

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

# **DISEÑO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO PARA LAS MÁQUINAS INYECTORAS WELLTEC Y LA SOPLADORA SAFIMO DEL PROCESO DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO EN LA EMPRESA INDUSTRIAS PLÁSTICAS MOSER S.A.S**

Iván Darío Zuluaga Muñoz  
Raúl Fernando Cruz Vargas  
Edixón Rene Zapata Zapata

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
Ingeniero electromecánico

Asesor:  
Adrián Felipe Martínez, MS.C

Instituto Tecnológico Metropolitano - ITM  
Facultad de Ingenierías  
Departamento Electromecánica  
Medellín, Colombia  
2022

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## RESUMEN

---

Industrias plásticas Moser S.A.S, es una empresa destinada a la fabricación de artículos de plástico utilizados en la industria farmacéutica y cosmética, la cual en los últimos 2 años a la venta de artículos alrededor del millón de unidades. Por tal motivo, los dueños de la empresa vieron la necesidad de comprar dos máquinas inyectoras marca Welltec y una sopladora marca Safimo, las cuales se instalaron en la empresa para cubrir la creciente demanda de productos.

Para estas 3 máquinas, se diseñó una nueva red de aire comprimido debido a que la red que se tenía en la empresa fue diseñada hace 10 años y ampliada hace 3 años. Por lo tanto, no permitía más ampliaciones ni modificaciones y resultaba más económico, diseñar una nueva red para las nuevas máquinas bajo los parámetros establecidos por la empresa y siguiendo la metodología sugerida por manuales de fabricantes como: Festo, Atlascopco y Kaeser.

A continuación, usted encuentra el diseño de la nueva red de aire comprimido realizado para la empresa Moser S.A.S, la cual fue diseñada bajo sus requerimientos y condiciones con el fin de poner en funcionamiento las dos (2) nuevas máquinas inyectoras marca Welltec y una (1) sopladora marca Safimo, las cuales cubrirán la creciente de manda de artículos y permitirán dar cumplimiento con las obligaciones establecidas por la empresa con sus clientes, mejorando sus ingresos y posicionándola en el mercado colombiano.

**Palabras clave:** Aire comprimido, Caudal total requerido, presión de trabajo, calidad del aire.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## RECONOCIMIENTOS

---

Agradecemos enormemente a nuestros familiares y amigos por su apoyo emocional y económico. También a los profesores de ingeniería electromecánica, por su paciencia y dedicación.

A mi compañero de trabajo de grado, por su empeño y motivación en momentos difíciles durante la realización de este proyecto.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

# ACRÓNIMOS

---

A: área de flujo ( $m^2$ )

CFM: Pies cúbicos por minuto ( $ft^3/\text{minuto}$ )

D: diámetro de la tubería principal (m)

d: diámetro de la tubería secundaria (m o in)

$V^0$ : Flujo volumétrico ( $m^3/s$  o  $ft^3/\text{minuto}$ )

L: longitud de la tubería (m)

$P_{\text{mínimo}}$ : presión mínima requerida por los equipos (psi o Pas)

$P_{\text{atmf}}$ : presión atmosférica (psi o Pas)

$P_{\text{abs}}$ : presión absoluta (psi o Pas)

$P_{\text{mano}}$ : Presión manométrica (psi o Pas)

$Q_{\text{Total}}$ : caudal total requerido ( $m^3/s$  o  $ft^3/\text{minuto}$ )

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

# TABLA DE CONTENIDO

---

1.	INTRODUCCIÓN .....	10
2.	MARCO TEÓRICO .....	12
2.1	Historia y aplicaciones del plástico .....	12
2.2	Máquinas utilizadas en la fabricación de objetos en plástico .....	13
2.2.1	<i>Maquina inyectora de plástico.</i> .....	13
2.2.2	<i>Máquina sopladora.</i> .....	14
2.3	Definición de Aire Atmosférico .....	14
2.4	Aire comprimido como gas ideal .....	15
2.4.1	<i>Presión.</i> .....	15
2.4.2	<i>Presión atmosférica (<math>P_{atmosférica}</math>).</i> .....	16
2.4.3	<i>Presión manométrica (<math>P_{manométrica}</math>).</i> .....	16
2.4.4	<i>Presión absoluta (<math>P_{absoluta}</math>).</i> .....	17
2.4.5	<i>Volumen Específico (<math>V</math>).</i> .....	17
2.4.6	<i>Ley de los gases ideales. 8.</i> .....	18
2.4.7	<i>Flujo volumétrico (<math>V^0</math>).</i> .....	19
2.5	Humedad del aire .....	19
2.5.1	<i>Punto de rocío.</i> .....	19
2.5.2	<i>Estándares de calidad del aire comprimido.</i> .....	20
2.6	<i>Tratamiento y componentes de una red de aire comprimido.</i> .....	21
2.6.1	<i>Separación del agua</i> .....	22
2.6.2	<i>Secado por adsorción.</i> .....	22
2.6.3	<i>Filtro para partículas sólidas.</i> .....	23
2.6.4	<i>Regulador de presión.</i> .....	23
2.6.5	<i>Tendido de la red.</i> .....	24
3.	METODOLOGÍA .....	27
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	28
4.1	Identificar los parámetros de diseño de la nueva red de aire comprimido .....	28

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL  TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

4.1.1 Características de las máquinas. ....	28
4.1.2 Requerimiento de la red de aire comprimido. ....	29
4.2 Establecimiento de la ubicación de los componentes principales de la red de aire comprimido a diseñar .....	30
4.3 Calculo de las variables de funcionamiento de la red de aire comprimido .....	30
4.3.1 Espacio disponible. ....	30
4.3.2 Cálculos de la red de aire comprimido. ....	31
4.4 Selección del compresor a utilizar por el sistema de aire .....	35
4.4.1 Volumen del tanque o pulmón. ....	36
4.5 Construcción de la red de aire comprimido .....	38
4.6 Planos mecánicos y eléctricos de la nueva red de aire comprimido diseñada .....	41
4.6.1 Planos mecánicos .....	41
4.6.2 Planos eléctricos .....	44
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO .....	46
REFERENCIAS .....	47
ANEXOS.....	50

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ámbar resina producida por el árbol de coníferas.....	12
Figura 2. Máquina inyectora de plástico.....	13
Figura 3. Máquina sopladora de plástico.....	14
Figura 4. Componentes del aire atmosférico.....	15
Figura 5. Concepto de presión y unidades.....	15
Figura 6. Presión de aire dependiendo de altura.....	16
Figura 7. Diferentes tipos de presiones existentes.....	17
Figura 8. Ley de los gases ideales.....	18
Figura 9. Suciedad del aire comprimido.....	21
Figura 10. Secado por adsorción.....	23
Figura 11. Filtro de impurezas.....	23
Figura 12. Válvula reguladora de presión.....	24
Figura 13. Tipos de redes aéreas.....	25
Figura 14. Inyectoras marca Welltec compradas por la empresa.....	28
Figura 15. Máquina sopladora Safimo comprada por la empresa.....	29
Figura 16. Vista interior de la bodega de la empresa Moser S.A.S.....	30
Figura 17. Red de malla de aire comprimido a realizar.....	31
Figura 18. Nomograma para calcular el diámetro de la tubería.....	32
Figura 19. Características de la tubería de polipropileno utilizadas para aire comprimido.....	33
Figura 20. Gramos de agua contenida por m <sup>3</sup> de aire a determinada temperatura.....	35
Figura 21. Tipo de compresor a utilizar según el caudal y la presión de trabajo.....	35
Figura 22. Compresor marca ALUP VARIO seleccionado para el sistema.....	36
Figura 23. Volumen del tanque o acumulador.....	37
Figura 24. Parte trasera del sistema de aire comprimido.....	38
Figura 25. Instalación de la guía metálica para el cableado de alimentación de las máquinas extrusoras y sopladora.....	38
Figura 26. Instalación de la tubería de polipropileno.....	39
Figura 27. Tubería en PVC para el suministro de agua utilizada para la refrigeración de las máquinas.....	39
Figura 28. Ubicación de las máquinas en su correspondiente punto de trabajo.....	40
Figura 29. Máquina extrusora conectada a la red y lista para trabajar.....	40
Figura 30. Máquina sopladora en mantenimiento.....	41
Figura 31. Vista 3D del sistema aire comprimido diseñado.....	41
Figura 32. Vista del compresor seleccionado.....	42
Figura 33. Red diseñada bajo las recomendaciones del manual de Atlascopco.....	42
Figura 34. Maquinas extrusoras y sopladoras conectadas a la red.....	43

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Figura 35. Vista de techo de la red de aire comprimido diseñada..... 43

Figura 36. Altura y diámetro de la red de aire comprimido diseñada. .... 44

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## LISTA DE TABLAS

---

	Pág.
Tabla 1. Especificaciones el aire según ISO 8573-1:2010.....	20
Tabla 2. Estándar ANSI/ISA- 7.0.01-1996 especificaciones del aire para instrumentos. ....	21
Tabla 3. Grado de saturación del agua a diferentes temperaturas y a presión atmosférica.....	22
Tabla 4. Requerimiento de la red de aire comprimido. ....	29
Tabla 5. Accesorios del tramo más largo. ....	32
Tabla 6. Perdidas por accesorios en longitud equivalente.....	33
Tabla 8. Características del compresor ALUP VARIO seleccionado para el sistema. ....	36

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

# 1. INTRODUCCIÓN

---

Industrias plásticas Moser S.A.S, es una empresa destinada a la fabricación de artículos de plástico utilizados en la industria farmacéutica y cosmética, esta fue fundada hace 23 años y en el último año, tuvo un incremento notorio en la cantidad de artículos vendidos, alcanzando ventas alrededor de 1 millón de unidades. Por tal motivo, los dueños de la empresa tomaron la decisión de adquirir dos (2) máquinas inyectoras y una (1) sopladora, con el fin de cubrir el aumento en la demanda de productos.

Estas nuevas máquinas fueron instaladas y puestas en funcionamiento, pero para esto, fue necesario diseñar y construir una nueva red de aire comprimido, debido a que la red que había no tenía la capacidad técnica para ser ampliada. Además, el compresor actual estaba trabajando a su máxima capacidad para cubrir la demanda del sistema. A continuación, se encuentra todo lo relacionado con el diseño y construcción de la nueva red de aire comprimido para la empresa Moser S.A.S, cuyo propósito es poner en funcionamiento las nuevas máquinas que fueron destinadas a cubrir la creciente demanda de productos.

Este proyecto está conformado por 5 capítulos: El primero es la introducción, en donde se describe de forma detallada la problemática existente y la justificación de las actividades aquí realizadas, juntamente con la descripción del contenido de cada capítulo del proyecto. Después encontrara el capítulo 2, conocido como marco teórico, donde esta descrito de forma detallada toda información recolectada en la investigación realizada y la cual fue usada como base para la ejecución del proyecto.

En el capítulo 3 encontramos la metodología, donde se definen todas las actividades a realizadas, las cuales permitieron alcanzar uno a uno los objetivos específicos, lográndose el cumplimiento del objetivo general. Después encontramos los resultados, capítulo principal del proyecto donde se plasmaron todos los resultados del diseño como la justificación de todas las decisiones tomadas para su construcción.

Por último, se encuentra el capítulo 5, donde están descritas las conclusiones obtenidas debido a las diferentes actividades realizadas durante la ejecución del proyecto, las cuales servirán como guía para futuros proyectos.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

### 1.1 Objetivo General

Diseñar la red de aire comprimido para las máquinas inyectoras Welltec y la sopladora Safimo del proceso de inyección de plástico en la empresa industrias plásticas Moser S.A.S

### 1.2 Objetivos Específicos

- Identificar los parámetros de diseño de la nueva red de aire comprimido.
- Establecer la ubicación de los componentes principales de la red de aire comprimido a diseñar (tanque, compresor y fuente impulsora) como de las máquinas a alimentar.
- Calcular las variables de funcionamiento principales del sistema de aire comprimido necesarias para el funcionamiento de las máquinas.
- Seleccionar el tipo de compresor, fuente impulsora y tipo de sistema de transmisión de potencia a utilizar por la red de aire comprimido diseñada.
- Realizar los planos mecánicos y eléctricos de la nueva red de aire comprimido diseñada para la empresa industrias plásticas Moser S.A.S.

## 2. MARCO TEÓRICO

---

### 2.1 Historia y aplicaciones del plástico

Antes de la creación de los polímeros sintéticos convencionales, la naturaleza era la única que se encargaba de su generación (ámbar), resina producida por arboles de coníferas. En la Figura 1, se puede ver como después de hacerle una incisión o raspado al árbol de coníferas este empieza a segregar una resina llamada ámbar (Garcia, 2008).



Figura 1. Ámbar resina producida por el árbol de coníferas.  
Fuente: (Depositphotos, 2022).

El hombre con el pasar de los años, se percató que muchos de los materiales que la naturaleza le proporcionaba, no poseían las propiedades adecuadas para cubrir sus necesidades, desde ese instante empezó la búsqueda incesante de nuevos materiales que posean mejores características como: alta resistencia, ductilidad, conductividad térmica y eléctrica, biodegradables, entre otras (Garcia, 2008).

El plástico es uno de los materiales más promisorios, el cual puede obtenerse de resina celulósica y del petróleo, este ofrece varias características interesantes: Bajo costo de producción, densidad baja, impermeable, podía ser utilizado como aislante acústico y térmico, resistente a la corrosión. Por tal motivo, hoy en día los plásticos son utilizados para la construcción de todo tipo de objetos: vasos, cintas, botellas, bolsas, cepillos, escobas, cubiertos, film de empaques, entre otros (Perdomo, 2002).

Debido a todo esto, el plástico es utilizado masivamente para la producción de todo tipo de objetos, para lo cual, se utilizan máquinas, como: sopladoras e inyectoras, las cuales, funcionan con aire comprimido. Por tal motivo, es indispensable el diseño o acondicionamiento de redes de

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

aire comprimido que cubran los requisitos de dichas máquinas como son: la presión y caudal mínimo requerido para su funcionamiento.

## 2.2 Máquinas utilizadas en la fabricación de objetos en plástico

**2.2.1 Máquina inyectora de plástico.** A continuación, se mencionan algunas características del funcionamiento de las máquinas más utilizadas para la fabricación de artículos de plástico, entre las cuales se destacan, las inyectoras de plástico cuyo propósito principal es fundir un material para posteriormente inyectarlo dentro de un molde por medio de un orificio llamado boquilla. El molde utilizado debe estar a una temperatura promedio de 15 °C y 17 °C, además debe estar cerrado a presión. Una vez el material ha sido depositado en el molde se espera que este se enfríe y solidifique para obtener la pieza moldeada (QuimiNet, 2017), ver Figura 2.

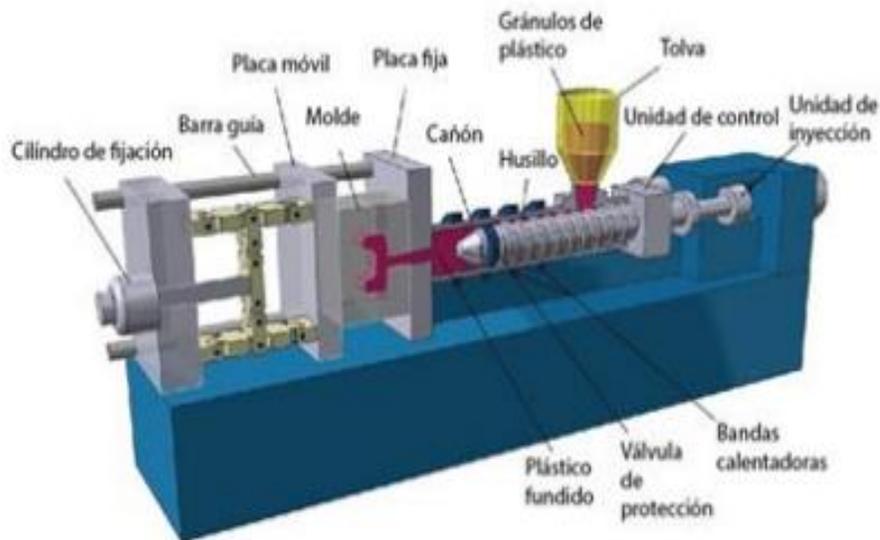


Figura 2. Máquina inyectora de plástico.

Fuente: (Paredes, 2018).

A continuación, se mencionan los componentes básicos de una máquina de inyección de plástico, según (Paredes, 2018):

- Cilindro de fijación y cilindro de control de ajuste de la unidad de cierre.
- Barra guía, permite el desplazamiento de la unidad de cierre para el ajuste del molde.
- Placa móvil, donde se sostiene el molde para la inyección.
- Molde, placa de acero la cual recibe el material caliente para formar la pieza final.
- Placa fija, es la encargada de recibir el impacto del cañón.
- Cañón, parte móvil de la unidad de inyección.
- Husillo, tornillo encargado de inyectar y carga el material.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

- Gránulos de plástico, material base.
- Tolva, recipiente donde se descarga el material base para la fabricación de la pieza.
- Unidad de control, utilizada para definir los parámetros de trabajo (tiempo, temperatura y velocidad de la máquina)
- Bandas térmicas o resistencias, encargadas de fundir el material ingresado.
- Unidad de inyección, está conformada por el husillo, cañón y resistencias de calentamiento.

**2.2.2 Máquina sopladora.** Otras de las máquinas más comunes utilizadas en la fabricación de artículos de plástico, son las sopladoras. Estas máquinas son las encargadas de dar la forma final al objeto a fabricar, por medio del aire suministrado a una manga tubular de polietileno plástico, la cual, se expande dentro del molde debido a la presión ejercida por el aire suministrado, haciendo que esté tome su forma, ver Figura 3.

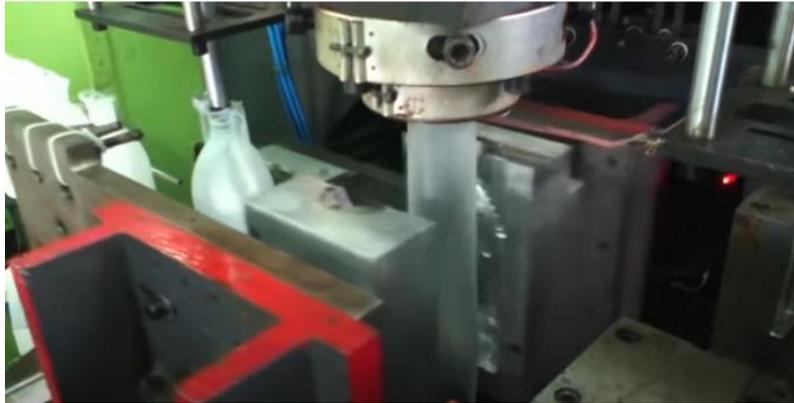


Figura 3. Máquina sopladora de plástico.  
Fuente: (Masapanta, 2016).

La temperatura de plastificación o de salida del material a través de la boquilla define el tiempo de enfriamiento de la pieza en el molde. Ahora, el llenado correcto de las cavidades del molde depende de la presión de soplado requerida, lo cual está definida por el tamaño de la pieza como por del diseño del molde.

### 2.3 Definición de Aire Atmosférico

El Aire atmosférico es una mezcla de gases : 78 % de nitrógeno, 20,9 % de oxígeno y un 0,03 % de dióxido de carbono, 0,9 % de argón y 0,17 % de otros gases (Areacencias, 2021). La composición exacta del aire se muestra a continuación, ver Figura 6:

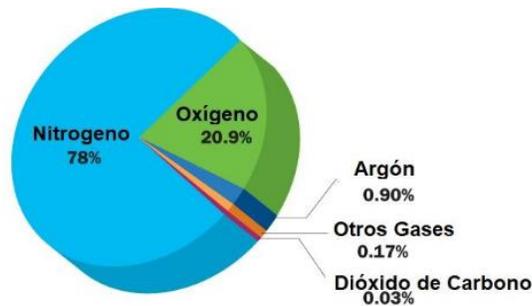


Figura 4. Componentes del aire atmosférico.  
Fuente: (Areaciencias, 2022).

Este aire es comprimido y luego aprovechado para generar trabajo, es utilizado para innumerables aplicaciones: llenar la llanta de una bicicleta, motocicleta o carro, en aplicaciones industriales para impulsar herramientas neumáticas y en muchas aplicaciones más.

#### 2.4 Aire comprimido como gas ideal

El aire comprimido es utilizado y analizado como un gas ideal y, por tal motivo, se deben considerar variables como: presión, volumen y temperatura (Cengel, 2007).

$$P * v = R * T \quad \text{Ecuación 1}$$

**Donde:**

P= presión absoluta (kPa)

v= volumen específico ( $m^3/kg$ )

T= temperatura absoluta (K)

R= constante del gas ideal ( $kJ/kg*k$ )

**2.4.1 Presión.** Es definida como la fuerza ejercida por un fluido por unidad de área, existen tres tipos de presiones: presión atmosférica, presión manométrica y presión absoluta; sus unidades en el sistema Internacional son los pascales (Pa o  $N/m^2$ ) y en el sistema inglés (psi o  $Lb/in^2$ ), ver Figura 7.

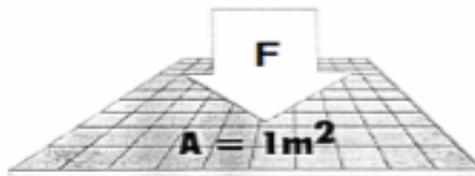


Figura 5. Concepto de presión y unidades.  
Fuente: (Kaeser Compresores de Colombia Ltda, 2012).

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{Ecuación 2.}$$

**Donde:**

P: presión (Pas o Psi)

F: fuerza (N o Lbf)

A: área (m<sup>2</sup> o in<sup>2</sup>)

**2.4.2 Presión atmosférica ( $P_{atmosférica}$ ).** Representa los metros columna de aire que hay por encima de un punto sobre la tierra, ósea que su densidad varía según su distancia al centro de la tierra, siendo esta más grande a mayor altura sobre el nivel del mar. La presión atmosférica normal a nivel del mar es de 101,3 kPa, equivalente a 760 mm de mercurio (Torr), ver Figura 7.

$$P_{atmosf} = \gamma * h \quad \text{Ecuación 3}$$

**Donde:**

$\gamma$  = peso específico de la sustancia (N/m<sup>3</sup>)

h= altura sobre el nivel del mar (m)

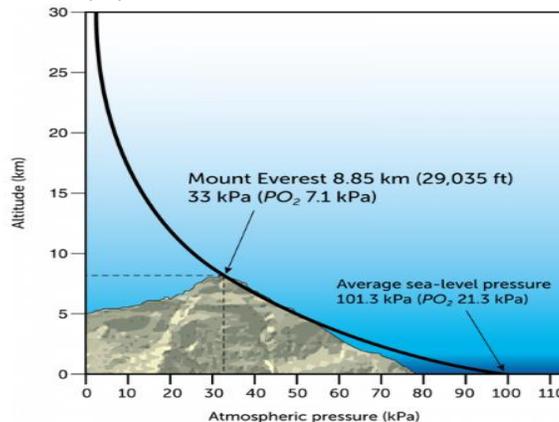


Figura 6. Presión de aire dependiendo de altura.

Fuente: (Aristasur, 2017).

**2.4.3 Presión manométrica ( $P_{manométrica}$ ).** Es la indicada por un manómetro de presión y representa la fuerza ejercida por un fluido dentro de una tubería a presión, también representa la diferencia entre la presión absoluta y la presión atmosférica.

$$P_{mano} = P_{abs} - P_{atmf} \quad \text{Ecuación 4}$$

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**2.4.4 Presión absoluta ( $P_{absoluta}$ ).** Representa la suma de la presión manométrica y la atmosférica, su punto de partida es el cero absoluto según la escala de temperatura. En la Figura 7, se puede visualizar la diferencia entre estos tipos de presiones.

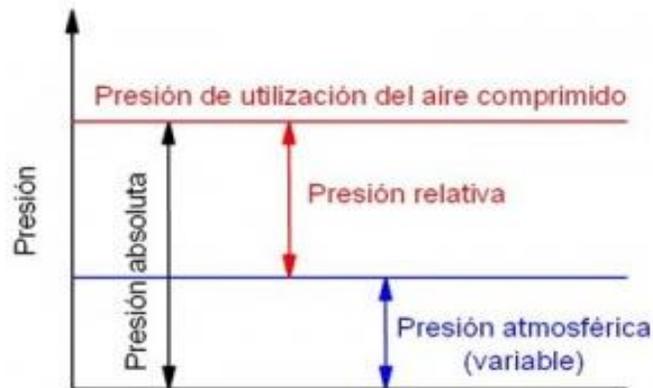


Figura 7. Diferentes tipos de presiones existentes.  
Fuente: (Cengel, 2007).

En la Figura 7, se identifica que la presión absoluta es la suma de las presiones manométrica y la atmosférica.

**2.4.5 Volumen Específico ( $V$ ).** Es el espacio ocupado por la masa de una sustancia, además es una variable de estado, este depende de la presión y la temperatura, en los sólidos y líquidos el volumen específico no varía mucho con la presión, pero cambia considerablemente con la temperatura. En cambio, en los gases el volumen cambia considerablemente con la presión, (Cengel, 2007).

$$V = \frac{1}{\rho} = \frac{m}{\rho} \quad \text{Ecuación 6}$$

**Donde:**

$\rho$  = densidad (Kg/m<sup>3</sup>)

m= masa (Kg)

**2.4.6 Ley de los gases ideales.** Un gas ideal es una sustancia formada por partículas puntuales que no se atraen ni se repulsan entre ellas y cuyos choques son perfectamente elásticos (conservación de momento y energía cinética), ver Figura 8.

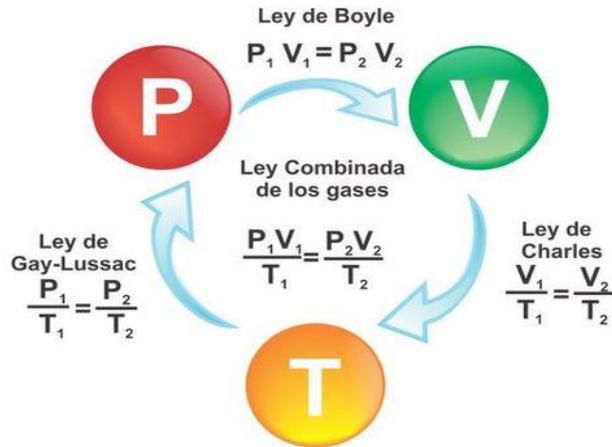


Figura 8. Ley de los gases ideales.  
Fuente: (Valenzuela, 2021).

Estas tres leyes conforman la ley de gases ideales

$$P * v = R * T \quad \text{Ecuación 7}$$

R es la constante de los gases que se consideran ideales y representa el trabajo mecánico producido por 1 kg de gas cuando este aumenta en 1 grado su temperatura (k) a presión constante y es diferente según el tipo de gas:

$$R_{\text{aire}} = 0,287 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{k}}$$

- Si el volumen es constante y la presión aumenta, la temperatura aumenta en consecuencia.
- Si la presión es constante y la temperatura aumenta, el volumen también aumenta en consecuencia.
- Si el volumen sigue siendo el mismo y la temperatura aumenta, la presión aumenta, por ejemplo, una llanta de automóvil.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**2.4.7 Flujo volumétrico ( $V^0$ ).** Es el volumen de fluido que pasa por un área en determinado tiempo, sus unidades pueden ser [l/min], [l/s], [m<sup>3</sup>/min] o [m<sup>3</sup>/h]. En un sistema el flujo volumétrico a la entrada y salida son iguales si la densidad no varía o este se considera incompresible (Cengel, 2007).

$$V^0 = \frac{m^0}{\rho} = V * A \quad \text{Ecuación 8}$$

**Donde:**

$m^0$ = flujo másico (kg/s)

V= velocidad del fluido (m/s)

A= área transversal del fluido (m<sup>2</sup>)

$V_e$ = velocidad a la entrada

$A_e$ = área de entrada

$A_s$ = área de salida

$$V^0_{\text{entrada}} = V^0_{\text{salida}} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$V_e * A_e = V_s * A_s \quad \text{Ecuación 10}$$

## 2.5 Humedad del aire

Es la cantidad de agua en forma de vapor de agua contenida en el aire, la cual finalmente puede condensarse o convertirse en gotas de agua.

**2.5.1 Punto de rocío.** El punto de rocío es la temperatura a la cual se debe enfriar el aire para que el vapor de agua se condense en rocío o escarcha. Muchas sustancias como el agua tienen la capacidad de existir en diferentes fases: líquida, sólida y en gas en una amplia variedad de condiciones.

En el aire hay múltiples gases, como el oxígeno, nitrógeno, y vapor de agua principalmente. El vapor de agua no es estable a diferencia de los otros dos (2) mencionados, por medio de la ley de Dalton podemos comprender como se comporta el vapor de agua en una mezcla de gases, se debe conocer que su presión total es la suma de las presiones parciales de los gases que lo componen. Esta es la ley de Dalton y se representa de la siguiente manera (mundocompresor, 2017):

$$P_{\text{total}} = P_1 + P_2 + P_3 \quad \text{Ecuación 11}$$

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

La temperatura y la presión determinan el contenido de vapor de agua en el gas, a mayor temperatura mayor cantidad de vapor de agua, pero a menor presión es menor la cantidad de vapor de agua en el aire.

**2.5.2 Estándares de calidad del aire comprimido:** La ISO 8573-1 de 2010 es una norma internacional que especifica las condiciones o especificaciones que debe tener el aire dependiendo del proceso en el que se vaya a utilizar. Esta norma contiene 9 estándares: el número 1 especifica los requisitos para la calidad del aire comprimido y las secciones 2 a 9 especifican los métodos de prueba para una amplia gama de contaminantes (Paker, 2015).

Los límites de los tres tipos de calidad del aire se definen a continuación:

- Tamaño máximo de partícula para todas las partículas restantes
- La temperatura de punto de rocío máxima permitida
- Cantidad máxima de aceite restante

A cada categoría se le asigna un número entre 1 y 6 que define su calidad, los cuales se pueden visualizar en la Tabla 1. A modo de ejemplo, un sistema que cumple con el estándar ISO 8573-2, se ubica dentro de la clase 1.2, generará aire con un punto de rocío que no supere los -40 °C las partículas restantes en el aire tendrán un tamaño igual o inferior a 0,01 µm y el contenido máximo de aceite será de 0,1 mg/m<sup>3</sup>.

Tabla 1. Especificaciones el aire según ISO 8573-1:2010.

ISO 08573-1:2010 CLASE	Partículas solidas			Concentración másica mg/m <sup>3</sup>	Agua		Aceite concentración total de aceite (liquido, aerosol y vapor) mg/m <sup>3</sup>
	Número máximo de partículas por m <sup>3</sup>				Punto de rocío a presión de vapor	Liquid a g/m <sup>3</sup>	
	0,1 - 0,5 micras	0,5 - 1 micras	1 - 5 micras				
0	Tal como especifique el usuario o el proveedor del equipo y más estrictos que los de 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 - 10	-	≤ 0,5	-
8	-	-	-	-	-	0,5 - 5	-
9	-	-	-	-	-	5 - 10	-
X	-	-	-	> 10	-	> 10	> 10

Fuente: (Paker, 2015).

Existen otros estándares para la calidad del aire comprimido, como el estándar ANSI/ISA-7.0.01-1996 que habla sobre las condiciones del aire para instrumentos, ver Tabla 2.

Tabla 2. Estándar ANSI/ISA- 7.0.01-1996 especificaciones del aire para instrumentos.

Calidad clase	Partícula Tamaño (um)	Punto de rocío °C	Punto de rocío °F	Contenido de aceite (mg/m <sup>3</sup> )
1	0,1	-70	-94	0,01
2	1	-40	-40	0,1
3	5	-20	-4	1
4	15	3	37	5
5	40	7	45	25
6	-	10	50	-

Fuente: (Vaisala, 2013).

## 2.6 Tratamiento y componentes de una red de aire comprimido

Los elementos básicos que componen una red de aire comprimido se describen a continuación (Apolo, 2009):

- Compresor
- Intercooler o Enfriadores
- Prefiltros
- Post filtros
- Secadoras/Deshidratadoras de aire
- Tanques o depósitos
- Red de tuberías
- Válvula reguladora de presión

El aire comprimido contiene debe ser tratado para eliminar impurezas que generan perturbaciones durante el funcionamiento de las herramientas alimentadas y utilizadas en el proceso. Estas impurezas son generadas por agua, polvo, óxido y aceite procedente del Compresor y del aire utilizado.

A continuación, se definen los efectos causados por cada una de estas impurezas: El agua origina desgaste y oxidación de las tuberías, componentes y herramientas neumáticas, además favorece la formación de hielo en ambientes de trabajo a baja temperatura. Ahora, las partículas sólidas dañan las juntas y las partes móviles de los componentes, ver Figura 9.



Figura 9. Suciedad del aire comprimido.

Fuente: (Kaeser Compresores de Colombia Ltda, 2012).

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL  TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Como se puede apreciar en la Figura 9, la suciedad del aire es despreciable a condiciones atmosféricas, pero después de ser comprimido o almacenado esta concentración aumenta porque disminuye su volumen.

**2.6.1 Separación del agua.** Es necesaria una eliminación del vapor de agua presente en el aire como resultado de la condensación, con el propósito de prevenir daños y oxidación en las máquinas utilizadas. La saturación del aire (punto de rocío) se encuentra evidenciada en tablas que muestran la presión atmosférica y a diferentes temperaturas, haciéndose necesario la implementación de tener trampas o purgas a través del trayecto de la red, como también antes de cada aplicación, ver tabla 3.

Tabla 3. Grado de saturación del agua a diferentes temperaturas y a presión atmosférica.

Temperatura °C	g/m <sup>3</sup> n (estándar)	g/m <sup>3</sup> (atmosférico)
-40	0,15	0,18
-35	0,25	0,29
-30	0,4	0,45
-25	0,64	0,7
-20	1	1,08
-15	1,52	1,61
-10	2,28	2,37
-5	3,36	3,42
0	4,98	4,98
5	6,99	6,86
10	9,86	9,51
15	13,76	13,04
20	18,99	17,69
25	25,94	23,76
30	35,12	31,64
35	47,19	41,83
40	63,03	54,108

Fuente: (Profesores, 2014).

Por ejemplo, en Medellín la temperatura promedio es de 27 °C indicando que 1 m<sup>3</sup> de aire contiene aproximadamente 29,612 g de agua/ m<sup>3</sup>.

**2.6.2 Secado por adsorción.** Es un procedimiento de secado químico, utilizado en instalaciones de bajo consumo de aire. Este equipo posee un depósito con una sustancia higroscópica, a través de la cual se hace circular el aire comprimido; el vapor de agua forma una emulsión agua-sal que se va licuando hasta el fondo del depósito y se purga al exterior por medio de una válvula. La masa higroscópica se consume, por lo que se hace necesaria su reposición periódica. En la salida de estos

equipos hay que colocar un filtro terminal que elimine las partículas de sal que arrastra el aire (AtlasCopco, 2011), ver Figura 10.

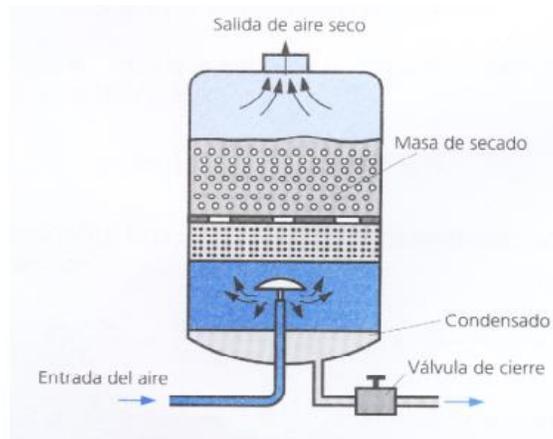


Figura 10. Secado por adsorción.  
Fuente: (Ingemecanica, 2011).

**2.6.3 Filtro para partículas sólidas.** Cumple la función de eliminar las impurezas solidas que pueda tener el aire, haciendo que este se choque con una placa deflectora ubicada en la parte superior haciendo que estas impurezas caigan al fondo para luego ser evacuadas al exterior a través del sistema de purga, que puede ser manual o automática (Atlascopco, 2011). Posteriormente el aire debe alcázar el conducto de salida, pero antes debe pasar por un cartucho filtrante cuya porosidad dependerá del nivel de pureza exigido en la instalación, ver Figura 11.

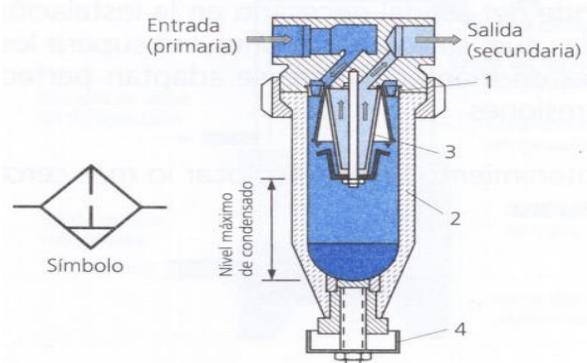


Figura 11. Filtro de impurezas.  
Fuente: (Ingemecanica, 2011).

**2.6.4 Regulador de presión.** Es una válvula que posee una membrana y un tornillo que reduce la presión de la red al nivel requerido por la instalación y lo mantiene constante, aunque haya variaciones en el consumo. Si la presión de salida aumenta debido a la reducción del flujo, el diafragma se comprime y la válvula inferior se cierra. De lo contrario, la válvula Inferior se abrirá y permitirá que el aire pase a través del sistema (Festo, 2014), ver figura 12.

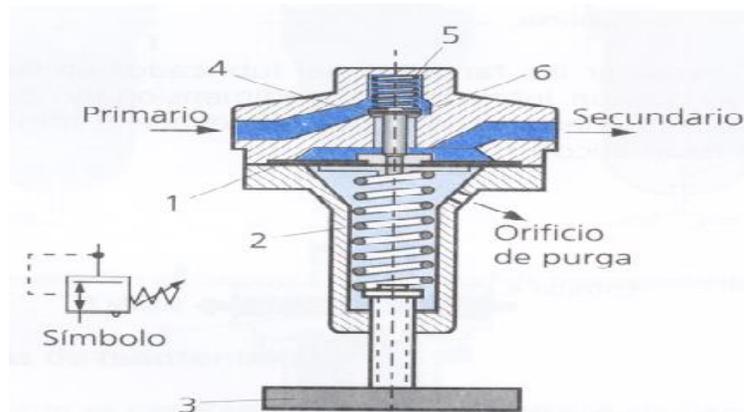


Figura 12. Válvula reguladora de presión.  
Fuente: (Ingemecanica, 2011).

**2.6.5 Tendido de la red.** El dimensionamiento y distribución de las redes de aire comprimido, es muy importante, estas definen las pérdidas generadas como la vigilancia y mantenimiento regular que se les debe realizar, por lo que deben estar visibles y no enterradas en el suelo, para que su reparación o supervisión resulte fácil, ver Figura 13.

A continuación, se mencionan algunas consideraciones para tener en cuenta cuando estas son diseñadas (Festo, 2014):

- Si no se dispone de un equipo de secado, las tuberías principales deben poseer una inclinación descendente de un 2 o 3 % en la dirección del flujo de aire permitiendo la evacuación del agua contenida a través de purgas colocadas en los puntos más bajos de la instalación.
- Las derivaciones realizadas para redes secundarias con respecto a la red principal se harán siempre por la parte superior de la tubería, utilizando cuellos de ganso.
- Se recomendada para consumos medios o altos es una red cerrada, la cual forma un anillo permitiendo que la presión se mantiene uniforme.

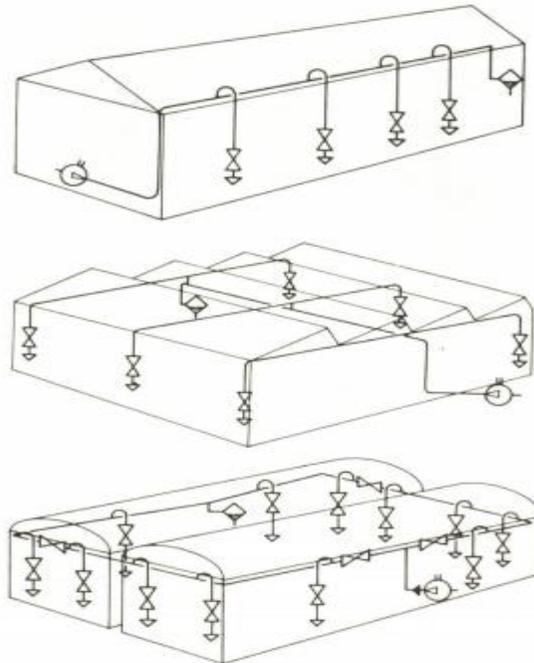


Figura 13. Tipos de redes aéreas.

Fuente: (Reyes, 2017).

Es importante recalcar que, para este tipo de diseños, se debe tener en cuenta las recomendaciones planteadas por el manual del fabricante, tesis y empresas fabricantes de componentes de redes de aire comprimido, a continuación, se ilustran algunas de estas recomendaciones:

Según Atlas Copco (AtlasCopco, 2011):

- Dimensionamiento de la tubería debe ser holgado para poder transportar el caudal que se requiere en la línea; además, para tener en cuenta posibles ampliaciones del sistema y reducir las pérdidas al máximo.
- La tubería debe tener una inclinación mínima del 3 % en la dirección del flujo de aire para permitir que los condensados baje hasta los puntos de purga del sistema.
- Colocar purga al final de cada pendiente.
- Se debe instalar cuellos de ganso en los puntos de alimentación de las máquinas o dispositivos para evitar que los condensados pasen a estos.
- Se debe realizar tratamiento al aire para reducir el contenido de humedad contenido en el aire, como de impurezas y aceite del sistema.
- Instalar conexiones ciegas para futuras ampliaciones.
- No realizar cambios bruscos en los diámetros de la red para no aumentar las pérdidas.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL  TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

- Realizar mantenimiento a la red por lo menos una vez al año.
- Reducir el número de conexiones al máximo en la red principal.
- Tener en cuenta la contaminación auditiva generada por el compresor del sistema de aire comprimido.

Según el fabricante de las máquina sopladora e inyectoras:

- Para estos diseños, se recomienda un aumento del flujo volumétrico máximo del 30 % del valor requerido por la máquina, permitiendo futuras ampliaciones del sistema.
- El fabricante recomienda la utilización de un secador integrado y filtros de precisión entre 0,01 y 0,05 micras.
- Según el manual del fabricante de la máquina la presión recomendada para su funcionamiento debe ser entre 100 a 115 psi.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

### 3. METODOLOGÍA

---

La metodología empleada para la realización del proyecto fue la siguiente: La primera actividad, consistió en realizar una búsqueda bibliográfica mediante palabras claves como: Aire comprimido, caudal total requerido, presión de trabajo y calidad del aire en tesis, repositorios institucionales y manual de fabricantes sobre las características de funcionamiento y componentes de las máquinas inyectoras y sopladora que serán alimentadas por la nueva red de aire a diseñar. Esta búsqueda permitió identificar variables claves en el diseño como lo son: presión, caudal, calidad del aire, entre otras; la información encontrada fue seleccionada según el año de la publicación como las veces que han sido consultada.

Luego, se estableció la ubicación de los componentes principales (tanque, compresor, fuente impulsora y sistema de transmisión de potencia), para lo cual se tuvo en cuenta los planos logísticos de la empresa, como las recomendaciones de algunos fabricantes como: Festo, Atlas Copco, entre otros. Por ejemplo: los componentes principales deben ir ubicados en la parte externa para evitar la contaminación auditiva, por otra parte, la contaminación ambiental es controlada con filtros purificadores según: manuales, tesis y fabricantes de máquinas

La tercera actividad, consistió en establecer la ubicación de las nuevas máquinas (inyectoras y sopladora) dentro de la empresa que fueron alimentadas por la nueva red de aire a diseñar. Además, era necesario tener definido la ubicación de los componentes principales (actividad N.2). Esto permitió medir la distancia existente entre la ubicación de los componentes principales del sistema y las máquinas que fueron alimentadas por la red diseñada dentro de la empresa, permitiendo conocer, otros parámetros como: longitud mínima de la red y número de accesorios requeridos por el sistema.

Posteriormente, se realizaron los cálculos de la red de aire comprimido, para conocer: el caudal mínimo necesario, las pérdidas de presión generadas, el tamaño del tanque de almacenamiento y la presión mínima que debía suministrar el compresor para el correcto funcionamiento de las máquinas. Después de tener todos los cálculos, se procedió a seleccionar los demás componentes eléctricos y mecánicos que hicieron parte del diseño, como lo son: compresor, fuente impulsora, accesorios de la red, entre otros.

La quinta actividad, consistió en el diseño del sistema eléctrico de encendido, el cual debía contar con las protecciones de seguridad, para evitar el daño de alguno de los componentes que conforman el sistema. Por último, se realizaron los esquemas de la red de aire, los cuales fueron la guía durante su construcción.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante la búsqueda bibliográfica realizada se encontró información relevante en relación con los parámetros, variables y recomendaciones a considerar para el diseño e instalación de sistemas de aire comprimido según los manuales de Kaiser, Festo y AtlasCopco, como en artículos de revistas y páginas web relacionadas con el tema, lo cual permitió la creación de las bases teóricas del trabajo, descritas en el marco teórico.

### 4.1 Identificar los parámetros de diseño de la nueva red de aire comprimido

**4.1.1 Características de las máquinas.** En esta sección se describen las características más relevantes de las máquinas inyectoras Welltec y la sopladora Safimo adquirida por la empresa. Las máquinas inyectoras están clasificadas según la fuerza de cierre, que en este caso es una de 90 toneladas y otra de 130 toneladas, trabajan con una corriente nominal de 52 amperios y funcionan con 220 voltios CA, motores eléctricos trifásicos, utilizan 12 kW de calefacción con resistencias eléctricas, requieren un caudal de 4,55 CFM y presiones máximas de 160 Psi o 11,04 bar, ver Figura 14.



Figura 14. Inyectoras marca Welltec compradas por la empresa.

Fuente: Elaboración propia.

La máquina sopladora posee una capacidad de 1 litro o 1000 g, requiere de 11,76 CFM y 120 psi o 8,3 bar, corriente nominal de 65 amperios, maneja un tornillo de 60 mm, 12 kW de calefacción con resistencias eléctricas funcionan con 220 voltios de corriente alterna, motores eléctricos trifásicos los cuales son alimentados con cable AWG # 6, ver Figura 15.



Figura 15. Máquina sopladora Safimo comprada por la empresa.  
Fuente: Elaboración propia.

**4.1.2 Requerimiento de la red de aire comprimido.** Industrias plásticas Moser S.A.S requiere de una nueva red de aire comprimido para alimentar las 3 máquinas nuevas (2 inyectoras y 1 sopladora) compradas para dar cumplimiento con la actual demanda de productos. En la Tabla 4 se pueden visualizar el caudal y la presión total demanda por las máquinas.

Tabla 4. Requerimiento de la red de aire comprimido.

MÁQUINA	CAUDAL (CFM)	PRESIÓN
Inyectora 1	4,55	100 psi o 6.8947 bar
Inyectora 2	4,55	100 psi o 6.8947 bar
Sopladora	11,76	105 psi o 7.239 bar
Total	20,86	105 psi o 7.239 bar

Fuente: Elaboración Propia.

Algunas de las recomendaciones establecidas por el fabricante son las siguientes: la tubería de conexión de aire a la entrada de las inyectoras y de la sopladora debe ser de 1 in. Además, el aire utilizado debe ser de alta calidad para no contaminar el producto final; por tal motivo, la tubería recomendada para el diseño es de polipropileno la cual a su vez es económica y no genera escoria o impurezas debido a la humedad contenida en el aire en comparación con la tubería de acero galvanizado.

Adicionalmente al valor total calculado de la presión, se le sumará 0,1 bar por pérdidas de presión en la tubería, sin importar la longitud. Además, se debe sumar un 30 % del caudal por posibles ampliaciones a la red (AtlasCopco, 2011).

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## 4.2 Establecimiento de la ubicación de los componentes principales de la red de aire comprimido a diseñar

Siguiendo las recomendaciones indicadas por los diferentes manuales encontrados durante la búsqueda bibliográfica realizada (Festo, Kaiser y Atlascopco) se recomienda que los componentes como: el compresor, el tanque de almacenamiento y el motor impulsor con su correspondiente sistema de transmisión sean ubicados en la parte exterior de la empresa para evitar la contaminación auditiva y las vibraciones generadas por el sistema. Además, este debe poseer un encerramiento para proteger los componentes del medio ambiente y de la posible manipulación por personal no calificado.

Para la ubicación de las máquinas inyectoras y la sopladora se estableció que están deben ir ubicadas cerca del compresor para evitar las pérdidas generadas por tramos muy largos en el sistema de aire comprimido y la sobre exposición de la red al sol y a la lluvia evitando la corrosión y condensación del aire que circula por la tubería. Por tal motivo, se construyó un cuarto en bloques de cemento y su correspondiente techo al fondo de la empresa en el costado sur, contiguo al área de mantenimiento de la empresa, la cual era utilizada como depósito de piezas reutilizadas y correspondientemente se ubicaron las maquinas a 12 o 15 metros del cuarto, las cuales estarán conectadas al compresor por medio de una tubería aérea para la fácil visualización de fugas.

A continuación, se describe de forma detallada todo el proceso realizado para el diseño de la nueva de red de aire comprimido de la empresa Moser S.A.S, destinada al suministro de aire comprimido requerido por las nuevas máquinas inyectoras y sopladora.

## 4.3 Calculo de las variables de funcionamiento de la red de aire comprimido

**4.3.1 Espacio disponible.** La bodega utilizada por la empresa posee aproximadamente 13500 m<sup>3</sup> distribuidos de la siguiente forma, ver Figura 16.



Figura 16. Vista interior de la bodega de la empresa Moser S.A.S  
Fuente: Elaboración propia.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

$$V_{\text{Bodega}} : 60 \text{ m de largo} * 25 \text{ m de ancho} * 9 \text{ m de alta} = 13500 \text{ m}^3$$

Para el diseño de la red de aire: Primero, se programó una visita a la empresa para planear su ubicación y distribución según las recomendaciones del manual de Festo, donde se recomienda una red aérea y cerrada (Festo, 2014), ver Figura 17.

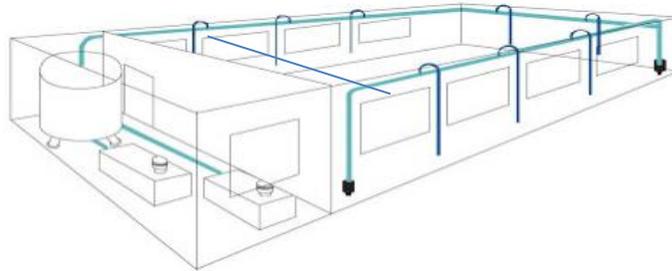


Figura 17. Red de malla de aire comprimido a realizar.  
Fuente: (Automatización, 2011).

La red debe ser aérea para identificar fácilmente las fugas y permitir reparar cualquier parte de esta sin tener que cortar el suministro de aire de las demás maquinas o equipos que estén unidos a esta para lo cual se ubicaron varias válvulas de mariposa.

**4.3.2 Cálculos de la red de aire comprimido.** Para empezar los cálculos de la red de aire comprimido, se parte del caudal total requerido que en este caso es de 20,86 CFM. A este caudal, se recomienda adicionarle un 30 % por posibles ampliaciones (Festo, 2014).

$$20,86 \text{ CFM} * \frac{30}{100} = 6,258 \text{ CFM}$$

Este sería el caudal adicional que debe tener el sistema por perdidas de caudal y por futuras ampliaciones que se deban realizar:

$$\text{Caudal total}_{\text{requerido}} = 20,86 \text{ CFM} + 6,258 \text{ CFM} = 27,118 \text{ CFM}$$

La presión por perdida máxima recomendada (AtlasCopco, 2011) será:

$$105 \text{ psi} * \frac{0.0689476 \text{ bar}}{1 \text{ psi}} = 7,2394 \text{ bar}$$

Entonces la presión mínima requerida es:

$$P_{\text{minima}} = 7,2394 \text{ bar} + 0,1 \text{ bar} = 7,3394 \text{ bar}$$

La longitud más larga medida es la comprendida entre la salida del compresor y el punto medio de la red diseñada.

$$L_{\text{larga}} = 112 \text{ m}$$

Durante este trayecto podemos encontrar los siguientes accesorios, ver Tabla 5.

Tabla 5. Accesorios del tramo más largo.

ACCESORIOS
3 codos de 90
4 Válvula de bola 3 te
Fuente: Propia.

El caudal total requerido es:

$$27,118 \frac{ft^3}{\text{minuto}} * \frac{0,0283168 m^3}{ft^3} = 0,7678 \frac{m^3}{\text{minuto}} * \frac{60 \text{ minutos}}{1 \text{ hora}} = 46,068 \frac{m^3}{\text{hora}}$$

El diámetro tentativo de la tubería es identificado a partir de la longitud de la tubería, caudal requerido y la presión mayor de las máquinas alimentadas por la red. Para lo cual, se trazan las líneas de color rojo y azul las cuales unen los datos requeridos en el nomograma y cortan las líneas verticales C y F. Luego se traza una línea que une estos 2 cortes (línea negra), la cual a su vez corta la línea vertical D quedando definido el diámetro tentativo de la tubería.

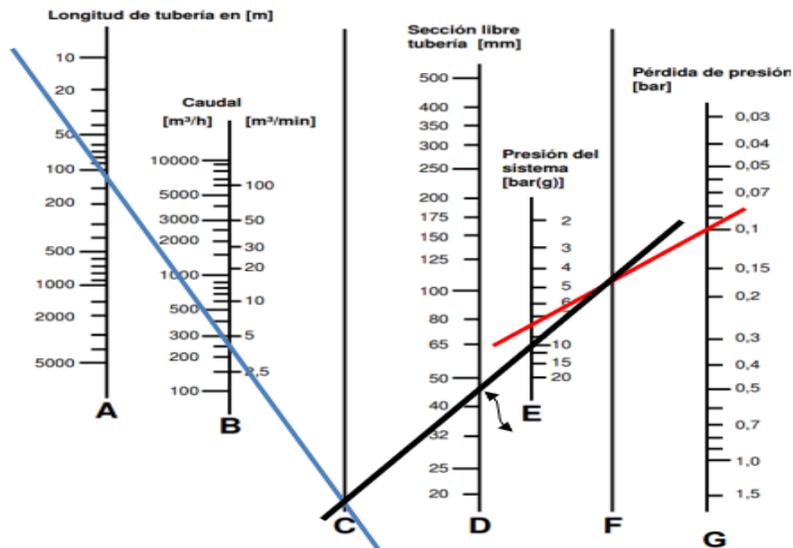


Figura 18. Nomograma para calcular el diámetro de la tubería.  
Fuente: (Festo, 2014).

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

El diámetro interno tentativo de la tubería es de 48 mm, el cual no es comercial se aproxima a 50 mm. Por tal motivo, se busca en el manual de Dicol los diámetros comerciales de este tipo de tubería (Dicol, 2018).

TUBERÍA EN POLIPROPILENO / RDE 7.4		AIRE COMPRIMIDO					
PN16		REFERENCIA	ØA [mm]	ØA [in]	ØB [mm]	S [mm]	Peso [kg]
TEMPERATURA AMBIENTE		20-101-16	20	1/2"	14.4	2.8	0.151
		20-102-16	25	3/4"	18	3.5	0.235
		20-103-16	32	1"	23.2	4.4	0.378
PRESIÓN DE TRABAJO VER TABLA PÁG 17		20-104-16	40	1 1/4"	29	5.5	0.585
		20-105-16	50	1 1/2"	36.2	6.9	0.912
		20-106-16	63	2"	45.8	8.6	1.435
		20-107-16	75	2 1/2"	55	10	2.052
		20-108-16	90	3"	65.4	12.3	2.933
		20-109-16	110	4"	79.8	15.1	4.363
		20-120-16A	160	6"	116.2	21.9	9.165

Figura 19. Características de la tubería de polipropileno utilizadas para aire comprimido. Fuente: (Dicol, 2018).

Con el valor del diámetro interno obtenido de 50 mm y la Figura 19, se identifica que el diámetro nominal de la tubería es de 1 1/2 in. Luego, para poder calcular las pérdidas por longitud equivalente de los accesorios incluidos en la red, se utiliza el diámetro de 50 mm y la Tabla 7.

Tabla 6. Pérdidas por accesorios en longitud equivalente.

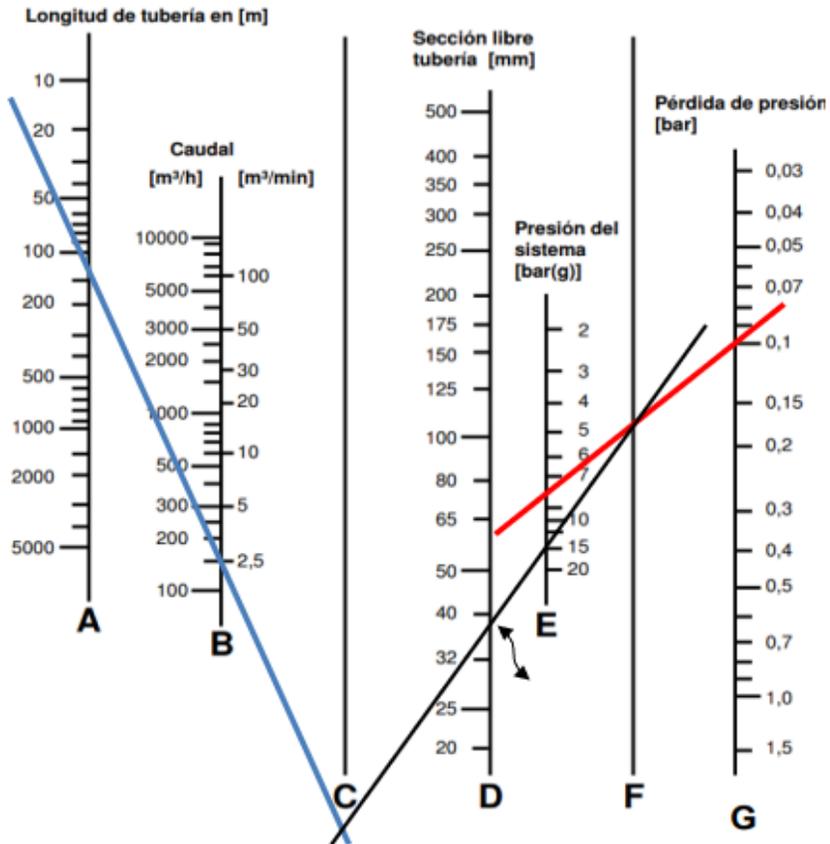
Componente	Longitud equivalente en metros										
	Diámetro interior de la tubería en mm (d)										
	25	40	50	80	100	125	200	250	300	400	
Válvula de bola totalmente abierta	0.3	0.5	0.6	1.0	1.3	1.6	1.9	2.6	3.2	3.9	5.2
Válvula de diafragma totalmente abierta	5	8	10	16	20	25	30	40	50	60	80
Válvula 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 claveta	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
Angulo 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: (AtlasCopco, 2011).

La longitud equivalente es calculada utilizando la Tabla 6, en la cual se identifican los accesorios del sistema con su respectivo diámetro, permitiendo definir el factor K a utilizar para el cálculo:

$$L_{equivalente} = 1 * (4 \text{ valvula de bola}) + 3 (3 \text{ codos de } 90) + 3 * (3 \text{ Te}) = 22 \text{ m}$$

Ahora, la longitud total es 134 m y se debe volver a calcular el diámetro, utilizando el nomograma de la Figura 18.



El diámetro de la tubería principal es:

$$d = 38 \text{ mm}$$

Como el diámetro no es comercial se aproxima a 40 mm, indicando que la tubería tendrá un diámetro nominal de 1 1/4 in, definiendo esta como tubería principal.

Ahora, según la información encontrada durante la búsqueda bibliográfica la temperatura de Medellín es de 19 °C y posee una humedad del 92 % (Climatedata, 2022). A partir de esta información se procede a calcular la cantidad de g/m³ de agua posee el aire, ver Figura 20.

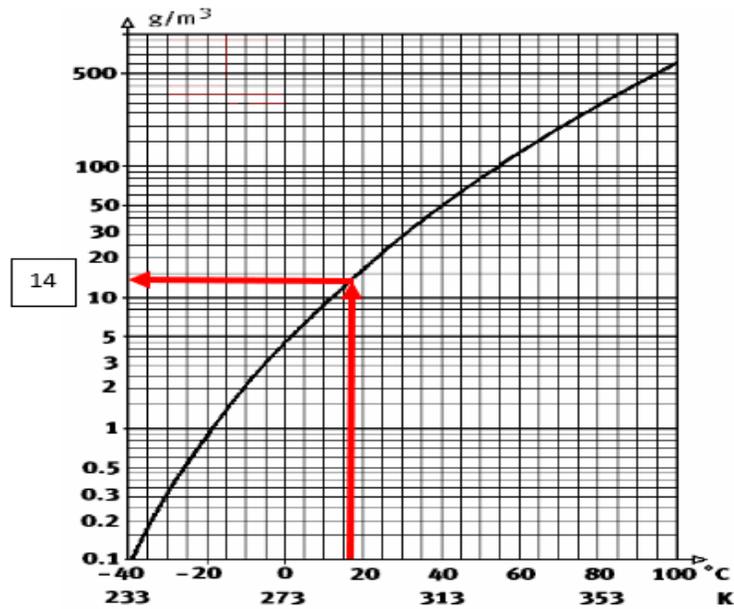


Figura 20. Gramos de agua contenida por m<sup>3</sup> de aire a determinada temperatura.  
Fuente: (Neumatica, 2017).

El contenido de agua por metro cubico se calcula con la temperatura del aire ambiente y el cruce de esta con la línea curva de la Figura 20, trazando una línea horizontal que una con los valores de la izquierda que en este caso es de 14 g/m<sup>3</sup>.

#### 4.4 Selección del compresor a utilizar por el sistema de aire

Para la selección del compresor se debe conocer la presión mínima de trabajo y el caudal total requerido por el sistema. El caudal requerido es de 0,7678 m<sup>3</sup>/minuto, la presión de trabajo 7,3394 bar o 106,5 psi, estos datos son ubicados en la Figura 21, obtenida del catálogo de compresores marca VARIO.

Caudal (litros/minuto)	Caudal (m <sup>3</sup> /minuto)	Presión (PSI)	Potencia (HP)	Compresor recomendado
350-550	0,35-0,55	145	3 a 5	A pistón
551-700	0,7	145	7,5	A pistón
701-960	0,96	145	10	A tornillo
961-1300	1,3	145	15	A tornillo
1301-7500	7,5	145	75	A tornillo

Figura 21. Tipo de compresor a utilizar según el caudal y la presión de trabajo.  
Fuente: (Condor, 2017).

En la Figura 21, se ubican los datos calculados indicando que un compresor de tornillo de 10 hp sería el recomendado. Del catálogo ALUP VARIO, se identifica el siguiente compresor, ver Figura 22.



Figura 22. Compresor marca ALUP VARIO seleccionado para el sistema.  
Fuente: (VARIO, 2020).

Las características del compresor seleccionado son:

Tabla 7. Características del compresor ALUP VARIO seleccionado para el sistema.

Número de referencia	6597077
Año de fabricación	2005
Longitud	1050 mm
Anchura	650 mm
Altura	1640 mm
Potencia del motor	10 CV
Presión de trabajo	1 MPa o 10 bar
Caudal	1040 L/minuto

Fuente: (VARIO, 2020).

**4.4.1 Volumen del tanque o pulmón.** El tanque es una parte primordial del sistema, por tal deben de tenerse en cuenta las consideraciones especificadas dentro del marco teórico para la selección y el caculo del tanque de pulmón, puesto que este almacena el aire que va a ir al proceso, por tanto, este debe garantizar la cantidad, seguridad y calidad de aire que se requiere para cada uno de los procesos.

La humedad es un factor para tener en cuenta, puesto que esta se encuentra presente en el sistema de aire comprimido y podría llegar al tanque en cualquier momento, el tanque a emplear debe estar galvanizado por dentro y por fuera según lo indica la norma del DIN EN ISO 1461 (Kaiser, 2020).

El tanque o pulmón seleccionado debe tener una capacidad, ver Figura 23.

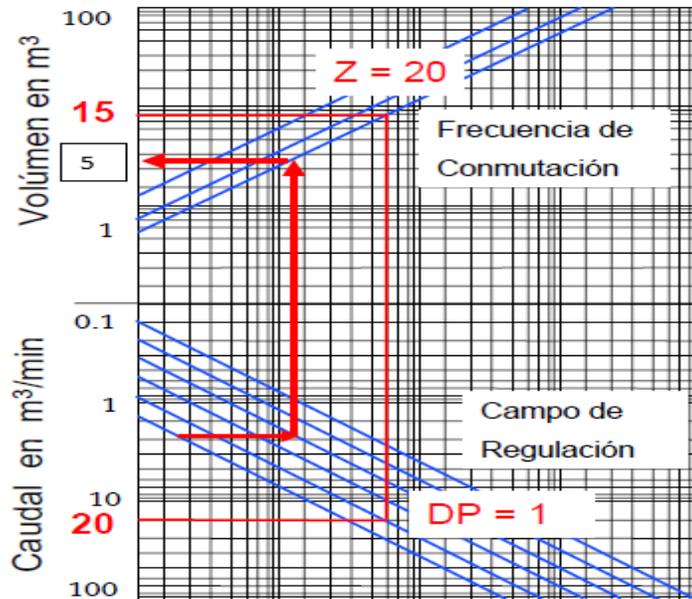


Figura 23. Volumen del tanque o acumulador.  
Fuente: (Kaeser Compresores de Colombia Ltda, 2012).

Para el diseño del tanque se debe considerar las recomendaciones establecidas en los manuales, donde se indica que el tanque debe ser sobredimensionado para posibles ampliaciones del sistema y como la empresa está en constantemente creciendo, se tomó el doble del caudal calculado, por tal motivo se requiere de un tanque de 5 m<sup>3</sup> (Festo, 2014), lo que quiere decir:

$$5 \text{ m}^3 = A * 1,6 \text{ m}$$

Despejo el área:

$$A = \frac{5 \text{ m}^3}{1,6 \text{ m}} = 3.125 \text{ m}^2$$

Entonces, el radio del tanque es:

$$3.125 \text{ m}^2 = \pi * r^2$$

$$r = \frac{3,125 \text{ m}^2}{\pi} = 0,99 \text{ m}$$

Las dimensiones del tanque serán las siguientes:

$$L: 1,6 \text{ m y } r: 1 \text{ m}$$

Además, el sistema debe suministrar un aire puro y sin humedad. Por tal motivo, se seleccionó esta marca de compresores, los cuales poseen un filtro de aire y aceite incorporados, ver Figura 22.

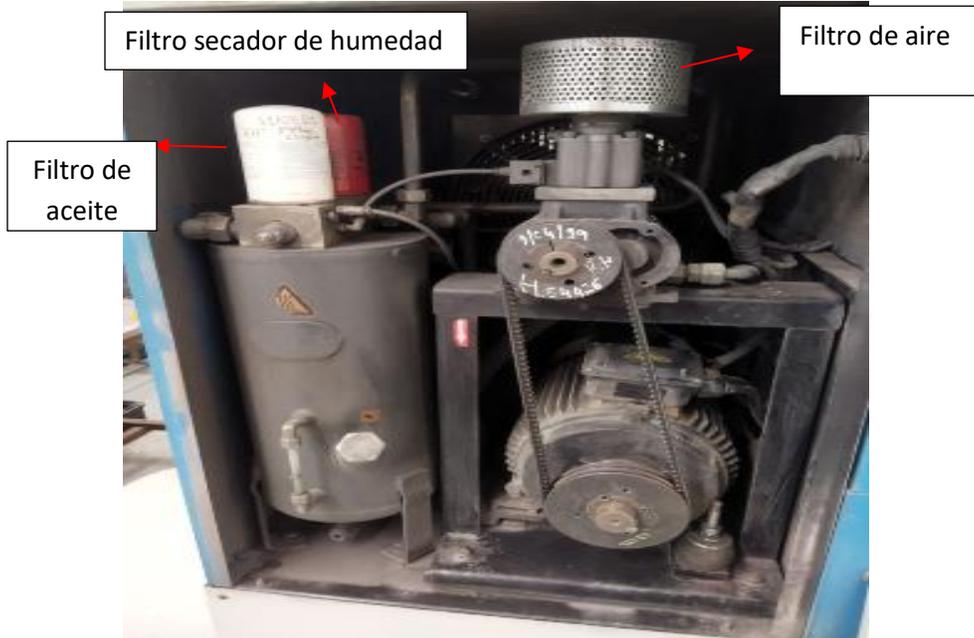


Figura 24. Parte trasera del sistema de aire comprimido.  
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.5 Construcción de la red de aire comprimido

Por economía la red de aire se diseñó en polipropileno teniendo en consideración todas las recomendaciones planteadas por el manual de Atlascopco. A continuación, se evidencia todo el proceso realizado para su construcción y puesta en funcionamiento, ver Figura 24.



Figura 25. Instalación de la guía metálica para el cableado de alimentación de las máquinas extrusoras y sopladora.  
Fuente: Elaboración propia.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Luego se instalaron las guías metálicas que soportaran los cables de alimentación de energía de las máquinas, se procedió a realizar la instalación de la tubería de polipropileno encargada de transportar el aire a cada una de las máquinas, ver Figura 25.



Figura 26. Instalación de la tubería de polipropileno.

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se empezó a instalar las tuberías para el transporte de agua potable utilizada para la refrigeración de las máquinas. Para lo cual, se utilizó tubería en PVC, tanto para la entrada como la salida del agua después del proceso. Cada máquina posee dos tuberías de entrada de 1 ½ in con reducción a 1 in, y dos de salida de 1 in con reducción a ¾.

Estas son las encargadas de suministrar agua renovada al chiller de las máquinas para la refrigeración de los moldes y otra encargada de interactuar con el aceite de la máquina en un intercambiador de calor, ver Figura 26.



Figura 27. Tubería en PVC para el suministro de agua utilizada para la refrigeración de las máquinas.

Fuente: Elaboración propia.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Luego de tener todas las tuberías instaladas se procedió a llevar las máquinas a punto de trabajo dentro de la empresa para lo cual se utilizaron montacargas para su transporte debido al pensó considerable de estas, ver Figura 27.



Figura 28. Ubicación de las máquinas en su correspondiente punto de trabajo.  
Fuente: Elaboración propia.

Por último, teniendo las máquinas ubicadas en sus puntos de trabajo se procedió a realizar la conexión de las tuberías y de la red de aire a cada una de estas, ver Figura 28 y 29.



Figura 29. Máquina extrusora conectada a la red y lista para trabajar.  
Fuente: Elaboración propia.



Figura 30. Máquina sopladora en mantenimiento.  
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.6 Planos mecánicos y eléctricos de la nueva red de aire comprimido diseñada

**4.6.1 Planos mecánicos.** A continuación, se pueden visualizar los planos de la red de aire comprimido diseñada para las nuevas máquinas extrusoras y sopladora de la empresa Moser S.A.S:

En la Figura 31, se puede ver una vista 3D del sistema de aire comprimido y las nuevas máquinas.

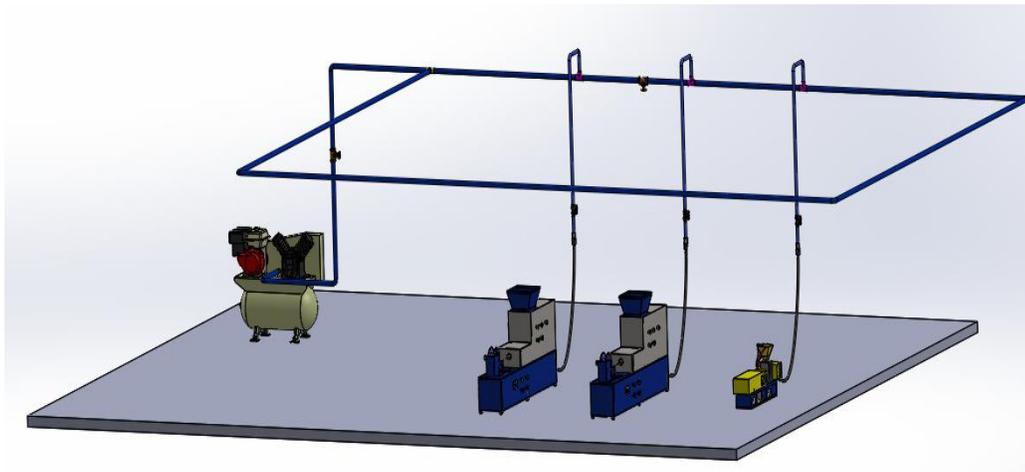


Figura 31. Vista 3D del sistema aire comprimido diseñado.  
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 32, se puede ver el compresor seleccionado juntamente con la tubería de polipropileno. Además, de la Te que cierra el sistema y la válvula de bola.

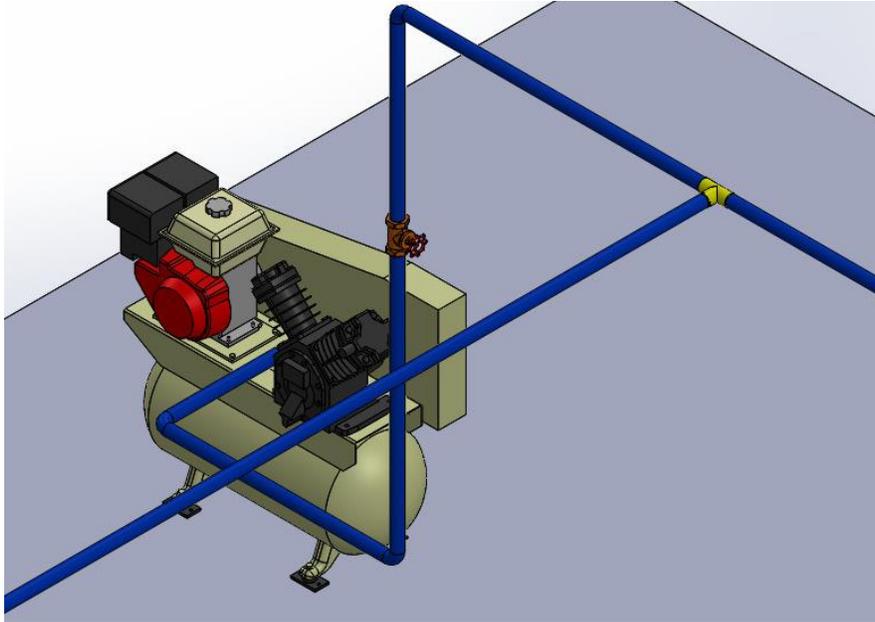


Figura 32. Vista del compresor seleccionado.  
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 33, se pueden visualizar los cuellos de ganso utilizados en el diseño de la red según lo recomendado por el manual de (AtlasCopco, 2011).

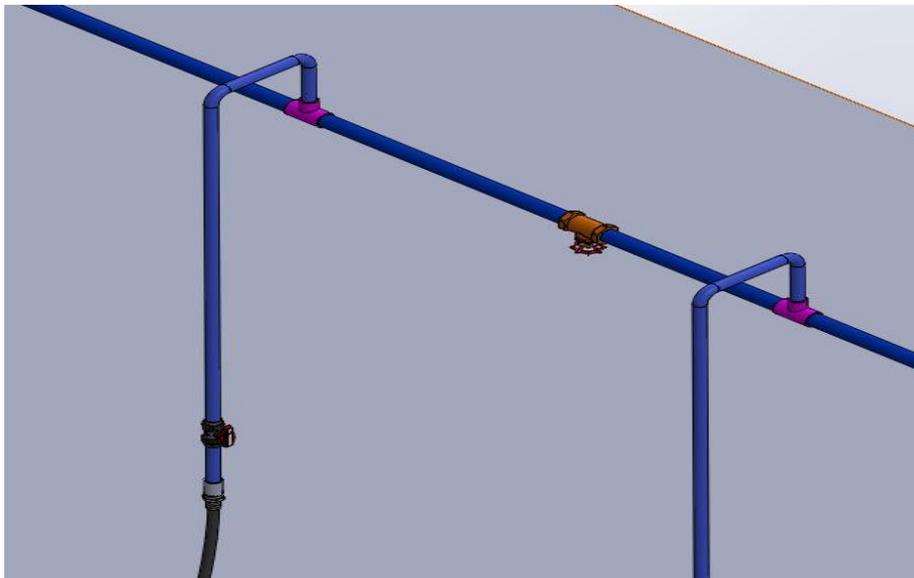


Figura 33. Red diseñada bajo las recomendaciones del manual de Atlascopco.  
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 34, se pueden apreciar las 2 máquinas extrusoras y la maquina sopladora instaladas y conectadas a la red para ser puestas en funcionamiento.

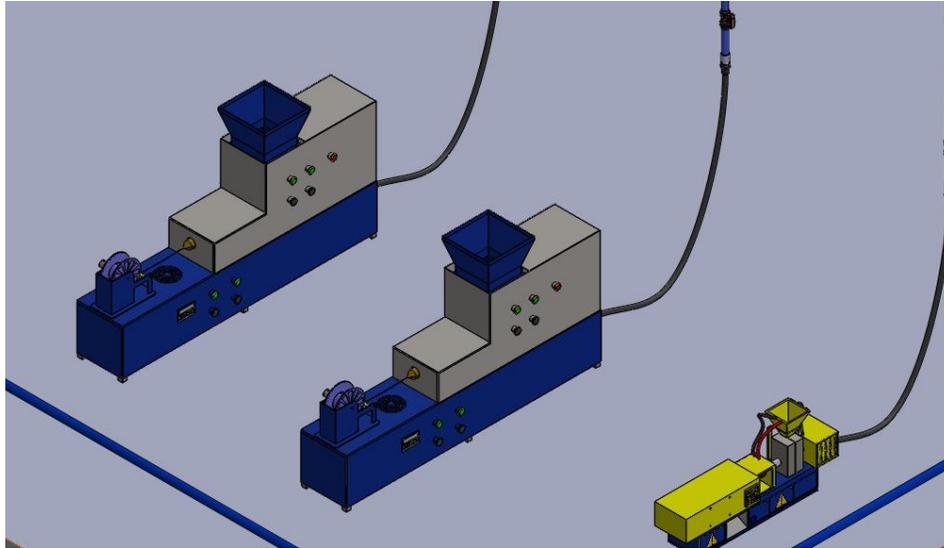


Figura 34. Maquinas extrusoras y sopladoras conectadas a la red.  
 Fuente: Elaboración propia.

En las Figuras 35 y 36, se puede apreciar las medidas del sistema neumático instalado

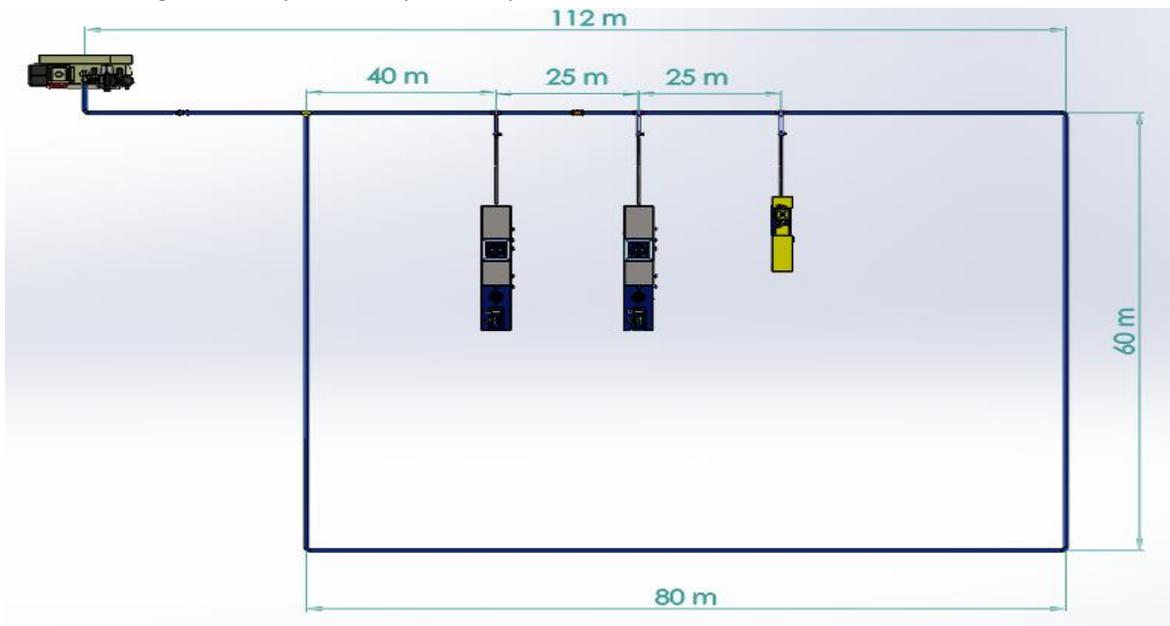


Figura 35. Vista de techo de la red de aire comprimido diseñada.  
 Fuente: Elaboración propia.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

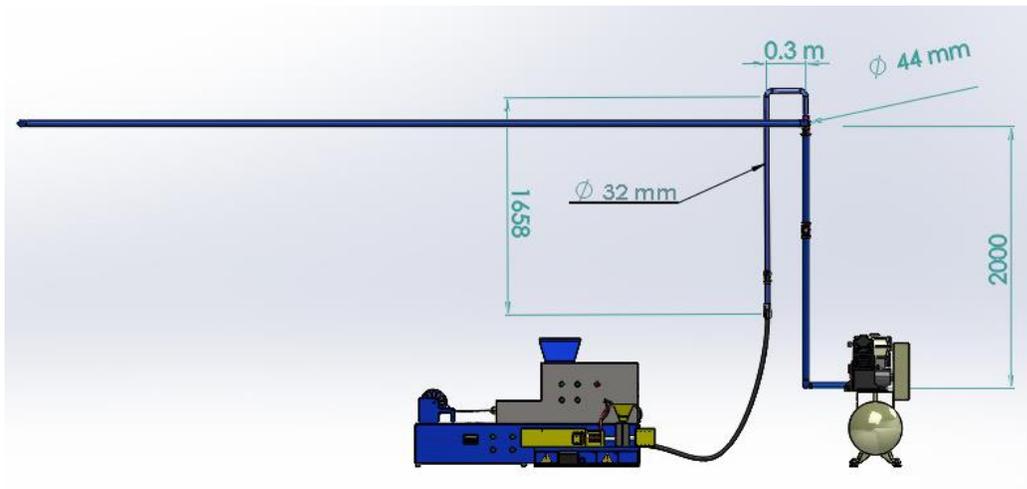


Figura 36. Altura y diámetro de la red de aire comprimido diseñada.  
Fuente: Elaboración propia.

**4.6.2 Planos eléctricos.** El diseño de la red eléctrica encargada de suministrará la energía a las máquinas está compuesta por, ver Figura 37:

- 3 líneas de Cable C THHN/THWN-2 Cu 90°C 2 AWG 600V
- 2 líneas de Cable número 6 AWG THHN/THWN-2 CU 90°C 600V color negro.
- Se alimenta cada máquina desde la caja eléctrica auxiliar con 3 breaker enchufable de 3 polos a 40 amperios.
- Protección con un totalizador industrial trifásico de 100 Amperios.
- La protección eléctrica del compresor es un (1) breaker enchufable de tres polos a 30 amperios.
- Se utilizará cable encauchetado de 4 x 8 y 4 x 10.

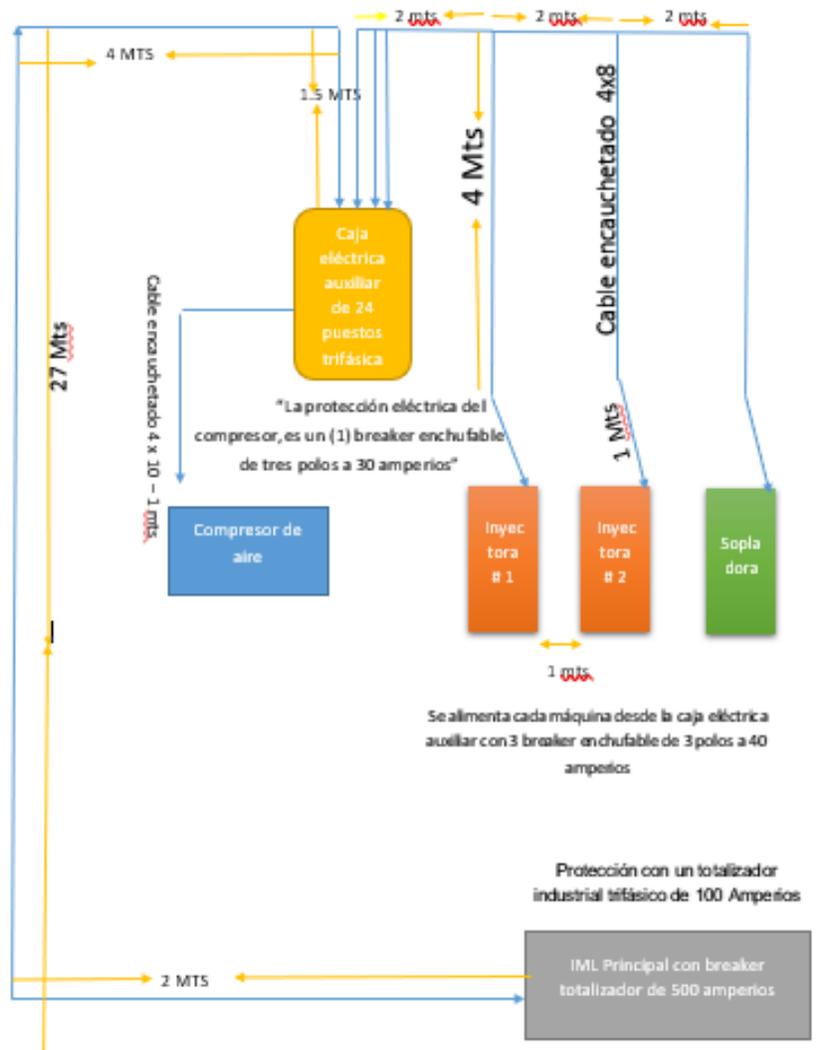


Figura 37. Planos eléctricos de alimentación de energía de las máquinas a instalar.  
Fuente: Elaboración propia.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## 5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

---

Para la identificación de los parámetros de funcionamiento de la nueva red de aire comprimido fue fundamental conocer las características de funcionamiento de la máquina sopladora e inyectoras, por ejemplo: caudal y presión mínima requerida, horas de funcionamiento, entre otros; los cuales permitirán la operación continuamente sin inconvenientes. Todo esto fue posible gracias a disponibilidad presentada por el jefe de producción, él cual facilito toda la información sobre las máquinas como lo solicitado por parte de la empresa.

Luego, para establecer la ubicación de los componentes principales de la red de aire comprimido se siguieron las recomendaciones planteadas en los manuales de Festo y Atlascopco, lo cual permite garantizar el funcionamiento del sistema, su protección y la salud auditiva de las personas que allí laboran.

Durante el cálculo de las variables de funcionamiento principales del sistema de aire comprimido fue fundamental la información entregada por personal de la empresa, lo cual permitió conocer los consumos de aire de cada máquina permitiendo calcular el caudal total requerido como la presión mínima de funcionamiento de ellas, después de restar las perdidas por longitud y accesorios como la caída de presión del sistema la cual no puede exceder los 0,1 bar. Por último, para garantizar este suministro de aire, se le sumo un 30 % más por posibles ampliaciones futuras y con base a este se calculó el diámetro de la red principal.

Durante la selección del tipo de compresor, fuente impulsora y sistema de transmisión de potencia a utilizar por la red de aire comprimido diseñada, se buscó en lo posible una reducción de los costos de implementación. Por tal motivo, se realizó una búsqueda detallada de los compresores que no requieran de tanto elementos complementarios para su funcionamiento o que este posee todo incorporado como los compresores marca VARIO, disminuyendo la cantidad de cálculos requeridos, lo cual permite aumentar las posibilidades de implementación.

Para la realización de los planos mecánicos se utilizó SolidWorks por su interfaz amigable y durante los electricos se utilizó Word porque estos no eran tan complejos, pero en lo posible se trató de que fueran lo más sencillo para reducir costos y facilitar su instalación. En estos se utilizaron, protecciones y suiches necesarios para evitar el daños de las mismas máquinas.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## REFERENCIAS

---

- Apolo, J. P. (2009). Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/13726/1/D-43222.pdf>
- Areaciencias. (2021). Obtenido de <https://www.areaciencias.com/meteorologia/componentes-del-aire/>
- Areaciencias. (2022). Obtenido de <https://www.areaciencias.com/meteorologia/componentes-del-aire/>
- Aristasur. (1 de Diciembre de 2017). Obtenido de <https://www.aristasur.com/contenido/presion-atmosferica-y-variacion-de-oxigeno-en-altura>
- Atlascopco. (2011). Obtenido de <https://www.atlascopco.com/es-es/compressors/biblioteca-aire-comprimido/manual-de-aire-comprimido>
- AtlasCopco. (2011). Obtenido de <https://es.slideshare.net/Sugestive/atlas-copcomanual-del-aire-comprimido-7th-edition>
- Automatización. (2011). Obtenido de <http://industrial-automatica.blogspot.com/2010/09/distribucion-de-aire-comprimido.html>
- Cengel, Y. A. (2007). *Mecanica de fluidos*. Mexico: Mc Graw Gil.
- Climatedata. (2022). Obtenido de <https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/antioquia/yarumal-50323/>
- Condor. (2017). Obtenido de <https://condorgroup.com.ar/determinando-caudal-la-presion-los-compresores-aire/>
- Depositphotos. (2022). Obtenido de <https://sp.depositphotos.com/stock-photos/resina-%C3%A1mbar-natural-del-%C3%A1rbol.html>
- Dicol. (2018). Obtenido de <https://dicol.com.co/wp-content/uploads/2017/11/CATALOGO-2018-DESCARGA.pdf>
- docplayer. (2020). Obtenido de <https://docplayer.es/68237239-Sanitaria-y-aguas-lluvias.html>
- Festo. (2014). Obtenido de <https://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/00767602001133948074.pdf>

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

García, S. (Noviembre de 2008). REFERENCIAS HISTÓRICAS Y EVOLUCIÓN DE LOS PLÁSTICOS.

*Revista Ibero Smericana de polimeros*, 71-80. Obtenido de

<http://www.ehu.eus/reviberpol/pdf/ENE09/garcia.pdf>

Ingemecanica. (2011). Obtenido de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn201.html>

Kaeser Compresores de Colombia Ltda. (2012). *Seminario de aire comprimido*. Coburg.

Kaiser. (2020). Obtenido de <https://cl.kaeser.com/download.ashx?id=tcm:43-5975>

Masapanta, X. (2016). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DIDÁCTICO DE MÁQUINA SOPLADORA DE PLÁSTICO NEUMÁTICA PARA EL. 25-32. Obtenido de

<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10132/1/AC-ESPEL-EMI-0292.pdf>

mundocompresor. (19 de julio de 2017). Obtenido de

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

Neumatica. (2017). Obtenido de <http://et4113neumatica.blogspot.com/2017/03/deshidratacion-del-aire.html>

Paker. (2015). Obtenido de <http://www.oga.com.co/wp-content/uploads/2015/08/ANEXO-1-CALIDAD-DE-AIRE-NORMA-ISO.pdf>

Paredes, C. V. (Febrero de 2018). *Universidad Politecnica Salesiana*. Obtenido de

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15183/1/UPS%20-%20ST003417.pdf>

Perdomo, G. A. (Septiembre de 2002). Obtenido de

<http://www.ehu.eus/reviberpol/pdf/abr/perdomo.pdf>

Profesores. (2014). Obtenido de

<http://www.etitudela.com/profesores/ats/downloads/microsoftwordtema3.pdf>

QuimiNet. (2017). *QuimiNet.com*. Obtenido de <https://www.quiminet.com/articulos/el-funcionamiento-de-la-maquina-inyectora-de-plastico-2643461.htm#:~:text=La%20m%C3%A1quina%20con%20la%20que,de%20darle%20forma%20y%20enfriarla.&text=Se%20eleva%20la%20temperatura%20para,quando%20se%20le%20aplica%20presi>

Reyes, A. D. (2017). Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos73/disminucion-viscosidad-petroleos-disminucion-temperatura/disminucion-viscosidad-petroleos-disminucion-temperatura2.shtml>

Toledo. (2006). Obtenido de <http://toledocursos.com/MECFLU2/TUBOSCOMERCIALES.pdf>

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Vaisala. (2013). *www.vaisala.com*. Obtenido de *www.vaisala.com*:

<http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/Application%20notes/Dew-point-compressed-air-Application-note-B210991ES-B-LOW.pdf>

Valenzuela, D. (2021). *Fisic*. Obtenido de

<https://www.fisic.ch/contenidos/termodin%C3%A1mica/ley-de-los-gases-ideales/>

VARIO. (2020). Obtenido de [https://www.truck1.com.co/maquinaria-de-](https://www.truck1.com.co/maquinaria-de-construccion/compresores-de-aire/alup-vario-tr-7-5-a4715908.html)

[construccion/compresores-de-aire/alup-vario-tr-7-5-a4715908.html](https://www.truck1.com.co/maquinaria-de-construccion/compresores-de-aire/alup-vario-tr-7-5-a4715908.html)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## ANEXOS

---

Los anexos deben ser nombrados con letras para diferenciarse unos de otros (p. ej: Anexo A, Anexo B, etc.). Estos hacen extensiva la información del contenido del trabajo realizado tales como cálculos matemáticos extensos, códigos de programación, etc. El contenido de los apéndices debe permitir a alguien externo al desarrollo del trabajo, llegar a los mismos resultados siguiendo la misma metodología complementada con la información que en este aparte reposa.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

FIRMA ESTUDIANTES Ivan Darío Zuluaga M.

EDIXON RENÉ ZAPATA ZAPATA

Raul Cruz

FIRMA ASESORES Adrián F. Martínez

FECHA ENTREGA: \_23-ago-2022\_