso mientras se recupera la presión en los acumuladores de aire de la red, que es lo que sucede actualmente.

Los datos obtenidos, nos revelan que durante el proceso de producción los picos de consumo de aire comprimido en cfm son: máximos de 176,51 y mínimo de 47, aclarando que dada la capacidad del compresor actual 131, sólo se trabaja en un proceso (luctamold o luctanox) para realizar el transporte neumático de las materias primas por un intervalo de 4,5 minutos de máxima demanda de aire, y se debe esperar hasta que el compresor vuelva a compensar la pérdida de presión en la red, de lo contrario el sistema sufre taponamientos. Lo anterior nos indica que existe un faltante de 45,51 cfm, aclarando que la tasa de uso para los dos procesos es baja dadas las condiciones de suministro de aire comprimido, personal operativo debe coordinar los tiempos de transporte de materias primas con el fin de disminuir la probabilidad de taponamiento de las líneas de transporte neumático ya que es fundamental el flujo de aire constante.

Adicionalmente se detectan picos de presión en la red de aire comprimido que oscilan entre 100 y 60 psi, estos valores comprometen directamente el funcionamiento del sistema de transporte neumático, el sistema de filtración por mangas y los elementos neumáticos. Teniendo en cuenta que los intervalos de uso de aire comprimido para cada proceso están dados para que estos picos de demanda se puedan mejorar, inicialmente reprogramando los intervalos de uso en los sistemas de filtración por mangas en el programa del PLC del proceso.

5.3. Dimensionamiento del Compresor

Para realizar el dimensionamiento del compresor se debe aplicar los cálculos ya obtenidos como son: el consumo unitario a la presión de trabajo expresada en condiciones normales de temperatura y humedad Nm^3/min , el consumo total de aire comprimido, el factor de simultaneidad, las pérdidas por fugas y las caídas de presión, así como las futuras ampliaciones entre otros factores, esto con el fin de realizar la selección más acorde a la necesidad actual y las futuras ampliaciones de infraestructura.

- El caudal máximo de la red:

El consumo total obtenido es de $(1,357\ 226 \times 10^4 \text{ l/min o } 479,3 \text{ cfm})$ este valor requiere ser actualizado, para lo cual se aplica la ecuación que actualiza a condiciones de la demanda a la condición estándar (Squire-Cogswell, ACFM Vs. SCFM Vs. ICFM):

Ecuación que actualiza a condiciones de la demanda a la condición estándar.

$$ACFM = SCFM * \frac{P_{std}}{P_1 - (P_{sat1} + \phi_1)} * \frac{T_1}{T_{std}} \quad 31$$

Fuente: (Squire-Cogswell, Squire-Cogswell.com, s.f.) visite: <https://offenbar-energy.com/pdf/ACFMvsSCFMvsICFM.pdf>

El caudal máximo de la red es:

570,37 acfm o $1,615\ 108 \times 10^4 \text{ NI/min}$

ϕ_1 = Humedad relativa [%]

P_{std} = Presión estándar [bar]

P_1 = Presión de la zona [bar]

P_{sat1} = Presión de saturación del vapor de agua de la zona [bar]

T_1 = Temperatura de la zona [°K]

P_{std} = Temperatura estándar [°K]

En el anexo H, presentamos la tabla para ajustar el factor de corrección del SCFM a ACFM y viceversa según la presión (m³/h).

A continuación, aplicamos la fórmula para calcular el **caudal del compresor (Q)**:

$$Q = (1 + Ff + fa) * Q_{max} \quad 32$$

$$Q = (1 + 0,03 + 0,25) * 570,37$$

$$Q = 410,67 \text{ cfm} = 1,162 \text{ 888} \times 10^4 \text{ l/min}$$

Fuente: (Zamora, 2018) *visite:*

https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10052/redise%C3%B1o_red_distribucion_aire_comprimido_planta.pdf?sequence=1&isAllowed=y

fa = Factor de ampliación

Ff = Factor de fugas

Q_{max} = Caudal máximo de la red

Con el valor del Caudal obtenido se busca la página web de Compresores Káiser para buscar la referencia según los datos. La siguiente tabla muestra los compresores de tornillo rotativo de transmisión de frecuencia variable 30 hasta 700 hp con transmisión directa: **Modelos SFC 22 – 515.**

Tabla 24: *Tabla de Referencias de Compresores Flujo Volumétrico*

Modelo	Potencia Nominal del Motor (hp)	Capacidad mín. (cfm)	Capacidad máx. (cfm)
SFC 22	30	37	154
SFC 30S	40	37	174
SFC 30	40	48	206

Modelo	Potencia Nominal del Motor (hp)	Capacidad mín. (cfm)	Capacidad máx. (cfm)
SFC 37	50	54	241
SFC 45S	60	69	273
SFC 45	60	70	300
SFC 55	75	80	360
SFC 75S	100	101	440
SFC 90S	100	121	492
SFC 110S	125	135	587
SFC 75	100	127	553
SFC 90	125	127	655
SFC 110	150	153	752
SFC 132S	175	194	859
SFC 132	200	194	918
SFC 160	250	240	1090
SFC 200	270	300	1257
SFC 250	340	370	1439
SFC 315S	350	370	1742
SFC 315	450	465	2057
SFC 410	590	363	2537
SFC 515	700	412	3117

*Flujos a 125 psig

Fuente: KAESER *Tabla de referencias de compresores, Obtenga más información sobre las características de los compresores de tornillo rotativo con accionamiento directo.*

El compresor indicado según los requerimientos de demanda de aire es de la marca **KAESER SFC 110S**, es un compresor de tornillos lubricados de velocidad variable de 90 kW, el flujo volumétrico se puede ajustar de acuerdo a la demanda fluctuante dependiendo de la presión que requiere esta característica ya que el transporte neumático en fase diluida exige grandes volúmenes de aire comprimido en tiempos relativamente cortos (170 cfm por un intervalo de 4,30 minutos), este tipo de compresor se ajusta a los requerimientos actuales de la planta de

producción zootecnia polvos; adicionalmente se ajusta la presión de servicio de +/- 0,1 bar con el fin de reducir su consumo energético. (KAESER)

El sistema de flujo variable según la demanda y ajustes de presión, reduce el número de arranques del motor, esta característica ayuda a disminuir el consumo de corriente de entrada ajustada a la demanda de aire, además de componentes electrónicos (capacitores) que mejoran el factor de potencia.

Este tipo de compresor posee acoplamiento 1:1 es decir, no hay elementos intermedios entre el motor y la unidad compresora que garantizan un ahorro de transmisión además de la eficiencia energética.

5.4. Dimensionamiento del secador de aire

El aire comprimido debe estar limpio y seco para ser usado en los distintos elementos y procesos del área de producción, esto con el fin de prevenir la corrosión en las tuberías y evitar las fallas prematuras de los equipos neumáticos.

Para tomar la mejor decisión acerca de cuál es el indicado para nuestro proyecto y garantizar la calidad de aire, se realizó el monitoreo de la temperatura en el cuarto de máquinas además de tener en cuenta el manejo del aire caliente dentro de este cuarto y el contenido de condensados derivados del proceso.

Los valores de temperatura 32°C y 15°C, medidos en el cuarto del compresor afectan directamente en el contenido de la humedad del aire ya que, por cada 11,1°C de aumento de la temperatura de entrada, se puede duplicar la capacidad de carga del secador. Los valores de humedad relativa, indica que el sistema de extracción actual no es suficiente para evacuar el aire caliente y se debe instalar un ducto para dicho proceso, además de instalar el filtro de condensados acordes a los flujos de aire.

Tomando el factor de corrección del secador según el fabricante y se multiplica por el factor de la temperatura ambiente, nos da **1,25*1,04 para un caudal de 570,37cfm.**

Figura 15. Secadores refrigerativos de bajo consumo Serie TE, TF y TG



Fuente: Kaeser, Direccionado a: <https://ar.kaeser.com/download.ashx?id=tcm:42-5987>

5.4.1. Cálculo del contenido de agua por condensados

Para hallar el volumen de condensados que se generan durante el proceso de obtención de aire comprimido, nos dirigimos a la Carta Psicométrica teniendo en cuenta la temperatura, la humedad relativa, el punto rocío y las condiciones ambientales que afectan directamente la generación de condensados en el proceso de generación del aire comprimido, el caudal generado el compresor es: $410,67\text{cfm}=1,162\ 888 \times 10^4\text{l/min}$, por consiguiente según la carta Psicométrica el proceso arroja un valor de 0,0102 l/min de condensados, estos son recolectados y entregados al departamento de SSTA (Seguridad y Salud en el Trabajo y Medio Ambiente) para que realicen la disposición de estos residuos ya que contiene trazas de aceite.

Tabla 25. Entrega de Agua Contaminada para su Disposición y Tratamiento

Ítem	Fecha	Cantidad en Litros	Valor en Pesos para el Tratamiento
1	26-06-2020	65	39.000
2	22-06-2020	47	28.200
3	14-07-2020	159	95.400
4	20-07-2020	302	181.200
5	27-07-2020	62	37.200
6	31-07-2020	200	120.000
7	11-08-2020	62	37.200
8	11-09-2020	60	36.000
9	24-09-2020	184	110.400
10	10-20-2020	106	63.600
Costo del tratamiento en pesos			748.200

Fuente: *Elaboración propia*

La disposición final de este residuo (agua contaminada con aceite), se realiza mediante un tratamiento con proveedor externo; la empresa Lucta Grancolombiana SAS paga un valor de 600 pesos por cada litro de agua a tratar. Debido a la cantidad de generación de este residuo se puede justificar la adquisición del equipo para la separación de agua/aceite y lograr verter el agua tratada sin consecuencias el alcantarillado que conduce a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR, sin el riesgo de contaminar, logrando con esto cumplir la normativa ambiental vigente.

En la figura 16, vemos el equipo necesario para realizar la separación de las trazas de aceite presentes en el agua, producto del proceso de secado del aire comprimido; este equipo elimina los costos agregados por el tratamiento externo del agua contaminada que actualmente la empresa paga.

Figura 16: Tratamiento de Condensado AQUAMAT

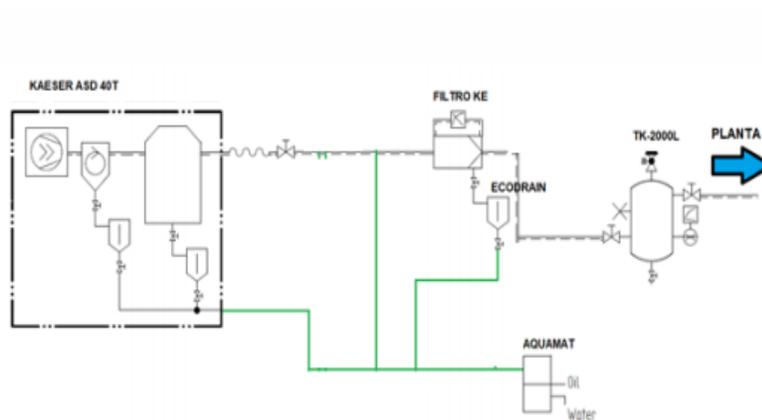


Fuente: Kaeser. Direccionado a: <https://co.kaeser.com/productos-y-soluciones/tratamiento-de-aire-comprimido/manejo-de-condensado/eliminacion-de-condensado/manejo-de-condensado-aquamat/>

5.4.2. Sistema de Tratamiento del Aire comprimido

El tratamiento del aire comprimido posterior al secador se realiza mediante unidades de filtración, unidades de mantenimiento en el punto de consumo de acuerdo a la necesidad y cumpliendo la norma ISO 8573.

Figura 17. Diseño del Sistema de la Red de Aire Comprimido



Fuente: Auditoria KAESER 2020 en Lucta Gancolombiana SAS

5.5. Cálculo de los tanques acumuladores de aire

La función de los acumuladores es la estabilización de los picos de demandas, compensar las oscilaciones de presión de la red de aire comprimido y además de refrigerar el aire logrando que se precipite la humedad que aun contenida y de esta manera poder expulsar dichos condensados por sistema de drenaje automático, antes de ingresar a la red de distribución. Su capacidad de almacenamiento depende de la capacidad del compresor, el patrón de consumo y el régimen de funcionamiento ya que estos factores afectan directamente el consumo energético además de disminuir la vida útil del compresor.

Dadas las condiciones del proceso de producción, donde existe una gran demanda de aire comprimido en un tiempo muy corto para el sistema de transporte neumático, se debe realizar el cálculo en base a esta demanda y no a la demanda generada por el compresor; vale la pena decir que las demandas instantáneas que tenemos en los procesos de transporte neumático se recomienda un acumulador de control antes del secador de aire, su finalidad es mejorar las frecuencias de carga/descarga además de que se logre estabilizar el punto de rocío a presión constante y otro acumulador después del secador que sea el receptor del aire seco y disponible para su utilización.

Una buena fórmula para dimensionar los receptores de aire comprimido es calculando 15 litros por cada 2m³/h, en los casos de los que funcionan con velocidad fija, y de 7 litros de almacenamiento para los compresores de velocidad variable (Atlas Copco, 2020).

- Para efectos de nuestro proyecto hallamos el volumen del tanque como amortiguador ya que el proceso así lo requiere, usamos la siguiente ecuación:

$$\text{Volumen del tanque} = 60 * Q * K1 * K2 * K3$$

33

$$\mathbf{11503,2 \text{ litros} = 11,5\text{m}^3}$$

Q = Caudal de suministro por el compresor (l/min).

$K1$ = Factor de corrección, es igual a la relación entre el consumo total y el caudal nominal del compresor.

$K2$ = Diferencial de presión (máxima que genera el compresor y mínima admisible a la salida del acumulador por las pérdidas en la red).

$K3$ = Factor de corrección, numero de maniobras por hora que realiza el compresor.

En la Tabla 5 podemos observar la capacidad total de acumulación de los tres tanques actuales ($7,12 \text{ m}^3$), esto nos indica que para efectos del rediseño se requiere un tanque adicional para acumular $4,38 \text{ m}^3$ excedente de aire comprimido.

5.6 Redimensionado de la tubería

La tubería en sentido horizontal se instalará con una inclinación de 1 a 2 % en sentido del flujo de aire, las derivaciones a esta tubería se harán en la parte superior del perímetro del tubo principal, con el fin de hacer una conexión tipo cuello de cisne y reduciendo el paso de condensados a los puntos de servicio.

La tubería para el sistema de transporte neumático se dimensiona a 2" dado que la distancia entre los tanques acumuladores y el sistema de transporte neumático es de solo 6 metros, lo que se considera un factor bajo de pérdidas por tubería y accesorios.

Los diámetros para la tubería que alimenta el sistema de filtración por mangas está calculado ramales de 1" y los ramales de consumo en tubería de $\frac{1}{2}$ ".

Los diámetros de la tubería están calculados para garantizar el menor de las perdidas por rozamiento del fluido, este factor se compensa trasladando la tubería primaria a las áreas de producción.

5.6.1 Caracterización de la tubería

Dadas las condiciones del proceso, se realiza el dimensionamiento para la tubería galvanizada con rugosidad entre 0,07 y 0,15 para los procesos:

- Transporte neumático (Luctamold y luctanox).
- Sistema de filtración por mangas.
- Sistemas neumáticos (electroválvulas, cilindros y bomba neumática).

Para efectos de cálculos tomamos el Diagrama de Moody ya que es una solución grafica simplificada para hallar el coeficiente de fricción.

Para hallar los diámetros requeridos en cada tramo, usamos el monograma del Anexo D, teniendo en cuenta los cálculos iniciales para cada tramo de la tubería. Luego se toman los caudales estimados de cada equipo o proceso y del caudal total para comprobar que los

diámetros no afectan la presión durante la conducción del aire por la tubería calculada, para este proceso se usa la siguiente ecuación.

$$d = \sqrt{\frac{Q * 100}{4,71 * p * v}} \quad 34$$

Fuente: (Zamora, 2018), Visite:

https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10052/redise%C3%B1o_red_distribucion_aire_comprimido_planta.pdf?sequence=1&isAllowed=y

d = Diámetro interno de la tubería (m)

Q = Caudal (m³/s)

p = Presión de Funcionamiento (bar)

v = Velocidad admisible (m/s)

Tabla 26. Diámetros Óptimos de la Red de Aire Actual

Tramo de Tubería	Caudal Máximo N(l/min)	Diámetro Interno (mm)	Diámetro Interno Real (mm)	Velocidad Real (m/s)	Caída Presión (bar)	Caída máxima permitida (bar)
A	1705,23	22,10	52,5	8,3	0,31	0,0026
B	1795,56	22,10	52,5	8,2	0,69	0,0045
C	748,82	21,60	52,5	8,0	0,14	0,0011
D	297,41	22,10	52,5	8,0	1,12	0,0015
E	534,97	1,13	20,9	8,0	0,50	0,0007
F	1094,97	1,13	20,9	8,5	0,45	0,0029
G	871,97	7,17	15,8	8,1	0,27	0,0034

Fuente: *Elaboración propia*

***Pérdidas totales en consumo de toda la red de aire comprimido: 0,0167**

Para hallar las dimensiones de la tubería y la sección mínima requerida, usaremos la siguiente fórmula.

$$S_{min} = \frac{Q10^4}{60 P v}$$

Fuente: (Zamora, 2018) *visite:*

https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10052/redise%C3%B1o_red_distribucion_aire_comprimido_planta.pdf?sequence=1&isAllowed=y

S_{min} = Sección mínima requerida

Q = Caudal en (m³/min)

P = Presión absoluta de trabajo (bar)

v = Velocidad del flujo (m/s)

d = Diámetro (in), para un diámetro comercial.

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi (12,7)^2}{4} = 126,67\text{mm}$$

Finalmente se halla la pérdida de carga en cada tramo de tubería:

$$\Delta P = \frac{\beta V^2 L * p}{RTD} = \frac{1,92 * (1,80)^2 * 7\text{bar}}{29,27 * 295,15^\circ\text{K} * 52,5} = 0,000096 \text{ bar}$$

Fuente: (Zamora, 2018) *visite:*

https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10052/redise%C3%B1o_red_distribucion_aire_comprimido_planta.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ΔP = Caída de presión (Atm o bar)

p = Presión absoluta (Atm o bar)

R = Constante del tipo de gas (29,27 para el aire)

T = Temperatura del aire (Kelvin)

V = Velocidad del aire (m/s)

D = Diámetro comercial de la tubería (mm)

L = Longitud total de la tubería (longitud del tramo más la longitud equivalente)

β = Función variable con G

G = Cantidad de aire suministrado $G = 1,3 * Q(\text{Nm}^3/\text{min}) * 60(\text{kg}/\text{m})$

Tabla 27. Valores de la función variable (β) con respecto a (G)

G	10	15	25	40	65	100	150	250	400	650
β	2,03	1,92	1,78	1,66	1,54	1,45	1,36	1,26	1,18	1,10

Fuente: *Elaboración propia*

Se logra comprobar los diámetros de las tuberías con la comparación de las caídas de presión (real y permisible) para cada tramo que es menor el diámetro, por lo tanto, es el indicado para cada tramo ya que no se generan caídas de presión.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Sistema de transporte neumático en fase diluida

- Mediante este proyecto, se logra comprender el fenómeno físico que ocurre durante el transporte neumático en fase diluida para las materias primas requeridas en los procesos de producción zootecnia polvos, el comportamiento del aire y lo esencial que es mantener un flujo constante para este proceso; los cálculos arrojaron resultados satisfactorios acerca del dimensionamiento actual de sistema; fenómenos como la velocidad de la partícula, los diámetros actuales de la tubería para el proceso de transporte es el indicado.
- Un factor importante detectado, es la baja capacidad de generación de aire comprimido por parte del compresor actual 131cfm ya que la demanda de aire para el transporte de materias primas en fase diluida es altísima, razón por la cual suceden atascamientos en la conducción de las materias primas transportadas durante el proceso de producción y paradas en la producción. Por consiguiente, se recomienda con urgencia la adquisición de un compresor para suplir esa necesidad de demanda de aire comprimido.
- Con la implementación de este proyecto, se logrará mejorar las condiciones de simultaneidad del proceso y con ello la optimización del recurso humano y la productividad del área.

Sistema de filtración por mangas

- Los resultados de consumos de aire comprimido comprometen drásticamente las caídas de presión ya que los intervalos de operación y simultaneidad de este proceso; esta novedad se puede mejorar modificando las frecuencias, es decir, que sea secuencial o progresivo con el fin de disminuir el consumo pico, esta opción se logra reprogramando el plc de los dos procesos.

- Se recomienda instalar válvulas reguladoras de presión para el suministro de aire comprimido ya que este sistema según la literatura, puede operar a 80 psi, actualmente el sistema no posee regulación.

Sistema Neumático

- Se recomienda determinar la presión óptima en cada elemento o equipo neumático según las recomendaciones del fabricante e instalar unidades de mantenimiento FR+L si lo requiere para regular y mejorar la calidad del suministro.
- Con el fin de conocer los costos por fugas, en el Anexo F se muestra una tabla para conocer los valores ocasionados por pérdida de caudal en un orificio de acuerdo al diámetro y la presión del sistema de aire comprimido.
- Para mejorar el suministro de aire comprimido a los equipos de consumo, se recomienda realizar la derivación tipo cuello de ganso, para evitar paso de condensados.
- Se recomienda implementar la instalación de la red secundaria en configuración tipo anillo, esto con el fin de compensar las caídas de presión y caudal en los puntos de consumo distantes.
- Según norma NTC 3458, se debe cambiar el color de la tubería por azul, además de identificar la dirección del flujo.
- Se identifican tramos de tubería fuera de servicio, estos deben ser desmontados con el fin de disminuir posibles fugas.
- Nuestro proceso debe ser amigable con el medio ambiente, razón por la cual se debe realizar la adecuada disposición de los condensados generados por la estación ya que estos contaminan y al ser vertimientos en las fuentes hídricas. Para esto se propone un equipo que realiza la separación agua/aceite en la fuente.
- Se evidencia alta temperatura en el cuarto de máquinas (32°C) a pesar de contar con un ventilador axial para la extracción de este aire, se debe mejorar. al bajar la temperatura del cuarto, se reduce el consumo energético, mejora el rendimiento del compresor y secador de aire; además, evita paros no planeados por alarmas de alta temperatura en estos equipos. Previene fallos mecánicos por fatiga de componentes. garantiza la vida útil del compresor y disminuye el nivel de ruido.
- La demanda de aire requerida durante el proceso de transporte neumático genera picos significativos de consumo, para ello se hace necesario la adquisición de un compresor de caudal variable y complementar con un tanque acumulador adicional, con el fin de optimizar el proceso de fabricación del área zootecnia polvos.

6. BIBLIOGRAFÍA

Acosta, R. A. (s.f.). *Capítulo 2 Neumática y Electroneumática*. Obtenido de

https://www.academia.edu/32541677/CAPITULO_2_NEUM%C3%81TICA_Y_ELECTRONEUMATICA

APOLO MERA, N. A. (21 de Diciembre de 2018). *Repositorio de Espol*. Obtenido de

<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/45950>

Atlas Copco. (2011). *Manual del Aire Comprimido 2011*. Obtenido de

<https://es.slideshare.net/Sugestive/atlas-copcomanual-del-aire-comprimido-7th-edition>

Atlas Copco. (2020). *Norma ISO 8573-1*. Obtenido de [https://www.atlascopco.com/es-](https://www.atlascopco.com/es-es/compressors/air-compressor-blog/iso-8573-1-como-interpretamos-la-norma#:~:text=interpreta%20la%20norma%3F-,La%20norma%20ISO%208573%2D1%20clasifica%20los,del%20aire%20en%20tres%20categor%C3%ADas%3A&text=La%20pureza%20del%20)

[es-](https://www.atlascopco.com/es-es/compressors/air-compressor-blog/iso-8573-1-como-interpretamos-la-norma#:~:text=interpreta%20la%20norma%3F-,La%20norma%20ISO%208573%2D1%20clasifica%20los,del%20aire%20en%20tres%20categor%C3%ADas%3A&text=La%20pureza%20del%20)

[es-](https://www.atlascopco.com/es-es/compressors/air-compressor-blog/iso-8573-1-como-interpretamos-la-norma#:~:text=interpreta%20la%20norma%3F-,La%20norma%20ISO%208573%2D1%20clasifica%20los,del%20aire%20en%20tres%20categor%C3%ADas%3A&text=La%20pureza%20del%20)

[,La%20norma%20ISO%208573%2D1%20clasifica%20los,del%20aire%20en%20tres%20](https://www.atlascopco.com/es-es/compressors/air-compressor-blog/iso-8573-1-como-interpretamos-la-norma#:~:text=interpreta%20la%20norma%3F-,La%20norma%20ISO%208573%2D1%20clasifica%20los,del%20aire%20en%20tres%20categor%C3%ADas%3A&text=La%20pureza%20del%20)

[0categor%C3%ADas%3A&text=La%20pureza%20del%20](https://www.atlascopco.com/es-es/compressors/air-compressor-blog/iso-8573-1-como-interpretamos-la-norma#:~:text=interpreta%20la%20norma%3F-,La%20norma%20ISO%208573%2D1%20clasifica%20los,del%20aire%20en%20tres%20categor%C3%ADas%3A&text=La%20pureza%20del%20)

Atlas Copco. (2020). *Tanques de Aire Comprimido*. Obtenido de 2020 Atlas Copco Argentina

S.A.C.I.: [https://www.atlascopco.com/es-ar/compressors/air-compressor-blog/que-son-](https://www.atlascopco.com/es-ar/compressors/air-compressor-blog/que-son-los-tanques-de-aire-comprimido-2)

[los-tanques-de-aire-comprimido-2](https://www.atlascopco.com/es-ar/compressors/air-compressor-blog/que-son-los-tanques-de-aire-comprimido-2)

COMPRESORES KAESER. (s.f.). *Técnica de Aire Comprimido-Fundamentos y conceptos*

básicos. Obtenido de <https://ar.kaeser.com/download.ashx?id=tcm:42-5981>

DIANA DEAZA CARVAJAL, D. A. (2019). *CÁLCULO Y SELECCIÓN DE UN SISTEMA DE*

TRATAMIENTO DE AIRE. Obtenido de

<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/24298/1/Herre%C3%B1oPe%C3%B1aDiegoAlejandro2019.pdf>

fluidandpipe. (Septiembre de 2018).

<https://www.colombiaproductiva.com/getattachment/1da39f8c-764c-48c6-957a-9c2f14b81e28/Memorias-sistema-de-aire-comprimido.aspx>. Obtenido de <https://www.colombiaproductiva.com/getattachment/1da39f8c-764c-48c6-957a-9c2f14b81e28/Memorias-sistema-de-aire-comprimido.aspx>

Francisco Narváez. (2018). *FUID & PIPE INGENIERIA*. Obtenido de

<https://www.colombiaproductiva.com/getattachment/1da39f8c-764c-48c6-957a-9c2f14b81e28/Memorias-sistema-de-aire-comprimido.aspx>

Ingemecánica. (2020). *Ingemecánica*. Obtenido de

<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn201.html>

KAESER. (s.f.). *Calculadora KAESER*. Obtenido de

<https://es.kaeser.com/servicios/conocimiento/calculadora/>

KAESER. (s.f.). *Compresor de Tornillo de Velocidad Variable Serie BSD SFC*. Obtenido de

<https://cl.kaeser.com/download.ashx?id=tcm:43-5924>

López, J. J. (s.f.). Obtenido de [https://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/5707/tfe-](https://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/5707/tfe-par-dis.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[par-dis.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/5707/tfe-par-dis.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

López, J. J. (s.f.). *Diseño de las redes de aire comprimido y transporte neumático en un astillero*. Obtenido de Escuela Técnica Superior de Ingeniería Naval y Oceánica:

<https://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/5707/tfe-par-dis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

López, José Javier Paredes. (15 de 5 de 2020). Obtenido de

<https://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/5707/tfe-par-dis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Martín, A. N. (Febrero de 2015). *Universidad de Zaragoza*. Obtenido de Repositorio de la

Universidad de Zaragoza-Zaguan: <https://zaguan.unizar.es/record/37183/files/TAZ-PFC-2015-158.pdf>

MICRO Automación. (4 de 2019). *MICRO Automación*. Obtenido de

<https://ar.microautomacion.com/wp-content/uploads/2019/04/CMMICRO201819esp.pdf>

Minambiente. (21 de Noviembre de 2017). *Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo*

Sostenible. Obtenido de

<https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/96-res%202254%20de%202017.pdf>

MoraTorres, J. (s.f.). *slideshare*. Obtenido de

<https://www.slideshare.net/JosMoraTorres/nomograma-neumtico-para-calculo-de-tubera-de-una-red-neumtica>

MundoCompresor. (s.f.). *MundoCompresor-Portal Industrial*. Obtenido de

<https://www.mundocompresor.com/articulos-tecnicos/cuatro-consejos-para-calcular-caudal-compresor>

Rodriguez, M. C. (10 de julio de 2020).

Squire-Cogswell. (s.f.). *ACFM Vs. SCFM Vs. ICFM*. Obtenido de Series of Technical White

Papers from Squire-Cogswell: <https://openbar-energy.com/pdf/ACFMvsSCFMvsICFM.pdf>

Squire-Cogswell. (s.f.). *Squire-Cogswell.com*. Obtenido de <https://offenbar-energy.com/pdf/ACFMvsSCFMvsICFM.pdf>

wikimedia commons. (7 de 5 de 2016). *wikimedia commons*. Obtenido de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Atmosphere_gas_proportions.svg

Zamora, D. R. (2018). *INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA*. Obtenido de Tesis de Grado:

https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10052/redise%C3%B1o_red_distribucion_aire_comprimido_planta.pdf?sequence=1&isAllowed=y

7. ANEXOS

Anexo A. *NORMAS PARA EL AIRE COMPRIMIDO* (DIANA DEAZA CARVAJAL, 2019, págs. 13,14)

Anexo B. *Consumo de Aire Bomba Neumática Marca ARO*

Anexo C. *Consumo de Aire en Cilindros Neumáticos*

Anexo D: *Ábaco de Moody*

Anexo E. *Nomograma para Calcular el Diámetro de la Tubería*

Anexo F: *Nomograma Para Cálculo de Longitud Supletorias en tuberías de aire*

Anexo G: *Pérdidas de Caudal por Orificios*

Anexo H: *Tabla de Conversión de Unidades*

Anexo I: *Factor de Corrección del SCFM a ACFM y Viceversa*

Anexo J: *Longitud Equivalente en Metros*

Anexo K. *Compresor para Suplir Requerimiento de Demanda fluctuante*

Anexo L. *Ficha Técnica Materia Prima Hidrosal*

Anexo M. *Ficha Técnica Materia Prima Azúcar Pulverizada*

Anexo N. *Ficha Técnica Materia Prima Carbonato de Calcio*

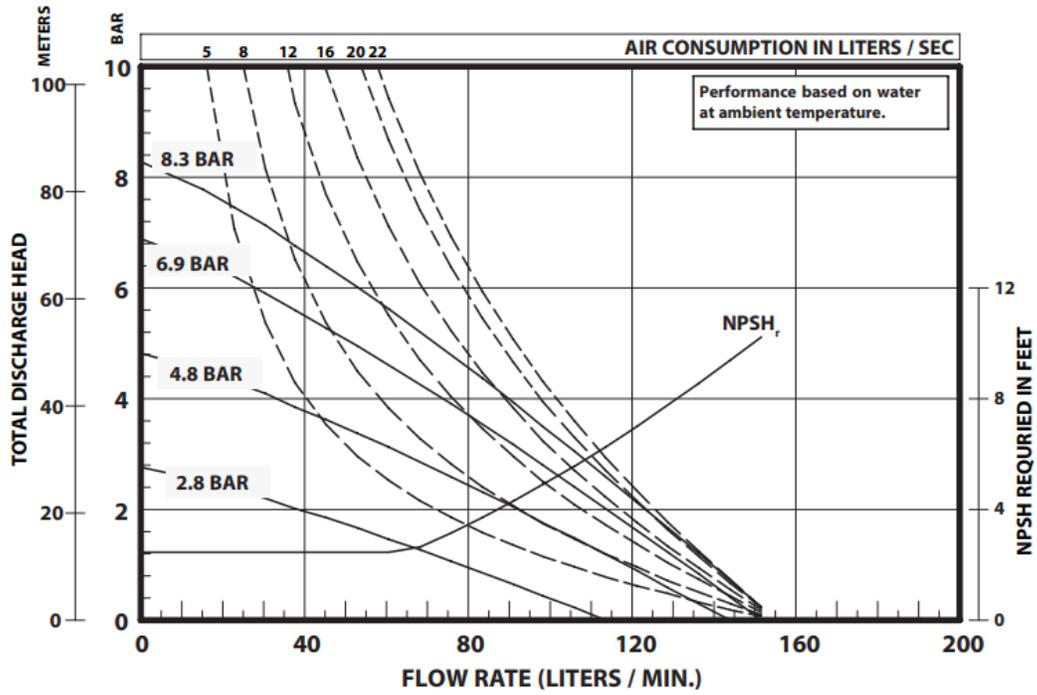
Anexos Ñ. *Tanque de almacenamiento Requerido Capacidad 4,38 m³*

Anexo A. *NORMAS PARA EL AIRE COMPRIMIDO* (DIANA DEAZA CARVAJAL, 2019, págs. 13,14)

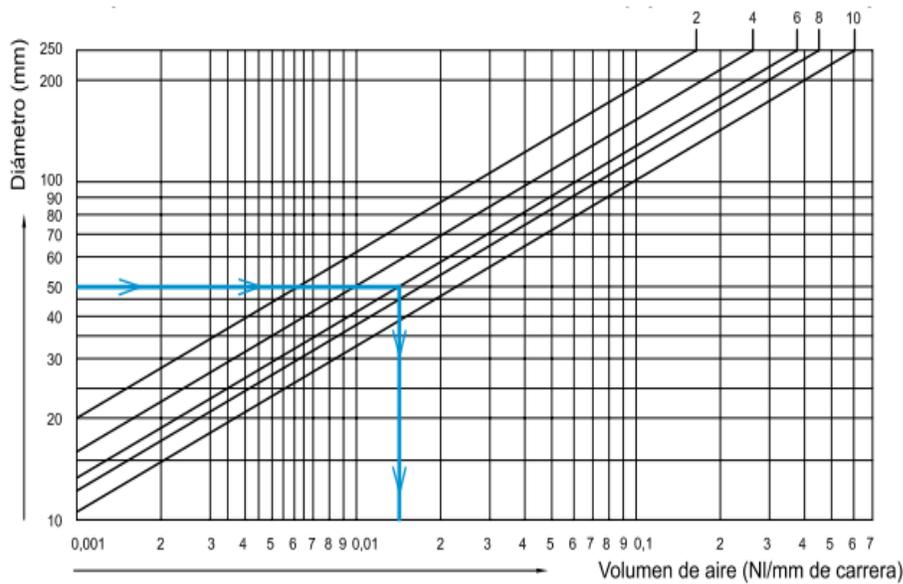
LA regulación de las pruebas que se deben realizar en los sistemas de aire comprimido y a la vez garantizar su calidad en cuanto a su pureza las realiza la “Organización Internacional de Normalización (ISO)

- La Serie ISO 7183: Especifica los datos de rendimiento a aplicar para la presión de los secadores incluyendo los parámetros para la presión en el punto de rocío, la tasa de flujo de aire, la pérdida del aire, el consumo de energía y la emisión de ruidos.
- La Serie ISO 12500: Especifica los procedimientos y las pruebas a realizar en los filtros en un sistema de aire, con el fin de determinar la eliminación de aerosoles de aceite y el rendimiento del filtro.
- La Serie ISO 8573: Especifica los métodos y las pruebas pertinentes para la determinación de los contaminantes contenidos en el aire comprimido. La importancia de la norma ISO 8573 es ampliamente conocida a nivel industrial, 14 entre la clasificación de los contaminantes que realiza esta norma se tiene: partículas sólidas, humedad residual y contenido de aceite residual. La presencia de estos contaminantes causa desgaste prematuro, óxido y corrosión de las herramientas y tuberías, daños en la instrumentación. La norma ISO 8573 consta de nueve partes, en la cual la primera parte especifica los requisitos de calidad del aire comprimido y las partes 2 a 9 especifican los métodos de prueba para una amplia gama de contaminantes.
- La ISO 8573-1:2010: Especifica la cantidad de contaminación admisible en cada metro cúbico de aire comprimido.
- ISO 8573-2:2007: Especifica el método de prueba para contenido de aerosoles de aceite.
- La ISO 8573-3:1999: Especifica el método de prueba para la medición de la humedad.
- La ISO 8573-4:2001: Especifica el método de prueba para contenido de partículas sólidas.
- La ISO 8573-5:2001: Especifica el método de prueba para contenido de vapores de aceite y disolventes orgánicos.
- La ISO 8573-6:2003: Especifica el método de prueba para contenido de contaminantes gaseosos.
- La ISO 8573-7:2003: Especifica el método de prueba para contenido de contaminantes microbiológicos posibles.
- La ISO 8573-8:2004: Especifica la prueba para contenido de partículas sólidas por concentración másica.
- La ISO 8573-9:2004: Especifica el método de prueba para contenido de agua líquida.

Anexo B. Consumo de Aire Bomba Neumática Marca ARO

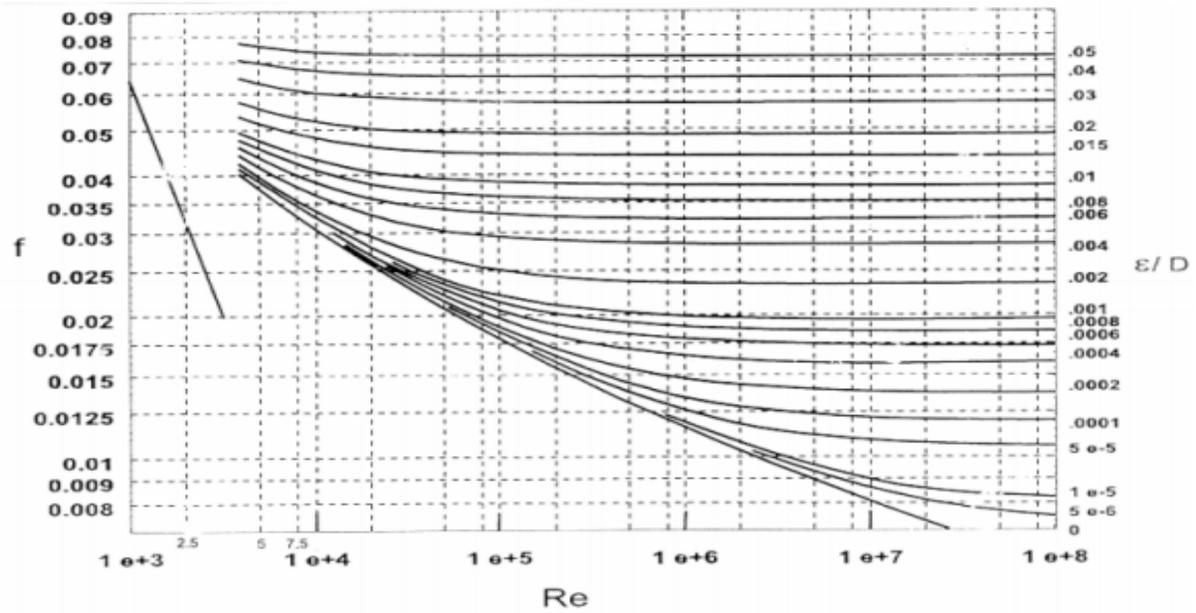


Anexo C. Consumo de Aire en Cilindros Neumáticos



Fuente: Manual Micro-descargado en pdf de la página: <https://ar.microautomacion.com/wp-content/uploads/2019/04/CMMICRO201819esp.pdf>

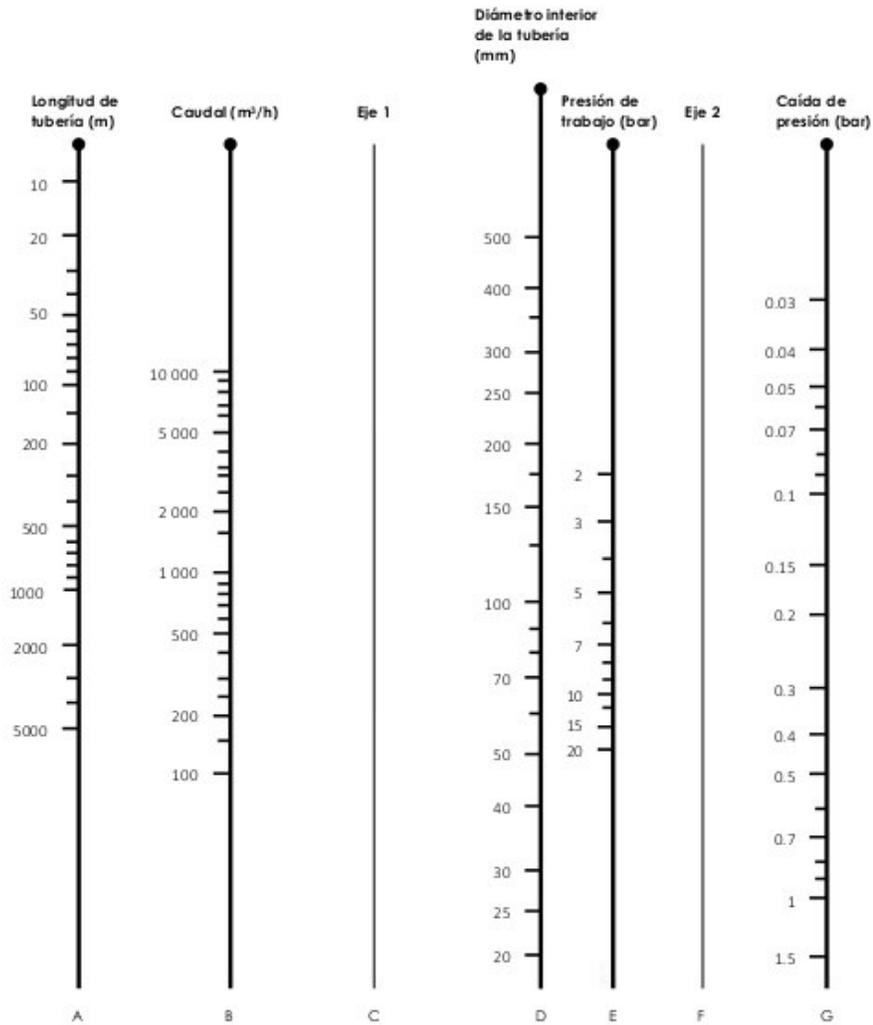
Anexo D: *Ábaco de Moody*



Fuente: (MoraTorres) <https://www.slideshare.net/JosMoraTorres/nomograma-neumatico-para-calculo-de-tubera-de-una-red-neumatica>

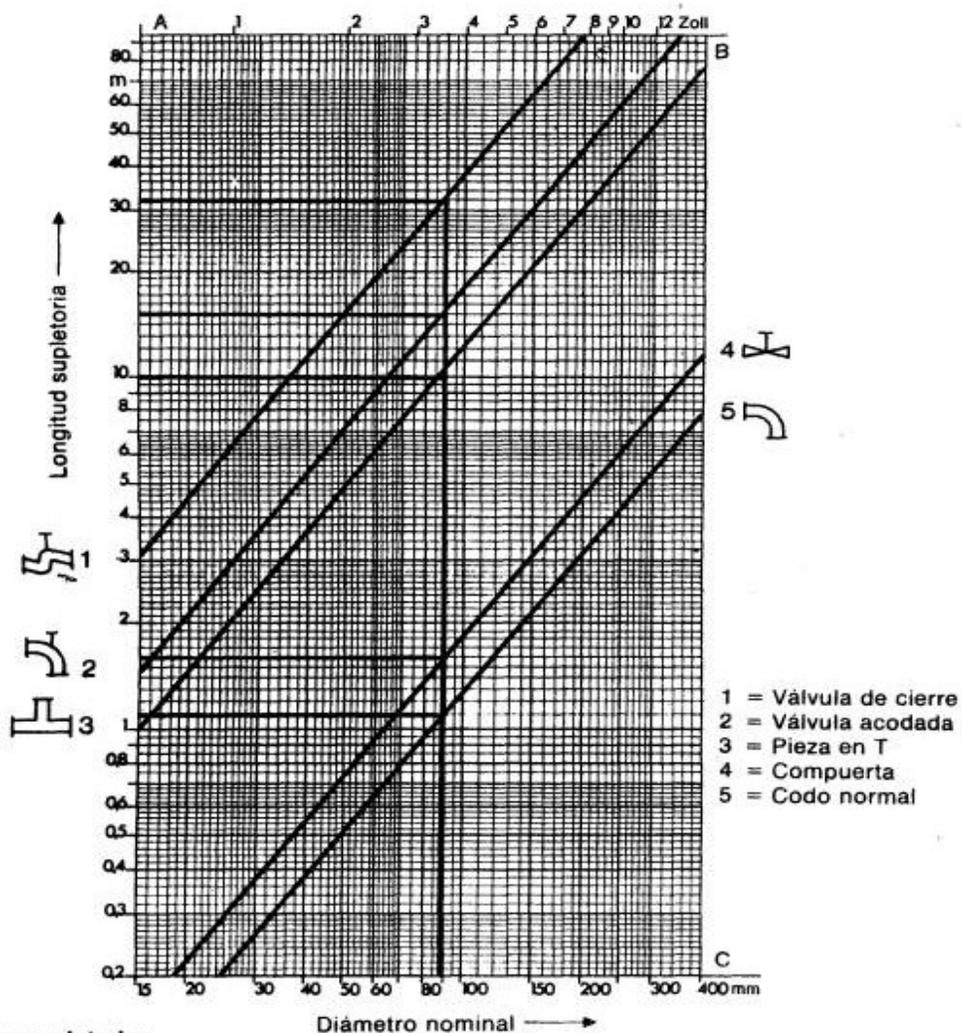
Anexo E. Nomograma para Calcular el Diámetro de la Tubería

NOMOGRAMA PARA DIAMETRO DE TUBERIA:



Fuente: (MoraTorres) <https://www.slideshare.net/JosMoraTorres/nomograma-neumatico-para-calculo-de-tubera-de-una-red-neumatica>

Anexo F: Nomograma Para Cálculo de Longitud Supletorias en tuberías de aire



Longitudes supletorias

6 piezas en T (90 mm)	= 6 · 10,5 m = 63 m
1 válvula de cierre (90 mm)	= 32 m
5 codos normales (90 mm)	= 5 · 1 m = 5 m
	100 m

Longitud de la tubería	280 m
Longitud supletoria	100 m
Longitud total de tubería	380 m

Fuente: (Acosta) Capítulo 2 neumática y electro neumática, de la página web:

https://www.academia.edu/32541677/CAPITULO_2_NEUM%C3%81TICA_Y_ELECTRONEUMATIC:A

Anexo G: Pérdidas de Caudal por Orificios



Tabla de Fugas

Pérdida de caudal por un orificio o fuga de acuerdo con el diámetro y la presión del Sistema de Aire Comprimido

Presión psi	DIÁMETRO DEL ORIFICIO										
	1/32	1/16	1/8	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8	1	pulgadas
	0.79	1.59	3.18	6.35	9.53	12.7	15.88	19.05	22.23	25.4	mm
PIES CUBICOS POR MINUTO DE SALIDA DE AIRE											
1	0.11	0.45	1.80	7.18	16.20	28.70	45.00	64.70	88.10	115.00	
2	0.16	0.63	2.53	10.10	22.80	40.50	63.30	91.20	124.00	162.00	
3	0.19	0.76	3.10	12.40	27.80	49.50	77.50	111.00	152.00	198.00	
4	0.22	0.89	3.56	14.30	32.10	57.00	89.20	128.00	175.00	228.00	
5	0.25	0.99	3.97	15.90	35.70	63.50	99.30	143.00	195.00	254.00	
6	0.27	1.09	4.34	17.40	39.10	69.50	109.00	156.00	213.00	278.00	
7	0.29	1.17	4.68	18.70	42.20	75.00	117.00	168.00	230.00	300.00	
9	0.31	1.32	5.30	21.20	47.70	84.70	132.00	191.00	260.00	339.00	
12	0.38	1.52	6.07	24.30	54.60	97.00	152.00	218.00	297.00	388.00	
15	0.42	1.68	6.72	26.90	60.50	108.00	168.00	242.00	329.00	430.00	
20	0.49	1.96	7.86	31.40	70.70	126.00	196.00	283.00	385.00	503.00	
25	0.56	2.25	8.91	35.90	80.90	144.00	225.00	323.00	440.00	575.00	
30	0.63	2.53	10.10	40.50	91.10	162.00	253.00	365.00	496.00	648.00	
35	0.70	2.81	11.30	45.00	101.00	180.00	281.00	405.00	551.00	720.00	
40	0.77	3.10	12.40	49.60	112.00	198.00	310.00	446.00	607.00	793.00	
45	0.85	3.38	13.50	54.10	122.00	216.00	338.00	487.00	662.00	865.00	
50	0.91	3.66	14.70	58.60	132.00	235.00	366.00	528.00	718.00	938.00	
60	1.06	4.23	16.90	67.60	152.00	271.00	423.00	609.00	828.00	1082.00	
70	1.20	4.79	19.20	76.70	173.00	307.00	479.00	690.00	939.00	1227.00	
80	1.34	5.36	21.40	85.70	193.00	343.00	536.00	771.00	1050.00	1371.00	
90	1.48	5.92	23.70	94.80	213.00	379.00	592.00	853.00	1161.00	1516.00	
100	1.62	6.49	26.00	104.00	234.00	415.00	649.00	934.00	1272.00	1661.00	
110	1.76	7.05	28.20	113.00	254.00	452.00	705.00	1016.00	1383.00	1806.00	
120	1.91	7.62	30.50	122.00	274.00	488.00	762.00	1097.00	1494.00	1951.00	
125	1.98	7.90	31.60	126.00	284.00	506.00	790.00	1138.00	1549.00	2023.00	
150	2.37	9.45	37.50	150.00	338.00	600.00	910.00	1315.00	1789.00	2338.00	
200	3.10	12.35	49.00	196.00	441.00	784.00	1225.00	1764.00	2401.00	3136.00	
250	3.80	15.18	60.30	241.00	541.00	964.00	1508.00	2169.00	2952.00	3856.00	
300	4.88	18.08	71.30	287.00	646.00	1148.00	1795.00	2583.00	3515.00	4592.00	
400	5.98	23.81	94.50	378.00	851.00	1512.00	2360.00	3402.00	4630.00	6048.00	
500	7.41	29.55	117.30	469.00	1055.00	1876.00	2930.00	4221.00	5745.00	7504.00	

Escaneado con CamScanner

Fuente: Kaeser

Tablas de Conversiones

Anexo 1 **Tabla de Conversión de Unidades**

Multiplique	Por	Para Obtener
ft ²	929	cm ²
in ²	6,45	cm ²
m ²	10,7	ft ²
m ²	1550	in ²
ft ²	144	in ²

ENERGÍA		
Multiplique	Por	Para Obtener
Btu	251,99	cal
Btu	0,2519	kcal
hp h	2544,4	Btu
kW h	3412,14	Btu
Btu	1055	Nm
Btu	1055	J

FLUJO		
Multiplique	Por	Para Obtener
m ³ /s	2118,88	cfm
m ³ /m	35,31	cfm
m ³ /m	2118,88	cfh
m ³ /m	16,6	l/s
m ³ /m	1000	l/m
cfm	1,69	m ³ /h
cfm	28,31	l/m
cfm	1699	l/h
cfm	60	cfh
cfm	448	gal/h
l/s	2,12	cfm
m ³ /h	35,31	cfh

FUERZA		
Multiplique	Por	Para Obtener
lbf	44,4	N
lbf	0,45	kgf
kgf	9,8	N

DISTANCIA		
Multiplique	Por	Para Obtener
in	25,4	mm
ft	304,8	mm
in	2,54	cm
ft	30,48	cm
ft	12	in

VOLUMEN		
Multiplique	Por	Para Obtener
ft ³	1728,00	in ³
US gal	0,13	ft ³
l	0,035	ft ³
m ³	61023,74	in ³
m ³	35,31	ft ³
m ³	264,17	US gal
m ³	1000,00	l

PRESIÓN		
Multiplique	Por	Para Obtener
psi	6894,76	Pa
psi	6,89	kPa
bar	14,5	psi
MPa	145	psi
MPa	10	bar
kg/cm ²	14,22	psi
atm	14,7	psi
inHg (32°F o 0°C)	3386,39	Pa
inHg (32°F o 0°C)	3,39	kPa
inHg (32°F o 0°C)	0,0338	bar
inHg (32°F o 0°C)	33,86	mbar
inHg (32°F o 0°C)	25,4	mmHg
inHg (32°F o 0°C)	0,0334	atm
inHg (32°F o 0°C)	0,4911	psi
kPa	102	mmH ₂ O (39,2°F o 4°C)
psi	703	mmH ₂ O (39,2°F o 4°C)
mbar	10,2	mmH ₂ O (39,2°F o 4°C)

Fuente: Kaeser

Anexo I: Factor de Corrección del SCFM a ACFM y Viceversa

Presión (bar(a))	Presión (psia)	SCFM a ACFM	ACFM a SCFM
1,014	14,70	1,151	0,869
1,000	14,50	1,168	0,856
0,983	14,25	1,190	0,840
0,965	14,00	1,213	0,824
0,948	13,75	1,237	0,808
0,931	13,50	1,261	0,793
0,914	13,25	1,287	0,777
0,896	13,00	1,314	0,761
0,879	12,75	1,341	0,746
0,862	12,50	1,371	0,729
0,845	12,25	1,401	0,714
0,827	12,00	1,433	0,698
0,810	11,75	1,466	0,682
0,793	11,50	1,500	0,667
0,776	11,25	1,537	0,651
0,758	11,00	1,575	0,635
0,741	10,75	1,615	0,619
0,724	10,50	1,658	0,603
0,707	10,25	1,702	0,588
0,689	10,00	1,749	0,572
0,672	9,75	1,799	0,556
0,655	9,50	1,851	0,540
0,638	9,25	1,907	0,524
0,621	9,00	1,966	0,509
0,603	8,75	2,029	0,493
0,586	8,50	2,097	0,477
0,569	8,25	2,168	0,461

Fuente: (Squire-Cogswell, ACFM Vs. SCFM Vs. ICFM):

Anexo J: Longitud Equivalente en Metros

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

Fuente: (Atlas Copco, 2011)

Anexo K. Compresor para Suplir Requerimiento de Demanda fluctuante

☼ **Compresor SIGMA SFC 110S** **Compresor de tornillo lubricado de velocidad variable – 90 Kw**

Imagen del equipo: (Solo como referencia)



Características

Capacidad volumétrica:	
@ 125 PsiG	134 – 588 CFM (FAD)
@ 175 PsiG	114 – 484 CFM (FAD)
@ 217 PsiG	92 – 419 CFM (FAD)
Potencia del motor:	90 Kw - TEFC
Clase de protección eléctrica:	IP 55
Tipo de aislante del motor:	ISO F
Voltaje:	460V/3 Fase/60Hz
Sistema de enfriamiento:	Agua
Variador de frecuencia:	Siemens
Acceso Certificado para EMC	Clase A1 para redes
dirección EN 55011	industriales
Conexión de descarga de aire comprimido:	2" NPT
Conexión de tubo Conduit:	2 x 2 1/4"; 4 x 1"
Conexión para agua de enfriamiento:	1" NPT
Dren de condensados	Eco Drain
Dimensiones: (L x A x H)	2.93m x 1.28m x 1.95m
Peso:	2400 Kg
Nivel de ruido:	74 dB(A)

☼ **Transmisión SFC**

La Tecnología en sistemas de transmisión de Siemens provee una confiabilidad y eficiencia en transmisión superior. La transmisión SFC de KAESER incluye Filtros EMI, contacto para separación galvánica y un reactor de línea proveyendo una protección superior.

☼ **Características de arranque superiores**

Compañías preocupadas por el consumo eléctrico aprecian las singulares características de las unidades SFC de KAESER. Con arranques de motor ilimitados, la corriente de entrada más baja disponible, ya la entrada de Kw que se ajusta a la demanda de aire, estas unidades proveen ahorros que directamente impactan a los gastos de energía eléctrica. Además, la transmisión SFC rinde casi un factor de potencia unitario la cual elimina penalidades de factor de potencia y los requeridos capacitores para corrección del factor de potencia.

☼ **Preciso control de presión**

Sensores de alta precisión proveen datos operacionales al controlador Sigma Control 2. Esto, en combinación con la respuesta del sistema de transmisión SFC, la presión es controlada a +/- 2 PsiG. El desperdicio de aire y consumo de energía causados por la sobre-presurización del sistema de aire es prevenido. Adicionalmente, la presión estable del sistema incrementa la productividad resultando en una mayor calidad de producto.

☼ **Eficiencia optimizada**

En las unidades SFC, el acoplamiento directo de relación 1:1 reduce el número de componentes requeridos en comparación de unidades con acoplamiento por engranajes, aumentando su confiabilidad y vida útil. KAESER ha seleccionado unidades de compresión sobre-dimensionadas apareadas específicamente para producir la capacidad en flujo y presión requerida. A comparación con compresores que utilizan unidades de compresión pequeñas, de alta velocidad y acopladas por medio de engranajes, el acoplamiento directo de relación 1:1 de las unidades SFC provee un ahorro triple: Transmisión, eficiente energía, consumo de energía mejorado, y reducción de mantenimiento.

Fuente: (KAESER), *Datos Técnicos Compresor KAESER Serie BSD SFC*, visite:

<https://cl.kaeser.com/download.ashx?id=tcm:43-5924>

Anexo L. Ficha Técnica Materia Prima Hidrosal

RP0050 CONSULTA FICHA ESPECIFICACIONES M.P. 25/09/20
15:34:28

CODIGO M.P.: 80037 DESCRIPCION: HIDROSAL-(SAL ZOOTECCIA)

ASPECTO: polvo
COLOR: blanco

DURACION: 24,0 (En meses)

M	E	CONCEPTO	L		F
			1	2	
			VALOR 1	VALOR 2	
	X	Olor	S sí		F
	X	Cloruro sódico (%)	> 99,0		
	X	Humedad por K.F. (%)	< 0,50		
	X	Aspecto	200		F
	X	Color	2		F
	X	Densidad aparente (g/l)	1092	1392	R
	X	Densidad compactada (g/l)	1268	1418	R
	X	Punto de inflamación (°C)	110		
		Combustible	- Ausencia		
	X	pH (solución al 5% en agua)	6,5	7,5	

Fuente: Departamento de Calidad Lucta Grancolombiana SAS

Anexo M. Ficha Técnica Materia Prima Azúcar Pulverizada

RP0050 CONSULTA FICHA ESPECIFICACIONES M.P. 25/09/20
15:43:24

CODIGO M.P.: 01685 DESCRIPCION: AZUCAR PULVERIZADA

ASPECTO: polvo
COLOR: blanco

DURACION: 24,0 (En meses)

M	E	CONCEPTO	L		F
			1	2	
			VALOR 1	VALOR 2	
	X	Olor	S sí		
	X	Inflamable	N no		
	X	Humedad por K.F. (%)	< 1,00		
	X	Aspecto	200		
	X	Color	2		
	X	Densidad aparente (g/l)	500	600	
		Partículas 0,125-0,25mm (%)	20,00	40,00	
		Partículas 0,075-0,125mm (%)	20,00	40,00	
	X	Mohos y levaduras (ufc/g)	< 100		
	X	Aerobios totales (ufc/g)	< 1000		

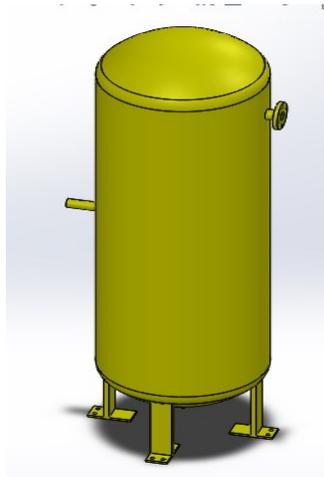
Fuente: Departamento de Calidad Lucta Grancolombiana SAS

Anexo N. Ficha Técnica Materia Prima Carbonato de Calcio

RP0050	CONSULTA FICHA ESPECIFICACIONES M.P.	25/09/20	
		15:41:49	
CODIGO M.P.: 01252	DESCRIPCION: CARBONATO DE CALCIO		
ASPECTO: polvo homogéneo			
COLOR: blanco a blanco grisáceo			
DURACION: 24,0 (En meses)			
M	L	L	F
E	1 VALOR 1	2 VALOR 2	R
X Olor	S sí		
X Inflamable	N no		
X Humedad por K.F. (%)	< 5,00		
X Riqueza (%)	> 98,00		
X Carbonato cálcico (%)	> 96,5		F
X Aspecto	270		F
X Color	2	3	F
X Densidad aparente (g/l)	925	1075	F
X Densidad compactada(g/l)	1221	1371	F
X Certificado limpieza cisterna	S sí		+

Fuente: Departamento de Calidad Lucta Grancolombiana SAS

Anexos Ñ. Tanque de almacenamiento Requerido Capacidad 4,38 m³



Fuente: Elaboración propia